Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou
Faculté de génie de la construction
Département de génie civil

Laboratoire de Recherche de Géomatériaux Environnement

et Aménagement (L.G.E.A.)

MÉMOIRE DE MASTER ACADÉMIQUE

OPTION : GÉOTECHNIQUE ET ENVIRONEMENT

THÈME

Les pathologies des drainages et entretien

Dirigé par :

Mr A. Hamza

Présenté par :

M^elle^ LEILA SEBKI

...../...../2011

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier vivement toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à l'accomplissement de ce travail.

J'adresse mes plus sincères remerciements à mon encadreur, M. HAMZA ALI, enseignant à l'université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, qui m'a proposé ce sujet de master et qui a guidé mes réflexions tout au long de ce travail. Je le remercie particulièrement pour la confiance qu'il m'a accordée, pour son exigence scientifique et pour ses conseils qui m'ont beaucoup appris sur les méthodes de travail.

Merci aux membres du jury d'avoir accepter d'examiner mon travail et de le soutenir.

Je remercie toute l'équipe de la bibliothèque du département génie civil de l'université mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou pour leur gentillesse et leur compréhension.

Un grand merci à tous mes amis, pour leur soutien moral et leurs encouragements.

Je remercie mes parents, mes sœurs, mon frère, et toute ma famille de m'avoir donné le goût des études, leur compréhension et soutien ont été déterminants pour l'accomplissement de ce mémoire.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Sommaire

Introduction générale ……..…**01**

Chapitre I : L'eau dans le sol .....…….. 03

I.1.Définitions…… 04
I.1.1.Le bassin hydrologique ……..……04
I.1.2.Le bassin hydrogéologique ……..... 04
I.1.3.Un aquifère ……..... 04
I.1.4.Une nappe ……..04
I.1.5.La surface piézométrique ……..04
I.1.6.Les aquicludes …… 05
I.2. L'eau dans le sol ……..…….. 05
I.2.1. L'eau de constitution …….. 05
I.2.2.L'eau liée ou absorbé …… 05
I.2.3.L'eau libre …… 05
I.2.4.L'eau capillaire …… 05
I.3.Alimentation et stockage de l'eau …… 06
I.3.1 Alimentation d'une nappe …… 06
I.3.2.Circulation de l'eau …… 06
I.4.Déplacement de l'eau « loi d'écoulement dans le sol » …… 07
I.4.1.Définitions …… 07
I .4.1.1.Charge hydraulique …… 07
I.4.1.2. Gradient hydraulique ……..07
I.4.1.3.Surfaces équipotentielles et surfaces isopièzes …….. 08
I.4.1.4.Lignes et tubes de courant …… 08
I.4.2.Loi de Darcy …… 08
I.4.3.Mesure en laboratoire du coefficient de perméabilité du sol …… 09
I.4.3.1. Essais à charge constante …….. 10
I.4.3.2. Essais à charge variable ……..... 10
I.5.Hydrogéologie ……..11
I.5.1.Types de nappes……..11
I.5.1.1. Nappes libres …… 11
I.5.1.1.1.Nappe de vallée en pays tempéré (nappe phréatique) ……11
I.5.1.1.2.Nappe alluviale …… 11
I.5.1.1.3.Nappe en pays karstique …… 11
I.5.1.1.4. Nappe en plaine littorale……..…… 12
I.5.1.1.5.Soutien d'une nappe ……..……..….12
I.5.1.2. Nappes captives …… 12
I.5.2.Étude hydrogéologique …… 12
I.5.3.Mesure en place des coefficients de perméabilité (Essais d'eau) ……. 13
I.5.3.1.Essai ponctuel ……..13
I.5.3.1.1.Essai Lefranc ……13

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

I.5.3.1.2.Essai Lugeon 14
I.5.3.2.Essai de pompage 14
I.5.4. Mesure de la pression interstitielle dans le sol (Piézomètres) 14

Chapitre II : Notions générales sur le drainage 16

II.1. Définition d'un drainage 17
II.2. Les facteurs à prendre en compte pour la conception d'un réseau de drainage..... 17
II.3. Effets du drainage sur l'environnement 17
II.4. Amélioration des conditions hydriques des matériaux 17
II.5. Les différents types de drainage..... 18
II.5.1. Le drainage de surface 18
II.5.1.1. Entretien 19
II.5.2. Drainage souterrain 19
II.5.2.1. Entretien 19
II.5.3. Le drainage profond 19
II.5.3.1. Les systèmes de drainage profond 19
II.5.3.1.1. Drains subhorizontaux 19
II.5.3.1.2. Les galeries drainantes 20
II.5.3.1.3. Les éperons drainants 20
II.5.3.1.4. Les puits drainants 20
II.5.3.1.5.Les tranchées drainantes 21
II.5.3.1.6. Les parois drainantes 21
II.5.3.2. Domaine d'utilisation 22
II.5.3.2.1. Les drains subhorizontaux 22
II.5.3.2.2. Les éperons drainants 22
II.5.3.2.3. Les galeries drainantes 22
II.5.3.2.4. Les tranchées drainantes 22
II.5.3.3. Entretien 23
II.6. Les produits de drainage..... 23
II.6.1. Tuyaux de drainage 23
II.6.1.1. Systèmes à base de terre cuite 24
II.6.1.2. Systèmes en fibre-ciment 24
II.6.1.3. Drains et collecteurs en béton 24
II.6.1.4. Système en béton poreux 24
II.4.1.5. Drains en matière plastique..... 24
II.6.1.5.1. Drains rigides 24
II.6.1.5.2. Drains souples 25
II.6.1.6. Drains enrobes d'un filtre 25
II.6.1.7. Drains en résines 26
II.6.2. Systèmes de drainage horizontal 26
II.6.3. Système de drainage vertical 26
II.6.4. Géotextiles et produits apparentés 27
II.6.4.1. Différents type de Géotextiles 27

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

II.6.4.2. Rôle dans les ouvrages de drainage 28
II.6.4.3.Les principales caractéristiques 30
II.6.4.4.Éléments nécessaires au choix du géotextile 30
II.6.5. Les accessoires de drainage 31

Chapitre III : Techniques de drainage dans différents domaines 32

III.1. Introduction 33
III.2. Différents domaine d'application 33
III.2.1. Le drainage agricole 33
III.2.1.1.Objectif du drainage agricole 33
III.2.1.2.Fonction du drainage agricole 33
III.2.1.2.1.Avantages du drainage agricole 34
III.2.1.2.2.Inconvénients du drainage agricole 34
III.2.1.3.Procédé de drainage agricole 34
III.2.1.3.1.Drainage souterrain 34
III.2.1.3.2.Drainage de surface 35
III.2.1.4.Conception d'un réseau de drainage agricole 36
III.2.1.4.1.Direction des drains 37
III.2.1.4.2.Direction des collecteurs 37
III.2.1.4.3.Jonction entre drains et collecteurs 38
III.2.1.4.4.Forme du réseau 38
III.2.1.4.5.Profondeur du réseau de drainage 38
III.2.1.4.6.Ecartement des drains 39
III.2.1.4.7.Diamètre et longueurs des drains 39
III.2.1.4.8.Diamètre des collecteurs 39
III.2.2. Drainage des barrages en remblai 39
III.2.2.1.Le drainage d'un barrage en remblai 40
III.2.2.2.Constitution et règle de conception des drains et filtre 40
III.2.2.2.1.Les drains 40
III.2.2.2.2. Les filtres 41
III.2.2.2.3. Les géosynthétiques composites 41
III.2.2.3.Règles générales de dimensionnement des drains et filtres 41
III.2.2.4.Drainage du remblai 42
III.2.2.4.1.Le rôle du drain 42
III.2.2.4.2.Les choix techniques 42
III.2.2.4.3.Les dispositifs de drainage du remblai 43
III.2.2.4.4. Les dispositifs de drainage de la fondation du barrage 44
III.2.3. Drainage des talus (Stabilisation des talus par drainage) 44
III.2.3.1. Les causes de glissement 45
III.2.3.2. La maitrise du risque de glissement de terrain par drainage 45
III.2.3.2.1. Collecte et canalisation des eaux de surface (drainage de surface) 46
III.2.3.2.1.1.Principe 46
III.2.3.2.1.2.Description 46

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

III.2.3.2.1.3.Entretien 47
III.2.3.2.2. Tranchées drainantes 47
III.2.3.2.2.1. Principe 47
III.2.3.2.2.2. Spécification 48
III.2.3.2.2.3. Les différents types de tranchées.....48
III.2.3.2.2.4. Pérennité et entretien 50
III.2.3.2.3. Les drains subhorizontaux 51
III.2.3.2.3.1. Principe 51
III.2.3.2.3.2. Description 51
III.2.3.2.3.3. Mise en œuvre 51
III.2.3.2.3.4. Pérennité et entretient 51
III.2.3.2.4. Drains verticaux, puits et galeries drainantes 52
III.2.3.2.5. Eperons et contreforts, masques et bêches drainants 52
III.2.3.2.5.1. Les éperons drainants 53
III.2.3.2.5.2. Contrefort 53
III.2.3.2.5.3. Les masques drainants 53
III.2.3.2.5.4. Des bêches 53
III.2.4. Drainage des murs de soutènements 54
III.2.4.1. Nécessité d'un système de drainage 54
III.2.4.2.Types de drainages 54
III.2.4.2.1. Sable ou gravier 54
III.2.4.2.2. Terrains à grains fins 54
III.2.4.3.Dispositions constructives 55
III.2.4.4. Protection des remblais en amont 56
III.2.4.5. Dispositifs de drainage et d'évacuations des eaux 57
III.2.5. Le drainage routier 58
II.2.5.1.Drainage des eaux superficielles 59
III.2.5.2. Assainissement de la chaussée 59
III.2.5.2.1. Objectif de l'assainissement des routes 59
III.2.5.2.2. Choix des ouvrages d'évacuation 60
III.2.5.2.3. Choix de la forme de la chaussée 60
III.2.5.2.4. Dimensionnement des ouvrages d'évacuations 60
III.2.5.3. Drainage des eaux souterraines 61
III.2.5.4. Conception du projet de drainage 61
III.2.5.4.1. Optimisation du tracé du projet routier 61
III.2.5.4.2. Caractéristiques géométriques des dispositifs de drainage 61
III.2.5.5. Drainage dans un projet routier neuf 62
III.2.5.5.1.Travaux de terrassements 62
III.2.5.5.2. Plates-formes support de chaussées 62
III.2.5.5.2.1. Partie Supérieure des Terrassements (PST) 63
III.2.5.5.2.1.1. Classement et amélioration de la PST 63
III.2.5.5.2.1.2. Couche de forme 64
III.2.5.5.3. Les chaussées 65
III.2.5.5.3.1. Dispositifs de drainage des couches de chaussées 65

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

III.2.5.6. Choix de drainage 67
III.2.5.7. Caractéristiques des dispositifs de drainage
et des matériaux utilisés dans ces dispositifs 69
III.2.5.7.1. Ouvrages et dispositifs de drainage 69
III.2.5.7.1.1. Fossés profonds 69
III.2.5.7.1.2. Tranchées drainantes 70
III.2.5.7.1.3. Saignées drainantes et épis drainants 71
III.2.5.7.1.4. Écrans drainants de rives de chaussée (EDRC) 72
III.2.5.7.1.5. Couches drainantes 73
III.2.5.7.1.6. Puits (drainage vertical) 74
III.2.5.7.1.7. Dispositifs de stabilisation de talus (masques et éperons) 74

Chapitre IV : Pathologies de drainages 76

IV.1. Introduction 77
IV.2. Les sorties de drain ou collecteurs 77
IV.3. Les fossés 81
IV.3.1. Entretien 81
IV.4. Les barrages en remblai 83
IV.4.1. Les puits 83
IV.4.2. Les pressions interstitielles dans les barrages 83
IV.4.2.1. Pression interstitielle dans le remblai 83
IV.4.2.2. Le développement des pressions interstitielles
de construction dans le remblai 83
IV.4.2. 3. Tassement et consolidation des sols de fondation 84
IV.4.2.4. Les pressions interstitielles dangereuses dans un remblai
ou la fondation d'un barrage 85
IV.4.3. La perte de la fonction drainante 86
IV.4.4. L'érosion interne 86
IV.4.4.1. Les principaux types d'érosion interne 86
IV.4.4.1.1. Le renard 86
IV.4.4.1.1.1. Erreur de conception du barrage 87
IV.4.4.1.1.2. Négligence de chantier 87
IV.4.4.1.1.3. Cause accidentelle 88
IV.4.4.1.2. La suffusion 89
IV.4.4.1.2.1. La suffusion interne 89
IV.4.4.1.2.2. La suffusion externe 89
IV.5. Les champs agricoles 90
IV.6. Types de désordres rencontrés sur chaussées 90
IV.6.1. Cas des chaussées souples 90
IV.6.2. Cas des chaussées rigides ou semi-rigides 91
IV.6.3. Cas des couches en matériaux bitumineux 92
IV.6.4. Cas des chaussées en béton de ciment 92

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

IV.6.5. Autres désordres 93
IV.6.6. Cas de la chaussée sur la route de BOUKHALFA
(vers l'université Mouloud Mammeri) 93
IV.6.7. Exploitation et entretien des dispositifs de drainage..... 94
IV.6.7.1. Visite de l'ouvrage avec plan de récolement 94
IV.6.7.2. Établissement du point zéro en l'absence d'un plan de 94
IV.6.7.3.Travaux d'entretien et de maintenance 95
IV.7. Types de désordres rencontrés sur des talus 95
IV.7.1. Cas n°1 : Traitement d'un glissement de terrain Grands Vents 95
IV.7.1.1. Présentation du glissement 95
IV.7.1.2. Solutions mises en œuvre 96
IV.7.2. Cas n°2 : Glissement de terrain sur CW 13 et reconstruction de la chaussée..... 98
IV.7.2.1. Présentation du glissement 98
IV.7.2.2. Solutions proposées 99
IV.7.2.3. Solution retenue 99
IV.7.4. Cas n°3 : glissement de terrain sur la RN 12 100
IV.7.4.1. Présentation du glissement 100
IV.7.4.2. Solutions envisagées 101
IV.7.4.3. Solution retenue 101
IV.7.5.Cas n°4 : glissement de terrain sur la RN 26 103
IV.7.5.1. Présentation du glissement 103
IV.7.5.2. Solutions proposées 104
IV.7.5.3. Solution retenue 104
IV.7.6. Cas n°5 : Glissement de terrain dans la région d'AZZEFOUN 105
IV.7.6.1.1. Présentation du glissement 105
IV.7.6.1.2. Solution proposée 107
IV.7.6.2. Présentation du glissement 107
IV.7.6.2.1. Solution proposée 107
IV.7.7. Cas du centre d'enfouissement technique 110
IV.7.7.1. Présentation des lieux 110
IV.7.7.1.1. Les traveaux de terrassement 110
IV.7.7.1.2. Le centre de tri : (première partie) 111
IV.7.7.1.2.1. La partie supérieure 111
IV.7.7.1.2.2. La partie inférieure 114
IV.7.7.1.3. La décharge: (deuxième partie) 114
IV.7.7.1.3.1. Le système de drainage..... 115
IV.7.7.2. Les désordres rencontrés 115
IV.7.7.3. solutions proposées 118
IV.8. Entretien d'un système de drainage 119

Conclusion générale 120

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Chapitre I : L'eau dans le sol

Figure I.1. Bassin hydrologique, bassin hydrogéologique et aquifère …… 04
Figure I.2. Différents états de l'eau dans le sol …… 05
Figure I.3. Alimentation d'une nappe …… 06
Figure I.4. Circulation de l'eau …… 07
Figure I.5. Essai de perméabilité à charge constante……..… 10
Figure I.6. Essai de perméabilité à charge variable …….. 11
Figure I.7. Bassins versants superficiel et hydrogéologique……. 13
Figure I.8. Essai Luegeon principe ……..… 14
Figure I.9. Piézomètre ouvert …… 15
Figure I.10. Piézomètre fermé de type hydraulique …….. 15

Chapitre II : Notions générales sur le drainage

Figure II.1. Galerie drainante……..…… 20
Figure II.2. Puit drainant ……...……...… 20
Figure II.3.Tranchée drainante ……..…….. 21
Figure II.4. Paroi drainante ……...……... 22
Figure II.5. Figure tuyaux de drainage ……..… 23
Figure II.6. Drain souple annelé enrobage végétal ……...… 26
Figure II.7. Drain souple annelé enrobage géotextile ……...…26
Figure II.8.les géotextiles (GTX) et produits apparentés au GTX …… 28
Figure II.9. Emploi des géotextiles pour les ouvrages de drainage …….. 28
Figure II.10. Exemple d'application de géotextile assurant la fonction de drainage …… 29
Figure II.11. Exemple d'application de géotextile assurant la fonction de drainage ……. 29

Chapitre III : Technique de drainage dans différents domaines

Figure III.1. Drainage régulier ou parallèle : drainage indirecte …… 36
Figure III.2. Direction des collecteurs …… 37
Figure III.3. Exemple de disposition des drains de ceinture …… 38
Figure III.4. Drainage direct : drains débouchant dans les fossés ……..….. 38
Figure III.5.Drainage irrégulier …… 39
Figure III.6.Les deux types de tuyaux drainants …….. 40
Figure III.7.Filtre répondant aux conditions de TERZAGHUI
vis-à-vis des matériaux à drainer et drainants …….. 42
Figure III.8.Tapis drainant aval, rabattement de la ligne de saturation ……..… 44
Figure III.9. Tranchée remblayée ……..… 50
Figure III.10.tranchée avec géocomposite …… 50
Figure III.11.Tranchée linéaire mécanisée …… 50
Figure III.12.tranchée profonde réalisée sous boue…… 50
Figure III.13.Drainage des remblais perméables …….. 55
Figure III.14. Drainage des remblais à grains fins …… 55

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Figure III.15. Exemple de barbacane…… 56
Figure III.16. Revêtement de protection du remblai
au-dessus du mur de soutènement …… 56
Figure III.17. Exemple de solution courante(1) …… 57
Figure III.18. Exemple de solution courante(2) …… 58
Figure III.19. Exemple de solution courante(3) …… 58
Figure III.20. Forme de la chaussée permettant l'évacuation
des eaux vers les caniveau …….. …… 60
Figure III.21. Définition des différents termes …… 63
Figure III.22.En déblai ou profil rasant en zone hors nappe …… 64
Figure III.23.En déblai ou profil rasant en zone sous nappe drainée …….. 64
Figure III.24. En remblai ……..65
Figure III.25. Fonctions à assurer et emplacements
possibles des dispositifs de drainage……..…… 65
Figure III.26. Fossé longitudinal profond …… 69
Figure III.27. Saignée latérale reliée à la couche de forme …… 71
Figure III.28. Saignée longitudinale avec drain …… 71
Figure III.29. Épis drainants (sous la couche de forme ou la couche drainante) …….. 72
Figure III.30.Profil en travers type d'une chaussée équipée d'un EDRC situé
en limite de l'accotement et de la structure de chaussée …….. 72
Figure III.31. Couche drainante en déblai …… 73
Figure III.32. Couche drainante en remblai ……..… 73
Figure III.33. Schéma de principe d'un drainage vertical par puits …… 74
Figure III.34. Masque drainant …… 75
Figure III.35. Éperons drainants ……... 75

Chapitre IV : Les pathologies des drainages

Figure IV.1.Sortie de drain pincée par les racines d'un arbre (il ne coule plus) ……. 78
Figure IV.2.a. Boues ferriques obstruant la sortie d'un exutoire du drain ……..…… 78
Figure IV.2.b. La couleur de l'eau est une indication évidente
d'un problème de colmatage l'oxyde de fer
lorsqu'un drain a été débloqué au niveau du collecteur …… 78
Figure IV.2.c. Un exemple d'une section de collecteur découvert, démontrant
le colmatage par l'oxyde de fer, qui obstruait énormément
les trous dans le drain, empêchant l'eau d'entrer …… 79
Figure IV.2.d. Exemples de colmatage sédimentaire dû à l'installation
d'un filtre inadéquat et d'un sol à haut risque de colmatage
de drain par l'ocre de fer……..….. 79
Figure IV.3.Sortie de drain obstrué par des éboulements de terre ……...……. 79
Figure IV.4.Exutoire de drain écrasé ……...…. 80
Figure IV.5.Exutoire de drain en partie masqué par une végétation herbacée…… …….. 80
Figure IV.6.Exutoire de drain presque totalement bouché par des dépots minéraux……. 80

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Figure IV.7.Regard en partie colmatée par la sédimentation des limons apportée par les eaux de ruissellements lors des pluies. L'exutoire des drains est noyé par les limons ……..… 81
Figure IV.8.Fossé nécessitant un nettoyage ……..…… 81
Figure IV.9. Une bonne sortie de drainage bien protégée contre l'érosion contenant un grillage anti-rongeur ……..……...… 82
Figure IV.10. Grille articulée contre les rongeurs …… 82
Figure IV.11. Le glissement du talus amont Barrage d'ARMUS et CAU ……..84
Figure IV.12.Vue de face du glissement …… 84
Figure IV.13.Glissement du talus aval Barrage de BEBOREDE D'YNIS ……...… 85
Figure IV.14. Déplacement d'un regard ainsi que la torsion d'un exutoire du drain interne et du collecteur au pied aval après glissement du talus du barrage d'YNIS ……..…….... 85
Figure IV.15. Ecroulement du talus aval du barrage dû à l'absence de drain …….. 86
Figure IV.16. Phénomène de renards au pied amont du barrage GOYRDON (lot, France) ……..……..87
Figure IV.17.Rupture d'un barrage de SAIN JULIEN DES LANDES (Vendée, France) ……..……..87
Figure IV.18. Le renard vu de l'amont après extraction de la conduite de vidange……. 87
Figure IV.19. Le renard vu de l'aval, barrage de BUGET (Haute Garonne ,France) ……..……..… 88
Figure IV.20. Conduite fossile dans le substratum marneux de la retenu ……. 88
Figure IV.21.Dégradation du remblai en terre par des ragondins ……. 89
Figure IV.22. Fontis en crête d'ouvrage …….. 89
Figure IV.23. Exemple de ruissellement créant de l'érosion …… 90
Figure IV.24. Accumulation d'eau à la surface d'un champ …… 90
Figure IV.25. Exemple d'orniérage d'une chaussée souple causé par l'assise non traitée et le sol support ……91
Figure IV.26. Développement de l'érosion autour d'une fissure dans des graves hydrauliques de structures ……..…… 92
Figure IV.27. Exemple de dégradation dans une chaussée en béton ……...…….. 92
Figure IV.28. Présentation des lieux ……..……93
Figure IV.29. Nécessité de barbacanes dans les caniveaux pour le drainage des eaux d'infiltration ……..…… 93
Figure IV.30. L'érosion sur le remblai (remblai non drainé) …… 94
Figure IV.31. Présentation du glissement ……..…… 96
Figure IV.32. Gestions des eaux internes ……...…… 96
Figure IV.33. Gestions des eaux de surface ……..…… 96
Figure IV.34. Géocomposite étanche pour la gestion des eaux de surface …… 97
Figure IV.35. Réalisation du mur de soutenement …….. 97
Figure IV.36. Structure SOMTUBE FTF D20 …… 97
Figure IV.37. Mur de soutènement ……..…….. 98
Figure IV.38. Travaux achevés …… 98
Figure IV.39. Présentation du glissement …… 98

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Figure IV.40. La chaussée affectée par le glissement 99
Figure IV.41. Fissures de traction apparues dés le début des travaux 99
Figure IV.42. Drainage du massif amont 99
Figure IV.43. Construction du remblai technique 100
Figure IV.44. Reconstruction de la chaussée..... 100
Figure IV.45. Ouvrage achevé 100
Figure IV.46. Présentation du glissement 101
Figure IV.47. Affaissement de la chaussée 101
Figure IV.48. Déroulement des travaux 101
Figure IV.49. Reconstitution de la chaussée 102
Figure IV.50. Conception du mur de soutènement 102
Figure IV.51. Déroulement des travaux 103
Figure IV.52. Ouvrage achevé 103
Figure IV.53. Présentation du glissement 103
Figure IV.54. Mur en gabion (travaux achevées) 104
Figure IV.55. Les éperons drainants 105
Figure IV.56. Ouvrage achevé 105
Figure IV.57. Présentation du Glissement 106
Figure IV.58. Les deux rangées de palplanches 106
Figure IV.59. Affaissement de la chaussée 106
Figure IV.60. Présence de cavité 106
Figure IV.61. Affaissement des palplanches (Vue amont) 106
Figure IV.62. Affaissement des palplanches (Vu aval) 106
Figure IV.63. Présentation des lieux 107
Figure IV.64. Hauteur du mur en gabion 108
Figure IV.65. Longueur du mur en gabion 108
Figure IV.66. Joints séparatifs 108
Figure IV.67. L'eau stagnante à l'aval du mur en gabion 109
Figure IV.68. L'érosion sur la pente 109
Figure IV.69. Des caniveaux doivent être conçus à l'aval du mur pour éviter la stagnation de l'eau drainé 110
Figure IV.70. Présentation des lieux..... 110
Figure IV.71. La marne altérée 111
Figure IV.72. La marne rocheuse 111
Figure IV.73. Les deux parties du centre de tri 111
Figure IV.74. Système de drainage de la partie supérieure 112
Figure IV.75. Caniveau à l'aval du mur en gabion 112
Figure IV.76. Point commun entre les caniveaux et le mur en gabion 112
Figure IV.77. Position de la route 113
Figure IV.78. Système de drainage en amont du mur de soutènement 113
Figure IV.79. Aval du mur de soutènement 114
Figure IV.80. Partie inférieure 114
Figure IV.81. Le centre d'enfouissement technique 114
Figure IV.82. Système de drainage au dessous de la plate forme du CET 115

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Figure IV.83. Roche utilisée comme filtre dans le caniveau du CET (Riche en silice) 115
Figure IV.84. Cisaillement des caniveaux 116
Figure IV.85. Les fissures provoquées par le cisaillement des caniveaux 116
Figure IV.86. L'eau circule à travers les fissures 116
Figure IV.87. L'absence des barbacanes au niveau des caniveaux 116
Figure IV.88. Eboulement et stagnation d'eau 117
Figure IV.89. Les niches de glissement et l'érosion de la pente 117
Figure IV.90. Arrachement du géotextile 117
Figure IV.91. Des caniveaux conformes 117

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Introduction générale

L'eau est un composé essentiel pour toute vie, mais elle représente notamment une source de problèmes auxquels nous ne pensons pas toujours. L'eau est indispensable mais elle peut causer énormément d'incidents que ce soit à grande échelle comme un tsunami ou à petite échelle comme l'infiltration des eaux dans une construction. C'est pourquoi nous avons souvent recours au drainage qui est une manières de contrôler ces eaux pour éviter un maximum de dégâts au niveau de la construction que ce soit d'un bâtiment, d'une voie publique, ou d'un terrain……

Si on veut résoudre les problèmes lié au drainage, il faut comprendre que tous les problèmes ne sont pas identiques et que chaque situation est unique en soi nécessitant un drainage bien précis. La première étape consiste à identifier la source de l'eau et les raisons pour lesquelles le surplus d'eau ne se draine pas naturellement. Ensuite, on choisit la solution appropriée pour régler le problème de façon efficace. Malheureusement les systèmes de drainage existant, et qu'on construit depuis plusieurs années, sont souvent mal conçus et peu entretenu. Bien souvent ils ne répondent donc plus aux exigences initiales, ce qui provoque des pathologies exerçant des effets insidieux qui peuvent s'avérer lourds de conséquence.

Bien qu'il existe toute une variété de problèmes (pathologies) reliés au drainage, nous allons tenter de vous exposer quelques cas observés, afin de montrer l'importance du drainage, ainsi que son entretien, dans le but d'encourager l'entretien et l'exploitation permettant d'optimiser la performance du drainage.

Ce travail est divisé en quatre chapitres :

Le premier chapitre présente les notions utilisées pour la description du comportement de l'eau dans les sols, notamment la loi de Darcy, base de l'analyse des écoulements de l'eau, enfin, quelques notions d'hydrogéologie utiles pour les études de génie civil sont données.

Le deuxième chapitre passe en revue la définition du drainage, ainsi que les produits utilisés lors de la conception d'un réseau de drainage.

Le troisième chapitre est consacré à la présentation des différentes techniques de réalisation des systèmes de drainage, dans plusieurs domaines, tout en précisant les règles essentielles à respecter pour leurs bons fonctionnements.

Par contre au quatrième chapitre, nous nous intéressons aux pathologies qui affectent les systèmes de drainage, les dommages que ca peut engendrer lors de la mauvaise conception, le manque d'entretien et /ou lors de l'absence de ces derniers, et enfin les prescriptions régissant la surveillance et l'entretien.

Enfin, nous terminons cette étude par une conclusion générale, où nous synthétisons l'ensemble des recherches réalisés.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

I.1. Définitions

I.1.1. Le bassin hydrologique

Il est délimité par les lignes de crêtes topographiques isolant le bassin versant d'un cours d'eau et de ses affluents. Il correspond en surface au bassin hydrographique.

I.1.2. Le bassin hydrogéologique

Il correspond à la partie souterraine du bassin hydrologique.

I.1.3. Un aquifère

C'est un corps (couche, massif) de roches perméables comportant une zone saturée suffisamment conductrice d'eau souterraine pour permettre l'écoulement significatif d'une nappe souterraine et le captage de quantité d'eau appréciable. L'aquifère est homogène quand il a une perméabilité d'interstices (sables, graviers); la vitesse de percolation y est lente. Il est hétérogène avec une perméabilité de fissures (granite, calcaire karstique); la vitesse de percolation est plus rapide.

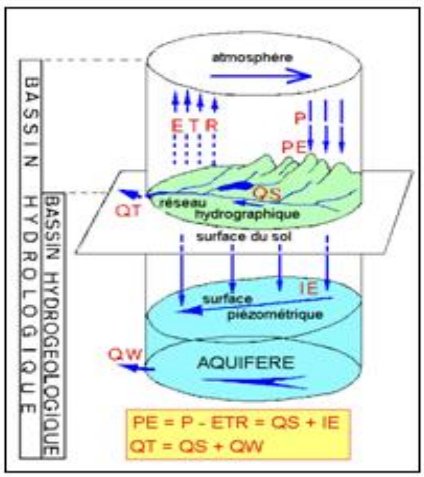


Figure I.1 : ***Bassin hydrologique, bassin hydrogéologique et aquifère.***

I.1.4. Une nappe

C'est l'ensemble des eaux comprises dans la zone saturée d'un aquifère, dont toutes les parties sont en liaison hydraulique.

I.1.5. La surface piézométrique

La surface piézométrique d'une nappe libre est la surface supérieure de la zone saturée de l'aquifère. Les mêmes cotes de cette surface forment des courbes de niveau appelées courbes isopiézométriques car elles correspondent à des points de même charge hydraulique. L'eau de la nappe se déplace perpendiculairement aux courbes isopiézométriques; sa vitesse est inversement proportionnelle à la distance entre 2 courbes consécutives.

Les formations peu perméables (dites semi-perméables), comme les sables argileux, peuvent stocker de l'eau mais la vitesse de transit est faible: on parle d'aquitard.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

I.1.6. Les aquicludes

Ce sont des formations imperméables ne produisant pas d'eau.

I.2. L'eau dans le sol [16]

L'eau peut se trouver dans plusieurs états à l'intérieur d'un sol, suivant l'intensité des forces liant ses molécules aux particules solides **(figure I.4).** On distingue :

I.2.1. L'eau de constitution

C'est celle qui entre dans la composition chimique des minéraux dont les particules de sol sont formées ;

I.2.2. L'eau liée ou absorbé

C'est celle liée à la surface des grains très fins, qui est orientée par les forces d'attraction moléculaire et les forces électrostatiques ; elle a une viscosité élevée et ne transmet pas les pressions ;

I.2.3. L'eau libre

C'est celle qui circule librement dans les pores du sol sous l'effet des forces de pesanteur ;

I.2.4. L'eau capillaire

C'est celle qui, dans les sols non saturés, en présence d'air ou d'autres gaz, est retenue dans les canaux les plus fins du sol par les forces capillaires.

