

**MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU**

**FACULTE DU GENIE DE LA CONSTRUCTION
DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL**



MEMOIRE DE MASTER

Présenté par

Melle ZERKAK Mouna

En vue de l'obtention du diplôme de Master Académique en Génie civil

Option : Géotechnique et Environnement

Thème

Valorisation des sachets plastiques dans le domaine routier

Devant le Jury composé de :

M er MELBOUCI Bachir

Professeur à l'UMMTO

Rapporteur

Mer KHATTAOUI Mohammed

Maître de conférence à l'UMMTO

Président

Melle BOUBRIT Hassiba

Maitre assistante à l'UMMTO

Examinatrice

Année 2016

REMERCIEMENTS

Mes sincères remerciements s'adressent à mon promoteur, en la personne de Monsieur **MELBOUCI** Bachir, Professeur à l'Université Mouloud MAMMERI de Tizi-Ouzou, qui m'a fait honneur en encadrant ce travail et qui m'a prodigué des conseils judicieux durant toutes les phases du mémoire.

Je suis honoré par la présence de Melle **BOUBRIT** Hassiba, enseignantes à l'université de MOULOUD MAMMERI DE TIZI OUZOU, qu'elle trouve l'expression de mes remerciements pour avoir accepté d'honorer de sa présences le jury et d'accepter d'examiner ce modeste travail.

Je remercie Monsieur KHATTAOUI Mohammed, Maitre de conférences à l'Université Mouloud MAMMERI de Tizi-Ouzou, qui m'a honoré d'avoir accepté de présider le jury de ma soutenance , soit assuré de mes profonds remerciements.

Mes chaleureux remerciements sont adressés à Mr BOUKHERROUB Med Ameziane, ingénieur du laboratoire pédagogique de mécanique des sols du département de génie civil, pour sa disponibilité et son aide par des conseils et des astuces dans la partie expérimentale.

Je remercie également toutes les personnes qui m'ont aidé de près ou de loin pour la réalisation de ce mémoire.

Je dédie ce travail

à la mémoire de mon Père ...

MOUNA ZERKAK

Table de matiere

Sommaire

Remerciement

Liste des figures

Liste tableaux

Liste des principales notations et indice

Introduction générale.....1

Chapitre I: Déchets plastiques dans le monde

1.	Introduction.....	3
2.	Un déchet	3
2.1	Petite histoire des déchets	3
2.2	Classification des déchets.....	4
2.2.1	Selon la nature	4
2.2.2	Selon leur origine.....	4
3.	L'impact des déchets.....	5
4.	Les déchets plastiques	7
4.1	La découverte du plastique :.....	7
4.2	Définition d'un plastique.....	8
5.	Aspects moins connus des matières plastiques.....	8
5.1	Protection de l'environnement	8
5.2	Efficacité des ressources	9
5.3	Matières plastiques et la santé.....	9
5.4	La production des matières plastiques dans le monde.....	9
6.	Les applications des plastiques	12
7.	Les différents types de matières plastiques	12
8.	Le recyclage des déchets plastiques	14

Table de matiere

8.1	Le recyclage	14
8.2	Le recyclage mécanique des plastiques	15
8.2.1	L'emballage	15
8.2.2	Les films agricoles	16
8.2.3	L'automobile	16
8.2.4	L'électricité et électronique	16
8.3	La valorisation énergétique	18
9.	Conclusion	21

Chapitre II :Déchets plastiques en Algérie

1.	Introduction	21
2.	Le recyclage de la matière plastique	21
2.1	Définition du recyclage	21
2.2	Avantages du recyclage	23
2.3	Techniques de traitement des matières recyclable	23
3.	Les modes de traitement des déchets plastiques	24
3.1	La mise en décharge	24
3.2	L'incinération	24
3.2.1	Incinération sans récupération d'énergie	24
3.2.2	Incinération avec récupération d'énergie	24
3.3	Recyclage mécanique	24
4.	Etude du recyclage en Algérie	25
4.1	Recyclage de la matière plastique (Oran_ Alger)	25
4.1.1	Description de l'entreprise IDEAL PLASTIQUE de Mitidja (IPM)	26
4.1.2	La collecte et le tri des déchets	26
4.1.3	Près - broyage	27
4.1.4	Séparation des corps étrangers grossier	27
4.1.5	Broyage lavage	27

Table de matiere

4.1.6	Séchage mécanique	27
4.1.7	Séchage thermique.....	28
4.1.8	Regranulation	28
4.2	Recyclage des emballages en PP	28
4.2.1	Le nettoyage.....	28
4.2.2	L'extrusion.....	28
4.3	Recyclage des déchets post-industriels.....	29
4.3.1	L'unité de FOMAP	29
5.	Récupération des produits en plastiques (ANSEJ)	30
5.1	Processus de production.....	30
5.1.1	Les thermoplastiques	30
5.1.2	Les thermodurcissables	31
6.	Dé plastiquage et normalisation des sachets plastiques.....	32
7.	Conclusion	33

Chapitre III : Valorisation des déchets plastiques dans le monde et en Afrique

1.	Introduction.....	34
2.	Les matières plastiques et l'emballage	34
2.1	L'emballage plastique en Europe en 2000	34
2.1.1	Les emballages ménagers	34
2.2	L'emballage plastique en France en 2000.....	35
2.2.1	La valorisation des emballages plastiques ménagers.....	36
2.2.2	Comment recycler le plastique	37
2.2.3	Les déchets plastiques recyclables.....	39
2.3	Trois pays très performants en matière de recyclage des emballages plastiques	42
3.	Les méthodes d'avenir pour recycler le plastique	43
3.1	La création d'une nouvelle génération de plastiques biodégradables	43

Table de matiere

3.2 Le recyclage biologique	43
3.3 La production des biopolymères	43
4. Méthodes de valorisation du plastique.....	44
4.1. La valorisation énergétique	44
4.2. La valorisation matière, ou valorisation mécanique	44
4.3. La valorisation chimique.....	44
5. Méthodes de recyclage des déchets plastiques.....	44
5.1. La régénération.....	44
5.2. Technique Générale.....	45
6. Valorisation des déchets plastiques en Afrique	46
6.1 Au Burkina Faso	46
6.2 Au Bénin	47
6.2.1 Le projet de recyclage AGRIPLAS de l'ONG BETHESDA.....	47
6.3 Le plastique pour paver les routes africaines	48
6.3.1 Le plastique, plus solide que le ciment.....	48
6.3.2. Une deuxième vie aux sacs plastique	49
7. Valorisation et recyclage des déchets plastiques dans le béton.....	49
8. Valorisation de déchets plastiques des Pays-Bas.....	50
8.1. Une route en plastique recyclé.....	50
8.2. Des routes plus coûteuses mais plus résistantes	50
8.3. Une empreinte écologique limitée	51
9. Recyclage du plastique en carburant au Royaume Uni	52
10. Autres types de valorisation des déchets plastiques	53
10.1. plastiques deviennent des combustibles.....	53
10.2. Les déchets de matières plastiques remplacent le coke.....	53
11. Conclusion.....	54

Table de matiere

Chapitre IV : Gestion des sachets plastiques en Algérie

1. Introduction.....	56
2. Généralités sur la gestion des déchets en Algérie.....	57
2.1 Cadre institutionnel.....	57
2.1.1 Les inspections régionales de l'environnement	57
2.1.2 Les Directions de l'environnement de wilaya (DEW)	58
2.2. cadre législatif	59
2.3. Organisation de la gestion des déchets en Algérie	59
2.3.1. La collecte des déchets :	60
2.3.2. Le tri des déchets :	60
2.3.3. La valorisation des déchets :	60
2.3.4. L'élimination des déchets :	60
2.3.5. Immersion des déchets :	60
2.3.6. Enfouissement des déchets :	60
3. Fonctionnement de la gestion des déchets en Algérie	61
3.1 Acteurs de la gestion des services des déchets.....	61
3.2 Mode de gestion du service public de déchets.....	61
3.2.1. Gestion directe.....	61
3.2.2. Établissement public.....	61
3.2.3. Délégation de service public (concession)	62
4. La meilleure gestion des déchets en Algerie	62
5. Les producteurs de sachets en plastique.....	63
6. Normalisation du sachet en plastique	64
6.1 Constitution d'un sac en plastique non-dégradable	64
6.2 Pré-collecte des sachets en plastique en Algerie	65
7. La gestion des sac en plastique à Tizi Ouzou	65
7.1. Préparation de l'enquête.....	65
7.2. Résultats et analyse de l'enquête.....	65

Table de matiere

8. Conclusion	72
---------------------	----

Chapitre V : Gestion des sacs (sachets)en plastiques dans le monde

1. Introduction.....	74
2. Généralités sur la gestion des déchets en Afrique.....	74
2.1. La loi sur l'interdiction des déchets plastiques au Sénégal.....	75
2.2. l'interdiction des sachets plastiques au Burkina Faso	75
2.3. La gestion des sacs et sachets en plastique au Maroc.....	77
2.3.1 Le renforcement du cadre juridique et institutionnel	77
3. Plan de gestion des matières résiduelles à Victoriaville au Canada (Québec)	79
3.1. Description générale de l'organisme municipal.....	79
3.2. Démarche (Mise en place de services de récupération et de mise en valeur).....	79
3.3. Réalisation d'actions d'information,de sensibilisation et d'éducation	80
3.4. La mise en œuvre d'autres mesures visant la réduction, le réemploi, le recyclage et la valorisation.....	80
3.5. Résultats et perspectives	80
4. L'expérience internationale en matière de gestion des sacs en plastiques.....	81
4.1. La gestion des emballages en France	81
4.1.1. Présentation des types de déchets d'emballages plastiques ménagers	81
4.1.2. Le cadre réglementaire des emballages en France.....	81
5. La seconde vie des sachets en plastique au Rwanda.....	82
5.1. Nettoyage et recyclage	83
6. Conclusion	83

Table de matiere

Chapitre VI : Les essais d'identification

1. Introduction.....	85
2. Essais d'identifications	85
2.1. Teneur en eau (w)	85
2.2. Analyse granulométrique : (NF P 94-040).....	85
2.3. Equivalent de sable (ES%) (NF P 18-598).....	88
2.4. L'essai Proctor	89
2.4.1. Principe de l'essai (NF P 94-093)	89
2.5. Limites d'Atterberg :(NF P 94-051)......	93
2.5.1. Détermination de la limite de liquidité :.....	94
2.5.2. Résultats de la limite de liquidité	95
2.5.3. Détermination de la limite de plasticité.....	95
2.5.4. Résultats de la limite de plasticité.....	96
3. Interprétation des résultats	96
4. Conclusion	97

Chapitre VII : Les essais de compactage Proctor

1. Introduction.....	98
2. Compactage	98
2.1 Définition	98
2.2 . Le compactage selon la structure du sol.....	99
2.3 . Les principes de base du compactage	100
2.4 . Les conséquences du compactage.....	100
2.4.1 La réduction des risques de tassement	100
2.4.2 L'élévation des caractéristiques mécaniques	100
2.4.3 Augmentation de la cohésion et d'angle de frottement interne	101
2.4.4 Augmentation du module de déformation	101
2.4.5 La diminution de l'attrition.....	101

Table de matiere

2.4.6	La diminution de la perméabilité.....	101
2.5	Les Paramètres influençant sur le compactage	101
2.5.1	L'influence de la teneur en eau	102
2.5.2	L'influence de la granulométrie.....	102
2.5.3	L'influence de l'énergie de compactage	102
2.6	Effet du compactage sur les propriétés des sols.....	103
2.6.1	Effet sur la structure du sol.....	103
2.6.2	Effet sur la perméabilité	103
2.6.3	Effet sur le gonflement et le retrait.....	103
2.6.4	Effet sur la compressibilité	103
2.6.5	Effet sur la résistance au cisaillement	103
2.7	Les essais de compactage	104
2.7.1	Essai à la table vibrante	104
2.7.2	Essais Proctor	104
2.7.3	Comparaison entre les essais Proctor.....	104
2.7.4	Le contrôle du compactage sur le chantier	105
2.8	But de l'essai.....	106
2.9	Principe de l'essai	106
2.10	Exécution de l'essai.....	108
2.10.1	Expression des résultats du cas I (sol seul)	108
2.10.2	La représentation des résultats	109
2.10.3	Expression des résultats du cas II (sol + sachets)	110
2.10.4	La représentation des résultats	111
2-10-5-	Interprétation des résultats des essais Proctor.....	113

Table de matiere

Chapitre VIII : Les essais de cisaillement à la boîte

1. Introduction	114
2. Les caractéristiques mécaniques de cisaillement.....	114
2.1. La résistance au cisaillement	114
2.2. La courbe intrinsèque	115
2.3. Les paramètres intrinsèques.....	116
2.3.1. L'angle de frottement interne	116
2.3.2. La cohésion	116
2.4. L'essai de cisaillement direct (NF P 94-071-1, 1994).....	117
2.5. La courbe contrainte-déformation.....	118
2.5.1. Les sols pulvérulents	118
2.5.2. Les sols cohérents	119
3. Différents types de l'essai	120
3.1. Les essais non consolidés non drainés (UU)	120
3.2. Les essais consolidés non drainés (CU).....	120
3.3. Les essais consolidés drainés (CD)	120
4. Principe de l'essai	121
5. Appareillage	122
6. Avantages	123
7. Inconvénients	123
8. Déroulement de l'essai	124
9. Expression des résultats.....	124
10. Les résultats et l'interprétation.....	125
10.1. Courbes contraintes déformations $\tau = f(\Delta L/L)$	125
10.2. Courbes de $\Delta v = f(\Delta h)$	138
10.3. Courbe intrinsèque $\tau = f(\sigma)$	150
10.4 Interprétation des résultats.....	156
Conclusion generale	159
Références bibliographiques.....	161
Annexes.....	163

Table de matiere

Liste des tableaux

Tableau I- 1 : Durée de décomposition de quelques déchets ménagers.	6
Tableau I- 2 : Récapitulatif des grandes dates de l'avancée du plastique.	7
Tableau II- 1 Les déchets utilisés et leurs provenances.	26
Tableau III- 1 : le tonnage d'emballage en plastique en Europe en 2000.	35
Tableau III- 2 : Collecte et tri des emballages en matière plastique	37
Tableau III- 3 : Quantités totales de déchets plastiques dans trois villes du Bénin	47
Tableau III- 4 : Estimation l'approvisionnement et de la production annuelle	48
Tableau IV- 1 : la composition en pigment et en encre dans un sac de 6g.....	65
Tableau VI- 1 : Teneurs en eau de matériaux étudiés.	85
Tableau VI- 2 : Analyse granulométrique du sable.	86
Tableau VI- 3 :résultats d'essai de détermination de limite de liquidité.	95
Tableau VI- 4 : résultats d'essai de détermination de limite de plasticité.	96
Tableau VII - 1 :les conditions des essais Proctor (normal et modifié).	104
Tableau VII - 2 : Résultats de l'essai Proctor pour 75% de sable + 25% d'argile.	109
Tableau VII - 3 :Résultats de l'essai Proctor pour 85% de sable + 15% d'argile.	109
Tableau VII - 4:Résultats de l'essai Proctor pour 95% de sable + 5% d'argile.	110
Tableau VII - 5 : Résultats de l'essai Proctor pour 75% de sable + 25% d'argile.	111
Tableau VII - 6 : Résultats de l'essai Proctor pour 85% de sable + 15% d'argile.	111
Tableau VII - 7 : Résultats de l'essai Proctor pour 95% de sable + 5% d'argile	112

Introduction générale

Le plastique est apparu comme symbole de modernité dont l'expansion de son usage a permis l'épanouissement de la culture du jetable. Son usage intensif est lié, en grande partie, à ses caractéristiques : léger, malléable, imperméable, s'adapte à tout type de produit, etc. Cependant, la production et l'usage des matières plastiques constituent un véritable défi en matière de promotion du développement durable. Nous faisons allusion ici au fait que ces matières plastiques réduisent, d'une part, les prélèvements sur les ressources naturelles, d'autre part, elles contribuent à détruire l'environnement par leurs déchets non biodégradables. En ce sens, les matières plastiques participent directement ou indirectement à la protection de l'environnement, notamment, en se substituant à des ressources naturelles, en contribuant à réduire la consommation d'énergie ou en permettant de fabriquer, à moindre coût .

Dans quelle mesure l'emploi des matières plastiques s'inscrit-il dans la perspective du développement durable ? Les matières plastiques sont fabriquées actuellement essentiellement à partir du pétrole, ressource non renouvelable. Toutefois, ces matières n'utilisent que 4,5% du pétrole extrait et les matières plastiques pourraient aussi être fabriquées à partir de charbon, mais à un coût sans doute plus élevé. La production de ces matières ne devrait pas être compromise par une raréfaction des ressources naturelles ; mais il devient néanmoins urgent, au niveau de la planète, de s'interroger sur la nécessité de réserver l'usage du pétrole à la production du plastique, sous peine de compromettre éventuellement le maintien du niveau de vie de la population, notamment pour les franges les moins favorisées de cette dernière. Par ailleurs, l'usage des produits plastiques peut parfois mettre en danger la santé des utilisateurs compromettant gravement le développement durable dans sa dimension sociale. Les déchets plastiques, dont la durée de vie peut atteindre plusieurs siècles, constituent une menace pour la santé humaine et l'ensemble des écosystèmes. La mise en œuvre de stratégies efficaces de collecte, de traitement et de réduction des déchets, ainsi qu'une éco-conception des produits

Plusieurs tentatives de recyclage et de valorisation des déchets plastiques ont été initiées avec des résultats mitigés. Une des solutions envisagées présentement est l'utilisation du plastique à recycler dans les matériaux de construction sous la forme de mortiers ou de bétons légers, ce qui permettrait de réaliser des faux plafonds et des cloisons de séparation dans les habitations. Mais étant donné qu'un bon matériau de construction doit concilier les aspects mécaniques et thermiques ainsi qu'une bonne tenue au feu, la mise au point de ce nouveau matériau de construction requiert donc en amont une connaissance approfondie de celui-ci

La valorisation des déchets dans le génie civil est un secteur important dans la mesure où les produits que l'on souhaite obtenir ne sont pas soumis à des critères de qualité trop rigoureux. Le recyclage des déchets touche deux impacts très importants à savoir l'impact et l'impact économique. Donc plusieurs pays du monde, différents déchets sont utilisés dans le domaine de la construction et spécialement dans le ciment ou béton comme poudre, fibres ou agrégats. Ce travail s'intéresse à la valorisation d'un déchet qui est nuisible pour l'environnement vu son caractère encombrant et inesthétique il s'agit du déchet plastique.

Introduction générale

Cette étude aborde la récupération des déchets plastiques et l'objectif principal des essais réalisés était de trouver des façons de donner une valeur ajoutée aux plastiques récupérés. Le principe de valeur ajoutée est d'abord présenté comme étant une valeur environnementale, sociale ou économique supérieure à la valeur actuelle. Les plastiques problématiques (sachets plastiques) étant très peu mis en valeur actuellement, on doit saisir cette opportunité pour devenir un chef de file dans la mise en valeur de ces matières.

Notre travail comporte en définitive huit chapitres :

- Le premier chapitre est consacré aux déchets plastiques dans le monde .
- Le deuxième chapitre présente aussi les déchets plastiques mais en Algérie.
- Le chapitre 3 donne un aperçu sur la valorisation des déchets plastiques dans le monde et en Afrique .
- Le chapitre 4 traite la gestion des sacs en plastiques en Algérie.
- Le cinquième chapitre consiste la gestion des sacs (sachets) en plastiques dans le monde.
- Le sixième chapitre est consacré aux différents essais d'identification du sable et de l'argile afin de déterminer les caractéristiques physiques . Une interprétation des résultats des essais est également donnée dans ce chapitre.
- Le septième chapitre traite les caractéristiques Proctor qui sont déterminées par l'essai de compactage (essai Proctor normal). Ses résultats permettent d'évaluer la densité sèche et la teneur en eau optimale.
- Le huitième chapitre est consacré à l'étude des caractéristiques mécaniques. Il comporte les essais de cisaillement direct à la boîte de Casagrande. Les résultats auxquels nous aboutissons permettent de montrer l'évolution de la résistance au cisaillement et la variation de volume du matériau.
- Une conclusion générale est donnée à la fin du mémoire. Elle rassemble les points importants issus de ce travail

Chapitre I

Déchets plastiques dans le monde

1. Introduction

Dès que l'homme agit : se chauffe, utilise sa voiture ou consomme un produit qui a dû être fabriqué et transporté, il produit des gaz à effet de serre (CO₂) et participe au réchauffement progressif du climat. L'industrie, les transports et les particuliers contribuent à détériorer l'environnement: les pollutions émises par les activités humaines contaminant les eaux, l'air ou les sols créent des dommages considérables. Si on consomme de plus en plus, on jette aussi de plus en plus. Et on jette tellement que l'on ne sait plus quoi faire de nos déchets : ils encombrent notre environnement chaque jour un peu plus.

Même si on parle de plus en plus de « développement durable », les modes de production et de consommation modernes ont un impact sur l'environnement.

2. Un déchet

Le mot déchet vient du latin *cadere* qui signifie tomber. Le code de l'environnement en donne une définition précise : est considéré comme déchet tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit ou, plus généralement, tout bien meuble abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon. La directive-cadre européenne du 19 novembre 2008 définit comme déchet « toute substance ou tout objet dont le détenteur se défait ou dont il a l'intention ou l'obligation de se défaire ».

2.1 Petite histoire des déchets

- **Moyen Age** : en 1185, canaux et fossés centraux sont créés sur ordre de Philippe Auguste pour nettoyer certains quartiers des villes, envahis par les ordures et leurs odeurs. Au XIII^{ème} siècle, plusieurs règlements voient le jour comme l'obligation de paver les rues, de nettoyer une fois par semaine son pas de porte et l'interdiction de laisser traîner ordures et déchets.
- **Époque moderne** : en 1531, chaque maison a l'obligation de créer une fosse. Au XVII^{ème} siècle, un nouveau métier est créé, celui de chiffonnier. Ils seront les premiers recycleurs.
- **Époque contemporaine** : les découvertes de la science sur le danger des bactéries rendent les gens sensibles à l'importance d'une meilleure hygiène. On crée des réseaux d'eau potable et des égouts. En 1884, le préfet Eugène Poubelle ordonne le dépôt des déchets dans des récipients ramassés par les services municipaux. Ils porteront son nom.
- **C'est en 1974** : qu'est mis en place le tri sélectif. Et le 15 juillet 1975, la première grande loi-cadre française sur la gestion des déchets instaure, entre autres, l'obligation pour chaque commune de collecter et d'éliminer les déchets des ménages. La loi de 1992 marquera une nouvelle étape dans la gestion des déchets avant le tournant du Grenelle Environnement.

2.2 Classification des déchets

2.2.1 Selon la nature

Le guide des techniques communales pour la gestion des déchets ménagers et assimilés du ministère d'aménagement du territoire et environnement (2003), présente une classification des déchets selon leur nature physique en 03 catégories :

- Déchets solides : ordures ménagères, emballages, gravats...etc.
- Déchets liquides : huiles usagés, peintures, rejet de lavage....etc.
- Déchets gazeux : biogaz, fumées d'incinération.....etc.

2.2.2 Selon leur origine

a) Déchet urbains

Tous déchets issus des ménages, déchets de commerce et de l'industrie assimilables aux déchets ménagers, déchets encombrants, déchets verts (greffage des arbres, espaces verts), déchet de nettoyage des voies publiques, déchets hospitaliers, la collecte de ces déchets doit être assurée par les collectivités.

- **Déchets urbains communaux** : Déchets ménagers (ordures ménagères, déchets encombrants, déchets collectés sélectivement) et déchets de composition analogue produits par les entreprises qui font l'objet d'une collecte publique, ainsi que les déchets issus des administrations communales.
- **Déchets urbains des entreprises** : Déchets de composition analogue aux déchets ménagers produits par les entreprises et qui font l'objet d'une collecte privée.

b) Déchets industriels

NAGHEL(2003), évoque que l'ensemble des déchets industriels doivent être éliminés par leurs producteurs industriels, artisans, commerçants, ils sont classés en 04 catégories.

- **Déchets industriels banals (DIB)** : Sont assimilables aux ordures ménagères et relevant du même type de traitement : il s'agit principalement d'emballages usagés, de chutes de productions industrielles et de déchets d'activités et commerciales comme ferrailles, métaux non ferreux, papiers-cartons, verre, textiles, bois, plastiques, etc.
- **Déchets industriels spéciaux (DIS)** : Ce type de déchets comprenant des substances toxiques qui nécessitent une collecte et un traitement particulier comme les mâche-fers, les aérosols, produits de jardinage, produits de bricolage, thermomètre au mercure.

- **Déchets inertes** : Composés déblais, gravats, matériaux de démolition produit par les entreprises de travaux publics.
- **Déchets agricoles** : L'activité agricole peut générer 03 types de déchet :
 - ✓ Des résidus de l'industrie agroalimentaire.
 - ✓ Des déchets de cultures.
 - ✓ Des déjections animales de l'élevage.
- ❖ Selon les dangers qu'ils représentent, les déchets sont classés en trois catégories :
 - **Les déchets inertes** : Selon l'arrêté du 31/12/04, ces déchets ne se décomposent pas, ne brûlent pas et ne produisent aucune autre réaction physique ou chimique. Ils ne sont pas biodégradables et ne détériorent pas d'autres matières avec lesquelles ils entrent en contact, d'une manière susceptible d'entraîner une pollution de l'environnement ou de nuire à la santé humaine. Il s'agit surtout des déchets minéraux ou assimilables au substrat naturel, non pollués. Par exemple : tuiles, céramiques, briques, terres et granulats non pollués, bétons, enrobés bitumeux sans goudron.
 - **Les déchets banals** : Il s'agit de déchets de toute nature dès lors qu'ils ne sont ni inertes, ni dangereux. Quand ils proviennent des entreprises, ils sont appelés les Déchets Industriels Banals (DIB). Les DIB sont de nature assimilable aux déchets ménagers et peuvent être éliminés de façon identique. Par exemple, les métaux, papiers, cartons, plastiques, caoutchouc, bois, textile... Un DIB souillé par un produit dangereux devient un Déchet dangereux, et doit donc suivre une démarche d'élimination adaptée.
 - **Les déchets dangereux (DD)** : Ils contiennent des substances dangereuses pour l'homme et pour l'environnement. Leur élimination nécessite des traitements particuliers dans des structures spécialisées. Quand ils proviennent des entreprises, ils sont appelés les Déchets Industriels Spéciaux (DIS). Un DD produit en petites quantités est aussi appelé un Déchet Toxique en Quantités Dispersées (DTQD). Par exemple, les huiles de vidange et d'usinage, solvants, absorbants souillés...

3. L'impact des déchets

L'augmentation continue de la population humaine et le changement des modes de consommation entraînent forcément la multiplication des déchets solides des diverses origines (ménagers, industriels, hospitaliers, agricoles ..., etc.). Dans les pays en développement (PED), la décharge constitue l'issue ultime pour plus de 90% de déchets récoltés. Ce dépôt incontrôlé entraîne des nuisances qui vont se propager dans l'environnement. Un déchet ménager peut se dégrader lentement comme, le plastique ou autre ou rapidement comme le papier.

Tableau I- 1 : Durée de décomposition de quelques déchets ménagers.

Type de déchet	Durée de vie (décomposition)
Mouchoir en papier	3 mois
Ticket de bus	3 - 4 mois
Journal	3 - 12 mois
Epluchures de fruit	3 - 12 mois
Allumette	6 mois
Chaussette en laine	1 an
Migot de sigarette	1 - 5 ans
Chewing-gum	5 ans
Planche de bois	13 - 15 ans
Boite de conserve	10 - 100 ans
Briquet jetable	100 ans
Canette en aluminium	200 - 500 ans
Sac en plastique	450 ans
Bouteille en plastique	100 -1000 ans
Fil de pêche et filet en nylon	600 ans
Polystyrène expansé	1000 ans
Bouteille en verre	Quasi illimitée

- La présence des déchets d'hôpitaux dans les déchets ménagers, constitue une source potentielle de maladies graves (telle que l'hépatite ou infections graves) Pour les chiffonniers et recycleurs qui déambulent sur les déchets pieds nus ou trop peu protégés.

Citons encore le cas des déchets dangereux qui seraient laissés dans des décharges inadaptées, dont certains éléments toxiques seraient lessivés par les eaux de pluies et diffuseraient dans le sol en contaminant la nappe.

Dans d'autres cas même si le déchet est inerte, s'il est présent en mélange avec d'autres déchets, il peut s'avérer dangereux ; en effet, la coexistence de plâtre avec des ordures ménagères peut permettre aux bactéries sulfato – réductrice de produire un dégagement important de disulfure d'hydrogène H_2S toxique et nauséabond. En plus de la détérioration de paysage, le dépôt des ordures affecte la santé des populations environnantes par les odeurs indésirables, attraction des animaux (chiens, rats....etc.), ce qui favorise la diffusion des maladies graves (la rage, le choléra). Sans oublier les fumées nocives et les éléments toxiques des batteries et des piles libérées lors de la mise en feu des déchets.

Nous présentons les différents impacts environnementaux d'une décharge sauvage dans la figure ci dessous.



Figure [I.1] : La décharge sauvage dans la nature.

4. Les déchets plastiques

4.1 La découverte du plastique :

En 1870, l'ancêtre du plastique, le celluloïd est mis au point par des Américains, les frères Hyatt lors d'un concours demandant de trouver une matière permettant de remplacer l'ivoire dans la fabrication des boules de billard.

Tableau I- 2 : Récapitulatif des grandes dates de l'avancée du plastique.

1870	1890	1907	1933	1935
Mise au point des boules de billard en celluloïd par Hyatt	Découverte de la viscosse qui servira quelques années plus tard à fabriquer des pellicules photographiques	Création par erreur du 1er plastique entièrement synthétique Par Bakeland qui baptisera son invention « bakélite »	Découverte du polystyrène qui sera beaucoup utilisé militairement (bombes, masques à gaz ainsi que pour les stylos)	Grand développement industriel du PVC

Au-delà le plastique continuera sans cesse de se développer et d'être de plus en plus utilisé.

4.2 Définition d'un plastique

- Le pétrole brut est la principale matière première du plastique. Cette ressource naturelle est limitée et onéreuse. On estime qu'environ 4 % de la production mondiale du pétrole brut est transformée en matière plastique.

- On appelle plastique une matière synthétique constituée de macromolécules. Le terme « **plastique** » désigne une famille importante de plus de 700 types de matières fabriquées à partir du pétrole. Le pétrole est raffiné, distillé, ce qui permet d'obtenir des chaînes de molécules qu'on appelle les polymères. Pour leur donner les caractéristiques qui répondent à nos besoins, on y ajoute des éléments (chlore, azote, etc..) sous forme d'additifs ou adjuvants.

Le plastique est donc un matériau simple à fabriquer, stable, économique, solide, léger et résistant, facilement transformable et qui peut prendre toutes les formes voulues : le mot plastique vient en effet du grec plastikos qui signifie « malléable, qui peut être modelé ».

5. Aspects moins connus des matières plastiques

Les matières plastiques jouent un rôle majeur dans les trois axes du développement durable environnemental, social et économique. Notre style de vie moderne serait impossible sans les matières plastiques. Les matières plastiques répondent aux besoins de la société en rendant possible la fabrication éco-efficace de nombreux produits de valeur tels que les emballages protecteurs, les composants légers et les éléments de sécurité dans les voitures, les téléphones portables, les matériaux isolants dans les bâtiments, les dispositifs médicaux et les composants clefs pour des applications aussi diverses que la production de l'énergie renouvelable et la protection dans des conditions extrêmes.

5.1 Protection de l'environnement

Dans les voitures, près de 60 % en poids des plastiques utilisés améliorent le confort et la sécurité tandis que 40 % sont utilisés dans des applications contribuant à la réduction du poids, ce qui permet de réaliser de considérables économies de carburant et de réduire les émissions de CO₂. L'allègement rendu possible par le plastique dans une voiture moderne permet d'économiser plus de 500 l de carburant sur la durée de vie d'une voiture. Dans un Airbus 380, les composites en plastique à haute performance réduisent le coût au siège grâce à un poids moindre et donc une consommation de carburant inférieure. Les températures (chaudes ou fraîches) des maisons et des bâtiments sont maintenues grâce à l'isolation plastique. 40 % de toute l'énergie primaire consommée au niveau mondial étant utilisés pour maintenir la température des bâtiments, l'isolation optimale est devenue l'une des initiatives prioritaires pour atteindre les objectifs de Kyoto.

L'utilisation croissante d'emballages plastiques légers réduit à la fois le poids du transport et la proportion des marchandises emballées qui sont gaspillées, d'où une réduction des émissions de CO₂. Les matières plastiques permettent aux pales des éoliennes d'être plus longues et plus efficaces et aux composants des panneaux photovoltaïques d'accroître leur efficacité.

5.2 Efficacité des ressources

Sans les emballages plastiques, on estime que le tonnage des emballages fabriqués à partir d'autres matériaux augmenterait d'un facteur 4, les émissions de gaz à effet de serre d'un facteur 2, les coûts d'un facteur 1,9, la consommation d'énergie d'un facteur 1,5 et le volume des déchets

d'un facteur 1,6. Tous ces facteurs sont basés sur la situation actuelle. L'augmentation de l'utilisation de matières plastiques devant continuer dans les années à venir, l'effet croîtra d'année en année. De plus, les emballages plastiques permettent d'économiser les ressources en protégeant la nourriture lors de son acheminement depuis la ferme jusqu'à nos cuisines en passant par le supermarché. Ceci peut être illustré de plusieurs manières. En effet, dans les pays en développement, 50 % de la nourriture est perdue entre la ferme et la cuisine ; ainsi, à leur arrivée au supermarché, les fruits et légumes mal emballés génèrent-ils 26 % de déchets en plus par rapport aux produits préemballés ; 1,5 g de film plastique prolonge la durée de conservation d'un concombre de 3 à 14 jours. 10 g de film multicouche dans un EAM (emballage sous atmosphère modifiée) pour la viande prolonge la durée de conservation de quelques jours à plus d'une semaine.

La quantité de CO₂ utilisée pour produire une portion individuelle de viande est environ 100 fois supérieure à celle utilisée pour produire le film multicouche. L'économie d'énergie et d'eau permise par les plastiques est considérable : le design novateur pour la cuve des machines à laver leur permet de réduire la consommation d'eau et d'énergie. Les tuyaux en plastique assurent un transport sécurisé, étanche et efficace de l'eau potable et des eaux d'égout sans gâcher ni contaminer cette ressource de plus en plus rare.

5.3 Matières plastiques et la santé

Les matières plastiques nous sauvent la vie et nous protègent, en voiture, au travail ou dans les sports. Les airbags sont en plastique, le casque et la combinaison des motards sont à base de plastique, celle de l'astronaute qui doit supporter des températures allant de -150 degrés à +120 degrés Celsius également. Quant aux pompiers, leurs casques et leurs vêtements en plastique les protègent contre les températures élevées et ils sont ventilés et suffisamment souples pour leur permettre de travailler. Les matières plastiques protègent aussi les aliments et les boissons contre toute contamination extérieure et contre la prolifération des microbes.

Les revêtements de sol et les meubles en plastique sont, eux, faciles à nettoyer pour éviter la propagation des bactéries, notamment dans les hôpitaux. Dans le domaine médical, les matières plastiques sont utilisées pour les poches à sang et les tubes de prélèvement sanguin, les prothèses, les lentilles de contact et la cornée artificielle, les sutures biodégradables, les attelles et les vis qui consolident les fractures et pour bien d'autres applications. Dans les années à venir, les nanopolymères transporteront directement les médicaments vers les cellules endommagées et des microspirales seront utilisées pour lutter contre les maladies coronariennes. Du sang artificiel à base de plastique est en cours de développement pour compléter le sang naturel.

5.4 La production des matières plastiques dans le monde

L'innovation continue a permis d'obtenir une augmentation moyenne mondiale de la production et de la consommation d'environ 9 % chaque année depuis 1950. De 1,5 million de tonnes environ en 1950, la production mondiale totale de matières plastiques est passée à 260 millions de tonnes en 2007.

Une analyse de la consommation de matières plastiques par habitant montre que cette consommation a augmenté pour atteindre désormais environ 100 kg en Europe occidentale. Elle pourrait passer à 140 kg par habitant en 2015. Le potentiel de croissance maximal de la consommation

est observé dans les pays d'Asie en développement rapide (à l'exclusion du Japon), où la consommation actuelle par habitant est seulement d'environ 20 kg.

Dans le contexte européen, ce sont les nouveaux états membres qui verront probablement le pourcentage d'augmentation de la consommation le plus élevé alors que leurs économies se développent. Leur consommation moyenne actuelle par habitant, située entre 50 et 55 kg, est légèrement supérieure à la moitié de celle des anciens états membres.

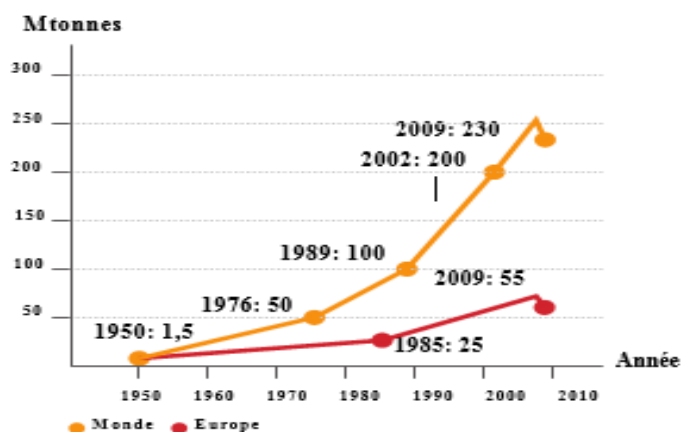


Figure [I.2] : Production mondiale de matières plastiques de 1950 à 2009.

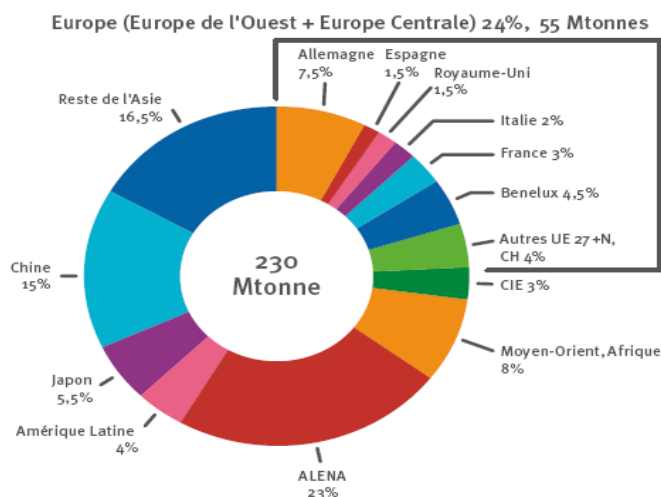


Figure [I.3] : Production mondiale de matières plastiques 2009 .

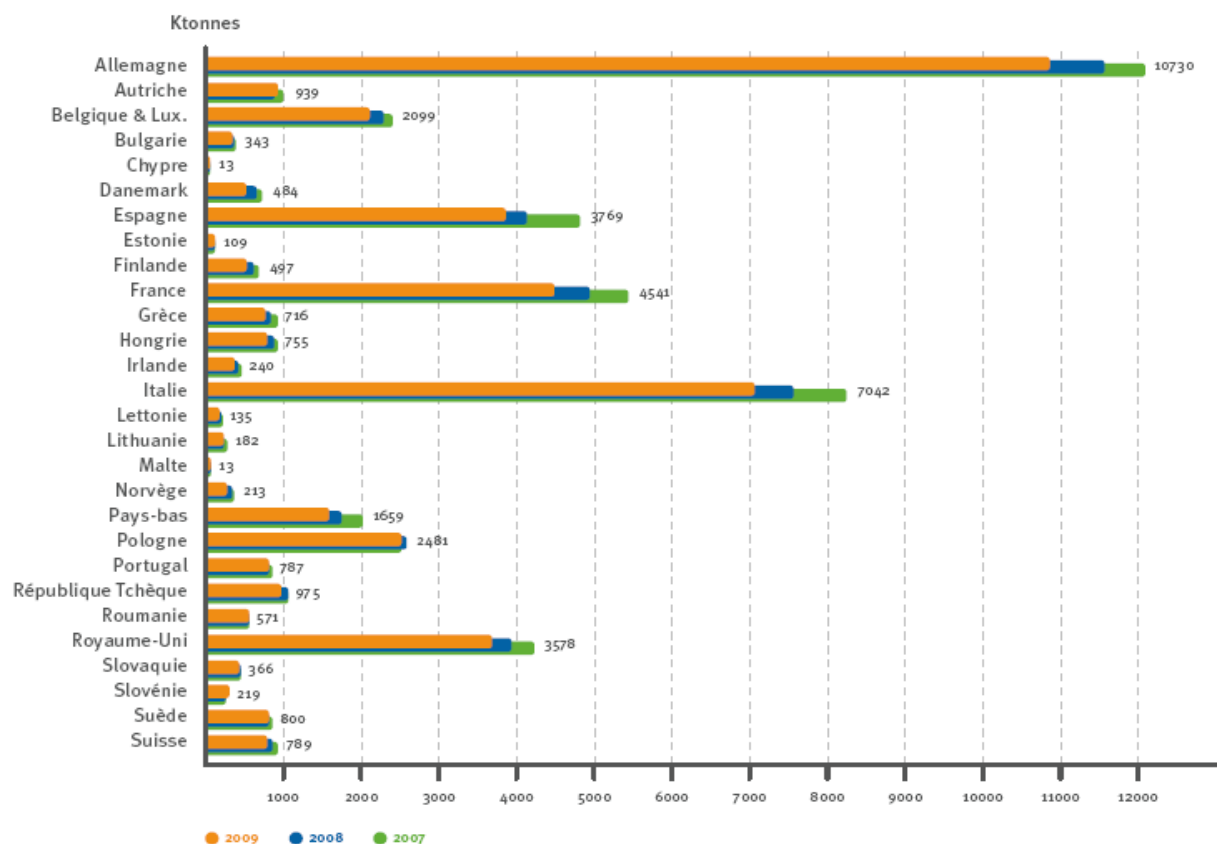


Figure [I.4] :. Demande des plasturgistes par pays en Europe (Ktonnes).

6. Les applications des plastiques

Par rapport à 2008, la demande des plasturgistes européens a reculé de 7,2% pour s'établir à 45 millions de tonnes en 2009. La part de marché des divers secteurs utilisateurs est restée stable, l'emballage arrivant en tête avec 40,1% de la demande totale, suivi par le BTP (20,4%), l'automobile (7%) et les équipements électriques et électroniques (5,6%). D'autres secteurs moins consommateurs sont notamment ceux des sports et de l'agriculture et de la construction mécanique.

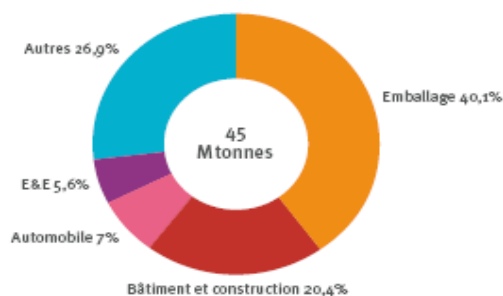


Figure [I.5] : Demande des plasturgistes par secteur d'application en 2009 .

7. Les différents types de matières plastiques

Il existe près de 20 types de plastiques. Chacun comprend de nombreux grades permettant de conférer des propriétés précises en fonction de l'application choisie. On dénombre cinq familles d'utilisation courante : le polyéthylène, dont le polyéthylène à basse densité (PEbd), le polyéthylène à haute densité (PEhd) et le polyéthylène à basse densité linéaire (PEbdl) ; le polypropylène (PP) ; le polychlorure de vinyle (PVC) ; le polystyrène (PS solide et PSE expansible) et le polyéthylène téréphtalate (PET). Ces cinq grandes familles de plastiques représentent environ 75% de la demande totale de plastiques en Europe. Les types de résine les plus utilisés sont les polyoléfinés (polyéthylènes et polypropylène) qui représentent environ 50% de la demande européenne. Le PVC arrive en troisième position avec 11%.

	PEHD: polyéthylène haute densité Applications à parois épaisses rigides telles que bouteilles, flacons, seaux, bouchons, jouets, articles ménagers, réservoirs à carburant, tuyaux d'évacuation, feuilles pour sacs à ordures ménagères, caisses à claire-voie. $\left[\text{CH}_2 - \text{CH}_2 \right]_n$
	PEBD: polyéthylène basse densité Feuilles d'emballage, films pour l'agriculture et l'horticulture, films extensibles, jouets, revêtements, tuyaux d'irrigation, sacs pour fruits et légumes, sacs à ordures ménagères, sacs publicitaires. $\left[\text{CH}_2 - \text{CH}_2 \right]_n$

	PP: polypropylène Pots à yaourt, barquettes pour margarine, caisses à claire-voie, plats pour micro-ondes, emballages médicaux, pièces pour automobiles, tapis et fibres, pièces d'appareils électriques, meubles de jardin, bouchons de bouteilles/flacons. $\left[\text{CH}_2 - \underset{\text{CH}_3}{\text{CH}} \right]_n$
	PS: polystyrène Emballages à usage unique pour viande et charcuterie, glaces, et légumes, appareils électriques, gobelets à café, tasses et assiettes, cassettes vidéo et audio, trains miniatures. $\left[\text{CH}_2 - \underset{\text{C}_6\text{H}_5}{\text{CH}} \right]_n$

	PSE: polystyrène expansé Emballages tampons pour appareils ménagers, électronique et instruments, emballages pour œufs, emballages pour restauration rapide, isolation thermique. $\left[\text{CH}_2 - \underset{\text{C}_6\text{H}_5}{\text{CH}} \right]_n$
	PVC: chlorure de polyvinyle Chassis de fenêtres, profilés pour la construction, tuyaux d'évacuation, revêtements de sols, rideaux, gouttières, isolation des câbles, cartes de crédit, produits médicaux (y compris poches pour plasma sanguin), blisters, bouteilles, revêtements. $\left[\text{CH}_2 - \underset{\text{Cl}}{\text{CH}} \right]_n$
	PETP: polyéthylènetéréphtalate Bouteilles pour boissons gazeuses, emballages pour l'industrie alimentaire, vêtements. $\left[\text{C}(=\text{O}) - \text{C}_6\text{H}_4 - \text{C}(=\text{O}) - \text{CH}_2\text{CH}_2\text{O} \right]_n$
	PUR: polyuréthane Mousse de confort pour coussins et matelas, appuie-têtes et accoudoirs, éponges, mousse d'isolation. $\left[\text{R} - \text{O} - \text{C}(=\text{O}) - \text{NH} \right]_n$

Figure [I.6]: Applications primaires des plastiques .

8. Le recyclage des déchets plastiques

8.1 Le recyclage

Les plastiques sont omniprésents dans notre vie et sont des matières extrêmement pratiques et agréables. Les industries, surtout celles de haute technologie comme l'aérospatiale, la médecine, l'informatique et les télécommunications, dépendent de la mise au point de nouvelles matières plastiques.

Au-delà des atouts majeurs de ces matières (sans danger, hygiéniques, résistantes, durables, légères, isolantes, adaptables), les déchets plastiques sont volumineux par rapport à leur poids léger. Ils prennent donc beaucoup de volume dans les points de collecte et dans les centres d'enfouissement technique. Leur dissémination dans la nature est durable et inesthétique. De

plus, les bouteilles éliminées en centre d'enfouissement technique subissent à long terme une dégradation qui génère d'autres nuisances. Leur élimination illégale est génératrice de rejets incontrôlés et éventuellement nocifs.

Si la réutilisation des matières plastiques est très peu développée actuellement, d'autres techniques de traitement des déchets sont développées.

Plusieurs problèmes essentiels mettent toutefois un frein à un recyclage efficace :

- ✓ la multiplicité des types de matières plastiques entraîne une difficulté au niveau du tri sélectif, condition nécessaire pour un recyclage efficace et rentable. En effet, lors du recyclage mécanique, les polymères différents ou d'une même famille mais de poids moléculaire différent sont rarement compatibles entre eux ;
- ✓ les plastiques ont une certaine "mémoire" des produits avec lesquels ils ont été en contact. Dès lors une certaine perméabilité des plastiques à des molécules de petite taille empêche la résorption de ces molécules, même après plusieurs lavages. De plus, certains plastiques, issus d'ordures ménagères surtout, présentent des spores résistantes aux traitements connus ;
- ✓ les exigences en matière d'hygiène ne permettent en général pas le recyclage des déchets plastiques issus d'ordures ménagères vers des applications dans les domaines alimentaires et médicaux.

✚ Le recyclage et le réemploi permettent d'économiser une grande quantité d'énergie primaire, notamment du pétrole, la principale matière première de la plupart des matières plastiques. Dans la plupart des cas, éviter les déchets représente encore la meilleure solution. Dans ce cas, le problème est attaqué à la source. La prévention ne peut éviter la présence permanente de déchets de matières plastiques. Mais que faut-il alors faire de ceux-ci ? Ces déchets sont souvent trop précieux que pour atterrir sur une décharge. La méthode la plus simple est de broyer les déchets de matières plastiques et/ou de les faire fondre pour obtenir de nouvelles applications. Ce procédé prend le nom de recyclage mécanique ou de recyclage des matières.

8.2 Le recyclage mécanique des plastiques

Le recyclage mécanique consiste à transformer les plastiques en fin de vie en un matériau réutilisable par voie mécanique et non chimique. Le procédé pour l'essentiel ne casse pas la chaîne polymérique ni les substances ajoutées au matériau d'origine. Le matériau peut être retransformé en divers produits utiles, tout en conservant intactes sa structure et ses propriétés d'origine.

