

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Mémoire de Master

Présenté à l'Université 08 Mai 1945 de Guelma

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de : Génie Civil & Hydraulique

Spécialité : Génie Civil

Option : GEOTECHNIQUE

Présenté par : Mezdour Houssef Eddine

Ghomrani Mohamed El arbi

**Thème : Différentes méthodes de stabilisation des sol ;
Approche technique et économique**

Sous la direction de : Dr Benyaghla Hacenne

Jului 2019

Remerciement

Je tiens, au terme de ce travail, à présenter mes vifs remerciements

A tous les personnes qui ont contribué, de près ou loin, a son bon

Déroulement.

Je tiens à présenter tous mes respects, et ma gratitude,

A Dr Benyaghla Hacenne,

Pour son encadrement et pour l'aide qu'il ma

Prodigué durant ce rapport,

Ainsi qu'a tous mes formateurs

Je remercie également les membres des jurys qui ont accepté

D'évaluer mon travail.

Dédicace

*Je dédie ce mémoire en premier lieu à mes parents, mon père et ma mère, qui ont
su me donner la force, le courage et la patience afin d'arriver à ce stade*

Et qui m'ont suivi avec leurs prières. Qu'Allah le tout puissant et miséricordieux

Leurs accorde santé et longévité afin que je puisse les rendre encore plus fière

Que ce jour.

Comme je le dédie à mon frère , et ma sœur

À toute ma famille,

À tous mes chères amis surtout saadaoui Raouf

À Mr. Benchaieb med lamin chef département de LTP

À Mme. Oumeddour N. chef bureau en DTP

Ainsi que ceux de l'université de 8 mai 1945 à Guelma

Qui ont été là pour moi,

Et tous ceux que j'ai connus pendant ce cursus depuis

Le primaire À tous ceux que j'aime

Et enfin à moi-même.

Mohamed el Arbi

Dédicace

*Je dédie ce mémoire en premier lieu à mes parents, mon père et ma mère, qui ont
su me donner la force, le courage et la patience afin d'arriver à ce stade*

Et qui m'ont suivi avec leurs prières. Qu'Allah le tout puissant et miséricordieux

Leurs accorde santé et longévité afin que je puisse les rendre encore plus fière

Que ce jour.

Comme je le dédie à mon frère , et mes sœurs

A ma femme

À toute ma famille,

À tous mes chères amis

A Mr. Hllaci Noureddine directeur de DTP

Ainsi que ceux de l'université de 8 mai 1945 à Guelma

Qui ont été là pour moi,

Et tous ceux que j'ai connus pendant ce cursus depuis

Le primaire À tous ceux que j'aime

Et enfin à moi-même.

Housseem eddine

Résumé

Le traitement des sols à l'aide de produits pulvérulents permet la réalisation des remblais et des couches de forme. Ce type de traitement nécessite de bien connaître le matériau que l'on souhaite traiter. L'étude de formulation constitue l'élément majeur d'un processus de traitement. En effet plus importants fabricants de liant proposent des gammes de produits sensiblement identiques. Ils sont basés sur les mêmes normes du marché et des ajouts similaires Ainsi le meilleur traitement est celui qui met en bonne adéquation le liant, le matériau et le dosage choisi ainsi que le cout de traitement le plus avantageux. De plus cette technique est en train de se développer fortement. De même la stabilisation des sols par renforcement et une technique largement répondu. Elle est avantageuse par rapport è la technique de traitement au liant hydraulique è condition que les zone d'emprunt et de décharge soit économiquement rentable

Mots Clés ; stabilisation, renforcement, liant hydraulique, sol, cout, travaux, environnement

Summary

The treatment of the soil with powdery products allows the realization of Embankments and layers of form. This type of treatment requires to know well The material that one wishes to treat. The formulation study is the major element of a treatment process. Indeed larger binder manufacturers offer substantially identical product ranges. They are based on the same market standards and similar additions. Thus, the best treatment is that which puts the binder, the material and the chosen dosage and the most advantageous treatment cost in good adequacy. Moreover, this technique is developing strongly. So the stabilization of soils by reinforcement and a technique largely answered. It is advantageous in comparison with the hydraulic binder treatment technique provided that the borrow and dump areas are economically profitable.

Keywords ; Stabilization, Reinforcement, Hydraulic Binder, Soil, Cost, Works, Environment

الملخص

ان معالجة التربة مع مواد المساحيق يسمح بتحقيق السدود وطبقات الشكل. هذا النوع من العلاج يتطلب معرفة جيدة المواد التي يرغب المرء في علاجها. دراسة الصياغة هي العنصر الرئيسي في عملية العلاج. في الواقع ، توفر الشركات المُصنَّعة الأكبر نطاقات منتجات متطابقة إلى حد كبير. وهي تستند إلى نفس معايير السوق والإضافات المماثلة، وبالتالي فإن أفضل علاج هو الذي يضع الموثق، المادة والجرعة المختارة وتكلفة العلاج الأكثر فائدة في كفاية جيدة. علاوة على ذلك ، هذه التقنية تتطور بقوة، لذلك استقرار التربة عن طريق التعزيز وتقنية أجاب إلى حد كبير هي مفيدة بالمقارنة مع تقنية معالجة الموثق الهيدروليكي بشرط أن تكون مناطق الاقتراض والإغراق مربحة اقتصاديًا.

الكلمات المفتاحية: الاستقرار ، التعزيز ، الموثق الهيدروليكي ، التربة ، التكلفة ، الأعمال ، البيئة

Sommaire

Introduction générale	
Chapitre I. Différente méthode de traitement du sol	1
I.1. Introduction	2
I.2. Les diverses techniques de la stabilisation des sols	3
I.2.1 Stabilisation chimiques	4
I.2.1.1 Stabilisation par ajout de la chaux	5
I.2.1.2 Stabilisation par ciment	9
Chapitre II. Les Diverses techniques de stabilisation des sols fin par renforcement.	14
II.1. Les Diverses techniques de stabilisation des sols	14
II.1.1. Par inclusions rigides	14
II.1.2 Par inclusions souples	14
II.1.3 Les améliorations des caractères physico-mécaniques des sols	15
II.2. LES technique de renforcement	16
II.2.1. La Terre Armée	16
II.2.1.1. Historique	16
II.2.1.2. L'idée de base	17
II.2.1.3. Principe de fonctionnement de sol renforcé par inclusion	17
II.2.1.4. Principe de construction	18
II.2.1.5. Avantages de la Technique	18
II.2.1.6. Quelques exemples réels	19
II.2.2. Clouage	19
II.2.2.1. Introduction	20
II.2.2.2. Définition.	20
II.2.2.3. Principe de construction	20
II.2.2.4. Avantages de la Technique	21
II.2.2.5. Limitations de la Technique	21
II.2.2.6. Domaines d'applications de la Technique	21
II.2.3. Pneu-sol	23
II.2.3.1. Introduction	23
II.2.3.2. Principe de construction	24
II.2.3.3. Avantages de la Technique	25
II.2.3.4. Utilisations de la Technique	26
II.2.4. Texusol	28

II.2.4.1. Introduction	28
II.2.4.2. Principe de construction	28
II.2.4.2.1. Sols	28
II.2.4.2.2. Fils textiles	30
II.2.5. Géo synthétique.....	31
II.2.5.1. Définition	31
II.2.5.2. Fonctions des géosynthétiques.....	33
II.2.5.3. Séparation.....	33
II.2.5.4. Filtration.....	33
II.2.5.5. Drainage	34
II.2.5.6. Renforcement	34
II.2.5.7. Les matériaux géo grilles	35
II.2.5.8. Propriétés des géo grilles utilisées en renforcement	36
II.2.5.9 Choix des éléments de renforcement géo synthétiques	36
Chapitre III. Approche économique	38
III.1. Introduction	39
III.2. Objectif de l'étude et ses délimitations.....	39
III.3. Définition utilisées	39
III.4. Le rôle de l'évaluation géotechnique.....	39
III.5.Approche d'évaluation	40
III.6. Approche couts	40
III.7 Approche par mesure des effets dite 'méthode des effets'	41
III.8 Descriptive de la réalisation des travaux routier	41
III.8.1: Exemple 1	41
III.8.2 : L'exemple 2 sera l'étude de traitement et de glissement de terrain (renforcement par substitution de sol) sur la route nationale n° 80 de au Pk 67+400	46
III.8. 3 : L'exemple 3 TRAITEMENT D'UN GLISSEMENT (renforcement par terre armé) SURVENUE SUR RN21PK 50+600 (GUELMA-ANNABA).....	50
III.8.4 . Exemple4 : Traitement au LHR (chaux)	54
III.8.5. le cout de traitement du sol in-situ	59
Conclusion Générale.....	63
Bibliographie	55

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1 :Avantages et inconvénients des techniques de stabilisation couramment3	
Tableau I.2 : Mode d'action et domaines d'utilisation des produits de stabilisation (Hermann, 2016).	8
Le tableau I.3 :Résume les mécanismes participant à la stabilisation au ciment des sols. .	10
Tableau I.4 : Comparaison entre le traitement par la chaux et par le ciment.....	12
Tableau II.1 : Classification B.	29
Tableau II.2 : Classification D.	30
Tableau II.3 : Les caractéristiques des fils textiles.	31
Tableau III.8.1.1. Descriptif des travaux : Par pieux et Géotextile.....	42
Tableau III .8.1.2.Descriptif des travaux (prix projet, et pourcentage des prix degroupement des travaux par apport au prix global du projet ,GT/CTGP)	44
Tableau III.8.1.3.tableau des prix referentiel et pourcentage des prix de groupement des travaux referentiel par apport au prix global referentiel ,GT/CTGP)	45
III.8.2 : L'exemple 2 sera l'étude de traitement et de glissement de terrain (renforcement par substitution de sol) sur la route nationale n° 80 de au Pk 67+400 ..	46
Tableau III .8.2.1. Descriptif des travaux (prix projet, et pourcentage des prix de groupement des travaux par apport au prix global du projet ,GT/CTGP)	48
Tableau III.8.2.2.tableau des prix referentiel et pourcentage des prix de groupement des travaux referentiel par apport au prix global referentiel ,GT/CTGP)	48
III.8. 3 : L'exemple 3 TRAITEMENT D'UN GLISSEMENT (renforcement par terre armé) SURVENUE SUR RN21PK 50+600 (GUELMA-ANNABA)	50
Tableau III .8.3.1. Descriptif des travaux (prix projet, et pourcentage des prix de groupement des travaux par apport au prix global du projet ,GT/CTGP)	52
Tableau III.8.3.2.tableau des prix referentiel et pourcentage des prix de groupement des travaux referentiel par apport au prix global referentiel ,GT/CTGP)	52
III.8.4.5 .Les Différentes Opération du Traitement en Place aux Liant Hydrauliques	56

LISTE DES Figure

Figure I.1:Les conditions d'utilisation chimique.	5
Figure I.2:Traitement du sol.	7
Figure I.3:Construction d'un chemin avec matériaux stabilisé Selon le procédé mix in plant.	11
Figure II.1:Utilisation de la technique de terre armée	16
Figure II.2:Contact entre les grains et l'armatur	17
Figure II.3:Mur de 57 m de haut - Ehime Shikoku (Japon)	19
Figure II.4:Barrage Taylor Dam H:25, 5 m; L:154 m (Colorado - USA)	19
Figure II.5:Utilisation de la technique de Clouage	19
Figure II.6 : Les deux utilisation possible de clouage	22
Figure II.7:Un chantier de clouage se décompose en période (A), une période comprend trois phases (B)	23
Figure II.8:Les pneus utilisés pour la technique	25
Figure II.9:Stabilité d'un glissement de terrain-Wilaya de Tizi Ouzou - Algérie. ...	26
Figure II.10:L de Pneu sol en réducteur de poussée	26
Figure II.11:Remblai léger en crête de talus.	27
Figure II.12:Pneu sol pour protection des pentes et des berges.	27
Figure II.13:Répartiteur de contraintes au-dessus des conduits enterrés sous fortes hauteurs de remblai.	27
Figure II.14:Mélange intime de sol et de fils textiles continus	28
Figure II.15:géosynthétiques utilises couramment pour le renforcement du sol (Bathurst 2007)	32
Figure II.16:Géotextile comme séparateur dans une route non revêtue	33
Figure II.17:Géotextile comme couche drainante ou filtrante (a)drain cheminée dans un sol mou ;(b)drain maintenant la dernière d'un mur ;(c)drainage souterrain ;(d)couche de drainage dans un tunnel	34
Figure II.18:Remblai renforcé à une fondation de sol instable.[Ennio M.Palmeira, 2008]	35
Figure II.19:Géogrilles uniaxiale et biaxiale.	36
Figure III.1.: prix projet et prix referentiel par groupement des travaux	45
Figure III.2.: prix projet et prix referentiel par groupement des travaux	49
Figure III.3.: prix projet et prix referentiel par groupement des travaux	53
Figure III.4. Coupe type d'une structure de chaussée – d'après le cours de Routes de M.VANISCOTE	55

Introduction générale

Introduction :

La première partie est consacré à d'établir un état des lieux des résultats apportés par les différentes techniques de traitement de sol ainsi que la description des différents méthodes de traitement des sols par les différent types de LYR.

La deuxième partie est consacrée au contexte général de l'étude : la technique du traitement de sol, son application à la protection le renforcement et la stabilisation des chantiers de travaux public concernés par l'amélioration des paramètres physico-mécanique des chaussée ainsi que pour les glissements de terrain autour des ouvrages routier soit par la technique de traitement par liant hydraulique ou par une stabilisation par substitution des sols.

La troisième partie présente les cas d'études de divers projets par l'estimation financière de ces projet en prenant en compte le pourcentage des groupements de travaux rentrant dans le cout globale des projet en introduisant les prix de référence et les couts réelles proposés pour la réalisation de ces projet.

Chapitre I

Différente méthode de traitement du sol

I.1. Introduction

Depuis quelques décennies, les sols fins sont devenus un sujet d'intérêt des chercheurs et des ingénieurs géotechniciens. Les dégâts engendrés par leur comportement sont énormes dues essentiellement à leurs propriétés physico-mécaniques qui les rendent complexe. C'est pour que beaucoup de chercheurs ont entamé beaucoup de travaux à fin de trouver des méthodes d'amélioration de ces sols fin à fin de résoudre les problèmes de stabilité et de minimiser les désordres ou les déformations qu'ils rencontrent lors de l'élaboration d'un projet.

De nombreuses techniques ont été développées par ces chercheurs au cours du 20^{ème} siècle à ce jour. Elles permettent l'amélioration des caractéristiques géo- mécaniques des terrains. Leurs applications sur site ont montré une efficacité réel dans le traitement des sols à problème. Certaines de ces méthodes sont plus économiques que d'autres. Certaines de ces méthodes sont très anciennes, comme le battage de pieux de bois dans les sols de faible portance, d'autres sont plus récentes, comme les méthodes d'injection, de pilonnage ou de congélation. Elles ont connu, depuis une vingtaine d'années, un développement considérable et sont maintenant utilisées comme technique de stabilisation des sols fins à part entière.

Il existe plusieurs méthodes de traitement des sols fin pouvant assurer la stabilisation des sols à problèmes permettant ainsi l'amélioration de leur résistance physico-mécanique. Ces méthodes ont montré également une diminution de leur sensibilité à l'eau entraînant les objectifs suivants:

- La réduction du volume des vides inter-granulaires entraînant une augmentation de la compacité ;
- Améliorer les liaisons existantes interarticulaires créant ainsi des liens supplémentaires entre les grains du sol qui améliorent leur résistance mécanique.

Ce chapitre développera les différentes techniques de stabilisation utilisées en pratique pour les différents phénomènes liés aux sols à problème.