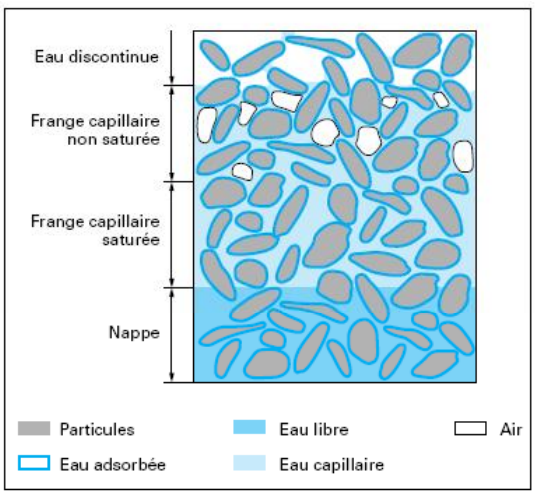


Figure I.2 : ***Différents états de l'eau dans le sol***

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

I.3. Alimentation et stockage de l'eau

I.3.1. Alimentation d'une nappe

Les eaux souterraines proviennent essentiellement de l'infiltration des eaux superficielles: on parle d'eaux vadoses. Les eaux dites juvéniles sont d'origine profonde. Les eaux fossiles sont des eaux d'infiltration anciennes. Les eaux connées sont des eaux salées datant de l'époque du dépôt des sédiments. Les eaux géothermales sont généralement des eaux vadoses réchauffées en profondeur.

La source d'alimentation en eau d'un bassin hydrologique est donc fournie par les précipitations efficaces, c'est à dire par le volume d'eau qui reste disponible à la surface du sol après soustraction des pertes par évapo-transpiration réelle. L'eau se répartit en 2 fractions:

- ✓ le ruissellement qui alimente l'écoulement de surface collecté par le réseau hydrographique;
- ✓ l'infiltration qui alimente le stock d'eau souterrain.

La hauteur d'infiltration est la quantité d'eau infiltrée à travers le sol pendant une durée déterminée. Le taux d'infiltration est le rapport entre la hauteur d'infiltration et la hauteur de précipitation efficace.

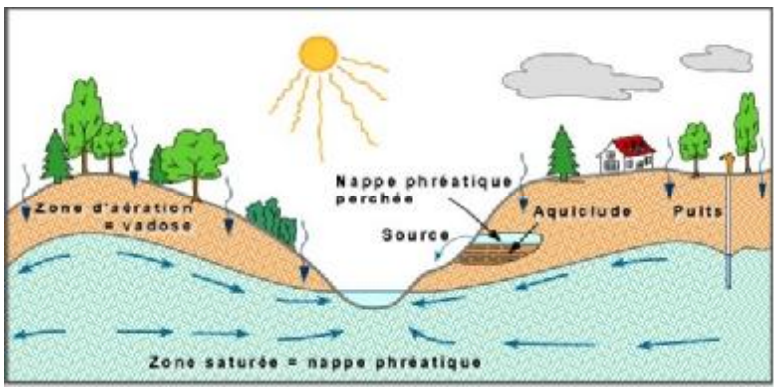


Figure I.3 : ***Alimentation d'une nappe***

I.3.2. Circulation de l'eau

Lorsqu'il pleut, l'eau pénètre dans le sol pour l'humidifier. Selon sa perméabilité, la migration de l'eau viendra alimenter la nappe phréatique pour créer une remontée de cette dernière. C'est ce que l'on appelle l'infiltration.

Il arrive parfois que l'eau infiltrée se déplace à l'intérieur du sol, dans la partie supérieure du profil ; on parlera alors d'écoulement hypodermique.

Si le taux de précipitation est supérieur au taux d'infiltration, il se produira du ruissellement. Lorsque la pluie sera terminée, le ruissellement cessera et le sol se ressuiera. Les pores grossiers (porosité drainable) se videront et selon la saison, il se produira de l'évaporation ou de l'évapotranspiration.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

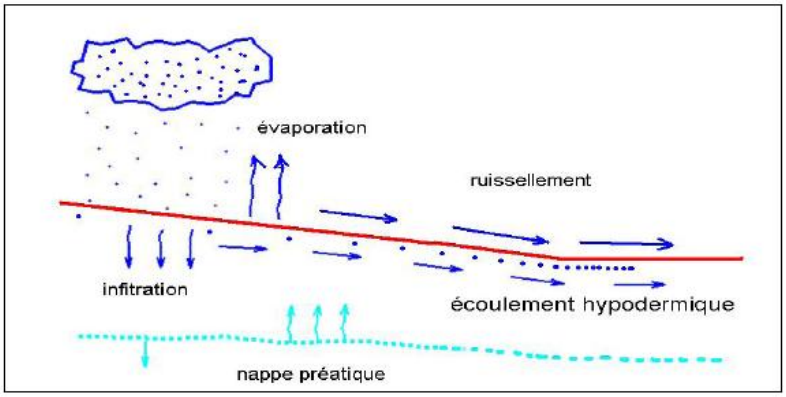


Figure I.4 : Circulation de l'eau

I.4. Déplacement de l'eau « loi d'écoulement dans le sol »

I.4.1. Définitions

I .4.1.1. Charge hydraulique

Pour décrire les **mouvements des fluides** en mécanique des fluides, on utilise la notion de charge hydraulique, qui est une énergie potentielle par unité de volume de fluide. Pour l'écoulement de l'eau, la charge hydraulique h a pour expression :

$$h = \frac{u}{\rho_w g} + z + \frac{v^2}{2g} = \frac{u}{\gamma_w} + z + \frac{v^2}{2g}$$

u : pression de l'eau,
g : accélération de la pesanteur,
v : vitesse d'écoulement de l'eau
z : cote (altitude) du point considéré, comptée positivement vers le haut à partir d'un niveau **de** référence donné (convention de l'hydraulique),
γ_w : poids volumique de l'eau.
ρ_w : masse volumique de l'eau.

La charge hydraulique contient trois termes : les deux premiers correspondent à l'énergie **des forces extérieures et le troisième à** l'énergie cinétique de l'eau en mouvement. La vitesse de l'eau dans **les sols est en général très faible. Il est pour cette raison négligé en mécanique des sols.** L'expression de la charge hydraulique se réduit donc **à :**

$$h = \frac{u}{\rho_w g} + z = \frac{u}{\gamma_w} + z$$

I.4.1.2. Gradient hydraulique

Le gradient hydraulique est un vecteur défini comme l'opposé du **gradient de la charge hydraulique h :**

$$\vec{i} = -\overrightarrow{\text{grad}}\, h$$

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

I.4.1.3. Surfaces équipotentielles et surfaces isopièzes

Les surfaces sur lesquelles la charge hydraulique est constante sont appelées « surfaces équipotentielles ». Les surfaces sur lesquelles la pression de l'eau est constante sont appelées « surfaces isopièzes ». Compte tenu de sa définition, le vecteur de gradient hydraulique en un point P est normal à la surface équipotentielle qui passe par ce point.

I.4.1.4. Lignes et tubes de courant

On appelle ligne de courant une courbe tangente en chaque point au vecteur vitesse d'écoulement en ce point. Il s'agit donc de la trajectoire (moyenne) dans le sol de l'eau qui passe par un point. Si cette courbe est rectiligne, l'écoulement est dit linéaire. Par chaque point d'un massif de sol homogène ne passe qu'une seule ligne de courant. Les lignes de courant qui partent des points d'une courbe fermée de l'espace délimitent un volume appelé « tube de courant », qui constitue une sorte de tuyau virtuel : l'eau qui entre dans un tube de courant ne peut sortir latéralement de ce volume en coupant les lignes de courant.

I.4.2. Loi de Darcy

L'étude du déplacement de l'eau dans un milieu poreux a été conduite expérimentalement par Darcy en 1856. Pour une même charge hydraulique (même énergie potentielle), Darcy définit un **coefficient de perméabilité K**, mesuré en m/s, dépendant du type de milieu poreux. La quantité d'eau transitant dans ce milieu est proportionnelle à la section totale traverséeA, au coefficient de perméabilité **K** du milieu et à la charge hydraulique **h** et inversement proportionnelle à la longueur **l** du milieu traversé:

$$\mathbf{Q\ (m^3/s) = K\ (m/s).A\ (m^2).\ h/l}$$

h/l est la perte de charge par unité de longueur, appelée encore gradient hydraulique **i** :

$$\mathbf{Q = K.\ A.\ i}$$ Avec **Q:** débit en m^3/s

I.4.2.1. La vitesse de filtration

elle est égale au rapport de la quantité d'eau passant en une seconde sur la surface A. C'est également le produit du coefficient de perméabilité par le gradient hydraulique.

$$\mathbf{V\ (m/s) = Q/A = K.h/l}$$

I.4.2.2. La Perméabilité

La perméabilité est l'aptitude d'un réservoir à se laisser traverser par l'eau sous l'effet d'un gradient hydraulique .Elle est mesurée notamment par le coefficient de perméabilité K défini par la loi de Darcy comme le volume d'eau gravitaire traversant une unité de section perpendiculaire à l'écoulement en 1 seconde sous l'effet d'une unité de gradient hydraulique. En prenant comme unités le m^2 et le m^3, K est exprimé en m/s.

I.4.2.3. Le coefficient de perméabilité

Le coefficient k de la loi de Darcy, appelé « coefficient de perméabilité », a la dimension d'une vitesse car le gradient hydraulique **i** est sans dimension (rapport de deux longueurs) et la vitesse d'écoulement de l'eau a elle-même la dimension

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

d'une vitesse. Il s'exprime en général en m/s. **Le coefficient de perméabilité (appelé aussi « conductivité** hydraulique ») varie largement avec la nature et l'état du sol.
Le coefficient de perméabilité dépend à la fois des caractéristiques du sol (granulométrie, porosité efficace) et des caractéristique de l'eau (viscosité, donc température, et masse volumique).

I.4.2.4. La transmissivité

La transmissivité caractérise la productivité d'un captage. C'est le produit du coefficient de perméabilité K par l'épaisseur de la zone saturée h. Sur le terrain, la transmissivité est mesurée par les pompages d'essai.

$$\mathbf{T\ (m^2/s) = K\ (m/s).\ h(m)}$$

I.4.2.5. Le coefficient d'emmagasinement

Le coefficient d'emmagasinement est déterminé à partir de la quantité d'eau libérée pour une perte de charge donnée, c'est à dire une baisse de pression, la perte, ou le gain, d'une certaine quantité d'eau se traduit par une variation de la charge hydraulique. Celle-ci est mesurée à l'aide de piézomètres. Pour une nappe libre, c'est la gravité qui provoque l'écoulement de l'eau.
Le coefficient d'emmagasinement S est défini comme le rapport du volume d'eau libérée (ou emmagasinée) par unité de surface sur la différence de charge hydraulique.

I.4.3. Mesure en laboratoire du coefficient de perméabilité du sol

Le coefficient de perméabilité des sols peut être mesuré en laboratoire, sur des échantillons de petit volume (quelques centaines de centimètres cubes) ou sur le terrain dans des forages. Les essais de laboratoire, qui sont décrits ici, sont habituellement effectués sur des éprouvettes de sol homogène, taillées dans les carottes prélevées sur le terrain. Les essais de terrain, qui peuvent tenir compte des hétérogénéités du massif de sol (présence de strates de matériaux
plus ou moins perméables, de fissures, de failles,...) donnent souvent une image différente, à plus grande échelle et plus représentative, de la perméabilité réelle du massif de sol.
La mesure directe de la perméabilité des sols en laboratoire s'effectue selon deux procédures, dites « à charge constante » et « à charge variable ». Les essais à charge constante sont mieux adaptés aux sols de forte perméabilité et les essais à charge variable aux sols de faible perméabilité **(tableau I.1). [16]**

Type de sol	gravier	sable	limon	argiles
K (m /s)	1 10^{-3}		10^{-6} 10^{-9}	10^{-11}
Méthode de mesure en laboratoire	Perméamètre à charge constante		Perméamètres à charge variable	

Tableau I.1 : ***Valeurs du coefficient de perméabilité des sols***

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

I.4.3.1. Essais à charge constante

Les essais à charge constante imposent une différence de charge **Dh** constante entre les deux extrémités d'une éprouvette de sol d'épaisseur **L et de section A** et l'on mesure la quantité d'eau Vw(t) qui traverse l'éprouvette au cours du temps **(figure I.5)**. Le coefficient de perméabilité est égale à : **K= Vitesse d'écoulement / gradient**

$$k = \frac{V_w(t_2) - V_w(t_1)}{A(t_2 - t_1)} \frac{L}{\Delta h},$$

où Vw(t1) et Vw(t2) sont respectivement les quantités d'eau qui ont traversé l'éprouvette aux temps t1 et t2 .

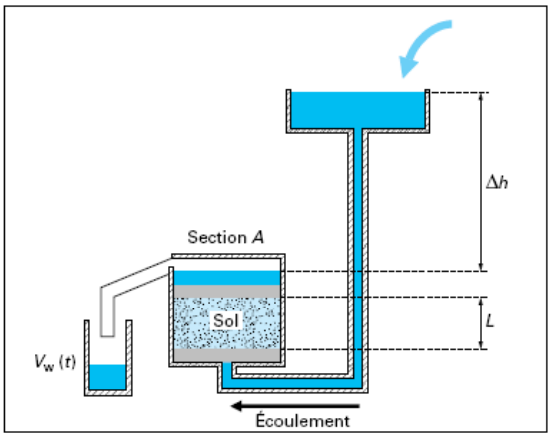


Figure I.5 : ***Essai de perméabilité à charge constante***

I.4.3.2. Essais à charge variable

Dans les essais à charge variable **(figure I.6),** on observe l'écoulement **à travers** l'éprouvette de l'eau **contenue dans un long tube de** faible section a. À mesure que l'eau traverse l'éprouvette, la différence **de charge entre les deux extrémités diminue et la vitesse** d'écoulement diminue également, jusqu'à tendre vers un état d'équilibre. La loi de Darcy peut s'écrire à chaque instant en fonction **de la différence de charge entre les deux extrémités de** l'éprouvette :

$$Q(t) = k\frac{\Delta h(t)}{L}A$$

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

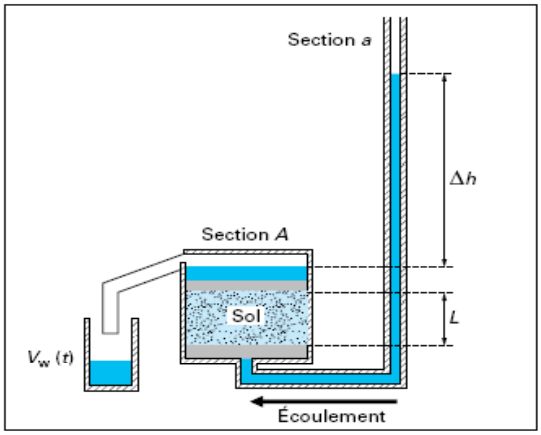


Figure I.6 : ***Essai de perméabilité à charge variable***

I.5. Hydrogéologie

I.5.1. Types de nappes

I.5.1.1. Nappes libres

La surface piézométrique coïncide avec la surface libre de la nappe qui est surmontée par une zone non saturée.

I.5.1.1.1. Nappe de vallée en pays tempéré (nappe phréatique)

Ce type de nappe est la première directement atteinte par les puits: **c'est la nappe phréatique**.

Lorsque le sol est uniformément poreux et perméable, l'eau de pluie s'infiltre jusqu'à une couche imperméable et sature la roche jusqu'à un certain niveau appelé surface libre de la nappe. Dans la nappe, l'eau circule jusqu'à des exutoires qui sont dans les points bas de la topographie: sources, rivières. Les courbes isopiézométriques indiquent la pente de la surface libre et le sens d'écoulement de la nappe. Les lignes de crête correspondent aux zones de divergence des courants. L'eau circule dans toute l'épaisseur de l'aquifère, plus ou moins parallèlement à la surface libre sauf au niveau des exutoires et des lignes de crête; les vitesses sont plus élevée vers la surface. Quand l'exutoire n'est pas localisé, on parle de "surface de suintement".

I.5.1.1.2. Nappe alluviale

L'aquifère est constitué par les alluvions d'une rivière. L'eau de la nappe est en équilibre avec celle de la rivière et les échanges se font dans les deux sens. Les alluvions sont très perméables; elles peuvent être très épaisses (une centaine de mètres) et constituer un réservoir très important qui sert à l'alimentation en eau des villes situées le long de la rivière. Ces nappes, soutenues par l'apport de la rivière (ou d'un lac), sont très vulnérables à la pollution.

I.5.1.1.3. Nappe en pays karstique

En pays calcaire, l'eau remplit et circule dans les cavités du karst dont certaines sont complètement ennoyées. Les vitesses de circulation sont grandes et les sources peuvent être temporaires et abondantes (résurgences).

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

I.5.1.1.4. Nappe en plaine littorale

La nappe d'eau douce qui est située dans les alluvions est en équilibre hydrostatique avec la nappe salée issue de l'eau de mer. Ces 2 nappes se mélangent peu, leur interface constitue un biseau salé. Tout rabattement de la nappe d'eau douce entraîne la rupture de l'équilibre et la progression du biseau salé vers l'intérieur des terres.

I.5.1.1.5. Soutien d'une nappe

Une nappe est limitée vers le bas par un niveau imperméable. Elle peut être alimentée, ou soutenue, par l'infiltration de l'eau d'une rivière.

I.5.1.2. Nappes captives

La nappe est confinée car elle est surmontée par une formation peu ou pas perméable; l'eau est comprimée à une pression supérieure à la pression atmosphérique. A la suite d'un forage au travers du toit imperméable, l'eau remonte et peut jaillir: la nappe est artésienne.

I.5.2. Étude hydrogéologique

L'étude hydrogéologique est une composante importante de toute étude géotechnique. C'est elle qui caractérise la présence et l'état des eaux dans les terrains concernés par les projets. Elle conduit, en particulier, à localiser les niveaux aquifères, puis à les décrire.
L'inventaire hydrogéologique (relevé des puits et des piézomètres existants, mesure du débit des sources) permet de dénombrer les nappes et de les situer. Chaque nappe est ensuite étudiée séparément. La connaissance de la surface piézométrique des nappes est essentielle car son interprétation apporte les éléments suivants:

- ✓ les limites du bassin hydrogéologique, qui ne coïncident pas nécessairement avec celles du bassin versant **(figure I.6)** ;
- ✓ les lignes de courant, perpendiculaires aux courbes équipotentielles
- ✓ les axes de drainage et les relations entre rivières et nappes alluviales.

Une divergence des lignes de courant indique une zone d'alimentation. Une convergence des lignes de courant indique un point bas de la surface piézométrique, dont une zone d'exutoire favorable pour un captage. La géométrie du mur et du toit de la nappe doit être étudiée de manière précise car son rôle est très important pour l'étude et la réalisation des travaux.
Toutes ces données sont généralement présentées sous forme de cartes.
Pour prévoir le drainage d'une nappe ou son exploitation, il est nécessaire de connaître le mécanisme de son alimentation, qui ne peut être compris que si l'on suit l'évolution de la nappe pendant une année au moins, pour pouvoir établir des corrélations entre pluviométrie et niveau piézométrique. Ce niveau pouvant varier énormément selon les saisons, l'étude permettra de choisir l'époque la plus favorable pour l'exécution des travaux.
Une étude hydrogéologique n'est utile que si elle est complète, c'est-à-dire que si :

— elle a une durée suffisante, au moins égale à une année ;
— elle analyse l'ensemble du bassin hydrogéologique intéressé par les travaux, qui peut déborder largement de l'emprise du projet.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

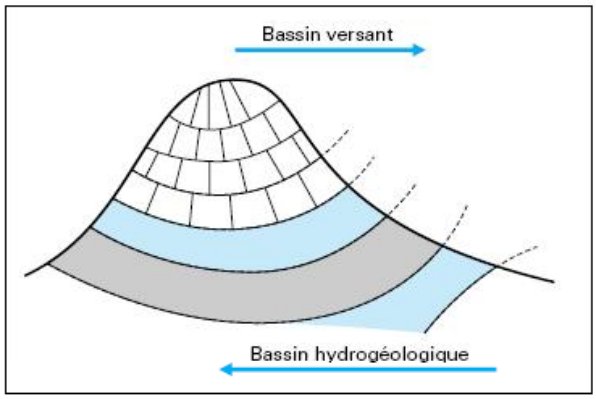


Figure I.7 : ***Bassins versants superficiel et hydrogéologique.***

I.5.3. Mesure en place des coefficients de perméabilité (Essais d'eau)

Les mesures de perméabilité à petite échelle donnent souvent une vue biaisée de la perméabilité d'un massif de sol et il est important de réaliser en complément des mesures de perméabilité sur le terrain, dites essais d'eau.

On distingue deux types d'essais de perméabilité en place : **l'essai ponctuel et l'essai de pompage**. **[16]**

I.5.3.1. Essai ponctuel

I.5.3.1.1. Essai Lefranc

L'essai ponctuel de perméabilité, appelé aussi **essai Lefranc** dans les formations meubles ou peu consolidées, est habituellement exécuté en même temps que le forage dans lequel on le réalise. Il consiste à injecter ou pomper de l'eau à débit constant dans une cavité, limitée latéralement et à sa partie inférieure par la paroi du forage et, à la partie supérieure, par un bouchon étanche. On crée ainsi une variation de charge hydraulique Dh dans la cavité. Lorsque le régime d'équilibre est atteint, le débit Q est lié à la variation de la charge hydraulique et au coefficient de perméabilité k du massif par la relation linéaire :

$$Q = k.\ C.\ \Delta h$$

Avec :

Q (m^3/s) : débit constant,

k (m/s) : coefficient de perméabilité cherché,

C (m) : coefficient dépendant de la forme de cavité,

Δh (m) : variation de charge observée dans la cavité.

En pratique, on assimile la cavité à une sphère de même surface de rayon r. Le coefficient C vaut alors 4π r. Pour obtenir une meilleure précision, on pompe ou injecte successivement à plusieurs valeurs du débit. Généralement, on préfère injecter Dans les terrains peu perméables, on procède d'une manière différente, car les débits sont trop faibles. On augmente ou diminue la charge dans la cavité et on étudie le retour à l'équilibre.

L'essai Lefranc est rapide à réaliser, mais la zone de terrain intéressée par la mesure est peu étendue. La précision est également faible et il faut réaliser de nombreux essais sur un site pour obtenir la valeur moyenne du coefficient de perméabilité et une idée de l'hétérogénéité

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

du site. L'essai est réalisé soit au fur et à mesure de l'avancement du forage, soit dans les piézomètres.

L'essai Lefranc est décrit par la norme française NF P 94-132.

I.5.3.1.2. Essai Lugeon

Dans les formations compactes et fissurées, l'essai ponctuel est réalisé sous pression dans une tranche de forage limitée soit par le fond et un obturateur, soit par deux obturateurs **(figure I.7)**. Il s'appelle alors **essai Lugeon**.

La réalisation de l'essai Lugeon est délicate. La perméabilité du terrain est exprimée en unités Lugeon. Elle caractérise surtout l'état de fissuration du massif et la possibilité de circulation de l'eau. L'essai Lugeon est décrit par la norme française NF P 94-131.

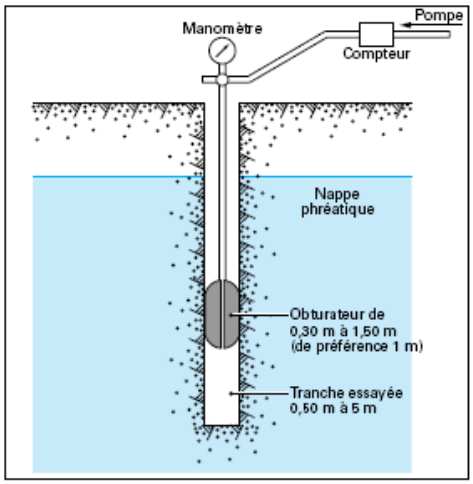


Figure I.8 : Essai *Luegeon principe*

I.5.3.2. Essai de pompage

L'essai de pompage est destiné à estimer le coefficient de perméabilité global ou « en grand » des sols, ainsi que le facteur d'emmagasinement et le rayon d'action du pompage. On le réalise dans un puits de diamètre suffisant pour y descendre une pompe ou une crépine.

Des piézomètres sont disposés autour du puits. On pompe ensuite à débit constant et on suit l'abaissement du niveau de la nappe dans le puits et dans les piézomètres.

L'essai de pompage est préférable à l'essai Lefranc. Il est plus onéreux mais ses résultats sont plus sûrs. Toutefois, l'essai est impossible quand le débit de pompage est inférieur à 1 m^3/h, ce qui correspond généralement à un produit « épaisseur de la nappe x coefficient de perméabilité » inférieur à 10^{-5} m^2/s.

I.5.4. Mesure de la pression interstitielle dans le sol (Piézomètres)

La mesure des pressions interstitielles dans les sols s'effectue au moyen de piézomètres. Le piézomètre le plus simple **(figure I.8)** est constitué d'un tube dont la partie inférieure est crépinée (perforée) pour permettre à l'eau de pénétrer dans le tube. La partie crépinée du tube doit être isolée du reste de la nappe par un bouchon étanche, afin de limiter les dimensions de la zone où la pression est mesurée. L'eau se stabilise dans le tube au niveau (piézométrique) qui équilibre la pression interstitielle au niveau de la crépine. Le repérage du

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

niveau de l'eau dans le tube permet donc de déterminer la pression cherchée. Lorsque la charge ou la pression varie au cours du temps, le niveau d'eau dans le tube varie après échange d'eau avec le terrain. Si celui-ci est très perméable (typiquement, pour un coefficient de perméabilité supérieur à 10^{-5} m/s), ces variations sont instantanées. Sinon, elles nécessitent un certain temps, dit temps de réponse du piézomètre, qu'il est nécessaire de limiter si l'on veut mesurer des variations rapides de la pression d'eau. On peut réduire le temps de réponse de deux façons : soit en réduisant le diamètre du tube de mesure, soit en utilisant des piézomètres fermés, dont la cavité de mesure est limitée à quelques centimètres cubes.

Ces piézomètres fermés sont de plusieurs types :

— les piézomètres hydrauliques **(figure I.9)** reliés à l'appareil de mesure (manomètre ou capteurs de différents types) placé à la surface du sol par l'intermédiaire d'une tubulure remplie d'eau désaérée ;

— les piézomètres à membrane comportant, au contact de l'eau dans le capteur, une membrane dont la déformation est mesurée par différentes techniques et sert à évaluer la pression de l'eau dans la cavité de mesure :

- ✓ application d'une contre-pression derrière la membrane, dans les piézomètres à contre-pression pneumatique ou hydraulique ;
- ✓ mesure des déformations de la membrane au moyen d'une corde vibrante (piézomètres à corde vibrante) ;
- ✓ mesure des déformations de la membrane au moyen de jauges collées sur la membrane (piézomètres électriques à jauges).

Si les techniques de mesure des pressions interstitielles sont bien au point, la pose des piézomètres conditionne la qualité des mesures et doit faire l'objet d'une attention constante.

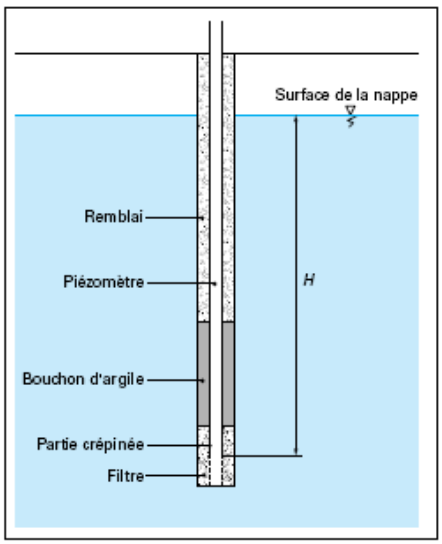


Figure I.9 : ***Piézomètre ouvert***

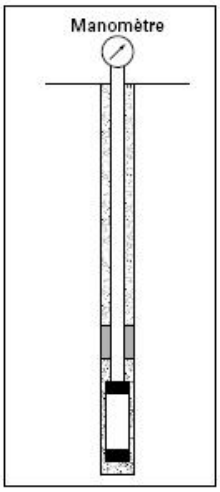


Figure I.10 :*Piézomètre fermé de type hydraulique*

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

II.1. Définition d'un drainage

Un drainage est une opération qui consiste à faciliter, au moyen de drains ou de fossés, l'écoulement de l'eau en excès dans un terrain ; une route ; un champ, ….. Il peut être utilisé à différentes fins comme la protection d'un bâtiment contre l'humidité jusqu'à l'assèchement d'un terrain,… La présence de drainage pour une construction ou pour un terrain est très importante car sans le drainage, la probabilité d'inondation, de moisissure des murs et d'affaissement de terrains, serait bien plus élevée. Un drainage sert donc à contrôler l'eau.

II.2. Les facteurs à prendre en compte pour la conception d'un réseau de drainage

Le diagnostic pédologique préalables au drainage doit s'appuyer sur la connaissance de deux facteurs importants : la dynamique hydrique des sols d'une part, avant aménagement (importance relative des phénomènes de ruissellement, infiltration, rétention, remontées capillaires...) et pendant le drainage (trajets successifs empruntés par l'eau libre pour atteindre les drains) ; et le comportement physique d'autre part, notamment l'évolution de la porosité et de la structure du sol après remaniement par les engins.

II.3. Effets du drainage sur l'environnement

Les eaux de drainage sont des eaux dites « propres » (non souillées par le système qui les recueille) qui sont évacuées vers le milieu naturel par le biais d'un exutoire.

La réalisation d'ouvrages de drainage entraîne des modifications plus ou moins importantes de l'environnement. Le projeteur doit en avoir conscience au regard :

- De la réglementation en vigueur
- Des engagements de l'Etat quant à la protection de l'environnement du projet

On peut citer certains effets négatifs induits du drainage :

- L'effet sur la végétation en particulier arbustive au voisinage des ouvrages par assèchement des sols (ainsi des gros chênes que l'on a voulu sauvegarder en bordure de déblai sont-ils devenus rapidement des risques importants pour les usagers par leur dépérissement et le risque de chute) ;
- La réduction des zones humides que l'on a asséchées.

II.4. Amélioration des conditions hydriques des matériaux

Il s'agit de réaliser des ouvrages destinés à collecter les eaux de surface ou souterraines et à drainer le terrain naturel, ouvrages provisoires qui peuvent selon les cas, être intégrés dans les systèmes de drainage ou d'assainissement définitifs. Mais, il convient d'ajouter que même si la situation initiale est améliorée en réduisant les teneurs en eau des matériaux, le drainage ne permet pas d'éviter dans tous les cas le traitement des matériaux par des réactifs adaptés. Lorsqu'une amélioration de l'état hydrique des matériaux est recherchée, les études auront défini :

- ✓ La nature des sols à drainer, leur état hydrique, et leur géométrie ;
- ✓ L'évaluation de leur perméabilité ;

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

- ✓ Les conditions météorologiques au moment des sondages notamment et leur influence par rapport au besoin de drainage ;
- ✓ Les caractéristiques de la nappe, ou les conditions hydrogéologiques en général ;
- ✓ Les conséquences du projet sur l'environnement (et réciproquement) ;
- ✓ Les moyens possibles de réalisation du drainage et le dimensionnement.

Les études doivent évidemment cerner les conditions hydrogéologiques les plus défavorables. Dans l'idéal, le suivi des niveaux d'eau se fera sur au moins une année, en précisant le contexte climatique (année humide ou année de sécheresse).

En plus des moyens classiques de sondage et de reconnaissance de terrain (piézomètres, prélèvements d'échantillon, essais de pompage…) l'apport de la photo-interprétation peut avoir un certain intérêt pour détecter les zones humides et les indices hydriques, hydromorphologiques ou phytographiques.
D'autres sources d'informations peuvent être intéressantes : bibliographie, connaissance régionale, enquête de terrain…
L'abaissement de la teneur en eau par drainage sera préconisé si la nature des sols s'y prête.

II.5. Les différents types de drainage

II.5.1. Le drainage de surface

L'assainissement et les drainages de surface, collectant les eaux de ruissellement, limitent les infiltrations et permettent ainsi d'éviter la saturation des terrains ; ils agissent aussi en diminuant l'alimentation des nappes.ils empêchent également les érosions de surface qui, à terme, peuvent conduire à des désordres et à des instabilités .les eaux collectées doivent être évacuées vers des zones non sensibles.