Le procédé commence par le broyage des produits usagés et continue par l'extraction du flux principal, des matériaux ou des fragments de dimensions voulus (à l'aide, par exemple, d'un tambour magnétique pour séparer les métaux ferreux ou du balayage infrarouge pour trier par

couleur). Les fractions de plastiques ainsi triées constituent des flux de polymères homogènes et de pureté acceptable pour être transformés en granulés commercialisables. Ils sont alors prêts à être utilisés pour la fabrication de produits neufs.

Le développement du recyclage mécanique des déchets industriels (chutes de production) a accompagné celui de la plasturgie depuis ses débuts. Le recyclage mécanique des déchets de post consommation a débuté dans la décennie 80, puis fortement progressé dans les années sous l'effet de la législation. En imposant des taux de recyclage minimaux pour certains flux de déchets (les emballages), elle a impulsé la mise en place de dispositifs de collecte et favorisé le progrès des technologies de tri. Les facteurs clés de la réussite d'un recyclage mécanique éco efficace sont :

- ✓ la pureté et l'homogénéité des flux de déchets,
- ✓ une qualité de recyclats capable de remplacer la résine vierge,
- ✓ l'acceptation par le marché de produits contenant des recyclats.

8.2.1 L'emballage.

Le secteur de l'emballage possède l'histoire la plus longue en matière de valorisation et contribue à environ 63% de la quantité de matières plastiques en fin de vie. Il n'est donc pas étonnant que la majeure partie des produits actuellement recyclés en provienne. Les bouteilles et les films industriels sont recyclés mécaniquement à près de 40 % en UE27+NO/CH, les cageots et les caisses à plus de 90 %. Les taux de recyclage pour les plastiques mixtes restants demeurent faibles (moins de 10 % en UE27+NO/CH).

Au total, la collecte pour le recyclage des emballages plastiques de post-consommation a augmenté en 2007 pour atteindre 28 %, contre 26,2 % en

2006. La Figure I-7 est une carte de l'Europe illustrant les pays de l'UE27+NO/CH recyclant moins de 15 % (norme actuelle), moins de 2,5 % (norme à partir de 2008) et plus de 2,5 % des déchets d'emballages plastiques.

8.2.2 Les films agricoles

Les déchets plastiques agricoles tels que les films d'ensilage sont un bon gisement pour le recyclage mécanique car ils sont fabriqués à partir d'une gamme limitée de plastiques, principalement des polyoléfinés. Cependant, les hauts niveaux de contamination par la terre constituent souvent un défi technique et financier pour le recyclage ou la valorisation éco-efficaces. EuPC et EuPR sont engagés dans le projet Label Agri Waste (cofondé par l'UE) visant à développer une approche intégrée vers la collecte, le prélèvement et l'étiquetage des déchets plastiques agricoles. Grâce à ce projet, des progrès devraient être réalisés dès l'année prochaine.

8.2.3 L'automobile

Le taux de recyclage pour les déchets plastiques automobiles a continué d'augmenter jusqu'à près de 10 % en 2007. Le groupe Volkswagen a reçu une récompense environnementale pour "SiCon", un processus mécanique permettant d'extraire les matières premières secondaires

utilisables des résidus de véhicules démantelés en fin de vie. Des usines utilisant ce type de technologie sont en cours de construction et commencent à fonctionner aux Pays-Bas et en Autriche.

8.2.4 L'électricité et électronique

Le recyclage dans le secteur électrique et électronique est limité par les produits complexes intégrant tant de matières différentes que l'activité de tri est intensive et onéreuse. Il existe cependant des exemples de recyclage en croissance, comme les habillages intérieurs de réfrigérateurs. Pour la majorité des flux de déchets, le traitement thermique par recyclage chimique ou valorisation énergétique est la procédure la plus appropriée. Les volumes actuels d'appareils E&E mis au rebut sont incertains. On suppose qu'une partie est exportée en dehors de l'Europe.

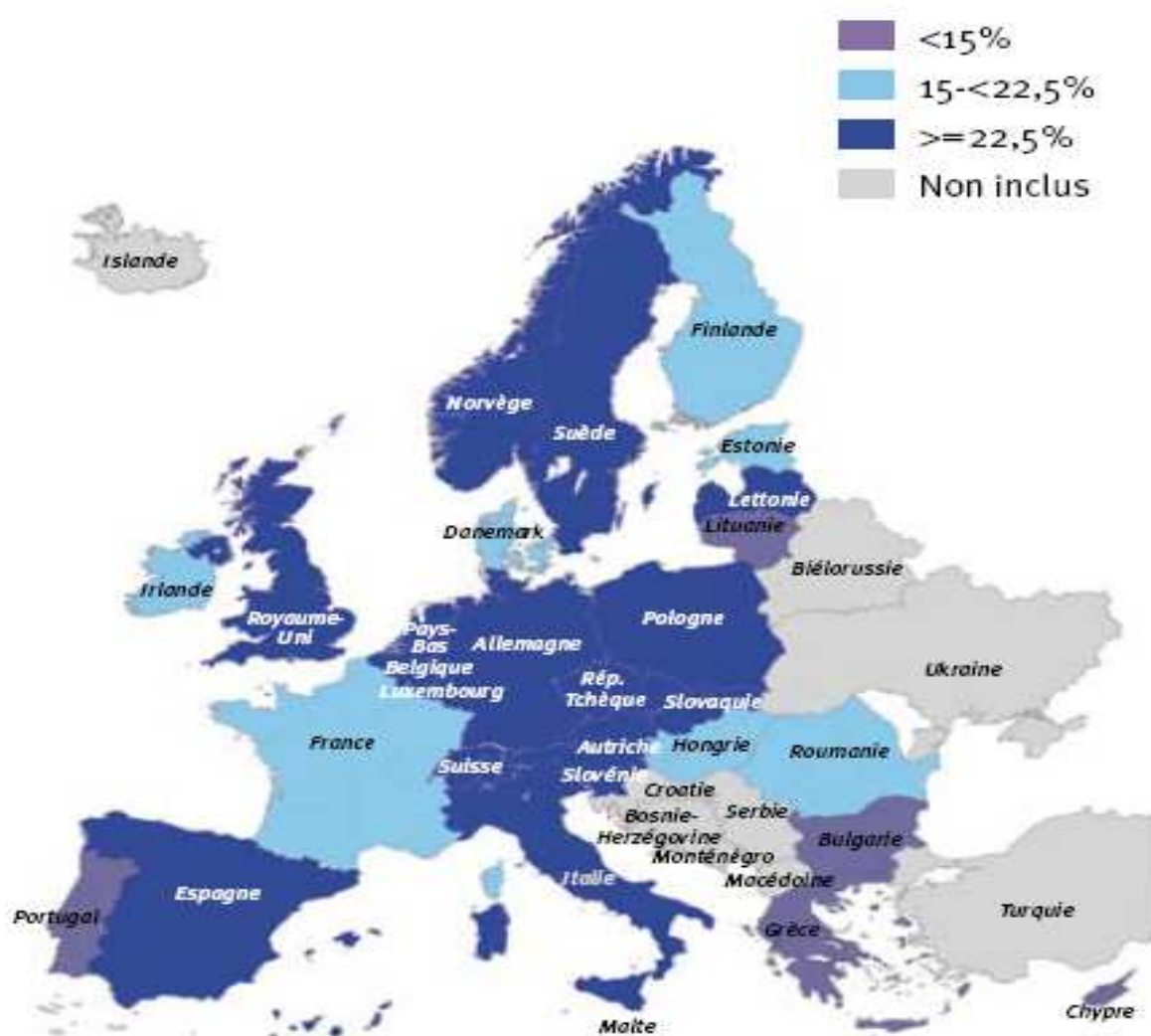


Figure [I.7] : Recyclage total des déchets d'emballages plastiques par pays



Figure [I.8] : Le recyclage du plastique

8.3 La valorisation énergétique

En dépit de la réduction à la source, de la réutilisation et du recyclage, il restera toujours des déchets. La valorisation énergétique est une méthode de traitement des déchets qui permet d'éviter la mise en centre d'enfouissement technique. Dans le cas des matières plastiques, cette technique doit être analysée quant au rendement économique et écologique. En effet, si les matières plastiques représentent moins de 10 % de la poubelle ménagère, elles contribuent pour plus de 30 % de l'énergie dégagée.

L'impact sur l'environnement des matières plastiques a toujours été longuement discuté et débattu. Le débat suscité par de nombreux pays sur le PVC est une preuve irréfutable des controverses liées à la matière plastique. En Belgique, en raison de l'absence manifeste de preuves d'une nocivité plus grande du PVC par rapport à d'autres matières plastiques, cette matière est aujourd'hui mise sur le même pied que les autres matériaux. Il est à noter que les emballages en PVC ont quasiment disparu du marché de la consommation. Toutefois, la production du PVC augmente notamment dans les matériaux de construction.

Depuis plusieurs années, les déchets d'emballages en matière plastique font l'objet d'une attention particulière, tant au niveau européen que régional ou fédéral. On peut en effet mentionner la Directive 94/62/CE du Parlement européen et du Conseil relative aux emballages et aux déchets d'emballages et le Décret du 16 janvier 1997 portant approbation de l'accord de coopération du 30 mai 1996 concernant la prévention et la gestion des déchets d'emballages. Ce sont toutefois toujours les matières plastiques utilisées dans le cadre des emballages qui sont visées et non l'ensemble des plastiques. Il est dès lors proposé de lire à ce sujet les pressions du chapitre consacré aux déchets d'emballages.

Le recyclage de la matière et la valorisation énergétique des déchets plastiques de post-consommation varient considérablement d'un pays à l'autre. Certains pays tels que la Suisse, l'Allemagne, la Suède et le Danemark ne mettent presque pas de déchets plastiques en décharge, car ils ont mis en oeuvre une stratégie qui a permis de la supprimer. Une étude récente menée par le cabinet-conseil suisse Prognos (1) a montré que 27 % des émissions de gaz à effet de serre (GES) de l'UE ciblées par le protocole de Kyoto pourraient être supprimées si tous les déchets actuellement mis en décharge étaient détournés avec souplesse vers le recyclage et la valorisation énergétique.

Les meilleurs résultats ont été atteints en l'absence d'objectifs spécifiques mais avec une souplesse totale pour évaluer à quels niveaux le recyclage et la valorisation énergétique étaient les plus utiles aux flux de déchets spécifiques. En plus de la réduction des émissions de GES, la suppression de la mise en décharge contribue à augmenter l'efficacité de l'utilisation des ressources et la sécurité énergétique tout en réduisant les déchets sauvages.

D'après la Figure 10, les pays ayant des taux de valorisation élevés obtiennent de bons résultats en termes de recyclage et de valorisation énergétique. Une stratégie intégrant une valorisation énergétique n'empêche donc pas d'obtenir de bons résultats de recyclage. Cela illustre le fait qu'une stratégie de gestion globale des ressources doit prendre en compte ces deux processus, car aucun pays n'est capable de recycler tous ses déchets de post-consommation.

Toujours d'après la Figure 10, bien que la performance de recyclage soit sensiblement similaire dans la plupart des pays de l'UE27+NO/CH, il existe de nettes différences en termes d'utilisation de la valorisation énergétique. Les pays fortement dépendants de la mise en décharge doivent non seulement exploiter tout leur potentiel de recyclage mais également développer rapidement leur réseau d'énergie dérivée des déchets. En moyenne, l'évolution de la suppression de la mise en décharge est lente. Le taux de recyclage (mécanique + chimique) en UE27+NO/ est passé de 19,5 % en 2006 à 20,4 % en 2007 tandis que le taux de valorisation énergétique est resté stable (29,2 %).

D'importants efforts devront être réalisés dans de nombreux Etats membres pour exploiter tout le potentiel d'une stratégie de suppression de la mise en décharge, qui entraînera réduction des émissions de GES, amélioration de l'optimisation des ressources et de la sécurité énergétique et économisera les pénalités de mise en décharge.

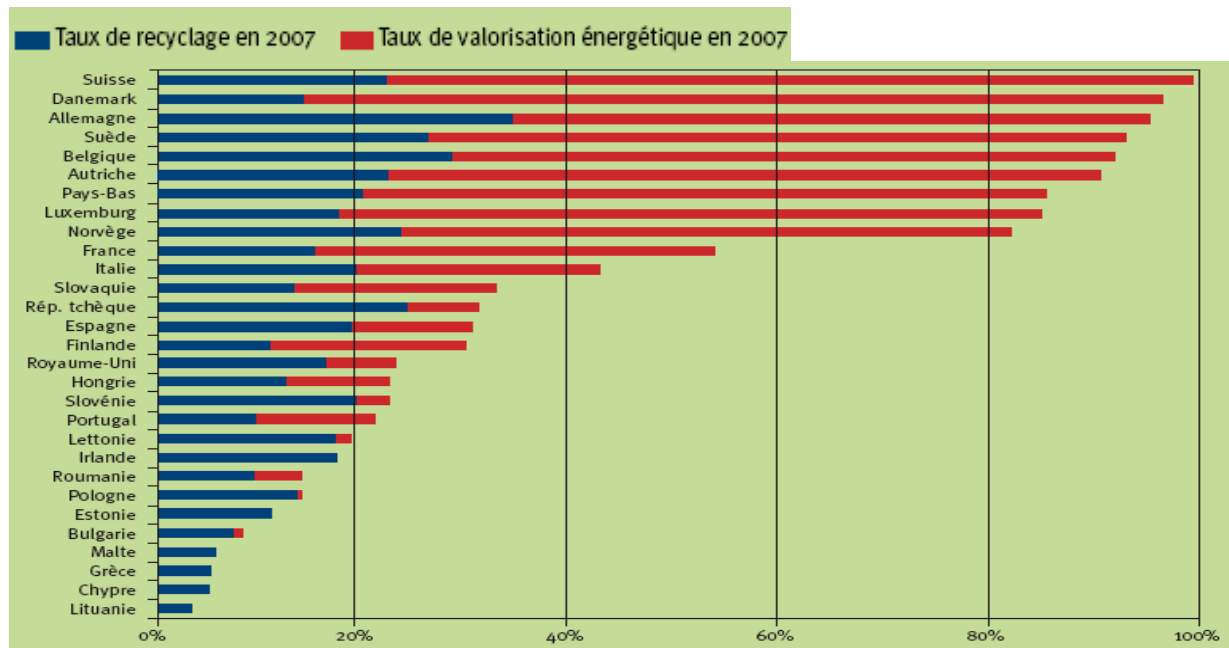


Figure [I.9]: Taux de recyclage et de valorisation énergétique par pays .

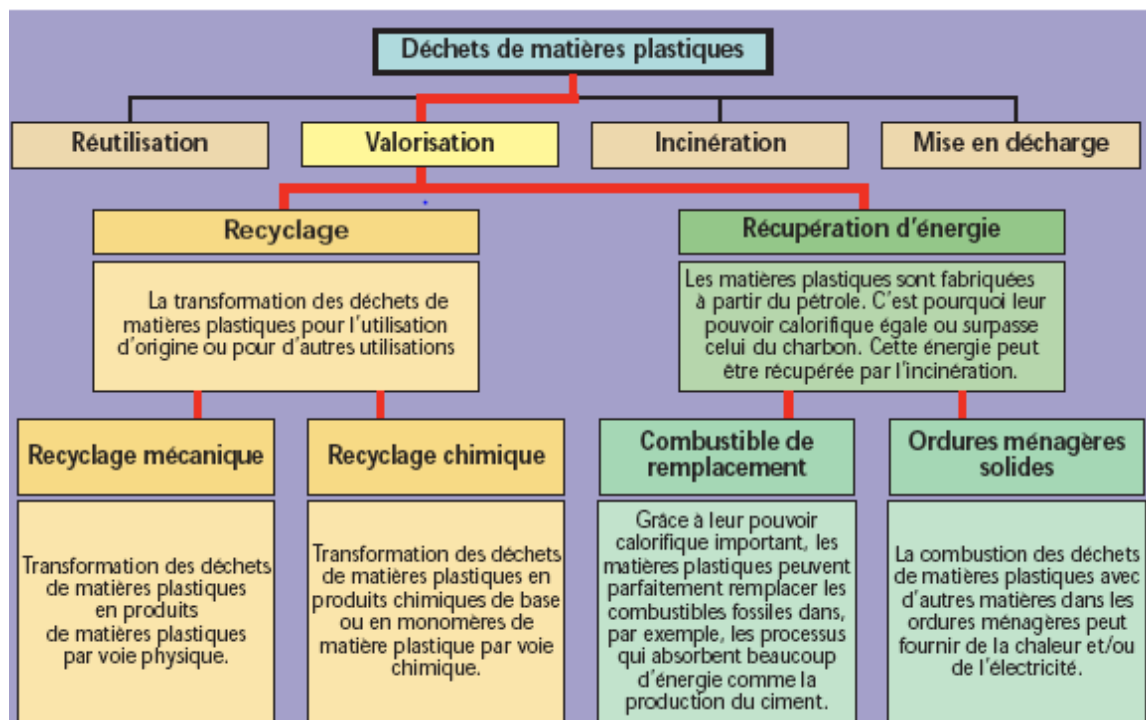


Figure [I.10] :Les diverses options pour la gestion des déchets de matières plastiques .

9. Conclusion

L'usage des sachets plastiques est un phénomène massif qui est lié à une complexité de facteurs. Cet usage s'adapte aux différentes professions, aux différents pouvoirs d'achat. Il prend aussi de l'ampleur avec le développement du commerce de détail. Les produits de première nécessité se trouvent de plus en plus fragmentés et emballés dans des sachets plastiques.

L'analyse des différents niveaux de perception du problème des déchets plastiques ainsi que l'environnement social, industriel et politico-administratif de la récupération et du recyclage des sachets plastiques révèlent des disparités et des lacunes, qui pourraient entraver la mise en oeuvre d'une solution durable.

Même si rien ne laisse apparaître que la population est particulièrement consciente du problème, En outre, les industriels et les autorités sont forts conscients des dégâts environnementaux même s'ils ne font pratiquement rien de concret pour résoudre le problème.

Chapitre II

Déchets plastiques en Algérie

1. Introduction

Le plastique apparu comme symbole de modernité dont l'expansion de son usage a permis l'épanouissement de la culture du jetable. Son usage intensif est lié, en grande partie, à ses caractéristiques : léger, malléable, imperméable, s'adapte à tout type de produit... etc. Cependant, la production et l'usage des matières plastiques constituent un véritable défi en matière de promotion du développement durable. Nous faisons allusion ici au fait que ces matières plastiques réduisent, d'une part, les prélèvements sur les ressources naturelles, d'autre part, elles contribuent à détruire l'environnement par leurs déchets non biodégradables.

En ce sens, les matières plastiques participent directement ou indirectement à la protection de l'environnement, notamment, en se substituant à des ressources naturelles, en contribuant à réduire la consommation d'énergie ou en permettant de fabriquer, à moindre coût, des produits bien adaptés à la promotion du développement durable avec ses trois dimensions.

2. Le recyclage de la matière plastique

2.1 Définition du recyclage

Le recyclage correspond à la réutilisation des résidus par le producteur. Il peut être court, lorsque ces derniers sont recyclés directement par l'agent ou cédé à un autre producteur de la même branche d'activité. Il s'agit alors de chute de production, que l'on observe dans les aciéries ou papeteries, par exemple. Il peut être long, lorsqu'ils empruntent des filières de collecte et de prétraitement assurées par des professionnels de la récupération (Bourrelier et Dietrich, 1989). C'est le cas des déchets industriels et commerciaux banals ou de ceux qui sont issus de la consommation des ménages.

Pearce et Turner (1990) rappellent que des millions de tonnes de matériaux résiduels produits par les sociétés modernes peuvent être récupérés et recyclés. Leur valorisation peut emprunter plusieurs voies :

- ✓ La réutilisation des produits usagés sous la même forme, telle que la consignment de bouteilles .
- ✓ La ré-intégration de matériaux dans le cycle productif dont ils sont issus ("closed-loop recycling"), comme c'est le cas des fibres cellulosiques de récupération dans la fabrication de papiers et cartons ou du calcin dans celle des bouteilles,
- ✓ L'intégration de matériaux dans d'autres formes de production que celles dont ils sont issus ("openloop recycling"), tels les exemples du verre dans les travaux routiers, de la partie fermentescible des résidus dans l'élaboration de compost ou bien des déchets d'emballage en plastique utilisés dans la fabrication de mobilier ou de piquets de vigne.

- ✓ Enfin, la valorisation énergétique des résidus via leur incinération avec récupération de la vapeur dégagée et/ou la production d'électricité .

2.2 Avantages du recyclage

Nombreux sont les gens qui perçoivent le recyclage comme une étape cruciale vers le développement durable, puisqu'il réduit les effets sur l'environnement et encourage l'utilisation de produits qui sont moins nocifs pour l'environnement. Certains avantages environnementaux du recyclage incluent :

- ✓ Une utilisation plus efficace des ressources ;
- ✓ Une consommation moindre d'énergie ;
- ✓ Une réduction de la pollution de l'air et de l'eau ;
- ✓ Une réduction des déchets éliminés et le développement de marchés pour les Matières recyclées ;
- ✓ Une réduction de l'utilisation des produits toxiques ou dangereux ;
- ✓ Une durée de vie plus longue des sites d'enfouissement (en raison d'une hausse du détournement des déchets vers les installations de recyclage).

2.3 Techniques de traitement des matières recyclable

Le recyclage désigne la récupération de matières sèches comme le papier, les matières plastiques, le verre et les métaux du flux des déchets destiné à être vendu aux sociétés de recyclage pour que celles-ci les utilisent à nouveau.

En théorie, si toutes les matières viables du flux des déchets étaient recueillies, recyclées et compostées, environ 70 % à 80 % du flux des déchets pourrait être détourné.

Les matériaux recyclables collectés par les municipalités doivent être séparés et traités avant qu'ils puissent être envoyés aux diverses usines de recyclage. Aujourd'hui, la plupart des tris sont effectués de façon manuelle.

Des tris automatiques, en amont, permettraient d'améliorer les performances et de diminuer les taux de refus. Plusieurs expérimentations sont en cours.

Cette section décrit les équipements utilisés par les municipalités pour réaliser cette tâche.

3. Les modes de traitement des déchets plastiques

3.1 La mise en décharge

L'image que nous avons de la décharge comme centre de stockage de déchets est souvent influencée par les très nombreux dépôts sauvages que chacun de nous a pu rencontrer. C'est pourquoi ce mode de traitement est en général considéré comme un facteur de pollution de l'environnement. La création d'une décharge est de plus en plus redoutée, de plus en plus difficile. Pourtant si elle est bien gérée c'est le moyen d'évacuation le plus économique.

3.2 L'incinération

3.2.1 Incinération sans récupération d'énergie

C'est encore, pour le moment, la façon la plus efficace et la plus rapide pour faire disparaître les résidus urbains sans cesse croissants.

3.2.2 Incinération avec récupération d'énergie

Les plastiques constituent une source de chaleur considérable qui enrichit celle des ordures ménagères. Alors qu'ils n'en représentent que 4 à 5 %, ils constituent de 15 à 20 % de l'énergie contenue valorisant ainsi la récupération de la chaleur produite qui peut être utilisée directement pour le chauffage ou sous forme d'énergie électrique.

Mais, généralement les plastiques sont mélangés avec des additifs. Par exemple le PVC renferme 57 % de chlore dans sa molécule et dégage du chlore en brûlant

3.3 Recyclage mécanique

Le recyclage mécanique des plastiques consiste en une réduction dimensionnelle des produits suivie d'une refusion directe et d'un remoulage comme nouvelle matière après addition de produit vierge et additifs.

Les plastiques destinés au recyclage sont des substances thermoplastiques qui ont un cycle thermoréversible (PP, PET).

L'inconvénient de cette méthode est que les déchets plastiques sont mélangés et contaminés ; ce qui peut diminuer la chance de recycler le déchet d'une manière valorisante.

3.4 Le recyclage chimique et thermique

Ces procédés consistent à transformer les résidus plastiques soit en monomères, soit en pétrole. Au contact de certains produits chimiques (le méthanol ou le glycol d'éthylène) certains plastiques post-consommation se reconstituent en monomères. Le procédé porte le nom de dépolymérisation et s'applique surtout au polyéthylène téréphtalat (PET).

Des recherches scientifiques sont en cours pour développer cette technologie, qui ne nécessite ni triage par résine, ni décontamination.

🚧 Le recyclage mécanique constitue la voie de recyclage la plus intéressante du point de vue énergétique. Ce type de recyclage, reste limité pour différentes raisons :

- le problème du tri des plastiques qui sont de composition différente entraînant une diminution de la qualité des caractéristiques mécaniques du produit final.
- les problèmes de dégradations des propriétés mécaniques de ces matériaux. ainsi que l'évolution des propriétés thermiques.

4. Etude du recyclage en Algérie

4.1 Recyclage de la matière plastique (Oran_ Alger)

Au niveau national, le devenir des déchets des matières plastiques se pose également. En plus de la pollution visuelle de l'environnement qu'ils provoquent, laisser de tels matériaux encombrer les décharges constitue un énorme gaspillage car les matières premières sont importées.

Cette partie se propose donc de passer, tout d'abord, en revue les différents modes de recyclage matière des déchets plastiques utilisés actuellement ou en voie de développement. Une description de l'unité de régénération IPM de Mitidja sera ensuite donnée. Enfin, quelques résultats concernant le recyclage des déchets post-industriels.

4.1.1 Description de l'entreprise IDEAL PLASTIQUE de Mitidja (IPM)

L'entreprise de transformation et de régénération des matières plastiques de la Mitidja s'étend sur une superficie de 10000 m² et a été mise en service en 1994. Le mode de recyclage utilisé par son unité de régénération est le recyclage mécanique ou la valorisation matière. Dans cette unité on procède au recyclage du polyéthylène haute densité (PEHD) et le polypropylène (PP) seulement car l'appareillage utilisé n'est compatible qu'avec ces deux matériaux et encore par ce que ce sont les matériaux les plus abondants

Tableau II-1 Les déchets utilisés et leurs provenances.

Nature des déchets plastiques	Quantité en %	Produits recyclés
Chutes et carottes de production.	50	Divers articles en plastique
Déchets de films agricoles	15	Films plastiques
Déchets de pochettes de lait.	8	Sachets de poubelles ; films d'emballages non alimentaires
Caisses et chaises bidons, jerricanes, conteneurs de javel....	35	Caisses à boissons ; poubelles....

4.1.2 La collecte et le tri des déchets

La collecte et le tri de ces déchets se fait dans un premier temps par des particuliers qui les vendent au kilogramme à l'unité, ou par les chiffonniers qui récupèrent les déchets recyclables dans les décharges. Le taux de déchet reçu est estimé à 20 tonnes par mois environ.

Un second tri se fait au niveau de deux unités :

- La première est celle de Chtaibo dans la Wilaya d'Oran, où les déchets de ménages (conteneurs, chaises, etc.) en PEHD et PP sont séparés à mains selon le type de résine (Celles-ci sont identifiées par expérience ou parfois le type de résine est

indiqué sur le matériau). Les personnes qui font le tri sont devenues, avec le temps, très compétentes, et peuvent facilement séparer les plastiques ciblés par types de produits et par marques. L'identification est aussi facilitée par les codes de résines qui ont été introduits en 1988 par l'Association canadienne de l'industrie des plastiques.

- La deuxième est celle de Mitidja où les déchets de films agricoles en PEHD sont séparés des déchets de pochettes de lait.

4.1.3 Près - broyage

La matière, films ou particules, souillée est pré-broyée dans un déchiqueteur, fonctionnant en rotation lente. Le broyat est stocké dans des sacs de 50 kilos puis, destiné à l'unité de régénération de la Mitidja. De 50 à 100 sacs sont transportés chaque mois.

4.1.4 Séparation des corps étrangers grossier

Le matériau pré-broyé est acheminé par convoyeur vers le bac de prélavage, les corps étrangers sont séparés du produit par gravitation et le plastique flottant est convoyé par le cylindre d'alimentation vers le broyeur laveur.

4.1.5 Broyage lavage

(Appliqué au déchets en PEHD et non pour le PP)

Le broyeur à eau opérant selon le principe de la coupe oblique double, assure un nettoyage efficace grâce à l'addition d'eau. Un phénomène de friction durant cette phase apparaît ce qui assure un lavage intensif et permet aussi d'éviter l'encrassement des grilles.

4.1.6 Séchage mécanique

La chaîne de traitement est dotée d'un sécheur mécanique muni de deux grandes turbines, qui procèdent par action de renversement constant du courant de matière. Cette opération est efficace du fait que la surface tamisée est constamment nettoyée par des brosses rotatives et balayée par un débit élevé d'air.

4.1.7 Séchage thermique

Le sécheur thermique placé en aval du sécheur mécanique, moyennant un générateur électrique d'air chaud ramène l'humidité se trouvant dans la matière à un taux raisonnable pour une re-granulation .

4.1.8 Regranulation

Le produit obtenu sous forme de paillettes bien secs est aspiré par surpression dans deux silos équipés d'agitateur et d'une vis d'extraction. Il assure le rôle tampon entre le broyage, le lavage et la re-granulation.

4.2 Recyclage des emballages en PP

4.2.1 Le nettoyage

Les caisses, casiers, bacs, chaises et autres débarrassés de corps étrangers (papiers, métaux, etc.) sont introduits dans des broyeurs à couteaux rotatifs et sont réduits en petites particules de taille plus ou moins homogènes.

Pour les nettoyer des impuretés, les particules sont convoyées par bande transporteuse vers un tamis vibreur équipé d'un dispositif d'aspiration des poussières.

4.2.2 L'extrusion

Les granules sont entraînées sous pression et avec une très grande vitesse dans une extrudeuse qui les transforme en pâte sous l'effet de la chaleur et du cisaillement. La filière réduit cette pâte en boulettes de taille uniforme.

Ces boulettes constituent des produits commercialisables qui répondent à la demande des fabricants d'articles contenant des plastiques recyclés.

La capacité de traitement des déchets est de 400 tonnes par an. Ces produits sont écoulés sur le marché national. Ils sont mélangés à du PP non régénéré et servent à la fabrication des caisses de limonade et de poules, bassines, corbeilles à papier, poubelles



Figure [II.1] : Extrudeuse. (IPM, 2006)

4.3 Recyclage des déchets post-industriels

Le recyclage des déchets post-industriels correspond à la réutilisation des résidus par le producteur. Il peut être court, lorsque ces derniers sont recyclés directement par l'agent ou cédés à un autre producteur de la même branche d'activité. Il s'agit alors de chutes de production, que l'on observe dans les usines de production des matériaux plastiques qu'on a visité dans la zone industrielle d'ES- SENIA, Oran .

4.3.1 L'unité de FOMAP

Cette usine fabrique des matériaux en plastique à partir de la matière première le PP et le PEHD. Les résidus post-industriels sont généralement produits en grandes quantités et sont souvent exempts de contamination, ce qui facilite leur recyclage . Quant aux résidus post -consommation ils doivent être décontaminés des substances qu'ils ont contenues et des artéfacts qui ont servi à leur commercialisation (étiquettes, reçus de caisse, etc.). Les produits refusés sont triés selon la couleur (Corbeilles, bassines, bidons, etc.). Ils sont, par suite, déchiquetés dans un déchiqueteur mécanique ,puis broyés en granules de taille homogène; c'est le broyat Pendant le processus de production, le broyat est mélangé avec la matière première de 20 % ou 50 % selon la qualité du broyat et le nombre d'utilisation .



Figure [II.2]: Le déchiqueteur



Figure [II.3] : Le broyeur à couteaux rotatif

5. Récupération des produits en plastiques (ANSEJ)

5.1 Processus de production

La récupération des produits en plastiques est un procédé de collecte des matériaux en plastiques arrivés en fin de vie, ou des résidus de fabrication, en vue d'une nouvelle utilisation, pour un usage identique ou différent. La collecte des plastiques est effectuée par les récupérateurs auprès des différents détenteurs. Le gisement issu des gros producteurs (industries) présente l'avantage d'être concentré et homogène.

Par contre, le gisement des petits producteurs est dispersé géographiquement et présente l'inconvénient d'être constitué de plastique en mélange. Pour optimiser la gestion interne et la récupération des plastiques, les déchets sont triés par catégorie et intégrés dans une machine pour broyer. La matière plastique est un mélange contenant une matière de base (Polymère) qui est susceptible d'être moulé, façonné, en générale à chaud et sous pression, afin de conduire à un semi-produit ou un objet. On distingue deux grandes familles de plastiques :

5.1.1 Les thermoplastiques

Représentent 80 % du tonnage des déchets plastique. Sous l'action de la chaleur, ils fondent et reprennent leur rigidité en refroidissant. Cette propriété permet de les recycler sous forme de matière première. Il existe différents types de thermoplastiques qui sont particulièrement utilisés dans la fabrication des emballages, et qui sont généralement utilisés dans les applications techniques. :

*Le polychlorure de vinyle (PVC)

*Le polyéthylène (PEHD et PEBD)

*Le polypropylène (PP)

- *Le polystyrène (PS)
- *Le polyéthylène téréphtalate (PET)
- *L'acrylonitrile butadiène styrène (ABS)
- *Les polyamides Les polycarbonates
- *Les polyacryliques
- *Le polyuréthane (PU)

5.1.2 Les thermodurcissables

Les thermodurcissables représentent 20% du tonnage des déchets plastique. Ils sont infusibles (ne peuvent être fondus) et ne peuvent donc pas être recyclés sous forme de matière première. Il s'agit des :

- *Polyesters insaturés
- *Polyuréthane réticulé
- *Bakélite

Les déchets plastique ont des origines diverses :

- *Déchets de la transformation
- *Emballages usagés de l'industrie et des centres de grande distribution
- *Déchets de démolition ou de réfection
- *Déchets de produits électriques et électroniques en fin de vie
- *Contenus d'automobiles hors d'usage Films agricoles
- *Déchets d'ordures ménagères
- *Autres

La consommation de la matière plastique est présente dans de nombreux secteurs, dans le secteur de l'emballage, le secteur du bâtiment et le secteur de l'automobile, ... L'emploi du plastique est varié. En effet, le recyclage du plastique permet la fabrication de sacs, meuble de jardin, jouets, tuyaux, pièces d'automobile (pare-choc, batteries) etc..., selon le type de résine utilisé .

5.2 Le recyclage de la matière

Le recyclage du plastique a deux conséquences écologiques majeures :

*La réduction du volume de déchets, et donc de la pollution qu'ils causeraient puisqu'en se décomposant, il dégage du pétrole qui s'écoule dans le sol (Une bouteille d'eau de javel prendrait de 70 à 80 ans, un petit contenant de margarine environ 35 ans et un sac en plastique 400 ans) ;

*La préservation des ressources naturelles, puisque la matière recyclée est utilisée à la place de celle qu'on aurait dû extraire. Chaque tonne de matière plastique recyclée permet d'économiser 700 kg de pétrole brut.

*Le recyclage de certaines matières plastiques contaminées par des polluants ne permet plus de les utiliser pour en faire des emballages alimentaires.

6. Déplastiquage et normalisation des sachets plastiques

Depuis la promulgation de l'instruction ministérielle N°194/SPM du 10.03.2005, la Wilaya de Tizi-Ouzou a institué un comité chargé du suivi et du contrôle de la conformité du sachet plastique destiné à contenir des denrées alimentaires.

A cet effet, un programme a été tracé, à travers le territoire de la wilaya, ciblant principalement les producteurs, les grossistes et grands utilisateurs (agroalimentaires). Ce programme porte sur :

- ✓ Remise de supports documentaires et réglementaires aux différents partenaires concernés par l'opération
- ✓ inspection et de contrôle avec saisie des sachets non conformes (défaut de traçabilité, logo d'alimentarité, couleur noire)

Il est à noter que dans sa quasi-totalité le sachet plastique noir a disparu des procédés de fabrication et des étals des unités de commercialisation et de conditionnements alimentaires de la Wilaya .

7. Conclusion

Un problème important; est celui des déchets plastiques qui sont inévitables en fin de vie des produits plastiques. Contrairement aux autres matières (bois, métaux, verre, ...), les déchets plastiques, selon les industriels, présentent des difficultés de recyclage et de récupération, suite essentiellement à ses caractéristiques techniques. Ainsi, seule une gestion écologique et rationnelle à ses problèmes, en développant une écologie industrielle¹, permettra de considérer les matières plastiques comme un bon candidats au développement durable.

Les déchets plastiques, dont la durée de vie peut atteindre plusieurs siècles, constituent une menace pour la santé humaine et l'ensemble des écosystèmes. La mise en œuvre de stratégies efficaces de collecte, de traitement et de réduction des déchets, ainsi qu'une éco-conception des produits contenant du plastique, sont devenus indispensables. Les responsables de l'industrie du plastique ainsi que les dirigeants politiques à tous les échelons territoriaux doivent relever ce défi afin de garantir un développement réellement durable.

Chapitre III

Valorisation des déchets plastiques dans le monde et en Afrique

Chapitre III Valorisation des déchets plastiques dans le monde et en Afrique

1. Introduction

Les matières plastiques ont envahi notre quotidien et il est difficile aujourd'hui de leur échapper. Symbole fort de sociétés de consommation, les matières plastiques sont considérées comme un matériau peu valorisant. Les consommateurs l'assimilent à un produit « jetable ». Pourtant, il devient impératif de réagir car elles représentent plus de 10 % de la masse totale des ordures ménagères.

Les bouteilles plastiques par exemple, sont difficilement décomposées par les micro-organismes : imputrescibles, elles ne sont pas biodégradables. Ces propriétés sont, à terme, une cause de pollution durable. Le recyclage ou leur traitement est donc impératif. Le polyéthylène téréphtalate, autrement dit le PET, est utilisé principalement pour les emballages de boisson. Comme tous les plastiques, le PET est produit à partir de pétrole. Il a remplacé progressivement le verre grâce à sa légèreté et sa résistance aux chocs. La taxe anticipée de recyclage (TAR) perçue à l'achat des bouteilles en PET permet de financer leur recyclage. On réduit ainsi le tonnage des ordures incinérées en économisant une quantité importante de pétrole.

2. Les matières plastiques et l'emballage

2.1 L'emballage plastique en Europe en 2000

2.1.1 Les emballages ménagers

L'Union Européenne a mis au point une Directive sur les emballages et déchets d'emballage (94/62/EC) entrée en vigueur en 1996. Le texte a pour but d'harmoniser les mesures nationales concernant la gestion des emballages et des déchets d'emballages afin d'assurer une haute protection de l'environnement et de garantir le fonctionnement du marché intérieur.

La Directive couvre tous les emballages mis en circulation sur le marché communautaire et tous les déchets d'emballage. Un emballage ne sera mis en circulation sur le marché que s'il est conforme aux recommandations définies par la Directive 94/62.

Les États membres doivent mettre en place des mesures de prévention de la formation des déchets d'emballages (par des programmes nationaux essentiellement) et sont encouragés à développer les systèmes de réutilisation des emballages.

Les États membres doivent instaurer des systèmes de reprise, de collecte et de valorisation des déchets d'emballages afin d'atteindre les objectifs suivants :

- Valorisation: entre 50 % et 65 %;
- Recyclage: entre 25 % et 45 %,

avec un minimum de 15 % pour chaque matériel d'emballage.

Chapitre III Valorisation des déchets plastiques dans le monde et en Afrique

Tableau III- 1 : le tonnage d'emballage en plastique en Europe en 2000.

	TONNAGES	VARIATION 2000/1999
ALLEMAGNE	2 945 KT	+ 9,00%
FRANCE	1 773 KT	+ 2,00%
GRANDE BRETAGNE	1 649 KT	+ 0,70%
BELGIQUE	644 KT	+ 3,30%
PAYS BAS	520 KT	-15,00%

Les Etats membres ont donc dû prendre les mesures nécessaires à l'établissement de systèmes spécifiques de consigne, de collecte et de récupération. Ils peuvent mettre en place des programmes allant au-delà de ces objectifs à condition que leurs politiques n'entravent pas la création d'une politique similaire dans d'autres Etats membres.

La Directive expose un nombre important de domaines de standardisation relatifs aux exigences essentielles en matière de composition des emballages qui peuvent être réutilisés, récupérés et recyclés.

Afin d'atteindre ses objectifs, la directive invite toutes les parties impliquées (consommateurs, industries et autorités) à coopérer dans un esprit de responsabilités partagées. A cette fin, les Etats membres s'assureront que les utilisateurs d'emballages disposent de l'information nécessaire.

2.2 L'emballage plastique en France en 2000

Les matières plastiques représente :

- ✓ le premier matériau d'emballage en UVC (unité de vente consommateurs), toujours en augmentation avec cependant un maintien des tonnages grâce aux actions de prévention.
- ✓ le 2ème matériau d'emballage en chiffres d'affaires avec 4,6 millions d'Euros.
- ✓ le 3ème matériau d'emballage en tonnage avec 1 773 KT, soit 38% de la transformation française des matières plastiques. L'emballage constitue toujours le premier débouché des plastiques.

C'est aussi 286 entreprises (de plus de 20 salariés) pour 36 000 salariés.

Chapitre III Valorisation des déchets plastiques dans le monde et en Afrique

2.2.1 La valorisation des emballages plastiques ménagers

filière plastique d'ECO-EMBALLAGES, reprend auprès des collectivités locales les emballages plastiques ménagers collectés et triés pour en assurer leur recyclage.

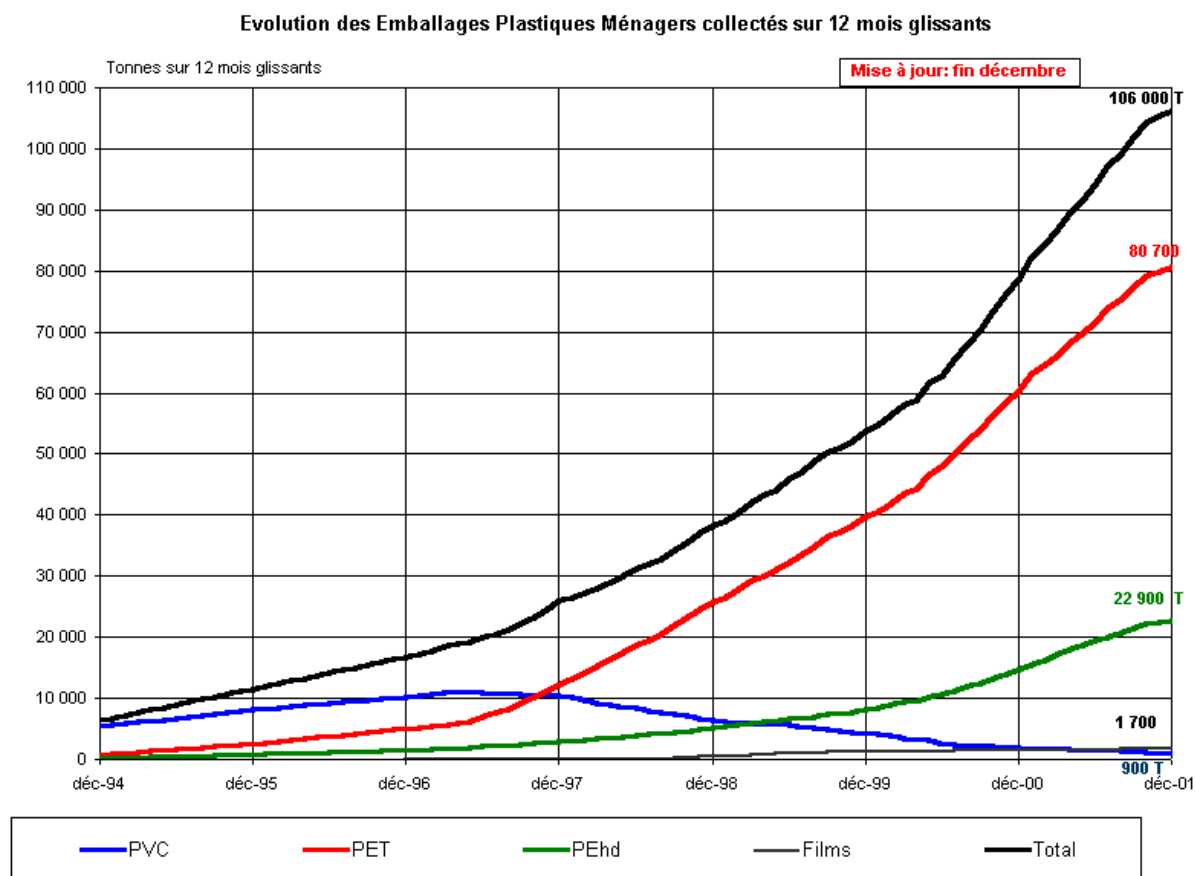


Figure [III.1] : Evolution des emballages plastiques ménagers collectés sur 12 mois glissants

Chapitre III Valorisation des déchets plastiques dans le monde et en Afrique

Tableau III- 2 : Collecte et tri des emballages en matière plastique

	1999 (t)	2000 (t)	VARIATION 2000/1999
PVC	4 195	1 968	-53 %
PET	39 771	60 266	+52 %
PEHD	8 606	14 835	+78 %
TOTAL Corps creux	52 572	77 069	+47 %
TOTAL Films et sacs	1 192	1 583	+33 %
TOTAL GENERAL	53 764	78 652	+46 %

■ En 2000, 37 millions d'habitants triaient leurs emballages en France, ce qui représente 999 collectivités locales sous contrats de reprise avec Valorplast via Eco-Emballages ou Adelphe. Le tri par matériau (PEHD, PET, PVC) est remplacé par un tri en trois flux (PEHD, PET clair, PET coloré + PVC) adapté aux évolutions du gisement des flacons et correspondant mieux aux besoins du marché des balles à régénérer. Les consignes de tri pour les flacons en PEHD ont été étendues (pas de limite de taille, acceptation de tous les produits d'entretien ménagers, etc.), ce qui explique la croissance forte de la reprise du PEHD. Les débouchés de produits recyclés se sont répartis à 90% en France et en Europe.

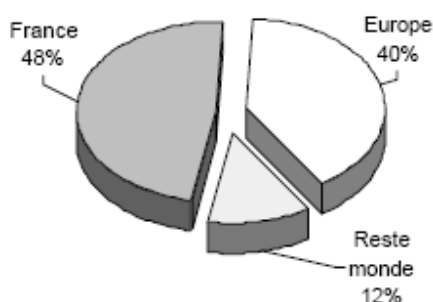


Figure [III.2] : Destination des balles de bouteilles en 2000

2.2.2 Comment recycler le plastique

Le recyclage du plastique est un enjeu de plus en plus crucial au fil du temps. Du fait des volumes impliqués à l'échelle mondiale, recycler le plastique devient une industrie mais la question concerne aussi les consommateurs qui peuvent avoir une influence sur la consommation, le gaspillage et le taux de recyclage du plastique. Voici quelques conseils toujours d'actualité pour savoir comment recycler le plastique.

Dans un pays comme la France, où chaque habitant produit entre 450 et 550 kg de déchets par an, il est essentiel de trouver des façons de recycler et réutiliser les produits comme le

Chapitre III Valorisation des déchets plastiques dans le monde et en Afrique

plastique et selon l'organisation Valorplast, la réutilisation du plastique est très rentable.

Les bénéfices d'un **bon tri du plastique** de la part des consommateurs sont remarquables : tout d'abord cela permet de faire des économies, avec une réduction de l'accumulation de plastiques résiduels, on diminue la pollution et les risques écologiques. En aidant au recyclage des plastiques, chaque citoyen peut réduire les tonnages et la nocivité.

Les plastiques nous envahissent. En voici quelques exemples : les films plastiques sont partout et on en utilise 1 million de tonnes par an en France dont 90 % sont enfouis et non recyclés.

- 1 Kg de film, sac ou sachet plastique recyclé = 0,8 Kg de pétrole brut économisé.
- En 2003 près de 5 milliards de bouteilles ont été recyclées en France. Cela représentait 4 bouteilles sur 10.
- Environ 1 Million de tonnes de film PE utilisé en France, et plus de 90 % sont encore enfouies et/ou incinérées à ce jour,
- Selon l'ADEME, la production annuelle de déchets des entreprises s'élève à 22 millions de tonnes, tous déchets confondus. 880 000 tonnes sur ces 22 millions concernent les déchets plastiques, polymères dérivés du pétrole.
- Selon l'ONU⁽¹⁾, l'université des Nations Unies, le plastique représente un enjeu crucial du recyclage des déchets d'équipements électriques et électroniques . Dans l'Union européenne, si 50 % de ce plastique était réutilisé, cela économiserait 5 millions de kilowattheures d'énergie et 2 millions de t d'émission de CO₂, soit l'équivalent d'1,6 millions d'allers-retours Paris New-York en avion.

Chapitre III Valorisation des déchets plastiques dans le monde et en Afrique



Figure [III.3] : Equivalence entre emballages collectés et plastique recyclé .

1.1.1 2.2.3 Les déchets plastiques recyclables

1.1.1.1 Seuls deux types de plastiques sont recyclés :

- Le **PET**, qui constitue les bouteilles transparentes ou colorées
- Le **PeHD**, qui constitue les bouteilles opaques (lait ou lessive).

Les autres plastiques comme le PVC ou celui des sacs de super marché ne sont pas recyclés, car cela coûte trop cher. À la place, ils sont brûlés dans les incinérateurs pour produire de l'énergie (on parle de « revalorisation énergétique »). Selon l'entreprise pétrolière *Total*, brûler un sac plastique permet de faire briller une ampoule de 60 [Watts](#) pendant 10 minutes.

1.1.1.2 Pourquoi recycler ces plastiques

Tout d'abord, parce que le plastique met entre **100 et 1000 ans** à se dégrader dans la nature. Cela peut avoir des conséquences sur la faune et la flore.