I.2. Les diverses techniques de la stabilisation des sols

Dans la géotechnique, les procédés à utiliser pour stabiliser surtout les sols fins sont nombreuses. Parmi les techniques de stabilisation les plus couramment utilisées, on distingue:

- La stabilisation mécanique ;
- La stabilisation thermique ;
- La stabilisation chimique ;

Le tableau suivant montre les principaux avantages et inconvénients de chaque procédé.

Tableau I.1 : Avantages et inconvénients des techniques de stabilisation couramment

Techniques	Procédés	Avantages	Inconvénients
Stabilisation Mécanique	Compactage	- Le compactage est le plus économique. - Réduire le potentiel expansif. - Réduire le potentiel d'affaissement	Il faut une grande quantité d'eau nécessaire pour compacter le sol a la teneur en eau optimale.
	Substitution		- L'épaisseur de la couche. - Disponibilité du matériau.
	Pré humidification		- Le temps de l'opération. - La distribution uniforme de Wn
	Méthode de contrôle	- Minimiser l'humidification ou dessèchement.	- La sensibilité à la variation de la teneur en eau.
Stabilisation thermique	Augmenter la température	- Réduire la répulsion électrique entre les particules.	- Très coûteuse.

Stabilisation chimique	Les sels	<ul style="list-style-type: none"> -Augmenter la concentration ionique de l'eau libre. - Réduire le phénomène d'échange. 	<ul style="list-style-type: none"> - Le choix du type, de dosage et de la méthode d'addition d'un produit. (valence et rayon du cation).
	Ciment	<ul style="list-style-type: none"> - Augmenter la résistance. - Diminuer la plasticité. -Réduire le potentiel de variation de volume. -Augmenter la limite de retrait 	<ul style="list-style-type: none"> -Utilisation d'un dosage important.
	La chaux	<ul style="list-style-type: none"> - Diminuer la plasticité, la densité sèche et la pression du gonflement. - Augmenter la résistance et W_{opt}. -Utilisation d'un faible dosage. 	<ul style="list-style-type: none"> - Carbonatation de la chaux.

I.2.1 Stabilisation chimiques

Le stabilisant sera choisi selon la nature physique du sol, la figure I 1 schématise les conditions d'utilisation chimique.



- D'améliorer considérablement les propriétés physico- mécaniques ;
- De donner aux sols fins d'une manière assez rapide une bonne consistance pour des dosages compris entre 1% et 2%. Ceci montre aussi l'intérêt économique de ce procédé.

La chaux provoque deux actions principales dans le sol :

- **Action immédiate**

Elle se résulte à une réaction chimique immédiate quand la chaux se mélange instantanément avec le sol. Sachant qu'il existe deux types de chaux. Le choix se fait en se basant sur les différents essais de laboratoire, de chantier et sur le prix de revient du traitement.

- **La chaux vive**

La chaux vive et les poussières de four à chaux mélangées aux sols argileux se combinent chimiquement avec ces derniers et fournissent plus d'ions de Ca^{2+} . Elles peuvent être utilisées pour abaisser les sols humides c'est-à-dire réduire la teneur en eau et rendre le sol plus dense et fournir une meilleure surface de travail dans les sites de construction et ceci selon trois phénomènes :

- L'hydratation de la chaux vive qui réduit la teneur en eau par une réaction chimique.
$$CaO + H_2O \Rightarrow Ca(OH)_2 + \text{chaleur } 64 \text{ KJ}$$
- L'évaporation d'une partie de l'eau, provoquée par la chaleur dégagée par l'hydratation de la chaux vive.
- L'apport de la matière sèche qui diminue la teneur en eau.

La diminution attendue est de 1% de la teneur en eau pour 1% de la chaux vive introduite. Si les conditions atmosphériques sont bonnes, la teneur en eau peut diminuer encore plus sous les effets du malaxage et du vent (AZZOUZ, 2006). La chaux vive, mélangée aux sols fins-argileux- se combine chimiquement avec ces derniers. L'argile passe alors d'une consistance plastique à une consistance grenue, stable et très peu sensible à l'eau.

- **La chaux éteinte**

La chaux éteinte est obtenue après la réaction complète de la chaux vive avec de l'eau. Elle est appelée aussi chaux aérienne ou chaux hydraulique selon sa capacité à faire prise sous eau, soit son hydraulicité. La chaux hydratée réagit avec les aluminates et silicates contenus dans l'argile et se transforme en gels qui maintiennent ensemble les particules d'argile.

A court terme, la teneur en eau se réduit, jusqu'à une limite de 0,3% par l'apport de 1% de la chaux éteinte, seulement à partir de l'apport de matière sèche présentée dans le sol, la quantité optimale pour atteindre ces changements est dite point de fixation de la chaux.

L'addition de la chaux produit des structures souples, molles et faciles à compacter toute en réduisant la plasticité des sols par une élévation de la limite de plasticité (WP) et une diminution de la limite de liquidité (WL).

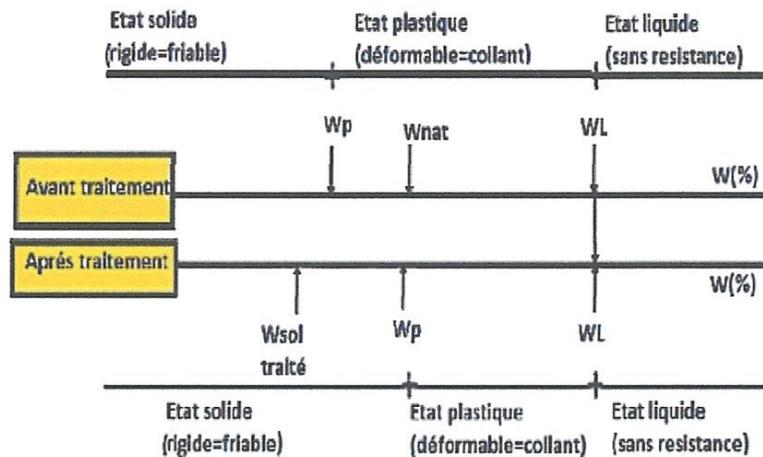


Figure I.2 : Traitement du sol

La figure au-dessus montre qu'un sol peut se passer de l'état plastique (Le sol est déformable, collant et difficile à compacter) vers l'état sec (Le sol est rigide, friable et donc facile à manipuler) à cause de la combinaison de la réduction de la teneur en eau naturelle du sol traité ($W_{sol\ traité}$) et de la diminution de l'indice de plasticité ($I_p = W_L - W_P$).

On peut dire alors que la chaux minimise la valeur maximale de la masse volumique apparente sèche et augmente la valeur de la teneur en eau permettant de l'obtenir. Plusieurs études ont découvert que l'utilisation de la chaux comme stabilisant est un moyen efficace pour modifier les sols pour en améliorer à la fois la résistance, la maniabilité et les capacités portantes tout en augmentant la stabilité des volumes après le phénomène de retrait-gonflement et l'imperméabilité.

Les mécanismes responsables de ces changements se résument comme suit :

- Echange cationique
- Floculation et agglomération des particules d'argiles
- Carbonatation de la chaux
- Réaction pouzzolanique

Domaines d'utilisation :

Le tableau suivant montre quelques applications des stabilisations à la chaux :

Tableau I.2 : Mode d'action et domaines d'utilisation des produits de stabilisation (Hermann, 2016).

	Chaux Aérienne	Liant Hydraulique	Bitumineux
Mode d'action			
*Augmentation de la stabilité à l'eau et de la résistance au gel et aux fondants chimiques	Grande	Grande	Grande
*Augmentation de la résistance mécanique	Moyenne	Grande	Grande
*Augmentation de la portance	Moyenne	Grande	Grande
*Réduction de la teneur en eau	Grande	Faible	-
*Amélioration de la compactibilité	Grande	-	-
"Domaine d'utilisation			
*Remblayages	Fréquente	rare	rare
*Infrastructure/Terrain naturel	Fréquente	Fréquente	Fréquente
*Couches de fondation	Rare	Fréquente	Fréquente
*Couches portantes	Rare	Fréquente	Fréquente
*Réalisation d'étangs	Fréquente	Occasionnelle	Rare
*Stockage d'hydrocarbures	Fréquente	Rare	Rare

Les stabilisations à la chaux ont fait leurs preuves dans les couches de fondation supportant la superstructure. Mais on les utilise beaucoup plus fréquemment pour

l'amélioration et la stabilisation des sols dans le domaine de l'infrastructure et autres terrassements. En voici quelques exemples :

- Assèchement et amélioration de la compactibilité des sols mouillés (principalement lors de travaux de remblayage) ;
- Amélioration de la portance et de la viabilité du terrain naturel au moyen de pieux en chaux et de l'infrastructure ;
- Constitution de sous-couches permettant le compactage de la superstructure ;
- Préparation des sols en vue de leur stabilisation avec d'autres liants ;
- Amélioration de la stabilité de talus

On peut dire pour conclure que la chaux vive et la chaux hydratée permettent de transformer en matériaux utilisables pour les terrassements de nombreux sols non appropriés. Et cela s'effectue sans nuisances pour l'environnement et sert à ménager les ressources en sables.

I.2.1.2 Stabilisation par ciment

Le traitement au ciment est la méthode habituelle pour la construction des couches de forme performantes. Il convient plus particulièrement aux sols dispersifs et aux sols peu plastiques, qui sont a priori inadaptés au traitement à la chaux du fait de leur faible teneur en argiles. Ce traitement apporte une stabilité et cohésion ainsi permet d'avoir une évolution rapide et durable des résistances mécaniques par liaison des grains de sol. Depuis l'antiquité, la stabilisation au ciment est considérée comme un élément important des constructions. Ce procédé est appliqué également en Suisse depuis deux ans et tend à se développer rapidement. L'action de stabilisation est complexe et dépend de la nature du sol, de la teneur en ciment, de la teneur en eau des conditions de température (Johnson, 1960).

Le tableau I.3 : Résume les mécanismes participant à la stabilisation au ciment des sols.

Mécanisme de stabilisation au ciment	Description	Importance
Hydratation par ciment	<ul style="list-style-type: none"> - Les fortes interactions se développent entre les particules de sol. - Le plus haut squelette continue des formes matérielles dures et fortes et enferme une matrice de sol inchangé, renforçant le matériel traité et en remplir des vides. - La perméabilité et le gonflement-retrait a tendances de réduites. - la résistance aux changements due à augmentation de la teneur en eau. 	Très élevé
Echange cationique	-L'échange cationique change la charge électrique, réduisant la plasticité et ayant pour résultats la floculation et agrégation des particules du sol	Elevé
Carbonatations	-La chaux produite pendant l'hydratation du ciment réagit avec de l'anhydride carbonique en air aux agents de cimentage en forme.	Moyen
Réaction Pouzzolanique	-La chaux libre libérée pendant l'hydratation et de la silice ou l'alumine des particules d'argile réagissent en présence de l'humidité aux agents de cimentage de forme.	Moyen

a. Méthode de stabilisation au ciment

Il existe deux méthodes d'exécution des stabilisations des sols au ciment :

- Mixe in place

On répand le ciment et l'eau sur le sol auquel on les mélange au moyen de machines mobiles. Puis on compacte la couche traitée. Cette méthode s'applique pour la stabilisation du terrain naturel en place et souvent également pour celle d'une couche de matériaux d'apport.

- Malaxage in situ

Le mélange s'exécute dans un malaxeur à béton, fixe ou mobile. Ce procédé n'est intéressant que si les matériaux à stabiliser proviennent d'un emprunt et doivent être transportés. Le mélange est répandu mécaniquement sur les chantiers importants ou à bras s'il s'agit de petites surfaces ; il est ensuite soigneusement compacté.



Figure I.3 : Construction d'un chemin avec matériaux stabilisé Selon le procédé mix in plant.

b. Influence du ciment sur les sols dispersifs

Le ciment portland comporte des silicates, aluminium et sulfates de calcium. Lors de l'hydratation, le ciment forme de la chaleur éteinte appelée portlandite. Les réactions entre le sol, le ciment et l'eau commencent par un échange de cations puis la production d'agents de cimentation. L'essai d'Emiettage est qualitatif, basé sur l'observation à l'œil. L'effet de l'additif est remarquable car l'ajout de ciment va diminuer le taux de dispersion pour des pourcentages qui accroissent de 2% à 8%, mentionné par (Bouziane, 2014). III. La différence entre la stabilisation des sols traités à la chaux et au ciment Le mélange chaux et ciment est utilisé dans les sols humides à faible taux en argile.

Dans ce cas l'action des deux produits sera complémentaire. Le tableau résume les avantages de chaque traitement par rapport à l'autre dans le cadre d'une comparaison entre le traitement à la chaux et le traitement au ciment.

Tableau I.4 : Comparaison entre le traitement par la chaux et par le ciment.

Traitement à la chaux	Traitement au ciment
<p>L'addition de la chaux aux sols argileux entraîne une augmentation du p_h du sol qui est responsable de la dissolution de l'alumine et de la silice présentant dans l'argile. En effet, les réactions entre cette chaux, la silice et l'alumine libres, Concourant à la formation de nouveaux minéraux comme des CSH (silicates de calcium hydratés), des CAH (aluminates de calcium hydratés), et des CASH (alumino-silicates de calcium hydratés) qui sont principalement responsables de la consolidation c'est-à-dire augmentation des résistances mécaniques.</p>	<p>Contrairement à la chaux, la poudre de ciment contient en elle-même tout ce dont elle a besoin pour réagir et former des produits cimentaires (CSH, CAH, CASH).</p> <p>Le ciment va créer des liens physiques entre les particules augmentant ainsi la résistance des sols comparativement à la chaux qui a besoin de silice et d'alumine provenant des particules argileuses pour développer les réactions pouzzolaniques.</p>

Chapitre II.

Les Diverses techniques de stabilisation des sols fin par renforcement

II.1. Les Diverses techniques de stabilisation des sols

Lorsque les sols posent les problèmes de portance pour la réalisation des travaux publics- route, soutènement, et autres travaux de génie civil, les améliorations et les renforcements de sol sont en général la première option étudiée car ils peuvent permettre de préserver le mode de fondation le plus économique et le plus simple à mettre en œuvre, à savoir les fondations superficielles.

Il est intéressant d'utiliser des techniques de renforcement de sols dans le cas d'une construction de soutènements, de chaussées ou autres travaux publics sur un sol n'ayant pas toutes les qualités nécessaires pour recevoir les charges de ces ouvrages : problèmes de portance ou de glissement dû à un cisaillements.

Différentes techniques vont permettre d'accroître les qualités mécaniques des sols de fondations et assurer ainsi la pérennité de l'ouvrage. Elles sont aussi utilisées dans les structures de remblais ou de murs de soutènement. Dans ce cas, des structures métalliques ou synthétiques sont incorporées dans le sol pour améliorer ses propriétés mécaniques.

On distingue trois types d'amélioration de sol : les inclusions rigides, les inclusions souples, et les améliorations des caractères physico-mécaniques des sols

II.1.1. Par inclusions rigides

La technique de renforcement par inclusions rigides trouve son origine en Angleterre. Elle y a été utilisée pour renforcer les sols de certaines villes, ainsi qu'en Italie. Le renforcement est réalisé essentiellement à l'aide de mortier, de béton ou de résines, en mettant en place un maillage d'éléments verticaux cylindriques de diamètre 250 à 600 mm. La charge de l'ouvrage est transférée sur un horizon porteur en profondeur, conjugué à un frottement le long de chaque élément vertical. Cette technique est une solution alternative aux fondations profondes.