Le drainage de surface est la suppression ordonnée des excès d'eau à la surface du sol grâce à des canaux naturels améliorés, à des fossés creusés et au modelage du terrain. L'efficacité est variable suivant les conditions :

hydrogéologiques : ruissellement individualisé à l'amont, émergences ponctuelles ou linéaires en paroi,
topographiques : possibilité d'acheminer par gravité les eaux captées hors du secteur sensible,
météorologiques : endommagement ou obstruction du dispositif par le gel ou la neige.

En cas de succès, l'assèchement, au moins partiel, du rocher de surface réduit considérablement les dégradations superficielles.

L'efficacité dépend aussi de l'entretien des systèmes de drainage : une rigole bouchée, une gouttière percée, déboîtée, provoque une concentration des eaux dans le terrain et aggrave le problème qui devait être traité.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

II.5.1.1. Entretien

Pérennité aléatoire, qui dépend essentiellement de l'entretien :

- ✓ curage régulier des rigoles pour éviter la formation de barrages (surtout après des épisodes de pluviométrie intense),
- ✓ surveillance des systèmes collecteurs : réparation rapide nécessaire en cas de fuite (tuyaux percés, bouchés, éléments déboîtés),
- ✓ contrôle souhaitable après les périodes de gel, particulièrement dommageables.

II.5.2. Drainage souterrain

Les eaux souterraines comprennent d'une part, les eaux de nappe **phréatique et** d'autre part, les eaux d'infiltration. **Si ce type de drainage est nécessaire, il convient de vérifier ses** conséquences sur les circulations d'eaux souterraines.

Le rendement d'un système de drainage souterrain vaudra tout le temps et les efforts investis dans son entretien. Sa durée sera écourtée, même s'il est bien construit et prévu pour durer toute une vie, à moins d'être soigneusement entretenu.

II.5.2.1. Entretien

- ✓ **Le plan du système de drainage :** Il est important de garder un plan exact du système de drainage souterrain si on veut faire un entretien adéquat. Le plan devra montrer l'emplacement de tous les fossés et drains souterrains, leur dimension et leur profondeur, leur pente ainsi que leur écartement. Le plan devrait être mis à jour lorsqu'on prolonge ou répare le système.
- ✓ **La vigilance est importante :** si un nouveau système de drainage souterrain est bien entretenu durant les deux ou trois premières années, il ne demandera que très peu d'efforts par la suite, car durant cette période les problèmes qui pourraient survenir sur les lignes de drains et dans certaines sections durant le remblayage final auront été résolus.

II.5.3. Le drainage profond

Il s'agit de capter et de réduire la quantité d'eau à l'intérieur d'un massif rocheux ou d'un terrain meuble en favorisant l'écoulement gravitaire à l'aide de réseaux de drains **subhorizontaux ou d'ouvrages de grande extension et/ou de grand diamètre (drains ou puits verticaux, galeries drainantes, etc.).**

II.5.3.1. Les systèmes de drainage profond [3]

II.5.3.1.1. Drains subhorizontaux

Ce sont généralement des tubes en PVC Les drains sont généralement revêtus de nappes géotextiles pour éviter l'engorgement ou le colmatage par les particules fines. Les profondeurs maximales atteignables sont de l'ordre de **50 à 60 m.**

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

II.5.3.1.2. Les galeries drainantes

Ils ont en général des sections modestes (hauteur 1.80 à 2.00 m, largeur 1 à 2 m) afin de permettre le contrôle et la maintenance des ouvrages. La base de la galerie est positionnée à une profondeur légèrement inférieure à celle du niveau moyen des eaux souterraines, tandis que son sommet intercepte ce niveau. Les galeries drainantes peuvent soit être laissées vides, soit être remplies avec du matériel drainant.

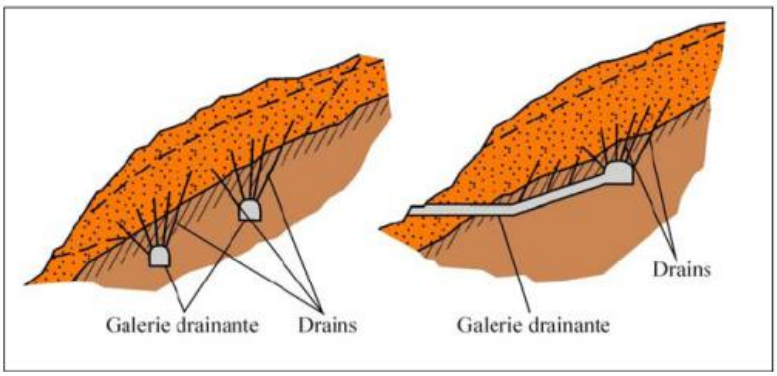


Figure II.1 : ***Galerie drainante***

II.5.3.1.3. Les éperons drainants

Ce sont des excavations étroites (environ 1 m) mais pouvant atteindre une profondeur supérieure à 7 m, qui comportent une cunette bétonnée surmontée par un système de drainage de section variable et par une structure porteuse perméable.

II.5.3.1.4. Les puits drainants

Ils sont constitués par une structure verticale en béton, armé ou non, et une couronne extérieure de drains forés subhorizontaux. Les puits drainants peuvent servir pour le drainage des nappes phréatiques à des fins de stabilisation ou pour l'alimentation en eau potable. Ils peuvent également avoir une fonction de soutènement dans les interventions de confortement et de stabilisation des pentes en mouvement.

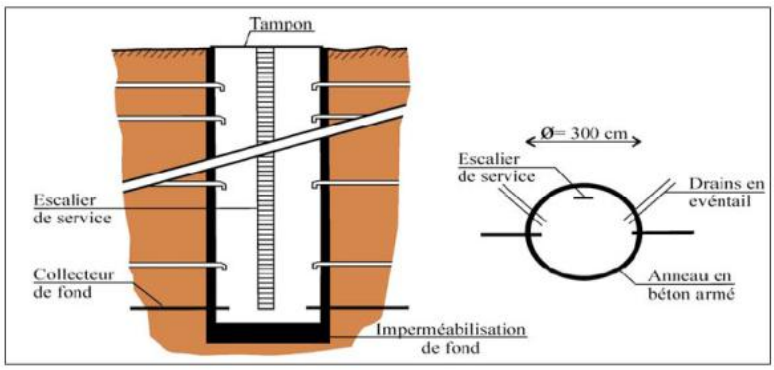


Figure II.2 : ***Puits drainant***

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

II.5.3.1.5. Les tranchées drainantes

Ce sont des structures allongées, disposées perpendiculairement aux écoulements. Elles ont une profondeur de 4 à 6 m et une largeur d'environ un mètre (0.80 à 1.20 m). Dans le cas des versants peu inclinés (5 à 10°), le fond de l'excavation peut avoir une pente uniforme.

Pour les pentes plus élevées ou pour des tranchées très longues, un terrassement doit être réalisé. Le fond de la tranchée est constitué par un exutoire en béton, sur lequel on dispose un tube en PVC, en béton ou en métal. Le tube est recouvert par un corps drainant, qui peut être constitué par:

- Des graviers et des sables lavés, contenant peu de particules fines (< 3 % poids) recouverts par une couche de terrain végétal d'environ 50 cm d'épaisseur.

- Une couche de graviers lavés d'une épaisseur de 5 à 20 mm, complètement enveloppée dans un géotextile mis à contact avec le terrain à drainer. Le remplissage de la tranchée est ensuite complété par une couche de sable, puis par du terrain végétal.

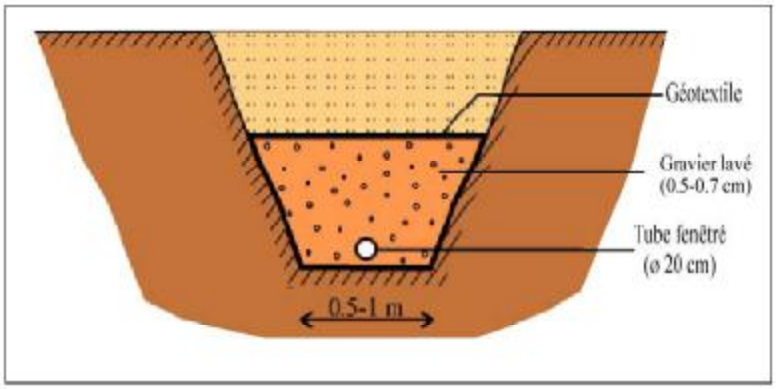


Figure II.3 : ***Tranchée drainante***

II.5.3.1.6. Les parois drainantes

Le principe des parois drainantes est identique à celui des tranchées drainantes. Par contre, les profondeurs atteignables sont supérieures à 30 m, pour une largeur de 60 à 120 cm. En fonction du type de soutènement adopté et du mode d'excavation, les parois drainantes peuvent être:

- A poteaux: ce type est utilisé pour des sols qui peuvent être excavés sans soutènement. Un coffrage est ensuite introduit dans l'excavation, puis rempli avec du matériel drainant.

- A panneaux: dans des terrains qui nécessitent de soutènement, l'excavation est réalisée avec de la bentonite. Le coffrage est ensuite introduit, puis rempli avec du matériel drainant. L'excavation peut au besoin être réalisée à l'intérieur d'un coffrage rectangulaire enfoncé progressivement dans le terrain, à l'aide d'un jet d'eau à haute pression. Le matériel peut ensuite être extrait à l'air comprimé.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

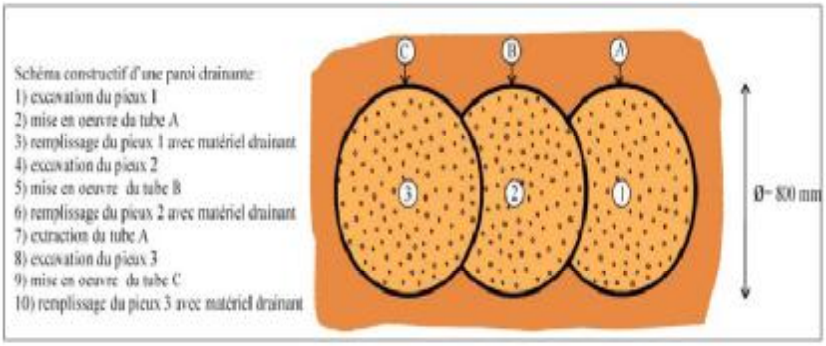


Figure II.4 : ***Paroi drainante***

II.5.3.2. Domaine d'utilisation

II.5.3.2.1. Les drains subhorizontaux

Ils sont principalement utilisés dans les interventions de confortement des glissements rotationnels. Ils sont alors placés à la hauteur des zones d'arrachement. Dans tous les cas où l'inclinaison du versant est élevée. Les drains subhorizontaux sont couramment associés à des puits verticaux de grand diamètre ou à des galeries drainantes. Ils sont alors disposés en éventail sur un ou plusieurs niveaux, ou parallèlement entre eux.

II.5.3.2.2. Les éperons drainants

Ils sont utilisés dans les interventions de confortement des pentes en mouvement qui nécessitent, à cause de la profondeur du plan de glissement, des caractéristiques lithologiques ou de l'inclinaison du terrain, l'association d'une action résistante par rapport aux poussées des terrains en mouvement à l'action drainante elle-même. Un système auto-consolidant peut ainsi être réalisé sans faire appel à d'autres ouvrages de soutènement.

II.5.3.2.3. Les galeries drainantes

Elles sont couramment associées aux drains subhorizontaux et aux puits. Elles sont utilisées dans les interventions de confortement et de stabilisation des pentes en mouvement, dans le cas de conditions hydrogéologiques particulières (présence de zones de failles ou d'intense fracturation, contact entre le substratum rocheux et les dépôts de couverture, etc.). Afin de garantir la stabilité des ouvrages importants, ces situations requièrent toutes un abaissement du niveau de la nappe.

II.5.3.2.4. Les tranchées drainantes

Elles sont utilisées pour le drainage des eaux d'infiltration et de la nappe. L'abaissement du niveau piézométrique et la réduction des pressions d'eau dans le terrain permettent d'obtenir une augmentation de la cohésion, améliorant ainsi les conditions de stabilité du versant.

Les tranchées drainantes, de même que les éperons et les parois drainantes sont utilisées dans les interventions de confortement des glissements rotationnels et/ou des glissements peu profonds.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

II.5.3.3. Entretien

La pérennité de ces ouvrages dépend essentiellement de la nature du massif rocheux ou du terrain dans lequel ils sont réalisés. En particulier, dans les massifs calcaires, les drains peuvent se colmater rapidement à cause du dépôt de calcite.

L'entretien concerne principalement les drains subhorizontaux, qui doivent être décolmatés régulièrement avec des jets à haute pression d'eau ou d'air, et remplacés lorsqu'ils sont hors d'usage. De plus, l'exutoire et les collecteurs qui peuvent être endommagés doivent régulièrement être nettoyés et curés.

II.6. Les produits de drainage [2]

II.6.1. Tuyaux de drainage

Il existe a l'heure actuelle sur le marché des produits d'assainissement adaptés aux drainages par perforation (béton ; pvc).....et des produits spécialement conçus pour une telle utilisation (terre cuite, béton poreux, drains annelés en PVC ….).
Les différents tuyaux sont de diamètre variable et se classe en :

- Drains
- Collecteurs drainants
- Collecteurs non drainants

Les drains sont généralement mis en œuvre dans un massif filtrant et seuls certains tuyaux, par exemple en PVC annelé sont proposés avec un filtre associé.

Chaque type de produit possède son domaine d'application privilégié ; à savoir :

- Drain annelé en PVC pour l'agriculture
- Drain en PVC rigide ou en béton poreux pour la route

Mais il est difficile de définir de manière rigoureuse et stricte les différents domaines d'utilisation de chacune des différentes familles de produits, car cela dépend de la quantité d'eau à évacuer ; des charges engendrées par le terrain supérieur qu'ils auront à supporter.

Figure II.5 : ***Figure tuyaux de drainage***

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

II.6.1.1. Systèmes à base de terre cuite

Autrefois fréquemment utilisés, les drains en poterie sont aujourd'hui de plus en plus délaissés au profit des matières plastiques. Lorsqu'on les rencontre ; ce sont des tuyaux cylindriques placés à joints vifs à raison de 3 au mètre linéaire ; leur épaisseurs varie avec le diamètre. Ils doivent être cylindriques et non ovalisés et posséder des tranches nettes et perpendiculaires à leur axe longitudinal.

Leurs diamètres usuels sont compris entre 6 et 20 cm, la pose manuelle de tels drains nécessite beaucoup de soins, dans la mesure où l'eau pénètre par les joints. Ces derniers ne doivent en aucun cas laisser passer les éléments finis contenu dans le sol ; d'où la nécessité de les protéger par un massifs filtrant.

II.6.1.2. Systèmes en fibre-ciment

Il n'existe plus de canalisations contenant des fibres d'amiantes, et ce, depuis l'interdiction de l'exploitation de l'amiante.

II.6.1.3. Drains et collecteurs en béton

Il s'agit de tuyaux d'assainissement en béton munis de perforations ou de fontes.

On a souvent recourt au béton pour les collecteurs importants, leurs diamètre usuel étant de 50cm_60cm_80cm_100cm ; voire plus, de tels tuyaux appelés plus couramment buses, ont généralement une longueur unitaire de 1métre, ils ne sont pas drainants mais ils servent uniquement à évacuer les eaux vers un exutoire.

II.6.1.4. Système en béton poreux

Les drains en béton poreux à granulats minéraux ou plastiques captent l'eau par toute leur surface et permettent des débits d'évacuation très importants ; ils offrent une bonne résistance a l'écrasement (5tonnes à 30tonnes au mètre linéaire) ; les assemblages à emboitement réduisent le risque de déplacement accidentel.

II.4.1.5. Drains en matière plastique

Ce sont actuellement les drains les plus employés. Il faudra distinguer les drains rigides qui se rapprochent des tuyaux classiques et les drains souples.

II.6.1.5.1. Drains rigides

Ils sont en PVC ou en polyéthylène dur. Leur surface est lisse, striée en long ou même cannelée sur une partie de leur périmètre, ils disposent de fontes longitudinales, transversales ou de trous. D'autres disposent d'une cuvette circulaire ou trapézoïdale.¨

Leurs longueurs varie entre 4 et 12 mètres ,ils s'assemblent par emboitement ;leurs diamètre usuel est de 6.3-9-10-11-16-20-25 et 31,5cm.

Les drains rigides ne doivent pas présenter de flèches. Ils doivent être stockés avec soin à l'abri de la lumière : attention aux effets souvent néfastes des rayons du soleil sur le PVC.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

II.6.1.5.2. Drains souples

Ce sont des produits annelés en filets parallèles ou hélicoïdaux. Ils disposent de fentes transversales ou encore de perforations dans le creux des rainures.

Leur résistance à l'écoulement est plus élevée que celle des drains lisses ; par contre ils sont moins sensibles à l'écrasement, ce qui est intéressant lorsque le drain est plus profond, donc plus sensible aux charges exercées sur le sol.

De tels produits sont livrés en bobines de 50 à 250m, selon leurs diamètre, ayant été conçus à l'origine pour une mise en place mécanisée (cas de drainage agricole) .L'épaisseur du PVC est de 0 ,7 à 1mm .La surface annelée permet l'accroissement de la résistance à l'écrasement ainsi que la possibilité de flexion des tuyaux.

Les drains souples sont généralement livrés en bobines. Elles devront être stockées à plat et non de chant.de tels produits font l'objet d'une normalisation : séries NF U 51-101 - 151 ; NF T 51-063 ; NF T 54-003 et NF T 50-024.

Les raccordements entre drains et collecteurs sont assurés par des accessoires de raccordement, il existe toute une gamme de produits tels que :

- Les manchons doubles
- Les manchons de réduction
- Les raccords en T
- Les coudes de jonction
- Les obturateurs d'extrémité

Il convient de réaliser un massif drainant composé de graviers d'environ 20cm au-dessus du drain.

II.6.1.6. Drains enrobes d'un filtre

Certains drains peuvent être livrés avec un enrobage ou peuvent être enrobés sur le chantier de divers types de manchons ou de nappes. Il s'agit d'équiper les drains d'un filtre qui leur soit solidaire. Plusieurs matériaux sont ainsi utilisés :

- La fibre de verre
- Les textiles de types non-tissé
- La tourbe
- La fibre de coco
- La paille

Les solutions les plus courantes pour les drains en usines, sont les fibres de coco ainsi que les fibres synthétique.

a. Fibre de coco : ce sont des fibres végétales longues, réputées imputrescibles. Mais elles peuvent s'avérer fragiles dans certains types de sols.

b. Fibre synthétiques : Elles sont en polyester ou en polypropylène, assemblées par liaison chimique ou par aiguilletage.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Figure II.6 : ***Drain souple annelé enrobage végétal***

Figure II.7 : ***Drain souple annelé enrobage géotextile***

II.6.1.7. Drains en résines

Il s'agit de drains entièrement poreux, prêt a manchonner, dont le diamètre pourra être de : 3,2-6, 3 et 7,5 cm pour des éléments de longueur unitaire 1metre. Leur résistance mécanique pourra aller de 2Kg par cm2 jusqu'à 3Kg par cm2.

II.6.2. Systèmes de drainage horizontal

Le drainage horizontal est généralement assuré par un réseau de drains (tuyaux) et de collecteurs drainants mais on a parfois recours à des systèmes qui intéressent l'ensemble de la surface à traiter. C'est généralement le cas lorsqu' on se trouve en présence d'une construction :

- Terrain de sport
- Dallage sur terre-plein
- Voies de circulation

La solution la plus classique consiste à utiliser des granulats spécifiques, constituant la couche drainante, ils sont souvent associés à un filtre (géotextile) qui les protège.

Les granulats peuvent être employés en couche drainante et ce pour des critères de poids, de rétention d'eau, voire même de disponibilité locale. On utilise le plus souvent des granulats légers tels que les pouzzolanes, l'argile expansée…

L'utilisation de tels produits présente le double avantage d'un gain de poids et d'une protection de l'étanchéité.

II.6.3. Système de drainage vertical

Les produits industrialisés destinés à constituer un drainage vertical présentent des caractéristiques communes, ainsi qu'un certain nombre d'avantage. Parmi celle –ci retenons : Protection de l'imperméabilisation des murs concernés : ils protègent du remblai, en particulier d'éléments aux bords tranchants, la surface du mur du sous sol.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Utilisation des terrains naturels lors des opérations de remblaiement : Dans la mesure où il existe un drain efficace le long du mur, on pourra réutiliser dans de nombreux cas le terrain provenant des fouilles lors des opérations de remblaiement.

Mise en œuvre rapide : les systèmes de drainage verticaux se mettent en place rapidement de part leur faible poids et sont d'une mise en œuvre relativement aisée ; mais celle – ci devra être soignée.

Création d'une lame d'air : La pose d'un tel système de matériaux drainant le long des murs se sous sol entraine de fait, la création d'une lame d'air permanente ; ce qui participe bien évidement à l'assèchement de ces derniers.

Par contre de tels produits doivent être choisis et mis en œuvre avec soin.

Au nivaux des choix, il ne faudra pas oublier que certains produits subissent un écrasement du fait de la poussés du terrain ; conduisant a une diminution de la capacité drainante et que certains systèmes, ou matériaux correspondent a l'évacuation de débits importants (dalles en béton poreux,….), d'autre à des débits plus restreint.

Quant à la mise en œuvre proprement dite, il faudra veiller à :

- La protection de la partie haute du système de drainage afin de le protéger contre toute infiltration de terre qui conduirait inévitablement à son colmatage;
- Au raccordement verticale entre les éléments ; cas particulier des nappes drainantes.
- Au raccordement du système de drainage verticale avec collecteur afin d'assurer une évacuation efficace.

II.6.4. Géotextiles et produits apparentés: [4]

Les géotextiles et produits apparentés permettent d'améliorer le comportement mécanique et hydraulique du sol et leur emploi s'est largement développé dans des domaines très diversifiés. Les géotextiles sont définis comme des produits textiles à base de fibres polymères se présentant sous forme de nappes perméables, souples, résistantes et filtrantes, utilisés dans le domaine de la géotechnique et du génie civil. Ce sont en fait des textiles, utilisés au contact du sol.

Les principales fonctions sont au nombre de cinq : **la séparation, la filtration, le drainage** le **renforcement** et la **protection**. Selon les fonctions qu'ils doivent assurer, les propriétés requises varient.

II.6.4.1. Différents type de Géotextiles

- ✓ **Géotextile non tissé (GTX-N) :** Géotextile fait de fibres, de filaments ou d'autres éléments orienté(e)s directionnellement ou de façon aléatoire et lié(e)s de façon mécanique et/ou thermique et/ou chimique

- ✓ **Géotextile tricoté (GTX-K) :** Géotextile produit par entrelacement d'un ou de plusieurs fils, de filaments ou d'autres éléments.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

- ✓ **Géotissé (GTX-W) :** Géotextile produit par entrelacement, habituellement à angle droit, de deux ou de plusieurs faisceaux de fils, de filaments, de bandelettes ou d'autres éléments.

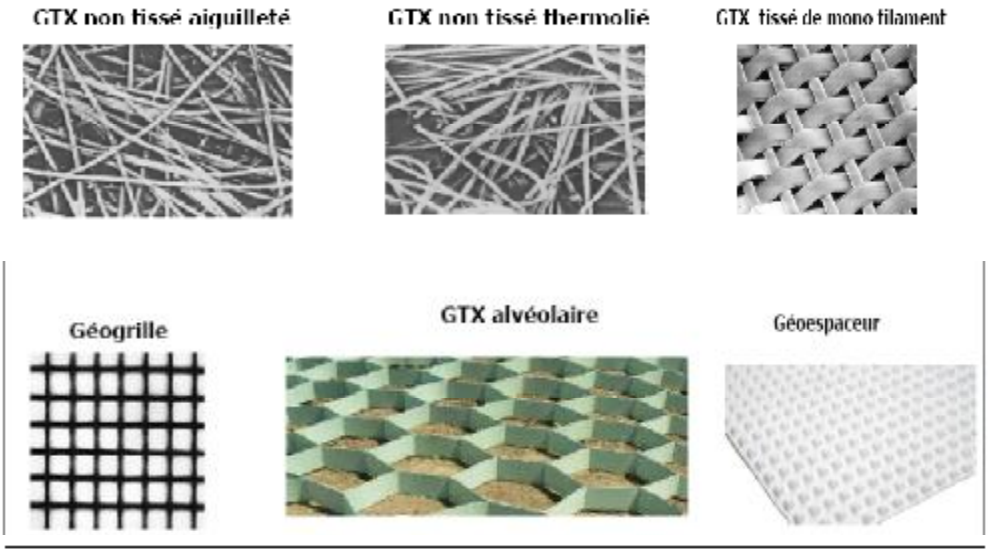


Figure II.8 : ***les géotextiles (GTX) et produits apparentés au GTX***

II.6.4.2. Rôle dans les ouvrages de drainage

Dans les ouvrages de drainage, les géotextiles et produits apparentés permettent le remplacement de systèmes drainants granulaires parfois complexes, difficiles à dimensionner et coûteux à mettre en œuvre. Ils seront la plupart du temps constitués par une ou plusieurs nappes de fines fibres synthétiques enchevêtrées tissées ou non tissées associées ou non à d'autres géosynthétiques où les fonctions de drainage et de filtration seront privilégiées.

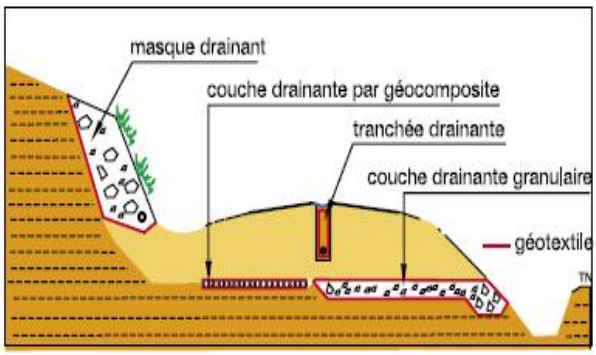


Figure II.9 : ***Emploi des géotextiles pour les ouvrages de drainage***

Comme pour les matériaux granulaires, la fonction drainage caractérise la capacité du géotextile à collecter et transporter l'eau dans son épaisseur (notion de transmissivité). Cette capacité pourra varier en fonction de l'épaisseur et donc de son comportement lorsqu'il sera comprimé.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

La fonction de filtration s'oppose à l'entraînement des particules de sol qui pourraient migrer sous l'action de forces hydrodynamiques, tout en permettant la libre circulation de l'eau au travers du filtre. Dans le cas du géotextile, il y a fréquemment réorganisation du sol et formation d'une couche filtrante au contact sol-géotextile. Les mécanismes sont complexes et dépendent de caractéristiques fonctionnelles du géotextile (ouverture de filtration caractéristique, perméabilité perpendiculairement au plan, ...). Cette fonction est à privilégier lorsque le géotextile est en contact avec le sol et enveloppe le drain ou le matériau drainant. A ces caractéristiques fonctionnelles il faut ajouter des caractéristiques mécaniques et de durabilité minimales pour éviter l'endommagement du géotextile lors de la mise en oeuvre et au cours de la vie de l'ouvrage.

Figure II.10 : ***Exemple*** ***d'application de géotextile assurant la fonction de drainage***

Figure II.11 : ***Exemple d'application de géotextile assurant la fonction de drainage***

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

II.6.4.3. Les principales caractéristiques

Les géosynthétiques sont définis par des caractéristiques physiques, mécaniques et hydrauliques selon des essais normalisés, identifiés pour l'essentiel par des normes internationales de type ISO ou européennes de type EN, ou nationales de type NF, DIN, ASTM, etc.

a. Les Caractéristiques Physiques

- ✓ L'épaisseur.
- ✓ La masse surfacique.
- ✓ Le type de fabrication : tissé, non tissé, aiguilleté, tricoté, géogrille...
- ✓ Le type de polymère : polypropylène, polyéthylène, polyester,
- ✓ Le taux de noir de carbone.
- ✓ La densité.

b. Les Caractéristiques Mécaniques

- ✓ La résistance à la rupture.
- ✓ L'allongement à la rupture.
- ✓ Le poinçonnement statique.
- ✓ La perforation dynamique.
- ✓ Le fluage.
- ✓ La résistance au seuil d'écoulement.
- ✓ L'allongement au seuil d'écoulement.
- ✓ La résistance à la déchirure.
- ✓ La résistance à la fissuration.
- ✓ La stabilité dimensionnelle.

c. Les Caractéristiques Hydrauliques

- ✓ La perméabilité normale au plan.
- ✓ La capacité de débit dans leur plan.
- ✓ L'ouverture de filtration.
- ✓ La résistance à la pénétration de l'eau
- ✓ La souplesse

II.6.4.4. Éléments nécessaires au choix du géotextile

Selon le système de drainage à réaliser, les données principales à collecter sont les suivantes :

- le type et la géométrie de l'ouvrage (le dimensionnement dépend de la position du géotextile dans l'ouvrage, de sa fonction, soit de drainage vertical ou horizontal, soit de filtration) ;
- le débit à drainer et donc les caractéristiques hydrodynamiques des sols ;
- la granulométrie des sols (type de sol à filtrer) ou du matériau dans lequel se produit l'écoulement ;
- le type de granulat utilisé ;

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

- les contraintes exercées sur le géotextile (hauteur de déversement des matériaux, profondeur de pose, dans le cas d'une couche drainante son épaisseur et la rigidité du sol support, charge hydraulique).

II.6.5. Les accessoires de drainage [2]

La constitution de tout réseau de drainage nécessite la mise en place de divers éléments annexes tels que :

a. Les boites de jonction : elles permettent le raccordement des drains entre eux ainsi que leur raccordement au réseau collecteur.

b. Les regards (visitable ou non) : ils permettent la surveillance ainsi que l'entretient des réseaux.

c. Les têtes d'aqueduc et les bouches de décharge : elles permettent l'évacuation dans un cours d'eau ou un fossé, des eaux ainsi collectées.

d. Les boites de drainage superficiel (bouches) : elles sont utilisées pour la reprise des eaux de drainage et de ruissellement en bordures des pistes de terrains de sport.

La majorité de ces éléments, réalisés par des entreprise de préfabrication, utilisés dans le cadre de travaux relevant du drainage, sont ceux utilisés dans le cadre des travaux d'assainissement, et ce ; bien que des exigences soient sensiblement différentes. On rencontre aussi ces éléments réalisés en polyéthylène haute densité, de forme lisse ou annelée et de différents diamètres : 110 – 160 – 200 – 300mm.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

III.1. Introduction

Le drainage est indispensable pour toute conception de projet, en effet son domaine d'application est très vaste au niveau de la construction que ce soit d'un bâtiment, d'une voie publique, d'un terrain de maison ou même d'un terrain de sport. Le but de ce chapitre est de décrire quelques domaines où l'on a recours au drainage, et de présenter les différentes techniques de drainage utilisées dans chacun de ces derniers.

III.2. Différents domaine d'application

III.2.1. Le drainage agricole

Le drainage agricole est destiné à élargir et améliorer la production agricole dans les sols affectés d'un excès d'eau et/ou de sels, on distingue :

L'assainissement agricole, ensemble de moyens (généralement des fossés) assurant le transport des eaux regroupées naturellement ou à la suite du drainage jusqu'au réseau hydrographique naturel,

Le drainage agricole, ensemble des dispositions techniques permettant d'éliminer les eaux (et le sel) en excès dans un sol à l'échelle d'une parcelle [1] (eaux souterraines et eaux superficielles).