Et aussi pour **faire des économies** : recycler une tonne de bouteilles en PET permet d'économiser 830 litres de pétrole. Une bouteille en PET donne 7 cartes à puces, et 11 bouteilles en PeHD donnent un arrosoir.

Chapitre III Valorisation des déchets plastiques dans le monde et en Afrique

Comment recycler le plastique

Les plastiques en France représentent 11 % de déchets.

Le recyclage du plastique commence par la **collecte**. Les déchets sont amenés au centre de tri, où ils sont **triés** selon leur composition (PET ou PeHD).

Puis ils sont **compactés** pour être emmenés dans un centre spécialisé. Les bouteilles en PET sont secouées pour que les plus petits éléments partent, puis les étiquettes sont décollées grâce à la vapeur d'eau. Après ça, les bouteilles sont **broyées** en « paillettes », qui sont mises dans l'eau : les paillettes de bouchons flottent, celle de bouteille coulent. C'est comme ça que l'on spécialise le tri. Après avoir nettoyé ces paillettes, elles sont prêtes pour être réutilisées.

Les paillettes propres servent à produire toute une gamme de produits : fibres, rembourrage de couettes et sacs de couchage, moquettes, polaires, ... Pour produire de nouvelles bouteilles, les paillettes doivent être de nouveau traitées chimiquement pour en retirer les contaminants.

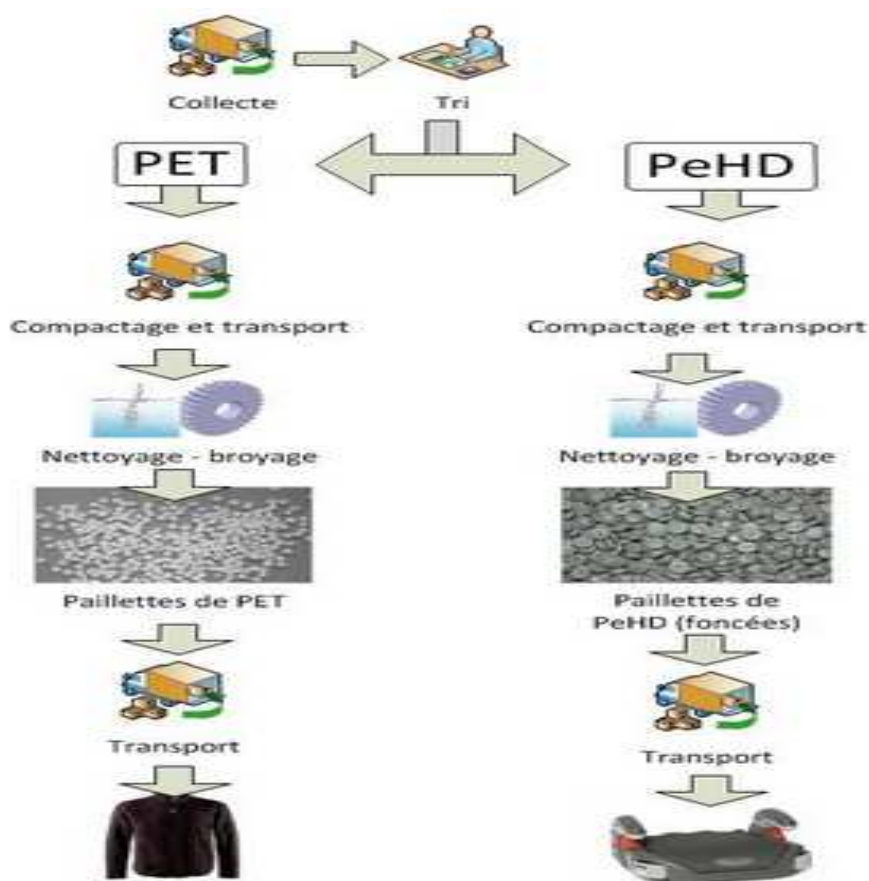


Figure [III.4] : Le recyclage des plastiques en France .

Chapitre III Valorisation des déchets plastiques dans le monde et en Afrique

Pour bien accomplir cette importante tâche, quelques conseils sont à retenir :

- Les flacons sont à jeter vides et sans le bouchon
- Il ne faut pas trier les emballages destinés aux liquides toxiques ou lubrifiants automobiles : insecticides, acides, décapants...
- Il y a des plastiques qui aujourd'hui ne sont pas recyclés, comme le PVS, les sacs plastiques, les films plastiques, les pots à yaourt ou les barquettes de biscuits ou légumes (en polystyrène) et blisters.
- Pour reconnaître les emballages plastiques aujourd'hui recyclés, il suffit de chercher les symboles suivants

Cependant, le plastique n'est pas recyclable à l'infini, comme le verre : le recycler ne fait que retarder le moment où il finira brûlé.

Les bouteilles opaques (en PeHD) sont elles aussi transformées en granulés selon le même procédé, mais donnent au final des produits différents : des tuyaux, des sièges auto pour enfant, des arrosoirs ... En mélangeant les paillettes de PeHD à du PeHD neuf, on peut même fabriquer de nouveau flacon opaques. Pour mieux retenir les points clés du recyclage du plastique et faciliter un bon tri au quotidien, l'infographie suivante peut être imprimée et collée dans la cuisine.



Figure [III.5]: Guide pour le recyclage du plastique .

Chapitre III Valorisation des déchets plastiques dans le monde et en Afrique

2.3 Trois pays très performants en matière de recyclage des emballages plastiques

L'Allemagne, la Belgique et la Suède sont trois Etats membres de l'UE qui obtiennent des taux élevés de recyclage de leurs emballages plastiques, grâce à des systèmes différents. Ces pays ont néanmoins quelques points communs :

- ils ont investi plus que les autres pour informer, encourager et dynamiser le recyclage ;
- ils ont commencé tôt et disposent d'un système national uniforme de collecte des emballages plastiques (« sac bleu» en Belgique) ;
- leur législation nationale décourage la mise en décharge et favorise le recyclage et la valorisation énergétique.

- Ils présentent aussi quelques différences non négligeables

S'agissant des emballages ménagers, la Belgique se concentre uniquement sur les bouteilles et collecte les bouteilles en plastique, les boîtes métalliques et les emballages pour boissons en carton dans un même sac bleu et par un seul et unique système national de collecte en porte-à-porte.

- ❖ L'Allemagne collecte tous les emballages ménagers en plastique, dont les bouteilles, les emballages rigides et les films, principalement par ramassage. La Suède a mis en place des points d'apport volontaire pour tous les emballages plastiques et s'appuie, dans une moindre mesure, sur le ramassage des ordures ménagères. Alors que l'Allemagne applique neuf systèmes de « Point Vert » différents, la Belgique n'utilise qu'un seul système national pour les emballages ménagers. En Suède et en Allemagne, de nouveaux systèmes tentent de concurrencer le système national d'origine pour tous les matériaux d'emballage.
- ❖ En Suède, la gestion des déchets de films industriels et commerciaux est régie par le libre marché. Il n'existe pas de système de collecte national, ni de redevance « Point Vert ». Pour autant, les taux de recyclage sont élevés
- ❖ En Belgique, le système VAL-I-PAC propose des primes spécifiques aux déballeurs afin d'augmenter le recyclage des déchets d'emballages industriels et commerciaux en plastique.

En Suède et en Allemagne, les emballages plastiques ménagers sont collectés et acheminés vers des installations de valorisation des plastiques conçues pour traiter les flux de plastiques en mélange. En Belgique, le tri s'effectue dans des installations de valorisation des matériaux, conçues pour trier les déchets du sac bleu.

Selon les déchets collectés et l'infrastructure des centres de tri, chaque organisme produit sa propre offre de matières premières secondaires qu'il commercialise.

D'autres organismes vendent le produit de leurs collectes aux recycleurs, ce qui dynamise le marché. C'est le cas des emballages ménagers dans certains pays. Un troisième modèle appliqué

Chapitre III Valorisation des déchets plastiques dans le monde et en Afrique

dans de nombreux pays repose sur des accords et un soutien financier, sans implication marchande.

Il ressort de ce qui précède que les systèmes de collecte, le tri et le traitement des flux diffèrent largement entre les trois pays qui, au demeurant, atteignent tous un taux de recyclage compris entre 40 et 44%. On doit donc en conclure qu'il n'existe pas de panacée. La formule gagnante consiste à prendre en compte la législation nationale, les types d'emballage commercialisés dans un pays, ainsi que sa culture entrepreneuriale. Le tout doit être soutenu par une infrastructure sans faille de collecte, de tri et de traitement ainsi que par une communication claire et intensive auprès des citoyens.

3. Les méthodes d'avenir pour recycler le plastique

3.1 La création d'une nouvelle génération de plastiques biodégradables

Leur durée de vie est contrôlée et adaptée à l'usage. Carbios proposera au marché des produits pour lesquels il sera possible de contrôler la biodégradation, pour garantir la durée de vie requise, en fonction de l'usage visé. Dans ce cadre, associer durabilité et biodégradabilité constitue un des challenges majeurs des industriels (comme Carbios) et ces nouveaux plastiques permettront d'assurer un avantage concurrentiel important face aux plastiques biodégradables actuellement commercialisés (dont la durée de vie n'est pas contrôlable) et devrait leur permettre de capter une part significative des marchés concernés ;

3.2 Le recyclage biologique

Un recyclage biologique des déchets plastiques par un procédé de dépolymérisation/repolymérisation, permettant d'obtenir des polymères de qualité identique à ceux obtenus directement à partir de pétrole ou de biomasse. Le recyclage pratiqué actuellement ne répond pas de manière satisfaisante aux besoins du marché, tant en terme de volumes traités qu'en terme de valorisation.

En permettant de recycler les déchets plastiques, sans qu'il soit nécessaire d'effectuer un tri sophistiqué, en récupérant séparément les monomères purifiés de chaque polymère présent dans les matériaux, les procédés de recyclage développés par Carbios présenteront un avantage concurrentiel indéniable par rapport aux techniques classiques de recyclage. Ainsi, alors qu'il est impossible de retrouver un polymère de qualité équivalente au polymère initial au travers des procédés de recyclage actuels, les procédés développés par CARBIOS permettront, en application secondaire, une réutilisation identique et de qualité équivalente au polymère d'origine ;

3.3 La production des biopolymères

Elle se fait à partir de biomasses brutes et peu exploitées, pouvant être couplée au procédé de recyclage par dépolymérisation/repolymérisation développé par la Société.

Chapitre III Valorisation des déchets plastiques dans le monde et en Afrique

4. Méthodes de valorisation du plastique

Il existe trois méthodes pour la valorisation de la matière plastique .

4.1. La valorisation énergétique

Consiste à incinérer les déchets plastiques pour récupérer l'énergie qu'ils contiennent sous forme de chaleur. Les plastiques, composés de pétrole raffiné, ont une capacité calorifique proche de celui-ci. Cette méthode de valorisation permet de recycler une grande partie des déchets plastiques. En revanche si elle est mal maîtrisée elle peut présenter des risques majeurs pour l'environnement et la santé des êtres vivants par l'émission de dioxines et de HAP, molécules cancérogènes présentes dans les fumées.

4.2. La valorisation matière, ou valorisation mécanique

Consiste à réutiliser les déchets plastiques avec un minimum de transformation de la matière. Cette technique est utilisée pour le traitement des déchets thermoplastiques. Elle repose avant tout sur une collecte sélective ou un tri des déchets plastiques à partir des ordures ménagères. Il est très souvent nécessaire d'avoir des déchets plastiques triés par type de résine plastique. Plus le tri est efficace, plus le produit en sortie de valorisation matière est de bonne qualité. Les expériences que nous présentons ci-après sont des modes de valorisation matière.

4.3. La valorisation chimique

Consiste à transformer la matière plastique en molécule de base (polymère, ester...), pouvant servir à la synthèse d'une nouvelle matière plastique, ou pour la pétro-chimie. Ces technologies sont encore peu développées ou limitées à certaines natures de résines plastiques. On ne les utilise que dans les pays du Nord et les pays émergents.

5. Méthodes de recyclage des déchets plastiques

Les méthodes de recyclage des plastiques les plus répandues sont :

5.1. La régénération

La régénération des matières plastiques est la technique la plus employée à travers le monde, que ce soit dans les pays du nord comme ceux du sud, puisque ce procédé permet de valoriser tous les thermoplastiques, soit 75 % de la production mondiale de plastique. La régénération consiste à produire de la poudre, des granulés ou du broyat à partir de déchets plastiques, comparables aux résines vierges, pour les réintroduire sur le marché international des résines plastiques.

Chapitre III Valorisation des déchets plastiques dans le monde et en Afrique

Cette technique impose une grande rigueur sur le tri des plastiques (car les différentes résines thermoplastiques sont non miscibles entre elles) et sur la propreté de la résine, pour qu'elle soit reprise par les industriels.

La régénération est la technique la plus efficace en termes de rendement de valorisation matière des déchets plastiques. Mais elle nécessite un équipement relativement coûteux et des compétences techniques.

5.2. Technique Générale

La régénération s'opère en plusieurs étapes : tri, lavage, séchage, broyage, extrusion, granulation.

Les unités de régénération peuvent être plus ou moins avancées dans leur processus de régénération et produire un sous-produit recyclé plus ou moins élaboré. Une unité de régénération n'est pas obligée d'avoir en charge toutes les étapes de production, on peut trouver un acteur pour chaque type d'opération.

On distingue deux grandes phases dans le processus de régénération :

✓ Phase 1 - Tri, lavage, séchage :

cette étape consiste à présenter un déchet plastique non-souillé et trié par type et qualité de résine pour les opérations de broyage, granulation, extrusion. Ces opérations peuvent être réalisées sans machine.

✓ Phase 2 - Broyage, extrusion, granulation :

cette étape va apporter une grande valeur ajoutée en transformant le déchet plastique en sous-produit commercialisable auprès de l'industrie plastique. Pour cela il est nécessaire de s'équiper en machine, dont la consommation électrique n'est pas négligeable, surtout pour l'extrusion.

La régénération du plastique permet de traiter tous les thermoplastiques avec le même équipement et selon le même procédé, seuls les paramètres de réglage des différentes machines changeront en fonction du plastique traité (température, vitesse de rotation de l'extrudeuse,...).

Chapitre III Valorisation des déchets plastiques dans le monde et en Afrique

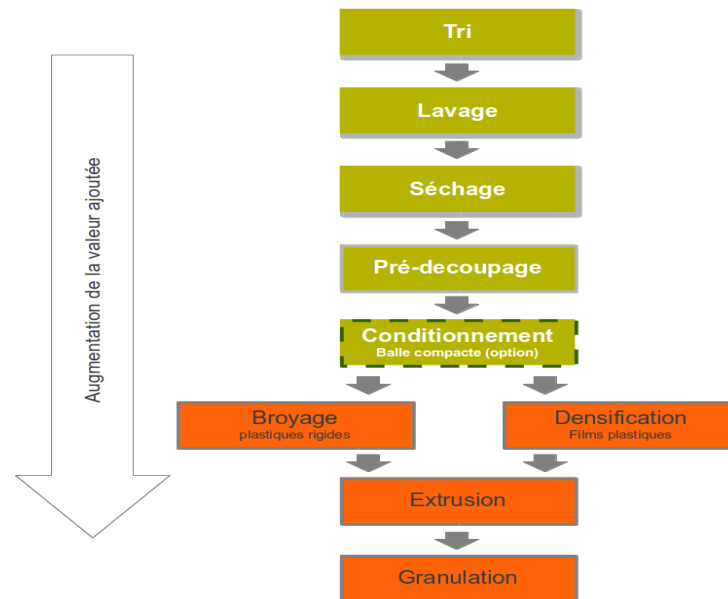


Figure [III.3] : Schéma du processus standard de régénération.

6. Valorisation des déchets plastiques en Afrique

6.1 Au Burkina Faso

Les véritables expériences de recyclage des déchets plastiques, sont quasi inexistantes au Burkina Faso.

L'une des plus anciennes expériences en matière de recyclage des déchets plastiques est réalisée par l'AIRTAE (Association pour l'Innovation et la Recherche Technologique Appropriée en Environnement). L'idée est venue à son coordinateur, car il a remarqué que les déchets plastiques étaient devenus très présents dans la ville entraînant des effets néfastes sur l'environnement et sur la santé. Son association comporte 120 femmes qui collectent, trient et nettoient les déchets plastiques. L'association fabrique des pavés, des bacs à fleurs, des manches à couteaux, des tableaux décoratifs et des jouets à partir du plastique recyclé. Il possède un brevet d'invention sur sa méthode de recyclage. D'autres initiatives de moins grande importance en matière de recyclage des déchets plastiques existent à Ouagadougou et dans d'autres villes du Burkina Faso.

A Ouagadougou, nous avons le projet pilote de la Mairie de Ouagadougou qui transforme des déchets plastiques en granulats et la présence de plusieurs petits artisans fabriquant des objets d'arts à partir des déchets plastiques.

A Bobo Dioulasso, capitale économique du Burkina Faso, un nouveau projet de recyclage des déchets plastiques vient de voir le jour. D'autres petits projets de recyclage existent à travers le pays, généralement initiés par des associations ou des ONG.

Chapitre III Valorisation des déchets plastiques dans le monde et en Afrique

6.2 Au Bénin

La gestion des déchets plastiques au Bénin est tributaire de celle des déchets solides en général. Ces déchets plastiques principalement constitués de sachets plastiques sont produits par trois principales sources que sont : les ménages, les entreprises et les industries. Dans une démarche de valorisation ou recyclage, le gisement en déchets plastiques au Bénin a été estimé à partir des quantités de déchets plastiques collectés lors de la collecte des ordures ménagères dans trois grandes villes que sont Cotonou, Porto-Novo et Parakou. Le tableau suivant présente les quantités de déchets plastiques dans les trois villes (Tractebel/Ecoplan, 2001).

Tableau III- 3 : Quantités totales de déchets plastiques dans trois villes du Bénin

Ville	Population (année 1992)	Taille moyenne des ménages (Nb de personnes)	Quantités moyennes de déchets plastiques par ménage (kg/an)	Quantité total (Tonnes)
Cotonou	700 144	5.7	22.17	2 723
Porte-Novo	233 637	5.7	17	696
Parakou	135 088	5.7	22.08	523
Total 3 villes	1 068 869	5.7	20.39	3 942

6.2.1 Le projet de recyclage AGRIPLAS de l'ONG BETHESDA

BETHESDA, ONG active dans plusieurs domaines a mis en place une unité de recyclage des déchets plastiques dans la région de Cotonou (AGRIPLAS). L'unité est approvisionnée en déchets plastiques par trois sources :

- La décharge de Hévié (86,58%).
- Le réseau de collecte des déchets de BETHESDA (10,63%).
- Le service de récupération des déchets non organiques (2,79%).

Les déchets plastiques reçus par AGRIPLAS sont classés en deux catégories :

- ✓ **Les films (LDPE, HDPE, PE et PP) :** Leur recyclage comprend les étapes de lavage, de séchage, de triage et d'agglomération.
- ✓ **Les plastiques rigides (HDPE, PP et PVC) :** Les étapes de recyclage sont constituées du triage et du broyage.

L'estimation (Agriplas 2001) de l'approvisionnement et de la production annuelle du plastique recyclé est présentée dans ce tableau.

Chapitre III Valorisation des déchets plastiques dans le monde et en Afrique

Tableau III- 4 : Estimation l’approvisionnement et de la production annuelle

Types de plastiques	Quantités approvisionnées (kg)	Quantité de granulés recyclés (kg)	Granulés (tonnes)
HDPE	16 186	15 342	15,3
LDPE	80 879	57 361	57,4
Total	97 065	72 703	72,7

✚ En mars 2001, l’unité avait une production de 1.5 tonnes par mois, et l’objectif était d’atteindre rapidement 4 tonnes par mois. Les produits obtenus (granulés) sont vendus à un intermédiaire nigérian

Si pour les ONG initiatrices de ce projet, la valeur sociale est importante et donc la rentabilité économique non indispensable, pour un projet d’envergure nationale celle-ci tient lieu prioritairement. Enfin, malgré une quantité de déchets plastiques recyclables assez faible (97 tonnes), l’expérience d’Agriplas permet de tirer un certain nombre d’enseignements intéressants pour une éventuelle unité à l’échelle du pays.

6.3 Le plastique pour paver les routes africaines

Le plastique étouffe littéralement l’Afrique, où les sachets se multiplient aussi bien à la ville qu’à la campagne. De nombreux états africains ont décidé de se débarrasser de ce fléau, instaurant des politiques de recyclage. C’est le cas du Burkina Faso, du Niger et du Mali qui ont su réutiliser intelligemment des sacs plastique pour en faire des objets du quotidien comme des tabourets, des pots de fleurs et des tables basses mais aussi pour réaliser des pavés qui servent à la construction de routes

6.3.1 Le plastique, plus solide que le ciment

Le plastique brûlé, mélangé à du sable se transforme en **matériau extrêmement solide, semblable à du goudron**. La méthode est présentée comme “simple, peu coûteuse et efficace”. 20 kg de déchets sont nécessaires à la fabrication de 5kg de matériau. Le port du masque est bien entendu obligatoire pour tous les ouvriers, du fait des émanations toxiques. Outre la solidité, l’autre sérieux avantage d’utiliser ce procédé pour paver les routes est que, contrairement au ciment, **le plastique ainsi transformé n’emmagine pas la chaleur** pour la libérer une fois la nuit tombée.

L’énorme avancée du point du vue environnemental ne laisse aucun doute, mais l’initiative prend aussi une autre dimension. C’est toute la population qui porte ce projet, si bien qu’ en plus de son intérêt écologique, **il revêt aussi un aspect social** : au Mali par exemple, les femmes et les enfants sont nombreux à ramasser les sacs plastique dans les rues ; non seulement ils participent au nettoyage mais ils perçoivent une rémunération récompensant leur geste (50 Francs CFA/kg, soit 7 centimes d’euros).

Chapitre III Valorisation des déchets plastiques dans le monde et en Afrique

6.3.2. Une deuxième vie aux sacs plastique

Deux associations burkinabè (Pengdwendé et AIRTAE – Association pour l’innovation et la recherche technologique appropriée en environnement) ont elles-aussi su revaloriser ces déchets plastique, tout en impliquant la population.

Ainsi, elles ont offert aux femmes Burkinabè de pouvoir suivre une formation leur apprenant à façonner ce matériau polluant de base en objets utilitaires.

Philippe Yoda, coordinateur de l’AIRTAE explique : « *J’ai eu l’initiative de recycler du plastique en faisant des recherches sur la gestion des déchets, surtout des sachets noirs. Je me disais qu’il fallait en faire des objets qui durent en les recyclant pour qu’ils ne soient pas jetés une nouvelle fois. Mais pour que cela soit faisable, il était indispensable de trouver comment mélanger les différents plastiques. J’ai trouvé un système qui a été breveté, et pour lequel j’ai déjà reçu huit médailles d’or. Il permet au plastique de remplacer le bois ou le ciment, qui souffrent du passage du temps* »

Tables basses, tabourets, bordures de jardin... le matériau ne s’abîme pas et permet de créer des objets solides et “longue durée”. Cette technique profite à des centaines de femmes qui ont appris un nouveau métier et qui à leur tour, l’enseignent à d’autres.

L’association *Les Filles du Facteur* basée à Paris et dont l’objet est l’aide aux femmes en difficulté (notamment celles issues de l’immigration en France et celles vivant en milieu rural en Afrique) fait découvrir cette technique du crochet, transformant de simples sacs en objets mode ou déco

7. Valorisation et recyclage des déchets plastiques dans le béton

La valorisation des déchets dans le génie civil est un secteur important dans la mesure où les produits que l’on souhaite obtenir ne sont pas soumis à des critères de qualité trop rigoureux. Le recyclage des déchets touche deux impacts très importants à savoir l’impact et l’impact économique. Donc plusieurs pays du monde, différents déchets sont utilisés dans le domaine de la construction et spécialement dans le ciment ou béton comme poudre, fibres ou agrégats. Ce travail s’intéresse à la valorisation d’un déchet qui est nuisible pour l’environnement vu son caractère encombrant et inesthétique il s’agit du déchet plastique.

Trois types de déchets plastiques sont ajoutés dans le béton (sous forme de grains et fibres (ondulées et rectilignes). Les propriétés à l’état frais (maniabilité, air occlus et densité) et à l’état durci (résistance à la compression, à la traction, retrait et absorption d’eau) des différents bétons réalisés sont analysées et comparées par rapport leurs témoins respectifs. D’après les résultats expérimentaux on peut conclure que le renforcement de la matrice cimentaire avec des fibres plastiques ondulées montrent une nette amélioration de la résistance à la traction du béton ainsi qu’une diminution remarquable de sa capacité d’absorption de l’eau lorsqu’on utilise des grains plastiques. Sur la base des résultats obtenues on conclut que :

Chapitre III Valorisation des déchets plastiques dans le monde et en Afrique

- ✓ le béton de déchets plastiques est peu compact par rapport au béton naturel et présente une difficulté de mélange et de mise en oeuvre en fonction du pourcentage et du type d'ajout en déchets plastiques (grains ou fibres).
- ✓ Le béton armé de fibres plastiques (surtout en forme ondulée) résiste mieux à la flexion par la traction en comparaison au béton naturel. Néanmoins un risque de retrait supplémentaire est possible pour un dosage élevé en pourcentage de fibres, c'est pourquoi un pourcentage de 1% en fibres à ne pas dépasser est conseillé.

8. Valorisation de déchets plastiques des Pays-Bas

8.1. Une route en plastique recyclé

Avec une durée de vie estimée à 50 ans, les routes en plastique recyclé seraient moins affectées par la corrosion et nécessiteraient un moindre entretien. La ville de Rotterdam veut créer des routes en plastique recyclé. Brevetée par l'entreprise hollandaise de BTP VolkerWessels, l'idée est écologique et économique : les routes en plastique auraient une durée de vie trois fois plus longue que celles en goudron.

Connus pour leur amour du vélo, les néerlandais se lancent dans la construction d'une piste cyclable totalement constituée de plastique recyclé. Si l'expérience est concluante, la ville pourrait l'étendre à l'ensemble de ses routes.

Pour l'instant le concept n'est qu'à l'état de papier, mais une série de tests réalisés dans un centre de Rotterdam devrait permettre la mise en place effective du projet dans trois ans (en 2017).

La deuxième étape est de construire un prototype et de le tester dans un laboratoire pour vérifier la sécurité du matériel, notamment lorsqu'il est humide ou glissant. Cherchant des partenaires qui souhaitent collaborer sur le projet pilote, aussi bien que des fabricants de l'industrie du plastique.

8.2. Des routes plus coûteuses mais plus résistantes

Constituées de plastique recyclé, les routes de VolkerWessels seront construites dans des usines puis assemblées directement sur la surface désirée, un peu à la manière des Lego. Les différents tracés seront directement inscrits sur les pans de route, avant même qu'ils soient posés. Ce système permet aux routes d'être installées en plusieurs semaines, au lieu des quelques mois actuels.

Le plastique offre toute sorte d'avantages, comparé aux méthodes de construction actuelles. A la fois sur la pose des routes et sur leur maintenance

Le coût d'une telle organisation est supérieur à celui que requiert le coulage de béton, mais selon VolkerWessels, cela peut largement être compensé par la durabilité de son matériel.

Chapitre III Valorisation des déchets plastiques dans le monde et en Afrique

Avec une durée de vie estimée à 50 ans, les routes en plastique recyclé seraient moins affectées par la corrosion et nécessiteraient un moindre entretien. Pouvant résister à des températures extrêmes, allant de -40° à 80° Celsius, le matériel proposé par l'entreprise hollandaise pourrait permettre le développement de routes extrêmement silencieuse ou même chauffées.

8.3. Une empreinte écologique limitée

Les routes en plastique sont aussi une alternative au béton, dont l'asphalte produit 96 million de tonnes de CO₂ par an. Prisée par les ingénieurs, l'épaisse substance noire est bon marché, facile à installer mais reste très polluante.



Figure [III.5] : Une route en plastique recyclé .

9. Recyclage du plastique en carburant au Royaume Uni

Le groupe Suez Environnement a annoncé dans un communiqué début novembre l'accord de sa filiale implantée au Royaume-Uni, Sita UK, avec l'entreprise britannique Cynar Plc, spécialisée dans les nouvelles technologies de conversion, dans le but de transformer des déchets plastiques, jusque là destinés à la décharge, en carburant diesel.

Tout l'intérêt réside effectivement dans la solution trouvée pour ces déchets, jusque là non valorisables, et dont on sait la dégradation fort lente. Des essais avaient déjà été tentés en Australie en

Chapitre III Valorisation des déchets plastiques dans le monde et en Afrique

2006 et en Allemagne en 2007, pour la transformation de plastique en combustible. Mais ces initiatives étaient embryonnaires, elles ne permettaient pas d'utiliser le diesel obtenu directement dans les véhicules, sans transformation.

La qualité du carburant obtenu par Cynar par contre lui permettrait d'être utilisé directement, sans transformation du moteur. Le procédé utilise la pyrolyse : les déchets traités à 370°-420° C sont transformés en gaz, puis condensés et fractionnés pour produire une distillation, et le communiqué précise :

Ce processus de valorisation des déchets plastiques devrait conduire à une production à un coût inférieur à celui du diesel normal, sans compter que le combustible lui-même ainsi obtenu devrait avoir une empreinte carbone moins élevée que le diesel classique. Les qualités de combustible de ce diesel issu du recyclage seront parfaitement comparables à celles du diesel conventionnel, sans imposer un raffinage supplémentaire, ce qui garantit son adéquation à un usage commercial.

Une tonne de déchets de plastique permet ainsi de produire 750 litres de combustible, et le projet est de grande ampleur. L'objectif visé porte sur la construction de 10 usines. Chaque usine est conçue pour assurer la conversion de quelque 6.000 tonnes de déchets plastique mixtes par an, en ciblant plus précisément les déchets plastique mixtes normalement destinés à la décharge. Chacune devrait produire plus de 4 millions de litres de combustible diesel. Ce qui reviendrait au total à traiter 60 000 tonnes de plastiques mixtes chaque année. La mise en service de la première usine devrait intervenir fin 2011. On peut noter deux autres avantages, économique pour l'un, écologique pour l'autre :

Ce processus de valorisation des déchets plastiques devrait conduire à une production à un coût inférieur à celui du diesel normal, sans compter que le combustible lui-même ainsi obtenu devrait avoir une empreinte carbone moins élevée que le diesel classique .

10. Autres types de valorisation des déchets plastiques

10.1. plastiques deviennent des combustibles

Les déchets de matières plastique peuvent être également utilisés comme combustibles. En effet, ces déchets possèdent un pouvoir calorifique élevé qui est équivalent à celui du charbon ou du pétrole. INDAVER possède une installation pour transformer les déchets de matières plastiques en granulés combustibles, autrement dit l'installation EVA, qui est l'acronyme de Energie Valorisation Afval (= déchets à valorisation énergétique). Combinés aux combustibles fossiles traditionnels, les déchets de matières plastiques peuvent servir de combustible dans les centrales de production d'énergie et les hauts-fourneaux, ou remplacer le charbon dans des processus absorbant de l'énergie, comme la fabrication du ciment par exemple.

Actuellement, des tractations sont en cours avec les parcs à conteneurs pour l'utilisation des déchets d'emballages provenant de plastiques mélangés. La condition est toutefois que les déchets de matières plastiques contiennent une proportion peu élevée de matériaux de

Chapitre III Valorisation des déchets plastiques dans le monde et en Afrique

construction en plastique, étant donné que ceux-ci sont surtout constitués de PVC. Ces produits peuvent contenir du plomb et du cadmium, utilisés comme stabilisateurs du PVC. En outre, la teneur en chlore doit être limitée dans certains processus de récupération d'énergie en raison du risque de corrosion impliqué ici.

Une autre possibilité consiste à incinérer les déchets de matières plastiques avec les ordures ménagères tout en récupérant leur énergie sous forme de chaleur et/ou d'électricité. En Suède, des quartiers résidentiels ont été dotés d'un chauffage urbain basé sur l'incinération des déchets de matières plastiques dans des fours d'incinération. La récupération d'énergie s'établit dans ce cas à environ 85 %. En Belgique, le chauffage urbain n'est pas réalisable pour l'instant en raison d'une infrastructure qui n'est pas adaptée. La récupération d'énergie n'est, bien entendu, possible qu'à la condition que la qualité de la combustion et de l'épuration des fumées soit suffisante. Ces dernières années, la technologie des installations d'incinération a été améliorée dans une mesure telle que les normes européennes les plus sévères peuvent être respectées sur le plan des émissions de dioxine. Il est d'ailleurs apparu qu'en ce qui concerne les émissions de dioxine, la présence ou l'absence de PVC dans les ordures ménagères n'entraînait aucune différence. Le Livre Vert de la Commission européenne confirme aussi que "pour les quantités de chlore contenues actuellement dans les déchets urbains, il ne semble pas y avoir de lien quantitatif direct entre la teneur en chlore et la formation de dioxine".

10.2. Les déchets de matières plastiques remplacent le coke

Aux Pays-Bas, une expérience avec des ordures ménagères est en cours depuis 1999. Après la séparation mécanique des déchets de matières plastiques des résidus, ces plastiques sont transformés en granulés combustibles pour les centrales productrices d'électricité. Ces granulés portent le nom de 'subcoal' et constituent un combustible de grande valeur qui remplace le charbon. Bien entendu, la question est de savoir si leur utilisation est bénéfique pour l'environnement.

D'après les premiers résultats, il semble que le subcoal permet de réaliser des économies d'énergie et de matière première, à savoir le charbon. L'utilisation du subcoal entraîne une réduction des émissions de gaz à effet de serre (CO₂) et les émissions des centrales productrices d'électricité demeurent dans les normes. La première conclusion que l'on peut tirer est par conséquent que l'utilisation du subcoal est profitable à toutes les parties.



Figure [III.6] : dévers valorisations des déchets plastiques

11. Conclusion

La valorisation est ainsi une réponse à la problématique de déchets plastiques. Elle diffère aussi selon les contextes et le niveau de développement de chaque pays. L'économie des déchets génère des emplois et des revenus.

Dans les pays du Sud, il reste encore des efforts à faire pour impliquer encore tous les acteurs dans la valorisation. Chaque expérience reste relativement spécifique, mais il se dégage l'idée d'une incitation économique viable pour les acteurs qui souhaitent se lancer dans cette filière. Regards croisés, expériences diverses dans la gestion des déchets, complexité ici et là, des coûts non négligeables... mais aussi des emplois et des revenus. Nous sommes le début et la fin de ce processus

Chapitre IV

Gestion des sachets plastiques en Algérie

1. Introduction

Les sacs plastiques sont extrêmement utilisés servent à emballer dès que l'on achète une marchandise (vêtement, objet, nourriture, ...). Par exemple pour des cartes postales, chaque carte est emballée dans un sac plastique et l'ensemble des cartes dans un autre ; pour la nourriture, chaque aliment est emballé dans un ou plusieurs sacs plastiques ... Le sac plastique reste un des emblèmes de notre société de consommation, société qui n'est ni plus ni moins une société productrice de déchets. Sa durée d'utilisation est de quelques minutes, mais sa durée de vie s'étend potentiellement sur plusieurs siècles.

La population a pour habitude de jeter ces sacs plastiques par terre. Sachant qu'ils ont une durée de vie de 100 à 400 ans, cela pose de nombreux problèmes aux niveaux environnemental et sanitaire :

- ✓ L'accumulation des sachets diminue la capacité d'absorption des sols, ce qui provoque l'imperméabilité des sols et donc des inondations.
- ✓ Les sacs plastiques polluent également les nappes phréatiques ; ce qui se révèle être la cause de l'intoxication des habitants qui consomment cette eau.
- ✓ De plus, ces déchets répandus dans la nature stérilisent et appauvrissent progressivement les sols. Les processus de minéralisation, de fertilisation, d'humidification et de décomposition de la matière organique des sols sont ainsi entravés.
- ✓ Nombreux sont les animaux (volailles, bétails, animaux marins) qui meurent à cause des sacs plastiques. En effet, la prolifération des sacs plastiques est telle que les animaux en ingurgitent et meurent par intoxication.
- ✓ L'incinération non contrôlée des ordures ainsi que l'utilisation des sacs plastiques comme combustible, consommés par la plupart des ménages togolais pour la cuisine, se révèlent très néfaste pour la santé. En effet, les fumées dégagées sont toxiques et elles provoquent des cancers, des bronchites et d'autres maladies respiratoires et de la peau.
- ✓ Tous ces plastiques bouchent également les caniveaux. Ce sont des nids à moustiques et autres insectes qui favorisent l'insalubrité de la ville, et donc la propagation du choléra, de la fièvre typhoïde et de bien d'autres maladies.

2. Généralités sur la gestion des déchets en Algérie

L'Algérie est un vaste pays qui couvre une superficie de plus de 2 381 000 km², est composé de 48 wilayas. Sa population s'élève à 37,1 millions d'habitants en janvier 2012 répartis sur 1541 communes. Le taux de croissance démographique qui était très élevé dans les années 80-90 est en nette régression et ne s'élève plus qu'à 1,21 %. Cette population est par ailleurs inégalement répartie, puisque 4 % du territoire Nord abrite presque 65 % de la population globale. Cette répartition spatiale de la population et le fort taux d'urbanisation qui a atteint ces dernières années un niveau de 61 % ont engendré de forte pression sur l'environnement, en particulier dans le nord du pays.

L'Algérie vit une crise écologique : dégradation du cadre de vie, intensification de pollutions diverses, prolifération des déchets urbains et industriels, gestion inadéquate des déchets,... etc. C'est ainsi qu'en absence d'une stratégie cohérente et efficace, la gestion des déchets ménagers n'était pas maîtrisée et ne répondait nullement aux normes universellement admises et ce malgré l'adoption dès 1984 de toute une panoplie de textes juridiques. Sur le terrain cela s'est traduit par l'apparition des milliers de décharges sauvages et dépotoirs. Pour des raisons diverses, les collectivités locales n'arrivaient pas à assumer la propreté des villes .

2.1 Cadre institutionnel

Le ministère de l'aménagement de territoire et de l'environnement (MATE) crée en 2000, est l'institution centrale dans le domaine de l'environnement, il est chargé de la mise en oeuvre d'une politique moderne de développement durable, d'un côté et d'autre côté, il doit élaborer et mettre en place un plan national de gestion intégrée des déchets afin de composer un ensemble d'actions et de mesures qui visent notamment à:

- ✓ Une réduction de la quantité de déchets ;
- ✓ Une gestion économique et environnementale saine des déchets ;
- ✓ Permettre une gestion globale et intégrée du secteur des déchets solides ;
- ✓ Rechercher une répartition optimale entre les secteurs public et privé visant l'efficacité ; maximale et en préservant l'équilibre sociale du secteur ;
- ✓ Décentraliser l'autorité et la responsabilité vers le plus bas niveau susceptible de les assumer.

Au niveau des wilayas, l'état a créé des services décentralisés chargés de l'environnement.

2.1.1 Les inspections régionales de l'environnement

créées par décret n°88-227 du 5 novembre 1988 portant attribution, organisation et fonctionnement des corps d'inspecteurs chargés de la protection de l'environnement. Ces inspections ont pour mission de veiller au respect de la législation et de la réglementation dans le domaine de la protection de l'environnement, de constater et de rechercher les infractions en la matière.

2.1.2 Les Directions de l'environnement de wilaya (DEW)

créées par décret exécutif n°96-60 du 27 janvier 1996 portant la création de l'inspection de l'environnement de wilaya.

Les directions de wilaya ont trois grands axes d'activités : la coordination, le contrôle et l'information. La coordination nécessite de mettre en liaison les organes de l'état, des wilayas et des communes afin d'établir un programme de protection de l'environnement sur l'ensemble du territoire de la wilaya et de prendre des mesures visant à prévenir toutes les formes de dégradation de l'environnement (pollution, nuisance, érosion des sols,...etc.). Le contrôle en matière de la délivrance des permis, des autorisations et des visas dans le domaine de l'environnement prévus par la législation. En plus, elles complètent ce contrôle par, des mesures qui peuvent améliorer le cadre et la qualité de vie des populations, des propositions en matière de législation et réglementation environnementale. Le troisième axe est celui de l'information qui permet aux directions de l'environnement de promouvoir des actions d'information, d'éducation et de sensibilisation en matière d'environnement. Le MATE a mis en place trois organes intermédiaires (organismes sous tutelle) :

- ✓ **L'observatoire national de l'environnement et de développement durable (ONEDD) :** Créé le 3 avril 2002. C'est un établissement public à caractère industriel et commercial (EPIC), doté de la personnalité morale et de l'autonomie financière. L'observatoire est régi par les règles applicables à l'administration dans ses rapports avec l'état et il est réputé commerçant dans ses relations avec les tiers.
- ✓ **Le conservatoire national des formations à l'environnement (CNFE) :** Il est chargé d'une mission d'information et de formation, c'est une action de sensibilisation et d'éducation environnementale. Plus de 150 établissements ont été retenus dans un premier temps pour l'année scolaire 2002-2003 (METAP, 2004).
- ✓ **L'agence nationale des déchets (AND) :** Créée par le décret exécutif n°02-175 du 20 mai 2002. Elle permet de disposer d'un instrument adéquat pour apporter de l'aide aux collectivités locales en matière de mise en oeuvre de la politique nationale des déchets. L'AND a un statut d'EPIC qui lui confère deux caractères, le premier est commercial en matière d'études et de recherche dans ses rapports avec les tiers, le second est le rôle d'un service public avec l'administration et qui est essentiellement l'assistance aux collectivités locales dans la gestion des déchets. Elle permet également de promouvoir les activités liées à la gestion intégrée des déchets, notamment les activités de tri, de collecte, de traitement, de valorisation et d'élimination des déchets, d'un côté, et d'autre côté, elle contribue à la réalisation d'études, recherches et projets de démonstration, en diffusant l'information scientifique et technique, et en aidant la mise en oeuvre de programmes de sensibilisation et d'information. En plus, de ces missions, l'AND doit aider à la création des micro-entreprises spécialisées par des mesures financières et fiscales.

2.2. cadre législatif

L'Algérie a adopté plusieurs lois et décrets dans le domaine de l'environnement. En ce qui concerne la gestion des déchets, on trouve :

- Le décret n°84-378 du 1984 relatif aux conditions de nettoyage d'enlèvement et de traitement des déchets solides urbains;
- Loi n°01-19 du 12 décembre 2001, relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets ;
- Loi n°02-02 du 05 février 2002, relative à la protection et la valorisation du littoral ;
- Loi n°03-10 du 19 juillet 2003, relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable ;
- Décret exécutif n° 02-175 portant sur la création de l'Agence Nationale des Déchets ;
- Décret exécutif n° 04-410 fixant les règles générales d'aménagement et d'exploitation des installations de traitement des déchets et les conditions d'admission de ces déchets au niveau de ces installations ;
- Décret exécutif n° 07-205 fixant les modalités et procédures d'élaboration, de publication et de révision du schéma communal de gestion des déchets ménagers et assimilés ;
- Décret exécutif n° 02-372 relatif aux déchets d'emballage ;
- Décret exécutif n° 04-199 fixant les modalités de création, d'organisation, de fonctionnement et de financement du système public de traitement et de valorisation des déchets d'emballages « ECO-JEM ».

2.3. Organisation de la gestion des déchets en Algérie

La gestion des déchets consiste en toute opération relative à la collecte, au tri, au transport, au stockage, à la valorisation et à l'élimination des déchets, y compris le contrôle de ces opérations (article 3 de la loi 01-19). A partir de cette définition, on distingue six opérations dans le mode de gestion des déchets existant en Algérie:

2.3.1. La collecte des déchets :

est l'opération de ramassage et/ou le regroupement des déchets en vue de les transférer vers un lieu de traitement.

2.3.2. Le tri des déchets

est la séparation des déchets selon leur nature en vue de leur traitement, par exemple le papier, plastique,...

2.3.3. La valorisation des déchets :

est la réutilisation, le recyclage ou le compostage des déchets. Le recyclage consiste à valoriser des produits usés ou des déchets. Le compostage est un processus biologique dans lequel les déchets organiques sont transformés par des microorganismes en un produit valorisable appelé compost.

2.3.4. L'élimination des déchets

comprend les opérations de traitement thermique, physico-chimique et biologique, de mise en décharge, d'enfouissement, d'immersion et de stockage des déchets, ainsi que toutes les autres opérations ne débouchant pas sur une possibilité de valorisation ou autre utilisation du déchet.

2.3.5. Immersion des déchets

tout rejet de déchets dans le milieu aquatique.

2.3.6. Enfouissement des déchets

Tout stockage des déchets en sous-sol. La législation Algérienne rend les communes responsables de l'ensemble des déchets ménagers et assimilés. Afin qu'elles assument pleinement cette responsabilité, elles doivent organiser sur leur territoire, un service public permettant de satisfaire les besoins collectifs des habitants en matière de collecte, transport et de traitement de ces déchets. Par ailleurs, la concession représente le mode par lequel le secteur privé formel est exercé en Algérie. La loi 01-19 du 12 décembre 2001 prévoit l'ouverture de service public de gestion des déchets urbains à l'investissement privé et à la concession.

Dans le domaine du recyclage et de la récupération des déchets, quelques opérateurs privés agissent actuellement, et des petites entreprises ont été créées dans le cadre de l'ANSEJ, de l'ANGEM et de l'ADS.

Le secteur informel représenté par des familles, des entreprises non enregistrés et des individus. Ces entreprises sont à petite échelle, avec une grande intensité de main d'œuvre

s'occupant de la collecte et le tri des déchets. Les matériaux les plus collectés sont de types différent : papiers, plastique, métaux (cuivre).

3. Fonctionnement de la gestion des déchets en Algérie

Afin d'assurer le bon fonctionnement du service des déchets, plusieurs acteurs sont actifs dans les différents segments du service, soit au niveau national, régional ou même local. Cependant, le mode de gestion variera d'un pays à un autre, d'une gestion directe au marché public en passant par la délégation et la concession. Nous développerons ces deux points sur le cas algérien juste ci-après.

3.1 Acteurs de la gestion des services des déchets

La gestion des déchets municipaux est organisée d'une façon générale dans les pays en voie de développement en trois secteurs : le secteur public qui a une responsabilité de contrôle et de mise en application des dispositions de certains services urbains y compris la gestion des déchets solides, le secteur privé formel engagé dans la gestion des déchets notamment, la collecte et le recyclage, et le secteur privé informel engagé dans la réutilisation de certains types de déchets (Taylor, 1999).

3.2 Mode de gestion du service public de déchets

Un service public doit répondre à une activité d'intérêt général rattachée d'une manière ou d'une autre à une personne publique. Ce rattachement peut se manifester de différentes manières. La plus évidente est la prise en charge directe par une personne publique. En Algérie, le service d'enlèvement et d'élimination des déchets relève actuellement de quatre modes de gestion : la gestion directe, l'établissement public à caractère industriel et commercial, le marché public et la délégation de service public.

3.2.1. Gestion directe.

Au sens de la gestion directe, l'activité n'est prise en charge que par la collectivité. Elle la finance et l'assure par son personnel et par ses propres équipements. Ledit service est géré directement sous forme de régie, prévu par la loi et le code communal. Ce mode de gestion est le plus adopté par la majorité des communes algériennes.

3.2.2. Établissement public

Il s'agit d'une personne morale de droit public juridiquement et financièrement distincte de l'autorité qui l'a créé et à laquelle il demeure rattaché par un acte de contrôle (tutelle). On distingue les établissements publics administratifs (**EPA**) et les établissements publics industriels et commerciaux (**EPIC**). Ils sont administrés par un Conseil d'Administration. La tutelle est exercée par la personne publique créatrice. Le budget est non annexé à celui de la collectivité et est soumis aux règles de la comptabilité publique. Par-delà les communes, les **EPIC** sont aussi bien compétents en matière de collecte que de traitement des déchets municipaux. Ce mode de gestion est peu développé en Algérie. Il a fallu attendre la fin des années 2000 pour avoir un décret qui prévoit les modalités de création de ces EPIC, notamment ceux qui gèrent les

nouveaux CET. À titre d'illustration, on peut s'attarder sur le service public des déchets au niveau de la wilaya d'Alger confié à l'EPIC Net Com. Créé en 1996, il opère sous la tutelle de la Direction de l'Environnement de la wilaya d'Alger et gère actuellement 28 des 57 communes (contre 15 en 1996) que compte cette wilaya. Ce qui représente 96 329 habitants (RGHP, 1998). En 2003, Net Com a collecté 39 910 tonnes de déchets ménagers, soit une quantité moyenne de 109 tonnes par jour avec un ratio moyen par habitant de 0,83 kg/hab/jour. Le financement provient à 100 % de la TAPD que prélève la Wilaya sur les budgets communaux. Net Com assure les activités de collecte, balayage et lavage sur la base d'un schéma sectoriel définissant les zones d'activités, leurs itinéraires, les moyens d'intervention, ainsi que les régimes et horaires de travail. En plus, il gère le centre d'enfouissement technique d'Ouled Fayet. Il est prévu que les activités de Net Com soient étendues à quatre autres communes d'Alger en plus des 28 gérées actuellement. Dans la même foulée, un EPIC est créé par la wilaya de Blida pour gérer ses infrastructures sous la dénomination **EPGM**, établissement public intercommunal de gestion des déchets solides de la Mitidja (AND, 2007). Les EPIC auront tendance à se développer davantage dans les années à venir du fait de la mise en œuvre du PROGDEM et de la création de plus de 100 CET au niveau national .

3.2.3. Délégation de service public (concession)

Le code communal indique clairement que lorsque les services publics locaux ne peuvent être exploités en régies ou en établissements, la commune peut les concéder en respectant un cahier de charges. L'article 33 de la loi de 2001 prévoit que l'assemblée populaire communale peut concéder à des tiers tout ou partie de la gestion des DMA, des déchets encombrants et des déchets spéciaux générés en petite quantité par les ménages.