II.1.2 Par inclusions souples

Les inclusions souples se font principalement à base de gravier ou de sable pour obtenir un sol élastique qui résiste au cisaillement. On réalise alors des éléments verticaux de ballast dans le sol. Pour ce faire, un tube est descendu à l'aide d'une foreuse pour injecter le ballast. L'objectif est d'accroître la portance du sol, de réduire sa compressibilité et donc de

réduire les risques de liquéfaction : deux méthodes de réalisation sont possibles : la méthode humide, et ma méthode sèche

II.1.3 Les améliorations des caractères physico-mécaniques des sols

Les techniques de vibro-compactage permettent de renforcer les caractéristiques mécaniques du sol traité en changeant ses caractéristiques intrinsèques c'est dire la cohésion et l'angle de frottement. La résistance au cisaillement des sols compressibles est augmentée pour assurer une meilleure résistance à ce phénomène, et leur compressibilité est de ce fait réduite. Pour cela, on crée des colonnes au moyen d'une foreuse et d'un vibreur. Les vibrations permettent de compacter le terrain existant et le ballast vient combler le vide nouvellement créé. Cette technique est surtout utilisée sur les sols granuleux et les sols fins tels que les tourbes pour améliorer le frottement entre particule d'une part. La colonne ballastée en plus du renforcement du frottement entre particule, décompresse le sol en jouant le rôle de piézomètre s'il y a présence d'eau dans le sol, tel est le cas pour les tourbes. Cette technique a été utilisée par exemple pour la construction du pont échangeur d'Annaba

Lorsque les massifs des terres ne peuvent plus présenter une stabilité satisfaisante vis-à-vis du glissement, ils doivent être retenus par des ouvrages dits ouvrages de soutènement. Ces constructions reprennent les efforts des poussées dues à l'action des terrains.

On distingue généralement trois grandes catégories :

- Les murs de soutènement classiques (mur- poids en maçonnerie ou en béton, mur en béton armé avec semelle, murs à contrefort, murs cellulaires,) : la stabilité est assurée par le poids de l'ouvrage et parfois en partie, par le poids du remblai derrière le mur.
- Les écrans plans de soutènement (rideaux de palplanches, parois moulées, parois berlinoises, ...) : ce type de soutènement est d'épaisseur relativement mince et sa résistance à la flexion joue un rôle prédominant dans sa stabilité. Celle-ci est assurée par l'encastrement de l'écran dans le sol et éventuellement par des tirants d'ancrage.
- Les systèmes de soutènement composites (murs en sol cloué, terre armée, murs renforcés par géo-synthétiques ...) : ces ouvrages dont le dimensionnement peut se rapprocher des murs poids, sont pour certains relativement souples et peuvent tolérer

des déformations importantes. Ces soutènements font l'objet de méthodes de calculs spécifiques.

II.2. LES TECHNIQUE DE RENFORCEMENT

-La technique de la terre armée

-La technique de clouage

-La technique de pneu sol

-La technique de texsol

-La technique des géo-synthétiques

II.2.1. La Terre Armée



Figure II.1 : Utilisation de la technique de terre armée

II.2.1.1. Historique

Plusieurs travaux de recherches expérimentales et théoriques ont été entrepris dans les laboratoires et les universités pour attendre une meilleure compréhension de la conduite de la terre armée. C'est en 1966 au cours d'une conférence qu'il prononça devant la comité française de mécanique des sols, que l'invention de la terre armée «Henri Vidal» présentera pour la première fois le nouveau matériau [1], et depuis cette année jusqu'à aujourd'hui le cap des millions de murs en terre armée été posés dans le monde .

II.2.1.2. L'idée de base

On sait comment se déforme un élément de sol dans un massif en équilibre limite : la poussée s'obtient par expansion latérale du massif. L'idée de base de Henri Vidal est de s'opposer à cette expansion latérale en faisant intervenir le frottement des grains du sol sur des armatures horizontales. Si le frottement est suffisant pour empêcher tout mouvement relatif grains-armatures, alors la déformation horizontale du massif se réduit à la déformation longitudinale des armatures qui est très faible. On voit donc que tout se passe comme si l'on avait un matériau possédant une cohésion anisotrope n'apparaissant que pour des déformations horizontales (sauf si l'on disposait des armatures dans toutes les directions). Pour qu'il n'y ait pas de glissement terre-armature, il faut que les forces de contact entre les grains et les armatures fassent avec la normale aux armatures un angle α tel que : $Tg \alpha < tg \psi$

Où $tg \psi$: Désignent le coefficient de frottement terre-armature

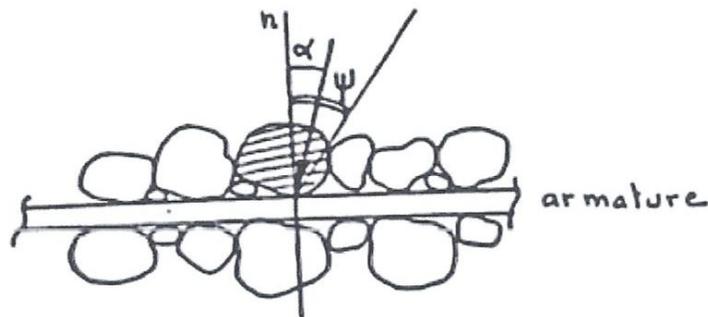


Figure II.2 : Contact entre les grains et l'armatur

II.2.1.3. Principe de fonctionnement de sol renforcé par inclusion

Le principe de sol renforcé par inclusion repose sur l'existence d'un frottement entre la terre et les inclusions. Il est donc très important de bien représenter ce phénomène pour obtenir une modélisation correcte d'une structure en sol renforcé par inclusion.

Le frottement se traduit par des contraintes de cisaillement, qui se développent dans le sol à la surface des inclusions, entraînant une variation continue des efforts de traction dans ces dernières.

Le lieu où les tractions sont maximales divise le sol renforcé en deux zones :

Une zone active : où le sol tend à glisser vers l'extérieur du massif et est retenu par les efforts de frottement mobilisés sur les surfaces d'inclusions. Ces efforts sont dirigés vers l'extérieur du massif et entraînant une augmentation des efforts de traction dans les inclusions.

Une zone résistante : ou les inclusions soumis à la force de traction maximale, tend à glisser vers l'extérieur du massif, mobilisant ainsi les efforts de frottement sur ces surfaces de contact avec le sol.

II.2.1.4. Principe de construction

La technique est constituée de trois éléments :

- Les parements
- Les armatures
- Les remblais

II.2.1.5. Avantages de la Technique

La terre armée est un matériau simple de mise en œuvre rapide et facile.

- Souplesse des ouvrages en terre armée
- Matériau économique.
- La rapidité d'exécution des ouvrages.
- Une grande déformabilité du parement lui permet de supporter sans dommage des tassements différentiels même importants.

Les avantages de cette technique conduit à une large utilisation dans divers domaines du génie civil : ouvrages ferroviaires (les chemins de fer et le métro...), ouvrages routiers (les autoroutes et les sites urbains...), ouvrages hydrauliques, ouvrages industriels et de protection (par exemple les murs de déchargement...)

II.2.1.6. Quelques exemples réels

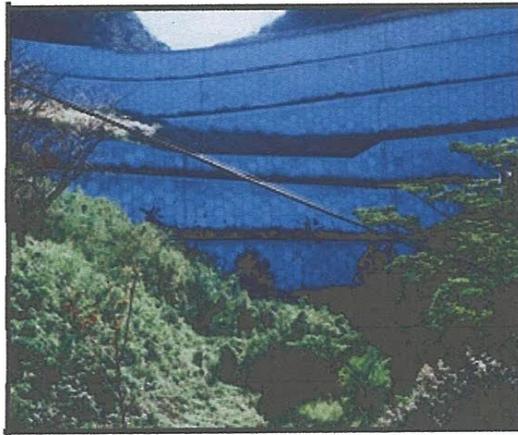


Figure II.3 : Mur de 57 m de haut - Ehime Shikoku (Japon)

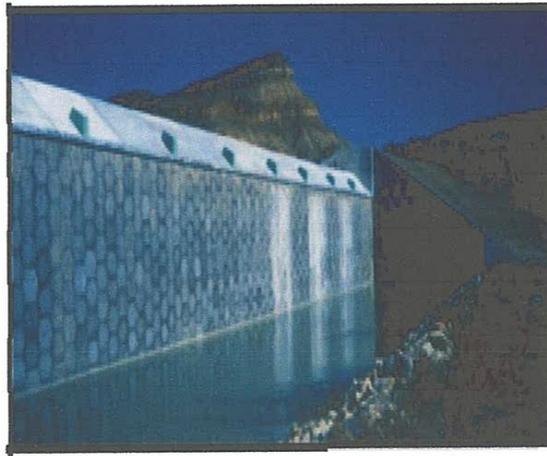


Figure II.4: Barrage Taylor Dam H: 25, 5 m; L: 154 m (Colorado - USA)

II.2.2. Clouage



Figure II.5 : Utilisation de la technique de Clouage

II.2.2.1. Introduction

On appelle clouage la technique de renforcement des sols en place (en déblai), destinée à améliorer la stabilité de pentes naturelles ou artificielles (appelées clous ou armatures rigides) travaillant à la traction et au cisaillement qui ont pour effet de limiter les déformations du sol.

Cette technique a débuté en France avec un premier mur construit à Versailles entre 1972 - 1973. Le premier programme de recherche principale sur des murs en sol cloué a été entremise en Allemagne de 1975 à 1981 par l'université de KARBSRUBE. En 1990 la réalisation des RECOMMANDATIONS CLOUTERRE 1991 pour la conception, le calcul, l'exécution et le contrôle des soutènements réalisées par clouage des sols ». Ce projet national a été prolongé par un second appelé CLOUTERRE II.

Jusqu'à aujourd'hui plusieurs projets ont été réalisés dans le monde.

II.2.2.2. Définition.

Le clouage est une technique de renforcement des sols en place, destinée à améliorer la stabilité de pentes naturelles ou artificielles, et consistant à introduire dans le terrain des inclusions (appelées aussi clous ou armatures), rigides et passives, qui ont pour effet de limiter les déformations du sol. Dans un massif renforcé, on qualifie d'active la zone qui se déforme et de résistante, la partie rigide. Les mouvements du sol peuvent être très faibles ou plus étendus, la zone active peut rester stable ou, au contraire, s'effondrer suivant la nature et la qualité du renforcement. Les inclusions sont mises en place de manière à ce que leurs extrémités soient ancrées (par frottement) dans la zone résistante. Elles sont ainsi capables de reprendre les efforts moteurs dus au poids de la zone active. La surface qui sépare les deux parties est la surface de rupture potentielle (ligne en bidimensionnel). Les termes cloutage ou boutonnage sont parfois utilisés pour désigner cette technique bien que clouage soit maintenant consacré par l'usage, à juste titre d'ailleurs. Notons à ce sujet que le boulonnage désigne la technique similaire employée dans les roches et en travaux souterrains, et que clouter signifie garnir de clous, ce qui n'est pas le but de la méthode étudiée.

II.2.2.3. Principe de construction

Les parois clouées se composent de trois éléments.

- Le terrain.
- Le clou.
- Les revêtements.

II.2.2.4. Avantages de la Technique

Les avantages principaux de la technique de clouage pour les soutènements sont :

- Un matériel réduit pour la construction car le clouage des sols nécessite qu'un matériel limité et léger.
- Méthode souple.
- *Technique adaptée aux sols hétérogènes.*
- Rapidité d'exécution.
- Une bonne adaptation aux sites (en pentes d'accès difficile réalisées en plat, en courbe ou avec parement incliné par murs superposés).
- Les murs en sol cloué sont relativement flexibles et peuvent faciliter des tassements totaux et différentiels relativement grands.
- Les murs en sol cloué ont été très performants pendant des événements sismiques dus à la flexibilité de système global.
- Coût compétitif : le coût de la construction et la durée est comparable aux murs de soutènement en terre armée.

II.2.2.5. Limitations de la Technique

Malgré tous les avantages de cette technique, il présente une certaine limitation se sont les suit :

- Pas de travail sous la nappe -nécessité d'un rabattement-
- Nécessité d'une cohésion à court terme du sol - minimum de 5 kPa -, éventuellement réalisation par passes alternées
- Sols argileux : protection contre l'infiltration d'eau fluage à long terme
- Déplacement latéral et vertical important
- Durabilité des clous vis à vis de la corrosion pour les ouvrages à long terme

II.2.2.6. Domaines d'applications de la Technique

La technique de clouage s'emploie dans deux domaines :

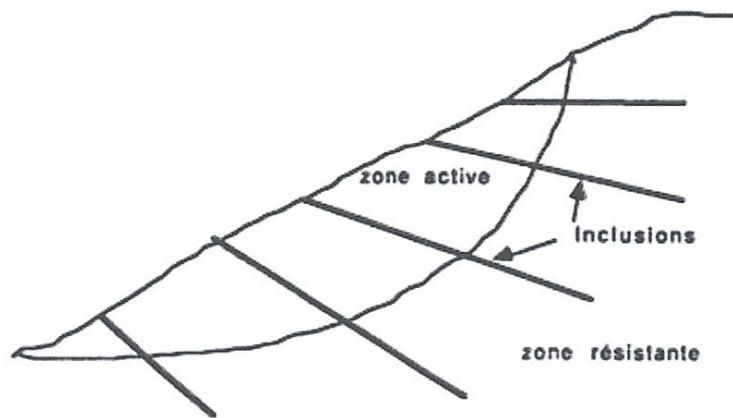
a. Stabilisation des pentes naturelles

Les inclusions sont presque perpendiculaires à la surface de rupture. Si bien qu'elles travaillent surtout en cisaillement, ce type de clouage est souvent utilisé en site montagneux à titre présentatif, et pour les remblais des voies ferrées (inclusions verticales).

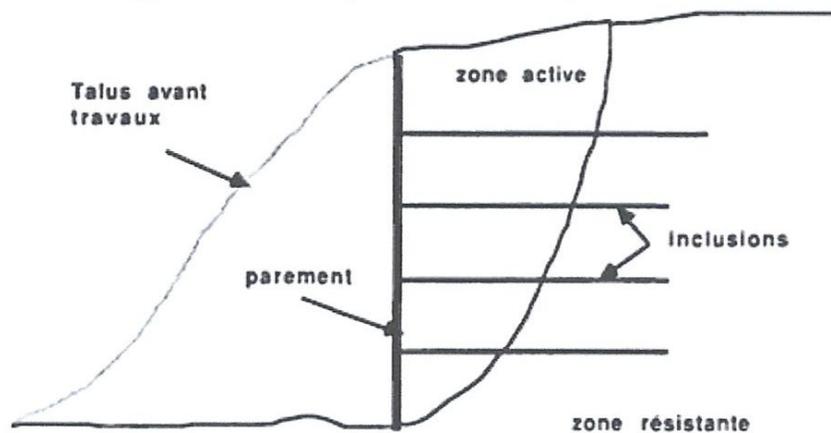
b. Soutènement d'excavation -pentes artificielles-

La technique de clouage peut également être utilisées pour soutenir les parois d'une fouille, les inclusions horizontales ou très peu inclinées vers le bas sont disposées au fur et à mesure de l'excavation, elles travaillent en traction et en cisaillement, le soutènement de

fouille par clouage peut se rencontrer hors nappe phréatique, ou après rabattement souvent en site urbain ; chantiers de métro ; parkings ; égouts ; entrées de tunnels ; etc..... Le soutènement que l'on désigne par paroi clouée peut être provisoire (travaux d'assainissement) ou définitif (Entrée de tunnel) ou de passage souterrain).