III.2.1.1. Objectif du drainage agricole

La gestion de l'eau est le facteur de production le plus important en agriculture. Un excès d'eau aura pour conséquence l'anoxie des plantes (manque d'oxygène), des maladies et la pourriture des racines. Un manque d'eau amènera un retard dans la croissance des plantes et même la mort de certaines plantes. Puisque les précipitations sont très variables durant l'année, le drainage devra éliminer les surplus d'eau sans causer des problématiques d'érosion et permettre d'emmagasiner le peu d'eau reçue dans les périodes sèches, pour alimenter les plantes. [9]

III.2.1.2. Fonction du drainage agricole [2]

Le drainage agricole a pour fonction de réaliser les conditions optimales pour la culture des sols. En effet, les sols humides présentent plusieurs inconvénients, ils sont :

- ✓ Imperméable à l'air
- ✓ Froids (à cause de l'évaporation quasiment permanente)
- ✓ Difficile a travailler (ils demandent en effet de 25 à 30% d'énergie supplémentaire pour les travailler)
- ✓ S'opposer à la pénétration des racines et permettent ainsi le développement de maladies tels que les champignons, les parasites.

Le but de l'assainissement agricole est donc de mettre en valeur des terrains humides et insalubres, de traiter des marais et marécages afin de les valoriser en les rendant utilisable par l'évacuation des eaux en excès.

Un tel système de drainage regroupe plusieurs types d'interventions parmi lesquelles nous pouvons retenir :

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

- ✓ L'aménagement d'émissaire-rivières ou canaux artificiels. (Un émissaire constitue l'exutoire des réseaux de drainage)
- ✓ L'assèchement des zones inondées
- ✓ Le drainage qui a pour objet l'évacuation intensive des eaux excédentaires….
- ✓ Le drainage s'effectue alors par un système de fossés ouverts, d'aqueducs (fossés couverts, tuyaux, drains moulés dans les terrains…) ou encore par des puits absorbants.

III.2.1.2.1. Avantages du drainage agricole [2]

Le drainage agricole comporte de nombreux avantages :

- ✓ Il aère le sol
- ✓ Il modifie la constitution physique du sol
- ✓ Il favorise la vitrification
- ✓ Il permet aux terres argileuses de mieux résister à la sécheresse
- ✓ Il assure la pénétration plus profonde des racines dans le sol
- ✓ Il réchauffe le sol
- ✓ Il amène la disparition des mauvaises plantes ainsi que des maladies des plantes cultivées.

III.2.1.2.2. Inconvénients du drainage agricole [2]

Il présente quelque inconvénient en effet :

- ✓ Il entraine une partie des matières fertilisantes
- ✓ La diminution de l'humidité peut provoquer des sécheresses saisonnières

III.2.1.3. Procédé de drainage agricole

III.2.1.3.1. Drainage souterrain

Le drainage souterrain est une technique d'assainissement qui a pour but d'évacuer l'eau gravitaire du le sol et d'abaisser la nappe phréatique à un niveau optimal pour la croissance des plantes. Il permet :

- ✓ de travailler le sol dans de meilleures conditions,
- ✓ d'améliorer la structure du sol,
- ✓ de développer un meilleur système racinaire des plantes,
- ✓ une meilleure assimilation des engrais par les plantes,
- ✓ d'ensemencer plus tôt au printemps,
- ✓ de récolter dans de bonnes conditions et d'améliorer l'efficacité des machineries.

La hauteur de la nappe phréatique d'un sol, varie avec la saison. Elle est généralement près de la surface tôt au printemps et tard à l'automne et descend considérablement au cours des mois d'été. On observe sa profondeur en creusant un trou dans le sol et en observant la profondeur à laquelle l'eau se stabilise. Dans les sols sableux, l'équilibre est atteint rapidement alors qu'il faut parfois attendre plusieurs heures dans les sols argileux peu

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

perméables. Il faut toujours s'assurer de la provenance de l'eau qui se retrouvera éventuellement dans le fond du trou. Il est en effet possible que celui-ci se remplisse à partir d'écoulement superficiel, notamment par l'écoulement hypodermique. Cette eau pourrait remplir partiellement le trou sans que la nappe phréatique soit en cause. Il faut donc observer le profil pendant quelques minutes afin de s'assurer que l'eau provient bien de la base du profil et non de sa partie supérieure.

En pratique, on devrait réaliser du drainage souterrain lorsque la nappe phréatique se situe dans l'année à moins de 0,7 mètre de la surface du sol. On peut utiliser du drain agricole avec ou sans filtre selon le type des sols. Une étude de sol est requise soit une analyse granulométrique pour savoir si un filtre est nécessaire et le type à choisir. Des tests de perméabilité sont aussi recommandés pour calculer l'écartement des drains.
Il faut noter que certains sols ne peuvent pas être drainés par des drains agricoles, puisqu'ils sont peu profonds et/ou parce que leurs perméabilités sont trop faibles. Le drainage souterrain n'est alors pas rentable. Il faudra dans ces cas, planifier un réseau hydraulique, comprenant des fossés de 1 mètre entre les planches, des rigoles d'interceptions avec ou sans puits filtrants dans des endroits stratégiques et un drainage de surface permettant d'égoutter les champs.

III.2.1.3.2. Drainage de surface

Le drainage de surface vise plutôt à éliminer toutes accumulations d'eau à la surface ainsi que l'écoulement hypodermique dans un délai raisonnable pour les plantes.
Il a aussi comme objectifs :

- ✓ De répartir uniformément les précipitations et favoriser leur infiltration, pour apporter l'eau utile aux plantes,
- ✓ D'évacuer l'eau de ruissellement et hypodermique, par des pentes adéquates vers les structures hydro-agricoles (réseau hydraulique), sans toutefois causer l'érosion,
- ✓ D'éliminer les petites dépressions et irrégularités de la surface du sol qui créent des zones humides néfastes aux cultures, récupérer des surfaces non productives
- ✓ Causer le moins d'inconvénients aux opérations culturales et à la machinerie agricole,
- ✓ Permettre l'entrée plus rapide et améliorer les conditions de récoltes au champ
- ✓ Augmenter les rendements des cultures.

Les zones dépressionnaires sont des cuvettes qui recueillent l'eau des environs. Elles demeurent ainsi plus humides au printemps et lors des pluies d'été et d'automne. Elles ont pour conséquence, entre autres, de retarder la date d'entrée au champ, de diminuer les rendements et de rendre plus difficile la réalisation des récoltes tardives. Très souvent, les sols de ces cuvettes seront compactés puisqu'ils sont travaillés en conditions trop humides. Le problème original s'en trouve accru, puisque la compaction diminue la perméabilité au sol. C'est pourquoi la zone humide tend à s'agrandir.
L'observation du relief permet parfois de localiser facilement les zones de dépression. La carte topographique avec ces cotes de niveau permettra de confirmer les observations sur le terrain. Cependant, lorsque les pentes sont très faibles, il y a risque de confondre une cuvette authentique avec une zone de résurgence.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Il faut noter que contrairement au drainage souterrain, la plupart des champs requièrent de l'aménagement de surface.

Le remplissage des cuvettes est parfois possible, mais celles de plus grande dimension posent souvent des difficultés en raison des déplacements importants de terre que cela implique et du résultat souvent insatisfaisant qui en résulte. En effet, il peut en résulter une dépression moins profonde, mais plus grande que la première. Parfois, cette dépression sera suffisamment nivelée pour que la percolation suffise à éliminer l'eau. Ces vastes dépressions peu profondes permettront la production de cultures annuelles avec un minimum de pertes de rendement si la structure du sol est suffisamment bonne pour assurer une bonne percolation. Par contre, ces aménagements seront souvent problématiques pour les cultures hivernales telle la luzerne qui aoûtera très mal en ces endroits ou qui sera détruite par la glace qui se formera lors des dégels hivernaux.

Lorsqu'il n'est pas possible ou trop dispendieux de combler une dépression, il faut alors concentrer l'eau en un point et évacuer celle-ci par une rigole d'interception ou à l'aide d'un système de captage tel que avaloir et/ou tranchée filtrante qui conduira l'eau par une conduite à un émissaire d'une profondeur suffisant.

III.2.1.4. Conception d'un réseau de drainage agricole [2]

S'il est mal conçu, un réseau de drainage peut être sur- ou sous-dimensionné, fonctionner imparfaitement voire pas du tout (colmatage des tuyaux, imperméabilisation de la tranchée de drainage. Pour être efficace et durable, le drainage doit donc être en outre adapté aux sols à aménager. Il faut en effet mettre en œuvre une technique qui s'attaque effectivement à la cause de l'excès d'eau, qui libère les horizons réellement ennoyés et qui ne sera pas affectée par l'évolution ultérieure du sol

Un réseau de drainage agricole comporte deux sortes de tuyaux différenciés par leur diamètre et leur fonction :

- ✓ Les drains de petit diamètre
- ✓ Les collecteurs de diamètre plus important

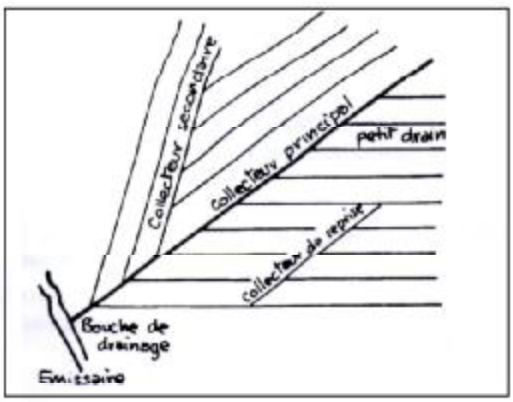


Figure III.1 : ***Drainage régulier ou parallèle : drainage indirecte***

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Les collecteurs récupèrent l'eau des drains et permettent son évacuation en dehors de la zone à drainer.

Un réseau est généralement constitué d'une série de drains, le plus souvent parallèles, de collecteurs secondaires et d'un collecteur principal qui aboutit à une bouche de drainage (fossé, ruisseau, rivière …).Quant au tracé d'un tel réseau, il dépend de la topographie du terrain.

L'ensemble des tuyaux de drainages mis en œuvre devra être conforme aux normes homologuées de la série NF U 51-101 ; NF U 51-151 ; 152 ; 153 ; 154 ; 155 ; 156 et 157

Quant aux produits utilisés pour réaliser l'enrobage des tuyaux de drainage, ils devront être conformes aux normes NF U 51-161 et 162

III.2.1.4.1. Direction des drains [2]

Il existe actuellement deux techniques principales pour disposer les drains

- Soit parallèlement à la ligne de plus grande pente : drainage en long
- Soit transversalement à cette ligne : drainage en travers.

La méthode la plus courante est celle du drainage en travers qui présente plusieurs avantages parmi lesquels retenons que les collecteurs se trouvent sur la ligne de plus grande pente et évacuent ainsi plus rapidement.

Par contre pour des terrains à faible pente, inferieure à 0,005 on aura recours au drainage en long.

III.2.1.4.2. Direction des collecteurs

Les collecteurs sont placés suivant les lignes de plus grandes pentes et dans les dépressions de terrains.

Les collecteurs de reprise, qui ont pour but de couper les fils de drain lorsque ceux-ci sont trop longs, sont placés d'une manière quelconque par rapport aux courbes de niveau ; ils sont souvent placés parallèlement aux collecteurs plus importants.

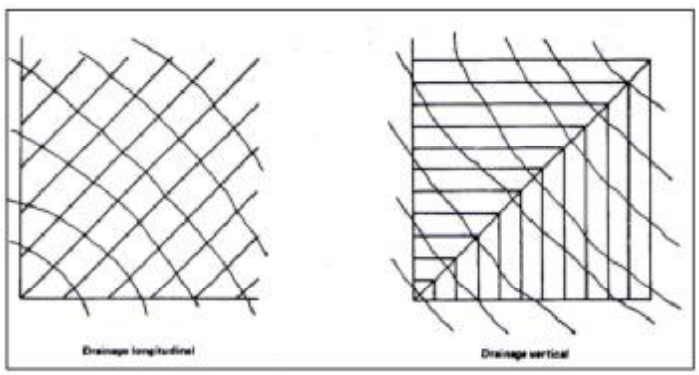


Figure III.2 : ***Direction des collecteurs***

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

III.2.1.4.3. Jonction entre drains et collecteurs

Elle sera faite dans un angle compris entre 30 et 60° ; retenons également que si le drain est à contre sens du collecteur, on devra le raccorder par une courbe de rayon au moins égale à 5m.

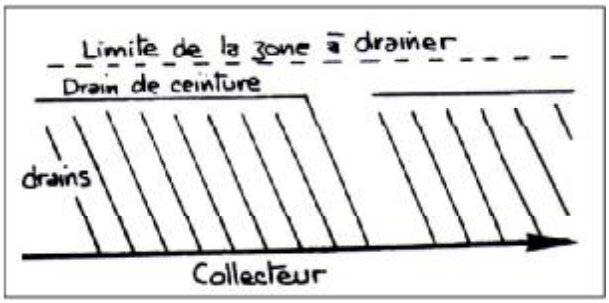


Figure III.3 : ***Exemple de disposition des drains de ceinture***

III.2.1.4.4. Forme du réseau

On évitera généralement une forme en arête de poisson qui privilégia le drainage autour du collecteur, sauf lorsque le relief l'impose.

Les particularités du terrain, terrain formant un entonnoir, perméabilité variable, source……contraignent à chaque fois à mettre en œuvre un réseau de drainage particulier.

III.2.1.4.5. Profondeur du réseau de drainage

La profondeur des drains ainsi que leurs écartements sont deux caractéristiques qui dépendent l'une de l'autre.

La profondeur du réseau est imposée par le terrain et la présence d'eau et c'est à partir de cette hypothèse que l'on déduit l'écartement des drains.

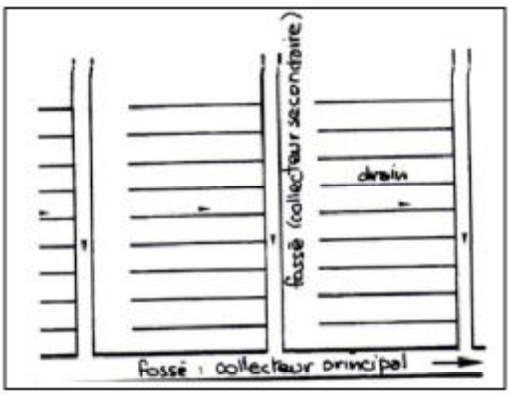


Figure III.4 : ***Drainage direct : drains débouchant dans les fossés***

La profondeur d'un système de drainage agricole varie de **0.7 à 1.5 m :**

- ✓ **De 0.8 m à 1.00 m pour les prairies**
- ✓ **De 1.00 m à 1.25 m pour les terres cultivables**

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

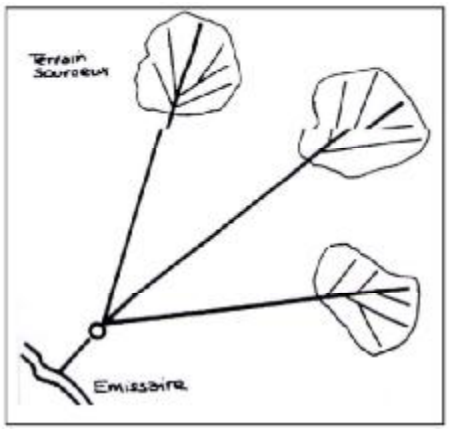


Figure III.5 : ***Drainage irrégulier***

III.2.1.4.6. Ecartement des drains

L'écartement à observer ne dépend pas de l'humidité du sol, mais essentiellement de sa perméabilité.

Divers calculs ont conduit à une série de valeurs, à titre indicatif notons :

- 8 à 12 m pour des terrains compacts et argileux
- 12 à 16 m pour des terres argileuses
- 16 à 20 m pour des terres sablonneuses avec présence d'argile.

Ces valeurs correspondent à une profondeur inferieure à 1.25 m ; pour un drainage plus profond, l'écartement pourra être plus important.

III.2.1.4.7. Diamètre et longueurs des drains

Le diamètre courant des drains secondaire est généralement de 5 cm (parfois 6 voire même 8 cm). Leur longueur peut aller de 150 m pour un diamètre de 5 cm à 200 m pour un diamètre de 6cm

III.2.1.4.8. Diamètre des collecteurs

Contrairement aux drains proprement dit, il faudra se livrer à un calcul d'hydraulique tenant compte du débit et de la pente.

III.2.2. Drainage des barrages en remblai

L'eau possède la capacité à s'infiltrer à travers toutes les structures, d'argiles comme de béton. Elle imprègne les barrages et leurs fondations, exerçant des effets insidieux qui peuvent s'avérer lourds de conséquence. Le drainage, sert alors à canaliser l'eau vers les parties de ces structures où ses effets seront les moins nocifs.

La quantité d'eau circulant dans les barrages en terre est plus diffuse et plus importante. Pour lutter contre ses effets, on introduit des organes de drainage, matériau perméable du type sable ou véritables tuyaux.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

III.2.2.1. Le drainage d'un barrage en remblai [13]

Quel que soit le dispositif d'étanchéité utilisé, un barrage en remblai et sa fondation sont le siège d'infiltration d'eau, soit structurelle (barrage homogène étanche dans sa masse), soit accidentelle (défauts d'étanchéité).

La fonction du drainage est d'intercepter les débits d'infiltration afin d'éviter que leur résurgence incontrôlée à l'aval ne nuise à la stabilité de l'ouvrage (sous-pressions, renardage, etc.). En outre, la canalisation par drainage des débits de fuites va permettre d'en faciliter la surveillance et le contrôle.

Le drain est un organe à forte perméabilité destiné à assurer l'interception des eaux d'infiltration et à les évacuer. Il faut généralement lui associer un filtre qui doit bloquer la migration potentielle des particules fines du massif à drainer vers le milieu drainant.

III.2.2.2. Constitution et règle de conception des drains et filtre [13]

III.2.2.2.1. Les drains

Les drains sont ordinairement constitués de matériaux granulaires (sable ou graviers) disposé en bandes, en couches minces ou en cheminée (drain vertical). Les matériaux constitutifs doivent être inaltérables, parfaitement propres, et, en conséquence, soigneusement lavés si nécessaire. Leur granulométrie est adaptée de façon à respecter les règles de non entrainement des fines des matériaux adjacents.

Les drains peuvent être équipés de collecteurs qui sont des tuyaux drainants en plastique (PVC ou PHD), souples ou rigides. Ces collecteurs drainants existent en deux types : circulaire doté de fentes sur l'ensemble du pourtour (drain agricole) ou avec fentes seulement sur les 2/3 supérieurs (drain routier). **(Figure III.6)**

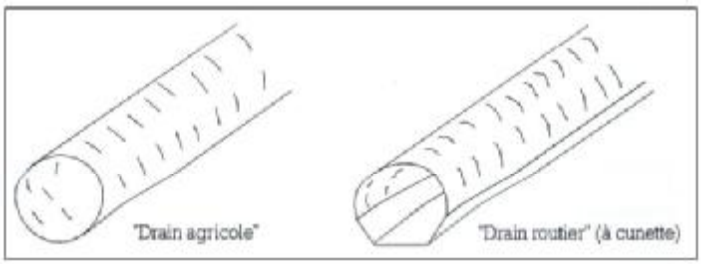


Figure III.6 : ***Les deux types de tuyaux drainants***

Grace à cette cunette sans fente, le tuyau drainant routier présente l'avantage à condition, naturellement, d'être bien posé et d'empêcher la réinfiltration potentielle des eaux interceptées. Il s'avère, en outre, mécaniquement plus résistant que le drain agricole. Aussi, son emploi est à recommander dans les barrages.

Quel que soit le type ,il convient de s'assurer du parfait emboitage des éléments de tuyau et vérifier leur aptitude à supporter les contraintes de compression induites par le remblai: pour des grandes hauteurs de remblai, on préconise l'utilisation de tuyaux routiers « haute performance ».la combinaison d'un drain en matériau perméable avec un collecteur drainant posé en fond est intéressante, car elle facilite la collecte et la canalisation des débits captés par l'ensemble du dispositif.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

III.2.2.2.2. Les filtres

Lorsque le matériau constitutif du drain ne respecte pas les conditions de non entrainement des fines vis-à-vis du corp de remblai, on interpose alors un filtre entre les deux matériaux.

Les filtres peuvent être constitués, de couches successives de matériaux perméables, de granulométrie de plus en plus fine assurant la transition entre le drain et les éléments fins du milieu à drainer. De nos jours, on remplace souvent ces filtres « granulaire » par des géotextiles. Ces produits de substitution sont issus de l'industrie du textile et se présentent en rouleaux de longueur variable. Ils offrent l'avantage d'être économiques et de mise en œuvre a priori plus facile que les filtres à base de plusieurs couches de matériau calibré. La vérification par le géotextile, des conditions de non entrainement des fines vis-à-vis du sol à drainer demeure indispensable.

III.2.2.2.3. Les géosynthétiques composites

Depuis quelque année apparaissent sur le marché des produits synthétique pouvant assurer à la fois les deux fonctions : filtre et drain. Plus que jamais, pour ces matériaux qui ne supporteraient pas le moindre colmatage (du fait de la faible épaisseur de la structure drainante), il convient de garder à l'esprit la nécessité absolue de vérifier la condition de non entrainement des fines vis-à-vis du sol environnant à drainer.

III.2.2.3. Règles générales de dimensionnement des drains et filtres

En fait allusion aux conditions de non entrainement des fines dénommées « condition de filtre ». La référence usuelle en la matière est celle des règles de **TERZAGHI**. Elles s'énoncent comme suit : **[13]**

Soit d_x la dimension caractéristique du matériau fin à drainer : c'est-à-dire le diamètre du tamis pour lequel on enregistre x% en poids de passant lors du tamisage granulométrique,

Soit D_x celle relative aux matériaux adjacents (plus grossiers) constitutif du filtre ou du drain :

Condition de perméabilité : $(D_{15}/d_{15})>5$

Condition de non entrainement des fines : $d_{85}>(D_{15}/5)$

Ces deux conditions se réunissent dans la formulation suivante : $5\,d_{85}> D_{15}>5d_{15}$

Le plus souvent on peut choisir un matériau drainant suffisamment perméable et satisfaisant directement à cette double condition : la mise en place d'un filtre est alors inutile.

En outre pour s'assurer de la stabilité interne du matériau filtrant ou drainant, on devra vérifier la condition d'uniformité $2<(D_{60}/D_{10})<8$

Parfois, on se voit contraint d'interposer, entre le remblai et le drain, de perméabilité et de granulométrie très différente une couche – filtre en prenant soin de vérifier les règles de filtre à chaque interface :

$5d_{85}>D_{15}>5\,d_{15}$, $5D_{85}>\alpha_{15}>5\,D_{15}$

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

d : pour le remblai,

D : pour le filtre,

α : pour le drain,

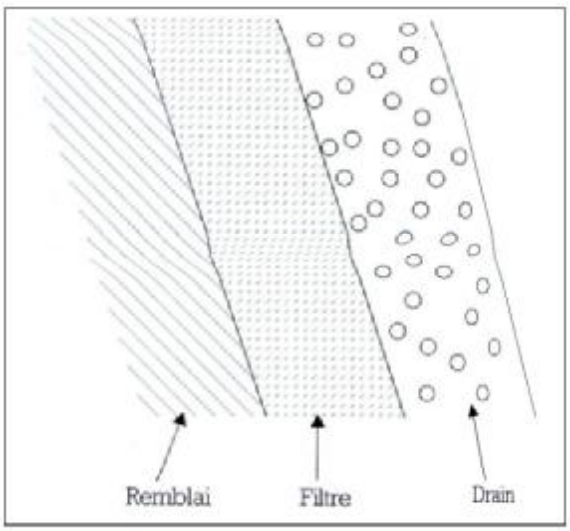


Figure III.7 : ***Filtre répondant aux conditions de TERZAGHUI***

vis-à-vis des matériaux à drainer et drainants.

III.2.2.4. Drainage du remblai [14]

III.2.2.4.1. Le rôle du drain

Le rôle du drain dans un remblai est de contrôler le réseau d'infiltration et les pressions interstitielles et de collecter les débits de fuites jusqu'à un ou plusieurs point(s) précis à l'aval où ils peuvent être mesurés, placé au contact de la fondation, il draine celle-ci et le remblai.

III.2.2.4.2. Les choix techniques

Ils sont assez variés **[14]**

- Drain cheminée
- Tapis drainant

L'un des dispositifs de rabattement de la nappe qui a été le plus utilisé est **le drain cheminé** en matériaux granulaires .Dans les barrages relativement importants, ce drain situé dans l'axe du barrage ou à l'aplomb de la crête (coté aval), est arrêté à la cote de retenue normale ou à celle des plus hautes eaux pour intercepter toutes les percolations venant de l'amont. Les infiltrations accumulées à la base de la cheminée drainante sont collectées par un drain en PVC entouré de géotextile qui s'évacue à l'aval du barrage par un réseau en peigne de drain de même type, mis en place dans des tranchée à forte capacité drainante (grave entourées de géotextiles). Les tranchées s'élargissent parfois en bandes drainante de plusieurs mètres assurant également la décharge de la fondation. Les débits de drainages du remblai et de la fondation sont mesurables séparément.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Pour les ouvrages plus modestes, la structure du drain est simplifiée. La cheminée drainante qui n'atteint pas toujours la cote de retenue normale et qui parfois décalée vers l'aval du barrage, s'évacue par un collecteur drainant chemisé comme ci-dessus se raccordant à un réseau en peigne de drain en PVC placés dans des tranchées drainantes de faibles sections. Drain vertical et bretelles sont constitués avec le même matériau filtrant et drainant. Ce dispositif et sa variante (Pas de collecteur interne en PVC dans les tranchées drainantes) intéressent des barrages à drain vertical.

Dans certain cas l'évacuation des infiltrations ne se fait plus par des bretelles drainantes mais par des PVC lisses aveugles mis en place en tranchée de faible section remblayée par des argiles de déblai. La fondation n'est plus drainée. Pour d'autres barrages drainés, c'est au contraire le drainage de la fondation qui a été privilégié par le choix d'un tapis drainant. Celui-ci est représenté soit par un drain homogène en sable filtrant et drainant, soit par un drain composé de graviers propres à forte capacité drainantes enrobés par un géotextile anti-contaminant jouant le rôle d'un filtre.

Les débits s'évacuent à l'aval soit directement, soit par l'intermédiaire d'un massif en enrochement, les autres options restent exceptionnelles ; il s'agit de barrages zoné qui pour des raisons constructives ont un drain vertical et horizontal, des ouvrages à drain géosynthétique.

III.2.2.4.3. Les dispositifs de drainage du remblai [13]

La nécessité du drainage : Des études montrent que, même pour des barrages dont la charge est inférieure à 5 m (petits barrages), l'absence de dispositifs de drainage engendre couramment des désordres lorsque la ligne de saturation, parfois au bout de plusieurs années de services (remblais très imperméable), finit par recouper le talus aval
Aussi il est préconisé de prévoir la réalisation systématique d'un drainage des barrages en terre même de dimension modestes : celui-ci doit bien sur être adapté à la nature de l'ouvrage (homogène ou à noyau) et à sa taille (valeur de la charge hydraulique permanente amont)

Le tapis drainant sous le talus aval : C'est la solution traditionnellement adoptée pour assurer le drainage d'un remblai homogène. Ce tapis de matériaux drainant, d'une épaisseur de 0.5 m s'étant sur 1/4 à 1/3 de l'emprise du barrage.il présente l'avantage de participer au drainage de la fondation.une fossé (ou une tranchée drainante) de pied complète le dispositif en assurant la collecte et la canalisation des eaux interceptées. **(Figure III.8)**

Le respect des conditions de filtre du matériau drainant vis-à-vis du remblai, mais aussi vis-à-vis du sol de la fondation si celui-ci s'avère peu perméable, il doit être examiné avec soin.

On adaptera la granulométrie du drain en conséquence et si nécessaire, on interposera un filtre granulaire ou géotextile. Cependant ce type de drain n'est pas efficace en cas de forte anisotropie de perméabilité du remblai (liée au mode de compactage du matériau, par couches horizontale).

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

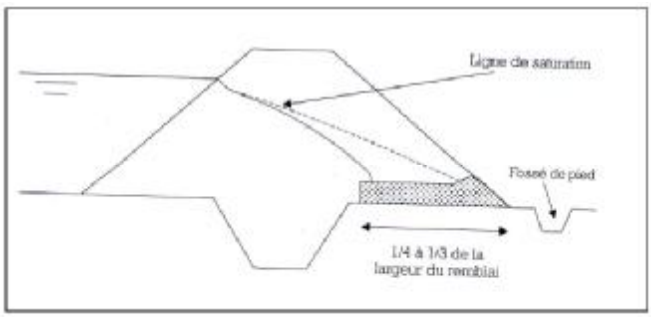


Figure III.8 : ***Tapis drainant aval, rabattement de la ligne de saturation***

Le drain vertical : Le drain vertical ou drain cheminée est une alternative intéressante au tapis drainant puisqu'elle permet d'éviter dysfonctionnement potentiel du drainage consécutif à l'anisotropie de perméabilité. L'épaisseur à retenir pour un tel drain est de l'ordre de 0.6 m et l'implantation idéale se situ, un peu en aval de l'axe du remblai (afin de bénéficier au maximum de l'effet d'étanchéité apporté par le remblai amont.

Si le matériau du drain ne respect pas les conditions de filtre par rapport au matériau du remblai il est nécessaire d'interposer un filtre approprié (géotextile par exemple) du coté amont de la cheminée. Mais cette opération étant très difficile à réaliser, on s'efforcera de trouver un matériau vérifiant les règles de terzaghui, par ailleurs on recouvre le collecteur drainant d'un fond d'un géotextile non tissé.

Le drain vertical est exécuté à la pelle mécanique en venant retailler une tranchée dans le remblai compacté, en plusieurs passes pour les plus grandes hauteurs. Ce terrassement peut être également réalisé à la main à condition de réduire la hauteur des passes. La technique d'exécution par passe successive exige un parfait repérage de la tranchée de façon à garantir le bon raccordement des passes.

III.2.2.4.4 : Les dispositifs de drainage de la fondation du barrage

Le drainage de la fondation d'un barrage est une opération délicate qui exige une parfaite connaissance de la constitution du sous-sol à drainer et, par voie de conséquence, des études préalable poussées.

Dans le cas ou dés la conception, un drainage de la fondation apparait nécessaire (ou sécurisant), on imposera la réalisation d'un tapis drainant (venant s'ajouter, éventuellement, à un drain cheminée prévu pour le drainage du remblai) sur lequel on fera déboucher des puits (ou tranchées) drainants de décompression préalablement exécutés. **[13]**

III.2.3. Drainage des talus (Stabilisation des talus par drainage)

Le drainage des talus a pour but de réduire les pressions interstitielles le long de la surface de glissement et ainsi d'augmenter la résistance au cisaillement du terrain. Différentes techniques peuvent être appliquées pour atteindre cet objectif. Elles relèvent de deux options fondamentales :

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

- Eviter l'alimentation en eau du site
- Expulser l'eau présente dans le massif instable afin de réduire les pressions interstitielles.

III.2.3.1. Les causes de glissement [5]

Il parait que l'eau souterraine et surtout ses fluctuations dues aux conditions météorologiques, sont une des principales causes de déclanchement ou d'accélération des mouvements de versants : glissement, éboulement, coulées ou laves torrentielles.
Sur les pentes, l'action déstabilisatrice de l'eau dans le sol est multiple :

-Accroissement du poids volumique des sols par augmentation de la teneur en eau : cet effet est le plus souvent mineur

-Changement de comportement rhéologique : en cas de forte absorption d'eau par le sol, celui-ci passe de l'état solide à l'état de fluide visqueux ; et certaines coulées de boue ou laves torrentielles sont ainsi engendrées par l'imbibition d'une masse de sol, on peut aussi évoquer la liquéfaction des sables sous nappe, lors d'un séisme, qui est à l'origine de nombreux glissement sur très faible pente

-Par ailleurs, sur le long terme, des circulations d'eau souterraine peuvent engendrer une altération progressive des épontes, avec dégradation de leurs caractéristiques mécanique ou un entrainement des fines particules des sols.

-Action mécanique défavorable de la pression d'eau souterraine par déjaugeage des grains solides du sol ou perte d'effet de succion.

Par ailleurs, de nombreux versant sont en mouvement plus ou moins continu, avec des vitesses allant de quelques millimètres à quelques centimètres par an. La vitesse de ces mouvements de terrain actifs est la plupart du temps influencée par l'eau souterraine ; lorsque le versant est instrumenté, on observe des variations plus ou moins marquées, en relation avec les saisons humides ou sèches.