La concession est un contrat par lequel la collectivité confie à un tiers l'exploitation du service, sous son contrôle. Elle intervient en général dans les villes accusant des défaillances en matière d'équipements et d'agents de collecte de déchets municipaux.

4. La meilleure gestion des déchets en Algérie

Une manifestation dont les objectifs sont ; la protection de l'environnement et le recyclage des déchets, les organisateurs ont retenu un programme riche et varié durant trois jours.

La ville des Ouadhias (20 km au sud de Tizi Ouzou) a abrité durant trois jours la deuxième édition de l'Eco-carnaval Djurdjura, organisée les associations Trait d'Union, Imazighen-Environnement de France et Ithran d'Ath El-Kaïd, en collaboration avec l'APW, les directions de la culture, de la jeunesse et des sports, de l'environnement, et bien sûr avec l'APC des Ouadhias. En effet, pour cette manifestation, dont les objectifs sont la protection de l'environnement et le recyclage des déchets, les organisateurs ont retenu un programme riche et varié durant ces trois jours. Ainsi, depuis le lancement des activités ponctuées de nombreuses expositions au parc communal, le centre-ville était si animé que les rues n'ont pas désempilé en raison de cette forte affluence en dépit d'un soleil de plomb.

Six wilayas, à savoir Illizi, Tamanrasset, Tébessa, Oran, Tipaza et Mila, ont marqué leur présence

à ce rendez-vous dédié à l'environnement, d'autant plus que l'année 2013 est placée sous le signe de sa protection. Ce qui est notable d'être signalé c'est l'hospitalité dont ont été gratifiés les invités par les habitants du village d'Ath El-Kaïd (classé au patrimoine national depuis 2006) d'une part, et d'autre part par les membres de l'association Ithran et le comité du même village qui les ont pris en charge totalement.

Côté expositions, les associations issues de daïras de la wilaya, à savoir Beni Douala, Iferrhounène,

Aïn El-Hammam, Larbâa Nath Irathen, Draâ El-Mizan, Bouzguène, Tizi Rached, Ouadhias, ont chacune de son côté présenté les objets obtenus à base de papier, de verre, de plastique, de bois récupéré dans la nature. Les visiteurs ont eu droit à des chefs-d'œuvre.

C'est dire que dans la nature rien ne se perd, mais tout se recycle. C'est une opportunité donnée à tous ceux qui veulent faire du recyclage leur credo, notamment avec tout ce qui se fait ici et là pour être en communion avec l'écologie, d'autant plus que les organismes qui peuvent jouer un rôle prépondérant dans la création de microentreprises (Ansej, Cnac, Angem) étaient de la partie. Le 15 juin, dès 9h, les enfants arborant de belles tenues ont commencé à se regrouper à l'entrée de la ville. Le coup d'envoi de ce défilé de 600 enfants, venus de différentes daïras, a été donné par le comité d'organisation. Ils ont parcouru ce tronçon de la RN30, d'ailleurs interdit à la circulation pour cet événement, du marché des Ouadhias jusqu'au centre-ville. A l'arrivée au centre-ville, ce fut la visite de tous les stands. En parallèle, il y a eu des troupes théâtrales et des animations musicales. Dans l'après-midi, le ton est donné aux conférences. Ainsi, des docteurs et des universitaires ont exposé des thèses sur le recyclage et l'environnement. On retiendra la présence de Rabah Lekadir, de M. Chenane et de M. Hammoum qui, tour à tour, axeront leurs interventions sur des thèmes tels que "Perspectives de la gestion des déchets en Algérie, gestion des déchets : volet juridique et avantages". Au terme de cette rencontre, les trois premiers produits ont été primés. "C'est une réussite complète. Nous avons atteint les objectifs assignés à cette édition. Nous remercions tous ceux qui ont contribué de loin ou de près à cette deuxième édition", dira Mme Cherief Safia, une organisatrice à cet Eco-carnaval Djurdjura sur l'environnement. Quant à la quatrième journée supplémentaire au programme, elle a été consacrée à une randonnée pédestre du village Ath El-Kaïd jusqu'au sommet de Tamda Ouguelmine.

5. Les producteurs de sachets en plastique

Les producteurs actuels de sachets en plastique trichent sur le grammage, à tel point que le sachet qui devait avoir plus de poids a été allégé pour qu'il puisse devenir volatile. Et les conséquences d'une telle pratique frauduleuse sont connues et ce qu'elles génèrent comme désagréments à l'environnement est considérable. La première opération faite en extrême urgence est, «de saisir l'ANSEJ pour qu'elle cesse d'accorder des crédits pour cette activité. Et pour mieux soutenir sa politique, elle a précisé que «son département dûment habilité a préparé un projet de décret visant la substitution de cette activité par la mise en œuvre d'un processus de valorisation des déchets plastiques.» Pour persuader le président de l'ONG qui était pour la transplantation des arbres et non à leur arrachage, «elle cite des statistiques palpables qui incitent les décideurs à se prononcer sur les mesures à prendre face à 600 unités qui produisent du plastique. Ceci se traduira par 6000 postes de travail directs et 20 000 emplois indirects. Qui

osera prendre une telle décision pour mettre dehors tous ces travailleurs ? Ce qui est conseillé est de procéder par étape pour éliminer le plastique non biodégradable.

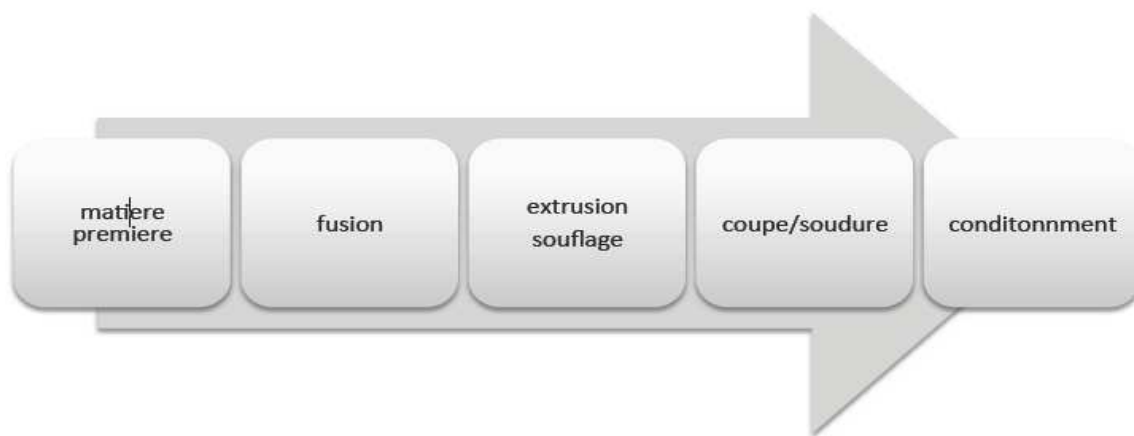


Figure [VII.1] : Schéma illustrant les étapes de fabrication du sac en plastique .

6. Normalisation du sachet en plastique

Et le meilleur moyen est de procéder à la normalisation du sachet avec un poids égal à 20 microgrammes. Ceci doit passer par la technique dite oxo biodégradable du plastique qui se détruit en 07 à 08 mois.» Aujourd’hui «on consomme 7,5 milliards de sachets en plastique par an. Le mieux est de consommer moins et pour une utilisation du sachet en plastique à répétition qui sera cédé à son juste prix. L’inspecteur régional de l’environnement pour la région ouest selon lui, «Aïn Témouchent est programmée pour devenir une wilaya pilote dans le domaine du tri des déchets. Comme à Sidi Bel-Abbès, la première opération à lancer dans les jours à venir avec la maison de l’environnement, les ONG, les comités de quartiers est l’opération dite quartier propre». Dans ce cadre précis le directeur général de l’Agence nationale des déchets (AND), a précisé que la contribution de son département « est de doter les quartiers propres d’équipements et de moyens en les accompagnant sur le terrain par un train de mesures de sensibilisation afin d’initier la population à une culture de gestion des déchets ménagers et assimilés. Pour le début, note-t-il, la première phase consiste à doter le quartier de bacs verts et jaunes.

6.1 Constitution d’un sac en plastique non-dégradable

Le sac en plastique n’est pas constitué uniquement de polyéthylène. Il contient également des pigments qui servent à teindre les sacs. Le dioxyde de titane (TiO₂) et, le carbonate de calcium (CaCO₃) sont des pigments blancs, qui assurent une opacité au sac. Un exemple de la composition en pigment et en encre dans un sac de 6g est donné dans le tableau ci-dessous:

Tableau IV- 1 : la composition en pigment et en encre dans un sac de 6g

Pigment (TiO ₂ , CaCO ₃ , noir de carbone)	Encre à solvant, résine (polyamide + solvant (alcool)	Colle
0,15-0,22g	sac 0,055g/sac	0,002g/sac

6.2 Pré-collecte des sachets en plastique en Algérie

Ce type de pré-collecte est le plus répandu au niveau des centres villes et au niveau des cités d'habitat individuel. En effet, avant le passage des camions de collecte, les commerçants et les habitants des quartiers déposent leurs déchets dans des sacs ou dans des boîtes en carton devant leurs habitations ou sur les trottoirs, sous forme de tas que le camion de l'APC collecte et achemine vers la décharge de la commune

7. La gestion des sac en plastique à Tizi Ouzou

7.1. Préparation de l'enquête

Une enquête a été réalisée sur les sacs plastiques dans la ville de Tizi-Ouzou auprès d'environ 100 personnes pour connaître les habitudes des habitants et leur attitude vis-à-vis de la gestion de ces déchets.

Le questionnaire comprend 18 questions d'ordre générales sur les déchets et particulièrement les sacs plastiques. Parmi la population soumise à l'étude, la tranche d'âge 18-30 ans, constituée essentiellement d'étudiants et d'étudiantes, est représentée avec «33 » personnes soit 33%. Pour les plus de 35 ans, ils sont représentés avec 33 personnes soit 33%, ayant fait des études supérieures et représentant les cadres de la région. Et 34 personnes soit 34% sont de tout âge habitant la ville de Tizi-Ouzou et les villages, avec ou sans activité, illettré ou avec un faible niveau d'instruction ont participé à ce sondage.

7.2. Résultats et analyse de l'enquête

Cette enquête contient 18 questions et les suivantes :

1. « Vous sentez-vous concerné par la gestion des déchets à Tizi-Ouzou et les problèmes qui y sont liés ? »

Réponses	Nombre	Pourcentage
OUI	96	96%
NON	3	3%
AUTRE	1	1%
TOTAL	100	100%

A cette question, l'enquête a fait ressortir que 96 personnes soit 96% de la population étudiée se sent concernée par la gestion des déchets et les problèmes qui y sont liés, contrairement à 3 personnes soit 3% qui estiment ne pas être vraiment concernées.

2. « Comment gérez-vous vos déchets ? »

Réponses	Nombre	Pourcentage
Poubelle	80	80%
Bruler	3	3%
Rue	12	12%
Autre	5	5%
Total	100	100%

La majorité des personnes interrogées (80%) affirment mettre leurs déchets dans la poubelle mais un grand nombre (12 personnes soit 12%) a encore le réflexe de jeter directement dans la rue. Il faut faire attention à ces chiffres car il est plus facile de dire « à la poubelle » que « dans la rue » qui peut avoir un jugement négatif lorsque l'on s'adresse à l'enquêteur.

3. « Seriez-vous prêt à trier vos déchets chez vous si un système payant de collecte sélectif se mettait en place ? »

Réponses	Nombre	Pourcentage
OUI	84	84%
NON	12	12%
AUTRE	4	4%

4. « Et si celui-ci était gratuit ? »

Réponses	Nombre	Pourcentage
OUI	97	97%
NON	3	3%
TOTAL	100	100%

Ces questions ont rencontré certaines hésitations auprès de la population, car 84 personnes sur 100 ont répondu « oui » si le système était payant (à la question 3) et 97 sur 100 ont répondu « oui » si celui-ci était gratuit (à la question 4).

Donc, 97 % de la population interrogée est prête à trier ses déchets gratuitement (actuellement le système de ramassage simple des poubelles n'est pas payant et s'il devient payant, il risque de devenir non accessible aux personnes ayant peu de revenus).

5. Combien de personnes vivent dans votre foyer ?

Réponses	Nombre	Pourcentage
1 à 4 personnes	31	31%
5 à 8 personnes	58	58%
Supérieur à 9 personnes	11	11%
TOTAL	100	100%

31 enquêtés soit 31% ont estimé être entre 1 et 4 personnes dans leur foyer tandis que 58 autres personnes soit 58% vivent dans des foyers composés de 5 à 8 personnes. Aussi, 11 personnes soit 11% ont répondu vivre dans des foyers de plus de 9 personnes. En considérant la somme de toutes les personnes vivant dans les foyers, on compte donc un total de 606 personnes.

6. Utilisent-ils des sacs plastiques ?

Réponses	Nombre	Pourcentage
OUI	94	94%
NON	06	06%
TOTAL	100	100%

Presque toutes les personnes interrogées ont l'habitude d'utiliser des sacs plastiques à l'exception de quelques villageois qui sont toujours liés au couffin traditionnel..

7. Si oui combien de sacs utilisent-ils par jour ?

Réponses	Nombre	Pourcentage
1 à 4 sacs	57	57%
5 à 8 sacs	31	31%
Supérieur à 9 sacs	12	12%
TOTAL	100	100%

A cette question, il ressort que 57 personnes soit 57% utilisent entre 1 et 4 sacs plastiques par jour contre 31 personnes soit 31% qui en utilisent entre 5 et 8 par jour. 12 personnes utilisent plus de 9 sacs plastiques par jour.

8. « Payez-vous les sacs plastiques ? »

Réponses	Nombre	Pourcentage
OUI	33	33%
NON	67	67%
TOTAL	100	100%

33 personnes sur 100, soit 33% payent leurs sacs plastiques. Et 67 personnes soit 67% disent ne pas les payer.

9. « Réutilisez-vous ces sacs plastiques après un premier usage ? »

Réponses	Nombre	Pourcentage
OUI	47	47%
NON	53	53%
TOTAL	100	100%

10. « Si oui, comment ? »

Réponses	Nombre	Pourcentage
Comme poubelle	36	36%
Comme emballage	13	13%
Autre ou sans opinion	51	51%
TOTAL	100	100%

Seule 13 personnes sur 100 réutilisent leurs sacs plastiques pour emballer des marchandises. La majorité estime ne pas en faire usage après une première utilisation et une petite minorité les utilise pour leurs besoins personnels (décoration, artisanat...). Par contre 36 personnes sur 100 les réutilisent comme sachets poubelle.

11. Certaines personnes ont l'habitude de jeter les sacs dans la rue, les caniveaux, dans les poubelles, sur les trottoirs....Et vous qu'en faites vous ?

Réponses	Nombre	Pourcentage
Décharge	18	18%
Jardin	3	3%
Rue	8	8%
Par terre	15	15%
Poubelles	51	51%
Trottoirs	5	5%
TOTAL	100	100%

La majorité des personnes interrogées (69 soit 69%) affirment mettre leurs déchets dans la poubelle ou dans une décharge ; mais un grand nombre (28 personnes soit 28%) a encore le réflexe de jeter directement dans la rue, par terre, sur les trottoirs ou dans les jardins. Il faut faire attention à ces chiffres car il est plus facile de dire « à la poubelle » que « dans la rue ou par terre » qui peut avoir un jugement négatif lorsque l'on s'adresse à la personne chargée du sondage.

12. Pensez vous que les déchets plastiques soient dangereux pour la santé ?

Réponses	Nombre	Pourcentage
OUI	94	94%
NON	5	5%
SANS OPINION	1	1%
TOTAL	100	100%

13. Pensez vous que les déchets plastiques soient dangereux pour la nature?

Réponses	Nombre	Pourcentage
OUI	99	99%
NON	1	1%
SANS OPINION	0	0%
TOTAL	100	100%

Tout le monde est conscient de la dangerosité des sacs plastiques pour la santé et la nature. Seules quelques vieilles dames pensent que ce n'est pas dangereux pour la santé.

14. Quel sentiment vous procure la vue des sacs plastiques dans la rue ou sur les places publiques ?

Réponses	Nombre	Pourcentage
Ça me dérange	22	22%
Dégout	26	26%
Saleté	18	18%
Colère	12	12%
Honte et mépris	14	14%
AUCUN SENTIMENT	4	4%
SANS OPINION	4	4%
TOTAL	100	100%

92% des enquêtés ont utilisé les termes « ça me dérange », « dégout », « sale », colère, mépris, vis-à-vis de la vue des sacs plastiques dans les rues ou sur les places publiques de Tizi-Ouzou. Par contre, il y a 4% qui n'ont aucun sentiment sur la vue des sacs plastiques dans nos rues et 4% sont sans opinion et qui sont indifférents.

15. « Souhaiteriez-vous avoir des informations sur la dangerosité des déchets plastiques ? »

Réponses	Nombre	Pourcentage
OUI	91	91%
NON	8	8%
SANS OPINION	1	1%
TOTAL	100	100%

16. « Si oui, pouvez-vous venir assister à des réunions sur l'environnement pour plus d'informations à travers des ateliers de discussion ? »

Réponses	Nombre	Pourcentage
OUI	79	79%
OUI AVEC CONDITIONS	12	12%
NON	5	5%
SANS OPINION	4	4%
TOTAL	100	100%

Presque tous les individus (91%) de l'enquête aimeraient avoir des informations sur la dangerosité des déchets plastiques. 79 personnes soit 79% sont prêtes à venir assister à des réunions d'information. 12 personnes interrogées soit 12% sont indécises, principalement par manque de disponibilité pour se déplacer dans un lieu loin de chez eux. Notons que seul 5 personnes ont répondu « non » à cette question et 4 personnes sont sans opinion.

17. Que pensez-vous de la réutilisation de ces déchets plastiques ?

Réponses	Nombre	Pourcentage
Favorable à la réutilisation	76	76%
Défavorable à la réutilisation	14	14%
SANS OPINION	10	10%
TOTAL	100	100%

76% des enquêtés sont favorables à la réutilisation des sacs en plastiques. 14 % sont défavorables et jugent qu'ils sont dangereux pour une réutilisation. 10 % sont sans opinion.

18. Seriez-vous prêts à stocker vos sacs plastiques usagés et à nous les envoyer pour les transformer ?

Réponses	Nombre	Pourcentage
OUI	81	81%
OUI AVEC CONDITIONS	12	12%
NON	6	6%
SANS OPINION	1	1%
TOTAL	100	100%

Parmi les personnes ne souhaitant pas stocker leurs sacs plastiques usagés (7 soit 7%). La majorité des personnes enquêtées le ferait et les enverrait pour transformation. 12 personnes sont favorables à condition qu'il n'y ait pas de frais à payer ou à revendre leur stock de sachets à payer ou à revendre leur stock de sachets à des prix dérisoires.

📌 Selon les résultats de cette enquête effectuée auprès des ménages à Tizi-Ouzou, au moins un sac de plastique est utilisé par jour dans chaque ménage. Les quantités de sachets jetés varient de un à cinq selon les ménages. Ces déchets constituent ainsi une menace très sérieuse pour notre environnement. Parmi les conséquences majeures qui découlent de leur prolifération dans la nature, nous pouvons citer:

- ✓ la mortalité du bétail par indigestion,
- ✓ la réduction du coefficient d'infiltration de l'eau dans le sol, ce qui provoque une baisse du rendement des cultures,
- ✓ l'obstruction des canalisations d'évacuation des eaux usées entraînant une stagnation des eaux sous forme de flaques, ce qui est un facteur de propagation des maladies.

8. Conclusion

L'évaluation environnementale est une nécessité pour les plans d'élimination des déchets ménagers/assimilés et des déchets industriels spéciaux. Elle a pour objet de renforcer la prise en compte de l'environnement en amont des projets, au stade auquel sont prises les décisions structurantes, et d'en assurer le suivi dans le temps, ceci en développant la consultation et l'information du public. Outil de travail au service des autorités en charge de l'élaboration et de l'approbation des plans, la démarche n'a pas vocation à figer une évaluation-type mais, par des conseils méthodologiques ou opérationnels, elle s'attache à donner des pistes pour conduire une évaluation environnementale et en restituer le contenu. Deux préconisations majeures le traversent :

- Initier la démarche d'évaluation environnementale dès l'engagement de l'élaboration ou de la révision du plan .
- Adopter une démarche graduelle visant à resserrer l'analyse autour des enjeux environnementaux les plus importants en rapport avec la gestion des déchets.

Chapitre V
***Gestion des sacs (sachets)en
plastiques dans le monde***

1. Introduction

La gestion des déchets est une des nombreuses problématiques environnementales auxquelles doit faire face le Togo. Lorsque nous nous promenons dans les rues de Lomé, la capitale, la première image que nous avons de la ville est celle d'une « poubelle géante ».

Certains togolais, en réponse à l'ancienne dénomination de « Lomé la Belle », plus belle ville de la sous-région, appellent actuellement leur ville « Lomé la Poubelle ». Parmi tous les détritiques, le plus fréquent est le sac plastique. Qu'il soit blanc pour boire de l'eau ou noir pour emballer tout ce qui peut s'acheter, il se retrouve sur les trottoirs, dans les caniveaux, les arbres, la mer, accroché aux fils barbelés ou encore virevoltant entre les pare-brises des voitures et les têtes des taxis-motos.

Bien que la problématique des sachets soit grave dans beaucoup de pays, une recherche sur internet montre que peu de solutions sont effectives sur le terrain, surtout dans les pays du Sud et notamment en Afrique sub-saharienne en cause de :

- ✓ La difficulté de manipulation des sachets, très légers pour un volume élevé (beaucoup d'air) rend leur collecte, transport, stockage, lavage et séchage très contraignants.
- ✓ Les sachets sont des "poches" donc le nettoyage n'est pas évident. Dans ces conditions, par exemple, le brassage, dans l'eau pour le lavage, le séchage à l'air libre etc...., posent des difficultés.

2. Généralités sur la gestion des déchets en Afrique

- Le déchet se définit comme un objet ou un matériel ayant perdu sa valeur pour son détenteur.
- Les déchets municipaux sont des déchets collectés et traités sous la responsabilité des municipalités et leurs groupements, qui se décomposent en :

- ✓ Ordures ménagères au sens strict
- ✓ Déchets encombrants et déchets verts des ménages.
- ✓ Déchets des activités collectés avec les déchets des ménages.
- ✓ Boues de station d'épuration, déchets de voirie et des marchés.

- Déchets biomédicaux, industriels, agricoles, commerciaux, etc.
- La composition des déchets varie selon les pays. Mais en Afrique, on note une prédominance des composantes organiques

On entend par gestion des déchets l'ensemble des dispositions permettant la collecte, le transport et l'élimination écologiquement rationnelle des déchets, prenant en compte les considérations d'ordre sanitaire (santé publique), technique, scientifique, esthétique, économique, social (attitudes des populations) et environnemental

- De manière générale la gestion des déchets est trop problématique en Afrique au Sud du Sahara. Les résultats enregistrés dans les pays sont très mitigés.

- Accès difficile aux informations et grande variété des données selon les sources: défaut de système de base de données sur la gestion des déchets. (projet en cours)

2.1. La loi sur l'interdiction des déchets plastiques au Sénégal

Le 4 janvier 2016 est désormais inscrit dans les annales de l'environnement, avec l'entrée en vigueur de la loi n° 2015/09 du 4 mai 2015 relative à l'interdiction de la production, de l'importation, de la détention, de la distribution et de l'utilisation des sachets plastiques de faible micronnage et à la gestion rationnelle des déchets plastiques.

Le ministre de l'Environnement et du Développement durable, a annoncé l'entrée en vigueur de cette loi ,c'est l'occasion qu'il a saisie pour procéder, en charge du Commerce, du secteur informel, de la consommation, de la promotion des produits locaux et des PME, au lancement de la Semaine nationale de ramassage des déchets plastiques.

La dissémination de ces déchets plastiques, qui ont une longue durée de vie de 3 à 4 siècles dans ces différents milieux, constitue, selon lui, un sérieux problème environnemental qui affecte inéluctablement d'autres secteurs clés du développement économique et social comme, entre autres, la santé, l'agriculture, la pêche, l'élevage, le tourisme C'est fort de ce constat, que le gouvernement du Sénégal a pris la pleine mesure, à travers le vote et la promulgation de la loi y relative, objet de la rencontre d'aujourd'hui, pour poser les bases d'une gestion écologiquement rationnelle et durable du plastique et de ses déchets, a-t-il indiqué. C'est à ce titre que le Président Macky Sall a donné des instructions fermes pour l'organisation, « sur l'ensemble du territoire national, d'une campagne nationale de ramassage des déchets plastiques pour marquer l'entrée en vigueur de cette loi et d'y impliquer l'ensemble des acteurs évoluant dans le domaine de l'environnement »,

Une Semaine nationale qui démarre du 2 au 10 janvier 2016 et qui a conduit les acteurs, pour une première phase, dans les capitales régionales de Thiès, Louga, Diourbel et Kaolack.

2.2. l'interdiction des sachets plastiques au Burkina Faso

A partir du 1^{er} janvier 2015, l'importation, la vente et la distribution des emballages plastiques non biodégradables, autrement dits les sachets plastiques, seront interdites au Burkina Faso. A quelques quatre mois de l'entrée en vigueur de cette nouvelle disposition législative, l'inquiétude subsiste néanmoins chez les commerçants qui se disent favorables à la nouvelle mesure. Mais du côté des fabricants d'emballages biodégradables, on s'en frotte déjà les mains. "C'est la vie chère qui va devenir encore plus chère"

.Les méfaits des sachets noirs, comme celui qu'il vient de tendre au client en guise d'emballage, il en est conscient. Approuve-t-il, même si c'est du bout des lèvres, la nouvelle loi ? Mais, tient-il à prévenir, en français approximatif : «le nouveauté-là, woh, on va vendre ça maintenant ou bien on va ajouter son argent dans prix des produits».

Par «nouveau», entendez les emballages biodégradables appelés à remplacer définitivement ceux en plastique à partir du 1^{er} janvier 2015.

En effet, le mardi 20 mai 2014, l'Assemblée nationale a voté, à l'unanimité des 107 votants, la loi (n°2014-017/AN) portant interdiction de l'importation, de la commercialisation et de la distribution des emballages et sachets plastiques non biodégradables au Burkina Faso.

Une révolution copernicienne dans ce pays parmi les rares qui vivent toujours à l'âge du polymère. Avec les conséquences que cela entraîne sur la santé (humaine et animale), les sols, le cadre de vie, les points d'eau et nous en oublions.

Autant de méfaits qui ont depuis longtemps conduit les autorités en charge de l'environnement à l'initiative d'actions ponctuelles de sensibilisation, d'information, de rachat de déchets plastiques, et autres campagnes «zéro plastique».

Malgré tous ces efforts, rien ne semble arrêter l'évolution du «cancer des villes africaines», ainsi qu'on nomme le péril plastique, au Burkina. Alors, aux grands maux, les grands remèdes.

Par la nouvelle loi portant interdiction d'importation et de commercialisation des emballages et sachets plastiques non biodégradables, les autorités burkinabè entendent combattre le mal à la racine.

Dans l'ensemble, la récente mesure est accueillie avec soulagement. Mais dans certains milieux, elle suscite réserves et inquiétudes. «Dès que nous avons entendu parler de cette loi, nous nous sommes dit que c'est impossible d'interdire les sachets plastiques, parce qu'ils font aussi du bien aux Burkinabè. C'est un commerce qui a contribué à nourrir des familles, c'est une forte industrie. Nous avons donc approché le ministère en charge de l'Environnement qui nous a dit que ce n'est pas une suppression mais un changement de matière. On passera du sachet plastique non biodégradable au sachet plastique biodégradable. On a alors dit que si c'est ainsi, il y a lieu de discuter», explique le secrétaire général de l'Organisation nationale des commerçants du Burkina (ONACOMB).

A l'issue de plusieurs rencontres avec les autorités, l'organisation a obtenu un différé dans l'application du nouveau texte. «Les opérateurs économiques ont donc fait savoir que les usines d'où ils importent le sachet plastique sont prêtes à produire des emballages biodégradables. Raison pour laquelle nous avons demandé la date butoir de janvier 2015 pour permettre à la filière de se refaire. Il y a des quantités énormes de plastiques déjà sur le marché et il faut du temps pour les écouler», a-t-il plaidé. Avant d'ajouter : «si à la date butoir, il y a toujours des sachets non biodégradables sur le marché, nous allons approcher le ministère pour savoir la conduite à tenir pour qu'il n'y ait pas de préjudice sur les commerçants qui en ont fait leur gagne-pain. Il ne faut pas oublier que les Burkinabè ont ça dans leurs cœurs».

Mais pour le président de la section du Kadiogo de l'ONACOMB, il ne faut pas pousser jusqu'au fétichisme la solution par le biodégradable : «Nous sommes conscients du danger du plastique, mais la vérité, c'est qu'il faut une sensibilisation et nous devons accompagner les autorités dans ce sens. Notre pays a aussi un plan d'assainissement précaire et c'est plus ça qui nous coûte cher que le plastique. Même le bio ne pourrait pas immédiatement, et tant que le nettoyage ne sera pas

une réalité dans nos villes, ce sera toujours la même chose. Il faut un meilleur plan d'assainissement. Je pense que l'interdiction des sachets plastiques n'est pas la solution, ce n'est pas la panacée. Sachet biodégradable ou pas, sans assainissement, c'est la même chose».

La gestion des déchets plastiques est soumise à une réglementation générale applicable à l'ensemble des déchets à travers le code de l'Environnement, le code de l'Hygiène publique, le code de Santé publique et le code général des Collectivités territoriales. Une disparité réglementaire qui ne permet pas de définir un régime juridique clair et spécifique nécessaire pour faire face efficacement au péril du sachet plastique. Mais avec la loi 017, la parade est tout trouvée : plus de sachets plastiques non biodégradables.

Quid du recyclage de déchets plastiques, comme autre moyen de lutte contre l'envahissement par les sachets ? Sur ce point, le gouvernement a pris la décision de la création d'un projet national de traitement et de valorisation des déchets plastiques. Le ministre de l'Environnement et du Développement durable, a d'ailleurs lancé, le 14 août 2014 à Koudougou, l'opération d'achat des déchets plastiques dans la région du Centre-Ouest. Le gouvernement a mis en place un projet de trois (03) ans qui consiste à organiser les populations dans les régions pour la collecte, le stockage et le recyclage des sachets plastiques.

2.3. La gestion des sacs et sachets en plastique au Maroc

2.3.1 Le renforcement du cadre juridique et institutionnel

❖ La création d'un organisme intitulé (ECO PLASTIQUE)

La création d'un organisme qui s'occupe de la coordination des efforts entrepris pour minimiser les effets néfastes sur l'environnement de l'utilisation de plastiques et en particuliers les sachets en plastiques.

La création d'un organisme qui gère toutes les actions entreprises pour la lutte contre les problèmes des sacs en plastiques devra jouer les rôles suivantes :

- ✓ Soutien financier aux collectivités locales pour le développement de la collecte et le tri et le recyclage et valorisation des sacs en plastiques.
- ✓ Contrôle des matériaux conforme aux articles de la loi 22-10 et aux cahiers de charge établis.
- ✓ Soutien financier à la recherche scientifique pour l'innovation dans le domaine de la valorisation
- ✓ Gestion des programmes périodiques de sensibilisation auprès des citoyens.
- ✓ Percevoir les contributions des entreprises de plasturgie pour la promotion des services de collecte de tri, recyclage et valorisation.

La responsabilité de gestion de cet institue sera confiée aux services du département de l'environnement, les collectivités territoriale, la FMP, les grands distributeurs représenté par L'Association marocaine du commerce moderne et par des ONG.

❖ **L'organisation du secteur informelle des sacs et sachets en plastique**

Selon la fédération marocaine de plasturgie le nombre d'unités industrielles illégales de fabrication des sacs et sachets en plastique dépasse les 100 unités installés spécialement en grande partie à Casablanca

L'action s'intéresse dans son contenu six aspects fondamentaux pour la réussir :

✚ Sur le plan technique

Sur le plan technique, la structuration du secteur non formel passe par deux objectifs majeurs :

- ✓ Formalisation du secteur
- ✓ Mise à niveau des sociétés qui en ont besoin
- ✓ Contrôle et pénalisation des sociétés récalcitrantes .

L'organisation du secteur est du sort du ministère de l'industrie et des finances ainsi que la commune dans laquelle se trouve la société. La mise à niveau est du sort du ministère de l'industrie et de la FMP, et enfin, le contrôle et la pénalisation du reste des sociétés non adhérentes au processus de normalisation, sont du sort du ministère des finances et de la commune.

✚ Sur le plan juridique

L'atteinte des objectifs assignés à l'organisation du secteur sera facilitée par un contrôle rigoureux assuré par la commune et le ministère des finances. La commune a comme prérogative de vérifier l'existence ou non d'une autorisation d'exercer chez la société, par contre le ministère des finances contrôlera sous l'angle des impôts sur les sociétés. A cela pourra se joindre l'inspection du travail pour non déclaration du personnel employé. Les instruments juridiques nécessaires pour assurer le contrôle sont existants

✚ Sur le plan institutionnel

Les départements qui seront mis en jeu dans l'organisation du secteur non formel ont été désignés ci-avant. Il s'agit du :

- ✓ Ministère des finances.
- ✓ Inspection du travail.
- ✓ Ministère de l'industrie
- ✓ La fédération marocaine de plasturgie.

Une fois le plan d'organisation établi, chaque institution aura une tâche précise à accomplir.

La coordination de l'ensemble des tâches devra être assurée par une institution désignée, à savoir le ministère de l'industrie.

✚ Sur le plan financier

Les efforts d'organisation du secteur non formel auront un coût financier à assurer dans le cadre du plan d'action. L'ensemble des tâches peuvent être prises en charge par les départements cités, à l'exception de la mise à niveau structurelle qui peut être assurée par le secteur de l'ingénierie nationale avec l'appui financier de l'ANPME. Chaque société qui sollicite une mise à niveau devra se soumettre aux conditions de l'ANPME (remplir un formulaire d'adhésion, subir un prédiagnostic, etc.).

✚ Sur le plan information, formation et communication

L'adhésion du secteur ne réussira pleinement que par la sensibilisation et l'information des concernés. Cette sensibilisation devra se faire, à travers des spots télévisés ou radiophoniques, dans un premier temps, puis par des réunions d'information sur les tenants et les aboutissants de l'organisation du secteur. Les thèmes de la campagne de sensibilisation devront être :

- ✓ La régularisation des sociétés non formelles et leur aide à l'organisation
- ✓ La mise à niveau technique et structurelle de ces sociétés

3. Plan de gestion des matières résiduelles à Victoriaville au Canada (Québec)

3.1. Description générale de l'organisme municipal

Le territoire de la Ville de Victoriaville couvre 82 km² et accueille un total de 42 518 habitants. Le nombre d'unités d'occupation (u.o.) s'élève à 20 950, soit 12 900 maisons unifamiliales, 5 250 u.o. dans de petits immeubles (de 2 à 9 logements) et 2 800 u.o. dans de grands immeubles (de 10 logements et plus). Le plan de gestion des matières résiduelles (PGMR) de la municipalité régionale de comté (MRC) d'Arthabaska, dont fait partie la Ville de Victoriaville, est entré en vigueur le 16 novembre 2004 et est mis en oeuvre par la compagnie Gesterra. Gesterra est issue d'un partenariat public-privé entre 21 des 23 municipalités de la MRC d'Arthabaska et Gaudreau Environnement. Elle est propriétaire du lieu d'enfouissement technique et des plates-formes de compostage de Saint-Rosaire, ainsi que du centre de tri de Victoriaville.

3.2. Démarche (Mise en place de services de récupération et de mise en valeur)

- Collecte des matières recyclables implantée sur le territoire de la Ville depuis 1985 pour le secteur résidentiel (toutes les unités d'occupation desservies en 2006). Depuis 1996, cette collecte se fait de porte en porte et de façon pêle-mêle, à l'aide de bacs roulants de 360 litres et de conteneurs (entre 2 et 6 verges carrées), à une fréquence d'une fois par deux semaines.
- Extension de la collecte sélective au secteur des industries, des commerces et des institutions (ICI) en 1997 (1 489 entreprises desservies en 2010) Collecte des matières organiques effectuée

de porte en porte depuis 1997 à l'aide de bacs roulants et de sacs pour les surplus au printemps et à l'automne.

- Récupération et valorisation des feuillages de cèdre et des sapins de Noël.
- Récupération et valorisation des boues générées par l'usine d'épuration des eaux usées de la Ville de Victoriaville.
- Récupération des résidus domestiques dangereux (RDD) à deux points de dépôt et lors d'une grande collecte annuelle.
- Collecte mensuelle des encombrants, sur demande.
- Mise en place de quatre points de dépôt depuis 2006 pour la récupération des petits électroménagers et des déchets électroniques et informatiques, puis traitement par le Centre de Formation en Entreprise et Récupération (CFER) Normand-Maurice pour certains de ces résidus.
- Réemploi des textiles et autres objets encore en bon état par des organismes du milieu.
- Exploitation d'un Écocentre, où sont récupérés les matières organiques, les matières recyclables, de même que les débris de construction et de démolition (750 tonnes de matières récupérées en 2010).

3.3. Réalisation d'actions d'information, de sensibilisation et d'éducation

- Production d'un calendrier des collectes et d'un guide d'information aux citoyens
- Mise en place d'une ligne d'information
- Journée de distribution de compost aux citoyens

3.4. La mise en œuvre d'autres mesures visant la réduction, le réemploi, le recyclage et la valorisation

- Création d'un concours sur la récupération lors de la Journée Normand-Maurice (à la mi-octobre).
- Mise en place en 2007 d'un programme d'aide financière pour l'achat de couches lavables.
- Limitation de la quantité de déchets acceptés par le service de base (un bac de 360 litres) de la collecte municipale en bordure de rue et ce, autant pour le secteur résidentiel que celui des ICI.

3.5. Résultats et perspectives

- Instauration de la collecte à trois voies (matières recyclables, matières organiques et déchets) de façon pêle-mêle, avec utilisation de bacs roulants de 360 litres.
- Tenue de la Journée Normand-Maurice, durant laquelle s'effectue la collecte porte en porte des RDD.
- Réalisation continue d'outils et d'activités d'information pour les citoyens.

- Poursuite des campagnes d'information, tout en développant de nouveaux outils pour faciliter et augmenter la valorisation des matières résiduelles.
- Extension de la collecte des matières organiques aux édifices à logements, en vue de favoriser l'augmentation du taux de récupération et de valorisation des matières organiques
- Mise en place d'un système d'information pour encourager les citoyens à utiliser des sacs compostables lors du ramassage des feuilles à l'automne.

4. L'expérience internationale en matière de gestion des sacs en plastiques

4.1. La gestion des emballages en France

4.1.1. Présentation des types de déchets d'emballages plastiques ménagers

Une cartographie du gisement de déchets d'emballages plastiques ménagers a été réalisée afin de caractériser ce gisement tant en termes quantitatifs que qualitatifs. Cette caractérisation du gisement constituait un préalable indispensable pour analyser le mode de traitement le plus adapté et dimensionner au mieux les installations nécessaires dans le cadre d'une extension des consignes de tri. Les déchets d'emballages plastiques ménagers ont tout d'abord été répartis en trois grandes familles:

- ✓ Bouteilles et flacons,
- ✓ Emballages souples qui correspondent aux catégories sacs, sachets, films,
- ✓ Emballages rigides autres que bouteilles et flacons, qui englobent les pots, boîtes et barquettes en particulier mais également les étuis, blisters, calages et autres.

Chacune des familles a ensuite été détaillée par type de résine. A noter que dans le cas des emballages souples, une distinction a été réalisée en termes de taille (formats > A4 ou < A4)

4.1.2. Le cadre réglementaire des emballages en France

En septembre 2005, le Parlement a voté une loi prescrivant l'interdiction des sacs de caisse non bio dégradables à l'horizon 2010. Mais en décembre 2010, plutôt que de les interdire comme cela était prévu le sénat décide d'autoriser leur utilisation pendant encore trois ans. Ils seront taxés à partir de 2014, à hauteur de 10 € par kilo.

Cette disposition interdira également les faux sacs biodégradables, dits "fragmentables", composés de plus de 90 % de polyéthylène et d'additifs de fragmentation. La taxe ne s'appliquera pas aux sacs plastiques biodégradables, constitués d'un minimum de 40 % de matières végétales.

❖ Loi n° 2006-11 du 5 janvier 2006 d'orientation agricole :

Dans son article 47 qui a pour but de protéger l'environnement et d'encourager le développement des produits biodégradables, un décret détermine les conditions de l'interdiction, à compter du 1er janvier 2010, de la distribution au consommateur final, à titre gratuit ou onéreux, de sacs de

caisse à usage unique en plastique non biodégradable. Il détermine également les conditions de vérification de la biodégradabilité des sacs susceptibles d'être commercialisés ou distribués.³⁹ La commission européenne estime que ce texte n'est pas conforme à la directive 94/62/CE qui exige une valorisation des déchets d'emballage sans imposer le compostage. Aussi, en 2010, les sacs plastiques non biodégradables sont toujours disponibles aux caisses des principaux supermarchés de France métropolitaine.

L'adoption finale de cet amendement devra intégrer une analyse de sa conformité aux réglementations européennes. En particulier, au regard de la directive européenne 94/62/CE modifiée du 20 décembre 1994 relative aux emballages et aux déchets d'emballages, il n'apparaît pas certain de pouvoir interdire un type d'emballages au seul motif qu'il n'est pas biodégradable, dès lors qu'il est valorisable. Un décret, pris dans les douze mois suivant la publication de la présente loi, détermine, dans le respect des règles définies dans le cadre de l'Union européenne, les usages du plastique pour lesquels l'incorporation dans celui-ci de matières d'origine végétale est rendue obligatoire. Il précise les taux d'incorporation croissants imposés.

5. La seconde vie des sachets en plastique au Rwanda

Dans la cour de l'usine Ecoplastic installée à Mageragere à Kigali, des sachets sont accrochés sur des cordes comme des vêtements mis à sécher après avoir été lavés, par un groupe d'hommes et de femmes: Depuis 2011, au Rwanda, de petites usines locales collectent et recyclent ainsi les objets en plastique. Selon la directrice générale de l'Office rwandais de la protection de l'environnement (REMA), « c'est pour continuer à éviter l'usage et la dispersion des déchets en plastique dans la nature afin de mieux protéger notre environnement ».

Déjà, en 2008, la loi rwandaise avait interdit l'importation, l'utilisation et la vente de sacs en polyéthylène considérés comme polluants. Les seuls sacs autorisés sont ceux en plastique réutilisable. « Mesdames et messieurs nous vous annonçons que les plastiques non biodégradables ne sont plus autorisés au Rwanda c'est pourquoi ils seront confisqués à l'aéroport », rappelle les hôtesse de l'air aux passagers avant d'atterrir à l'aéroport international de Kigali.

Partout, on pourchasse les sachets : non seulement à l'aéroport et à la douane, mais aussi en débarquant à l'improviste dans les magasins et boutiques des campagnes retirées où certains, se croyant loin de l'œil autoritaire, vendent clandestinement des sachets. « L'ordre doit être appliqué sur tout le territoire national et pas seulement en ville », a expliqué un officiel de la police lors d'une opération de chasse aux sacs en plastique l'année passée. « Comme on saisit ailleurs la drogue, ici on saisit les sachets », souligne un douanier de la frontière entre le Rwanda et l'Ouganda.

5.1. Nettoyage et recyclage

Reste des emballages incontournables tels les bouteilles d'eau ou certains conditionnements médicaux... : « Nous avons signé des partenariats avec certains hôpitaux pour récupérer les bouteilles de sérum physiologique, les emballages des moustiquaires, de médicaments... que

nous transformons ici et vendons aux bénéficiaires locaux », explique, le directeur de Soimex Plastic, une usine installée toujours à Kigali.

D'autres produits en plastique viennent des agents de sécurité qui les confisquent ici et là. Des jeunes trient aussi les sacs et autres déchets dans la poubelle publique à la périphérie de Kigali et les vendent à ces usines.

Tous ces emballages permettent de fabriquer des sacs-poubelle, des tentes, des bâches, des sacs à autoclave pour la culture des champignons, des emballages pour le pain... Les clients qui viennent les acheter sont nombreux.

Leur prix n'est pourtant pas plus intéressant que celui des produits importés, mais, comme l'affirment certains clients, « valoriser le travail des usines locales fait aussi leur fierté. » Cependant certaines usines indiennes fabriquent des sachets à l'apparence de papier, peu cher, qui concurrencent ceux vendus par des usines locales,

La transformation de ces déchets incite aussi les habitants à trier les déchets entre ceux qui pourrissent et ceux qui ne pourrissent pas pour faciliter le travail des ramasseurs et éviter de polluer leur environnement. Une politique qui connaît un succès certain. « Aujourd'hui, jeter les sachets et les déchets en plastique dans la nature, c'est une honte pour chaque foyer, fièrement. Il faut les mettre dans les sacs pour qu'ils soient évacués par les agents des sociétés de nettoyage ».

6. Conclusion

La gestion des déchets : une complexité dans tous les pays et à l'échelle mondiale. La question semble demeurer avec ce regard croisé qui allie les expériences diverses ici et là. Celles-ci offrent une vision tantôt optimiste, tantôt pessimiste. Mais n'est-elle pas normale cette perception de la gestion des déchets, notamment dans les contextes en développement ? Oui, les déchets vont augmenter encore dans les années à venir. Les modes de productions et de consommation ne changent pas aussi vite qu'on le souhaiterait.

Les villes africaines ont un rythme de croissance assez élevé. Dès lors, les besoins augmenteront et la nécessité de trouver des solutions adaptées aux différents déchets s'impose avec acuité. Les comportements doivent donc changer et cela implique l'acceptation de nouvelles représentations sociales, culturelles et économiques. L'organisation de la vie sociale en milieu urbain nécessite d'intégrer la gestion des déchets dans les ménages, dans les quartiers et dans la cité. Les différents acteurs (ménages, entreprises, communes, etc.) sont donc appelés à coopérer de manière efficace pour traiter les déchets. Dès lors, on doit accepter les coûts économiques liés à ce mode de vie.

La gestion de certains secteurs environnementaux liés à la gestion de déchet y compris les sacs et sachets en plastiques en termes de tri, collecte, recyclage et valorisation. Le renforcement du cadre juridique, la promotion du mode de gestion des déchets, la reconnaissance de la responsabilité environnementale du secteur de plasturgie et

l'implication des citoyens représente la solution adéquate pour une meilleure gestion des sacs et sachets en plastique de leurs fabrications à leurs transformations en déchets.

.

Chapitre VI

Les essais d'identification



Figure [VI.1] : Analyse granulométrique par tamisage.

Les résultats de l'analyse par tamisage sont présentés dans le tableau VI.2 et par la courbe granulométrique [I]

Tableau VI- 2 : Analyse granulométrique du sable.

Tamis (mm)	refus (g)	refus (%)	refus cumulé (g)	refus cumulé (%)	tamisât cumulé
3.15	0,00	0,00	0	-	100,00
2	340,40	34,04	340,40	34,04	65,96
1	238,00	23,80	578,40	57,84	42,16
0,4	218,20	21,82	796,60	79,66	20,34
0,2	132,1	13,21	928,70	92,87	7,13
0,1	47,2	4,72	975,9	97,59	2,41
0,08	20,6	2,06	996,5	99,65	0,35
Fond	3.5	0.35	1000	100	0

La classification de ce sol est faite selon la méthode du laboratoire central des ponts et chaussées (LCPC). Le tamisat au diamètre de 80 µm est égal à 2.41%, c'est un sol grossier puisqu'il contient 97,59% de grosses particules, il peut être soit du sable soit du gravier.

Le tamisat au diamètre de 2 mm est de 65,96% il contient 34,04% de grosses particules donc est un sable. La teneur en fines est égale à 3.62%, elle est inférieure à 5%. C'est un sable propre.

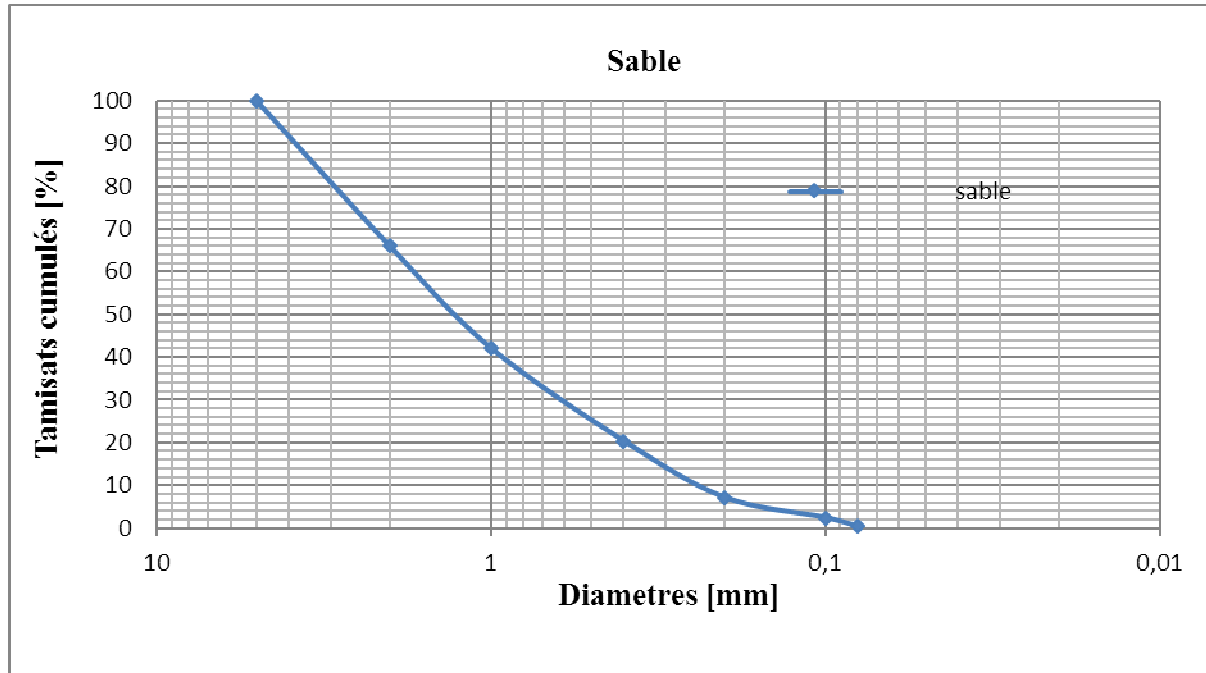


Figure [VI.2] : Courbe granulométrique du sable.