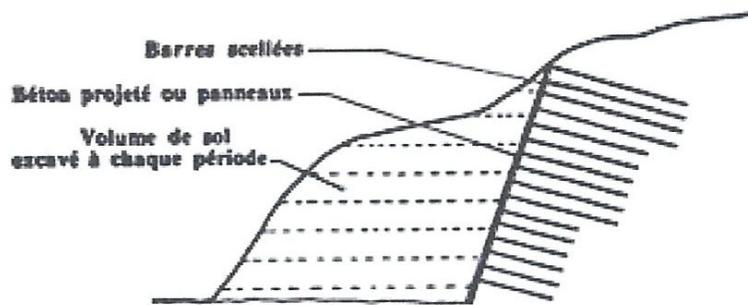


a) Application du clouage à la stabilité de pente.



b) Application du clouage au soutènement de fouille.

Figure II.6 : Les deux utilisations possibles de clouage



-A-: Schéma de principe d'un soutènement de fouille par clouage. Les travaux se divisent en périodes.



-a- Premier terrassement en général sur 1,5 à 3 m de hauteur (h_1).



-b- Revêtement du talus par projection de béton ou éléments préfabriqués



-c- Mise en place des clous par foration ou vibrofonçage

-B- Une période comprend trois phases: a, b, c.
b et c ne peuvent pas être perméutées.

Figure II.7 : Un chantier de clouage se décompose en période (A), une période comprend trois phases (B)

II.2.3. Pneu-sol

II.2.3.1. Introduction

Le Pneu sol est formé de l'association de deux éléments : le pneu et le sol. Le mot "pneus" désigne tous les éléments du pneu usagé (deux flancs, une bande de roulement) ou les pneus entiers qui sont associés linéairement ou en nappes et susceptibles de supporter des efforts de traction importants. Le mot "sol" englobe toutes les variétés de terrains naturels, artificiels ou des déchets divers.

Les premières recherches sur le matériau Pneu sol ont été réalisées en 1974 avec l'aide de la Délégation Générale à la Recherche Scientifique et Technique et Cette technique développée au Laboratoire Central des Ponts et Chaussées de Paris par Dr Nguyen Thanh LONG ingénieur du LCPC de Paris.

Le premier mur expérimental a été construit à Langres en 1982 de 5 m de hauteur et de 10 m de longueur.

Ce matériau largement développé et utilisé dans des plusieurs pays jusqu'à aujourd'hui par exemple Le premier chantier expérimental algérien de la technique Pneu sol, était les travaux de stabilisation d'un talus de remblai d'une hauteur de 5 m environ avec une largeur de 50 m au niveau de la commune de Boussmail, wilaya d'Alger.

II.2.3.2. Principe de construction

Un ouvrage de soutènement en Pneu sol est composé de :

- Le parement en générale est un parement en terre végétale naturelle provoque le long de la durée de l'ouvrage.

- les renforcements pneumatiques

-le remblai

- Renforcements pneumatiques

*Les éléments de pneus doivent être souples pour donner au parement sa caractéristique essentielle de bonne déformabilité.

*Elles doivent par ailleurs supporter des efforts de traction importants et posséder une bonne adhérence avec le remblai utilisé.

*Il faut que le renforcement ne subisse pas de rupture.

Si on effectue une coupe, d'un pneumatique dans le sens transversal on distingue :

On découpe et enlève le flanc supérieur de chaque pneu, l'élément restant se présentant comme un bac ayant un fond troué et un bord vertical fortement armé (bande de roulement).

Pour lier les pneus de poids lourds entre eux il faut utiliser des crochets métalliques en acier doux ou placer au-dessus de la couche de pneus un géotextile non tissé.



Figure II.8 : Les pneus utilisés pour la technique

- Remblais

Les matériaux de remblai du Pneu sol peuvent être soit des sols naturels, soit des matériaux artificiels, soit d'autres déchets. La qualité des matériaux de remblai utilisables pour le Pneu sol doit répondre en principe à des critères géotechniques et à des critères de durée de service.

- Critères géotechniques

Les renforcements en pneumatiques n'imposent au sol aucun critère granulométrique particulier parce que l'interaction du pneu et du sol ne reposant pas essentiellement sur le phénomène de frottement.

- Critères de durée de service

*il faut construire un double parement au lieu d'un seul parement pour diminuer l'influence de la chaleur et la lumière.

*il faut que la température moyenne en profondeur varie entre 3 à 4 degrés.

* il faut que le PH de l'eau extraite des remblais soit assez souvent de l'ordre de 4 à 5 pour ne pas détruit le caoutchouc.

II.2.3.3. Avantages de la Technique

*Il est économique et compétitif par rapport aux matériaux traditionnels.

*il est facile à mettre en œuvre et ne demande pas une compétence particulière.

* il est un déchet bien réparti sur tout le territoire et reste dans l'ensemble facile à trouver.

*Comme pour beaucoup de sols renforcés, la caractéristique essentielle du Pneu sol est sa déformabilité et les ouvrages construits avec celui-ci sont donc souples, capables de supporter sans dommage des tassements différentiels importants.

*il présente l'avantage de pouvoir améliorer les propriétés mécaniques du sol, soit de manière anisotrope c'est à dire uniquement dans les directions où le matériau est le plus sollicité, soit de manière isotrope dans toutes les directions (chaîne continue d'éléments de pneus ou de pneus entiers vides ou remplis).

*matériau antisismique

II.2.3.4. Utilisations de la Technique

Le Pneu sol est utilisé:

- En soutènement et en raidissement de pentes



Figure II.9 : Stabilité d'un glissement de terrain-Wilaya de Tizi Ouzou - Algérie.

- En réducteur de poussée

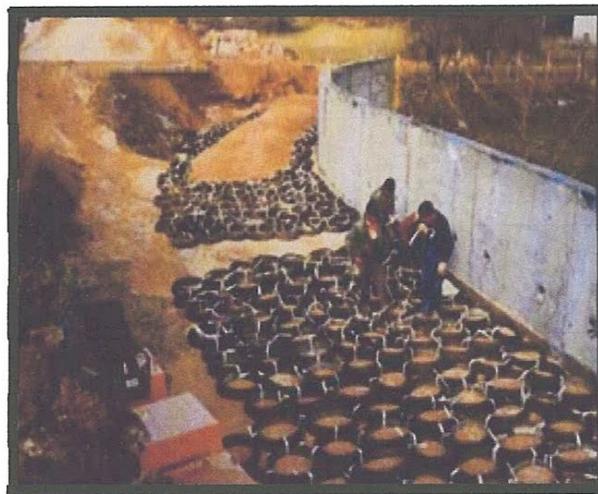


Figure II.10 : L de Pneu sol en réducteur de poussée

- En remblai léger



Figure II.11 : Remblai léger en crête de talus.

- En protection des pentes et des berges



Figure II.12 : Pneu sol pour protection des pentes et des berges.

- En répartiteur de contraintes sur des conduits enterrés

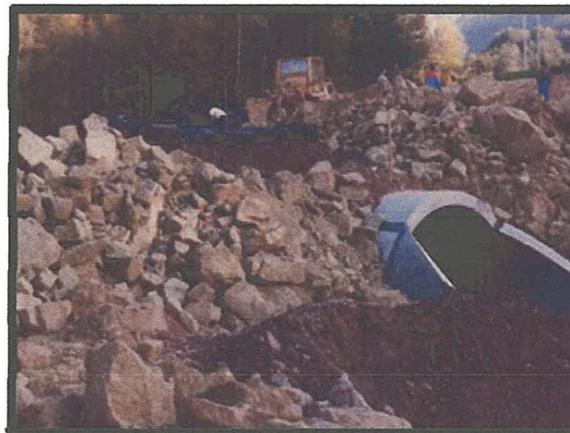


Figure II.13 : Répartiteur de contraintes au-dessus des conduits enterrés sous fortes hauteurs de remblai.

II.2.4. Texsol

II.2.4.1. Introduction

Le Texsol est un matériau composite obtenu par mélange intime de sol et de fils textiles continus réalisé en place. Inventé par le laboratoire central des Pons et Chaussées et breveté en 1980. Utilisé pour la première fois en volume important en 1984, dans le cadre du chantier d'élargissement à la trois voies de l'autoroute A7. Il a trouvé un développement important dans le domaine des ouvrages de soutènement souple le Texsol est maintenant un procédé connu et utilisé parmi les procédés et techniques modernes de renforcement et d'amélioration des sols développés au cours de ces dernières années.

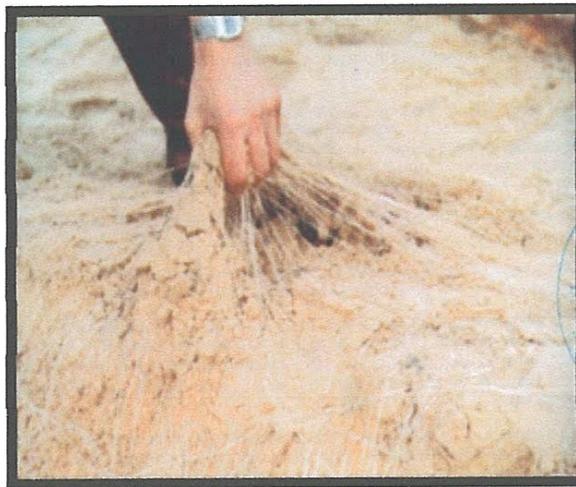


Figure II.14 : Mélange intime de sol et de fils textiles continus.

II.2.4.2. Principe de construction

Les constituants du Texsol sont le sol (matériau de base) et les fils textiles (matériau de renforcement)

II.2.4.2.1. Sols

a. Choix des sols

La plupart des sols sableux ainsi que les granulats concassés ou partiellement concassés conviennent au procédé Texsol. Ils doivent satisfaire aux spécifications indiquées ci-dessous afin d'obtenir un mélange Texsol de bonne qualité. Les critères de choix tiennent compte également de l'aptitude à la manipulation et la mise en œuvre du matériau, ainsi que des spécifications concernant ses caractéristiques physico-chimiques de façon à préserver les qualités des fils Texsol utilisés dans le mélange. Le choix du matériau de base doit répondre par ailleurs à des considérations d'ordre économique, l'intérêt de la technique est caractérisé en partie par sa possibilité d'emploi des matériaux locaux ou proches du chantier.

Le procédé est particulièrement performant dans le cas du matériau de base frottant. Les matériaux granulaires ou pulvérulents conviennent parfaitement à la technique.

b. Spécifications

Les spécifications tiennent compte de la technologie actuelle de mélange, ainsi que de la nature de l'ouvrage à réaliser.

Dans le cas où l'on craint la saturation en eau et surtout la mise en charge hydraulique du Texsol (premier cas), seuls les sols D1 ou D2 de la classification RTR peuvent être utilisés.

Dans les autres cas (deuxième cas), les sols B1 ou B3 sont autorisés

Actuellement, pour des raisons technologiques, la dimension des plus gros grains (D) est limitée à 20 mm.

Dans des cas particuliers, l'emploi d'autres sols doit faire l'objet d'une étude et d'un agrément techniques préalables par le maître d'œuvre.

Tableau II.1 : Classification B.

Sus-classe			Sols les plus fréquemment rencontrés	Caractères principaux	Classement d'après l'état du sol		
					Moyens d'évaluation de l'état	Cas possibles	commentaires
< 80µm	>2 mm	ES					
5 à 12 %	<30 %	B1 > 35	Sables silteux	Leurs fines étant en pourcentage limité et peu ou pas plastiques .Ces sols se comportent comme des sols insensibles à l'eau	Voir classe D	Voir classe D	
	> 30 %	B3 > 25	Graves silteuses		Voir classe D	Voir classe D	

Tableau II.2 : Classification D.

Sus-classe		Sols les plus fréquemment rencontrés	Caractères principaux	Classement d'après l'état su sol		
				Moyens d'évaluation de l'état	Cas possibles	commentaires
< 80µm	>2 mm					
<50 mm	D1 < 30 %	Sables Alluvionnaires propre Sable de dune	Ces sols sont sans cohésion et perméables .Leur granulométrie souvent mal graduée et de petit calibre les rend très érodables et d'une traficabilité difficile			
	D2 > 30 %	Graves Alluvionnaires propre Sable	Ces sols sont cohésion et perméables Après compactage ils sont d'autant moins érodables et d'autant plus aptes à supporter le trafic qu'ils sont bien gradués			

II.2.4.2.2. Fils textiles

Les fils textiles destinés au procédé Texsol doivent présenter certaines propriétés physico-chimiques et mécaniques imposées par leurs conditions de mise en œuvre et de fonctionnement dans le mélange

a. Caractéristiques des fils textiles

Les fils textiles sont caractérisés par : la nature chimique du polymère de base, la structure du fil, la masse linéique ou titre du fil, la composition (nombre de filaments), la ténacité, l'allongement de rupture, le module d'élasticité, la présentation.

b. Spécifications

Les spécifications tiennent compte de la technologie actuelle de mélange. Les fils utilisés doivent satisfaire aux conditions suivantes :

*nature physico-chimique : pour les ouvrages permanents, seuls les fils textiles chimiques synthétiques de polyester sont autorisés.

*structure de fils : les fils non étirés ou texturés ne sont pas admis

*Titre : $\lambda \leq 400$ dtex

*ténacité : $\zeta \geq 30$ CN/tex

* allongement de rupture : $\varepsilon_r \leq 30$ %

*module de déformation initiale : $j_i \geq 500$ cN /tex

*présentation : conditionnement de type bobines

*le nombre de filaments constituant le fil doit être indiqué

*L'utilisation de fibres autres que polyester, par exemple dans le cas des ouvrages provisoires, doit être soumise à une étude en laboratoire et à un agrément technique préalable par le maître d'œuvre

Caractéristiques indicatives des fils textiles couramment utilisés dans le mélange Texsol

Tableau II.3 : Les caractéristiques des fils textiles.

nature	Type de fil	titre	Nombre de filaments	ténacité (CN/tex)	Allongement à la rupture (%)	Module initial (CN/tex)
Polyester PES		50	16	40	25	970
	Fil à	167	30	36	26	770
	étirage	330	60	37	27	950
	intégré	280	60	58	19	790
		280	48	61	14	800

II.2.5. Géosynthétique :

II.2.5.1. Définition :

Les géosynthétiques sont des produits plans fabriqués à partir de polymères synthétiques tels que le polypropylène, le polyester, le polyéthylène, etc. Ces matériaux sont fortement résistants à la dégradation biologique et chimique, mais ne supportent pas les rayons ultraviolets contre lesquels ils sont protégés par le sol d'enrobage. Les polymères synthétiques sont employés depuis plus de 40 ans avec le sol, la roche, ou autre matériau lié à la géotechnique (géo), ou ce qui explique l'appellation géosynthétique qui signifie application du synthétique dans la géotechnique, en tant qu'un élément d'un projet ou d'un système de génie civil.

Dans une analogie directe avec le béton armé, les géosynthétiques fournissent la résistance et la stabilité à la traction et au cisaillement aux sols qui ont des faibles ou aucune résistance.

Un géotextile est un géosynthétique perméable et flexible, sous forme des bâches continues en fibres ou fils tissés, non tissés, tricotés ou maillés. Les géogrilles sont principalement employées pour le renforcement; elles sont constituées par un réseau régulier d'éléments en tension, avec des ouvertures de taille suffisante pour s'imbriquer avec le matériau agrégat environnant.

Les géo-cellules sont relativement épaisses, sont des réseaux trois dimensionnelles, perméables, construites à partir des bandes à feuille polymérique (synthétique ou naturelle).