-Des ruissellements sur la masse instable, via un lotissement surplombant le site qui viennent s'ajouter aux eaux provenant de l'amont;

-L'inexistence d'ouvrage d'assainissement des eaux de ruissellement.

-L'inexistence d'ouvrage de drainage des eaux internes

III.2.3.2. La maitrise du risque de glissement de terrain par drainage

La lutte contre l'eau est donc l'une des actions les plus employées pour prévenir, stabiliser ou ralentir un glissement de terrain.
Le drainage consiste à évacuer l'eau dans le but de diminuer les pressions interstitielles, u , et à augmenter la résistance au cisaillement du sol ,de manière à rétablir ou maintenir un coefficient de sécurité, F ,à un niveau suffisant. C'est donc le principe de Terzaghi, réagissant

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

la résistance au cisaillement des sols saturés, qui fonde par conséquent l'efficacité des actions de drainage.

Pour un glissement de terrain reconnu, (géométrie du TN et de la surface de rupture, résistance au cisaillement du sol, et niveaux piézométriques), on peut caller avec plus de certitude un modèle géotechnique, traduisant l'instabilité avec un coefficient de sécurité, F_0 proche de 1. Dans ce cas, il est recommandé d'augmenter le coefficient de sécurité tel que :

$$\Delta F/F_0 = 30\%$$

Pour garantir, par drainage la stabilisation d'une pente.

Cela suppose de capter l'eau, donc de trouver des zones de perméabilité suffisante dans les terrains meubles, ou de rencontrer des fractures « productrice » dans les massifs rocheux.

Suivant les cas ; on procédera à la stabilisation des glissements par : **[8]**

- Collecte et canalisation des eaux de surface (drainage en surface)
- Tranchées drainantes
- Drains subhorizontaux
- Drains verticaux, puits et galeries drainantes
- Eperons et contreforts, masques et bêches drainants

III.2.3.2.1. Collecte et canalisation des eaux de surface (drainage de surface)

Les assainissements et les drainages de surface, collectant les eaux de ruissellement, limitent les infiltrations et permettent ainsi d'éviter la saturation des terrains ; ils agissent aussi en diminuant l'alimentation des nappes.ils empêchent également les érosions de surface qui, à terme ; peuvent conduire à des désordres et à des instabilités .les eaux collectées doivent être évacuées vers des zones non sensibles. **[8]**

III.2.3.2.1.1. Principe

Les dispositifs d'assainissements et de drainage de surface interceptent et collectent les eaux de ruissellement, et évitent au maximum l'infiltration. Il peut concerner les zones de glissement actif ainsi que les surfaces situées en amont.

III.2.3.2.1.2. Description

Les techniques utilisées sont des caniveaux ou des fossés étanches. Le type d'ouvrage (souple ou rigide) doit être adapté au terrain : élément de béton, élément en tôle, revêtement en géomembrane, etc.
Il est nécessaire de :

- ✓ Reprofiler le terrain pour éviter les contre-pentes et la stagnation de l'eau
- ✓ Colmater les fissures de surface
- ✓ Capter les sources en amont

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Ces dispositifs s'appliquent aux pentes naturelles instables lorsque la nappe est alimentée au moins en partie par les infiltrations. Pour les talus de déblais, lorsqu'il ya des risques de ruissellement et d'érosion, il faut une collecte des eaux de surface par des caniveaux.

Le tracé des caniveaux doit être fait en appréciant les conditions naturelles du site et en respectant une pente régulière de 2 à 3 % au minimum.

III.2.3.2.1.3. Entretien

-Les caniveaux nécessitent un nettoyage périodique et la vérification de leur étanchéité. Celle-ci est affectée par les déformations du versant : une fuite localisée peut être à l' origine de nouveaux désordres.
-Une surveillance particulière doit être réalisée sur les caniveaux et les fossés pour vérifier si l'écoulement de l'eau n'a pas tendance à contourner ces dispositifs de collectes.
-Enlever tous les débris et les végétaux pouvant obstruer les caniveaux
-Réparer les fissures et les déboitements des éléments de structures
-Vérifier s'il n'est pas apparu des points bas ou des contre-pentes qui pourraient être le siège d'infiltrations d'eau dans le terrain
Ces dispositifs sont en général associes à d'autres systèmes de drainage, en particulier aux tranchées drainantes peu profondes ou tout autre confortement.

III.2.3.2.2. Tranchées drainantes [5]

Les tranchées drainantes sont des évacuations remplies de matériaux très perméables permettant la collecte de l'eau et son évacuation hors de la zone sensible.
Un drain, type drain tunnel, avec des fentes en partie supérieure à positionner en fond de tranchée est le plus souvent mis en œuvre de manière à assurer en écoulement de l'eau dans les meilleures conditions.

L'objectif est d'abaisser le niveau de la nappe phréatique pour diminuer, voire annuler, les pressions interstitielles au dessus de la surface de glissement.

III.2.3.2.2.1. Principe

La tranchée drainante est une fouille dans le sol et remplie d'un matériau drainant. Par sa perméabilité très élevée par rapport au sol environnant, elle produit une discontinuité très forte dans la nappe phréatique et intercepte les écoulements provoquant ainsi un rabattement de la nappe. Ceci conduit à une réduction des pressions interstitielles.
Les tranchées drainantes interceptant les écoulements, leu efficacité est en général maximale lorsque la nappe est alimentée par des venues d'eau latérales. Si l'alimentation est essentiellement verticale ou si le sol est très imperméable, le rayon d'action de la tranchée est faible et le rabattement de la nappe est peu important.

Une tranchée drainante ne peut être efficace que si elle possède un exutoire permettant l'évacuation de l'eau quelle collecte.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Cette collecte de l'eau ne doit pas entrainer les particules solides du sol ; un filtre doit être disposé entre le sol en place et le matériau de la tranchée drainante lorsque ce dernier ne peut pas assurer lui-même, de par sa granularité, cette fonction de filtration.

III.2.3.2.2.2. Spécification

La tranchée est remplie par un matériau drainant (une grave ou sable grossier), caractérisé soit par un équivalent de sable (ES) supérieur à 50, soit par une valeur au bleu du sol(VBS) inferieur à 0,1 , soit par une granulométrie avec %(<80µm)<5%
Le diamètre maximal du matériau drainant doit être inferieur à trois fois la largeur de la tranchée.

Les conditions de filtre sont à respecter entre le matériau drainant et le sol en place.
Cette condition est satisfaite soit parle matériau de remplissage de la tranchée lorsqu'il respecte les règles des filtre granulaire (Térzaghi), soit par un géotextile qui doit respecter les règles des filtres en géosynthétiques ;
Les drains peut profonds doivent être complètement fermés et scellés au droit du passage des zones frottement végétalisées comme les haies, afin que les racines ne viennent envahir le drain ;

Un drain tunnel est placé en fond de tranchée notamment l'osque le débit risque d'être important ou lorsque la pente du drain est faible (pente inferieure à 3%) ; le remplissage ne doit pas risquer de le déplacer. La pente longitudinale minimale est de 1à2% ;

III.2.3.2.2.3. Les différents types de tranchées

Les techniques de réalisations dépendent principalement de la profondeur que doit atteindre la tranchée de la stabilité de la fouille en cours de travaux.
Le **(Tableau III.1)** résume les différents types de tranchées.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Tranchée remblayée	Profondeur maximale	Remarque
Pelle mécanique, Largeur : celle du godet de la pelle(0.6 à 0.8 mètre)	5 m	Un blindage provisoire est nécessaire pour des profondeurs >1.20m et en continue et à l'avancement en terrain boulant.
Tranchée avec géocomposite		
Pelle mécanique, ou pelle araignée	5 m	L'emploi d'un géocomposite de drainage ne nécessite pas de matériau d'apport, le remblaiement de la tranchée s'effectuant avec le matériau du site.
Tranchée linéaire		
Trancheuse mécanisée réalisant simultanément l'excavation, la pose d'un drain en fond de tranchée et le remplissage par un matériau drainant.	1.5 à 6 m	L'intérêt de cette technique réside dans la mécanisation et le rendement pour un linéaire de tranchée important, Les plus petites de ces machines sont les trancheuses utilisées en drainage agricole (profondeur<2m) ; mais les trancheuses ayant une profondeur d'action de 6m sont assez courantes. Il faut parfois prévoir pour les travaux une piste provisoire lorsque le terrain est trop accidenté. La tranchée a une largeur de 0.2 à 0.4 m. certaine machines permettent également la pose simultanée d'un géotextile filtrant.
Tranchée profonde		
Tranchée sous boue. Réalisée avec une benne du type de celles de tranchées de paroi moulée, mais avec une boue dégradable.	De 10 m à 20 m	L'exécution s'apparente à celle des parois moulées. La boue de maintien des parois est dégradable afin d'assurer une bonne perméabilité apres la mise en place du matériau drainant et filtrant. Les largeurs sont de l'ordre de 0.6 à 0.8 mètre.

Tableau III.1 : Les différents types de tranchées

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

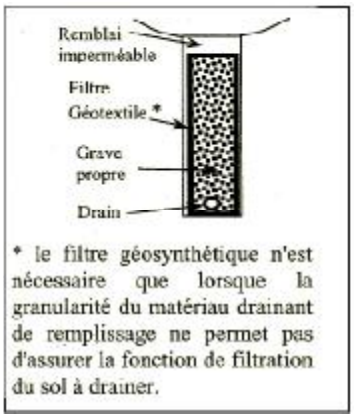


Figure III.9 : ***Tranchée remblayée***

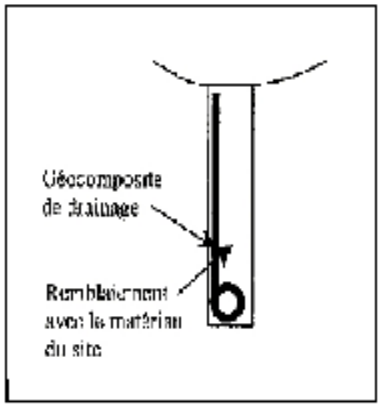


Figure III.10 : ***tranchée avec géocomposite***

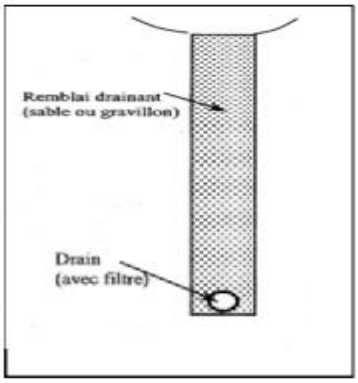


Figure III.11 : ***Tranchée linéaire mécanisée***

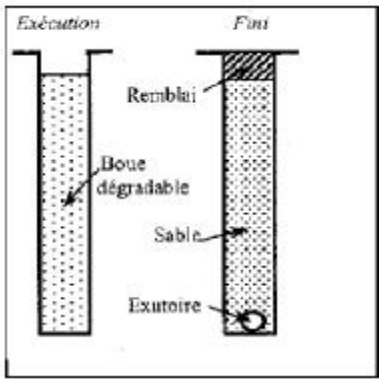


Figure III.12 : ***tranchée profonde réalisée sous boue***

III.2.3.2.2.4. Pérennité et entretien

Plusieurs dangers peuvent menacer les tranchées drainantes :

- ✓ Les mouvements de terrain qui cisaillent l'ouvrage
- ✓ Le colmatage du système de drainage ou de filtration
- ✓ L'entrainement des particules
- ✓ L'obstruction des regards.

Aussi l'efficacité dans le temps d'une stabilisation par drainage ne peut être obtenue que si l'ensemble du dispositif est maintenu dans un bon état de fonctionnement. Pour les ouvrages sensibles ou l'efficacité du drainage est très important pour la stabilité, une surveillance renforcée de rabattement doit être réalisée systématiquement à l'aide de piézomètres.les informations obtenues sont enregistrées, analysées et transférées chez le gestionnaire où des interventions peuvent être prescrites.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

III.2.3.2.3. Les drains subhorizontaux

Des forages légèrement inclinés vers l'avale (pour éviter le colmatage par dépôt), équipés d'un drain, collectant l'eau dans le massif et l'évacuent par gravité vers un exutoire aménagé. L'objectif est d'abaisser les niveaux piézométrique pour diminuer, voire annuler les pressions interstitielles.

III.2.3.2.3.1. Principe

Les drains subhorizontaux viennent diminuer la charge hydraulique à l'intérieur d'un massif. Ils sont implantés, de façon à atteindre des zones d'alimentation en eau, des nappes localisées en charge, ou simplement le voisinage de la surface de rupture.
Le but étant de diminuer les pressions interstitielles, la qualité d'eau évacuée par le drain n'est pas le meilleur critère reflétant l'efficacité du dispositif.

III.2.3.2.3.2. Description

Le forage subhorizontal, d'un diamètre de l'ordre de 80 à 150mm, est équipé d'un tube permettant la collecte des eaux en évitant l'entrainement de particules solides du sol. La filtration est assurée, soit par un crépinage spécifique sur le tube, soit par un filtre en géosynthétique entourant le tube. la pente du forage est légère (2 à 5%) vers l'avale. La longueur des drains subhorizontaux varie de quelque mètre à une soixantaine de mètres, voire plus, la limitation de la longueur provenant des possibilités de foration et de maitrise de l'orientation du forage.
Le matériau constituant les tubes est généralement constitué de polyéthylène haute densité (PEHD) qui est peu incrustant et résistant.

III.2.3.2.3.3. Mise en œuvre

La mise en œuvre nécessite une entreprise spécialisée sur un ensemble de drains subhorizontaux, il est possible que seul un petit nombre d'entre eux débite et que la stabilisation soit cependant atteinte.
Des précautions doivent être prise lors de la foration pour éviter les éboulements en forage, un tubage est alors nécessaire.
Il convient que le guidage du forage soit l'objet d'une attention particulière notamment pour les drains subhorizontaux de grande longueur (>10m).

III.2.3.2.3.4. Pérennité et entretient

La pérennité des drains est liée aux problèmes du colmatage par les fines du sol, par des dépôts calcaire, par la végétation hygrophile à l'exutoire, voire par le gel en période froide. Les déformations du sol, si elles se poursuivent, peuvent aussi interrompre la circulation de l'eau dans le drain. Lors de la visite régulière, après la période de pluie, noter les débits (même grossièrement) ; si au court d'une visite correspondant à une même période pluvieuse, les débits sont beaucoup plus faible, vérifier s'il n'ya pas colmatage. En cas de colmatage complet, il convient de réaliser de nouveaux drains.

L'exutoire, situé hors de la zone sensible, doit être maintenu en bon état.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

- Il est nécessaire de planifier ces opérations d'entretien, dont la périodicité est de l'ordre de trois à cinq ans, modulable selon l'agressivité du site (terrains calcaire ou non…) et la teneur en fines libres des sols pouvant migrer dans le drain.
- L'entretient consiste à laver le tube et à le brosser avec un écouvillon, en évitant l'utilisation de trop haute pression ou des outils pouvant endommager les tubes.
- Le nettoyage des exutoires, le décolmatage des drains à l'aide d'un conduit semi rigide, par injection d'eau ou de solution acide et par brossage avec écouvillon

Le bon fonctionnement des drains dépend de l'entretien de l'ensemble du dispositif **[6]**

- Protection contre le gel (engravement de la sortie des drains)
- Protection contre la végétation (bétonnage ou engravement de la sortie des drains)
- Protection contre le vandalisme
- Entretien des drains contre le colmatage (trianglage périodique, jets d'eau sous pression, bains d'acide oxalique pour dissoudre des dépôts calcaire, etc.….)

III.2.3.2.4. Drains verticaux, puits et galeries drainantes [6]

Les techniques des drains et puits verticaux sont peu fréquemment utilisés pour la stabilisation des glissements de terrain, sans doute en raison des difficultés d'évacuation des eaux drainées : gravitairement en profondeur vers des couches plus perméable ou vers le haut par pompage ou siphonage.
Le transfert d'eau en profondeur est une opération risquée, qui doit être réservée aux cas où l'écoulement de surface est bien connu et où l'aquifère profond est drainant, est présente un exutoire franc. Dans le cas contraire, cela peut conduire à une aggravation de l'instabilité.

Les puits et les drains verticaux permettent de couper un aquifère comme le ferait une tranchées drainante sans être limité en profondeur. Les galeries drainantes constituent un autre type d'ouvrage profond à partir duquel il est possible, comme pour les puits, de forer des drains subhorizontaux qui augmentent le rayon d'action du drainage.

Le dimensionnement du confortement d'un glissement de terrain par une rangée de puits drainants se fait en recherchant l'accroissement du coefficient de sécurité de l'ordre de

$$\Delta F/F_0 = 30\%$$

III.2.3.2.5. Eperons et contreforts, masques et bêches drainants

La solution a priori la plus simple pour traiter un glissement est d'éliminer la masse glissée en tout ou partie, et de reconstituer le talus à l'aide d'un matériau frottant de bonne qualité, qui assure, le plus souvent, un drainage en plus de son action mécanique.
Le dimensionnement des (masques, éperons, bêches, contreforts) consiste à prendre en compte, dans le calcul de stabilité, un niveau de nappe rabattu lié à la géométrie de l'ouvrage.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

III.2.3.2.5.1. Les éperons drainants

Ce sont des sortes de masques discontinus ; s'il est inutile ou difficile de réaliser un masque, on se contente de faire des saignées remplies de matériau drainant régulièrement espacées.

III.2.3.2.5.2. Contrefort

On appelle contrefort ce même type d'ouvrage lorsqu'il est discontinu. Pour assurer un exutoire, ces contreforts sont souvent reliés par des tranchées drainantes.
Les dimensions d'un ensemble de contrefort doivent être optimisées sur la base d'un calcul de stabilité le long de la surface de glissement existante. À défaut d'une connaissance précise du réseau d'écoulement entre les éperons, et par sécurité, on peut retenir un coefficient de sécurité calculé comme une moyenne selon la formule suivante :

$$F=(e\ Fo + d\ F1) /\ (e\ +\ d)$$

Avec :

Fo : Coefficient de sécurité entre contreforts
F1 : Coefficient de sécurité dans l'axe d'un contrefort
e et d : espacement et largeur des contreforts

III.2.3.2.5.3. Les masques drainants

Sont des ouvrages en matériaux granulaires grossiers mis en place en parement de talus ; leur rôle est d'annuler la pression interstitielle dans la portion correspondante de terrain, mais leurs caractéristiques très frottantes apportent également un gain de stabilité.
Il existe trois types de masque : triangulaire, trapézoïdale, ou à épaisseur constante. Le choix se fera en fonction du type de rupture susceptible de se produire d'autre part, de la stabilité à court terme. **[11]**

III.2.3.2.5.4. Des bêches

Fouille réalisée en partie basse du glissement et sur toute sa largeur remblayée par matériaux frottant et drainants (4 à 10 m de largeur; 5 à 6 m de profondeur), permet de reporter une partie de la charge sur un horizon plus compact avec un ancrage de 1 m et plus :
On dimensionne une bêche en prenant en compte le long de la surface de rupture, sur la longueur substituée, les caractéristiques mécaniques du matériau rapporté.

Eventuellement, on tient également compte du rabattement de la nappe lorsqu'un exutoire existe. On recherche une amélioration de sécurité tel que :

$$\Delta F/Fo = 20\%$$

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

III.2.4. Drainage des murs de soutènements

III.2.4.1. Nécessité d'un système de drainage

Un mur de soutènement constitue de par sa situation un obstacle aux eaux de ruissellement voire même dans certains cas, à celle de la nappe phréatique, si aucun dispositif n'est prévu, la poussée hydrostatique peut devenir supérieure à celle des terres. Deux cas peuvent alors se produire :

Le mur doit maintenir le niveau de l'eau en amont, il faudra alors tenir compte de cette poussée lors de la conception de l'ouvrage ;

Dans le cas contraire il faudra éliminer de façons systématiques l'eau sans lui offrir la possibilité de s'accumuler derrière les ouvrages. C'est ainsi que dans tout les cas, il faudra mettre en place un système de drainage, même si le terrain est réputé sec et même si le sol est argileux, car il arrive que ce type de sol soit parcouru par de fines fissures laissant ainsi la possibilité à l'eau de cheminer avant de former une accumulation derrière l'ouvrage de soutènement.

Toute la difficulté consistera à retenir le système de drainage le mieux adapté à l'importance des arrivées d'eau et à la nature du terrain……

III.2.4.2. Types de drainages

Derrière un mur de soutènement, nous trouverons le plus souvent un remblai rapporté, dont le choix est bien important.

C'est ainsi qu'il sera préférable de mettre en œuvre des sables ou des graviers contenant un faible pourcentage d'éléments fins , en effet, des éléments fins peuvent rapidement colmater le filtre de protection des drains et réduire voir anéantir de ce fait son efficacité.

Les matériaux de remblai cohérents tels que les argiles et certains types de limons sont à déconseiller.

III.2.4.2.1. Sable ou gravier

Le sol constitue alors son propre drainage, l'évacuation de l'eau pourra ensuite être réalisée à l'aide de barbacanes en fonction de l'absence de la fonction étanchéité de la part du mur. Dans le cas contraire, on pourra avoir recours à un drain en points bas raccordé à une canalisation d'évacuation des eaux.

III.2.4.2.2. Terrains à grains fins

Dans ce cas, il sera nécessaire de prévoir un système de collecte de l'eau à l'amont du mur.il sera constitué par :

- ✓ soit des drains subhorizontaux
- ✓ Soit une couche de matériaux filtrants non colmatable d'environ 30cm d'épaisseur au moins, reliée à un système de barbacanes ou à un système de drain en pied de mur.
- ✓ Soit une nappe drainante
- ✓ Soit des éléments drainants en béton poreux…..

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

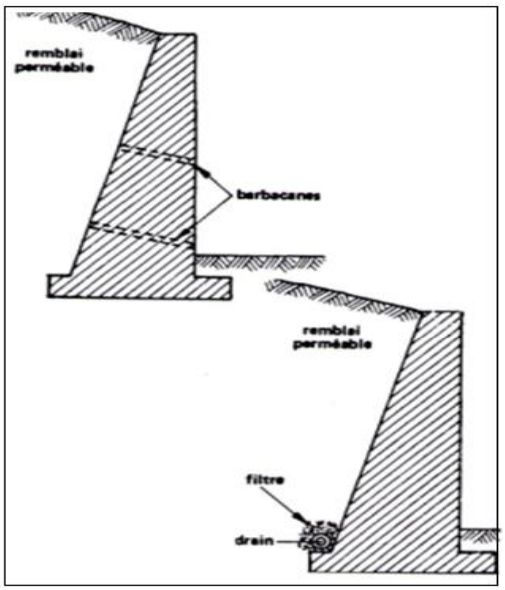


Figure III.13 : ***Drainage des remblais perméables.***

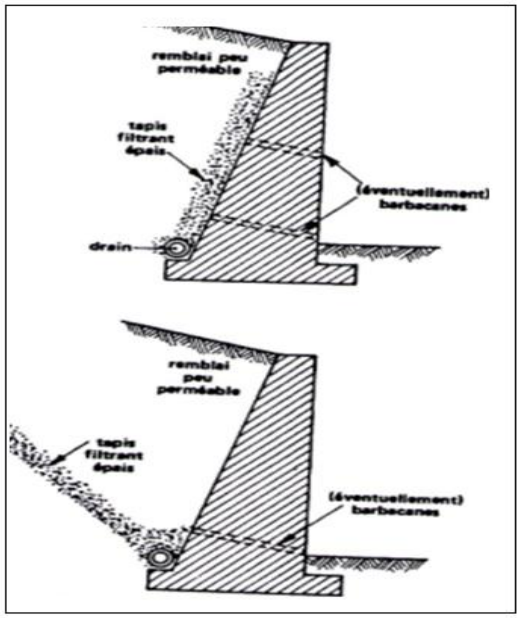


Figure III.14 : ***Drainage des remblais à grains fins.***

III.2.4.3. Dispositions constructives

Il est bien évident que le drain de base devra avoir un débit suffisant et plus particulièrement lorsque le terrain d'assise est argileux. Les orifices et conduites d'évacuation des eaux sont à dimensionner le plus largement possible afin de réduire le risque de colmatage. A titre d'exemple, les barbacanes pourront être constituées par éléments de canalisations de 150mm de diamètre espacés de 1.5m en moyenne.

Tous les drains devront être munis d'un regard afin de permettre leur entretien.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

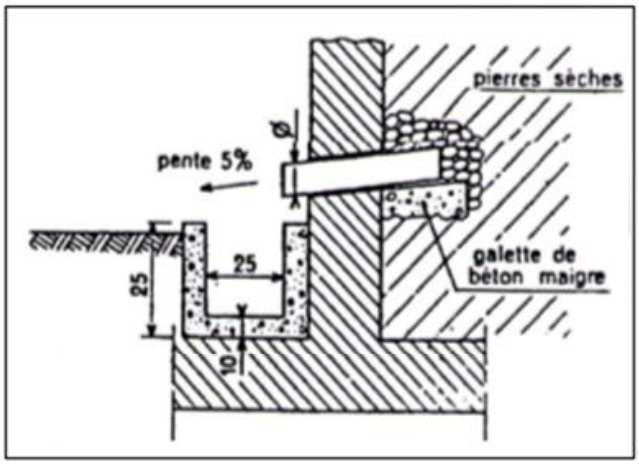


Figure III.15 : ***Exemple de barbacane.***

III.2.4.4. Protection des remblais en amont

Il est utile de mètre en place des dispositifs destinés à limiter la quantité d'eau pouvant s'infiltrer derrière l'ouvrage de soutènement. Cela permettra ainsi d'éviter d'avoir à évacuer quasi-instantanément des débits d'eau importants (orage par exemple) pouvant provoquer de ce fait un risque de colmatage du réseau de drainage.

Il est également souhaitable de réaliser en plus du réseau de drainage des revêtement aussi peu perméable que possible en surface de talus pour que l'eau puisse passer par-dessus les ouvrages de soutènement ou puisse être évacuée au moyen de canivaux.il faudra aussi prévoir l'évacuation des eaux qui le franchissent ou le traversent (cas des barbacanes)afin qu'elle ne stationnent pas au pied du mur (risque d'affouillement des fondations des ouvrages, et même de déversement en cas de terrain argileux).

Dans ce cas aussi il sera souhaitable de mettre en place des revêtements les plus étanches possibles et de recueillir l'eau dans des systèmes de récupération.

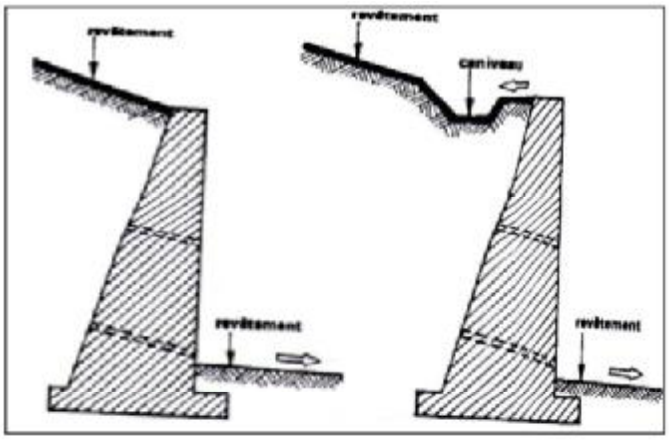


Figure III.16 : ***Revêtement de protection du remblai***

au-dessus du mur de soutènement.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

III.2.4.5. Dispositifs de drainage et d'évacuations des eaux

Généralement on considère qu'un mur servait seulement de soutènement aux terres bien qu'un tel ouvrage constitue souvent un véritable barrage aux eaux d'infiltration et à la nappe phréatique.

La raison pour laquelle on ne tient pas compte de la présence d'eau tient au fait qu'il est plus économique de mettre en œuvre des moyens efficaces d'évacuation des eaux que de vouloir résister à la poussée hydrostatique. Si aucun dispositif de drainage n'est prévu pour annuler cette poussée, les dimensions de l'ouvrage deviennent alors très importantes.

Mais il faut savoir que de tous les sinistres affectant les murs de soutènement, les plus nombreux sont ceux qui proviennent essentiellement d'une sous-estimation des effets dus à la présence d'eau :

- phase de conception du mur : oubli à l'élaboration du projet des dispositifs de drainage et d'évacuation.
- phase d'exécution du mur : mauvaise réalisation de ces dispositifs.

Dans tous les cas, un mur de soutènement doit être muni de dispositifs de drainage et d'un système d'évacuation des eaux susceptibles de s'accumuler derrière le voile.

Ces dispositifs peuvent différer selon la qualité du remblai mis en place derrière le mur. Les remblais argileux doivent absolument être proscrits.

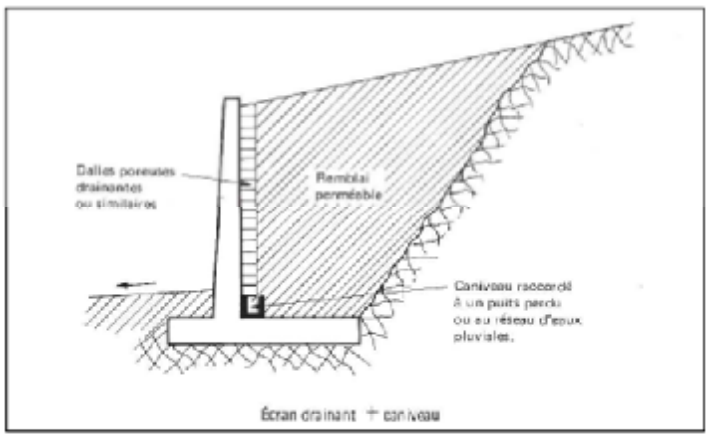


Figure III.17 : ***Exemple de solution courante(1)***

Une autre solution acceptable consiste à augmenter le nombre de barbacanes. Mais il faut avoir conscience que celles-ci peuvent se colmater dans le temps, et nécessitent donc un entretien périodique.

De plus cette solution est peu esthétique et il existe toujours des coulures d'eau et de terre sur le parement du mur.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

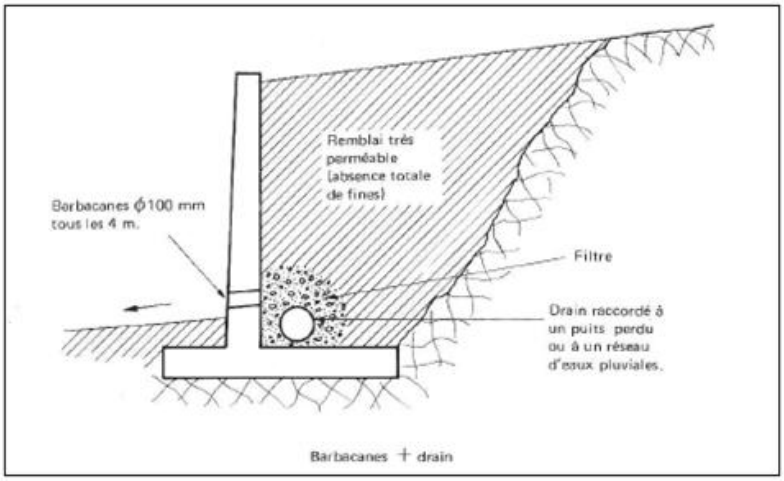


Figure III.18 : ***Exemple de solution courante(2)***

En cas de venue d'eaux de ruissellement importantes, il est conseillé de mettre en œuvre sur le terre-plein, un dispositif de recueillement et d'évacuation de ces eaux

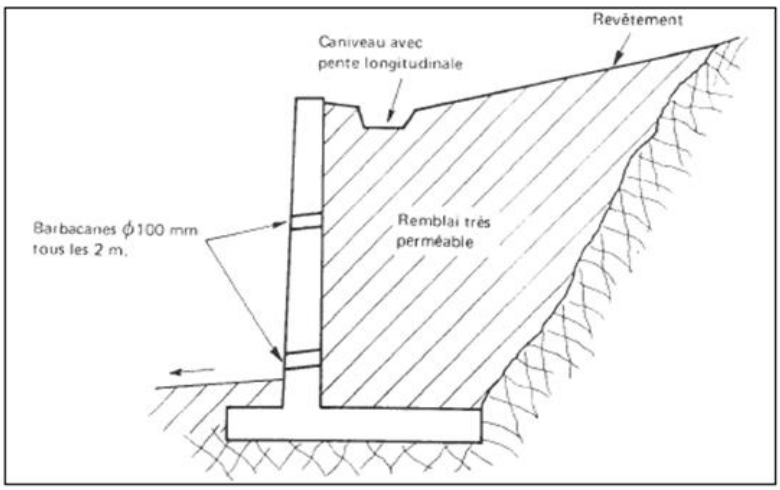


Figure III.19 : ***Exemple de solution courante(3).***

III.2.5. Le drainage routier

Le drainage routier correspond à la collecte et à l'évacuation des eaux présentes dans le sol support et dans les chaussées. Il constitue l'un des trois volets du domaine de l'assainissement routier **[12]** avec la collecte et l'évacuation des eaux de surface (assainissement superficiel) et le rétablissement des écoulements naturels.