Afin de connaître l'étalement granulométrique de la fraction étudiée et pouvoir la classer, Deux paramètres sont utilisés (F.Schlosser, 1997) : Le paramètre de forme de la courbe, appelé Coefficient d'uniformité (C_u), dit coefficient de Hazen, donné par la relation :

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

et le coefficient de courbure :

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{(D_{10} \times D_{60})}$$

Qui traduit la forme plus ou moins régulière de la courbe.

Avec :

D_{10} : Diamètre correspondant à 10% des tamisats cumulés ;

D_{30} : Diamètre correspondant à 30% des tamisats cumulés ;

D_{60} : Diamètre correspondant à 60% des tamisats cumulés

Dans notre cas :

$$Cu = 1.7/0.22 = 7.73 > 5 \implies \text{granulométrie étalée.}$$

$$Cc = (0.65)^2 / (1.7 \cdot 0.22) = 1.13 \implies 1 < Cc < 3 : \text{bien gradué}$$

Notre sol est un sable propre bien gradué (Sb).

2.3. Equivalent de sable (ES%) (NF P 18-598)

L'essai d'équivalent de sable que l'on désigne par le symbole E.S est déterminé par une méthode simple et récente basée sur le repérage de la quantité de sable vrai contenu dans un échantillon. L'intérêt de l'équivalent de sable réside dans le fait qu'il constitue pratiquement le seul essai qui permet actuellement de contrôler la constance de certaines qualités de matériaux mis en œuvre sur le chantier.

Cet essai est purement empirique, il est précis et sensible ; mais ne doit être considéré que comme un repère parmi l'ensemble des essais d'identification.

L'essai d'équivalent de sable peut servir dans nombreux domaines :

Choix et contrôle des essais peu utilisables en stabilisation mécaniques.

Contrôle des sols utilisés en stabilisation chimique.

Choix et contrôle des sables à béton.

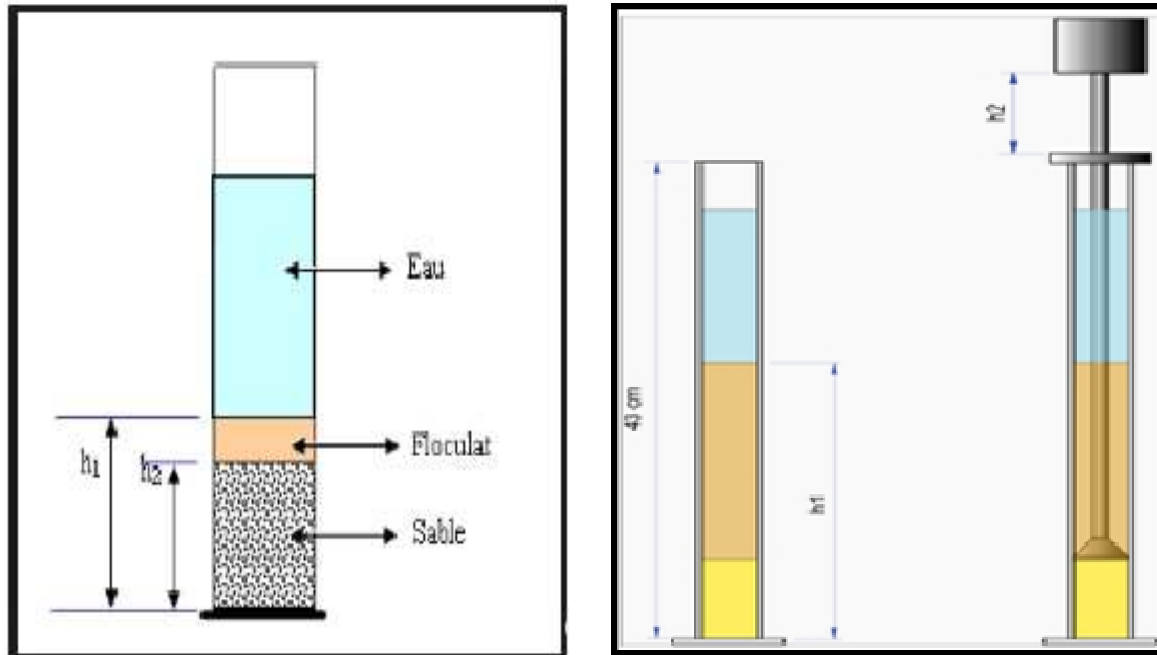
Les sols grenus contiennent souvent une part importante de particules fines pouvant modifier de manière importante leur comportement. Il est donc surtout utilisé pour les granulats routiers et les sables pour béton.



Figure[VI.3] : appareil de l'équivalent de sable.

L'essai consiste à prélever une fraction de sol (120 g) constituée de particules <5mm, et à l'introduire dans une solution lavante contenant un flocculant (chlorure de calcium cristallisé + glycérine + formaldéhyde) destinée à disperser les particules, diluée à l'eau distillée.

On agite fermement l'ensemble, on laisse reposer ensuite l'ensemble (20mn). On constate, au fond de l'éprouvette, un dépôt solide, et au-dessus un flocculant. Permet de caractériser la propreté des sables et le type de sol analysé. il est donné par la relation .



Figure[VI.4] : essai de l'équivalent de sable.

$$ES = (h2/h1)*100$$

Dans notre cas : $ES = (8.4/11.2)*100 = 75\%$

$70 < ES < 80$ sable argileux propre convenable pour le béton.

2.4. L'essai Proctor

Cet essai est très important dans tout ce travail, car tout le travail de ce mémoire repose sur cet essai

2.4.1. Principe de l'essai (NF P 94-093)

Le principe de cet essai consiste à humidifier un matériau à plusieurs teneurs en eau et le compacter à chacune des teneurs en eau, selon un procédé et une énergie conventionnelle. Pour chacune des valeurs de teneur en eau (considérées), on détermine la masse volumique sèche du matériau. Les résultats sont consignés sur un diagramme qui note en ordonnées la masse volumique sèche, exprimée en Kg/m³ et en abscisse la teneur en eau, exprimée en % (pondéral).

a)Types d'essai de compactage : il existe deux types :

L'essai Proctor normal ;

L'essai Proctor modifié ;

L'essai Proctor Normal (PN) : le sol est compacté au moyen d'une dame de 2,490 Kg.tombant d'une hauteur de 30,5 cm (1 pied). L'essai est réalisé en trois couches de plus ou moins 4 cm d'épaisseur qui reçoivent chacune 25 coups pour le moule Proctor et 55 coups pour le moule CBR.

L'essai Proctor Modifier(PM) :le sol est compacté au moyen d'une dame de 4.540 Kg,tombant d'une hauteur de 45.7 cm d'épaisseurs (1,5 pied). L'essai est réalisé en cinq couches de plus ou moins 2,5cm d'épaisseur qui reçoivent chacune 25 coups pour le moule Proctor et 55 coups pour le moule CBR.

b)Choix du moule.

Le choix du moule dépend de la grosseur D des plus gros grains du sol :

- Si $D \leq 5$ mm (et seulement dans ce cas), le moule Proctor normal est autorisé, mais le moule California Bearing Ratio (C.B.R) est conseillé ;
- Si $5 < D \leq 20$ mm, utiliser le moule C.B.R ;
- Si $D > 20$ mm, tamiser le matériau à 20mm, et peser le refus
- Si le refus $\leq 25\%$, l'essai se fait dans le moule C.B.R, mais sans y intégrer le refus (échantillon écrêté à 20mm).
- Si refus $> 25\%$, l'essai Proctor ne peut pas être fait.

Le sol sur lequel nous travaillons est tamisé à 3 mm, alors on le compacte en utilisant le moule Proctor normal.

c) Matériel utilisé et mode opératoire

Moule Proctor ; Proctor ; Règle à raser ; Balance ; Etuve ; Eau et éprouvette gradué



Figure [VI.5] : Matériel de l'essai de compactage.

On met la première couche de sol dans le moule, en utilisant la dame on compacte le sol par 25 coups, distribué comme illustré dans la figure [VI.6]



Figure : [VI.6] Compactage des couches.

L'essai proctor est réalisé en principe sur la fraction de terre qui passe au travers du tamis 5 mm. Le compactage se fait en trois couches d'égale épaisseur sur toute la surface des couches avec un poids normalisé (dame Proctor)

d) Expression des résultats

Pour chaque éprouvette compactée il convient de calculer :

- la teneur en eau ;
- la masse de matériau sec contenu dans le moule ;



Figure [VI.7] : Etape de démoulage du moule Proctor.

. On porte chaque mesure de la densité sèche sur un graphe en fonction de la teneur en eau correspondante.

Tableau VI.3 : Détermination de l'optimum proctor pour le sable

Teneur en eau de fabrication	Poids humide Ph (g)	poids sec Ps (g)	Volume du moule (m3)	Poids volumique sec (γ_d) (kN/m3)
2	1803,00	1765,14	0,000944	18,60
4	1933,80	1852,80		19,52
6	2001,90	1885,80		19,87
8	2116,50	1812,59		19,10
10	2226,30	1757,54		18,52

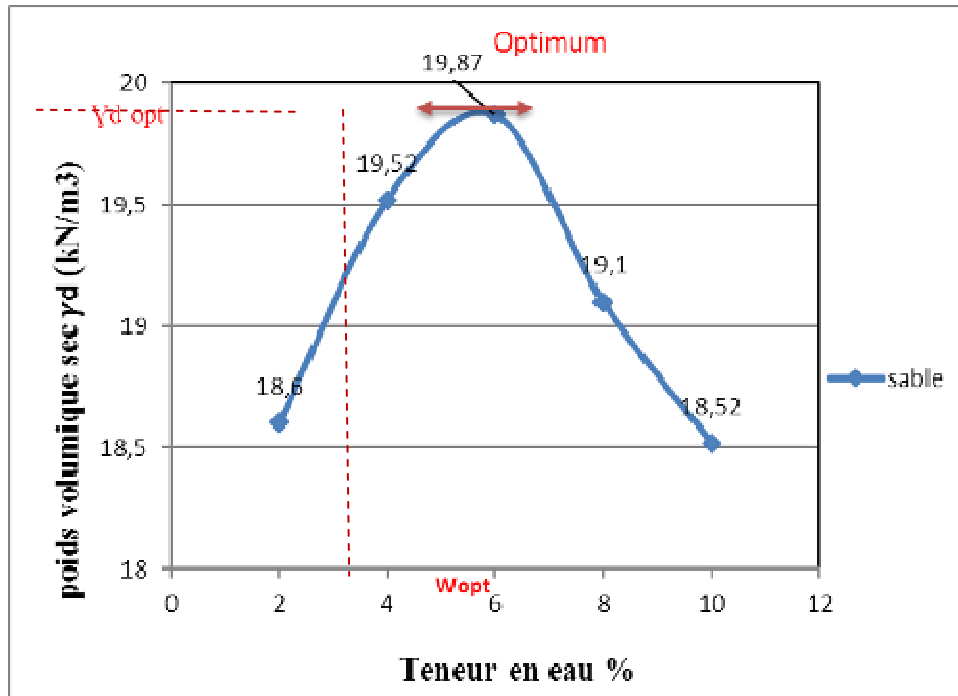
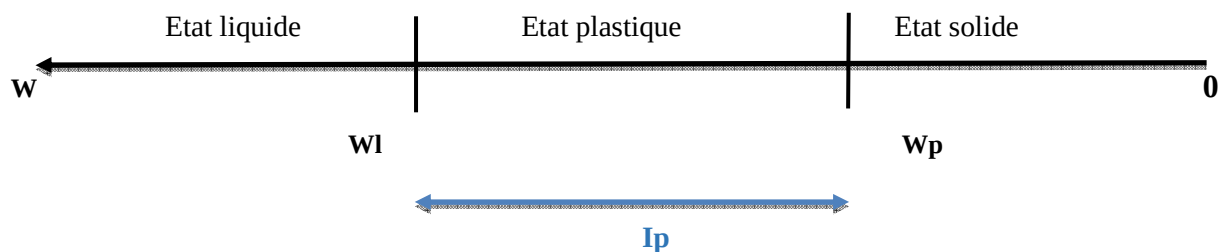


Figure [VI.8] : Courbe poids volumique sec en fonction des teneurs en eau.

On constate que le poids volumique sec optimale maximale est de **19.87** KN/m³ et la teneur en eau optimale est de **5.80**

2.5. Limites d'Atterberg :(NF P 94-051).

Les limites d'Atterberg sont des essais qui permettent de définir des indicateurs qualifiant la plasticité d'un sol, et plus précisément de prévoir le comportement des sols pendant les opérations de terrassement, en particulier sous l'action des variations de teneur en eau. Notons que cet essai se fait uniquement sur les éléments fins du sol et il consiste à faire varier la teneur en eau de l'élément en observant sa consistance, ce qui permet de faire une classification du sol.





Figure[VI.9] : Appareil de Casagrande et outil à rainurer

Le but de ces essais est de déterminer les limites de consistance qui sont exprimées en termes de teneur en eau marquant les limites entre état solide, plastique, et liquide. Il est important de noter que ces essais ne s'appliquent que pour les sols fins, définis comme ayant des grains de diamètres inférieurs à 0.06 [mm].

2.5.1. Détermination de la limite de liquidité :

On utilise la coupole de Casagrande, qui consiste en un appareillage composé la coupelle et d'un arbre à came permettant de transformer le mouvement de rotation en translation, on arrive donc à élever la coupelle d'une certaine hauteur et de le laisser retomber sur un plan rigide. Pour réaliser ce premier test, il faut :

- Humidifier l'échantillon de sol fin ;
- L'homogénéiser ;
- Etaler l'échantillon dans la coupelle, de manière à avoir une épaisseur à peu près constante, de 1 [cm], avec une surface horizontale ;
- Appliquer une rainure au milieu, séparant l'échantillon en deux parties distinctes et égales, de manière à voir le fond de la coupelle ;
- Tourner la manivelle en comptant la norme de fois que la coupelle s'est élevée puis rabattu jusqu'à ce que la fente se referme.
- Récupérer l'échantillon, le peser, et calculer sa teneur en eau.



Figure [VI.10] : Etapes de détermination de la limite de liquidité.

2.5.2. Résultats de la limite de liquidité

Tableau VI- 3 :résultats d'essai de détermination de limite de liquidité.

N° de l'essai	Nombre de coups	Ptare (g)	Pth	Pts	Ph	Ps	Teneur en eau (%)
1	15	26.5	77.6	61.8	51.11	35.3	44.70
2	19	23	56.1	4601	33.1	23.1	43.29
3	23	26.3	79.8	63.7	53.5	37.4	43.04
4	25	2.4	68.7	54.7	47.3	33.3	42.04
5	33	25.1	49.4	42.4	24.3	17.3	40.46

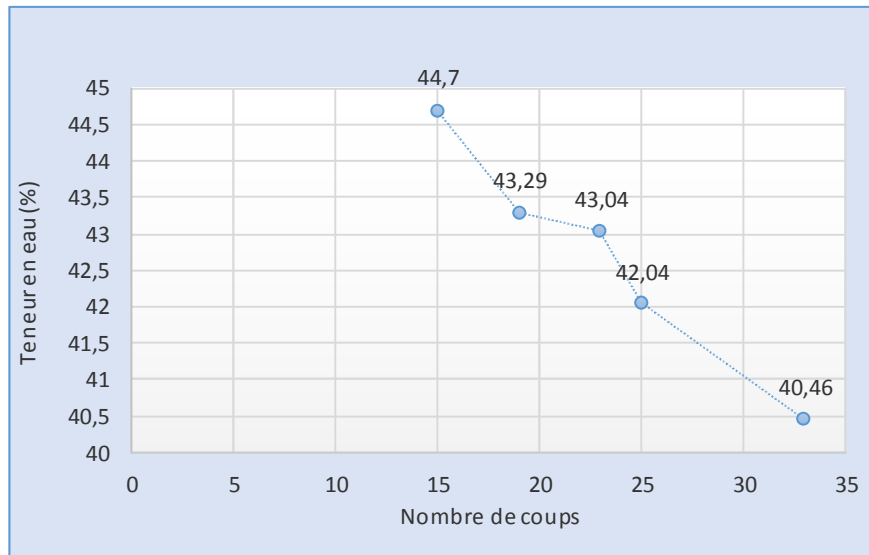


Figure [VI.11] : Limite de liquidité de l'argile utilisée .

$$W_L = 42.04 \%$$

2.5.3. Détermination de la limite de plasticité

Pour déterminer cette limite, le procédé est le suivant :

- Prendre un échantillon séché du sol fin ;
- Y ajouter un peu d'eau et homogénéiser le mélange ;
- Former trois fil de 3 [mm] de diamètre et de 10 [cm] de longueur sur le modèle d'une petite barre de fer ;
- Rouler les fils sur une planche de bois, servant à l'assécher au fur et à mesure, jusqu'à l'apparition des premières fissures. Les rétrécir si nécessaire pour maintenir la même longueur (10 [cm])

- Récupérer l'échantillon, le peser, et calculer sa teneur en eau.

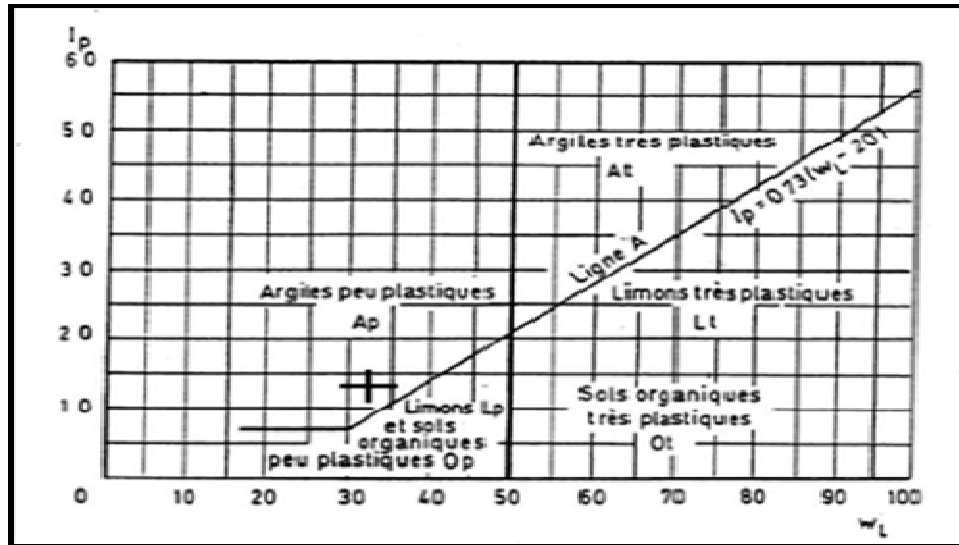


Figure [VI.12] : Diagramme de plasticité (d'après Casagrande, 1948, et Howard, 1977)

2.5.4. Résultats de la limite de plasticité

Tableau VI- 4 : résultats d'essai de détermination de limite de plasticité.

N ° de l'échan	P tare (g)	Pth (g)	Pts (g)	Pt (g)	Ps (g)	Teneur en eau (%)
1	29.6	34.3	33.2	4.7	3.6	30.55
2	23.2	26.1	25.4	2.9	2.2	31.80
3	27.1	29.7	29	2.6	1.9	36.84

$$w_p = 33.06 \%$$

$$I_p = w_L - w_p = 8.98 \%$$

3. Interprétation des résultats

On peut conclure que le sol étudié est une argile peu plastique.

4. Conclusion

Ce chapitre a été consacré à l'identification des matériaux étudiés, afin de mieux présenter leurs aspects physiques. Les résultats obtenus ont permis d'avoir une idée sur la nature des matériaux étudiés. Ceci contribue sensiblement à mettre en évidence leur comportement mécanique sous les différents types de sollicitations auxquelles ils seront soumis.

Chapitre VII

Les essais de compactage Proctor

1. Introduction

Lors de l'élaboration d'un projet, l'ingénieur rencontre des problèmes de stabilité ou de déformations, et pour les résoudre, il fait appel aux différentes méthodes d'amélioration des sols.

De nombreuses techniques ont été développées par les ingénieurs géotechniciens au cours du 20ème siècle. Elles permettent l'amélioration des caractéristiques géotechniques et les propriétés mécaniques des terrains. Parmi ces méthodes, on trouve « le compactage » qui est défini comme un procédé permettant d'augmenter la densité et la capacité de charge d'un matériau grâce à l'application de forces extérieures statiques ou dynamiques.

Le compactage figure parmi les plus anciennes méthodes d'amélioration et de stabilisation des sols cependant, il a fait l'objet de plusieurs recherches et fut traité par plusieurs auteurs dont on citera, (Holtz et Kovacs, 1991), (Dupain, Lanchon et Arroman, 2000), (Leonards, 1968) et (Robitaille et Tremblay, 1997)...etc.

Il y a même des auteurs tel que (Arquie et Morel, 1988), (Arquie, 1972) et (Correa et Quibel, 2000), qui ont rédigés des ouvrages tout entier pour mieux détailler ce procédé, vu son importance et son utilisation fréquente et indispensable notamment dans les travaux de routes, de barrages,...etc.

La partie théorique de ce chapitre, consiste à présenter quelques notions principales sur le compactage, permettant d'avoir une idée générale sur ce procédé. On a vu nécessaire de définir cette méthode et de présenter : ses objectifs et ses conséquences, les paramètres influençant le compactage, le rôle de l'eau et de l'air dans le sol, les effets du compactage sur certaines propriétés du sol, le compactage en laboratoire...etc.

2. Compactage

2.1 Définition

Le compactage des sols est l'ensemble des opérations mécaniques qui conduisent à augmenter le poids volumique sec (γ_d) du sol traité, ce qui conduit à réduire son volume apparent (V_t). L'opération de compactage conduit à une diminution des vides d'air sans expulsion d'eau, contrairement à la consolidation. En général, après le compactage, le sol acquière :

- ✓ Une augmentation de la densité sèche (γ_d/γ_w) ;
- ✓ Une augmentation de la capacité portante ;
- ✓ Une augmentation de la résistance au cisaillement ;
- ✓ Une diminution de la perméabilité ;
- ✓ Une diminution de la compressibilité ;

Donc on peut résumer l'objectif du compactage dans la figure suivante :

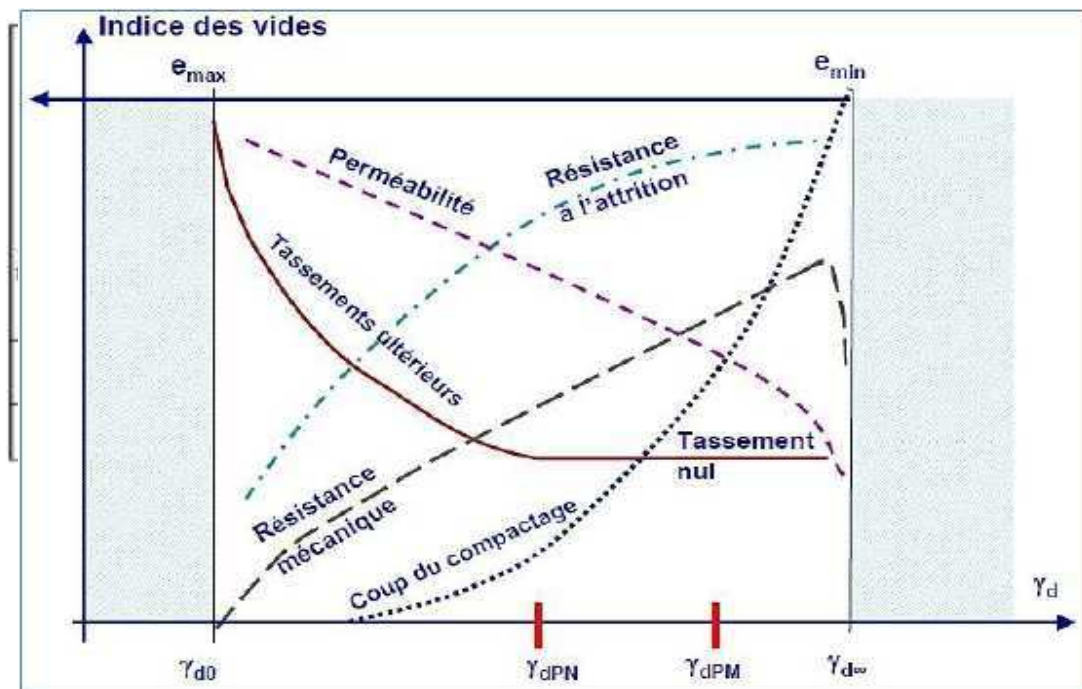


Figure [VII.1] : Objectifs du compactage.

2.2 . Le compactage selon la structure du sol

Le compactage influe principalement sur la densité des matériaux qui se composent généralement de trois phases ;

❖ Une phase solide

Composée de grains séparés les uns des autres, laissant entre eux des interstices occupés par d'autres phases (liquide ou gaz), c'est une phase peu compressible ; l'objectif du compactage n'est donc pas de réduire le volume de cette phase.

❖ Une phase liquide

Occupe tous ou une partie des interstices, cette phase est aussi peu compressible, l'objectif du compactage n'est donc pas de réduire le volume du matériau, mais généralement il y a expulsion d'une partie de liquide.

❖ Une phase gazeuse

Occupe l'autre partie du volume des interstices, cette phase par contre est éminemment compressible ;

Dans la figure suivante et d'après la structure tri phasique du sol nous pouvons arriver à une démonstration générale sur le compactage qu'est simplement comme suit :

Parfois expulser du liquide, souvent expulser du gaz et toujours comprimer du gaz mais c'est surtout faire glisser les éléments du squelette les uns sur les autres d'une façon à aboutir un meilleur réarrangement des grains. Ainsi, pour compacter, il faut vaincre certains obstacles tels que la cohésion, l'angle de frottement interne, l'imperméabilité qui s'oppose aux mouvements des liquides et la pression des gaz comprimés.

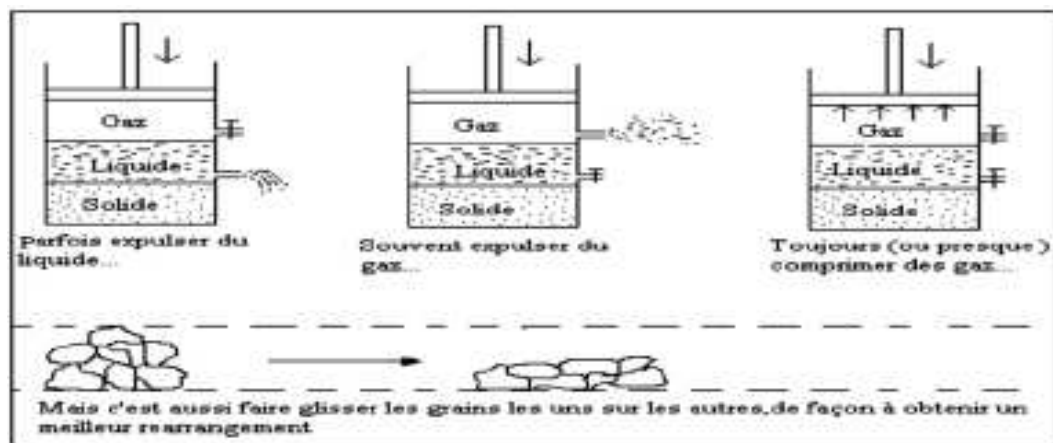


Figure [VII.2] : Image schématique du compactage selon les différentes phases du sol.

2.3 . Les principes de base du compactage

Le compactage consiste à appliquer suffisamment d'énergie au sol pour y réduire l'indice des vides en accroître la compacité. La masse volumique sèche d'un sol compacté sera donc supérieure à celle d'un sol non compacté, c'est donc cette caractéristique qui permet de vérifier l'efficacité du compactage.

La masse volumique du sol sec est influencée par trois variables : La teneur en eau ; l'énergie de compactage et la granulométrie.

2.4 . Les conséquences du compactage

2.4.1 La réduction des risques de tassement

Le tassement n'est que la traduction d'une diminution de volume des matériaux, qui est le résultat d'un compactage spontané et lent.

- ✓ Suppression des tassements : l'objectif de l'ingénieur, c'est de substituer au compactage lent qui conduit dans le temps à des désordres, donc effectué une opération avant la construction de l'ouvrage qui mettra le matériau dans un état suffisamment serré, pour qu'un resserrement ultérieur soit impossible ou peu probable
- ✓ Suppression des tassements différentiels : l'idéale pour l'ingénieur sera de chercher à éliminer tout tassement, mais surtout à éviter que ce tassement s'accompagne de déformation, en effet un tassement est rarement constant ; car le remblai n'est généralement pas de hauteurs égales. Ce sont donc les tassements différentiels qui sont les plus dommageables.

2.4.2 L'élévation des caractéristiques mécaniques

Le resserrement des grains d'un matériau a un autre effet très important qui est la forte amélioration des caractéristiques mécaniques.

2.4.3 Augmentation de la cohésion et d'angle de frottement interne

Le resserrement des grains augmente le nombre de points de contact entre eux et par conséquent leur frottement, d'où l'angle de frottement est accru, il augmente aussi l'efficacité des ménisques d'eau (s'ils n'entraînent pas un degré de saturation plus élevé) d'une part, et les phénomènes de surfaces paraissent d'avantage d'autre part, car la cohésion peut être fournie par les ménisques d'eau qui par tension superficielle qui viennent plaquer l'un contre l'autre, mais également par les phénomènes électrostatiques régnant dans l'eau plaquée à la surface des grains,

2.4.4 Augmentation du module de déformation

Lorsque le volume des interstices est importante, le sol sera plus déformable et par conséquent, le module de déformation plus faible, car il suffit d'appliquer une petite force pour produire une déformation.

Le compactage réduit les interstices, ce qui rend le sol moins déformable et supporte des forces importantes, d'où on aura une augmentation marquante du module de déformation, ce qui se traduit aussi par une augmentation de la portance.

2.4.5 La diminution de l'attrition

Lors de la mise en place d'une assise routière constituée de grains, ceux-ci se cassent par frottement les uns contre les autres ou par chocs, donc perdent une partie de leur substance transformée en grains plus petits, cette modification de la granularité est l'attrition, elle est généralement augmentée par la présence d'eau. Lorsqu'un matériau routier est bien serré, les interstices n'y ont qu'un volume restreint ; d'où les mouvements relatifs entre les grains seront réduits, mais il faut éviter que l'attrition se produise par le compactage lui-même, car elle peut aussi être le résultat de deux grains qui s'appuient l'un sur l'autre et se compriment mutuellement par une petite surface de contact, écrasant le grain voisin.

2.4.6 La diminution de la perméabilité

Il est évident que le volume des interstices joue un rôle important dans la perméabilité car plus la structure d'un matériau est lâche, plus les vides entre les grains augmentent, et vice versa, donc la perméabilité est directement proportionnel au compactage, mais l'objectif de diminution de ce facteur (perméabilité), varie suivant la nature de l'ouvrage ;

Pour les assises des chaussées, il faut noter que les exigences d'imperméabilité ne sont pas les mêmes, suivant qu'il s'agit d'une couche de surface qui doit impérativement être étanche, ou d'une couche de fondation qui dans certains cas pourrait même avoir intérêt à être peu perméable.

2.5 Les Paramètres influençant sur le compactage

Proctor a montré que le compactage est fonction de trois paramètres : la masse volumique du sol sec, la teneur en eau, l'énergie de compactage et type de sol (granulométrie, minéralogie). (Berga Abdelmadjid, 2003).

2.5.1 L'influence de la teneur en eau

Lorsque la teneur en eau est élevée, l'eau absorbe une importante partie de l'énergie de compactage sans aucun profil, par contre lorsque la teneur en eau est faible l'eau a un rôle lubrifiant important, et la densité sèche augmente avec la teneur en eau.

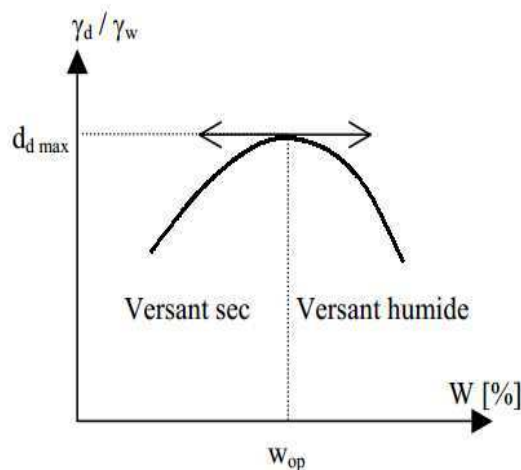


Figure [VII.3] : influence de la teneur en eau .

2.5.2 L'influence de la granulométrie

Les courbes de compactage varient avec la nature du sol, elles sont très aplaties pour les sables qui leur compactage est donc peu influencé par la teneur en eau. Les matériaux de ce genre constituent les meilleurs remblais.

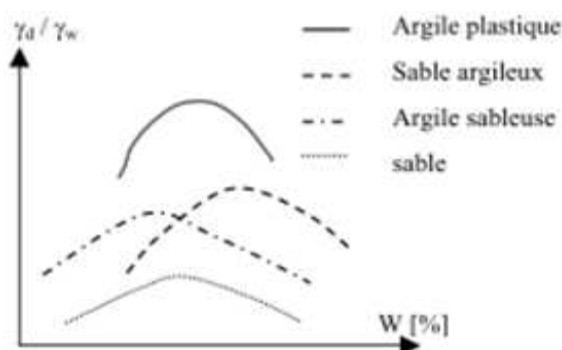


Figure [VII.4] : influence de la granulométrie .

2.5.3 L'influence de l'énergie de compactage

Lorsque l'énergie de compactage augmente, le poids volumique optimal s'accroît et la teneur en eau diminue.

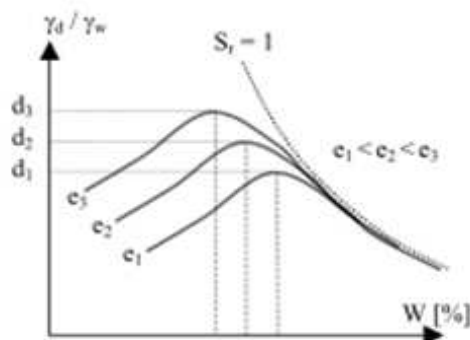


Figure [VII.5] : influence de l'énergie de compactage.

2.6 Effet du compactage sur les propriétés des sols

Le compactage augmente la stabilité des sols et leur capacité portante d'une part, mais d'autre part modifie certaines de leurs propriétés :

2.6.1 Effet sur la structure du sol

Le compactage réduit l'indice des vides et densifie la structure des sols pulvérulents, par contre dans les sols cohérents, il réorganise les particules d'argile qui tendent à devenir parallèles et à adopter une structure dispersée.

2.6.2 Effet sur la perméabilité

Le compactage fait diminuer la proportion des vides dans le sol, d'où une diminution de la perméabilité, ce qui limite la quantité d'eau qui peut circuler,

2.6.3 Effet sur le gonflement et le retrait

Le compactage réduit l'indice des vides des sols, d'où leur perméabilité, ce qui diminue à la fois la quantité d'eau qu'ils peuvent contenir et celle qu'ils sont susceptibles de recevoir ; il limite les variations de volume causées par le gonflement et le retrait.

2.6.4 Effet sur la compressibilité

Plus le volume des vides dans un sol est important, plus sa compressibilité est grande et plus les tassements sont importants. La réduction des vides d'un sol par compactage le rend moins compressible, d'où les risques de tassement s'atténuent ;

2.6.5 Effet sur la résistance au cisaillement

En compactant les sols pulvérulents, on resserre les grains les uns contre les autres, en augmentant ainsi leur frottement et leur enchevêtrement, d'où une meilleure résistance au cisaillement, ceci améliore la capacité portante des sols, sachant que cette dernière est directement proportionnelle à l'angle de frottement interne et dans les sols cohérents, les forces de cohésion constituent le facteur principal de la résistance au cisaillement.

- ✚ D'une façon générale, les sols cohérents présentent une meilleure résistance au cisaillement quand ils sont compactés à une teneur en eau inférieure à la teneur en eau op-

timale. Or plus la distance entre les particules est faible, plus les forces de cohésions sont élevées, donc le compactage augmente la résistance au cisaillement.

2.7 Les essais de compactage

Les principaux essais de compactage souvent manipulés en laboratoire, sont les essais Proctor (normal et modifié) et l'essai à la table vibrante.

2.7.1 Essai à la table vibrante

C'est un essai généralement utilisé pour les sols peu sensibles à l'eau, où l'essai donne des courbes de compactage plates, sur lesquelles la détermination de l'optimum paraît très difficile. L'inconvénient de cet essai, est qu'il ne permet pas d'établir la teneur en eau optimale.

2.7.2 Essais Proctor

Il existe deux types d'essais Proctor, essai Proctor normal et essai Proctor modifié. Les deux essais sont identiques dans leur principe, seules diffèrent les valeurs des paramètres qui définissent l'énergie de compactage appliquée.

2.7.3 Comparaison entre les essais Proctor

Le choix de l'intensité de compactage est fait en fonction de la surcharge que va subir l'ouvrage au cours de sa durée de vie :

- **Essai Proctor normal** : Résistance souhaitée relativement faible, du type remblai non ou peu chargé,
- **Essai Proctor modifié** : Forte résistance souhaitée, du type chaussée autoroutière.

Tableau VII - 1 : les conditions des essais Proctor (normal et modifié).

Essais	Masse du marteau (Kg)	Hauteur de chute du marteau (cm)	Nombre de couches	Volume du moule (cm ³)	Nombre de coups par couche	Energie de compactage (Kal/m ²)
Proctor Normal (Norme NQ 2501-250)	2,49	30,5	3	944 2 124	25 56	592 589
Proctor Modifié (Norme NQ 2501-255)	4,54	45,7	5	944 2 124	25 56	2 695 2683

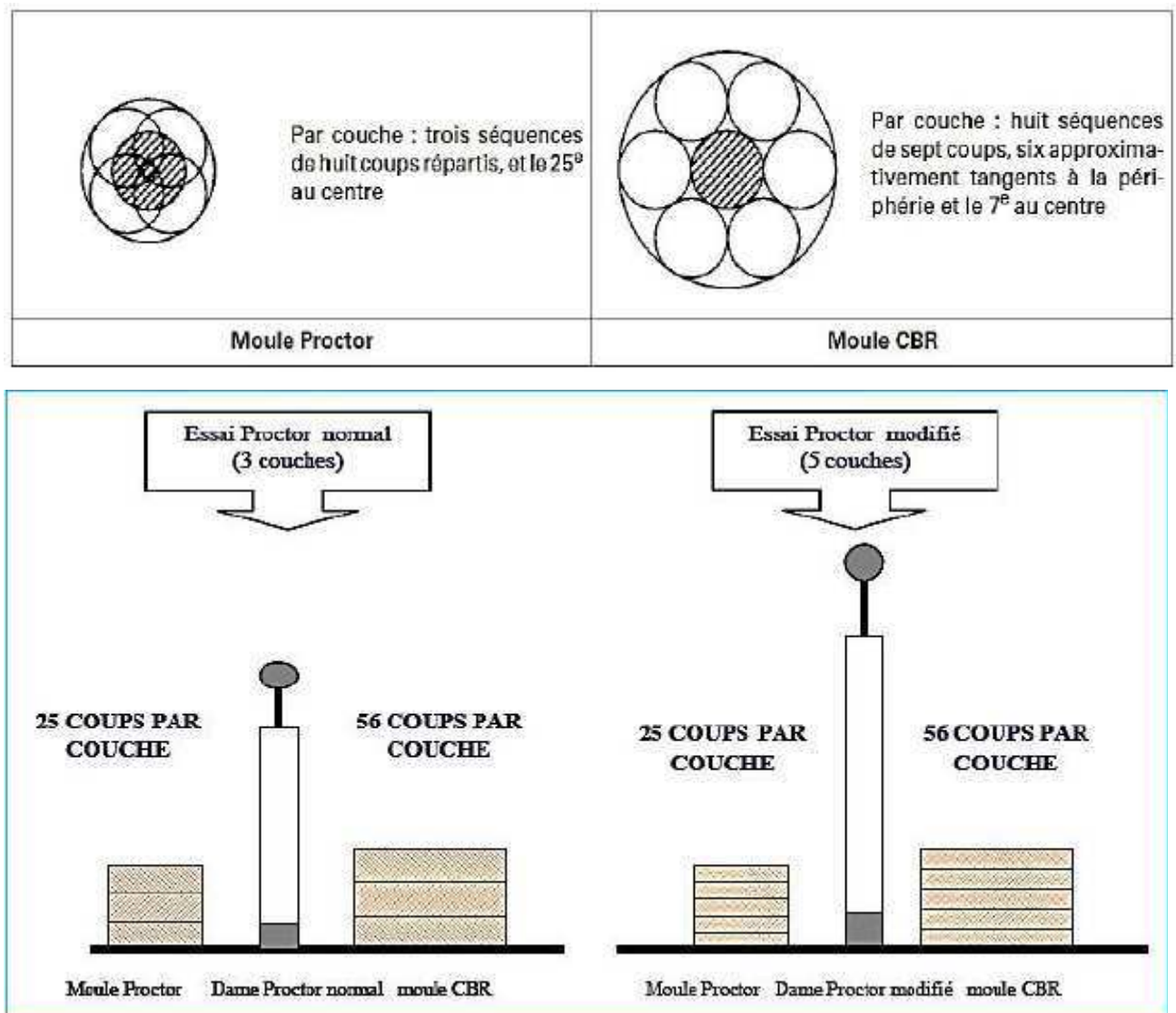


Figure [VII.6] : comparaison entre les essais Proctor (normal et modifié).

2.7.4 Le contrôle du compactage sur le chantier

L'étude en laboratoire permet de déterminer la teneur en eau optimale à laquelle il faut comparer le sol pour l'amener à sa densité sèche maximale. Il faut donc pouvoir contrôler si sur chantier on arrive à obtenir les valeurs recherchées. La teneur en eau est contrôlée en prélevant plusieurs échantillons à différents endroits et en passant à l'étuve.

La difficulté réside dans la détermination du volume de l'échantillon prélevé. Il faut contrôler la teneur en eau des remblais qui arrivent sur chantier.

- si $w = w_{opt}$ —————> compacter le sol normalement.
- si $w < w_{opt}$ —————> il faut humidifier, pour cela : verser l'eau nécessaire au-dessus du matériau.
- si $w > w_{opt}$ —————> il faut sécher le matériau jusqu'à ce que passe par w_{opt} .

Plusieurs méthodes peuvent être utilisées :

- L'essai au nucléo densimètre.
- L'essai au cône de sable.
- L'essai à la membrane élastique.
- L'essai à la membrane flexible.

L'essai nucléo densimètre est plus utilisé , car il s'effectue rapidement et ne nécessite pas l'arrêt des travaux sur chantier. Dans notre étude, on a fait l'essai Proctor Normal suivant la norme (NF P94_093) .

2.8 But de l'essai

L'essai Proctor a pour but de déterminer la teneur en eau optimale pour un sol de remblai donné et des conditions de compactage fixées, qui conduisent au meilleur compactage possible ou encore capacité portante maximale, (Boudlal; 2007).

2.9 Principe de l'essai

L'essai Proctor consiste à prélever des échantillons de sol qu'on fait passer à l'étuve pendant 24h , à une température 105°C ; par suite on prépare généralement six quantités de sol de masses équivalentes de ces échantillons auxquelles on ajoutera un certain pourcentage d'eau qui varie progressivement d'un même intervalle pour chaque couche à compacter. Puis procéder au compactage par couches successives dans un moule Proctor avec une méthodologie précise. L'aboutissement de cet essai permet d'obtenir une teneur en eau optimale (W_{opt}) qui correspond à une densité maximale (γ_d).

- **Matériel utilisé :** Moule Proctor; Règle à raser ; Balance ; Etuve ; Eau et éprouvette graduée



Figure [VII.7] : Matériel de l'essai de compactage.

Expression des résultats

Pour chaque éprouvette compactée, il convient de calculer :

- la teneur en eau ;
- la masse de matériau sec contenu dans le moule ;
- la masse volumique du sol sec en tenant compte du volume réel du moule
- utilisé, avec les coordonnées suivantes : $\rho_d = m_h / (1 + w) V$



Figure [VII.8] : Etape de démoulage du moule Proctor.

✓ Préparation de l'échantillon

Dans notre étude, on a réalisé l'essai Proctor normal 4 fois de suite pour avoir une courbe Proctor normale sur des échantillons portés à différentes teneur en eau (6 % la teneur en eau de départ) ; nous avons préparé des quantités de sol argileux selon des déférents % de sable et d'argile ainsi que des bandes de plastique ajoutées suivant la hauteur du moule Proctor.

2.10 Exécution de l'essai

- Pour réaliser l'essai Proctor normal ; nous avons d'abord réalisé des échantillons témoins avec (variation de % de sable et d'argile) sans renforcement puis nous avons rajouté à ces mélanges (sable + argile) des bandes de plastique. La procédure d'échantillonnage est résumée par les étapes suivantes :
 - Introduire la première couche et la compacter,
 - Recommencer l'opération pour chaque couche,
 - Après compactage de la dernière couche, enlever la rehausse et le sol compacté dans le moule doit dépasser le moule de 1 cm environs, sinon on répète l'essai.
 - Araser soigneusement à partir du centre en suite peser l'échantillon juste arasé après avoir démoulé l'échantillon come le montre la figure VII-9 suivante ;
 - Augmenter de 2% la teneur en eau w de l'échantillon de départ et recommencer l'essai 4 à 5 fois de suite; dans le but d'avoir plusieurs points permettant de tracer la courbe Proctor ;



Figure [VII.9] : Etapes de l'essai Proctor.

2.10.1 Expression des résultats du cas I (sol seul)

On trace la courbe de densité sèche en fonction de la teneur en eau ($\gamma_d = f(w)$)

- La teneur en eau w (%):
$$W = ((M_h - M_s) / M_s) * 100\%$$

M_h : masse de l'échantillon humide compacté après l'arasement et le démoulage (g) ;

M_s : masse de l'échantillon après passage à l'étuve pendant 24h à une température de 75°C exprimée (g) ;

- La masse volumique sec γ_d (KN/m³):
$$\gamma_d = M_s / V$$

M_s : masse de l'échantillon compacté après passage à l'étuve pendant 24h à une température de 75°C ;

V : le volume du moule ($V = 944 \text{ cm}^3$) ;

2.10.2 La représentation des résultats

Les résultats sont présentés sous forme de tableaux et des courbes Proctor.

Tableau VII - 2 : Résultats de l'essai Proctor pour 75% de sable + 25% d'argile.

n° de l'essai	1	2	3	4
% d'eau ajouté	6	8	10	12
densité sèche γ_d (KN/m ³)	19.2	20.4	20.7	19.4
teneur en eau w (%)	6.95	8.90	10.34	11.11

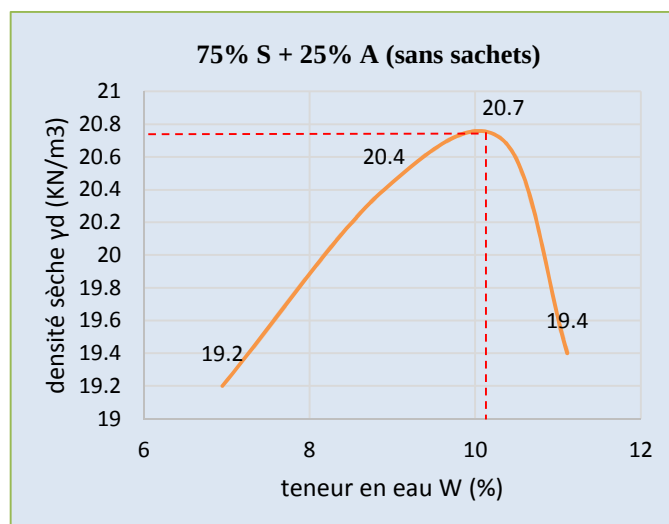


Figure [VII.10] : Courbe poids volumique sec en fonction des teneurs en eau.

Tableau VII - 3 : Résultats de l'essai Proctor pour 85% de sable + 15% d'argile.

n° de l'essai	1	2	3	4
% d'eau ajouté	6	8	10	12
densité sèche γ_d (KN/m ³)	18.9	19.6	19.8	18.8
teneur en eau w (%)	6.88	10.09	10.46	12.62

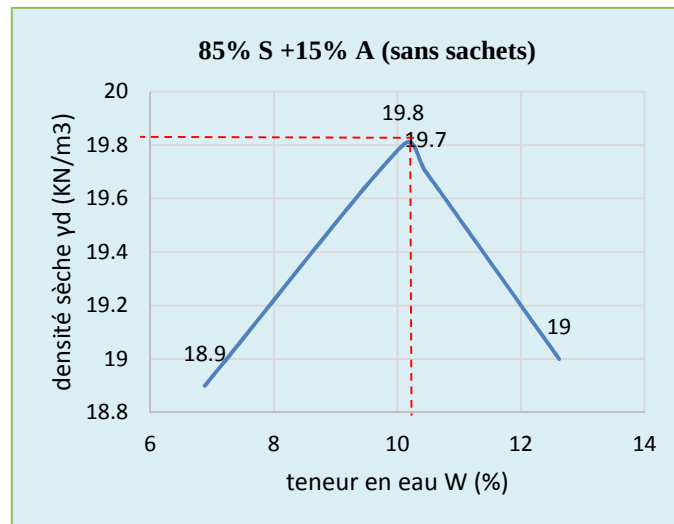


Figure [VII.11]: Courbe poids volumique sec en fonction des teneurs en eau.