Les bandes sont rejoint, simultanément, sous forme des cellules interconnectées qui sont remplis par du sol et parfois du béton. Les géo-membranes sont des géosynthétiques de faible perméabilité utilisées en tant que barrières liquides. Géotextiles et produits connexes tels que des filets et des grilles peuvent être combinés avec des géo-membranes et d'autres synthétiques pour tirer profit des meilleures qualités de chaque composant. Ces produits s'appellent les géo-composites, et ils peuvent être des composés des géotextiles géonets, des géotextiles-géo-grilles, des géotextiles-géo-membranes, des géo-membranes géonets, des noyaux géotextiles polymères, et des mêmes structures polymères à trois dimensions de cellules. Il n'y a presque aucune limite à la variété de géo-composites qui sont possibles et utiles. La limite générique générale entourant tous ces matériaux est géosynthétique

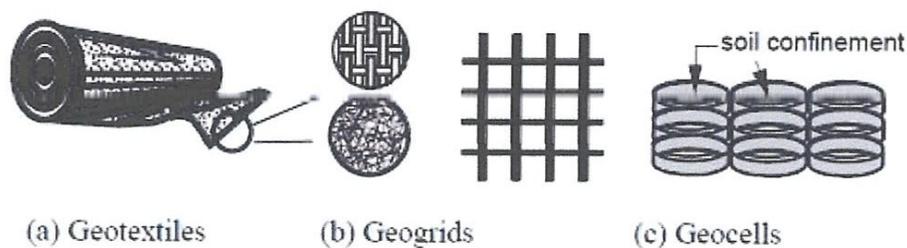


Figure II.15 : géosynthétiques utilisés couramment pour le renforcement du sol (Bathurst 2007)

II.2.5.2. Fonctions des géosynthétiques

Les géosynthétiques comprennent une variété de matériaux en polymères synthétiques spécialement fabriqués pour une utilisation dans les domaines du génie civil et de la

protection de l'environnement ainsi que dans les ouvrages hydrauliques et de transport. On distingue communément les fonctions principales suivantes pour un géosynthétique : séparation, filtration, drainage, renforcement, confinement des liquides/gaz ou contrôle de l'érosion. Dans certains cas, le géosynthétique peut remplir une double fonction.

II.2.5.3. Séparation :

Le géosynthétique sépare deux couches de sol de granulométries différentes. Par exemple, des géotextiles sont utilisés pour empêcher les matériaux de la couche de forme d'une route de pénétrer dans les sols mous de la couche de fondation sous-jacente, maintenant ainsi l'épaisseur de projet et l'intégrité de la chaussée. Les séparateurs permettent également d'empêcher les sols fins sous-jacents d'être "aspirés" dans les couches de base en matériaux granulaires des routes

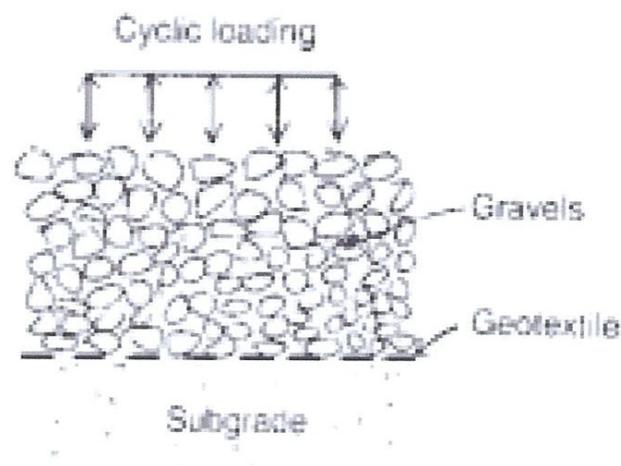


Figure II.16 : Géotextile comme séparateur dans une route non revêtue

II.2.5.4. Filtration :

Le géosynthétique agit comme un filtre de sable en permettant à l'eau de circuler dans le sol tout en retenant en amont les particules de sol. Par exemple les géotextiles sont utilisés pour empêcher la migration des sols dans les matériaux granulaires drainants ou les drains tout en maintenant l'écoulement au travers du système. Les géotextiles sont également utilisés en dessous des enrochements ou d'autres matériaux de protection dans les systèmes de protection des côtes ou des berges de rivières pour empêcher l'érosion des sols.

II.2.5.5. Drainage :

Le géosynthétique agit comme un drain pour conduire les écoulements de fluides dans les sols moins perméables. Par exemple les géotextiles sont utilisés pour dissiper les pressions interstitielles à la base des remblais routiers. Pour des débits plus importants, des géocomposites drainants ont été développés. Ces matériaux ont été utilisés comme écrans drainants de rives de chaussées, épis drainants sur talus et comme drains dans les culées et murs de soutènement. Des drains verticaux préfabriqués (DVP) sont utilisés pour accélérer la consolidation des sols mous cohésifs sous remblais et remblais pré chargés.

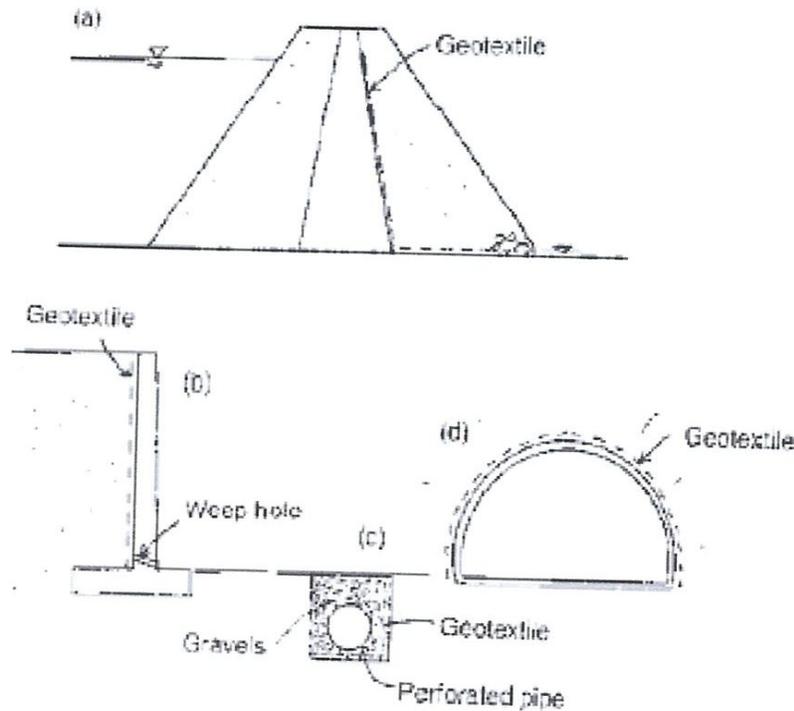


Figure II.17 : Géotextile comme couche drainante ou filtrante (a) drain cheminée dans un sol mou ; (b) drain maintenant la dernière d'un mur ; (c) drainage souterrain ; (d) couche de drainage dans un tunnel.

II.2.5.6. Renforcement :

Le géosynthétique agit comme élément de renfort au sein d'une masse de sol ou en combinaison avec le sol pour produire un composite ayant des propriétés en déformation et résistance améliorées par rapport à un sol non renforcé. Par exemple, des géotextiles et géogrilles sont utilisés pour augmenter la résistance à la traction d'une masse de sol afin de créer des pentes verticales ou sub verticales (murs en sol renforcé).

Le renforcement permet la construction de remblais sur sols de fondation très mous et la réalisation de pentes de talus de remblais plus raides qu'avec des sols non renforcés. Des géosynthétiques (habituellement des géogrilles) sont également utilisés pour le franchissement de cavités qui peuvent se développer sous des couches support en matériau granulaire (routes et voies ferrées) ou sous les systèmes de couverture dans les installations de stockage de déchets

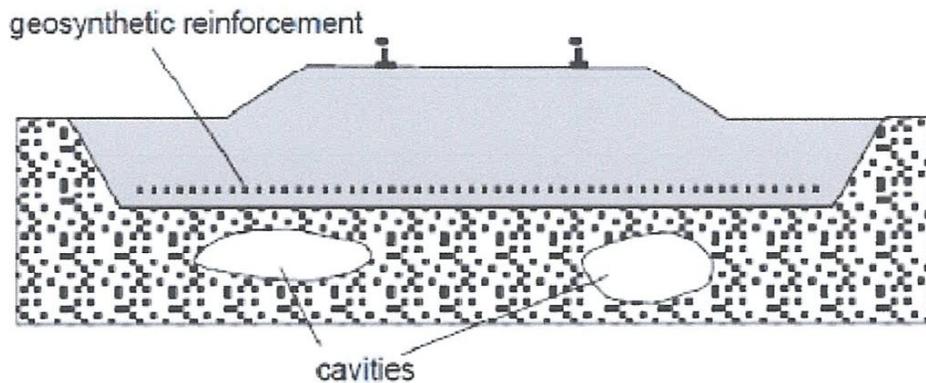


Figure II.18 : Remblai renforcé à une fondation de sol instable. [Ennio M. Palmeira, 2008]

II.2.5.7. Les matériaux géogrilles

Une géogrille est une structure plane, à base polymère, constituée par un réseau ouvert d'éléments résistants à la traction, reliés entre eux selon un motif régulier, dont les ouvertures ont des dimensions supérieures à celles des constituants. Elles sont utilisées en contact avec le sol pour renforcer les fondations, remblais...etc. Il y a deux types de géogrilles.

a-Géogrille uniaxiale : la résistance à la traction est plus importante dans un sens (longitudinal ou transversal) que dans l'autre;

b-Géogrille biaxiale : la résistance à la traction est sensiblement équivalente dans le sens longitudinal et transversal.

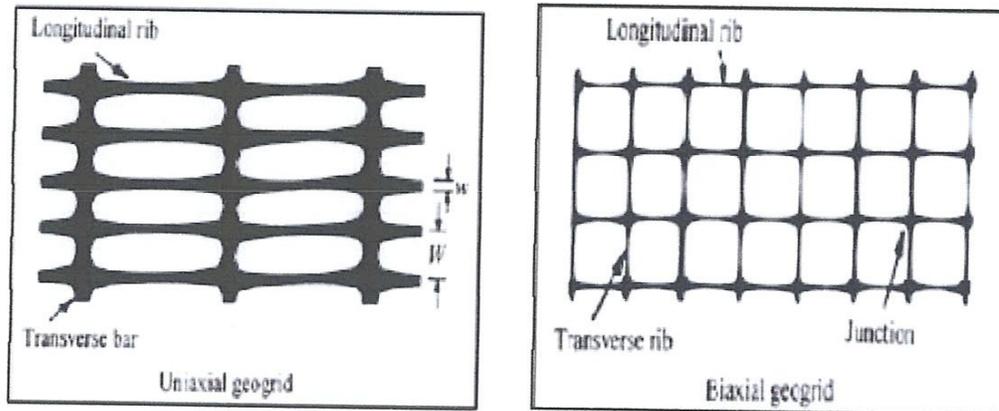


Figure II.19 : Géogrilles uniaxiale et biaxiale.

II.2.5.8. Propriétés des géogrilles utilisées en renforcement

- Les géogrilles ont des taux de travail très élevés, car les matières premières à haut module ont un faible fluage.
- Les géogrilles sont disponibles avec différentes résistances à la traction (entre 20 kN/m et 1000 kN/m) et différentes ouvertures de mailles. Pour des utilisations spéciales, nous pouvons réaliser des résistances à la traction de plus de 1000kN/m.
- Les caractéristiques de traction et d'allongement des géogrilles ne varient que faiblement sous des variations importantes de température et sous des contraintes permanentes.
- Les géogrilles sont conditionnées de manière standard, ceci afin de réduire au mieux les recouvrements.
- Les géogrilles sont faciles à manier et à mettre en œuvre, car elles peuvent être déroulées et pliées. Elles peuvent être facilement découpées aux dimensions voulues et n'ont pas de bord coupant pouvant entraîner des blessures.

II.2.5.9 Choix des éléments de renforcement géosynthétiques

Aujourd'hui, cependant, avec grande variété de géosynthétiques disponible, l'approche basée sur épreuve et essais est inadéquate. L'approche recommandée pour concevoir, choisir, et indiquer le géosynthétique n'est pas différente de ce qui est généralement pratiqué dans n'importe quelle conception géotechnique et d'ingénierie. D'abord, la conception devrait être faite sans géosynthétiques pour voir s'ils sont vraiment nécessaires. Si les solutions conventionnelles sont impraticables ou peu économiques, concevoir alors, les calculs

employant des évaluations raisonnables d'ingénierie des propriétés géosynthétique requises. Les géosynthétiques, qui ont un rôle essentiel dans la stabilité des ouvrages, sont choisis en fonction de plusieurs critères :

- a- Leur résistance à la traction à long terme (tenant compte des effets du fluage, du vieillissement et de l'endommagement) ;
- b- Le coefficient d'interaction par frottement à l'interface avec le matériau de remblai ou le sol;
- c- La nature du polymère dont ils sont constitués, qui doit être compatible en termes de vieillissement avec le matériau de remblai et, le cas échéant, avec le parement en pentes.

Chapitre III

Approche Economique

Chapitre III. Approche économique

III.1. Introduction

Après un bref rappel des méthodes d'évaluations économique, l'approche cout et la méthode d'évaluation et l'analyse économique, l'évaluation économique de tout projet et primordiale. Plusieurs approches méthodologiques de l'évaluation économique ont été élaborées et appliquées dans plusieurs pays dont l'Algérie.

Le concept d'analyse couts, a été adapté aux projets des ponts, l'approche par mesure des effets dite « méthode des effets », qui est de plus en plus utilisée .mais, il est impératif de noter que ces différentes approches n'appliquent pas les mêmes critères d'investissement d'évaluation des routes ce qui donne lieu à des problèmes d'interprétation et d'appréciation des couts de faisabilité des projets.

III.2. Objectif de l'étude et ses délimitations

Cette approche économique énoncé dans ce mémoire na pas pour ambition de présenter une « solution finale », ce n'est pas son but. Mais elle consiste à développer une vision globale d'adaptabilité de quelques approches et méthodologies de l'évaluation économique, et les différentes méthodes techniques utilisées pour la réalisation de ces projets. Selon certains auteurs, la vie globale d'un projet se répartit en deux phases principales :

- phase d'élaboration du projet
- phase de préparation du choix (études dévaluation économique)

III.3. Définition utilisées

Certains auteurs utilisent la notion : le but principal de l'évaluation économique d'un projet de géotechnique est de calculer les couts et les avantages économiques.

III.4. Le rôle de l'évaluation géotechnique

L'évaluation des projets est étudiée soit dans les phases de préparation de choix, soit dans la phase de choix et décisions. L'initiateur du projet doit formuler des hypothèses fiables et vérifiables dans le temps, aboutissant à démontres viabilité Du projet. Quant au projet, il doit être soumis à une évaluation technique, financière et économique.

L'évaluation technique du projet, Cela consiste à définir le processus technique de réalisation et de fonctionnement ou d'exploitation, L'évaluation financière du projet a pour objectif de déterminer le cout financier, C'est-à-dire montré que le projet :

- peut être réalisé et peut fonctionner normalement,

- l'évaluation de gestion consiste à chiffrer la capacité du management et des personnels dans la réalisation du projet l'évaluation économique consistent à estimer le projet du point financier.
- malgré les difficultés de jugement des projets dans leur évaluation marquées par l'indisponibilité des données et des informations, il est nécessaire de mettre en évidence une évaluation économique plus adaptée afin de pouvoir mieux gérer ces projets dans ce cas la connaissance d quelque approche et nécessaire à cette évolution.

III.5.Approche d'évaluation

Il s'agit ici de l'approche par mesure des couts et des méthode prix de référence préconisée par les institutions internationales (OCDE, ONUDI, BIRD) ,et l'approche par mesure des effets ou méthodes des effets mis au point par le SEDES (société d'études pour le développements économique et social) .