Le drainage participe de façon essentielle au bon comportement mécanique de la chaussée et contribue ainsi largement à la pérennité des ouvrages routiers.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

III.2.5.1.Drainage des eaux superficielles : ces réseaux récupèrent les eaux issues de la chaussée, de l'accotement et des talus. Ils sont constitués d'un fossé peu profond appelé cunette, engazonné ou revêtu et aux formes douces afin d'améliorer la sécurité.

L'évacuation des eaux pluviales est l'une des préoccupations fondamentales dans le domaine des routes, car la présence d'eau provoque plusieurs inconvénients tels que les problèmes d'inondation ; glissement de terrains, ainsi que les problèmes d'érosion, de stabilité des talus, et la dégradation des chaussées par défaut de portance du sol. Donc une solution à ses problèmes doit être adaptée, c'est de prévoir des dispositions adéquates pour évacuer l'eau loin de la route, l'ensemble de ses travaux porte le nom d'assainissement.

III.2.5.2. Assainissement de la chaussée [18]

Des ouvrages d'assainissement se réalisent dans le but d'assainir la chaussée dans les meilleures conditions possibles et avec un moindre coût.

a. Fossé de pied du talus de déblai :

Ces fossés sont prévus au pied du talus de déblai afin de drainer la plateforme et les talus vers les exutoires. Ces fossés peuvent être en terre, ils peuvent être aussi bétonnés lorsque la pente en profil en long dépasse les 3 %.

b. Fossé de crête de déblai :

Ce type de fossé est toujours en béton. Il est prévu lorsque le terrain naturel de crête est penchée vers l'emprise de la route, afin de protéger les talus de déblais des érosions dues au ruissellement des eaux de pluie et d'empêcher ces eaux d'atteindre la plate -forme.

c. Fossé de pied de talus de remblai

Les fossés sont, soit en terre ou en béton (en fonction de leur vitesse d'écoulement).ils sont prévus lorsque la pente des terrains adjacents est vers la plateforme et aussi de collecter les eaux de ruissellement de la chaussée, en remblai, par l'intermédiaire des descentes d'eau.

d. Drain

Le drain sert à collecter les eaux, ces dernières sont rejetées dans des regards de drainage et en dernier lieu dans les points de rejet.

III.2.5.2.1. Objectif de l'assainissement des routes

L'assainissement des routes doit remplir les objectifs suivants :

- Assurer l'évacuation rapide des eaux tombant et s'écoulant directement sur le revêtement de la chaussée.
- Le maintien de bonne condition de viabilité.
- Réduction du coût d'entretien.
- Eviter les problèmes d'érosions.
- La sauvegarde de l'ouvrage routier (car l'eau accélère la dégradation de la surface, augmente la teneur en eau du sol support, entraînant par la suite des variations de portance et diminue la qualité mécanique de la chaussée).

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

III.2.5.2.2. Choix des ouvrages d'évacuation

Le choix des ouvrages d'évacuation des eaux superficielles doit s'appuyer sur **les deux principes de base suivants :**

- L'utilisation d'ouvrages superficiels dont les coûts d'investissement et d'entretiens **sont plus faibles que ceux des ouvrages enterrés.**
- **Rejeter les eaux hors de la plate-forme chaque fois que cela est possible, afin de diminuer les déblais de transit.**

III.2.5.2.3. Choix de la forme de la chaussée

La chaussée doit avoir une forme bien précise afin de faciliter la circulation des eaux superficielles vers les caniveaux.

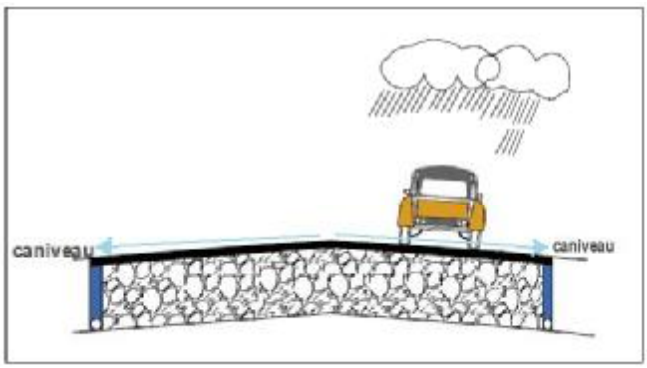


Figure III.20. ***Forme de la chaussée permettant l'évacuation des eaux vers les caniveaux***

III.2.5.2.4. Dimensionnement des ouvrages d'évacuations

La méthode de dimensionnement consiste à choisir un ouvrage, sa pente, puis à vérifier sa capacité à évacuer le débit d'apport, et pour cela on utilise la **formule :**

$$Qa = Qs$$

Qa : débit d'ap**port en provenance du bassin (m^3/s).**

Qs : débit d'écoulement au point de saturation (m^3/s).

Le débit d'apport est calculé en appliquant la formule de la méthode **Rationnelle :**

$$Qa = K.C.I.A$$

Avec :

K : coefficient qui permet la conversion des unités (les mm/h en l/s).

I : intensité moyenne de la pluie de fréquence déterminée pour une durée égale au temps de concentration (mm/h).

C : coefficient de ruissellement.

A : aire du bassin versant (m^2).

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

III.2.5.3. Drainage des eaux souterraines

Les eaux souterraines comprennent d'une part, les eaux de nappe phréatique et d'autre part, les eaux d'infiltration. En général, les ouvrages de drainage consistent en des tranchées drainantes situées en bordure de chaussées revêtues, au niveau du fond de forme. Ces tranchées ont trois objectifs :

- ✓ Récupérer les eaux d'infiltration ayant traversé la chaussée, évitant ainsi leur stagnation dans la couche de forme ;
- ✓ Empêcher les eaux d'infiltration au niveau de la bande de contaminer le corps de chaussée ;
- ✓ Empêcher la remontée des eaux de la nappe phréatique dans le corps de chaussée.

Dans le cas des eaux internes, les fonctions essentielles d'un réseau de pied de talus seront :

- ✓ Capter les eaux infiltrées dans l'ouvrage de collecte des eaux superficielles et le talus de déblai ;
- ✓ Evacuer une partie des eaux infiltrées à travers la chaussée et l'accotement ;
- ✓ Intercepter les venues d'eau latérales qu'elles soient localisées ou non ;
- ✓ Contribuer un rabattement d'une nappe ;
- ✓ Contribuer enfin à la lutte contre l'effet de bord : l'accotement ou éventuellement le terre-plein central

Ce drain est constitué d'un drain placé dans une tranchée et surmonté d'un matériau drainant. Le rôle de filtre est assuré par un géotextile plutôt que par le choix de matériau de remplissage

III.2.5.4. Conception du projet de drainage

III.2.5.4.1. Optimisation du tracé du projet routier [15]

Le projeteur a la possibilité d'adapter son projet pour optimiser le drainage en évitant :

- les longues rampes ;
- les pentes < 0,5% ;
- les points bas en zone de déblai ;
- les déblais dans des nappes phréatiques, et les zones humides ;

III.2.5.4.2. Caractéristiques géométriques des dispositifs de drainage

Les caractéristiques géométriques des dispositifs de drainage (hauteur, profondeur, pente) dépendent :

- ✓ De la partie d'ouvrage à drainer (corps de chaussée, accotement, terre-plein central, déblai, culée d'ouvrage...),
- ✓ Du dispositif de drainage retenu ;
- ✓ De la contrainte de réalisation du projet ;
- ✓ Des quantités d'eau à évacuer ;
- ✓ De la prise en compte de la pente longitudinale de la chaussée ;
- ✓ De la prise en compte des pentes transversales et en particulier des dévers qui accentuent les concentrations de l'humidité aux points bas ;

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

- ✓ Du choix de la position des dispositifs de drainage dans le profil en travers ;
- ✓ De la localisation des exutoires possibles.

La pente, un des paramètres majeurs, doit concilier les impératifs suivants :
Une pente minimale > 2 % est nécessaire. Une pente plus faible (jusqu'à 0,5 %) impose un surdimensionnement des drains et un entretien plus fréquent. Ces valeurs peuvent varier d'un ouvrage à l'autre) ; les trop fortes pentes (supérieures à 5 à 10 %) que l'on a par exemple en montagne conduisent à des vitesses particulières de l'eau excessives en particulier vis-à-vis des problèmes d'érosion des ouvrages (fossés, talus...), nécessitant des précautions adaptées (fossés stabilisés, cloisonnement de fossés, ouvrages de dissipation d'énergie, multiplication des traversées).

III.2.5.5. Drainage dans un projet routier neuf

Dans la réalisation d'un projet routier neuf, on distingue 3 étapes :
• les travaux de terrassement ;
• les plates-formes support de chaussées (partie supérieure des terrassements et couche de forme) ;
• les chaussées.
Il est nécessaire de donner les règles générales de dimensionnement ainsi que pour chaque étape les besoins en drainage et les règles de dimensionnement spécifiques.

III.2.5.5.1.Travaux de terrassements

En phase terrassement, les difficultés (évolution des machines, compactage, stabilité des plate-formes et des talus) sont le plus souvent liées à un excès d'eau. Il est donc bien évident que l'on a tout intérêt à réaliser cette phase en période sèche.
Le drainage dans cette phase peut, en partie, remédier aux difficultés rencontrées mais, lorsque ce besoin de drainage apparaît en phase de travaux et qu'il n'a pas été prévu au niveau du projet, il est souvent trop tard pour agir avec efficacité : les actions d'amélioration se répercuteront au niveau des coûts et des délais.
Pour ces raisons, il est nécessaire de définir avec précision dès la conception du projet des hypothèses de drainage en liaison avec les prévisions météorologiques et hydrogéologiques du site.

III.2.5.5.2. Plates-formes support de chaussées

Elles sont constituées de deux entités :

- La Partie Supérieure des Terrassements (PST) dont la surface constitue l'arase (AR).
- La couche de forme ;

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Figure III.21 : ***Définition des différents termes.***

III.2.5.5.2.1. Partie Supérieure des Terrassements (PST)

La définition du besoin de drainage de la Partie Supérieure des Terrassements (P.S.T.), répond à deux problématiques :

• **le classement de la PST** : tous les sols, sauf ceux insensibles à l'eau (naturellement ou après traitement) ont des propriétés mécaniques qui s'altèrent avec l'augmentation de teneur en eau. Les opérations de drainage s'imposent donc lorsque la P.S.T est située dans un contexte hydrique défavorable et de surcroît constituée de matériau sensible à l'eau et au gel ;

• **le traitement des points singuliers du profil en long** : certains points singuliers du profil en long ou du profil en travers sont des zones d'accumulation potentielle d'eaux d'infiltrations et nécessitent ainsi un dispositif de drainage spécifique. Sans être exhaustif, on peut citer : les zones de transition déblai-remblai, les points bas en remblai, les fortes pentes, les points bas en dévers.

III.2.5.5.2.1.1. Classement et amélioration de la PST (Partie Supérieure des Terrassements)

La Partie Supérieure des Terrassements (PST) dont la surface constitue l'arase (AR) peut être constituée par :

- ✓ le sol en place (épaisseur prise en compte environ 1 m) ;
- ✓ une épaisseur moindre de sol en place traité aux liants hydrauliques ;
- ✓ une épaisseur variable de matériau de substitution ou d'apport.

La prévision des besoins de drainage de la PST et des dispositifs possibles impose la connaissance et l'identification des sols supports (en particulier, appréciation de leur aptitude au drainage), des niveaux de nappe extrêmes (piézométrie) et des zones de venues d'eau ponctuelles. Le géotechnicien précisera notamment si des études spécifiques sont nécessaires pour préciser les premières informations. Dans certains cas, il pourra être important de réaliser une étude hydrogéologique sur au moins une année.

La connaissance des matériaux et des conditions hydrogéologiques influent sur les stratégies de réalisation des terrassements.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Le projet de drainage retenu sera issu de la confrontation économique des différentes techniques d'amélioration de l'arase (drainage, traitement ou substitution) en terme de faisabilité et d'efficacité, et des techniques (en particulier les épaisseurs) retenues dans le dimensionnement de la structure de chaussée.

III.2.5.5.2.1.2. Couche de forme

- **Dans le cas d'une couche de forme constituée par les sols en place :** le drainage ne s'impose que sous le niveau de la nappe, pour éviter les remontées de nappe au sein de la couche de forme ou l'ennoyage du projet. Il s'agira le plus souvent de tranchées latérales ;
- **Dans le cas d'une couche de forme traitée aux liants hydrauliques :** le matériau traité pourra être considéré comme neutre (indifférent au drainage), le drainage s'impose cependant sous le niveau de la nappe pour éviter les remontées d'eau par la fissuration. Il s'agit le plus souvent de tranchées latérales qui peuvent être combinées avec le drainage de la PST ;
- **Dans le cas d'une couche de forme rapportée en matériau insensible à l'eau :** le drainage est indispensable lorsqu'il y a risque de création d'un véritable piège à eau qui pourra être alimenté par les eaux pluviales dès la pose, avant la couverture par les chaussées. Le drainage s'effectuera le plus souvent soit par tranchées latérales, soit par drains longitudinaux latéraux disposés à la base de la couche de forme combinés si besoin avec le drainage de la PST

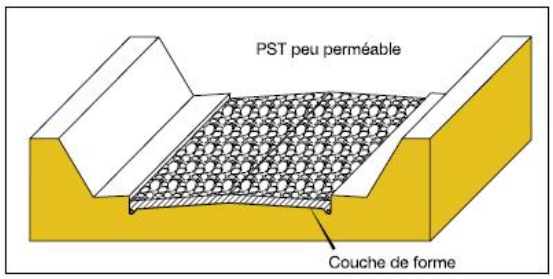


Figure III.22 : ***En déblai ou profil rasant en zone hors nappe***

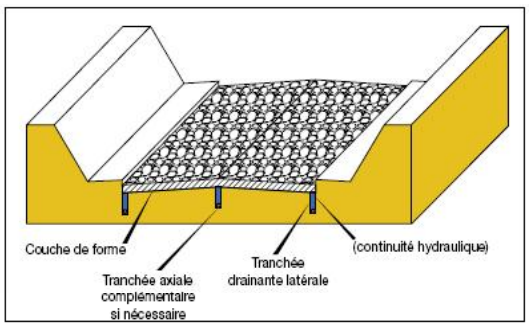


Figure III.23 : ***En déblai ou profil rasant en zone sous nappe drainée***

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

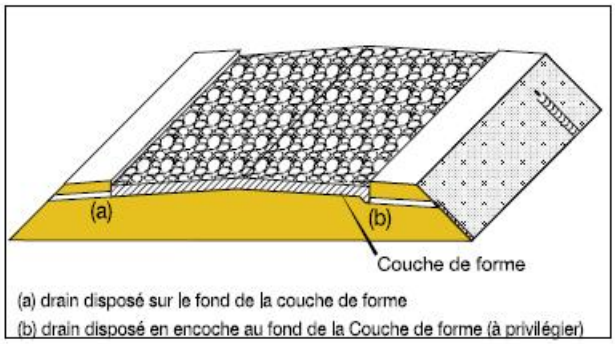


Figure III.24 : ***En remblai.***

III.2.5.5.3. Les chaussées

Une structure de chaussée peut voir ses caractéristiques mécaniques et ses performances diminuer très nettement dans le temps en présence d'eau, souvent à l'origine de pathologies généralement irréversibles : affaissements de rives, faïençage, remontées de boues, battement de dalle. C'est pour cela que l'on recherchera également à drainer le corps de la chaussée.

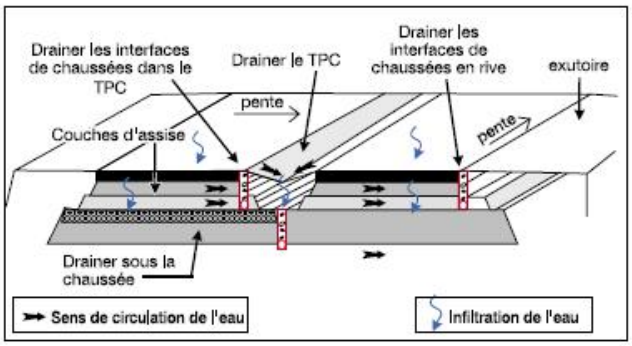


Figure III.25 : ***Fonctions à assurer et emplacements possibles des dispositifs de drainage***

III.2.5.5.3.1. Dispositifs de drainage des couches de chaussées

Le **Tableau (III.2)** synthétise les principales exigences de drainage, en apportant des éléments de réponse en termes de dispositifs de drainage possibles.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Couche de chaussée	Exigences de drainage	Dispositifs de drainage possible
Matériaux bitumineux	Pas d'exigence de drainage sauf enrobés drainants mais rôle de protection des couches sous-jacentes à assurer par : entretient du revêtement imperméabilisation…. Contrôle du compactage des joints, du collage des couches.	
Matériaux traité aux liants hydrauliques	Evacuation des eaux infiltrées dans les fissures	En entretien : imperméabilisation du revêtement de surface En prévention : pré fissuration des couches traitées aux liants hydraulique **Solution1 :** drainage latéral sur la hauteur de la couche en rive de chaussée côté accotement ou côté terre-plein central (selon la pente du profil en travers), par des tranchées ou des écrans drainants **solution 2** : drainage latéral par les accotements ou le terre-plein central (selon la pente du profil en travers), constitués en matériau drainant et une évacuation des eaux vers un exutoire par des drains.
Béton	évacuation des eaux infiltrées dans les fissures.	• en prévention : étanchéification des fissures par des joints en produit imperméable (joint d'arrêt, de fin de journée, joint longitudinaux et transversaux, contacts entre la dalle et le terre plein central, la bande d'arrêt d'urgence ou l'accotement) ; • réalisation d'une couche drainante sous la structure béton ; • pour les structures en béton armé, association d'un drainage latéral par : **solution 1** : des ouvrages longitudinaux tels tranchée ou écran drainant ; **solution 2** : des accotements en matériau drainant et une évacuation des eaux vers un exutoire par des drains.
Graves non traitées	évacuation des eaux libres, diminution des pressions interstitielles ; • éliminer les accumulations d'eau dans les points bas.	• en prévention et en entretien : imperméabilisation du revêtement de surface ; • choix d'une GNT drainante : **solution 1 :** drainage latéral sur la hauteur de la couche en rive de chaussée côté accotement ou côté terre-plein central (selon la pente du profil en travers), par des tranchées ou des écrans drainants ;

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

		solution 2_: drainage latéral par les accotements ou le terre-plein central (selon la pente du profil en travers), constitués en matériau drainant de perméabilité supérieure à celle de la GNT et une évacuation des eaux vers un exutoire par des drains ; • drainage transversal des points bas par des épis drainants.

Tableau III.2 : dispositifs de drainage en fonction des exigences de drainage

III.2.5.6. Choix de drainage

Les dispositifs de drainage à envisager peuvent être multiples. L'analyse des paramètres ayant servi à établir la note de risque doit aider à les définir. Le tableau ci-dessous résume les différents moyens d'action les dispositifs de drainage proprement dit; ces moyens ne devront pas dégrader la situation par rapport au traitement des obstacles latéraux dans le cas du reprofilage des fossés par exemple **[12].**

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Paramètre	**Exigences de drainage**	**Solutions et dispositifs de drainage possibles**
Etanchéité du revêtement	**Imperméabiliser le revêtement**	Pose d'un enduit, d'un pontage, **fraisage et réfection de la couche de roulement.**
Assainissement superficiel	**Rétablir les écoulements, éviter** les stagnations d'eau	**Remise en état des systèmes** d'assainissement : • examen des sens d'écoulement **des eaux, augmentation des** pentes, création d'exutoires plus **opérants ;** • cu**rage et reprofilage des fossés** • dérasement des accotements ; • réalisation de saignées **superficielles(1);** • étanchéification et remise en **état des cunettes ;** • vérification de l'état des **exutoires, des regards de visite ;** • curage des canalisations ; • modification du profil en long **(de la chaussée ou des systèmes de drainage existant) ou du profil en travers ;**
Environnement hydrogéologique défavorable	Interception des arrivées d'eau, **rabattement de la nappe sous le niveau de la PST, création ou entretien des exutoires.** **Selon la complexité des cas, une étude hydrogéologique peut être nécessaire pour dimensionner les ouvrages et définir leurs caractéristiques.**	• captage des arrivées d'eau en **talus par des éperons ou des masques drainants ;** • rabattement du niveau de la **nappe (drain subhorizontal, tranchée ou écran drainant, pompage) ;** • interception des alimentations **en eau superficielle (fossé profond, tranchée ou écran drainant) ;**
Drainage de la chaussée	**Remise en état ou réfection du réseau de drainage**	• curage des canalisations ; • vérification et remise en **état des drains, des exutoires, des regards de visite ;**
Sensibilité des sols support	**Protection des sols supports** sensibles à l'eau d'éventuelles infiltrations. L'amélioration de l'état hydrique des sols lorsque **ceux-**ci s'y prêtent est un **objectif difficile et demandant un délai parfois important. Dans certains cas (sols très défavorables) le drainage** n'apportera pas d'amélioration.	• interception des alimentations **en eau superficielles ou des** infiltrations d'eau par les **accotements (tranchée ou écran drainant) ;** • réfection de chaussées et/ou **substitution des sols**

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Sensibilité des matériaux de chaussée	Évacuation des eaux internes, protection des couches sous-jacentes par entretien et/ou réfection de la couche de roulement	• réalisation de drains de rive de chaussée ; • imperméabilisation de la surface et des fissures, reprofilage, programmation de campagne d'entretien

Tableau III.3 : Solutions et dispositifs en fonction des exigences de drainage

III.2.5.7. Caractéristiques des dispositifs de drainage et des matériaux utilisés dans ces dispositifs

III.2.5.7.1. Ouvrages et dispositifs de drainage

Les dispositifs de drainage décrit sont les suivants :

• Fossés profonds ;
• Tranchées drainantes ;
• Saignées drainantes (et épis drainants) ;
• Écrans drainants de rives de chaussée;
• Couches drainantes ;
• Puits (drainage vertical) ;

Et, bien qu'il ne s'agisse pas réellement d'ouvrages de drainage de plate-forme routière, les dispositifs de stabilisation de talus (masques, éperons).

III.2.5.7.1.1. Fossés profonds

Ce type de fossé, de profondeur supérieure à 50 cm, remplit essentiellement deux fonctions :

- Il recueille les eaux de ruissellement et permet le rabattement de la nappe sous certaines conditions.
- Il est très utilisé en phase provisoire, pendant les terrassements. Dans ce dernier cas, il peut parfois faciliter les opérations en diminuant les teneurs en eau des sols à extraire.

La sensibilité du milieu récepteur pourra parfois interdire ou limiter l'utilisation de cette technique où les eaux de ruissellement et de drainage interne sont mêlées.

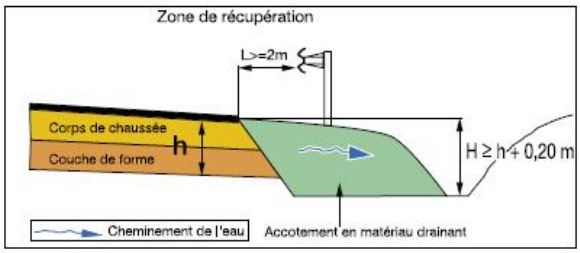


Figure III.26 : ***Fossé longitudinal profond***

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Pérennité et entretien

Dans la mesure où le respect des conditions d'implantation énoncées précédemment est maintenu, le fossé profond remplira pleinement sa fonction. Le contrôle de son fonctionnement et son entretien sont aisés sauf lorsque les pentes du talus du fossé sont trop raides ou lorsque de l'eau stagne au fond et que l'on n'a pas protégé les talus.

L'entretien consiste habituellement à faucher une ou deux fois par an avec possibilité au préalable de ramassage des déchets, à curer et à reconstituer le profil tous les cinq à dix ans.

A l'inverse, il peut jouer un rôle très défavorable et alimenter la chaussée ou la couche de forme en eau si sa profondeur est insuffisante ou si son entretien n'est plus assuré, (lorsque le fossé est obstrué ou que le fil d'eau ne permet plus l'écoulement vers un exutoire).

III.2.5.7.1.2. Tranchées drainantes

Les tranchées drainantes ont pour objectif :

• de drainer le sol support ;

• d'abaisser le niveau d'eau sous la plate-forme (gain de portance à court ou long terme, protection vis-à-vis du gel-dégel).

Elles sont essentiellement utilisées lorsque la réalisation du déblai nécessite un rabattement de nappe et c'est là que réside la différence essentielle avec les écrans drainants en rive de chaussée. Dans le cas de déblai important, leur profondeur est variable.

Elles peuvent parfois n'être utilisées qu'en phase provisoire, pour les terrassements (même en l'absence d'un exutoire gravitaire, avec utilisation d'un rejet par pompage classique ou par pompe à vide). En fonction de la profondeur de pose et des objectifs à atteindre, plusieurs types peuvent être proposés:

- **Tranchées drainantes peu profondes** (maximum de l'ordre de 2,5 m).
- **Tranchées drainantes profondes** (2,5 à 6 m).

Si le matériau drainant peut être colmaté par le sol environnant, un géotextile doit assurer le rôle de filtre.

Ces ouvrages sont surtout utilisés lorsque la réalisation du déblai nécessite un rabattement de nappe et que la hauteur du talus est importante. Dans ce cas, la mise en place d'un géotextile est difficile voire impossible. Seul le drain est alors protégé par un enrobage géotextile. Ces tranchées drainantes mises en œuvre suffisamment tôt avant le début des travaux permettent d'abaisser le niveau de la nappe et facilitent les terrassements. Elles sont placées de façon à contribuer en phase définitive à la stabilisation du talus de déblai.

Pérennité et entretien

La réalisation des tranchées drainantes demande un contrôle des produits et de leur mise en œuvre appropriée. Il est important de prévoir des regards sur drain :

• de dimension intérieure suffisante (conseillé 0,70 x 0,40 mètre) pour faciliter l'introduction de matériels d'hydrocurage ;

• espacés au maximum tous les 100 mètres (idéal 70 à 80 mètres).

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Dans le cas où les tranchées drainantes sont mises en place avant les terrassements, il est impératif de s'assurer de leur état et de leur bon fonctionnement à l'issue des terrassements (absence de ruptures, déboîtement, écrasement, colmatage) ; les réparations lourdes après la pose des chaussées sont très difficiles et onéreuses.
Ces ouvrages exigent aussi un entretien régulier grâce à des plans de récolement dûment établis, avec des visites d'inspection (contrôle des écoulements au niveau des regards de visite et des exutoires) et curage des drains.
Une visite annuelle et un hydrocurage tous les 3 à 5 ans sont conseillés.

III.2.5.7.1.3. Saignées drainantes et épis drainants

La saignée drainante est à mettre en place sous accotements dans des zones d'accumulation d'eau (point bas). Son objectif est l'évacuation des eaux qui percolent au travers de la chaussée. Elle doit toujours être associée à une couche drainante ou à une couche de forme drainante dont elle constitue l'exutoire (vers un fossé ou une tranchée drainante).
L'épi drainant est une variante de saignée transversale implantée sous la plate forme. Son rôle est habituellement de récupérer les eaux en points bas ou en points singuliers .

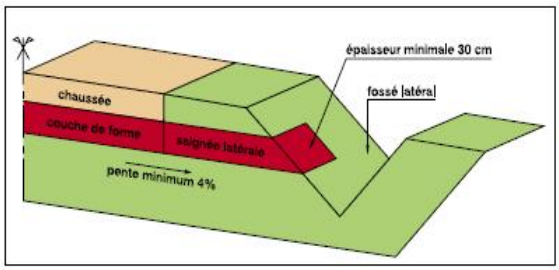


Figure III.27 : ***Saignée latérale reliée à la couche de forme***

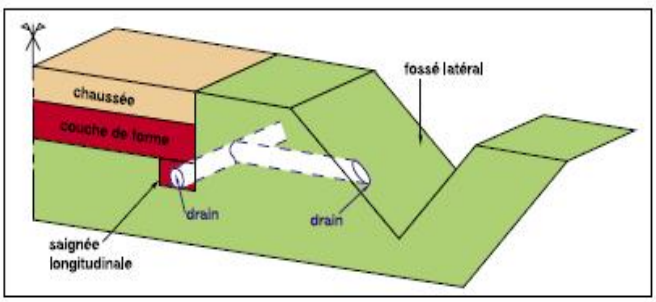


Figure III.28 : ***Saignée longitudinale avec drain***

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

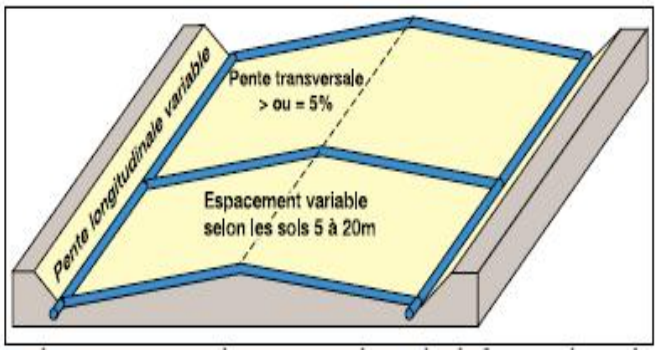


Figure III.29. : ***Épis drainants (sous la couche de forme ou la couche drainante)***

Pérennité et entretien

Complètement recouverts, ces ouvrages peuvent difficilement faire l'objet d'un entretien régulier sauf s'ils renferment des drains accessibles.

L'essentiel de l'entretien doit se focaliser sur l'exutoire pour éviter toute mise en charge qui entraînerait des remontées d'eau vers la chaussée.

III.2.5.7.1.4. Écrans drainants de rives de chaussée (EDRC)

Un sol drainé efficacement devient un sol non-saturé, il conserve une teneur en eau plus ou moins élevée suivant ses caractéristiques de succion et les déplacements de l'eau dans un tel sol sont complexes.

L'objectif principal recherché par l'EDRC est d'améliorer l'état hydrique des matériaux du corps de chaussée et du sol support, sur une épaisseur qui est fonction du type de chaussée, d'évacuer les eaux ayant pénétré dans la chaussée et de limiter les venues d'eau en provenance des accotements. Contrairement à la tranchée drainante, l'EDRC ne peut être posé à de grandes profondeurs (1,5 m maximum) et ne doit pas être utilisé pour rabattre une nappe.

Si le but habituel est d'améliorer la portance générale de la chaussée, l'utilisation de l'EDRC peut être également recommandée pour lutter contre la dessiccation et pour obtenir une meilleure protection vis-à-vis du gel-dégel.

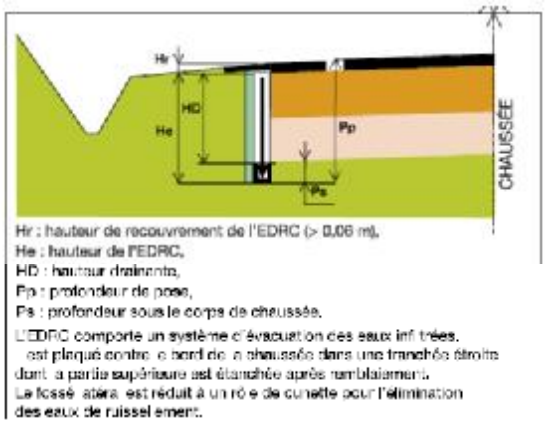


Figure III.30 : ***Profil en travers type d'une chaussée équipée d'un EDRC situé en limite de l'accotement et de la structure de chaussée***

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Pérennité et entretien

La réalisation des EDRC demande un contrôle des produits et de leur mise en oeuvre approprié (le problème du compactage de la tranchée est à examiner soigneusement). Les tampons de regard de drain doivent résister aux charges roulantes et avoir une dimension intérieure suffisante pour faciliter l'introduction de matériels d'hydrocurage.