Tableau VII - 4: Résultats de l'essai Proctor pour 95% de sable + 5% d'argile.

n° de l'essai	1	2	3	4
% d'eau ajouté	6	8	10	12
densité sèche γ_d (KN/m ³)	18.3	18.8	19.0	18.4
teneur en eau w (%)	6.53	7.71	10.52	12.11

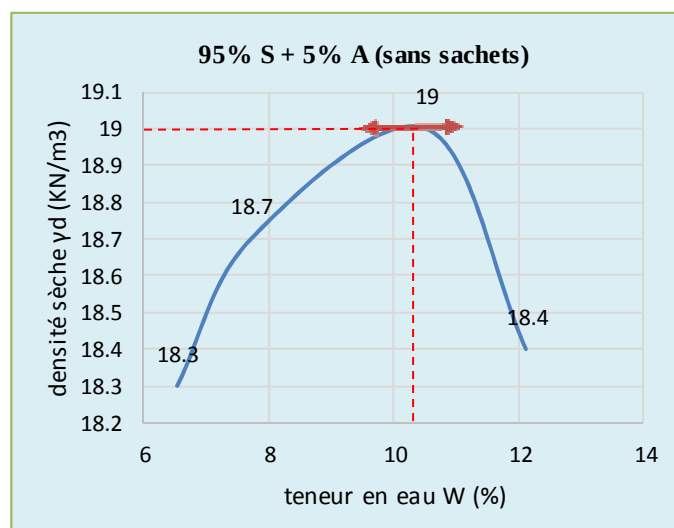


Figure [VII.12] : Courbe poids volumique sec en fonction des teneurs en eau.

2.10.3 Expression des résultats du cas II (sol + sachets)

On trace la courbe de densité sèche en fonction de la teneur en eau ($\gamma_d = f(w)$).

2.10.4 La représentation des résultats

Les résultats sont présentés sous forme de tableaux et des courbes Proctor.

Tableau VII - 5 : Résultats de l'essai Proctor pour 75 % de sable + 25 % d'argile.

n° de l'essai	1	2	3	4
% d'eau ajouté	6	8	10	12
densité sèche γ_d (KN/m ³)	19.7	20.1	20.0	19.8
teneur en eau w (%)	6.44	8.90	10.69	12.79

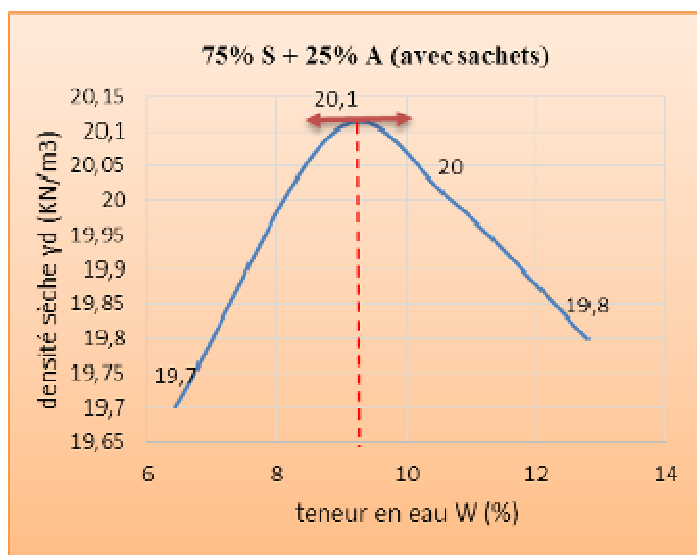


Figure [VII.13] : Courbe poids volumique sec en fonction des teneurs en eau.

Tableau VII - 6 : Résultats de l'essai Proctor pour 85 % de sable + 15 % d'argile.

n° de l'essai	1	2	3	4
% d'eau ajouté	6	8	10	12
densité sèche γ_d (KN/m ³)	18.8	20.4	19.8	18.9
teneur en eau w (%)	6.65	8.09	10.53	11.72

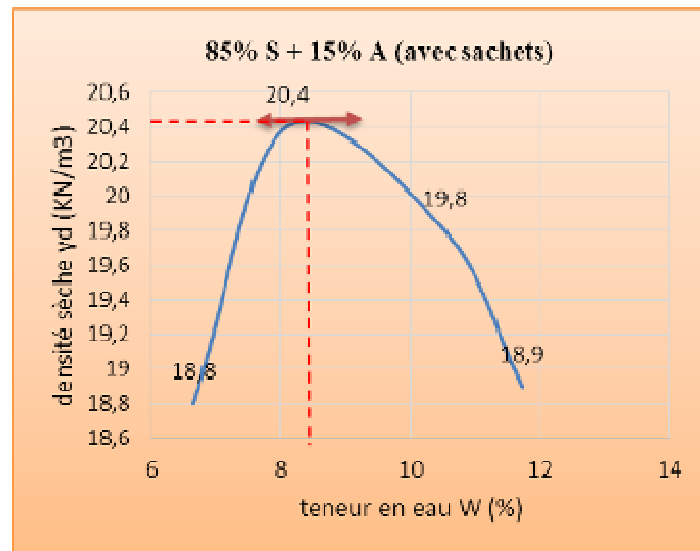


Figure [VII.14] : Courbe poids volumique sec en fonction des teneurs en eau.

Tableau VII - 7 : Résultats de l'essai Proctor pour 95% de sable + 5% d'argile

n° de l'essai	1	2	3	4
% d'eau ajouté	6	8	10	12
densité sèche γ_d (KN/m³)	18.4	19.0	18.6	18.0
teneur en eau w (%)	6.69	7.58	10.32	12.57

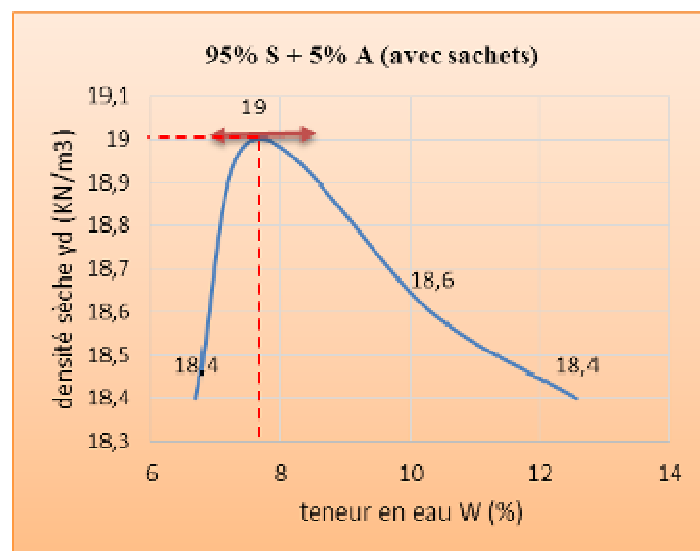


Figure [VII.15]: Courbe poids volumique sec en fonction des teneurs en eau.

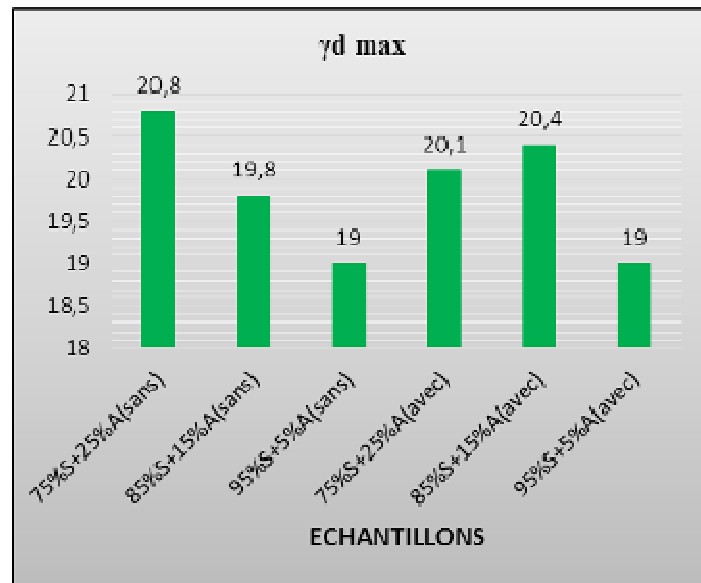


Figure [VII.16]: Le poids volumique sec maximal de tous les échantillons.

2-10-5- Interprétation des résultats des essais Proctor

Nous remarquons que les poids volumiques secs sont élevés et confondus pour les deux cas d'essais, soit pour le sol seul soit pour le sol renforcé de bandes plastiques : ce qui montre que ce dernier n'influe pas dans l'échantillon quelle que soit la variation de pourcentage de sable et d'argile. Par contre, la présence du plastique influe sur la teneur en eau optimale ; En effet, les teneurs en eau diminuent avec la diminution du pourcentage d'argile renforcée de plastique

Chapitre VIII

Les essais de cisaillement à la boite

1. Introduction

Dans tous les problèmes des sols (études des fondations, ouvrages de soutènement, remblais, etc...), il est nécessaire de connaître la résistance des sols. Cette résistance est souvent difficile à déterminer, spécialement lorsque il s'agit d'un sol cohérent. La résistance d'un sol peut être définie par de nombreux critères

Ce chapitre s'intéresse exclusivement à l'essai de cisaillement, dit à la boîte qui permet d'étudier la résistance au cisaillement d'un sol et d'en déduire ses caractéristiques mécaniques.

2. Les caractéristiques mécaniques de cisaillement

2.1. La résistance au cisaillement

Lorsqu'on applique un système de forces à un volume déterminé d'un sol, il se développe en général des contraintes de cisaillement. Ces dernières entraînent des déformations du sol concerné, qui peuvent être importantes le long de certaines surfaces que l'on appelle surfaces de glissement ou surfaces de rupture [LCPC, 1987]. Ainsi, le cisaillement est le glissement relatif entre deux sections d'un matériau. Ceci est possible si la contrainte tangentielle appliquée dans un plan donné atteint une valeur seuil appelée la résistance au cisaillement du matériau [ESTRADA MEJIA Nicolas, 2008]. La résistance au cisaillement d'un sol est définie comme étant la contrainte de cisaillement dans le plan de la rupture, au moment de la rupture [LCPC, 1987]. Autrement dit, c'est la contrainte de cisaillement maximale qu'un sol peut supporter [HOLTZ Robert, KOVACS William, 1981]. Et selon le LCPC (1987), la résistance au cisaillement peut être définie, sur les courbes de contraintes-déformations, comme étant (figure XIII.1) :

- ✓ Le maximum de la contrainte de cisaillement $\tau_{\max}$;
- ✓ La contrainte de cisaillement correspondant à une déformation très importante ;
- ✓ La contrainte de cisaillement correspondant à une déformation plus au moins arbitraire.

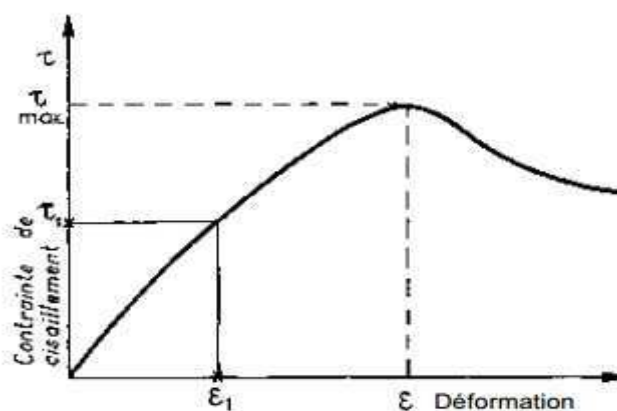


Figure [VIII-1] : Courbe de contraintes-déformations (LCPC, 1987).

- Cette résistance est due en fait aux frottements et à l'enchevêtrement des grains et aux forces de cohésion entre les particules [ROBITAILLE et TREMLAY. 1997]. La résistance dépend de nombreux facteurs tels que la nature et l'état du sol, mais aussi de l'intensité des efforts exercés et la manière dont ces efforts sont appliqués [MAGNAN Jean-Pierre, 1991].

2.2. La courbe intrinsèque

La représentation graphique des valeurs de la résistance au cisaillement en fonction des contraintes normales, qui sont appliquées sur le plan de la rupture, donne une courbe assimilable à une droite appelée « la droite intrinsèque ». L'angle que forme cette dernière avec l'axe des abscisses est appelé « angle ϕ » et le point de rencontre entre cette droite et l'axe des ordonnées est appelé « valeur c ». La relation entre τ et σ est donnée par l'équation suivante :

$$\tau = c + \sigma \tan \phi.$$

Avec :

- ✓ ϕ : Angle de frottement interne du sol.
- ✓ c : La cohésion.
- ✓ τ : Contrainte de cisaillement.
- ✓ σ : Contrainte normale.

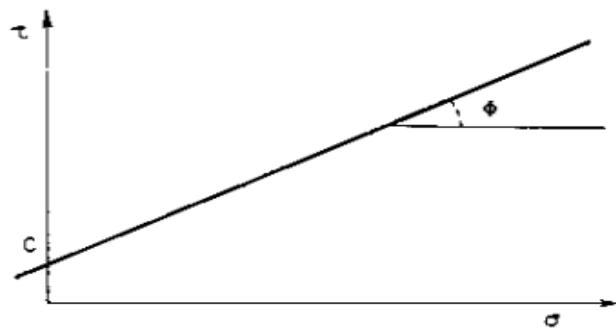


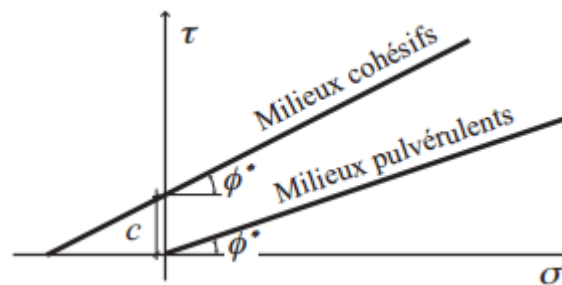
Figure [VIII.2] : La droite intrinsèque. (LCPC, 1987).

La contrainte de cisaillement à la rupture des milieux pulvérulents est donnée par l'équation suivante :

$$\tau = \sigma \tan \phi.$$

La contrainte de cisaillement pour les milieux cohésifs est donnée par cette équation :

$$\tau = \sigma \tan \phi + c.$$



Figure[VIII.3] : Les courbes intrinsèques des sols pulvérulents et cohérents. (ESTRADA MEJIA Nicolas, 2008).

2.3. Les paramètres intrinsèques

2.3.1. L'angle de frottement interne

L'angle de frottement interne ϕ traduit le frottement lors du glissement des grains, l'un sur l'autre. Il varie d'un sol à un autre. Pour les sols pulvérulents, la valeur de l'angle de frottement interne ϕ dépend sensiblement de l'état de compacité du sol. Pour un état donné de compacité, ϕ croît avec l'augmentation du diamètre moyen des grains et l'étalement de la granulométrie du sol. Ce paramètre dépend également de la forme et de la nature de la surface des grains. Il est plus élevé pour les sols à grains anguleux que pour les sols à grains ronds, et pour une surface rugueuse que pour une surface lisse des grains. Par contre, l'angle de frottement interne est pratiquement indépendant de la teneur en eau du sol [MAGNAN Jean-Pierre, 1991], [ROBITAILLE et TREMLAY, 1997].

Dans le cas des sols fins, on a pu mettre en évidence l'influence de la nature minéralogique des composants argileux sur la valeur de ϕ . On note ainsi que la présence de montmorillonite, qui donne naissance à des valeurs élevées de plasticité, fait diminuer inéluctablement la résistance au cisaillement. Ce matériau ayant, de plus, la faculté de gonfler en présence d'eau, est source de nombreux ennuis [LERAU Jacques, 2005].

2.3.2. La cohésion

Elle exprime la résistance au cisaillement du sol sous contrainte normale indépendamment de la contrainte normale σ . Elle constitue la résistance propre de la structure due essentiellement aux liaisons de type physico-chimique pouvant exister entre les grains et créées par la cimentation. La cohésion est nulle dans les sols grenus étant donné qu'ils ne possèdent pas de telles liaisons. En revanche, cette dernière apparaît dans les sables humides ou légèrement cimentés en raison des ménisques d'eau existant aux points de contact entre les grains créant ainsi une certaine adhérence entre ces derniers et qui disparaît dès que la teneur en eau du sable augmente [MAGNAN Jean-Pierre, 1991]. La cohésion est relativement élevée pour les sols cohérents, surtout dans les sols fortement surconsolidés. Mais celle-ci disparaît dès que les liaisons sont cassées par le cisaillement, ce qui correspond approximativement au maximum de la courbe de rupture [LERAU Jacques, 2005].

2.4. L'essai de cisaillement direct (NF P 94-071-1, 1994)

L'essai de cisaillement à la boîte trouve son origine dans les expériences de coulomb d'il y a plus de 200 ans. Il est le plus ancien essai employé dans la mécanique des sols et reste encore très utilisé dans l'étude de la rupture des matériaux, du fait de la simplicité de son appareillage. Cet essai s'effectue à l'aide d'une boîte de cisaillement, dont la forme la plus récente est élaborée par Arthur CASAGRANDE en 1932. Cette boîte est constituée de deux parties égales se déplaçant l'une par rapport à l'autre dans un plan horizontal [ROBITAILLE et TREMLAY. 1997]. Ces deux demi-boîtes peuvent être de section circulaire ou carrée (6×6)cm



Figure [VIII.4] : Les boîtes de cisaillement.

Le principe de l'essai consiste à placer une éprouvette de sol à l'intérieur des deux demi-boîtes et la soumettre à l'action d'une force normale N maintenue constante pendant l'essai par l'entremise du plateau horizontal de la demi-boîte supérieure. L'essai s'effectue par un entraînement horizontal, à vitesse constante, de cette dernière sous l'action de la force de cisaillement T (figure VIII.5). La demi-boîte inférieure reste fixe tout au long de l'essai [SCHLOSSER François, 1988].

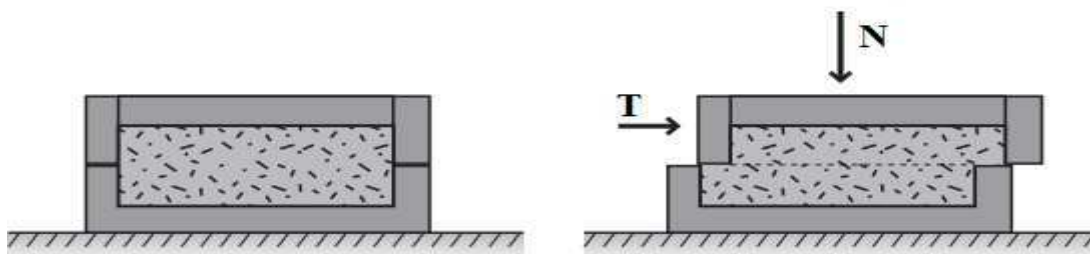


Figure [VIII .5] : Le principe de l'essai de cisaillement direct à la boîte..

L'échantillon est donc cisailé suivant un plan imposé, sur lequel on exerce une contrainte normale et une contrainte tangentielle déterminées par les équations suivantes. On mesure le déplacement de la demi-boîte supérieure par rapport à celle inférieure en fonction de la force T .

Et en même temps, on évalue le tassement ou la dilatation verticale de l'échantillon durant le cisaillement. Cette procédure est répétée sur plusieurs éprouvettes pour différentes valeurs de la contrainte normale, ce qui permet de déterminer la cohésion C et l'angle de frottement ϕ du sol par le traçage de la courbe intrinsèque [SCHLOSSER François, 1988].

$$\sigma = \frac{N}{S}$$

$$\tau = \frac{T}{S}$$

Où S est l'aire de la section corrigée de l'éprouvette.

2.5. La courbe contrainte-déformation

La courbe contrainte-déformation décrit l'évolution de la résistance au cisaillement en fonction du déplacement relatif de la demi-boîte supérieure. Les courbes obtenues pour les sols cohérents ont de façon générale une allure analogue à celle obtenue dans le cas des sols pulvérulents [MAGNAN Jean-Pierre, 1991].

2.5.1. Les sols pulvérulents

Le résultat de l'essai est de deux types, suivant la densité initiale du milieu. Si l'essai est effectué sur un matériau très compact, la courbe contrainte-déformation présente un pic de résistance pour des déformations très faibles. Lorsqu'on continue à cisailier, la résistance du matériau décroît de plus en plus lentement, pour enfin se stabiliser à une valeur plus faible appelée la résistance résiduelle du matériau (figure VIII.6.). Dans ce cas, l'indice des vides est faible, les grains étant enchevêtrés. Le pic de cette courbe correspond à l'effort de cisaillement qu'il faut appliquer pour provoquer le désenchevêtrement des grains dans le plan de la rupture. Cette désorganisation du matériau est due à l'augmentation du volume V ; ce phénomène est connu sous le nom de dilatance (figure VIII.7) [ESTRADA MEJIA Nicolas, 2008].

En revanche, si le milieu est lâche, on n'observe pas de pic de résistance, mais uniquement une résistance résiduelle ; c'est-à-dire que la courbe croît de plus en plus lentement pour tendre vers la première courbe dans le domaine des grandes déformations (figure VIII.6.) [ESTRADA MEJIA Nicolas, 2008]. On définit alors la rupture pour une valeur conventionnelle de la déformation $\epsilon_{\max}$, en pratique inférieure à 20 % [MAGNAN Jean-Pierre, 1991]. Dans ce cas, le serrage des grains est lâche et au cours de l'essai, le volume initial de l'échantillon diminue. Ce phénomène correspond à une dilatance négative ou contractance (figure VIII.7)

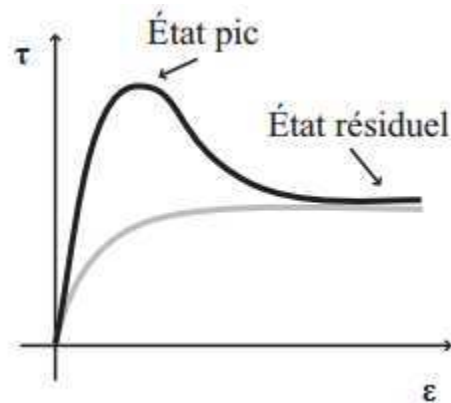


Figure [VIII.6] : La courbe contrainte-déformation dans un essai de cisaillement.

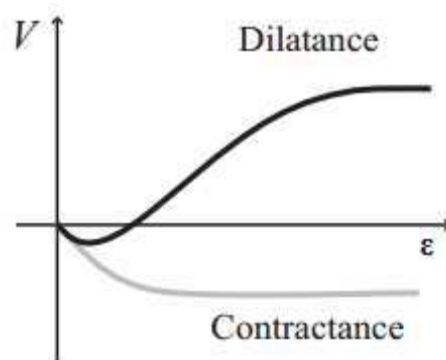


Figure [VIII.7] : L'évolution du volume lors du cisaillement pour un échantillon initialement dense et un autre lâche. (ESTRADA MEJIA Nicolas, 2008).

2.5.2. Les sols cohérents

Les courbes contraintes-déformations des sols cohérents ont la même allure que celles des sols pulvérulents. Elles présentent ou non un maximum suivant l'état de compacité et la structure du sol. La rupture se déduit de la même façon. Les argiles non remaniées ont une courbe semblable à celle d'un sable compact. Toutefois, le pic ne correspond plus au travail de désenchevêtrement des grains mais à la destruction progressive de l'échantillon. Dans le cas des argiles non remaniées, on obtient une courbe ne présentant pas de pic (figure V.8). Les essais de cisaillement conduits sur les sols cohérents s'accompagnent de variations de volume décroissantes, sauf pour les sols très consolidés [LCPC, 1987].

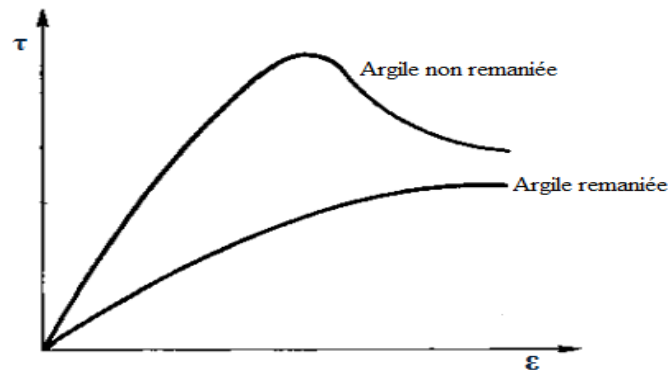


Figure [VIII.8]: Les courbes contraintes-déformations d'un sol cohérent. (LCPC, 1987).

3. Différents types de l'essai

Trois types d'essai peuvent être définis suivant qu'il y a drainage ou non, consolidation ou non ; la consolidation consistant à charger l'échantillon en le drainant jusqu' à ce que la pression interstitielle se soit totalement dissipée ($u=0$), (LCPC, 1987) :

3.1. Les essais non consolidés non drainés (UU)

Ce sont des essais rapides pendant lesquels l'éprouvette ne subit aucune consolidation, ni drainage durant les deux phases. La première phase est alors ce que l'on pourrait appeler « la remise sous contraintes ». Dans des cas très particuliers concernant les sols cohérents saturés, la droite de coulomb dans le diagramme (τ, σ) est horizontale, dont l'équation est comme suit :

$$\tau = C_u.$$

3.2. Les essais consolidés non drainés (CU)

Ce sont des essais lors desquels l'éprouvette de sol est consolidée avant l'expérience sous la même contrainte normale σ qu'elle subira durant l'essai. Le drainage n'est permis que pendant cette phase. Lors de la deuxième phase, la contrainte de cisaillement est suffisamment rapide pour que le drainage n'ait pas le temps de s'effectuer, et ceci dans le but d'éviter la dissipation de la pression interstitielle u de l'eau. La contrainte de cisaillement à la rupture est donnée par l'équation :

$$\tau = C + \sigma \tan \phi \quad \text{Avec : } \sigma = \sigma' + u.$$

- ✓ u = la pression interstitielle de l'eau.
- ✓ σ' = la contrainte effective.

3.3. Les essais consolidés drainés (CD)

Lorsqu'on effectue ce genre d'essais, l'évacuation de l'eau est permis aussi bien durant l'application de la contrainte normale que pendant l'application de la contrainte de cisaillement. La vitesse de cisaillement est suffisamment lente pour que la pression interstitielle de l'eau

puisse se dissiper et être considérée comme nulle à chaque instant ($u = 0$). L'essai, étant mené sous contraintes effectives, donne une cohésion et un angle de frottement effectifs. L'équation de coulomb devient alors comme suit :

$$\tau = C' + \sigma \tan \varphi'$$

$$\text{Avec : } \sigma = \sigma'$$

4. Principe de l'essai

L'essai consiste à placer un échantillon de sol représentatif d'une quantité suffisante dans la boîte de cisaillement et soumettre la partie supérieure de l'échantillon à un effort vertical, résultant des poids placés sur le plateau, engendrant ainsi une contrainte normale respectivement de (100,200 et 300kPa), maintenue constante tout le long de l'essai .on applique ensuite à l'échantillon une charge horizontale, que l'on augmente jusqu'à la rupture.

Le plan de rupture se développe le long du plan horizontal imposé par le déplacement de la partie inférieure sur la partie supérieure de la boîte de cisaillement.

En première approximation, on peut supposer que dans le plan de séparation des deux demi boîtes la contrainte normale et la contrainte tangentielle sont constantes (LCPC21, 1987).

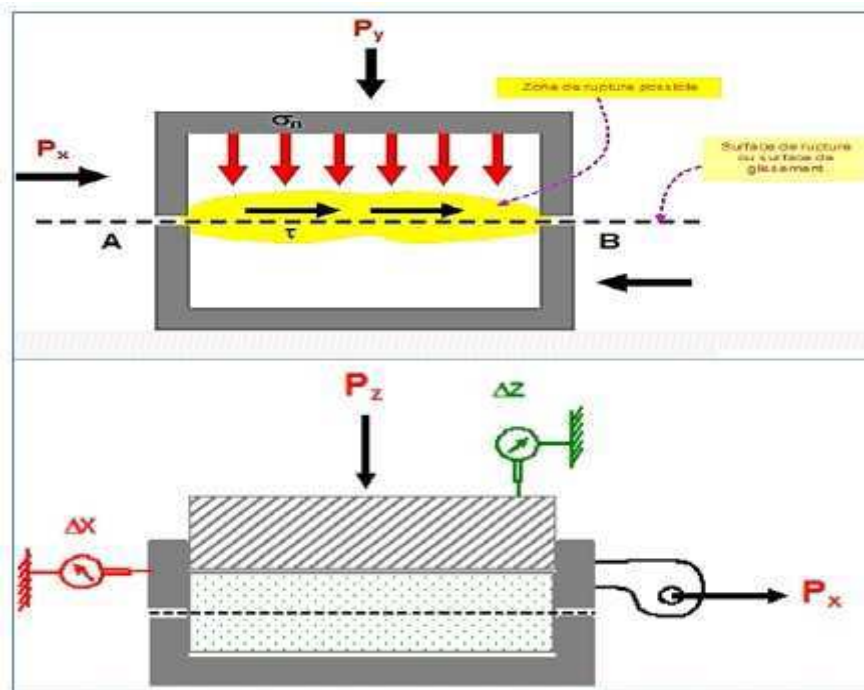


Figure [VIII.9]: Illustration du principe de l'essai de cisaillement, (Magnan, 1991).

L'essai est réalisé en respectant les étapes suivantes :

- ✓ Régler la vitesse de la machine, de façon à imposer un déplacement relatif constant entre les demi-boîtes, (1.5mm/mn) utilisée dans notre essai.
- ✓ Mettre tous les comparateurs à zéro (déplacement horizontale et verticale).

5. Appareillage

1. La boîte de cisaillement

Il existe différents modèles de boîte de cisaillement, dans laquelle est mise l'éprouvette ; une boîte de cisaillement comporte essentiellement :

- ✓ une demi-boîte inférieure, munie d'une pierre poreuse plate, striée ou dentée ;
- ✓ une demi-boîte supérieure ; et un piston, muni à sa base d'une pierre poreuse plate, striée ou dentée, glissant librement dans la demi-boîte supérieure et transmettant à l'éprouvette l'effort vertical exercé, et deux goupilles, solidarissant les demi-boîtes, avant l'essai.

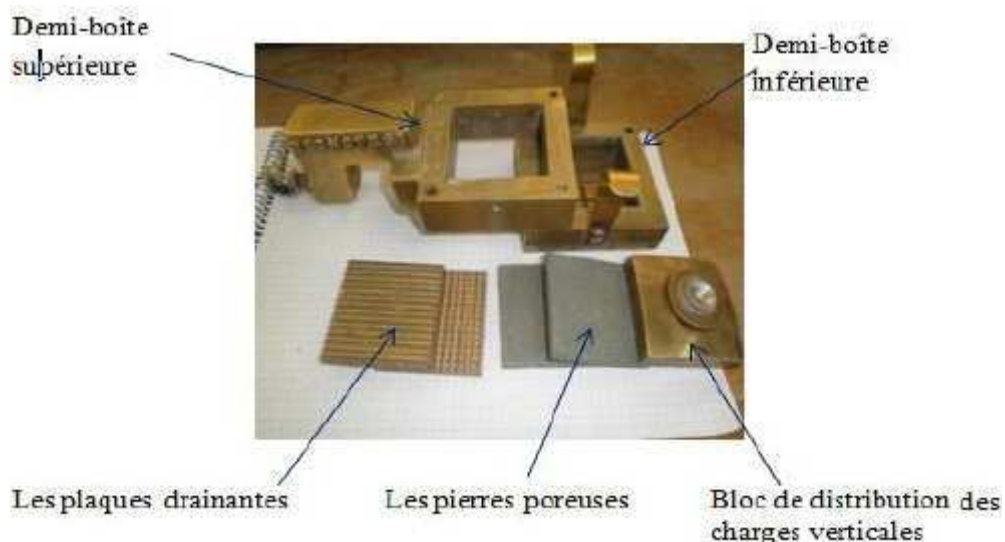


Figure [VIII.10]: La boîte de cisaillement.

2. Les bâtis de consolidation

Lorsque la consolidation ne se fait pas sur la machine de cisaillement, les bâtis de consolidation sont de même conception que ceux de la compressibilité. Ils comportent en plus une tige support de comparateur pour la mesure des tassements des éprouvettes d'essais.

3. Les poids

Ce sont des disques plats fondus, permettant leur centrage et leur superposition sur le plateau de charge de levier du bâti.

Chaque bâti de consolidation doit avoir sa série propre de poids de manière à pouvoir effectuer simultanément la consolidation de différentes séries d'éprouvettes d'essai sous les contraintes normales désirées.

4. La machine de cisaillement

La machine cisaille le sol à vitesse constante .elle peut être manuelle, mais dans ce cas les essais à vitesse lente sont exclus .elle à moteur avec plusieurs vitesses. Elle comporte essentiellement :

- ✓ Un chariot porte boîte entraînée horizontalement à vitesse constante entraînant lui-même la demi- boîte inférieure et l'éprouvette d'essai.
- ✓ Un anneau dynamométrique, retenant la demi-boîte supérieure dont les déformations indiquent les efforts tangentiels développés dans le plan de cisaillement
- ✓ Un système de levier étrier, appliquant sur le piston de la boîte les charges normales désirées à l'aide de différents poids.

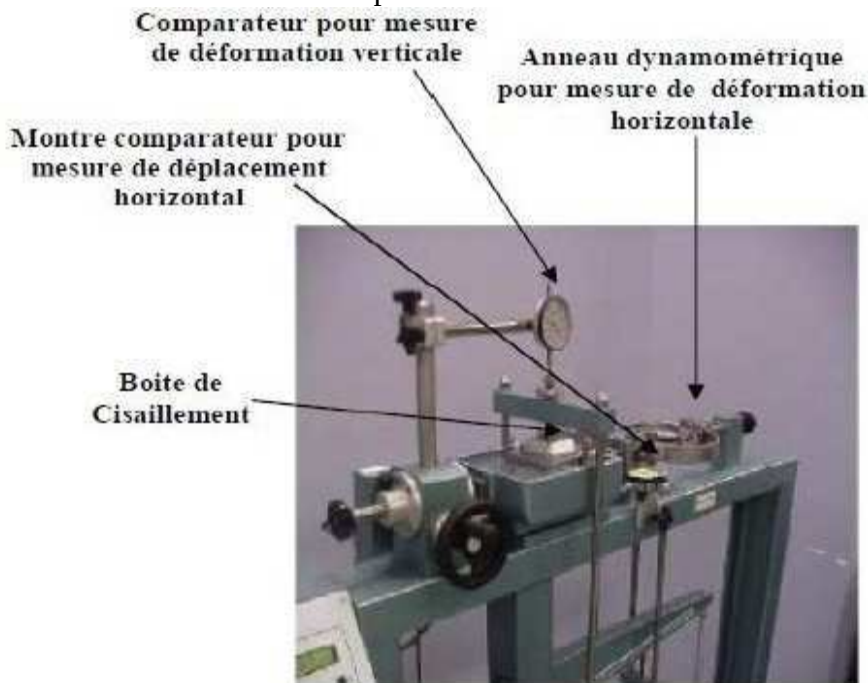


Figure [VIII.11] : l'appareillage complet de l'essai du cisaillement.

6. Avantages

- Simple (la manipulation est facile) ;
- Rapide (la durée d'exécution courte) ;
- Economique (le coût n'est pas cher).

7. Inconvénients

- Contraintes et déformations ne sont connues que sur le plan de rupture ;
- Non uniformité de la déformation dans le sol ;
- Frottement de deux demi-boîtes ;

- Pas de contrôle de la pression interstitielle.

8. Déroulement de l'essai

Après avoir préparé l'échantillon et mis dans la boîte de cisaillement il faut :

- ✓ mettre l'échantillon dans la boîte et appliquer sur la face supérieure de celui-ci un effort vertical, résultant des poids placés sur le plateau, engendrant ainsi une contrainte normale de (1, 2, 3 bars) maintenue constante tout le long de l'essai ;
- ✓ régler la vitesse de la machine, de façon à imposer un déplacement horizontal relatif constant ;
- ✓ mettre tous les comparateurs (déplacement horizontal, déplacement vertical et force) à zéro ;
- ✓ actionner la machine et prendre des lectures sur les trois comparateurs simultanément, à des intervalles de temps réguliers (toutes les 15 secondes).

La rupture est caractérisée par l'apparition du pic ou par l'existence d'un palier, ce qui permet d'arrêter l'essai après 4 à 5 lectures décroissantes ou stabilisées, si non, on arrête à la déformation horizontale maximale, correspondant à (1,4 cm) de déplacement. Après avoir terminé l'essai, on convertit toutes les lectures obtenues sur les différents comparateurs en unités de calcul. À la fin de l'essai nous allons suivre les étapes suivantes :

- ✓ Couper le moteur en appuyant sur la touche « stop » ;
- ✓ Enlever les poids du plateau de charge ;
- ✓ Débloquer l'anneau dynamométrique ;
- ✓ Enlever la boîte de chariot de la machine ;
- ✓ Sortir l'échantillon de la boîte ;
- ✓ Prendre au besoin une photo ;
- ✓ Nettoyer les pierres poreuses ;
- ✓ Bien nettoyer les boîtes de cisaillement.

9. Expression des résultats

Les lectures obtenues sur les différents comparateurs, sont converties en unités de calcul comme suit :

✚ La section corrigée: $SC = L (L - L)$ (mm²) ; avec :

- ✓ L: longueur de la boîte de cisaillement, L= 60 mm ;
- ✓ L: déplacement horizontal en mm;

✚ La contrainte tangentielle : $\tau = (La * k) / Sc$ (KPA) ; avec :

- ✓ La: force de cisaillement (dan) ;
- ✓ K : coefficient de la machine de cisaillement (sans dimension) ;
- ✓ Sc : section corrigée (m²) ;

- ❖ Dans notre étude, on s'intéresse à la détermination des caractéristiques non consolidées non drainées (UU), de nos matériaux (sols argileux et sables plastiques), dans les différents cas de disposition de ces derniers dans la boîte et sous différentes contraintes normales (1, 2 et 3 bars), ainsi que la variation du pourcentage de l'argile et le sable dans chaque échantillon.

10. Les résultats et l'interprétation

Les résultats des essais de cisaillement direct à la boîte sont représentés sous forme de courbes :

- Contraintes déformations $\tau = f(\Delta L/L)$, τ étant la contraintes tangentielle ;
- Variations de volume $(\Delta V/V) = f(\Delta L/L)$;
- Droites intrinsèques $\tau = f(\sigma)$, σ étant la contrainte normale appliquée.

Ceci pour les 36 échantillons sous :

- Différentes contraintes normales (1, 2 et 3 bars).
- La variation du pourcentage de l'argile et le sable.
- La disposition des bandes en plastiques dans la boîte de cisaillement.

10.1. Courbes contraintes déformations $\tau = f(\Delta L/L)$

- ✚ Le cas de la disposition d'une bande plastique entre les demi-boîte de cisaillement :

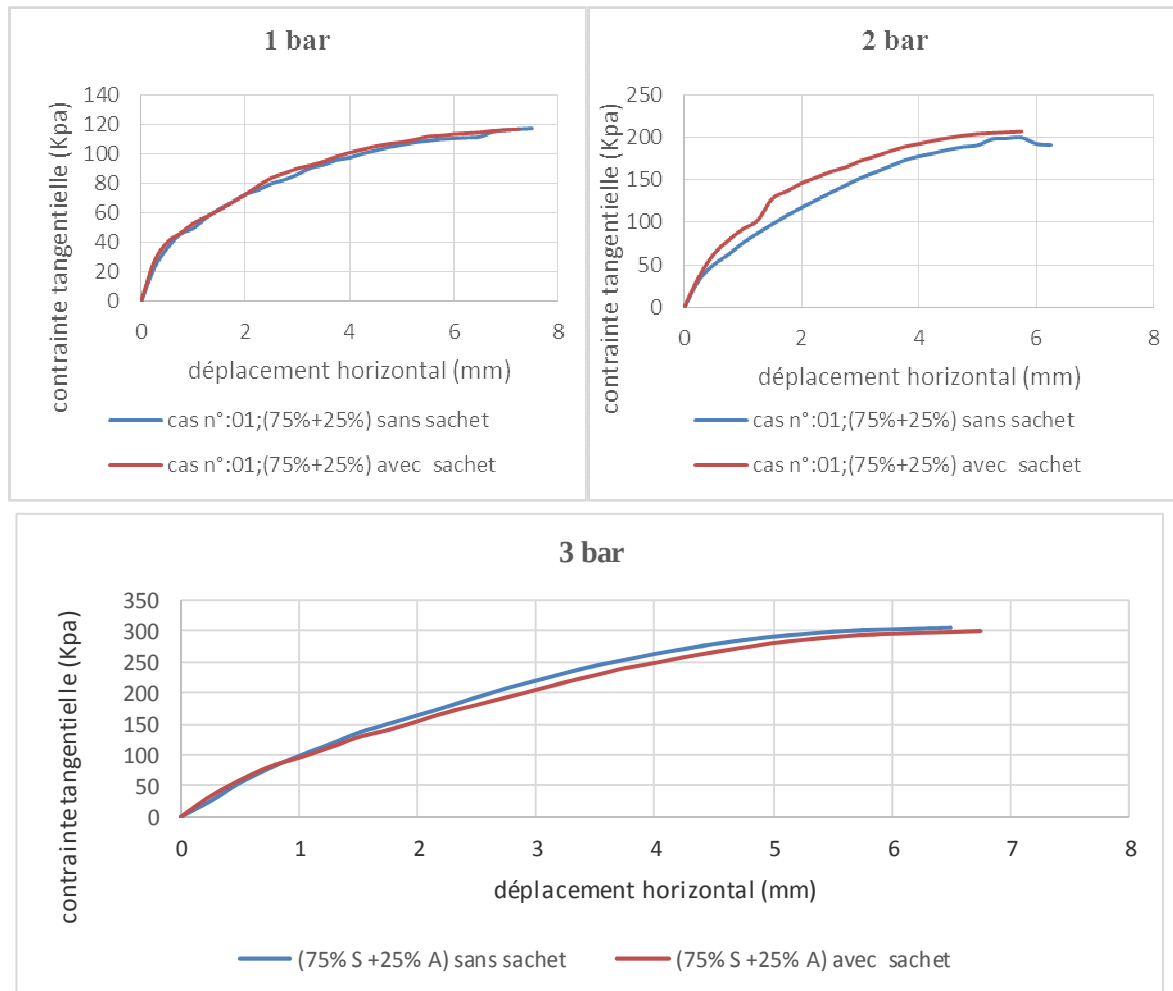


Figure [VIII.12] : Les courbes contraintes tangentielles en fonction des déformations horizontales pour un mélange de 75% sable + 25% argile.

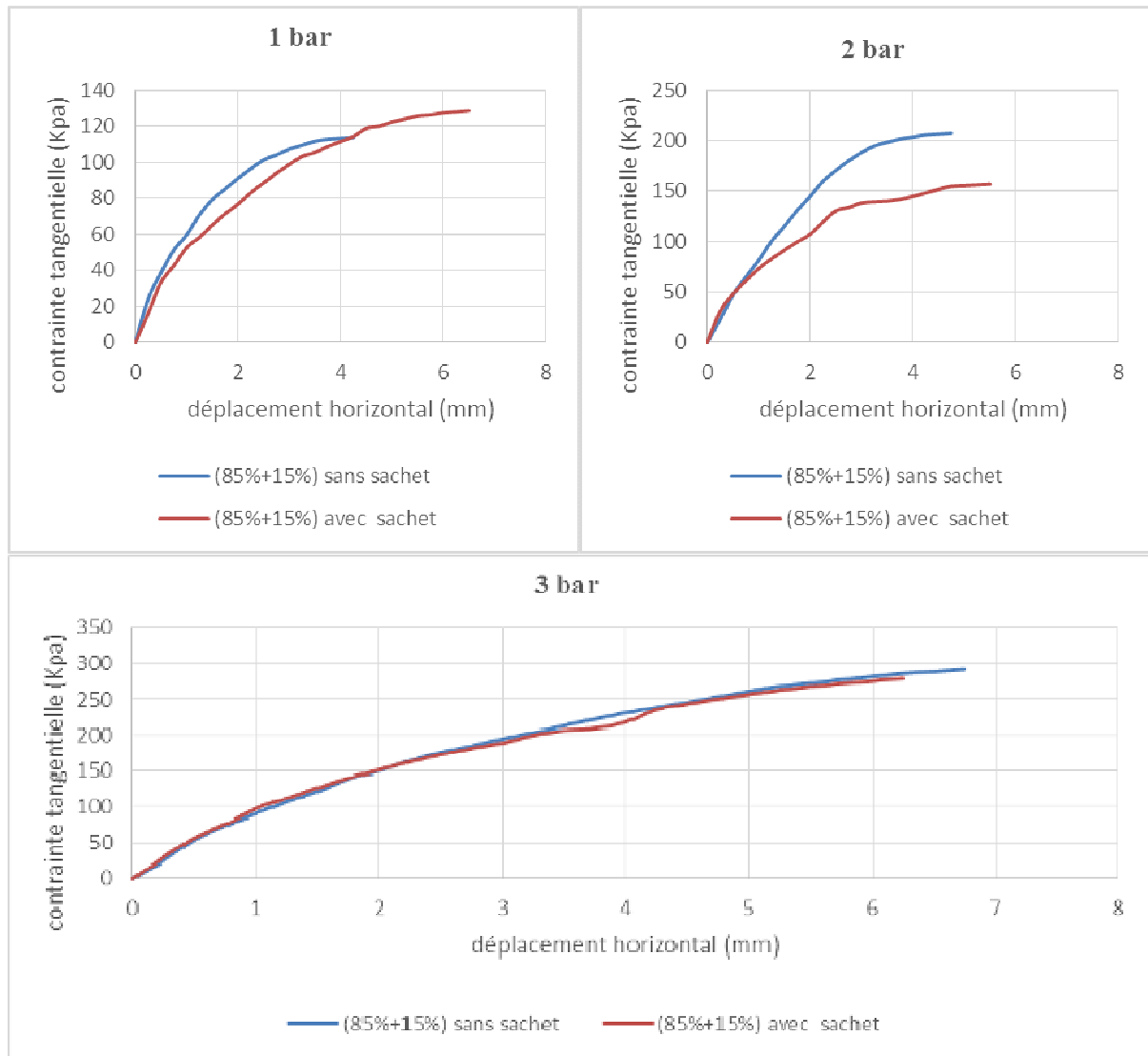


Figure [VIII.13] : Les courbes contraintes tangentielles en fonction des déformations horizontales pour un mélange de 85% sable + 15% argile.