Malgré les débats théoriques et d'application de ces approches, il est important de les mettre en évidence et de les comparer afin de montrer leurs avantages et leurs inconvénients.

III.6. Approche couts

Cette approche est basée sur des critères de choix quantifiables .il s'agit de comparer les couts ressentis pour la réalisation. Dans cette approche, ce sont des prix fictifs qui sont utilisées comme prix de référence au lieu des prix réels ; les prix réels ne peuvent être connus pour les matériaux utilisés que par l'étude un détail de prix.

En conséquence, les couts d'importation des matériaux rentrant dans le cadre de la réalisation d'un projet de géotechnique sont artificiellement bas et la demande d'importation est élevée, de sorte que l'équilibrage du système des prix est nécessaire et représente vraiment les couts économiques du projet on peut alors distingue :

- L'estimation quantité des procurions (y compris la main d'œuvre qualifiée), et déterminer leurs valeurs en utilisant :
- Les prix mondiaux pour le « biens internationaux »(les transports, l'énergie, le bâtiment qui sont des secteurs communs à tous les projets feront l'objet d'estimations particulières).
- Estimer le nombre de jours de main d'œuvre non qualifiée et déterminer leur valeur au moyen de taux de salaire de référence.

- Estimer les effets directs induits.
- Prévoir le cas échéant, pour les projets très importants, une certaine provision de risque.

Cette méthode repose sur les prix de référence.

III.7 Approche par mesure des effets dite 'méthode des effets'

Ces effets sont annoncés comme suit :

- les effets engendrés en phase d'équipement du projet :
- Montant total de l'évaluation financier du projet et son complément ventilés en :
 1. Importations incluses
 2. Valeur ajoutée incluse dont salaires, revenus du milieu traditionnel, impôts et taxes.
- Effets secondaires dus aux dépenses de ces revenus supplémentaires par les différents agents économiques.

III.8 Descriptive de la réalisation des travaux routier :

Cette description sera donnée par les tableaux présentés ci-dessus des cas présenté dans ce travail

III.8.1: Exemple 1 :

L'exemple 1 sera l'étude d'un glissement de terrain (renforcement par pieux et géotextile) sur la route nationale n° 20 reliant la commune d'Ain Amara à la commune de Sellaoua-Announa au Pk 70+000

Tableau III.8.1.1. Descriptif des travaux : Par pieux et Géotextile

Désignation Des Travaux, Prix Unitaires Et En Hors Taxes	Prix Unitaires En Chiffres Et En Hors Taxes
Terrassement en grande masse de déblais meubles mis en dépôts y compris décapage et toute sujétion de bonne exécution LE METRE CUBE : sept cent dinars algériens	700.00
Remblais sélectionné pour réaménagement des talus de remblai et reconstitution de la section route y compris la mis en œuvre, réglage, arrosage, compactage et toutes sujétions de bonne exécution. LE METRE CUBE : mille deux cent dinars algériens	1 200.00
Réalisation des pieux de 20m de profondeur et 1.20m de diamètre y compris forage, ferrailage, béton dosé à 400kg/m, recepage, chemisage, et toutes sujétions de bonne exécution LE METRE LINEAIR : soixante milles dinars algériens	60 000.00
Mur de soutènement pour couronnement en béton armé dosé à 350kg/m LE METRE CUBE : trente-huit milles dinars algériens	38 000.00
Tranchée drainante semi-profonde avec géotextile de profondeur de 2.5m y compris toutes sujétions de bonne exécution LE METRE LINEAIR : vingt-cinq milles dinars algériens	25 000.00
Fourniture et pose en enrochement 200/500 avec filet galvanisé pour butée (rangées de mur gabion) y compris toutes sujétions de bonne exécution LE METRE CUBE : quatre milles cinq cent dinars algériens	4 500.00
Masque enrochement (para-affouillement) en blocométrie 600/1200 y compris fourniture, pose et toutes sujétions de bonne exécution LE METRE CUBE : cinq milles cinq cent dinars algériens	5 500.00
Couche de roulement en béton bitumineux 6 cm comprenant mise en œuvre du béton bitumineux, couche d'accrochage et toutes sujétions de bonne exécution LA TONNE : huit milles dinars algériens	8 000.00
Couche de base en grave bitumineux 18 cm comprenant mis en œuvre deux couches LA TONNE : sept milles cinq cent dinars algériens	7 500.00

Imprégnation en cut back 0/1 <u>LE METRE CARRE:</u> deux cent vingt dinars algériens	220.00
Couche de fondation en grave concassée 0/31.5 (30cm) avec rechargement des accotements <u>LE METRE CUBE:</u> deux milles six cent dinars algériens	2 600.00
D'eau en élément préfabriqué selon plan d'exécution (longueur 30cm, h=17cm, ép entre 4 à 8 cm, ouverture variante de 30 à 38 cm) y compris toutes sujétions de bonne exécution <u>LE METRE LINEAIR:</u> trois milles dinars algériens	3 000.00
Bordure à plat en élément préfabriqué selon plan d'exécution y compris toutes les sujétions de bonne exécution <u>LE METRE LINEAIR:</u> milles huit cent dinars algériens	1 800.00
Fossé bétonné section 70x70x70 ép=0.1m armé en treillis soudé selon gabarit sur plan y compris toutes sujétion de bonne exécution <u>LE METRE LINEAIR:</u> trois milles cinq cent dinars algériens	3 500.00
Reboisement (arbres et arbustes) EUCALIPTUS, ACCACIA <u>L'UNITE :</u> trois milles cinq cent dinars algériens	3 500.00

Tableau III .8.1.2. Descriptif des travaux (prix projet, et pourcentage des prix de groupement des travaux par apport au prix global du projet ,GT/CTGP)

Travaux	Désignation Des Travaux	Prix Dz	% GT /CTGP
Fondation	Terrassement en grande masse de déblais meubles	115 311.00	57,16%
	Remblais		
	Réalisation des pieux de 20m		
	Tranchée drainante semi-profonde avec géotextile		
	Fourniture et pose en enrochement 200/500 avec filet galvanisé pour butée		
	Masque enrochement (para-affouillement) en blocométrie 600/1200		
Renforcement	Mur de soutènement pour couronnement	50 575.00	25,07%
	Fourniture et pose en enrochement		
Chaussée	Couche de base en grave bitumineux 18 cm de deux couches	35 843.00	17,76%
	Imprégnation en cut back 0/1		
	Couche de fondation en grave concassée 0/31.5 (30cm)		
	D'eau en élément préfabriqué selon plan d'exécution		
	Couche de roulement en béton bitumineux 6 cm		
	Bordure à plat en élément		
	Fossé bétonné		
	Reboisement		
		201 729.00	

Tableau III.8.1.3. tableau des prix referentiel et pourcentage des prix de groupement des travaux referentiel par apport au prix global referentiel ,GT/CTGP)

Travaux	Prix referentiel DZ / Prix referentiel FR (GTR)	(%) GT/CTGP
Fondation	94 486.00	56,53 %
Renforcement	41 531.00	24,85%
Chaussée	31 107.00	18,61%
	167 124.00	

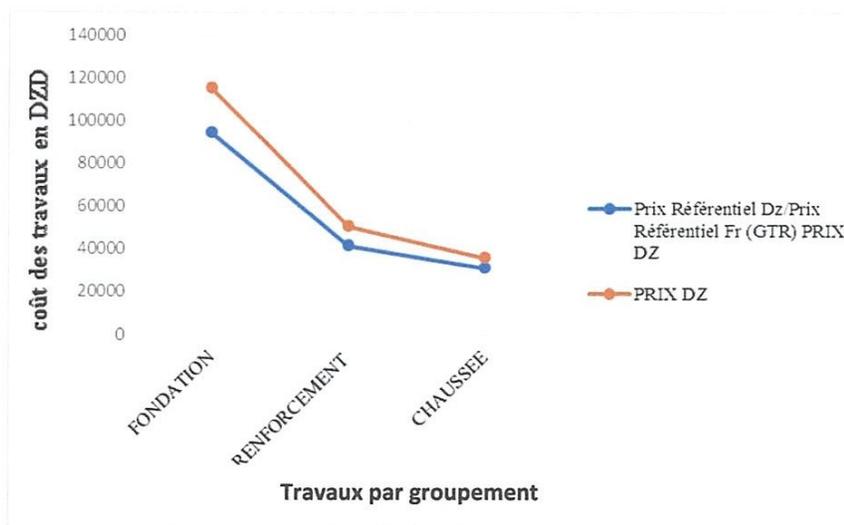
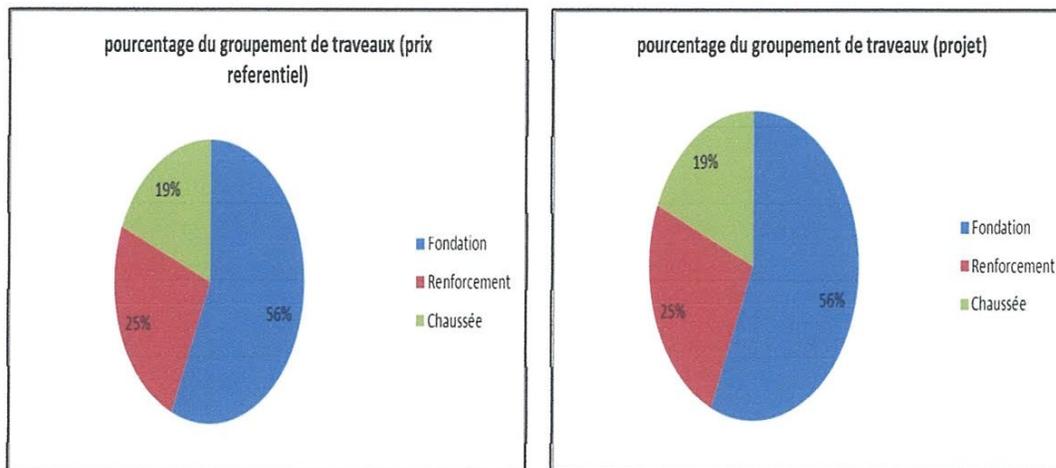


Figure III.1.: prix projet et prix referentiel par groupement des travaux

III.8.2 : L'exemple 2 sera l'étude de traitement et de glissement de terrain (renforcement par substitution de sol) sur la route nationale n° 80 de au Pk 67+400

N*	Désignation Des Travaux, Prix Unitaires Et En Hors Taxes	Prix Unitaires En Chiffres Et En Hors Taxes
01	DEVIATION PROVISOIRE	
1-1	Décapage de la terre végétale sur une épaisseur=25 cm LE METRE CARRE: soixante-dix-huit dinars algériens 00 centimes.	78.00
1-2	Déblais meuble en grande masse y compris transport à la décharge publique à un R<1500 ml LE METRE CUBE : cinq cent quatre-vingt-cinq dinars algériens 00 centimes	585.00
1-3	Exécution de remblais en matériaux sélectionnée LE METRE CUBE : mille quarante dinars algériens 00 centimes	1 040.00
1-4	Fourniture et transport et mise en œuvre de TVC pour couche de fondation y compris toutes sujétions LE METRE CUBE : mille trois cent dinars algériens 00 centimes	1 300.00
1-5	Fourniture et transport et mise en œuvre du grave concassé pour couche de base y compris toutes les sujétions LE METRE CUBE : deux mille sept cent trente dinars algériens 00 centimes	2 730.00
1-6	Exécution de la couche de roulement en bicouche y compris imprégnation au cut back 0/14 LE METRE CARRE: neuf cent dix dinars algériens 00 centimes	910.00
02	EXECUTION DES PIEUX ET MURE DE SOUTÈNEMENT	
2-1	Exécution de pieux 1000 y/c forage en terrain toute nature, ferrailage, bétonnage (béton dosé à 400 kg/m ³) et recépage LE METRE LINEAIRE: cinquante-trois mille cinq cent dinars algériens 00 centimes	53 500.00
2-2	Béton armé dosé à 350 kg/m ³ de CPA 325 pour poutres liaison y/c coffrage et ferrailage LE METRE CUBE : trente-huit mille dinars algériens	38 000.00
03	REALISATION DE LA ROUTE	
3-1	Déblai pour purge des matériaux sur 02 m de profondeur LE METRE CUBE: cinq vent vingt dinar algériens 00 centimes	520.00
3-2	Fourniture, transport et mise en œuvre de remblais en TVN sur la plateforme routière LE METRE CUBE : mille trois cent dinars algériens 00 centimes	1 300.00
	Fourniture, transport et mise en œuvre de TVC 0/40 pour accotements	1 300.00

3-3	sur 30 cm LE METRE CUBE : mille trois cent dinars algériens 00 centimes	
3-4	Fourniture, transport et mise en œuvre de grave concassée 0/31.5 pour accotement sur 18 cm d'épaisseur LE METRE CUBE : deux mille six cent dinars algériens 00 centimes	2 600.00
3-5	Fourniture et transport et mise en œuvre de grave concassée 0/31.5 pour couche de fondation sur 30 cm d'épaisseur LE METRE CUBE : deux mille six cent dinars algériens 00 centimes	2 600.00
3-6	Fourniture et transport et mise en œuvre de grave bitume 0/20 pour couche de base sur 12 cm d'épaisseur LA TONNE: six mille cinq cent dinars algériens 00 centimes	6 500.00
3-7	Fourniture et mise en œuvre de béton bitumineux 0/14 pour couche de roulement sur 06 cm d'épaisseur LA TONNE: sept mille cent cinquante dinars algériens 00 centimes	7 150.00
3-8	Revêtement monocouche des accotements y/c toutes sujétions LE METRE CARRE: cinq cent vingt dinars algériens 00 centimes	520.00
3-9	Imprégnation au cut-back 0/1 LE METRE CARRE: cent trente dinars algériens 00 centimes	130.00
04	DRAINAGE ET ASSAINISSEMENT DE LA ROUTE	
4-2	Réalisation de bordures en béton 15x35x100 pour canaliser les deux vers les descentes d'eau LE METRE LINEAIR: mille cinquante dinars algériens	1 050.00
4-3	Décente d'eau en béton légèrement armé de treillis soudé 20x20 LE METRE LINEAIR: deux mille huit cent soixante dinars algériens	2 860.00
4-4	Exécution d'une tranchée drainante au pied du talus déblai sous le fossé trapézoïdal de dimensions 1.20x3.20 y compris fouille en tranchée, FMO grave enveloppée dans un géotextile filtrant avec buse PVC perforée et toute sujétion LE METRE LINEAIR: treize mille dinars algériens	13 000.00

Tableau III.8.2.1. Descriptif des travaux (prix projet, et pourcentage des prix de groupement des travaux par apport au prix global du projet ,GT/CTGP)

N*	Travaux	Prix « Dz »	(%) Gt/CTGP
01	Déviation Provisoire	7 705.17	4,64%
02	Exécution Des Pieux Et Mure De Soutènement	108 885.00	64,03%
03	Réalisation De La Route	26 917.80	15,83%
04	Drainage Et Assainissement De La Route	26 322.80	15,48%
		170 030.77	

Tableau III.8.2.2. tableau des prix referentiel et pourcentage des prix de groupement des travaux referentiel par apport au prix global referentiel ,GT/CTGP)

N*	TRAVAUX	Prix référentiel DZ / Prix référentiel FR (GTR)	(%) GT/CTGP
1	Déviation Provisoire	5500,00	4,00%
2	Exécution Des Pieux Et Mure De Soutènement	90 800.00	66,18%
3	Réalisation De La Route	20 100.00	14,65%
4	Drainage Et Assainissement De La Route	20 800.00	15,16%
		137 200.00	