Ils exigent aussi un entretien régulier grâce à des plans de récolement dûment établis, avec des visites d'inspection et curage des drains. Les EDRC en pose automatisée ont cependant l'avantage d'une garantie de qualité plus particulièrement pour l'exécution en tranchée de faible pente.

Une visite annuelle et un hydrocurage tous les 3 à 5 ans sont conseillés.

III.2.5.7.1.5. Couches drainantes

La couche drainante est constituée d'un matériau granulaire très perméable pour intercepter un courant d'eau ascendant ou descendant. On la trouvera ainsi :

• intercalée entre chaussée et sol support ; elle récupère les éventuelles venues d'eau au travers de la chaussée et surtout les arrivées d'eau en provenance du sol support

• intercalée entre une couche imperméable (radier, géomembrane) et le sol support. Dans ce cas, l'objectif est l'interception des venues d'eau issues du sol support et la diminution des sous pressions.

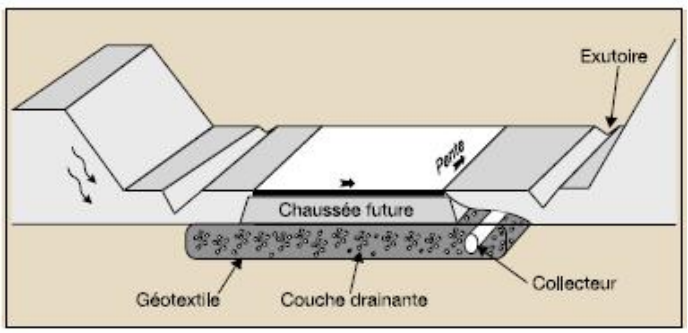


Figure III.31 : ***Couche drainante en déblai***

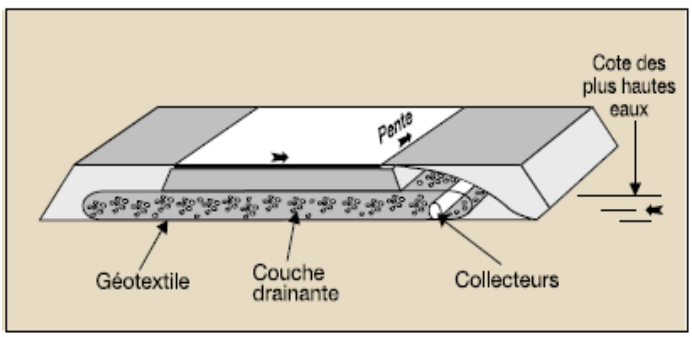


Figure III.32 : ***Couche drainante en remblai***

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Pérennité et entretien

Recouverte, la couche drainante n'est pas visitable et ne permet pas d'entretien. Il est donc impératif de la dimensionner avec soin en s'assurant d'une bonne sécurité

Les exutoires et collecteurs d'exhaure doivent être mis en place et entretenus comme dans les dispositifs précédents (regard visitable tous les 70-80 m de dimensions suffisantes, visite annuelle et hydrocurage tous les 3 à 5 ans).

III.2.5.7.1.6. Puits (drainage vertical)

Les puits assurent ponctuellement l'évacuation verticale des eaux par relèvement jusqu'à un exutoire en surface. Ils sont le plus souvent utilisés de manière temporaire, au moment des terrassements.

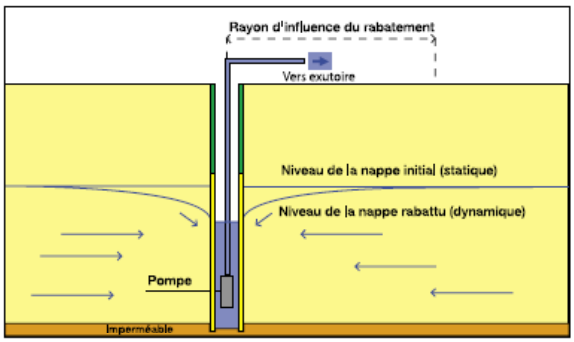


Figure III.33 : *Schéma de principe d'un drainage vertical par puits*

Pérennité et entretien

Sauf cas tout à fait particulier, les ouvrages de rabattement ne sont utilisés que de manière provisoire, pendant les terrassements. Les problèmes de pérennité et d'entretien ne se posent pas.

III.2.5.7.1.7. Dispositifs de stabilisation de talus (masques et éperons)

Leur objectif est d'intercepter l'eau dans les talus (et ils contribuent ainsi à l'assainissement de la plate- forme) mais aussi d'agir comme massif de retenue afin d'accroître la stabilité générale. Ils sont donc utilisés dans les déblais descendant (même temporairement) sous le niveau de la nappe phréatique. La mise au point du système et surtout de sa géométrie imposent des calculs spécifiques où les caractéristiques mécaniques des sols encaissants prédominent.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

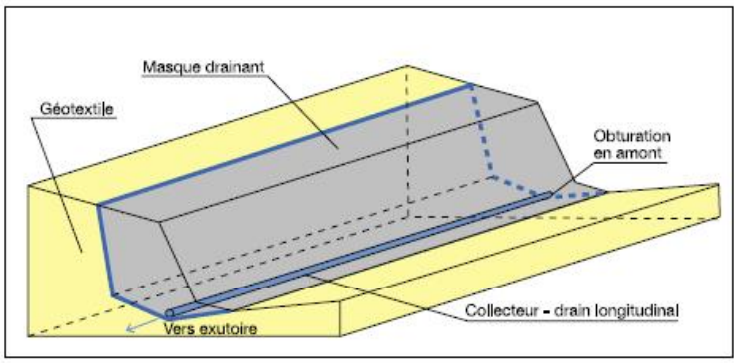


Figure III.3 : ***Masque drainant.***

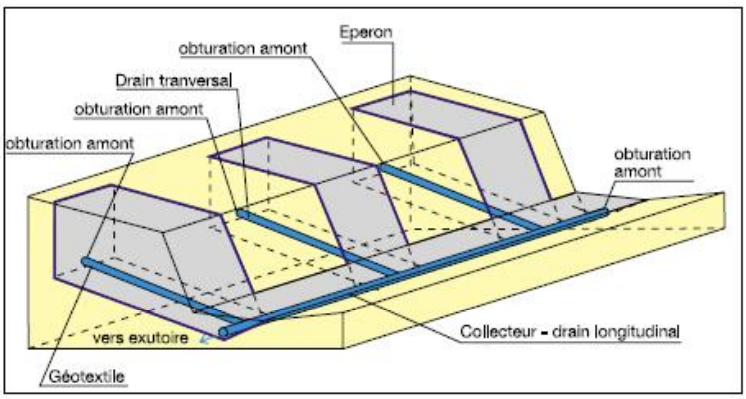


Figure III.35 : ***Éperons drainants.***

Pérennité et entretien

La masse drainante, enfouie, ne peut faire l'objet d'un quelconque entretien. Le drain d'évacuation doit pouvoir être accessible et comporter des regards de visite tous les **25 à 50 m (selon le degré de sécurité voulu) pour les masques, à chaque piquage sur le collecteur longitudinal pour les éperons.** Une visite complète est souhaitable à l'issue du chantier et un **plan de récolement précis est indispensable.**

En ce qui concerne l'entretien, il faut prévoir **un relevé visuel (appréciation des débits et** surtout du colmatage) de l'état des orifices des drains à chaque regard et selon un rythme plus soutenu en début de vie de l'ouvrage **; par exemple visite à 1 mois - 3 mois - 6 mois - 1 an.**

Un hydrocurage est conseillé au moins tous les 3 à 5 ans (plus souvent si le suivi précédent a montré une tendance à un encroûtement rapide).

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

IV.1. Introduction

Généralement le drainage ne se réalise pratiquement jamais, alors qu'il est indispensable vue que la cause principale des désordres des ouvrages est l'eau. L'absence de drainage, sa mauvaise conception, ou un mauvais entretien du système conduit toujours à un comportement pathologique de l'ouvrage. Dans ce chapitre je vais tenter de vous exposer les conséquences d'un mauvais drainage, les erreurs à éviter ainsi qu'aux désordres que sa peut engendrer dans le cas où il n'est pas réalisé.

IV.2. Les sorties de drains ou collecteurs

L'entretien normal d'un réseau de drainage se situe au niveau des bouches et des regards. Il peut se produire plusieurs types de problèmes courants qui proviennent soit de la conception, de l'évacuation, des causes naturelles, ou bien du non entretien de l'ouvrage.

- **Défauts de conception ou de mise en œuvre**

  Ils peuvent provenir :

  - ✓ D'une section insuffisante de drain
  - ✓ D'une pente trop faible, de ce fait, la vitesse insuffisante de l'eau entraine des dépôts de limons ou de sable
  - ✓ De défauts d'exécution au niveau de la pose, des raccords ou des remblais

On ne pourra remédier à de tels phénomènes que par une intervention générale sur le réseau.

- **Causes naturelles**

  Il existe plusieurs phénomènes dus aux causes naturelles, on distingue :

  - ✓ La pénétration des petits animaux (rats….)
  - ✓ La pénétration de racines dans les drains **(Figure IV.1),**
  - ✓ Le développement d'algues dans les canalisations
  - ✓ Les dépôts de sédiments calcaire, séléniteux ou ferrugineux ; dépôt qui ne peut être combattu que par l'utilisation de tuyaux lisses mis en œuvre avec une pente importante **(Figure IV.2.a), (Figure IV.2.b), (Figure IV.2.c), (Figure IV.2.d),**

- **Manque d'entretien**

Le manque d'entretien des sorties de drains se traduit par des conduits plastiques obturés par des éboulements de terre **(Figure IV.3),** des sorties écrasées au moment des travaux de construction ou d'entretien **(Figure IV.4)**, ou décapitées par une fauche ou par le vandalisme, des sorties colonisées par la végétation **(Figure IV.5)**, ou encore des exutoires partiellement bouchés par des dépôts minéraux ou organiques **(Figure IV.6)**, ou colmatés après sédimentation des particules de terre en suspension dans les eaux boueuses qui ont pénétré dans les regards pendant les pluies d'orage **(Figure IV.7)**. Ces exutoires deviennent alors plus fonctionnels.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Il n'ya alors pratiquement pas d'autre remède que de refaire un nouveau **réseau de drainage en entourant le drain par un filtre ou une matière filtrante.**

Figure IV.1 : ***Sortie de drain pincée par les racines d'un arbre (il ne coule plus)***

Figure IV.2.a : ***Boues ferriques obstruant la sortie d'un exutoire du drain***

Figure IV.2.b : ***La couleur de l'eau est une indication évidente d'un problème de colmatage l'oxyde de fer lorsqu'un drain a été débloqué au niveau du collecteur.***

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

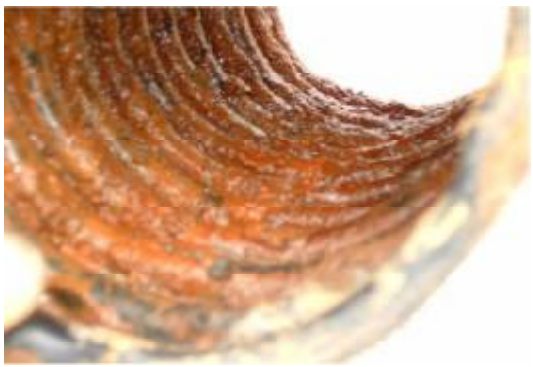


Figure IV.2.c : ***Un exemple d'une section de collecteur découvert, démontrant le colmatage par l'oxyde de fer, qui obstruait énormément les trous dans le drain, empêchant l'eau d'entrer.***

Figure IV.2.d : ***Exemples de colmatage sédimentaire dû à l'installation d'un filtre inadéquat et d'un sol à haut risque de colmatage de drain par l'ocre de fer***

Figure IV.3.*Sortie de drain obstrué par des éboulements de terre*

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Figure IV.4 : ***Exutoire de drain écrasé***

Figure IV.5 : ***Exutoire de drain en partie masqué par une végétation herbacée (Il sera totalement phagocyté dans quelques mois)***

Figure IV.6 : ***Exutoire de drain presque totalement bouché par des dépots minéraux (dépots de calcite)***

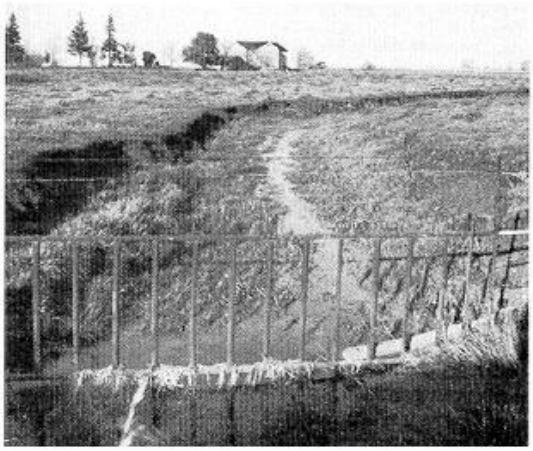
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Figure IV.7 : ***Regard en partie colmatée par la sédimentation des limons apportée par les eaux de ruissellements lors des pluies. L'exutoire des drains est noyé par les limons***

IV.2.1. Les fossés

Les fossés ne peuvent être gardés en bon état que par un entretien soigné. Les arbres, les broussailles et les mauvaises herbes dans le fossé ralentissent l'eau et causent une accumulation de sédiments. L'eau submerge alors les sorties de drain et réduit le débit du fossé. Les arbres, les mauvaises herbes, les troncs, les broussailles, les vieilles clôtures et autres débris devraient être enlevés du canal. Ils deviennent un risque lorsqu'ils bouchent les ponts ou petits ponceaux **(Figure IV.9)**.

Figure IV.8 : ***Fossé nécessitant un nettoyage (Le fond s'est envasé, les rives sont instables et la clôture amasse des débris)***



IV.2.2. Entretien [10]

Maintenir les drains en bon état : La difficulté principale est de garder la sortie en bon état. Elle devrait être protégée contre l'écoulement et l'érosion des rives du fossé ou de la tranchée.

Aménagement d'une sortie de drainage efficace : La sortie de drainage doit être protégée contre l'érosion, le tassement, les rongeurs, l'envasement, les glissements et les dommages causés par la machinerie et le bétail.

Il importe de protéger les tuyaux de sortie contre les rongeurs par une grille de protection qui doit être en place au moment de l'installation **(Figure IV.9)**. Il faut une grille articulée pour rendre possibles les opérations de nettoyage **(Figure IV.10)**,

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Figure IV.9 : ***Une bonne sortie de drainage bien protégée contre l'érosion contenant un grillage anti-rongeur.***

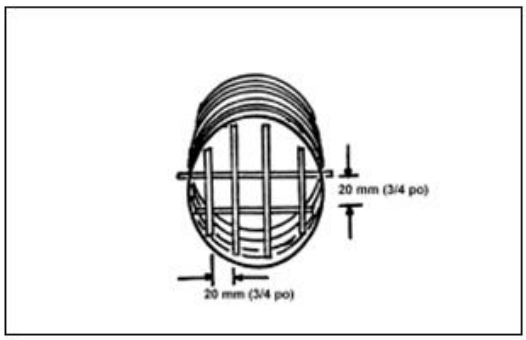


Figure IV.10 : ***Grille articulée contre les rongeurs.***

- Utiliser un tuyau non perforé, en plastique ou en tôle ondulée, si on utilise un tuyau en plastique, celui-ci doit avoir été traité chimiquement pour résister à la dégradation par les rayons ultraviolets.

- On recommande de faire arriver l'extrémité du tuyau de sortie à même égalité que la berge pour empêcher la glace flottante et les débris de l'endommager. Il faut prévoir une protection contre l'érosion tout autour de la sortie. On aménage à cette fin en retrait, sous le tuyau de sortie, un tablier constitué d'un enrochement doublé de tissu filtrant qui tapissent le talus et le fond du fossé à l'exutoire. D'autres matériaux que les roches, comme les géotextiles, les blocs de béton avec joints de contrôle ou retenus par des câbles assurent également une protection adéquate contre l'érosion.

- Il est important de garder un plan exact du système de drainage si on veut faire un entretien adéquat. Le plan devra montrer l'emplacement de tous les fossés et drains, leur dimension et leur profondeur, leur pente ainsi que leur écartement. Le plan devrait être mis à jour lorsqu'on prolonge ou répare le système. **[10]**

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

IV.4. Les barrages en remblai

IV.4.1. Les puits

Dans les barrages, la plupart des puits ne font pas l'objet d'aucune surveillance, ni d'aucune interprétation des niveaux d'eau ou des débits en fonction de la charge dans la retenue. Les puits sont d'ailleurs souvent introuvables, bouchées, ou détruits partiellement, ou même totalement, à la suite d'accidents de fauche ou d'acte de vandalisme. D'autres débordent, en continuant certes à jouer leur rôle de décharge, mais sans aucun contrôle permettant de déceler une dérivé éventuelle du comportement (tendance à l'augmentation des niveaux d'eau ou des débits à charges constante dans la retenu, entrainement de la matière, ou, au contraire tendance au colmatage des puits, etc.…) les puits qui ont un rôle capitale peuvent parfois perdre tout leur intérêt par simple laxisme.

IV.4.2. Les pressions interstitielles dans les barrages

Elles existent normalement dans un remblai ou une fondation traversée par une nappe. Il ya un problème pathologique si la pression hydrostatiques ne sont plus maitrisées comme prévu au projet, ou si l'ouvrage n'est pas drainer.

IV.4.2.1. Pression interstitielle dans le remblai

On attend d'un drain qu'il canalise les eaux de percolation du remblai en un ou plusieurs points précis à l'aval ou l'on peut mesurer les débits de fuites, mais aussi qu'il minimise les pressions interstitielles dans le massif pour augmenter la sécurité de l'ouvrage. C'est un aspect fondamental du rôle du drain dont le débit de fuite ne rend absolument pas compte et que l'on oublie souvent.

Lorsque le drain est placé sous le talus aval sous forme de tapis, il réduit les pressions interstitielles dans le talus et la fondation, du moins tant qu'il n'est pas colmaté et se trouve à la pression atmosphérique.

IV.4.2.2. Le développement des pressions interstitielles de construction dans le remblai

Dans le cas ou le remblai est réalisé avec des sols fins humides, la dissipation des pressions ne se fait que très lentement .des pressions élevées peuvent subsister ; sans que l'on s'en doute plusieurs années après la fin des travaux et être la cause d'une stabilité précaire de l'ouvrage pendant les premières années d'exploitation.

Ruptures différées à la première et la troisième vidange ; à cause de pression interstitielle de construction résiduelles élevées. **(Figure IV.11)**, **(Figure IV.12)**. Ils se produisent pendant le chantier ou peut de temps après, un moment ou la consolidation du sol n'est pas achevée. Les dégâts peuvent être très graves.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Figure IV.11. ***Le glissement du talus amont***
Barrage d'ARMUS et CAU ;(GERS, France)

Figure IV.12.*Vue de face du glissement*

IV.4.2. 3. Tassement et consolidation des sols de fondation

La mise en charge des terres de fondation sous le poids du remblai provoque des déformations, si le sol est perméable, l'eau interstitielle s'évacue sous la charge et les pressions interstitielles restent faible et se dissipent rapidement. Si le sol est peu perméable, eu égard à la vitesse d'augmentation des contraintes, l'eau interstitielle ne peut s'écouler que très lentement et se met en pression. La pression diminue alors dans le temps pour éteindre une valeur d'équilibre qui est indépendante des contraintes appliquées lorsque l'écoulement permanant est établi. La figure ci-dessous **(Figure IV.13)** est un exemple d'ouvrage s'est rompu, en fin de construction la surcharge appliquée aux terres de fondation à entrainer la réduction des volumes des vides et saturation des sols. L'eau ne pouvant pratiquement pas se drainer dans ce milieu argileux elle s'est mise en pression sous le poids de l'ouvrage qui s'édifiait.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Figure IV.13 : ***Glissement du talus aval***
Barrage de BEBOREDE D'YNIS

Rotation en masse du talus et un soulèvement du terrain au pied aval le mouvement a entrainé la torsion des exutoires du drain interne et le déplacement vers l'aval des regards en béton construit pour protéger leur sorties **(Figure IV.14).**

Figure IV.14 : ***Déplacement d'un regard ainsi que la torsion d'un exutoire du drain interne et du collecteur au pied aval après glissement du talus du barrage d'YNIS***

IV.4.2.4. Les pressions interstitielles dangereuses dans un remblai ou la fondation d'un barrage

On peut les détecter en les mesurant avec des capteurs de pressions interstitielles, ou des piézomètres. La hauteur piézométrique qui est relevée sur un ou plusieurs profil(s) transversal (aux) du barrage permet de définir l'allure de l'écoulement à travers l'ouvrage et la fondation et de le conforter avec des hypothèses retenues au projet.

Si la ligne phréatique échappe au rabattement par le drain **(ou si, le barrage n'est pas drainé)** et recoupe le talus aval de pente trop raide, il peut se produire un écroulement ou un glissement du talus. **(Figure IV.15).** Les surpressions sont alors évidentes. Elles se seraient aussi, bien sûr, s'il y avait un soulèvement du terrain au pied aval.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Figure IV.15 : ***Ecroulement du talus aval du barrage*** **dû à l'absence de drain**

IV.4.3. La perte de la fonction drainante

Elle va conduire à un comportement pathologique du barrage, elle peut provenir du colmatage des sables du drain (pas de respect des règles de filtre) ou de la perte d'efficacité des exutoires. Dans les deux cas, le drain vas cesser d'assurer sa fonction d'évacuation et vas se mettre en charge. Le barrage se comportera alors comme s'il n'était pas drainer et il va se saturer.

IV.4.4. L'érosion interne

Ce phénomène est en relation avec la circulation de l'eau dans les sols de fondation ou du remblai, si la force de percolation est suffisamment importante, l'eau va arracher sur son parcours des particules de terre et les expulser à l'aval du barrage en émergeant à une vitesse suffisante. L'érosion interne est donc le résultat de deux mécanismes : l'arrachement de la matière et le transport de celle-ci jusqu'à un exutoire où les particules sont expulsées.

IV.4.4.1. Les principaux types d'érosion interne

Selon les conditions hydrauliques d'écoulement à travers le massif ou la fondation, on peut distinguer deux types d'érosion interne :

- ✓ le renard issu d'une circulation concentrée
- ✓ La suffusion résultant d'une circulation diffuse dans les espaces interparticulaires du sol.

IV.4.4.1.1. Le renard

Le renard qui doit son nom à sa forme de terrier est, des deux types d'érosion interne, le plus dangereux. On diamètre peut varier de quelques centimètres, à plusieurs dizaines de centimètres voire plus d'un mètre. Son développement peut se faire en quelque moins ou quelques années. Il se développe à partir d'une zone d'écoulement préférentielle par érosion régressive essentiellement. Peut avoir trois origines :

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

IV.4.4.1.1.1. Erreur de conception du barrage : règles de filtre ne sont pas respecté **(Figure IV.16)** l'exploitation du barrage est actuellement satisfaisante bien que le respect des conditions de filtre ne soit pas assurer entre les matériaux du tapis et les encochements.

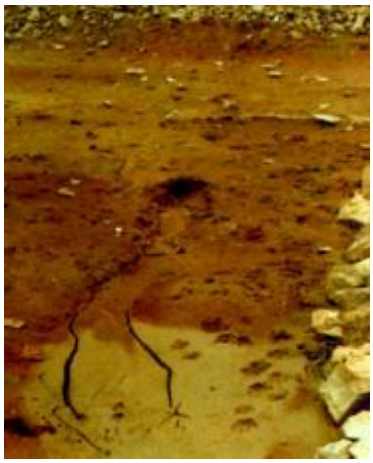


Figure IV.16 : ***Phénomène de renards au pied amont du barrage GOYRDON (lot, France)***

IV.4.4.1.1.2. Négligence de chantier : (Figure IV.17), (Figure IV.18), alors que l'ouvrage a été étudié et bien calculé ;

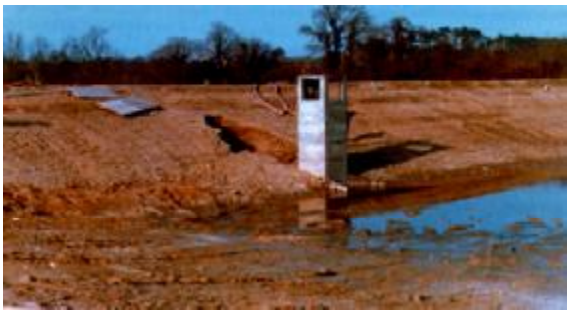


Figure IV.17 : ***Rupture d'un barrage de SAIN JULIEN DES LANDES (Vendée, France)***

Figure IV.18 : ***Le renard vu de l'amont après extraction de la conduite de vidange***

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

IV.4.4.1.1.3. Cause accidentelle (Figure IV.19), (Figure IV.20), (Figure IV.21),

La plupart des phénomènes d'érosion interne ont eu une origine **accidentelle qui a** entrainé une augmentation du gradient hydraulique d'écoulement due à l'augmentation de la **charge H ou diminution de la longueur de percolation L. La diminution de L peut résulter de :**

- **Rupture de canalisation (conduite de vidange ou drain en plastique)**
- **Fissuration des sols en relation avec :**
  - ✓ **Tassements différentiels**
  - ✓ **Retrait de la terre cohésive**
  - ✓ **Phénomène de claquage hydraulique**
- Présence de terriers d'animaux fouisseurs ou d'empreintes racinaires.
- **La réactivation des vides préexistant dans la fondation (renards fossiles ou cavités karstiques)**

Figure IV.19 : ***Le renard vu** de l'aval, barrage de BUGET (Haute Garonne ,France)*

Figure IV.20 : ***Conduite fossile dans le substratum marneux de la retenu***

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Figure IV.21 : ***Dégradation du remblai en terre par des ragondins***

IV.4.4.1.2. La suffusion

Alors que le renard est un processus d'érosion concentré dans un conduit, le phénomène de suffusion intéresse un volume de sol, ce phénomène correspond à un entrainement sélectif des petites particules les plus instables dans l'espace dans poreux inteparticulaires d'un sol, par l'eau en mouvement. On distingue deux types de suffusion :

IV.4.4.1.2.1. La suffusion interne : qui correspond au lessivage des particules fines d'un milieu granulaire non auto-filtrant

IV.4.4.1.2.2. La suffusion externe : qui se produit à l'interface de deux couches de sol de nature différente par élimination des fines de l'une dans les espaces interparticulaire de l'autre **(figure IV.22).**

Il ya donc des matériaux intrinsèquement instables et des structures dangereuses.

Figure IV.22 : ***Fontis en crête d'ouvrage***

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

IV.5. Les champs agricoles

Problème de ruissèlement créant de l'érosion : selon des évènements pluvieux très variables et de plus en plus intenses. L'absence de drainage peut crée dans les champs mal aménagés, des zones humides, du ruissellement, de l'érosion des sols et même une baisse de **rendement des cultures. (Figure IV.23), (Figure IV.24).**

Figure IV.23 : *Exemple de ruissellement créant de l'érosion*

Figure IV.24 : *Accumulation d'eau à la surface d'un champ*

IV.6. Types de désordres rencontrés sur chaussées

IV.6.1. Cas des chaussées souples

Les Graves Non Traitées (GNT) qui constituent l'assise des chaussées souples présentent un comportement mécanique qui dépend étroitement de leur teneur en eau. L'augmentation **des teneurs en eau résiduelles induit une baisse du module de rigidité et une augmentation des déformations permanentes. Les structures de chaussées en GNT doivent plus que tout autre** faire l'objet d'un drainage soigné, car les pathologies qui se développent apparaissent **rapidement sur plusieurs mètres. Le manque de drainage pour les chaussées se traduit alors par :**

- ✓ des déformations permanentes. L'orniérage longitudinal à grand rayon de courbure **qui se crée sous le passage des roues des poids lourds et dont la largeur de trace peut atteindre 0,80 m est le plus caractéristique.** On note aussi l'apparition de flaches d'affaissement de rives **(les flaches : affaissement hors rive de forme circulaire) ;**

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

- ✓ de la fissuration longitudinale dans les bandes de roulement. Elle apparaît dans les bandes de roulement, se ramifie et se transforme en un faïençage à mailles plus serrées.

Une chaussée souple soumise aux infiltrations avant une période de gel présente en période de dégel une accélération de ces deux types de dégradations.

Figure IV.25. *Exemple d'orniérage d'une chaussée souple causé par l'assise **non traitée et le sol support***

IV.6.2. Cas des chaussées rigides ou semi-rigides

Les matériaux traités aux liants hydrauliques sont peu ou pas sensibles à l'action de l'eau, grâce aux caractéristiques mécaniques développées par la prise hydraulique.
Les infiltrations d'eau sont favorisées dans les cas suivants :

- ✓ en présence de fissures transversales de retrait ce qui augmente la taille des fissures et diminue le collage entre couches ;

- ✓ lorsque la fissuration verticale atteint le sol support, il y a perte de portance, développement du phénomène de pompage, remontées de boue, puis du faïençage de forme circulaire et enfin des flaches et des nids de poules;

- ✓ lorsqu'il y a un défaut de compactage du joint entre les bandes formées à la mise en œuvre.

Dans le cas des structures mixtes, on observe les mêmes types de dégradations (quoique plus rarement) liées à la nature de la couche de fondation. Ces dégradations sont atténuées toutefois en raison de l'épaisseur des couches bitumineuses.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Figure IV.26 : ***Développement de l'érosion autour d'une fissure dans des graves hydrauliques de structures***

IV.6.3. Cas des couches en matériaux bitumineux

L'effet de l'eau est peu significatif par rapport aux dommages crées par la fatigue mécanique. En revanche, l'apparition de fissures favorisera l'infiltration d'eau dans les structures sous-jacentes.

Il n'est pas nécessaire de drainer ces couches, mais leur entretien est primordial, car il est garant de l'imperméabilisation par protection des couches sous-jacentes.

IV.6.4. Cas des chaussées en béton de ciment

Pour les chaussées rigides, le « pompage » provoqué par l'accumulation d'eau au droit des joints de dalles et en rives a été reconnu comme étant la cause majeure des dégradations des chaussées en béton par battement de dalles et mise en « marches d'escalier »

Figure IV.27. ***Exemple de dégradation dans une chaussée en béton***

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

IV.6.5. Autres désordres

L'eau peut facilement s'y infiltrer et se concentrer soit du fait d'une forte perméabilité soit du fait de la fissuration importante ou d'un mauvais état de surface.
L'accumulation progressive d'eau peut créer une zone de faiblesse mécanique ou, le plus souvent, être un point de ressuage de l'eau accumulée, ce qui constitue une zone sensible (glissance, gel qui sont des facteurs d'accident notamment pour les 2 roues).

Les avaloires : il existe des cas où les avaloires sont complètement bouchés par simple négligence, c'est-à-dire qu'il ya pas d'entretien, de curage, de nettoyage des systèmes, ou tout simplement leurs absence (ils n'ont jamais été conçus), ce qui provoque la stagnation de l'eau (généralement après des évènements pluvieux), ce qui conduit à la dégradation de la chaussée.

IV.6.6. Cas de la chaussée sur la route de BOUKHALFA (vers l'université Mouloud Mammeri)

La chaussée est complètement dégradée, et cela est malgré la présence de caniveau, comme le montre la figure ci-dessous, les eaux de pluie sont alors évacués.

Figure IV.28 : ***Présentation des lieux***

L'existence de caniveaux signifie que les eaux de pluie sont évacuées (drainées), par contre l'absence de barbacanes conduit à la dégradation de la chaussée, car les eaux qui s'infiltrent à travers la chaussée ainsi que dans le remblai ne sont pas drainées.