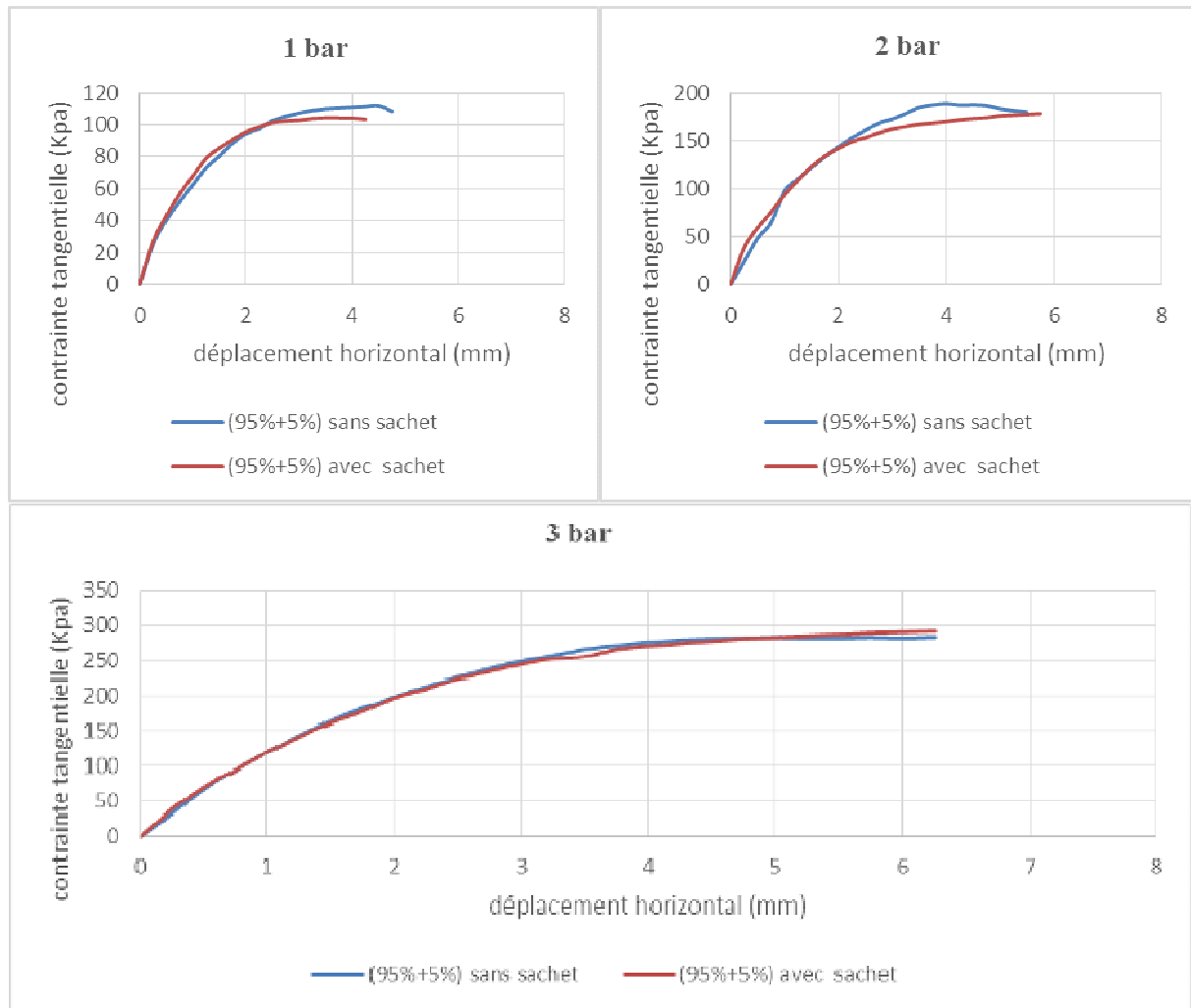


Figure [VIII.14]: Les courbes contraintes tangentielles en fonction des déformations horizontales pour un mélange de 95% sable + 5% argile

- ✚ Le cas de la disposition horizontale des bandes plastiques dans la boîte de cisaillement :

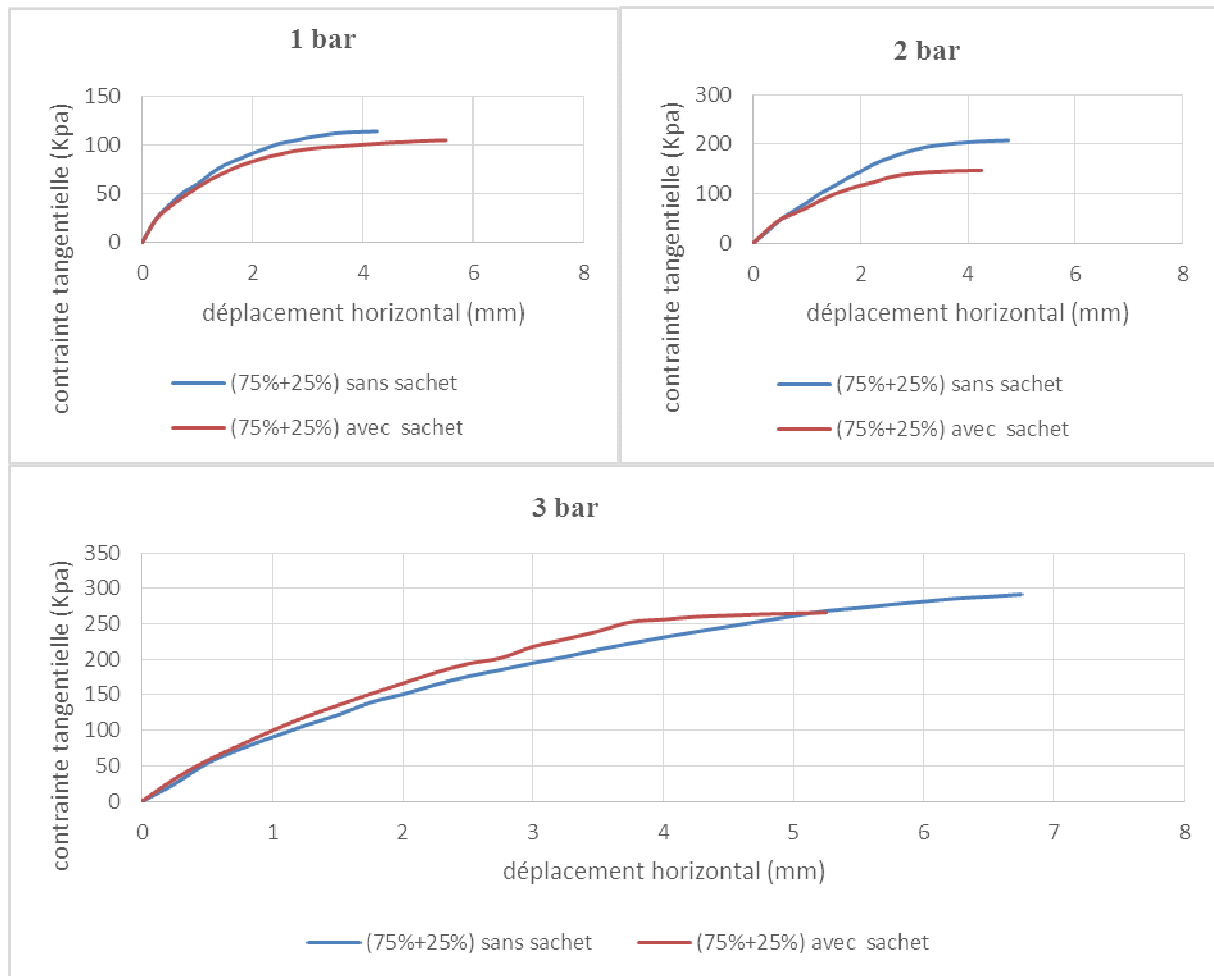
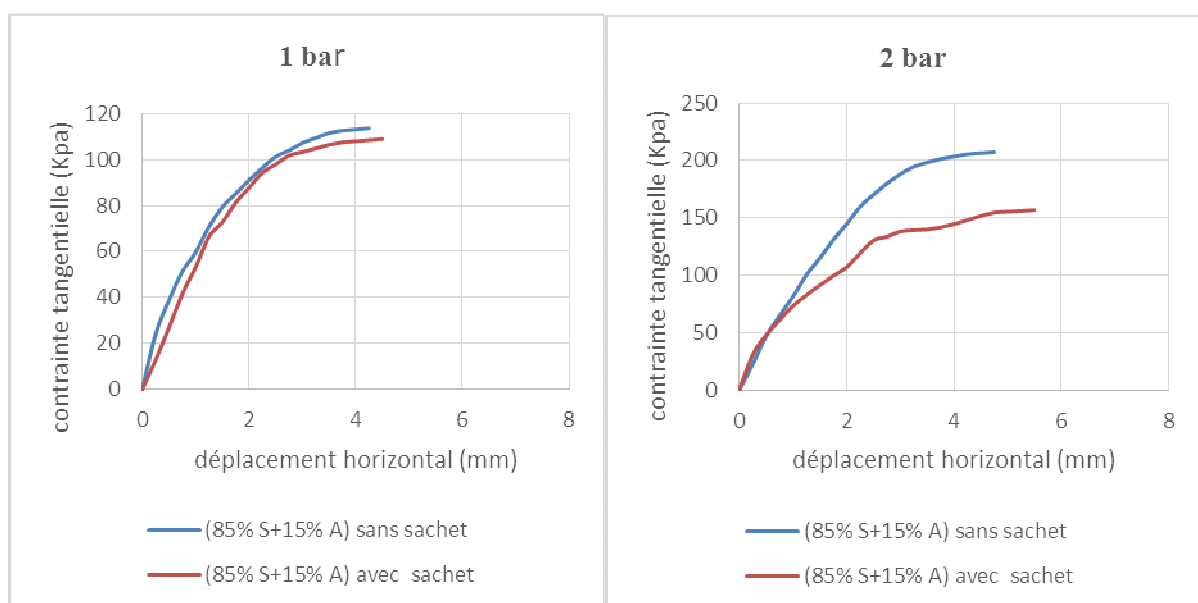


Figure [VIII.15]: Les courbes contraintes tangentielles en fonction des déformations horizontales pour un mélange de 75% sable + 25% argile.



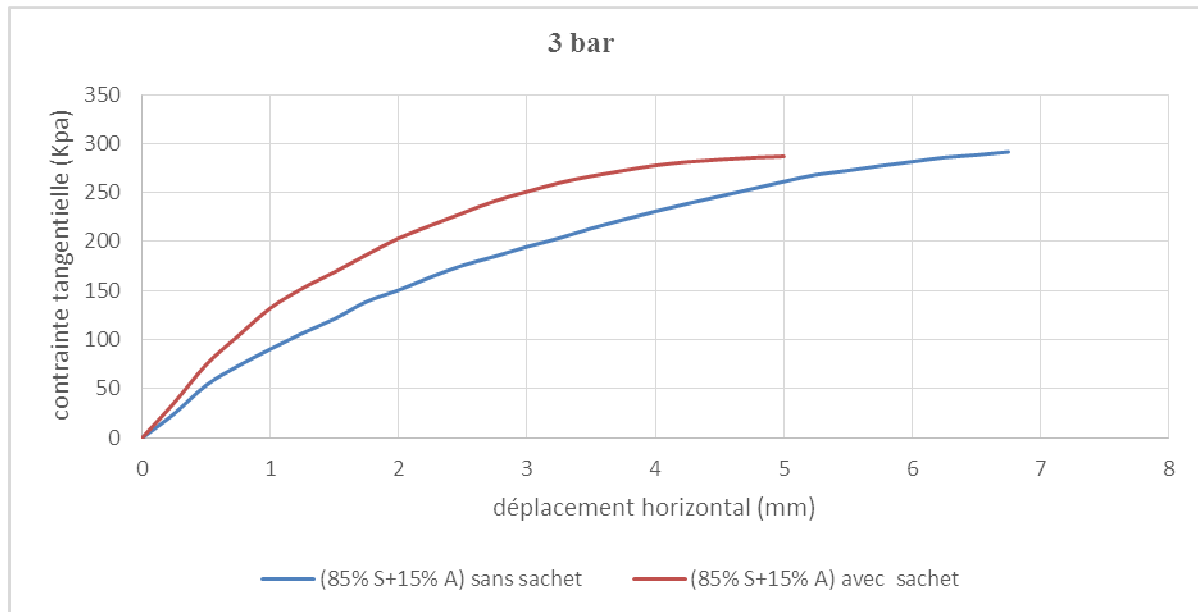
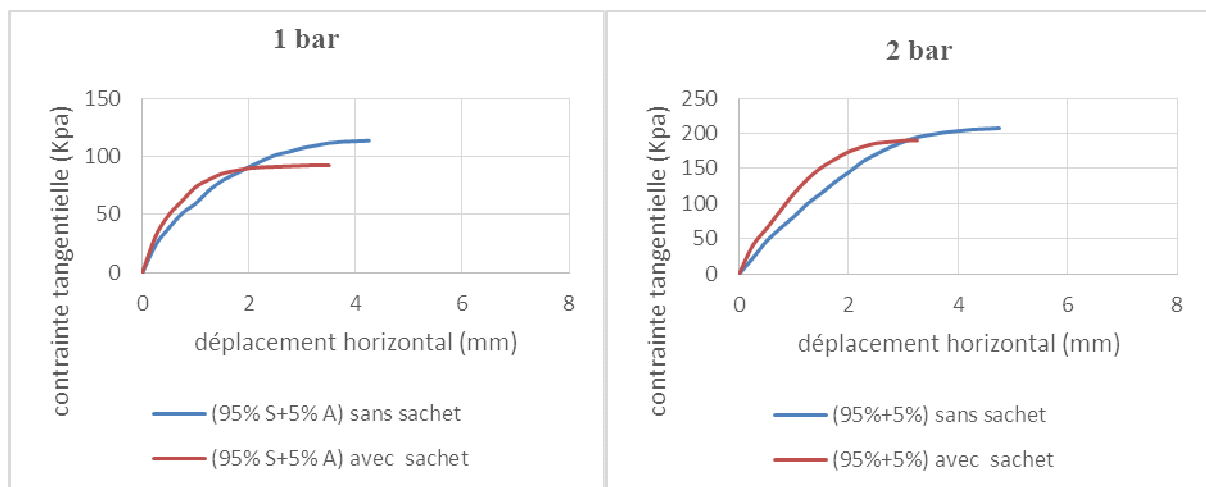


Figure [VIII.16] : Les courbes contraintes tangentielles en fonction des déformations horizontales pour un mélange de 85% sable + 15% argile



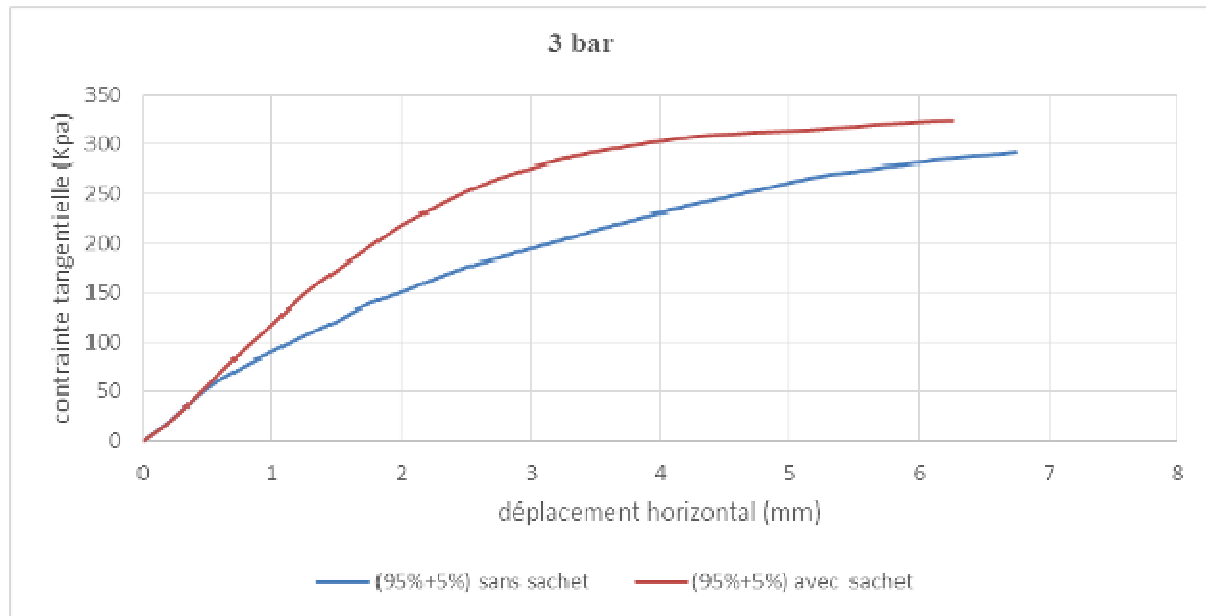
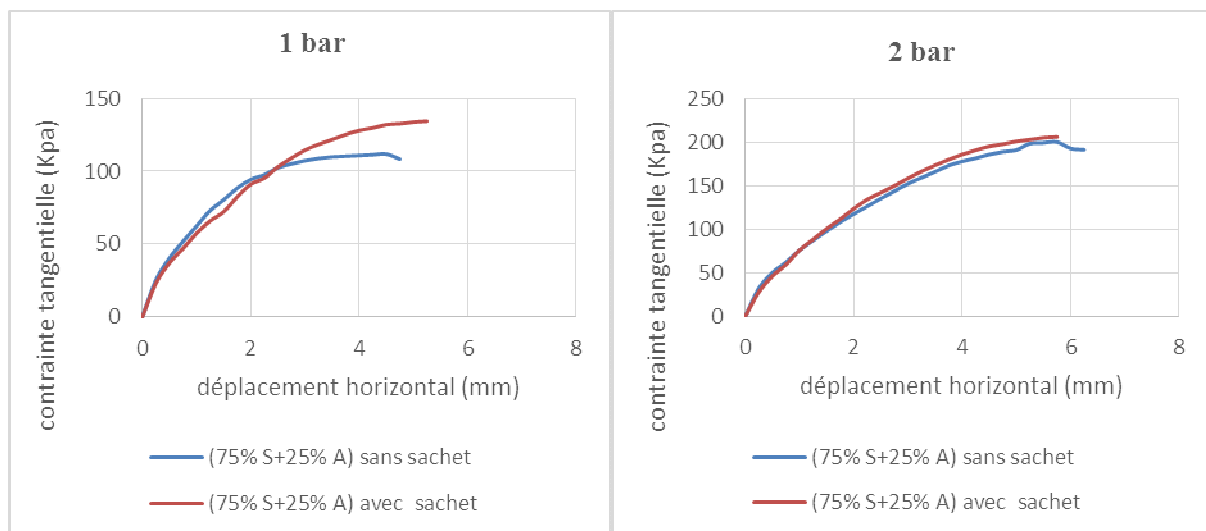


Figure [VIII.17] : Les courbes contraintes tangentielles en fonction des déformations horizontales pour un mélange de 95% sable + 15% argile.

✚ Le cas de la disposition verticale des bandes plastiques dans la boîte de cisaillement :



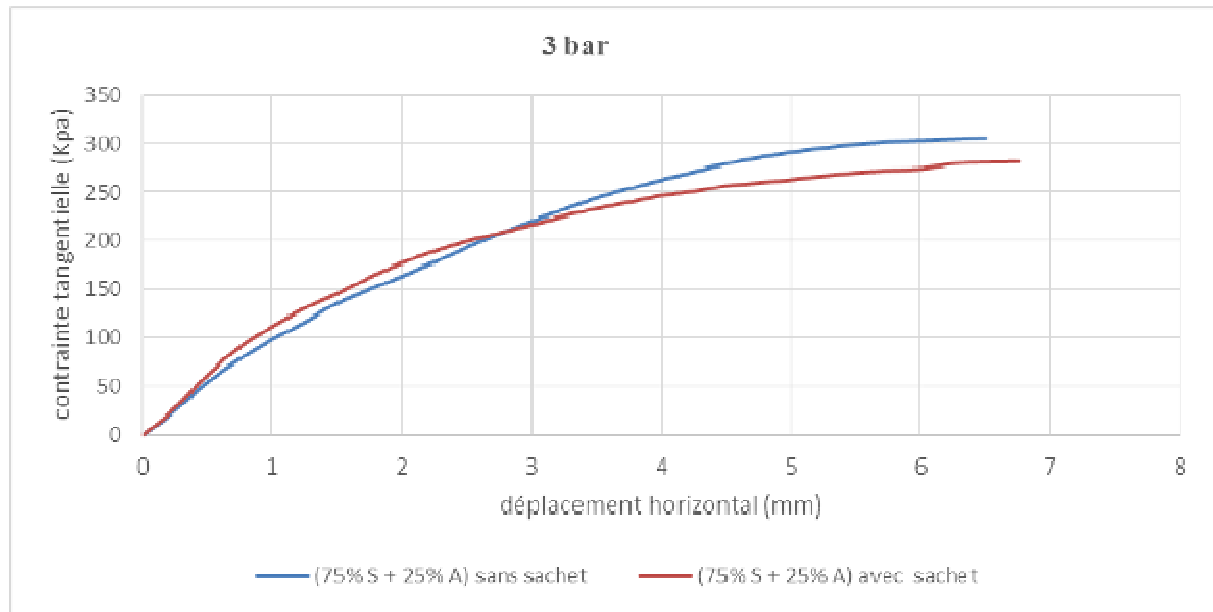
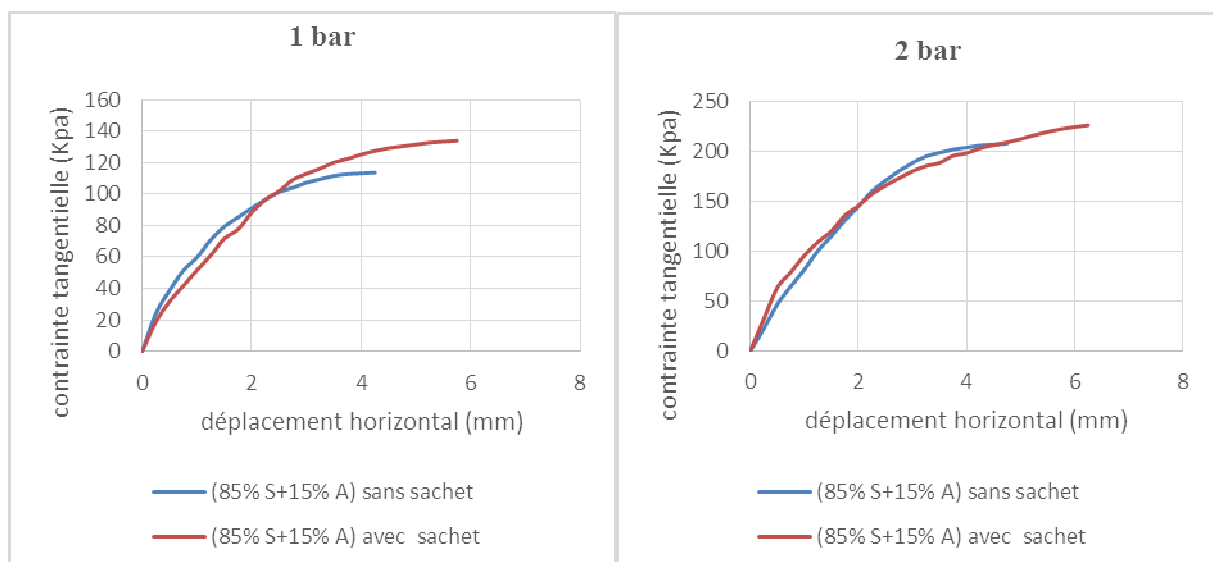


Figure [VIII.18] : Les courbes contraintes tangentielles en fonction des déformations horizontales pour un mélange de 75% sable + 25% argile.



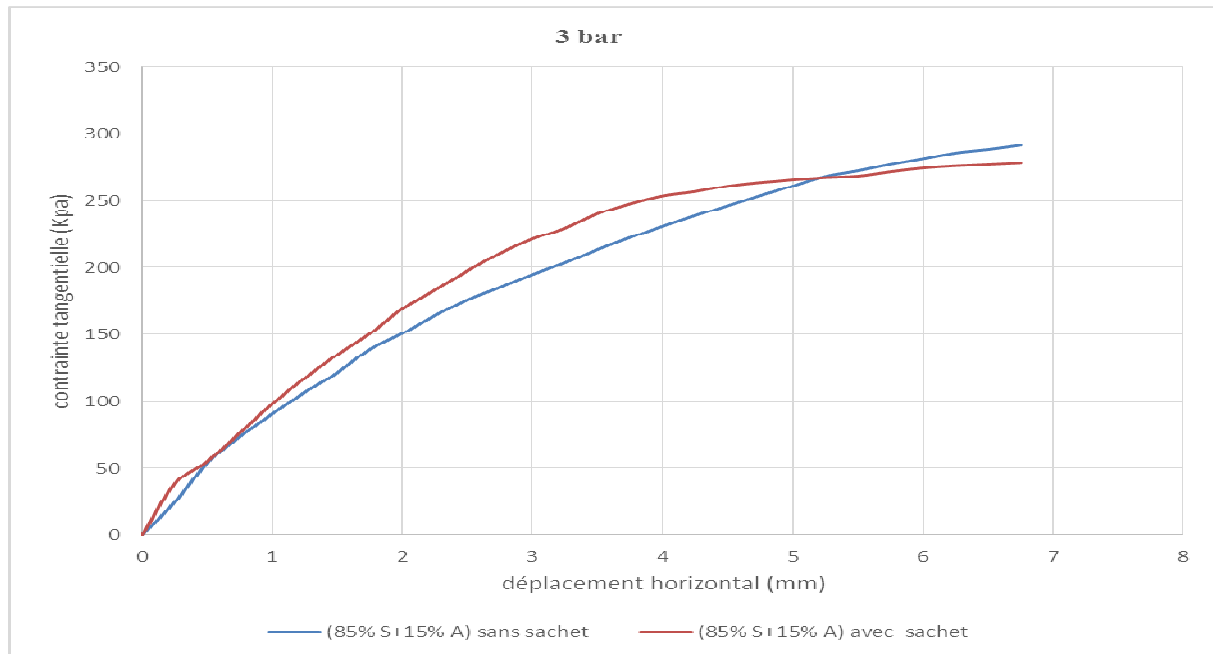


Figure [VIII.19] : Les courbes contraintes tangentielles en fonction des déformations horizontales pour un mélange de 85% sable + 15% argile

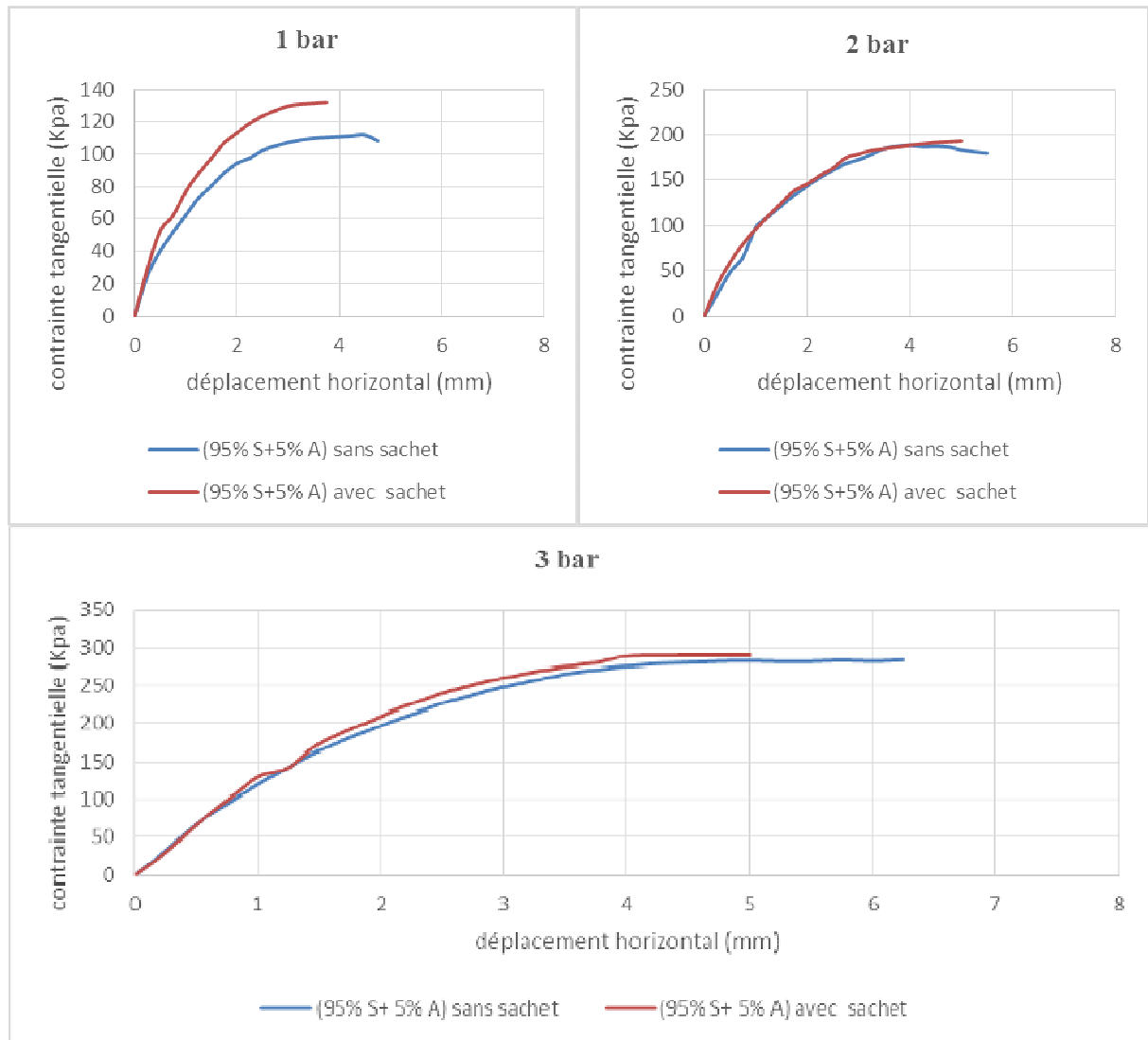


Figure [VIII.20] : Les courbes contraintes tangentielles en fonction des déformations horizontales pour un mélange de 95% sable + 5% argile.

✚ Le cas de la disposition inclinée des bandes plastiques dans la boîte de cisaillement :

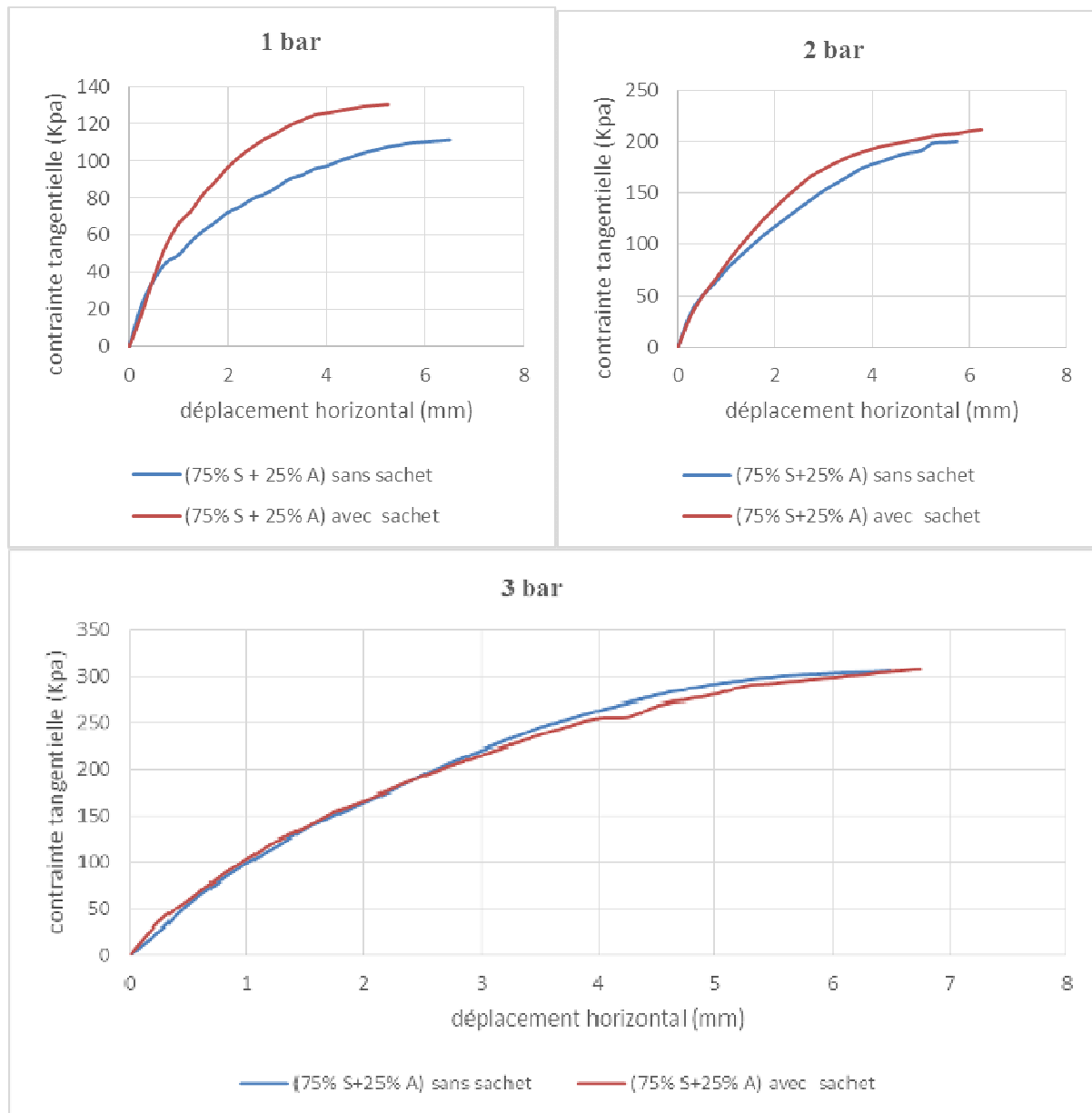


Figure [VIII.21] : Les courbes contraintes tangentielles en fonction des déformations horizontales pour un mélange de 75% sable + 25% argile.

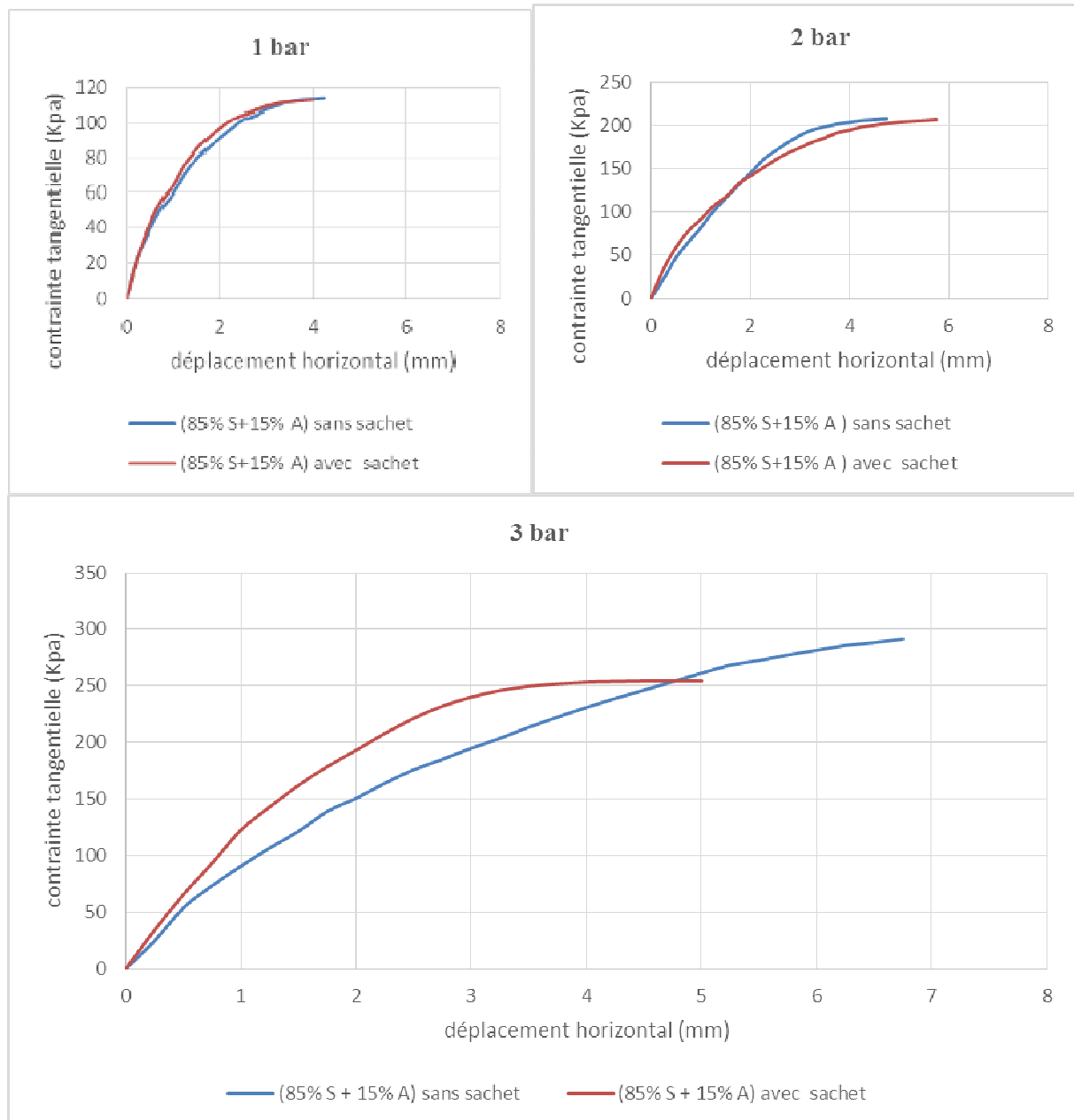


Figure VIII.22 : les courbes contraintes tangentielles en fonction des déformations horizontales pour un mélange de 85% sable + 15% argile.

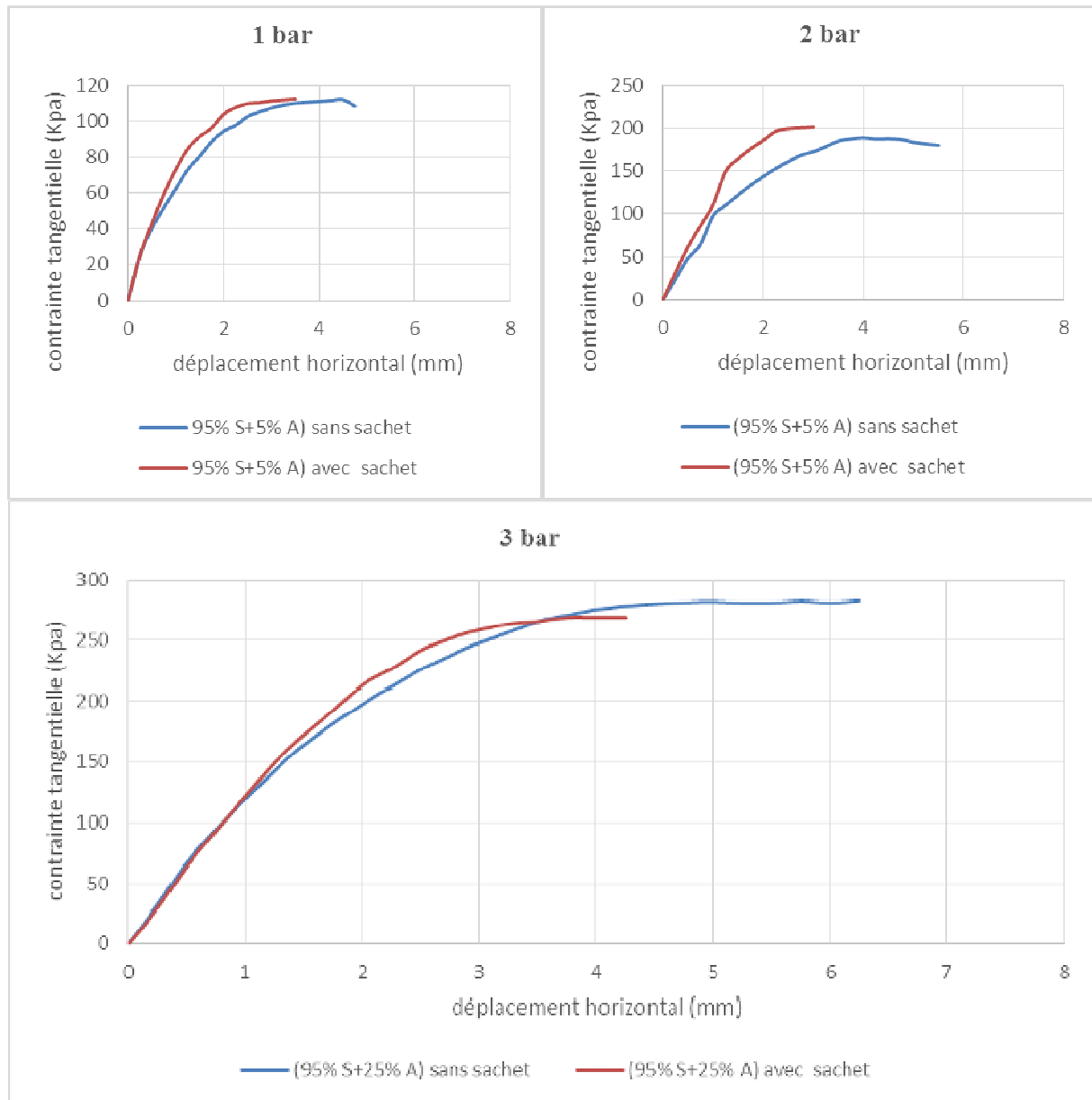


Figure VIII.23 : les courbes contraintes tangentielles en fonction des déformations horizontales pour un mélange de 95 % sable + 5 % argile .

10.2. Courbes de $\Delta v = f(\Delta h)$

Le cas de la disposition d'une bande plastique entre les demi-boîtes de cisaillement.

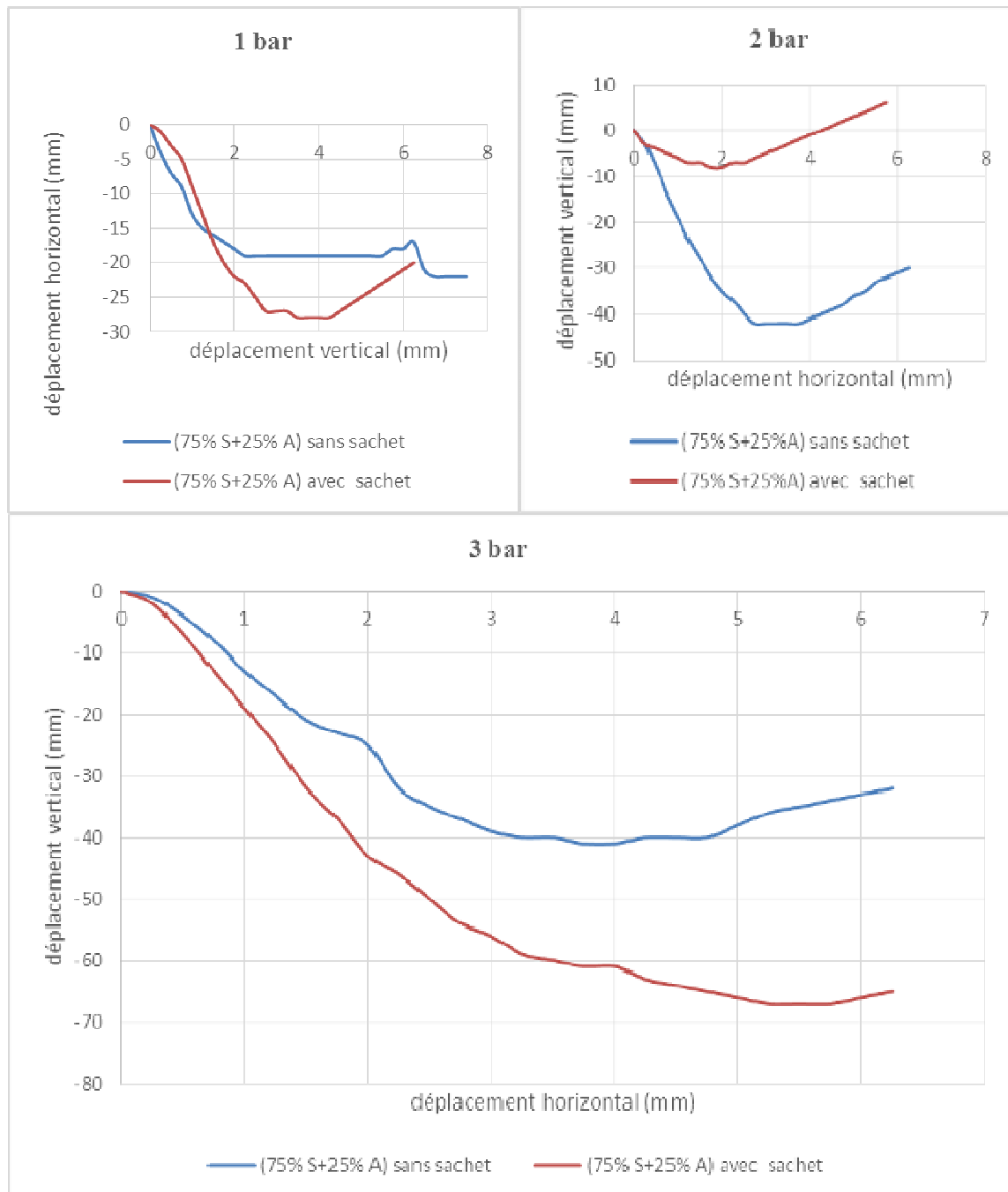


Figure VIII.24 : les courbes des déformations verticales en fonction des déformations horizontales pour un mélange de 75% sable et 25% argile.

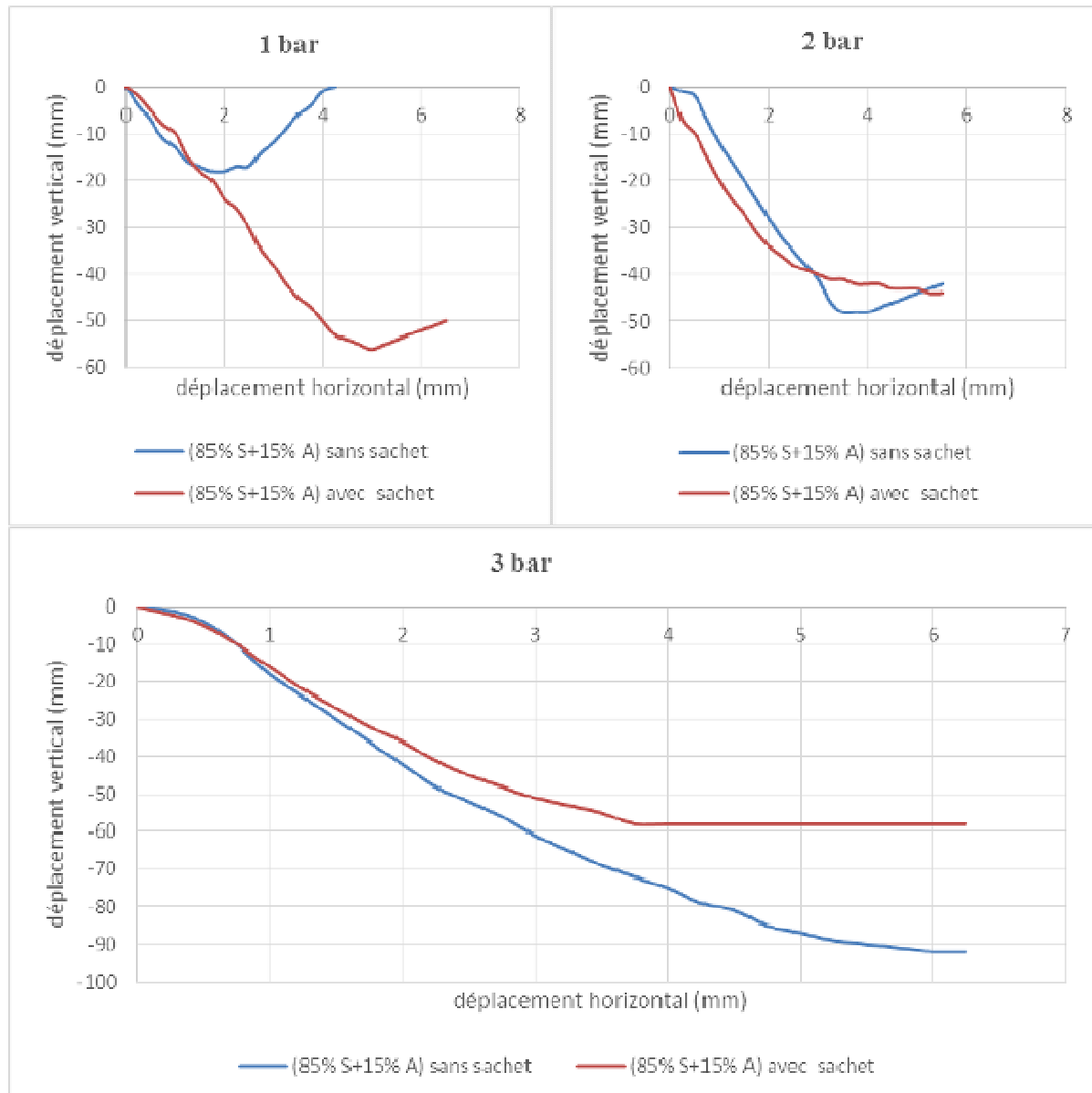


Figure VIII.25 : les courbes des déformations verticales en fonction des déformations horizontales pour un mélange de 85% sable et 15% argile .

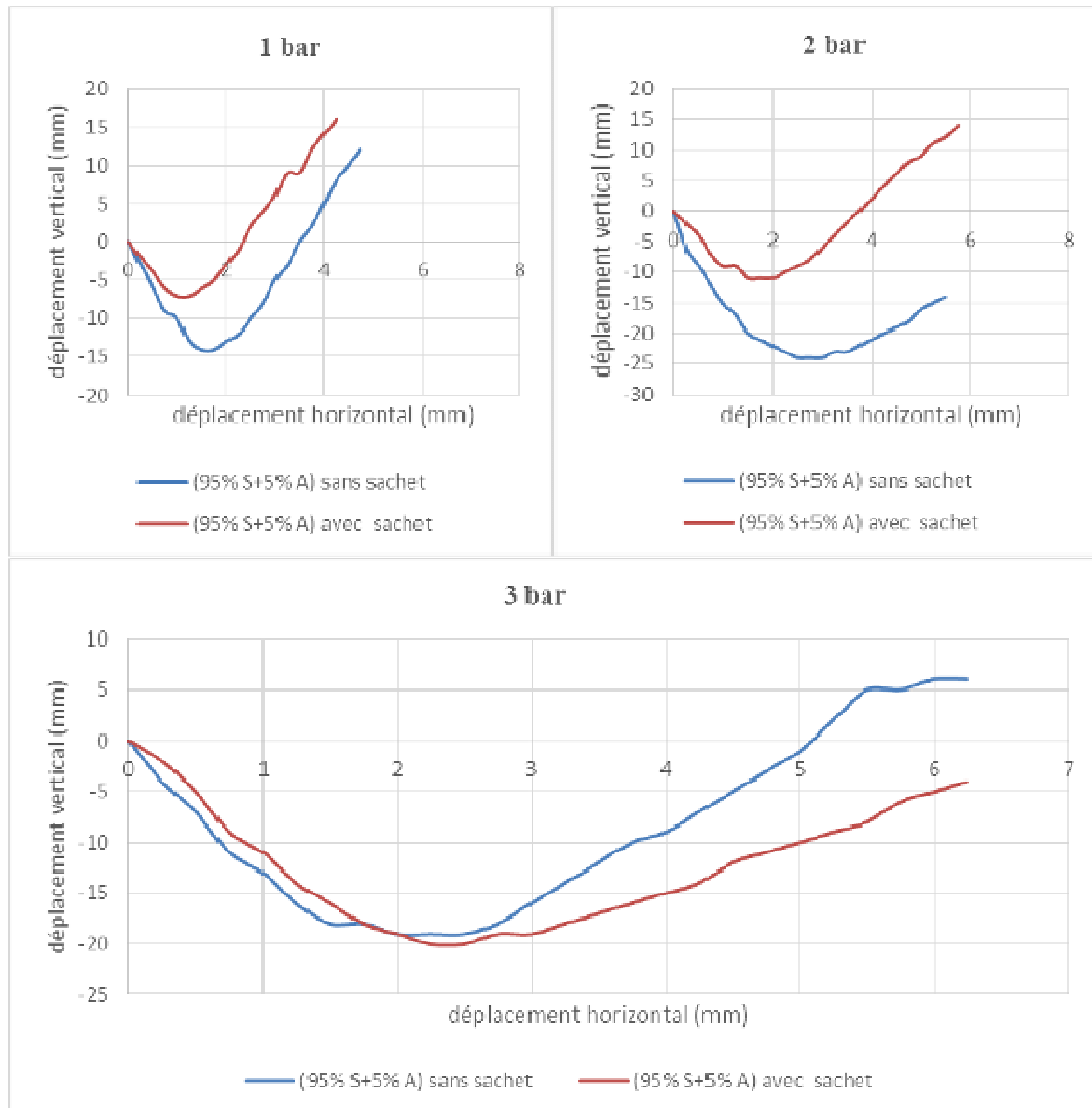


Figure VIII.26 : les courbes des déformations verticales en fonction des déformations horizontales pour un mélange de 95% sable et 5% argile .