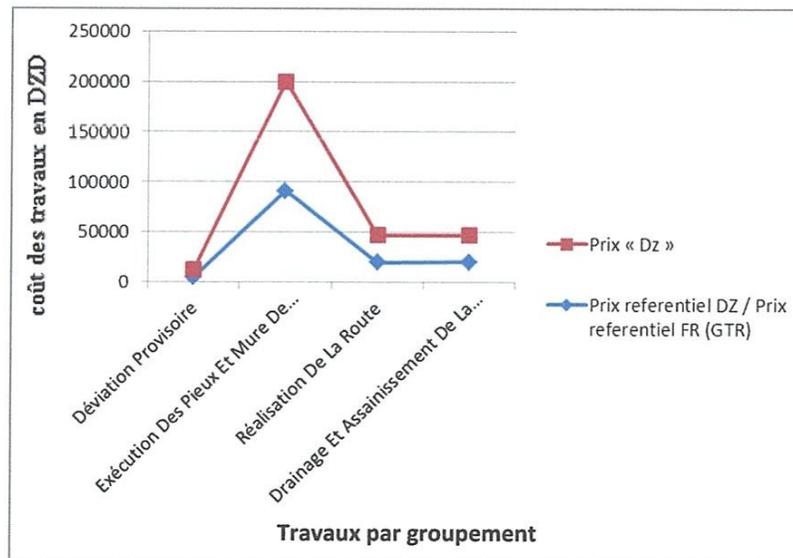
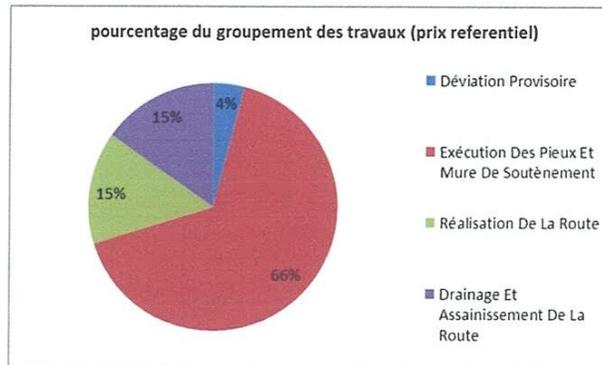
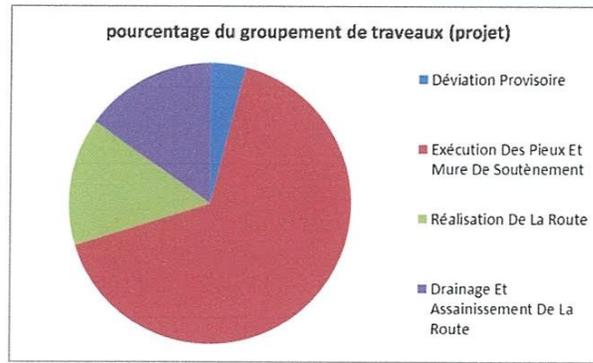


Figure III.2. : prix projet et prix referentiel par groupement des travaux

**III.8. 3 : L'exemple 3 TRAITEMENT D'UN GLISSEMENT (renforcement par terre armé)
SURVENUE SUR RN21PK 50+600 (GUELMA-ANNABA)**

N	Désignation des travaux	U	Quantité	P/U	Montant
1	travaux de contrôle de laboratoire	F	1	1 000 000.00	1 000 000.00
	1/terrassment				
1-1	déblais en grande masse de terrain de toute nature y compris évacuation des terres à la décharge publique réglage de fond forme arrosage compactage et toutes sujétions d'exécution	M ³	23000	400.00	9 200 000.00
1-2	remblai en TVO sélectionner par couche de 0,30 m ep y compris compactage arrosage et tout sujétions d'exécution	M ³	20000	600.00	12 000 000.00
2/assainissement					
2-1	culasse matelas drainante sur H = 1 m Y compris lit de sable de mer ballast 0/40 fermeture en gravier 15 / 25 et 5 / 15 et 3 / 8 et toutes sujétions d'exécution	M ³	2500	2 000.00	5 000 000.00
2-2	construction des drains en ballast 0/40 fermeture en gravier 15 / 25 et 5 / 15 sur 01 m de large et toutes sujétions d'exécution	M ³	800	3 000.00	2 400 000.00
2-3	construction Des fossé bétonné de forme trapézoïdale armée au treillis soudés béton dosée à 250 kg / mètre cube sur 1,20 m d'ouverture 0,60 m de profondeur 0,30 m de base et 0,10 mètres d'épaisseur y compris ouverture de la tranchée dégagement de terre à la décharge public et toutes sujétions d'exécution	ML	150	3 000.00	450 000.00
2-4	FMP de géotextile filtrante et toutes sujétions d'exécution	M ²	8000	600.00	4 800 000.00
2-5	FMP de géotextile imperméable et toutes sujétions d'exécution	M ²	1000	1 100.00	100 000.00
2-6	FMP du miragrid 65 / 25- 30 et toutes sujétions d'exécution	M ²	9000	600.00	5 400 000.00
2-7	FMP du miragrid 85 / 25- 30 et toutes sujétions d'exécution	M ²	22000	500.00	11 000 000.00

2-8	FMP du miragrid 50 / 25- 30 et toutes sujétions d'exécution	M ²	8000	650.00	5 200 000.
-----	---	----------------	------	--------	------------

3/Corps de chaussée					
3-1	FMO de la couche de fondation en TVC sélectionner sur 0,30 mètres d'épaisseur y compris arrosage compactage et toutes sujétions d'exécution	M ³	150	1 100.00	165 000.00
3-2	FMO de la couche de base en grave concassée sélectionnée sur 0, 20 mètres d'épaisseur y compris arrosage compactage et tout de sujétions d'exécution	M ³	100	2 000.00	200 000.00
3-3	fourniture et mise en œuvre de la couche de roulement en béton bitumineux sur 0,06 m d'épaisseur y compris imprégnation en émulsion et toutes sujétions d'exécution	T	120	6 000.00	720 000.00

4/CONFORTEMENT					
4-1	Construction des gabions en pierres sèches y compris préparation de l'assise et toutes sujétions d'exécution	M ³	150	3000 ,00	450 000,00

5/AUTRE					
5-1	FMO des bordures neuves de type T2 de trottoirs y compris toutes sujétions d'exécution	ML	150	1200 ,00	180 000,00
5-2	FMP de glissière de sécurité y compris cataphotes et toutes sujétions d'exécution	ML	150	2600 ,00	390 000,00
5-3	FMO des terres végétal sure 0.20m d'épaisseur y compris toutes sujétions d'exécution	M ³	500	400,00	200 000,00
5-4	Reboisement des talus u compris la plantation et l'arrosage et toutes sujétion d'exécution	M ³	800	100 ,00	80 000,00
Total					71 322 650,00

Tableau III .8.3.1. Descriptif des travaux (prix projet, et pourcentage des prix de groupement des travaux par apport au prix global du projet ,GT/CTGP)

N*	TRAVAUX	PRIX « DZ »	(%) Gt/CTGP
1	Travaux de contrôles de laboratoires	25 228 000.00	1,67%
2	Terrassements	1 291 150.00	35,37%
3	Assainissement	42 066 500.00	58,98
4	Corps de chaussée	535 500.00	1,81%
5	Confortement	1 011 500.00	0,75%
6	Autres	1 190 000.00	1,42%
		71 322 650.00	

Tableau III.8.3.2. tableau des prix referentiel et pourcentage des prix de groupement des travaux referentiel par apport au prix global referentiel ,GT/CTGP)

N*	Travaux	Prix Référentiel Dz / Prix Référentiel Fr (GTR)	(%) Gt/CTGP
1	Travaux de contrôles de laboratoires	1 030 000.00	1,84 %
2	Terrassements	19 100 000.00	34,06 %
3	Assainissement	33 400 000.00	59,56 %
4	Corps de chaussée	1 063 000.00	1,90 %
5	Confortement	495 000.00	0,88 %
6	Autres	990 000.00	1,77 %
		56 078 000.00	

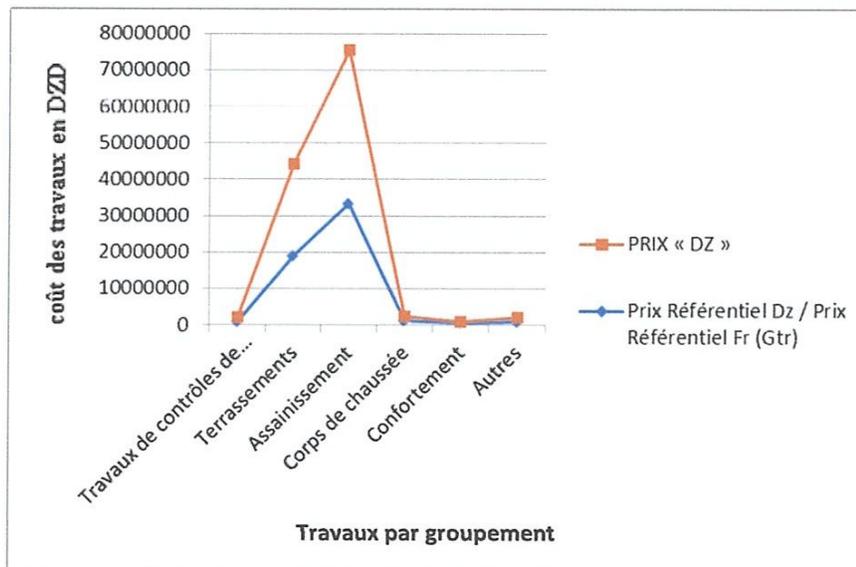
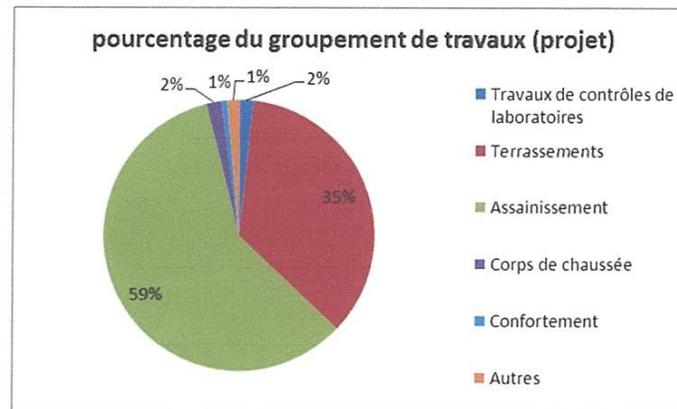
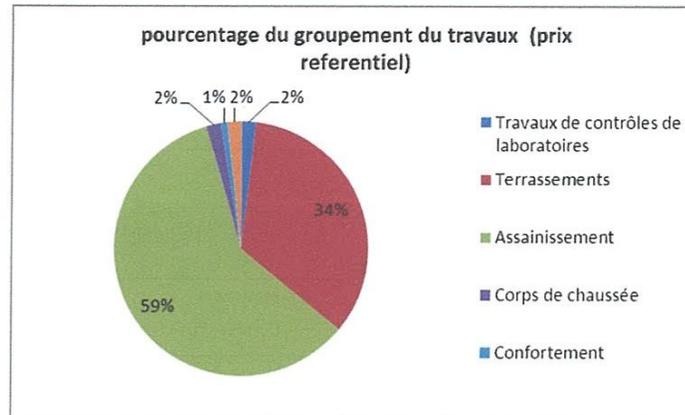


Figure III.3. : prix projet et prix referentiel par groupement des travaux

III.8.4 . Exemple4 : Traitement au LHR (chaux)

III.8.4.1 INTRODUCTION

Le traitement de sol est une technique qui s'applique a 3 niveaux différents de couches

III.8.4.2. Constituantes de la chaussée :

1. la partie supérieure des terrassements (PST), la couche de forme (CDF) et les assises (couche de fondation et couche de base).D'ailleurs, l'évolution de la technique suit l'ordre des couches car elle fut successivement appliquée a chacune d'elle, en partant du sol avec la PST/remblais (application depuis 1965, avant usage occasionnel) puis la CDF (application depuis 1975) et les couches d'assise (application depuis 1985). La publication de guides suit le développement des méthodes de traitement de sol et permet d'encadrer l'utilisation de la technique : RTR de 1976 remplace par la GTR 92 (actualise en 2000), GTS 2000, GTS assises 2007. Ces ouvrages sont les références utilisées par les professionnels des travaux de terrassement et de voirie. Une distinction doit être clairement établie entre le traitement des matériaux des couches d'assise (base + fondation) faisant partie de la structure de chaussée, et le traitement de la CDF et de la PST constituant le sol support, plateforme support de chaussée car il s'agit du sol naturel terrasse.
2. Les techniques du traitement de sol permettent de conférer a des matériaux qui ne seraient même pas utilisables en remblai, des performances largement supérieures a celles des matériaux granulaires naturels traditionnellement réservés a la réalisation des couches de forme. Cette élévation des performances constitue une optimisation du dimensionnement du projet. L'intérêt porte sur la manière dont le traitement de sol va influencer sur le dimensionnement de chaussée dont il change les paramètres de calcul.
3. Les calculs de structure de chaussée ne sont pas pris en considération dans cette étude. Les calculs du cout qui est le but de cette approche est d'établir un comparatif des couts de référence de traitement des sols au liant hydraulique par rapport aux soumissions récoltées des travaux effectués par certaine entreprise algérienne pour le compte de son administration. Une comparaison des traitements des cas entre eux conclut l'analyse.

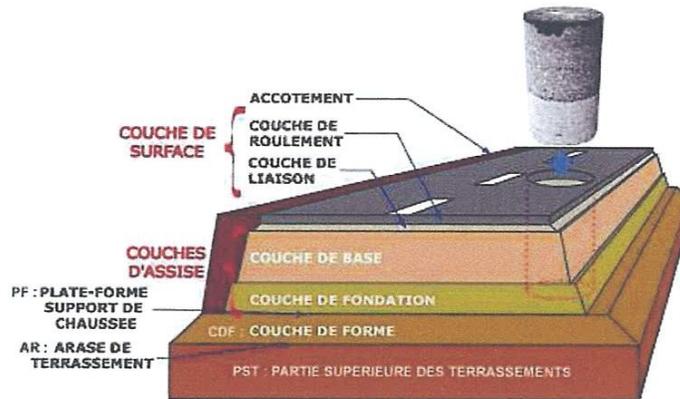


Figure III.4. Coupe type d'une structure de chaussée – d'après le cours de Routes de M.VANISCOTE

III.8.4.3 . Contexte général de l'étude

Rappel sur les constituants de la chaussée et rôle des couches

La chaussée est une structure multicouche mise en œuvre sur une plateforme support de sol terrasse.

Elle supporte plusieurs types de sollicitations : répartition de la contrainte des charges verticales (référence : essieu standard de 130KN), sollicitations tangentielles dues au passage des véhicules (mouvement entraînant des efforts horizontaux), sollicitations climatiques (eaux infiltrées, gel).

La partie supérieure des terrassements (PST) désigne la zone supérieure des terrains en place ou rapportés et fait environ 1m d'épaisseur. La plateforme de la PST est l'arase de terrassement dit AR. La couche de forme (CDF) ne fait pas partie intégrante de la chaussée mais bien de son sol support. Son rôle à court terme est d'assurer la traficabilité et à long terme de garantir un certain niveau de portance. Elle constitue la plateforme support de chaussée appelée PF. Les couches d'assises sont la couche de fondation et la couche de base. Elles apportent à la chaussée la résistance mécanique aux charges verticales induites par le trafic. Elles répartissent les pressions sur le support afin de maintenir les déformations à ce niveau dans les limites admissibles. La couche de surface est constituée d'une couche de roulement sur laquelle s'exerce directement les agressions du trafic et du climat, et d'une couche de liaison permettant l'accrochage aux couches d'assise. La couche de surface doit garantir le confort et la sécurité des usagers grâce à l'uni, l'adhérence et l'évacuation des eaux de ruissellement. Elle maintient l'intégrité de la structure et protège les autres couches des infiltrations d'eau par son étanchéité.