Figure IV.29. ***Nécessité de barbacanes dans les caniveaux pour le drainage des eaux d'infiltration***

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Figure IV.30. *L'érosion sur le talus (talus **non drainé**)*

IV.6.7. Exploitation et entretien des dispositifs de drainage [17]

L'équipement d'une chaussée par un dispositif de drainage est un investissement qui a un objectif permanent : évacuer les excès d'eau dans les structures de chaussées et les sols support afin d'éviter l'apparition de dégradations précoces et/ou leur accélération. Les réseaux de drainage doivent donc être l'objet d'un suivi et d'un entretien au même titre que l'assainissement

IV.6.7.1. Visite de l'ouvrage avec plan de récolement

Dès la remise de l'ouvrage, il est recommandé au service chargé de l'entretien d'effectuer une visite complète de l'ouvrage en s'appuyant sur le dossier de récolement pour reconnaître toutes les parties du dispositif de drainage et sur la notice d'entretien de ces ouvrages. Cette opération est indispensable avant d'établir le programme de visites et d'entretien périodiques.

On situera, en particulier :

- ✓ L'accessibilité et la protection des regards de visite et d'exutoires
- ✓ La position des têtes d'exutoires.

IV.6.7.2. Établissement du point zéro en l'absence d'un plan de récolement

Si le dossier de récolement fait défaut, le service gestionnaire exploitant se doit de constituer le « point zéro » à la prise de possession de l'ouvrage.

Dans un premier temps, la lecture des pièces du marché permet de prendre connaissance des solutions de drainage prévues. Il convient ensuite de vérifier sur le terrain si elles existent. Les dispositifs étant enterrés, un indice de leur présence peut être donné par les regards de visite et les exutoires qu'il convient de localiser avec précision. Il est ainsi possible d'avoir une vue d'ensemble des dispositifs :

- ✓ géométrie et accessibilité des ouvrages ;
- ✓ pente des fils d'eau des drains ;
- ✓ raccordement des dispositifs aux exutoires ;
- ✓ position des regards de visite, diamètres des drains ;
- ✓ protection des têtes d'exutoires.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Dans un deuxième temps, le point zéro doit préciser l'état d'entretien de toutes les parties du dispositif de façon à dresser, éventuellement, la liste des travaux de premier entretien indispensable au bon fonctionnement de l'ouvrage.

On vérifiera, en particulier :

- ✓ le bon écoulement de l'eau dans les fossés ou dans les caniveaux ou descentes d'eau après une période pluvieuse et son évacuation (vérification du niveau du fil d'eau des fossés par rapport aux exutoires du dispositif de drainage) ;
- ✓ l'absence de coulées de boues aux exutoires (leur présence est l'indice d'une détérioration du filtre en géotextile du dispositif de drainage ou pire de son absence).

La totalité de ces constatations doit être reportée sur le plan « point zéro » du réseau de drainage. Ceci permet d'affecter des priorités aux actions de réparation selon l'ampleur des dégâts constatés.

Si de telles dispositions ne sont pas très contraignantes pour un service spécialisé chargé de l'entretien d'une voie express ou d'une autoroute, il n'est pas sûr qu'il en soit de même pour les services qui ont en charge les réseaux courants de routes nationales ou départementales. Néanmoins, cette tâche est primordiale et doit être réalisée dans toute la mesure du possible.

IV.6.7.3. Travaux d'entretien et de maintenance

Si le gestionnaire s'est trouvé dans l'obligation d'établir un point zéro et de procéder à des travaux de remise en conformité, il s'agit d'une tâche préliminaire qui doit faire l'objet d'une étude après expertise.

La maintenance d'un réseau de drainage comporte deux parties ; la surveillance et l'entretien.
La surveillance : elle doit être régulière et s'effectuer conjointement à celle de l'assainissement général. Il faut noter que les périodes les plus propices pour déceler des anomalies de fonctionnement se situent pendant un épisode pluvieux ou juste après.
L'entretien et la périodicité de l'entretien : Pour l'entretien des différents dispositifs de drainage, il faut se reporter au chapitre III.

IV.7. Types de désordres rencontrés sur des talus

IV.7.1. Cas n°1 : Traitement d'un glissement de terrain Grands Vents

IV.7.1.1. Présentation du glissement

Glissement de terrain sous forme d'une coulée de boues qui menace la voie rapide reliant la ville d'Alger à sa banlieue ouest. Le massif est fortement perturbé sur toute la longueur du rampant de talus et sur un linéaire de plus de 100m. [7]

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Figure IV.31 : ***Présentation du glissement***

IV.7.1.2. Solutions mises en œuvre

Le traitement du glissement a nécessité une combinaison de solutions :

- gestion des eaux internes par des tranchées drainantes
- gestion des eaux de surface (eaux de pluie, eaux de ruissellement, etc.)
- construction de murs de soutènement renforcés par géotextiles.

Gestions des eaux internes : Les eaux internes sont prises en compte par la réalisation d'un réseau de tranchées.

Figure IV.32 : Gestions ***des eaux internes***

Gestions des eaux de surface : Les eaux de surface sont gérées par la réalisation d'un fossé imperméable en mettant en œuvre un géocomposite **étanche au dessus de la tranchée drainante.**

Figure IV.33 : ***Gestions des eaux de surface***

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

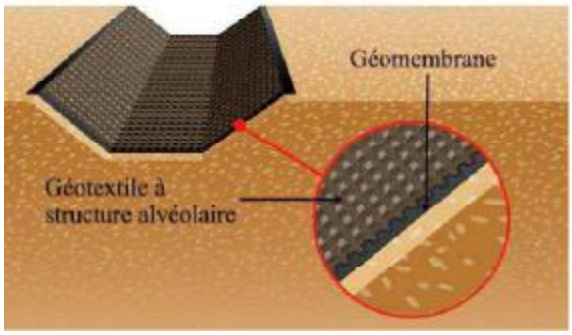


Figure IV.34 : ***Géocomposite étanche pour la gestion des eaux de surface***

Construction des Murs de soutènement

Les ouvrages de soutènement sont drainés en amont à l'aide d'un géocomposite de drainage SOMTUBE FTF D20.

Figure IV.35 : ***Réalisation du mur de soutenement***

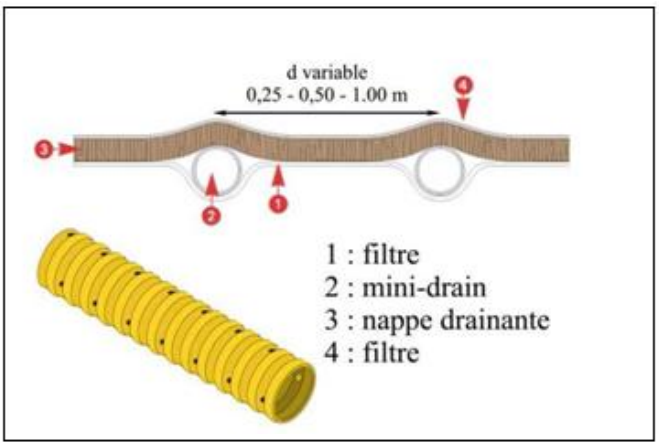


Figure IV.36 : ***Structure SOMTUBE FTF D20***

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Figure IV.37 : ***Mur de soutènement***

On remarque sur la figure (IV.37) l'existence d'un caniveau qui est en effet très important il sert à évacuer les eaux drainés par le mur, pour éviter la stagnation des eaux à l'amont du mur.

Figure IV.38 : ***Travaux achevés***

IV.7.2. Cas n°2 : Glissement de terrain sur CW 13 et reconstruction de la chaussée

IV.7.2.1. Présentation du glissement

Glissement de terrain affectant la moitie d'une chaussée stratégique. La cause du glissement est un événement pluviométrique 2003.

Figure IV.39: ***Présentation du glissement***

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Figure IV.40 : ***La chaussée affectée par le glissement.***

Figure IV.41 : ***Fissures de traction apparues dés le début des travaux.***

IV.7.2.2. Solutions proposées

- Conception d'un mur de soutènement en gabions.
- Conception d'un mur en béton armé fondé sur pieux ancrés à des profondeurs au-delà de 4 m dans le substratum.
- Conception d'un mur de soutènement renforcé par des géotextiles couplé à un drainage par géocomposite.

IV.7.2.3. Solution retenue

- Mur de soutènement renforcé par des géotextiles à parement enveloppé.
- Gestion des eaux par drainage massif amont par géocomposite équipé de mini-drains.

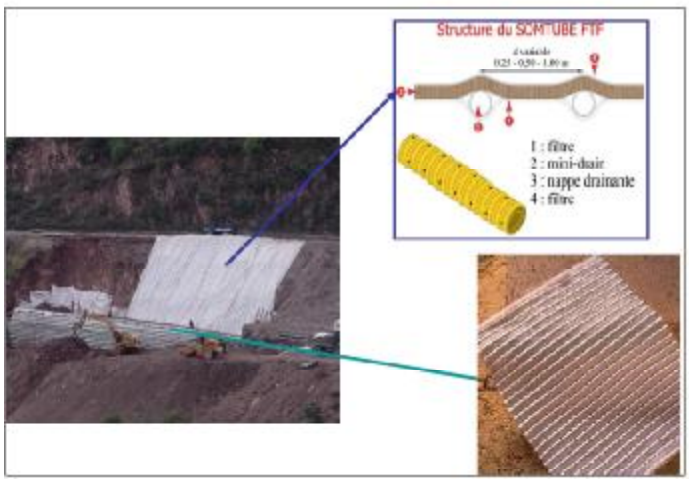


Figure IV.42 : ***Drainage du massif amont***

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Figure IV.43 : Construction du *remblai technique.*

Figure IV.44 : *Reconstruction de la chaussée.*

Figure IV.45 : *Ouvrage achevé*

IV.7.4. Cas n°3 : glissement de terrain sur la RN 12[1]

IV.7.4.1. Présentation du glissement

Le moteur du glissement de terrain est l'eau, mais aussi l'absence d'ouvrages d'assainissement et de drainage dans toute la zone.

Les désordres se manifestent par l'affaissement de la chaussée.

[1] La RN 12, dite aussi la route de Kabylie, est la principale route qui traverse la Kabylie de part en part, sur une distance de 250 km environ.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Figure IV.46 : ***Présentation du glissement***

Figure IV.47 : ***Affaissement de la chaussée***

IV.7.4.2. Solutions envisagées

Pour le confortement de ce talus deux variantes de soutènement ont été envisagées :

- Conception d'un mur de soutènement rigide en béton armé muni de contreforts
- Conception d'un mur de soutènement renforcé par géotextile.

IV.7.4.3. Solution retenue

La solution d'un mur de soutènement renforcé par géotextile combinée avec un drainage à l'amont de l'ouvrage par un géocomposite de drainage équipé de mini-drains est retenue.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Figure IV.48 : ***Déroulement des travaux***

Figure IV.49 : ***Reconstitution de la chaussée***

Figure IV.50 : ***Conception du mur de soutènement (déroulement des travaux)***

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Figure IV.51 : ***Déroulement des travaux***

Figure IV.52 : ***Ouvrage achevé***

IV.7.5.Cas n°4 : glissement de terrain sur la RN 26 A[2]

IV.7.5.1. Présentation du glissement

Le glissement de terrain est survenu suite à un événement pluviométrique. Les désordres sont visibles sur une superficie de 60 000 m².

Figure IV.53 : ***Présentation du glissement***

[2] Route nationale allant de Yakouren (Tizi-Ouzou) jusqu'à Akbou (Béjaïa) en passant par Bouzeguène.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

IV.7.5.2. Solutions proposées

- Construction d'un mur en gabions associé à des éperons drainants.
- Construction d'un rideau de palplanches.

La deuxième solution présente quelques inconvénients :

- Coût excessif ; risque de rupture par vibration pendant la phase travaux ;
- Corrosion des palplanches à long terme ;
- Constitution d'un barrage pour l'écoulement des eaux souterraines.

IV.7.5.3. Solution retenue

Construction d'un mur en gabions ancré dans les argiles saines et de dimensions :

- Longueur : 130 m.
- Base : 5 m
- Hauteur : 6.5 m
- Ancrage : -2 m

Les eaux internes sont gérées par la mise en œuvre d'éperons drainant.

Figure IV.54 : Mur en gabion (travaux achevées)

Les éperons drainants utilisés sont constitués de matériaux granulaires propres enveloppés dans du géotextile de filtration type Bidim S42, avec un drain perforé, posé au fond de la tranchée ;

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Figure IV.55 : ***Les éperons drainants***

Figure IV.56 :*Ouvrage achevé*

IV.7.6. Cas n°5 : Glissements de terrains dans la région d'AZZEFOUN

IV.7.6.1.1. Présentation du glissement (1)

L'affaissement d'une pente instable où ont été construits sans aucun dispositif de drainage un hôpital et une école. Une solution a été rapidement envisagée : réalisation de deux rangées de palplanches. Malheureusement cette solution qui a couté chère n'as pas été efficace, car suite à un événement pluviométrique les palplanches et la chaussée ont été carrément affaissées.

En effet, les palplanches devaient avoir un système de drainage à l'amont afin d'évacuer les eaux superficielles et les eaux souterraines pour lesquelles elles font barrage.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Figure IV.57 : ***Présentation du Glissement.***

Figure IV.58 : ***Les deux rangées de palplanches.***

Figure IV.59 : Affaissement ***de la chaussée***

Figure IV.60 : ***Présence de cavité***

Figure IV.61 : ***Affaissement des palplanches (Vue amont)***

Figure IV.62 ***: Affaissement des palplanches(Vu aval)***

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

IV.7.6.1.2. Solution proposée

Pour le confortement de ce talus deux variantes de soutènement ont été envisagées :

- Réalisation d'un mur en gabion associé à un système de drainage
- Conception d'un mur de soutènement renforcé par géotextile.

Nous proposons aussi d'imperméabiliser la pente par des géomembranes pour éviter l'infiltration des eaux de surface, associé à un système de drainage en amont et aval des palplanches.

La pente n'est pas encore confortée, et aucune des solutions proposées n'as encore été retenue.

IV.7.6.2. Présentation du glissement (2)

A proximité du premier site (1er cas), il existe une autre pente sur laquelle un projet de construction d'une coopérative immobilière est en cours de réalisation. Le poids de cette dernière a déstabilisé le talus provoquant ainsi des glissements. Une solution est alors envisagée en urgence.

Figure IV.63 : Présentation *des lieux*

IV.7.6.2.1. Solution proposée

Conception d'un mur en gabion d'une hauteur d'environ 8m, et d'une longueur assez importante qui dépasse les 70 mètre, qui à été construit en parties de 15m relié entre elles par des joints séparatifs. Le mur est muni en amont d'un système de drainage (moellons, petit moellons, tout-venant).

La solution a été retenue car elle présente les avantages suivants :

- un cout raisonnable.
- Une facilité de réalisation
- Le gabion joue le rôle de mur de soutènement et de drain au même temps.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Figure IV.64 : Hauteur *du mur en gabion*

Figure IV.65 : *Longueur du mur en gabion*

Figure IV.66 : *Joints séparatifs*

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

La figure(IV.67) montre clairement que le mur en gabion joue parfaitement son rôle de drain, les eaux sont évacuées, on remarque la présence de l'eau à l'aval du mur ainsi que l'érosion sur la pente.

Cette eau, ne doit pas rester stagnante comme le montre la figure car elle pourra provoquer une érosion au pied du gabion qui vas déclencher un glissement.

Des caniveaux doivent être conçus à l'aval du mur en gabion afin de les évacuer dans une zone non sensible.

On propose aussi de remplacer les matériaux de filtration (tout-venant) par des pneus broyés afin de diminuer la charge sur le mur en gabion, et augmentant le frottement du remblai.

Figure IV.67 : *L'eau stagnante à l'aval du mur en gabion*

Figure IV.68 : *L'érosion sur la pente*

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

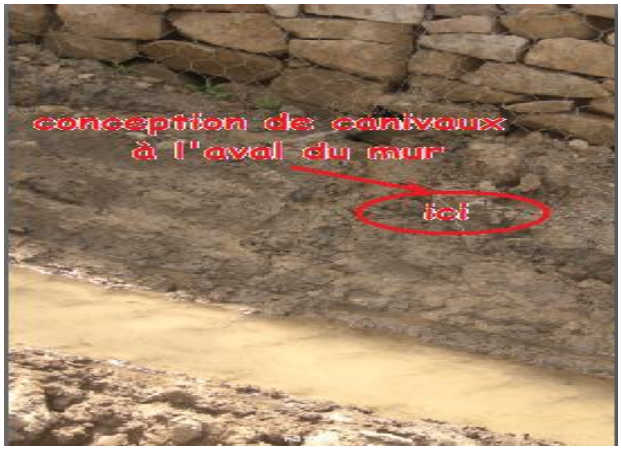


Figure IV.69 : ***Des caniveaux doivent être conçus à l'aval du mur pour éviter la stagnation de l'eau drainé***

IV.7.7. Cas du centre d'enfouissement technique(CET) de Tizi-Ouzou

IV.7.7.1. Présentation des lieux

Un projet a été mis en réalisation à **Oued Fali**, sur une pente raide.

Il consiste à réaliser un CET accompagner d'un centre de tri, le site a été divisé en deux (2) parties : la première partie pour le centre de tri et l'autre pour le CET.

Figure IV.70 : Présentation *des lieux*

IV.7.7.1.1. Les travaux de terrassement

Les travaux de terrassement ont commancé par l'extraction de la marne altéré, en suite de la marne rocheuse qui était dure à travailler ce qui a multiplié en dix fois le coût des travaux de terrrassement.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Figure IV.71 : La *marne altérée*

Figure IV.72 : La *marne rocheuse*

IV.7.7.1.2. Le centre de tri (première partie)

Pour sa réalisation la pente est divisée en deux

Figure IV.73 : *Les deux parties du centre de tri*

IV.7.7.1.2.1. La partie supérieure

Elle comprend :

- **La pente : qui a** été stabilisé par un mur en gabion accompagné d'un système de drainage.
- **Les caniveaux : ils ont été réalisés au niveau de la pente, muni par des barbacanes afin de collecter les eaux de ruissellement et** d'infiltration pour éviter l'érosion de la pente.
- **Le mur en gabion : muni** d'un **système de drainage en amont : moellon, petit moellon (45/70mm) et tout-venants.** L'ensemble sert à drainer les eaux souterraines.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Figure IV.74 : ***Système de drainage de la partie supérieure***

- **Les caniveaux à l'aval du mur en gabion :** Conçus pour la collecte des eaux drainées par le gabion et celles des caniveaux de la pente supérieure, et cela pour séparer les eaux propre (de la partie supérieure) des eaux souillés (de la partie inferieur) et les évacuer dans une zone non sensible.

Figure IV.75 : ***Caniveau à l'aval du mur en gabion***

Figure IV.76 : ***Point commun entre les caniveaux et le mur en gabion***

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

- **La route :** Au pied de la partie supérieure, une purge a été effectuée afin de réaliser une route et pour faciliter la rentrée des camions au centre de tri, afin de décharger les déchets. Cette route est soutenue par un mur de soutènement rigide en (BA).

Figure IV.77 : ***Position de la route***

- **Le mur de soutènement :** Le mur de soutènement a été réalisé en béton armé muni d'un système de drainage, des barbacanes reliées au caniveau conçu en aval de ce mur.

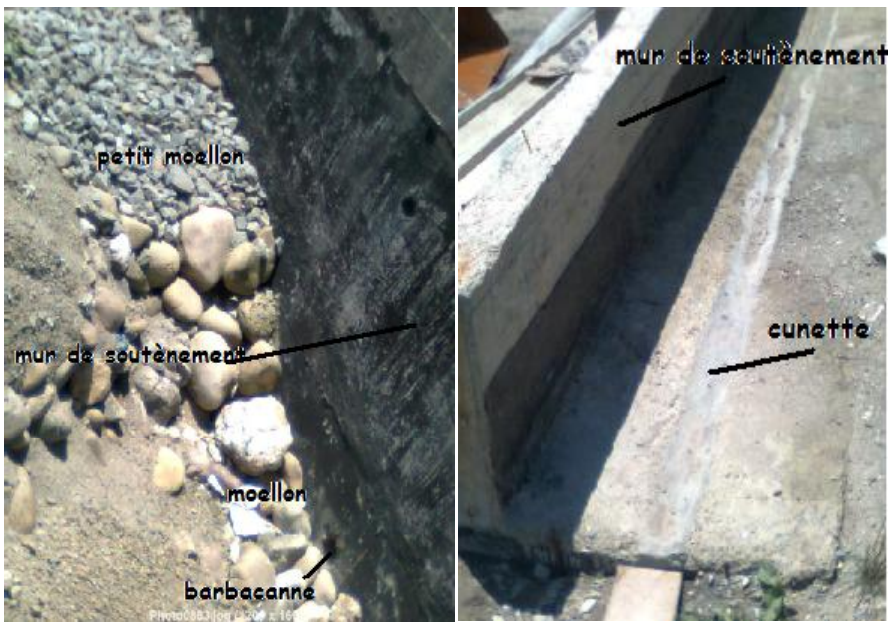


Figure IV.78 : ***Système de drainage en amont du mur de soutènement***

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Figure IV.79 : ***Aval du mur de soutènement***

IV.7.7.1.2.2. La partie inférieure

Elle comprend la plate forme pour le centre de tri qui a été conçue en charpente métallique. Des caniveaux ont été réalisé tout au tour de la plate forme y compris les caniveaux à l'aval du mur de soutènement pour collecter les eaux polluées de la plate forme, les évacuer dans un décanteur, et enfin vers le centre de traitement des eaux.

Figure IV.80 : ***Partie inférieure***

IV.7.7.1.3. Le centre d'enfouissement technique (deuxième partie)

Elle a été conçue sous forme de demi-cercle, c'est-à-dire une plate forme entourée d'une pente adoucie.

Figure IV.81 : ***Le centre d'enfouissement technique***

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

IV.7.7.1.3.1. Le système de drainage

Les pentes : des géomembranes sont placés pour collecter les eaux de la décharge. Elles sont recouvertes par des géotextiles afin de les protéger contre les déchirures (les U.V, les cailloux…..)

Les caniveaux (sous la plate forme) : servent à évacuer les eaux collectées par la géomembrane afin de les évacuer vers le bassin. Ils sont munis d'une buse perforée et un remblai perméable avec des roches siliceuses pour éviter des réactions chimique entre les eaux et les roches (dissolution des roches).

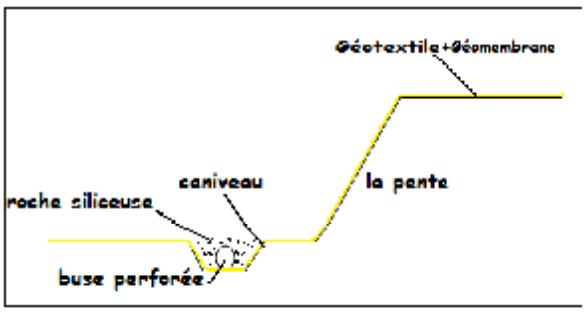


Figure IV.82 : ***Système de drainage au dessous de la plate forme du CET***

Figure IV.83 : Roche ***utilisée comme filtre dans le caniveau du CET (Riche en silice)***

IV.7.7.2. Les désordres rencontrés

La négligence des entreprises réalisatrices, la disqualification de la main d'œuvre, ainsi que le non respect des recommandations des plans sont autant de facteurs qui ont conduit à l'apparition de plusieurs désordres :

Les caniveaux : à la phase de réalisation, certains caniveaux ont été munis de barbacanes, et d'autre non, cela à engendrer beaucoup de problèmes :

Après un fort événement pluviométrique les poussées des terres ont engendré un cisaillement au niveau des caniveaux (arrachement et rupture des aciers);

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Figure IV.84 ***: Cisaillement des caniveaux***

L'eau circule à travers les fissures provoquées par le cisaillement, et cela produit une érosion superficille de la pente.

Figure IV.85 : ***Les fissures provoquées par le cisaillement des caniveaux***

Figure IV.86 : *L'eau* ***circule à travers les fissures***

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Figure IV.87 : *L'absence des barbacanes au niveau des caniveaux*

La même cause à produit des petits éboulements avec des débuts de niches de glissement qui ont comblé les caniveaux dans certaines zones, ce qui a favorisé la stagnation de l'eau. L'eau a débordé du caniveau et a crée des zones d'érosion sur la pente.

Figure IV.88 : ***Eboulement*** *et stagnation d'eau*

Figure IV.89 : ***Les*** *niches de glissement et l'érosion de la pente*

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

L'arrachement du géotextile peut **engendrer la détérioration de la géomembrane, en** particulier l'apparition de déchirures, **ce qui favorise** l'infiltration **des eaux polluées vers le sol, qui provoque par la suite la pollution des eaux souterraines.**

Figure IV.90 : ***Arrachement du géotextile***

IV.7.7.3. solutions proposées

Pour éviter le problème de cisaillement au niveau des caniveaux, il est indispensable de mettre des barbacanes pour le drainage du talus.

Figure IV.91 : ***Des caniveaux conformes***

Les géotextiles doivent être remis en place de préférence par soudage, afin de bien protéger les géomembranes et éviter la pollution des eaux souterraines.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

IV.8. Entretien d'un système de drainage

Les systèmes de drainage sont des ouvrages a part entière de sécurité ; comme tout autre ouvrage ; ils doivent faire l'objet d'un dossier d'ouvrage comportant en plus des plans de récolement ; l'observation et les travaux effectués pendant la vie de l'ouvrage.
Deux types d'action sont impérativement à planifier :

Les observations qui vont permettre de vérifier l'efficacité des confortements réalisés : Ce bilan est indispensable pour apprécier si l'objectif est atteint ; il permet de déterminer s'il convient d'envisager des travaux complémentaires. En général les points à examiner sont les déplacements de masses qui ont été stabilisées ainsi que les niveaux piézométriques ; ces observations peuvent parfois s'étaler sur plusieurs années, ces actions doivent comporter :

- Un plan du dispositif de drainage
- L'observation des déformations ou déplacement
- Les points particuliers à observer définis par le concepteur du projet avec par exemple : débits ou les accumulations des particules solides
- La périodicité des mesures à effectuer (dans le temps, en fonction des résultats de l'efficacité du confortement, la fréquence des visites peut être réduite).

Les visites permettant de vérifier le bon fonctionnement des drainages : Ces visites permettent d'effectuer les travaux d'entretient et éventuellement d'étaler le gestionnaire de toute évolution anormale pouvant être dommageable pour l'ouvrage ; elles comportent :

- Un plan des ouvrages de drainages réalisés avec leur location précise
- Les caniveaux et les fossés à nettoyer
- Le détail des points à observer :
  - L'état des regards et autres dispositifs visitables
  - Le relevé des caniveaux piézométriques, les déplacements des particules fines de sol.
  - L'exutoire, situé hors de la zone sensible, doit être maintenu en bon état. Des drainages bien entretenus sont efficaces pendant de nombreuses années.
  - La mesure des débits des drains et des débits d'exhaure
- La périodicité des visites généralement annuelles et ne doivent pas avoir de limite dans le temps
- L'époque dans l'année à laquelle les visites doivent être faites après les périodes pluviales par exemple.
- La visite régulière doit conduire à une appréciation globale correspondant à une des classes suivantes :
  - Bon état : pas de travaux particuliers d'entretien ni de réparation
  - Etat moyen : quelques travaux légers sont à réaliser
  - Mauvais état : soit de gros travaux sont à entreprendre, soit la conception du dispositif nécessite une étude complémentaire.
- Chaque compte rendu de visite doit comporter la date de la prochaine visite.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Conclusion générale

La présence de drainage pour une construction ou pour un terrain est très importante car sans le drainage, la probabilité d'inondation, de moisissure et d'affaissement des ouvrages, serait bien plus élevée. Malheureusement les systèmes de drainage existant, et qu'on construit depuis plusieurs années, sont souvent mal conçus et peu entretenu. Bien souvent ils ne répondent donc plus aux exigences initiales, ce qui provoque des pathologies exerçant des effets insidieux qui peuvent s'avérer lourds de conséquence.

Dans ce travail, nous nous sommes intéressés aux problèmes de drainage de manière générale, en effet nous avons exposé différents cas pathologiques lié au drainage, les conséquences d'un mauvais drainage, les erreurs à éviter ainsi qu'aux désordres que sa peut engendrer dans le cas où il n'est pas réalisé. Nous avons aussi proposés des solutions appropriées pour chaque problème.

D'après le travail réalisé nous remarquons que :

- Dans les cas où le drainage n'est pas prévu, les dégâts sont inévitables.
- Dans le cas où le drainage est mal conçu ou peu entretenu, les pathologies apparaissent après un certains temps, ce qui réduit la performance et donc la durée de vie du système.

Nous pouvant dire alors que :

- La réalisation d'un drainage est importante, et doit être conçu conformément aux règles de l'art.
- Il doit faire l'objet d'un entretien permanant.

Ce travail encourage la conception du drainage, mais surtout l'entretien et les procédures d'exploitation permettant d'optimiser la performance de ce dernier, une bonne conception et un bon entretien sont essentiels au fonctionnement sécuritaire du réseau de drainage, tout en réduisant des incidences nuisibles sur l'environnement, car un système de drainage mal conçu ou insuffisamment entretenu provoque l'effet inverse du drainage.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Bibliographie

[1] R Comolet : Mécanique expérimentale des fluides ;
Tome II ; Dynamique des fluides réels turbomachine ; édition MASSON

[2] EUROCODE 1 : Action du vent et de la neige sur les structures
Recueil-Normes- Bâtiments et travaux publics ; édition AFNOR

[3] Règles NV65 et N84 modifiées 95 : Règles définissant les effets de la neige et du vent sur les constructions et annexes ; édition EYROLLES DELTA

[4] Document Technique Règlementaire « DTR » C2-47 ; RNV 99
Règlement neige et vent

[5] Thèse ingénieur : Optimisation des caractéristiques aérodynamiques des véhicules terrestres par critère des angles privilégiés ; département de Génie Mécanique de UMMTO ; promotion 2008/2009.

[6] I. BOUMRAR , Rôle de l'apex à angle privilégié dans les écoulements autour d'ailes delta Thèse de Magister, 2001, UMMTO.

[7] Thèse ingénieur : Etude des tourbillons d'Apex des combinaisons Aile Delta-Fuselage ; département de Génie Mécanique de UMMTO ; promotion 2009/2010.

[8] Site Internet ; canada.gc.ca : Conseil national de recherches Canada.

[9] ONERA, site Internet: www.onera.fr.

[10] M. LERAY, J.P. DEROYON, M.J. DEROYON, C. MINAR, Critères angulaires de stabilité d'un tourbillon hélicoïdal ou d'un couple de tourbillons rectilignes, rôle des Angles Privilégiés dans l'optimisation des ailes, coques des avions et navires. Association Technique et Aéronautique Session 1985.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Bibliographie :

[1] J. C. FAVROT « cartographie, caractérisation et interprétation des données pédologiques en vue du drainage agricole».

[2] BERTRAND SHWARTZ « Drainage des sols et des constructions ».

[3] Risque hydrostatique en montagne parade et surveillance.

[4] RABAH ARAB « Géosynthétique fonction et domaine d'utilisation ».

[5] CHRISTIAN CHAPEAU « Pathologie et maintenance des travaux de drainage ».

[6] Guide technique stabilisation des glissements de terrain.

[7] RABAH ARAB « Contribution des geosynthétique dans le traitement des glissements de terrain ».

[8] RAMDANE BAHAR « Méthode de stabilisation et de confortement ».

[9] VICTOR SAVOI « Le drainage de surface ».

[10] Fiche technique : Sortie de drainage souterrain. R.P. Stone - Unité des ressources en génie agricole/MAAARO.

[11] Thèse d'ingénieur : stabilisation des pentes naturelles et de talus de déblais par les technique de drainage ; Mr Bentayeb.F et Mr Cheloul .

[12] Assainissement routier - Guide technique. Sétra, 2006.

[13] Jean-Maurice DURAN, Paul ROYET, Patrice MERIAUX « Technique des petits barrages en Afrique sahélienne et équatoriale ».

[14] Danielle LAUTRIN « Vieillissement et réhabilitation des barrages en terre ».

[15] L'eau et la route – dispositifs de traitement des eaux pluviales - volume 3 et 7 - Guide Sétra, 1997, Réf. B 9741.

[16] Jean-Pierre MAGNAN « L'eau dans le sol ».

[17] Drainage routier- Guide technique. Sétra, 2006.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com