III.8.4.4 . Etude du cout de traitements des sols

le traitement de sol impact sur le calcul de structure de chaussée ; d'une part grâce a la résistance apportée par la couche traitée d'autre part au terme du cout financière du traitement sous forme de couts globaux est enfin une synthèse comparative des couts de référence et des couts proposés pour la réalisation de ces projets de traitement des sols de chaussée.

III.8.4.5 .Les Différentes Opération du Traitement en Place aux Liant Hydrauliques

Cas Des Couches De Forme Et De Chaussées	Cas Des Remblais
Prétraitement à la chaux (si nécessaire),	Préparation du sol par scarification (si nécessaire),
Préparation du sol par scarifications (si nécessaire)	Epannage de la chaux ou le LHR spécifique,
Epannage du liant hydraulique	Malaxage,
Malaxage,	Arrosage éventuellement (dans le cas de stabilisation au LHR ou ciment),
Arrosage,	Compactage initial,
Compactage partiel	Compactage final (fermeture).
Fin réglage	
Compactage final,	
Cloutage (si nécessaire),	
Protection superficielle.	

- Préparation du sol par scarification (si nécessaire),
- Epannage de la chaux ou le LHR spécifique,
- Malaxage,
- Arrosage éventuellement (dans le cas de stabilisation au LHR ou ciment),
- Compactage initial,
- Compactage final (fermeture).

III.8.4.6 . Valorisation des matériaux : Avantage technique

- Techniques au point, codifié à tous les niveaux,
 - Obtention de matériaux homogènes, durables et stables, dotés d'une grande rigidité et d'une excellente tenue à la fatigue,
 - Bon comportement par temps chaud sans déformation, niorniérage,
 - Bon comportement vis-à-vis des cycles de gel-dégel, grâce à la rigidité du matériau et à l'effet de dalle induit.

III .8.4.7 . Aspects Economique : Valorisation des matériaux et avantages économiques

- Réduction au minimum des déblais issus du décaissement, la mise en décharge, l'apport de granulats et le coût de leur transport,
- Optimisation de la durée des travaux
- Economie réalisée par rapport à une solution classique pouvant atteindre 30 %.
- Absence de transport de granulats ou de déblais de décharge contribue à la préservation du réseau routier, situé au voisinage du chantier

Le traitement des sols en place au ciment ou au liant hydraulique routier est une technique:

- Parfaitement au point : technique codifiée, normalisée et éprouvée,
- Compétitive : moins chère que les techniques traditionnelles (jusqu'à 30%),
- Respectueuse de l'environnement : les études d'Analyse de Cycle de Vie "ACV" montrent que son impact sur l'environnement est faible et largement inférieur à celui des techniques traditionnelles.
- Technique qui ne supporte pas l'improvisation mais nécessite des études préalables de laboratoire et des contrôles lors de la réalisation des travaux
- Suite à l'expérience acquise dans le domaine des terrassements, son application est en cours de développement dans les couches d'assises.

1-Décomposition d'un cout d'un sol traité prix de référence a la chaux

Fabrication mise en œuvre	25%
Enduit de protection	5%
Etudes	5%
Contrôles	5%
Chaux	15%
LHR	45%

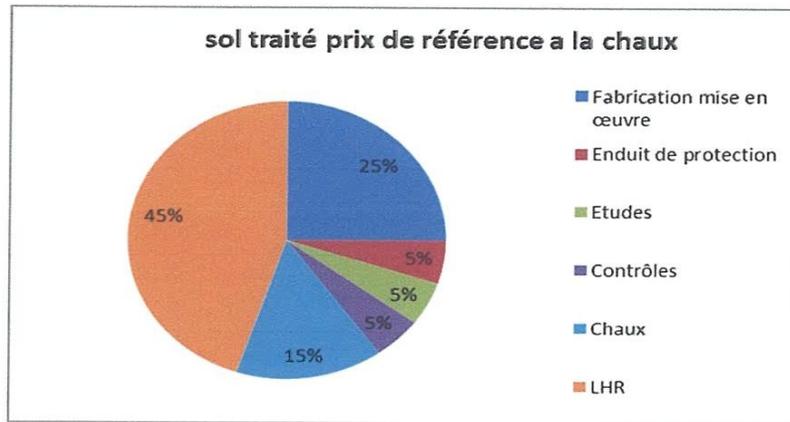


Figure III.5. prix de référence des matériaux utilisé pour le traitement des sol (la chaux)

2.-Décomposition d'un cout de référence du matériels utilisé pour un sol traité a la chaux, au ciment au LHR

Compacteur	12%
Pampedeau	12%
Niveleuse	12%
Ependeur	15%
Malaxeur	25%

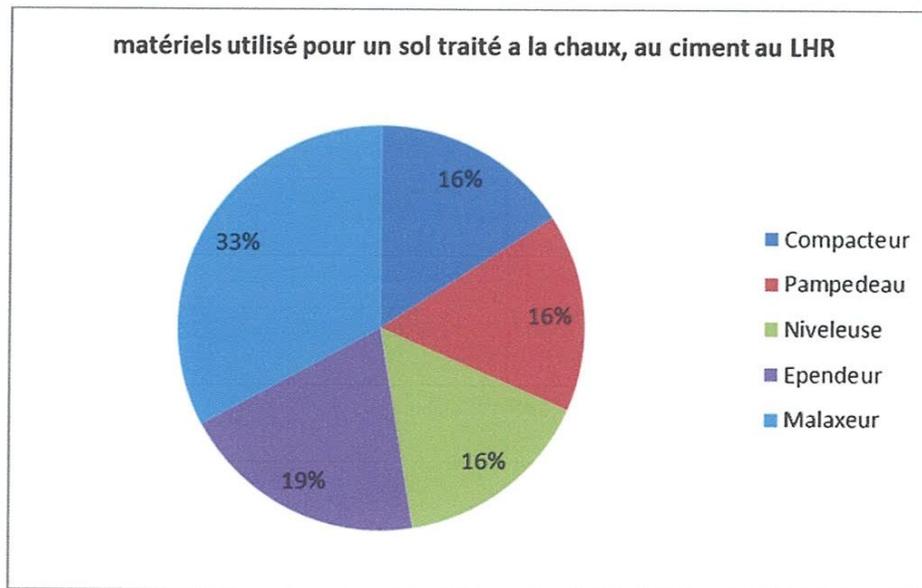


Figure.III.6 prix de référence des matériels utilisé pour le traitement des sol (CIM béton , centre d'information sur le ciment, la chaux, le LHR , et leurs application)

III.8.5. le cout de traitement du sol in-situ

III.8.5.1. Méthode graphique

- Cas de traitement des sols

		Le cout des travaux	Cout total en euro(€)	Cout total en Dinard (DZ)
Nature de sol	Argile	-	58880	8832000
Nature et dosage du liant utilisé	3%	-		
Cout de fabrication et transport du liant	Max	150 (€/t)		
Cout de mise en œuvre du sol traité	Max	14 (€/m ³)		
Epaisseur de la couche de forme	40 cm	-		

	Cout (€)	Pourcentage(%)
fabrication et transport du liant	23040€	39,13%
mise en œuvre du sol traité	35840€	60,86%

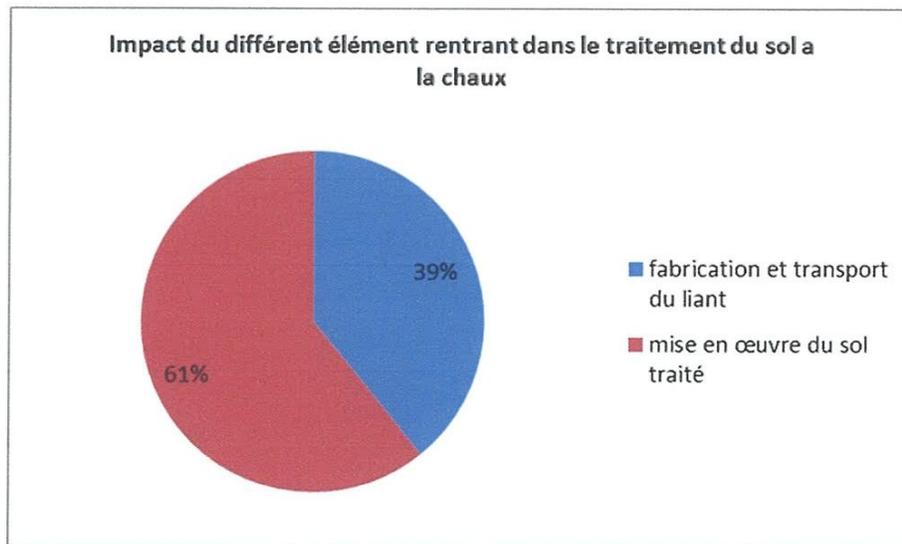


Figure III.7.

- Cas d'emprunts granulaires (renforcement)

		Le cout des travaux	Cout total en euro(€)	Cout total en Dinard (DZ)
Distance carrière - chantier	30 km	-	115200 €	17280000 DZ
Distance chantier – décharge	30 km	-		
Cout de transport de matériaux granulaire	max	0.35(€/m ³ *km)		
Cout d'extraction fabrication des granulats	8	8 (€/m ³)		

	Cout (€)	Pourcentage(%)
Cout de transport de matériaux granulaire	94720€	82,22%
Cout d'extraction fabrication des granulats	20480€	17,78%

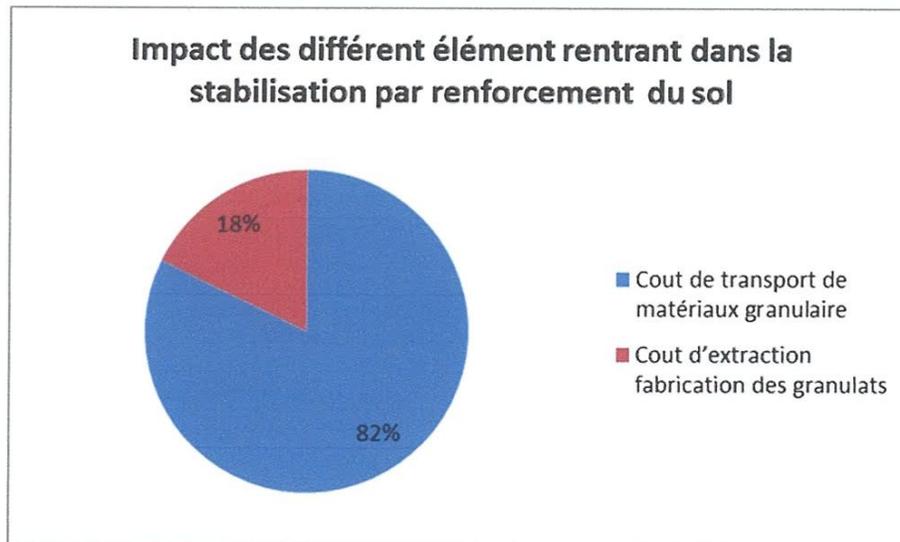


Figure III.8.



CONCLUSION

Le traitement de sol est une technique d'amélioration des matériaux pour les rendre aptes à l'usage. Traiter un sol c'est le mélanger intimement avec un produit, comme la chaux ou un liant hydraulique, afin de lui conférer des propriétés mécaniques de qualité supérieure. De nombreux matériaux a priori non utilisables peuvent être améliorés et éviter ainsi de substituer aux terrains en place un matériau noble d'apport devenant rare. Appliquée successivement à différents niveaux du projet de terrassement, la technique du traitement de sol évolue et se perfectionne. Son application aux matériaux de sols pour constituer la couche de forme, plateforme support de chaussée, comporte de nombreux avantages. Cette technique présente également un avantage économique largement reconnu.

CONCLUSION GENERAL E

CONCLUSION GENERAL

Le traitement et le renforcement des sols en place au ciment, à la chaux et au liant hydraulique est une technique parfaitement au point : technique codifiée, normalisée et éprouvée. Elle est moins chère que les techniques traditionnelles. Elle est respectueuse de l'environnement. C'est une technique qui ne supporte pas l'improvisation mais nécessite des études préalables de laboratoire et des contrôles lors de la réalisation des travaux Suite à l'expérience acquise dans le domaine des terrassements, son application est en cours de développement dans les couches d'assises.

Le domaine de l'évaluation des projets, notamment les projets de travaux public et plus précisément les travaux de stabilisation et de renforcement des sols pour les travaux routiers, utilise des méthodologies de plus en plus sophistiquées. les effets qui doivent être pris en compte pour leurs couts économiques sont de plus en plus compliqués .La redistribution de ses effets économiques, dans tous pays, est fondamentale.

On pense qu'elle touche la politique de développement de ces pays. C'est à cette question qu'il faut répondre, avant de se lancer dans une politique d'infrastructures routière dont dépend le développement d'un quelconque pays. A partir de là, les responsables de ces pays peuvent sans doute déterminer les approches a appliquer pour l'évaluation économique des projets d'infrastructures routière et plus précisément les prix de référence pour pouvoir apprécier des résultats.

Bibliographie

Bibliographie

LES SITES

- http://dspace.univ-tlemcen.dz/bitstream/112/9205/1/Ms.Gc.Draou%20%2BNebati.pdf?fbclid=IwAR0a-OvAbi2Lrul89Azl9o_x4stggBHNI_tAnIJae-bBXjHh0xmIKlu74Ww
- Le glissement du Chambon : évolution et gestion de crise.
<https://jngg2016.sciencesconf.org/browse/session?sessionid=21782>
- <https://www.cbd.int/doc/case-studies/inc/cs-inc-rapport.biodiversite-fr.pdf>
- https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/recherche_ssp_ademe_recueil_projets_finances_mai2017.pdf
- <http://www.encyclopedie-environnement.org/?p=2464>

LES LIVRES

- Livre :Docteur en sciences géologiques et géochimiques. Directeur du Centre national de recherche sur les sites et sols pollués (en 1997).
- Traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques ;Créé par arrêté ministériel du 1-12-1967 et placé sous l'autorité du Directeur des routes. Changement de nom en 2008 (décret n° 2008-678 du 9 juillet 2008 paru au JO le 10 juillet 2008).
- Comité français pour les techniques routières : Assoc. L. de 1901.
- Guide Technique Réalisations des remblais et des couches de forme - Fascicule I et Fascicule II – SETRA / LCPC, 1992.
- Guide Technique Traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques - Application en remblais et couches de forme – SETRA / LCPC, 2000
- Guide Technique Traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques - Application en assises de chaussées – SETRA / LCPC, 2007.
- Les glissements de terrain : Auteur : FLAVIGNY Etienne, Ex- Maître de Conférence à l'Université Grenoble Alpes
- article: Auteur : FLAVIGNY Etienne (2018), Les glissements de terrain, Encyclopédie de l'Environnement, [enligne ISSN 2555-0950]
- jean pierre giblin-« cours de transport » ENTPE,1985-p.3-27.
- E.bloy « calcul économique » ENTPE janvier 185-p117-122.
- M.chervell et m.legal « méthodologie de planification –manuel dévaluation économique des projet :la méthode des effets .ministère de la coopération –SEDES.LA DOC.FRANCAISE PARIS 1981
- « instruction sur les methodes d'évaluation des effets economique des investissement routier en rase compagne » - SERTA mars 1986.
- « Instruction sur les methodes d'évaluation des effets economique des investissement en rase compagne » - SETRA – 1980.