✚ Le cas de la disposition horizontale des bandes plastiques dans la boîte de cisaillement :

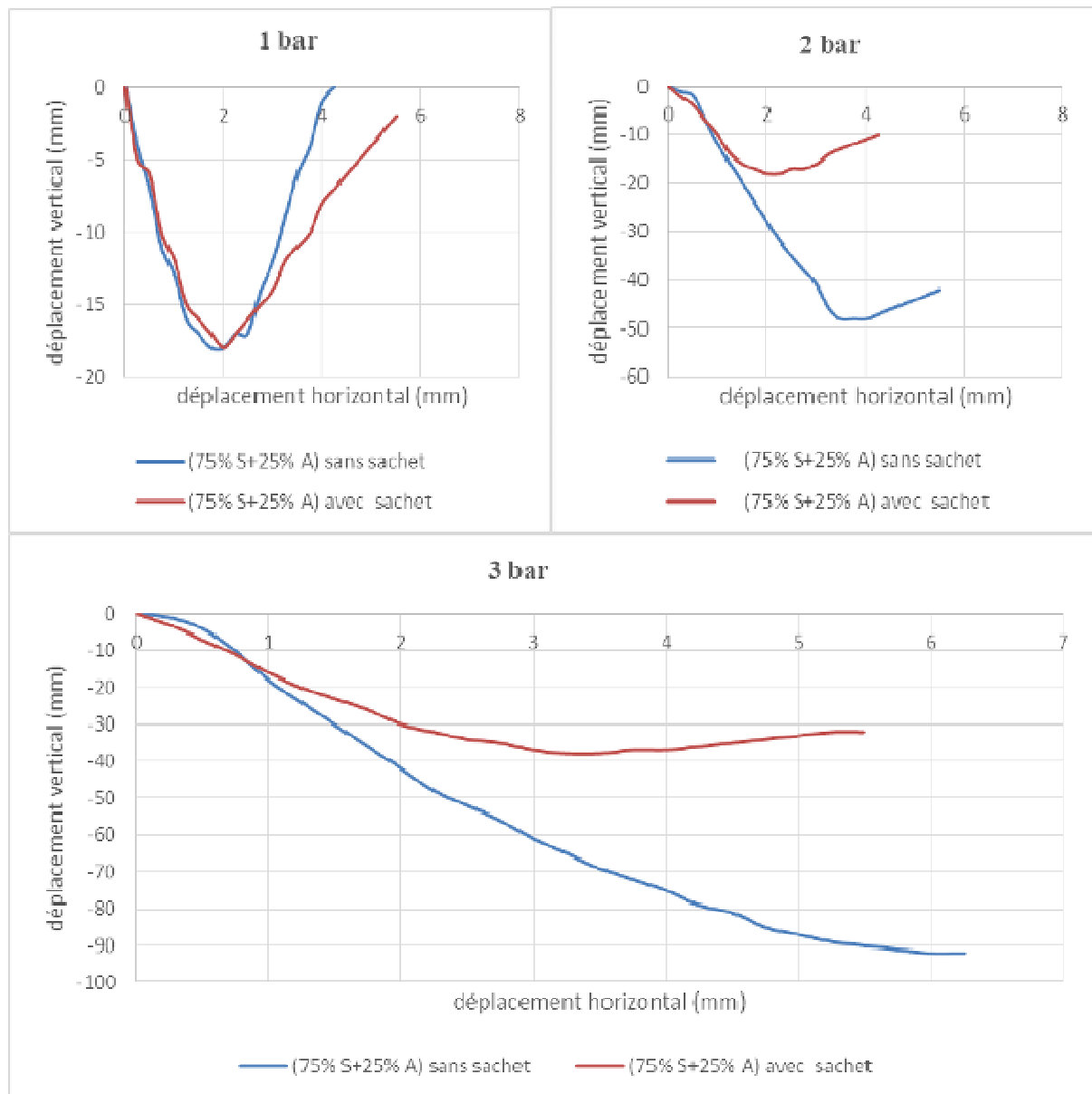


Figure VIII.27 : les courbes des déformations verticales en fonction des déformations horizontales pour un mélange de 75% sable et 25% argile .

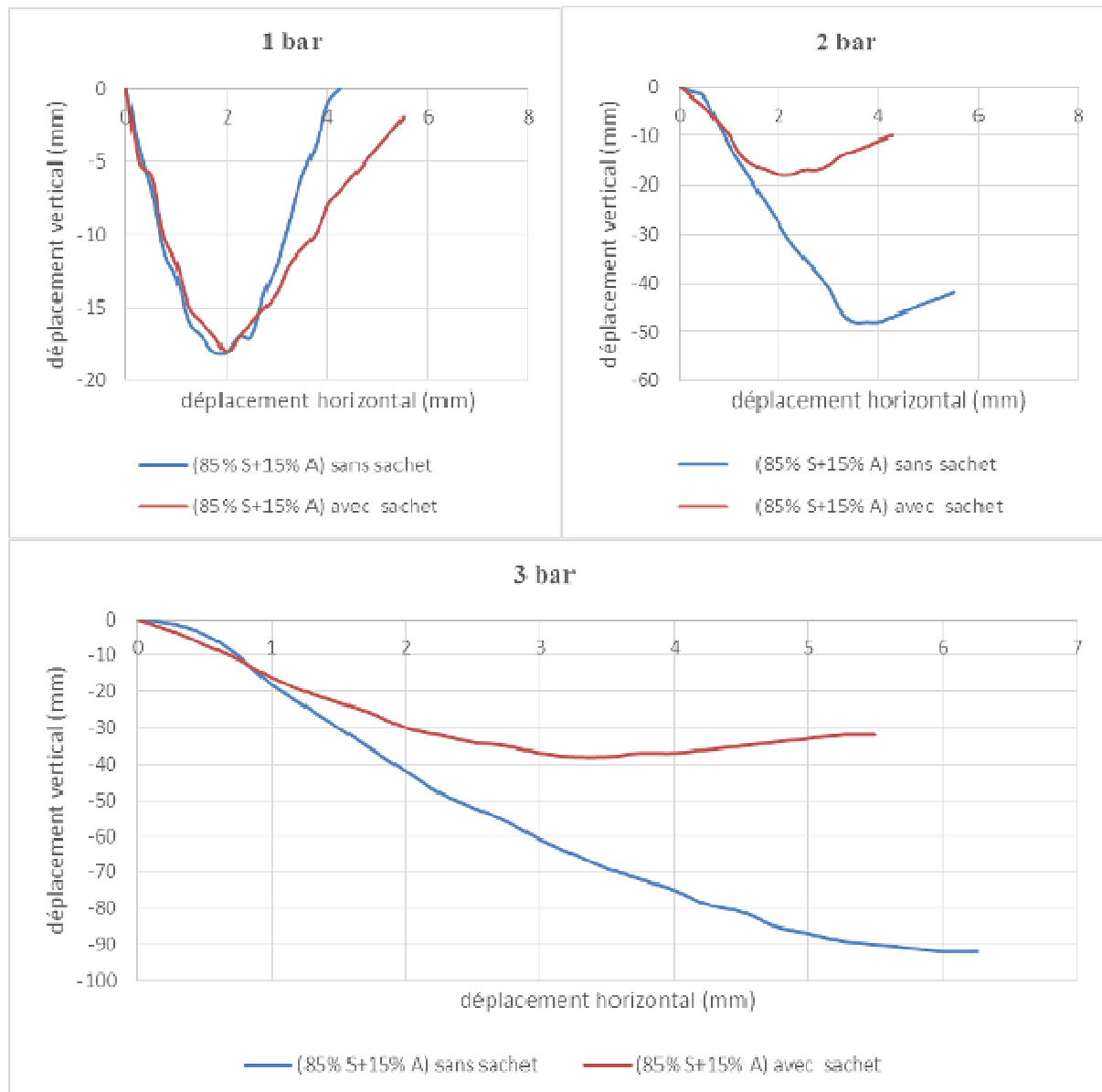


Figure VIII.28 : les courbes des déformations verticales en fonction des déformations horizontales pour un mélange de 85% sable et 15% argile .

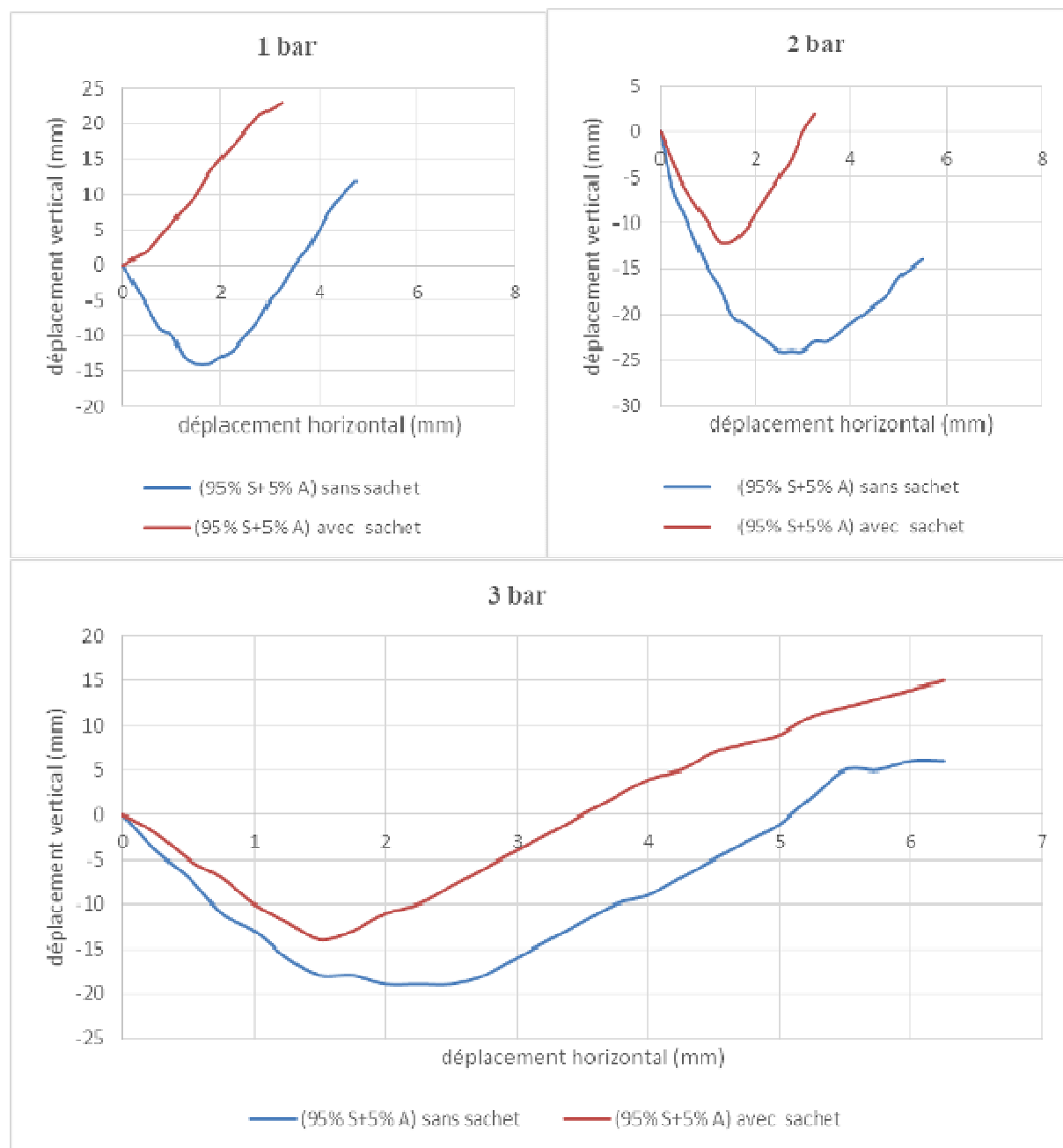


Figure VIII.29 : les courbes des déformations verticales en fonction des déformations horizontales pour un mélange de 95% sable et 5% argile .

- ✚ Le cas de la disposition verticale des bandes plastiques dans la boîte de cisaillement :

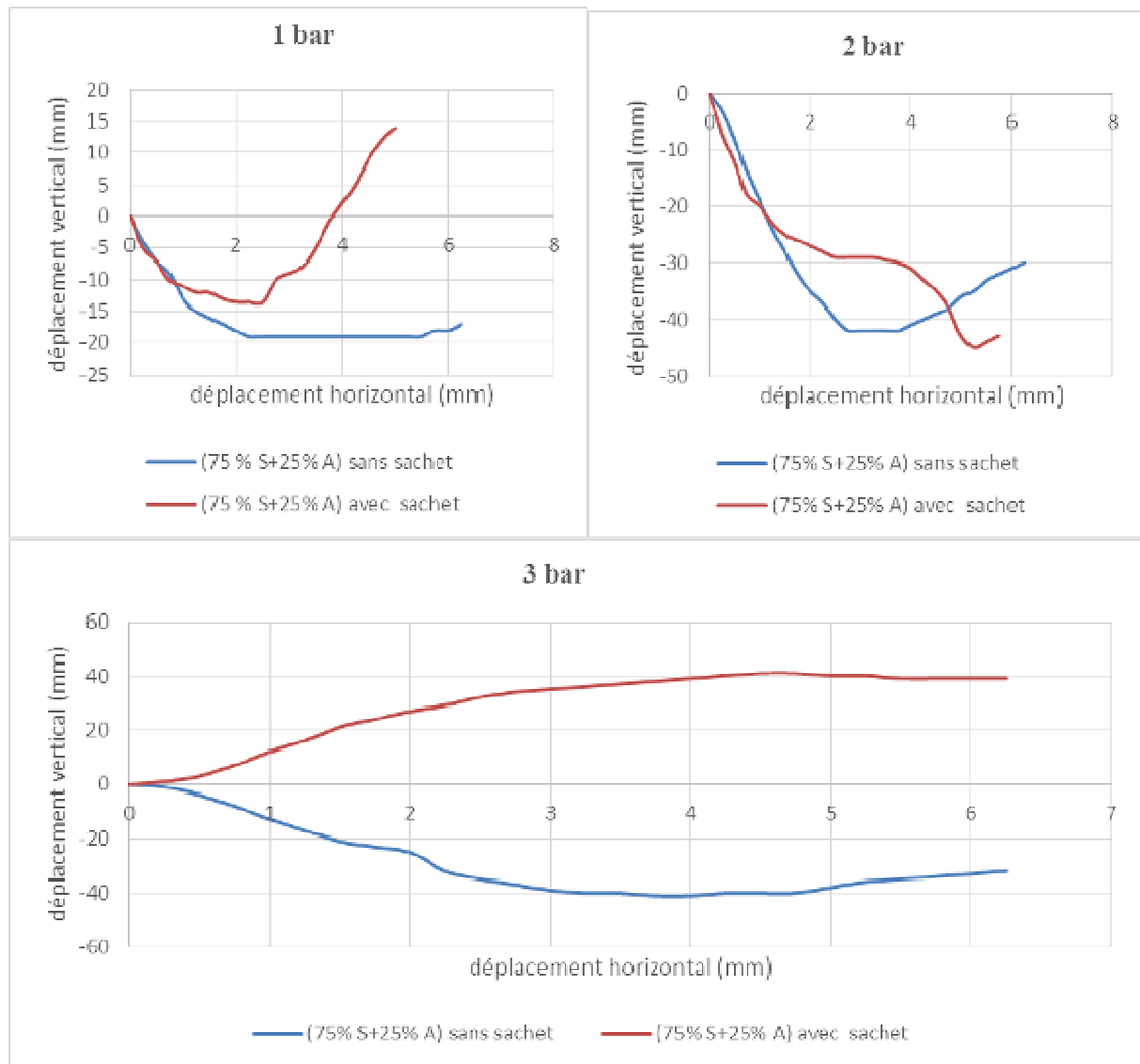


Figure VIII.30 : les courbes des déformations verticales en fonction des déformations horizontales pour un mélange de 75% sable et 25% argile.

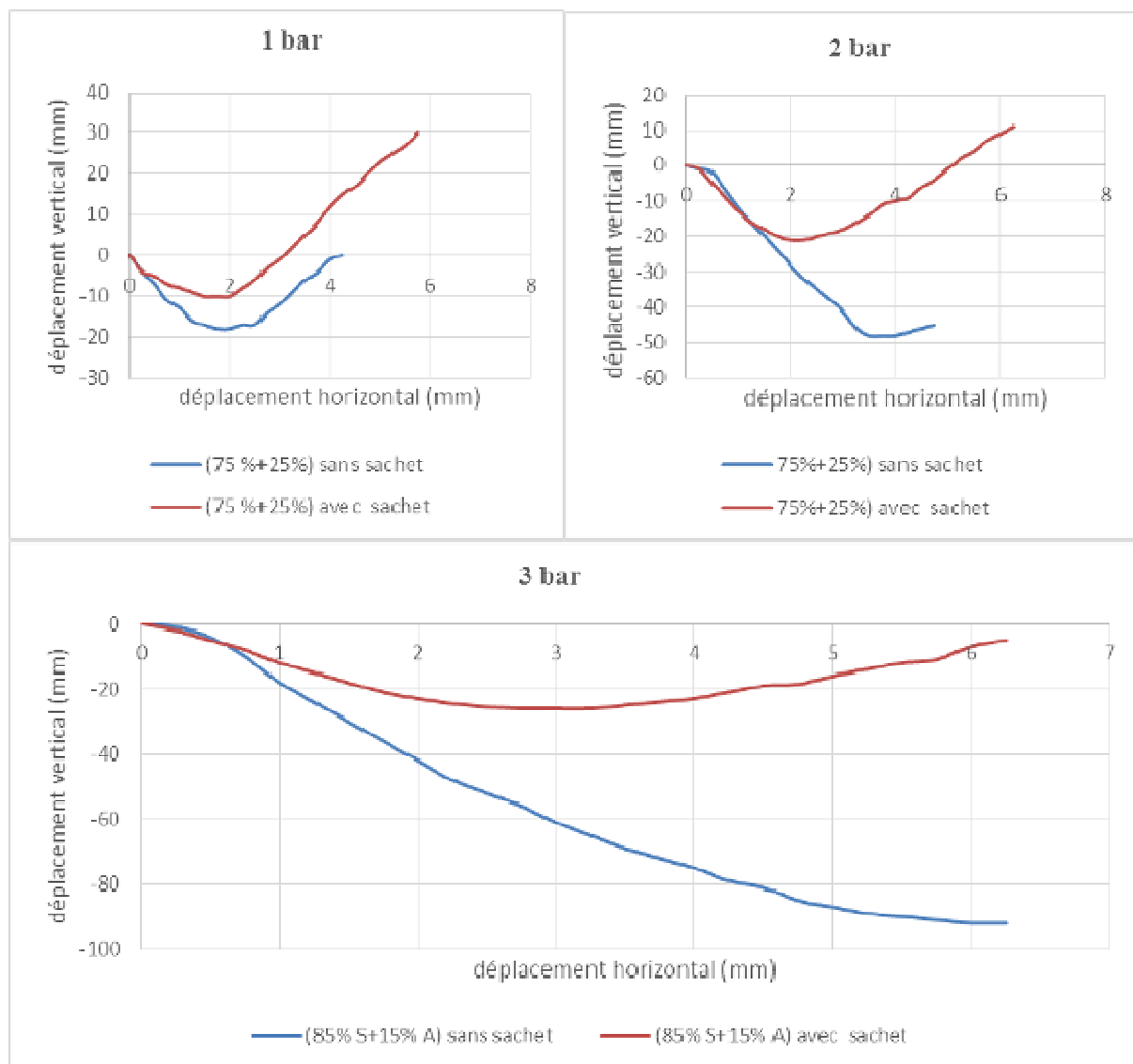


Figure VIII.31 : les courbes des déformations verticales en fonction des déformations horizontales pour un mélange de 85% sable et 15% argile .

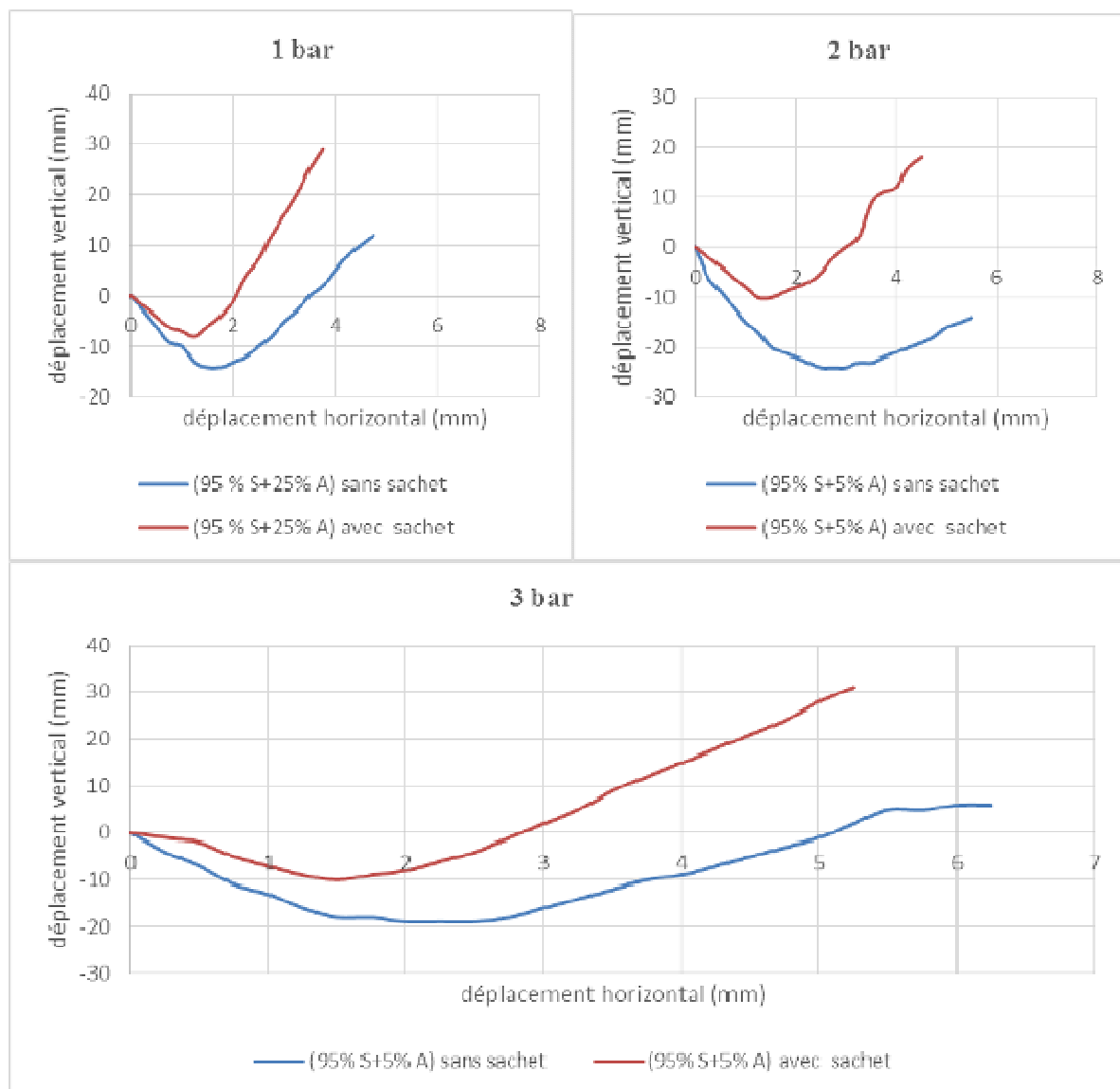


Figure VIII.32 : les courbes des déformations verticales en fonction des déformations horizontales pour un mélange de 95% sable et 5% argile .

✚ Le cas de la disposition inclinée des bandes plastiques dans la boîte de cisaillement :

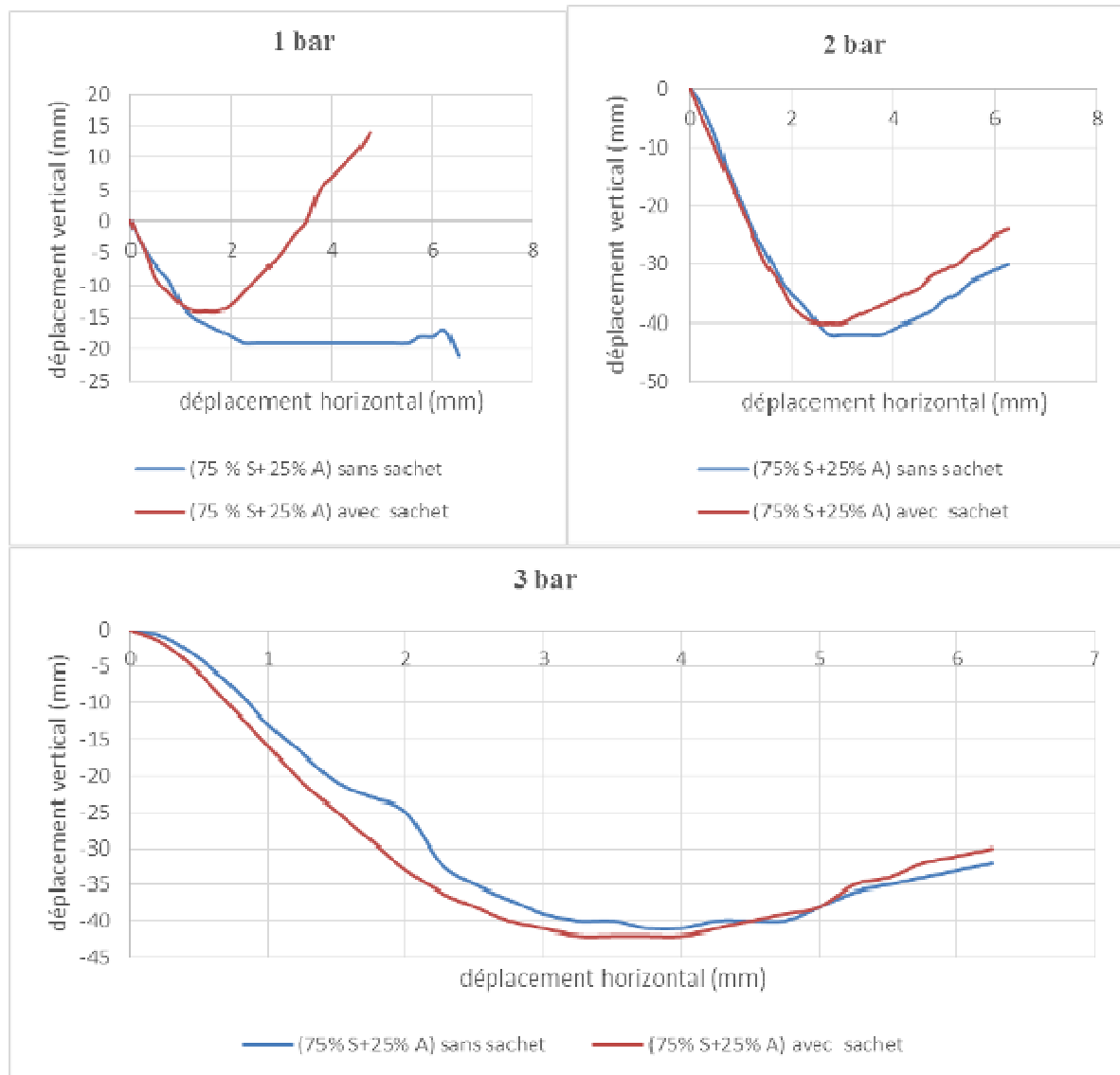
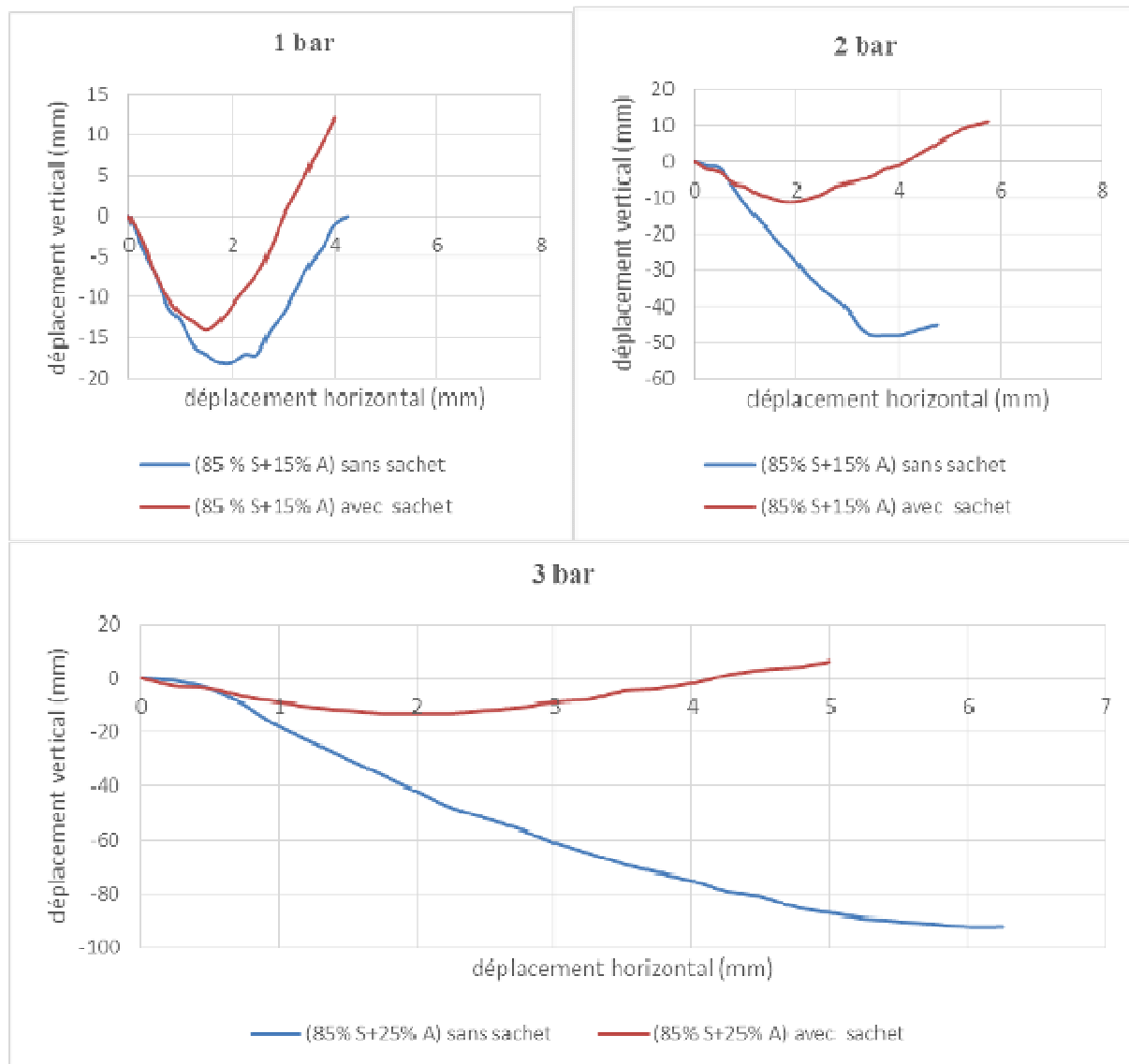


Figure VIII.32 : les courbes des déformations verticales en fonction des déformations horizontales pour un mélange de 75% sable et 25% argile .



FigureVIII.33 : les courbes des déformations verticales en fonction des déformations horizontales pour un mélange de 85% sable et 15% argile.

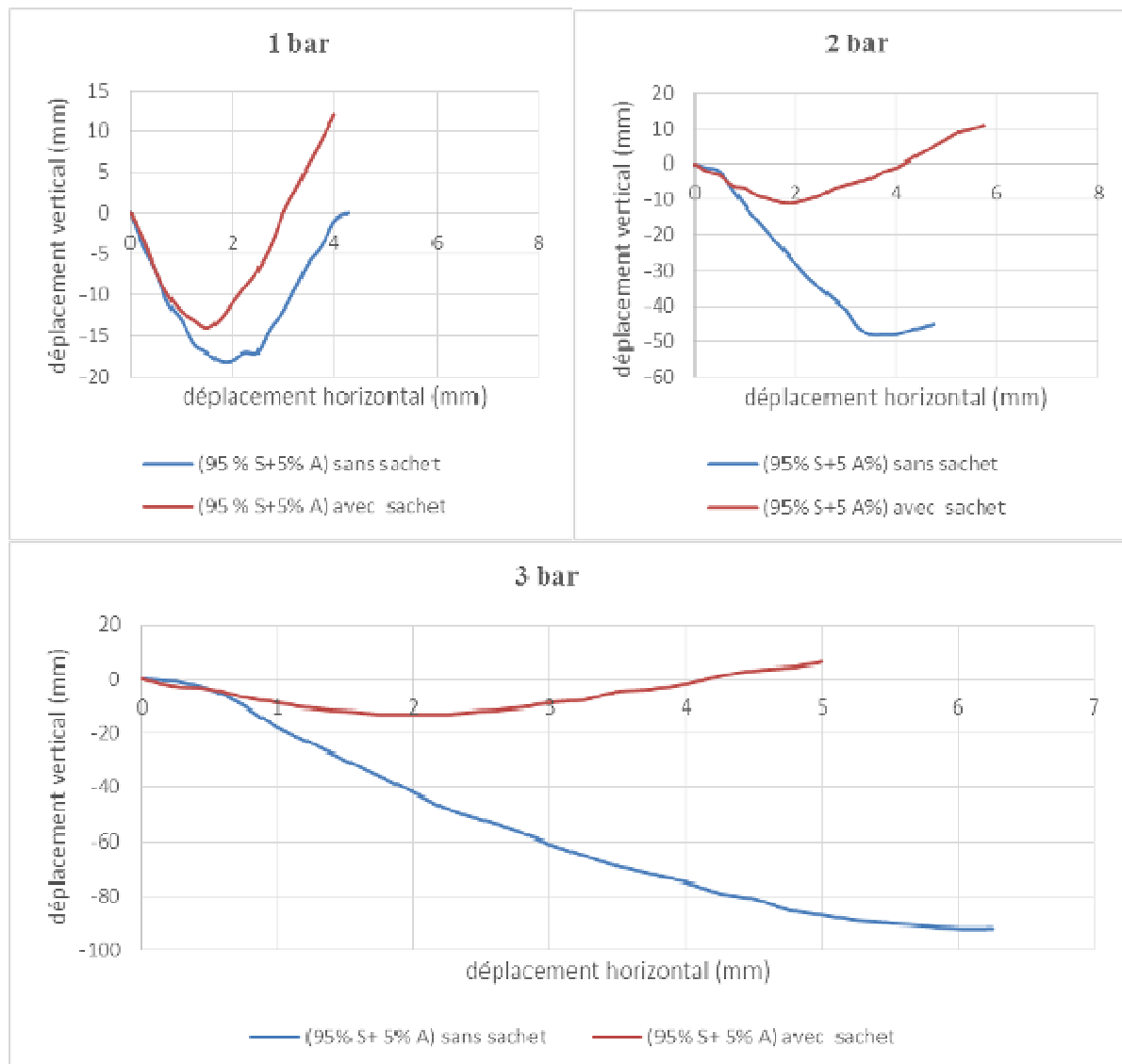
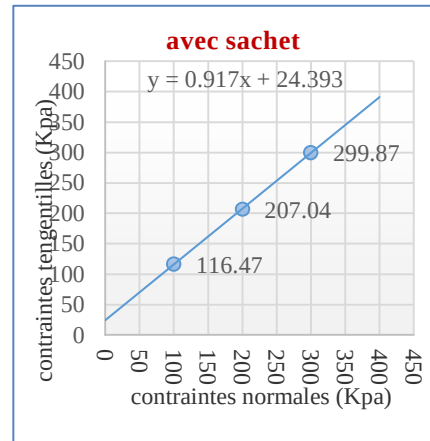
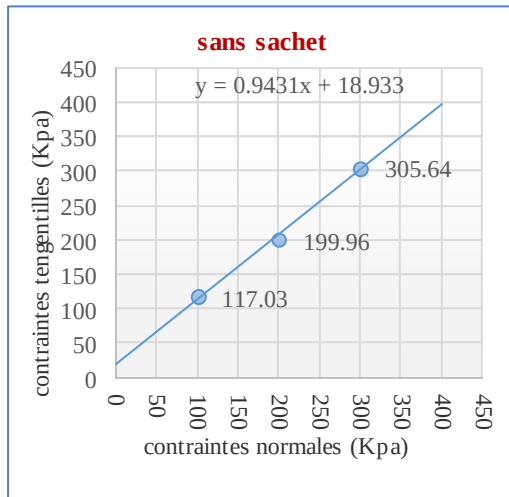


Figure VIII.34 : les courbes des déformations verticales en fonction des déformations horizontales pour un mélange de 95% sable et 5% argile.

10.3. Courbe intrinsèque $\tau = f(\sigma)$

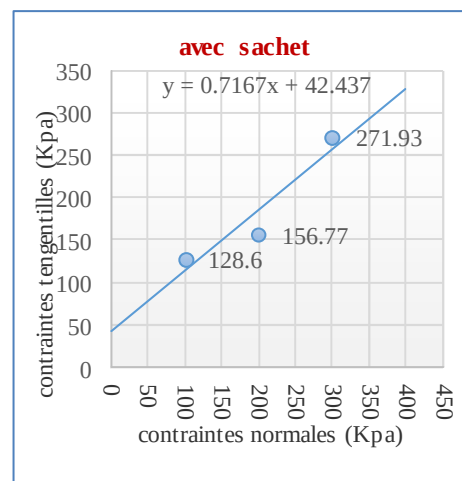
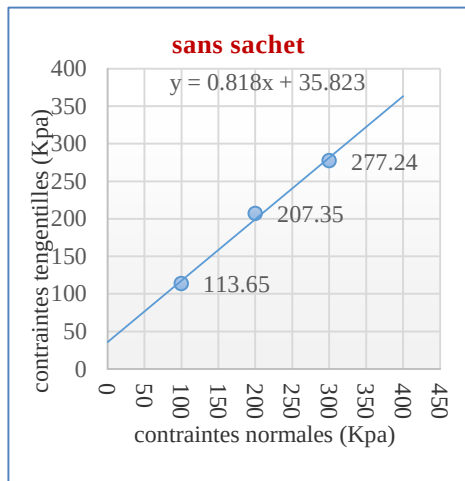
Le cas de la disposition d'une bande plastique entre les demi-boîtes de cisaillement :



tangφ	φ	c
0.943	43.31	18.933

tangφ	φ	c
0.917	42.52	24,39

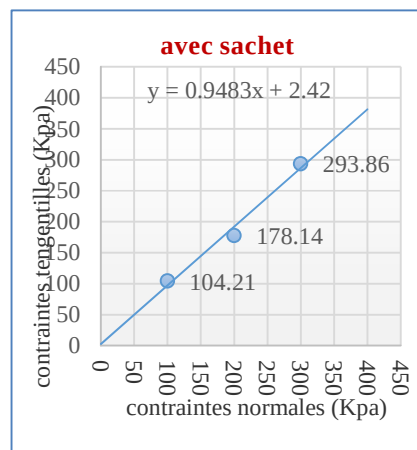
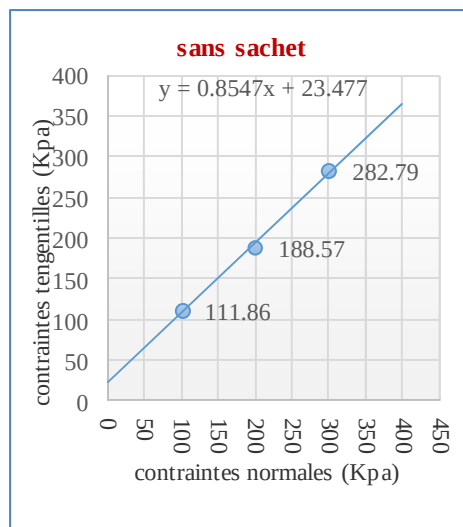
Figure VIII.35 : Courbes intrinsèques $\tau = f(\sigma)$ et les caractéristiques mécaniques (c et ϕ) pour un mélange de 75% de sable et 25 % d'argile .



tangφ	φ	C
0.818	39.28	35,823

tangφ	φ	c
0.717	35.64	42,437

Figure VIII.36 : Courbes intrinsèques $\tau = f(\sigma)$ et les caractéristiques mécaniques (c et ϕ) pour un mélange de 85% de sable et 15 % d'argile

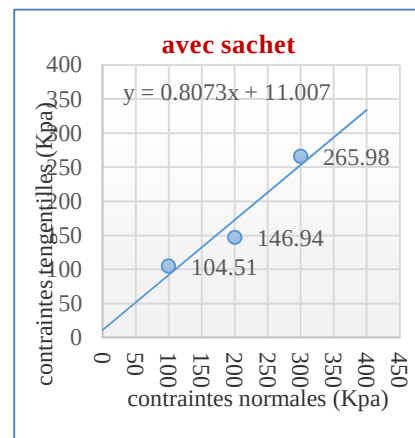
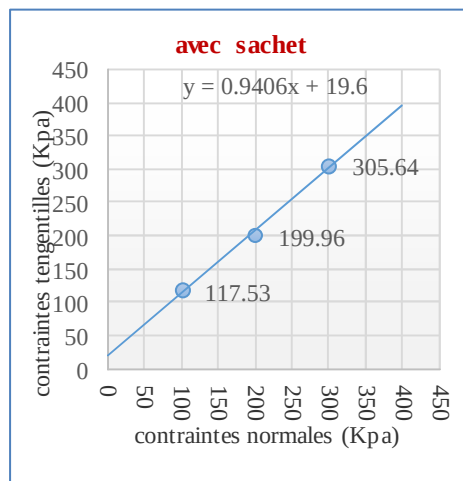


$\tan\phi$	ϕ	c
0.8547	49,84	23,47

$\tan\phi$	ϕ	c
0.9483	46,52	2,42

Figure VIII.37 : Courbes intrinsèques $\tau = f(\sigma)$ et les caractéristiques mécaniques (c et ϕ) pour un mélange de 95% de sable et 5% d'argile .

✚ Le cas de la disposition horizontale des bandes plastiques dans la boîte de cisaillement :



$\tan\phi$	ϕ	c
0.9406	46,67	18,93

$\tan\phi$	ϕ	c
0.8073	51,08	11

Figure VIII.38 : Courbes intrinsèques $\tau = f(\sigma)$ et les caractéristiques mécaniques (c et ϕ) pour un mélange de 75% de sable et 25% d'argile .

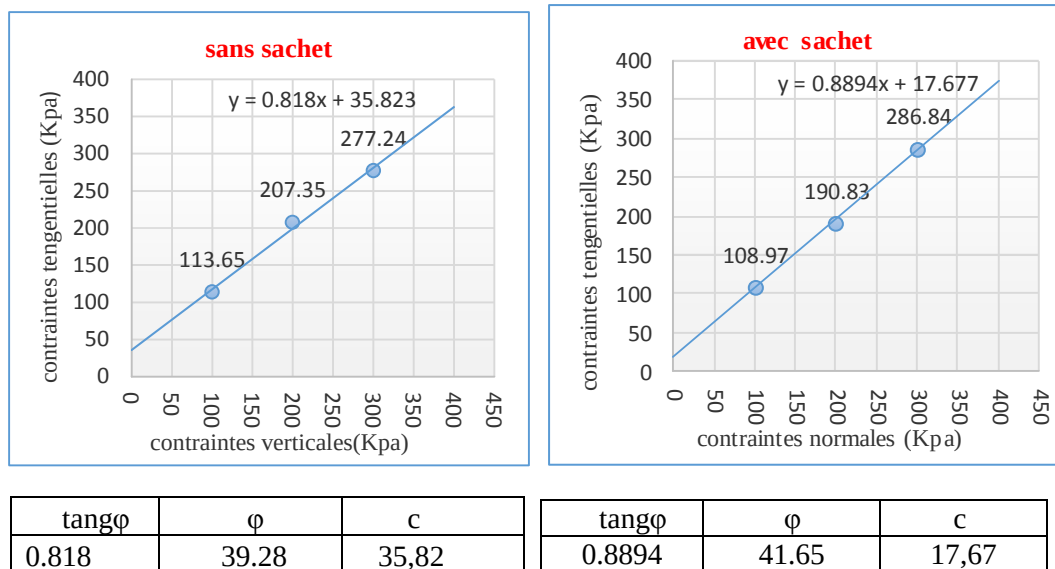


Figure VIII-39 : Courbes intrinsèques $\tau = f(\sigma)$ et les caractéristiques mécaniques (c et φ) pour un mélange de 85% de sable et 15% d'argile .

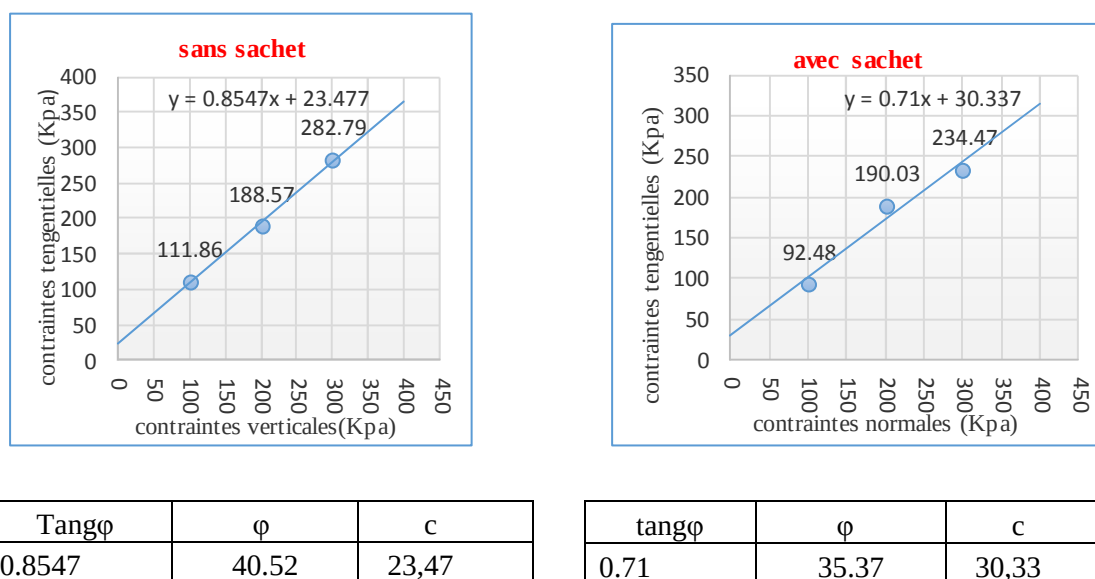
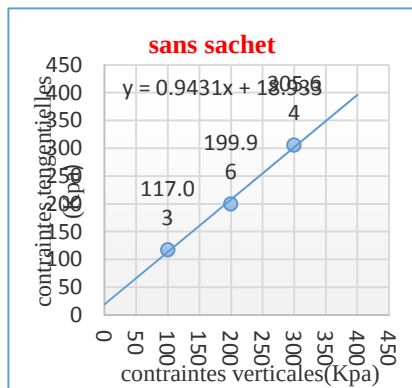
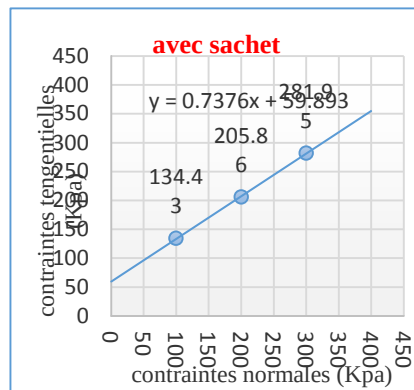


Figure VIII.40 : Courbes intrinsèques $\tau = f(\sigma)$ et les caractéristiques mécaniques (c et φ) pour un mélange de 95% de sable et 5% d'argile .

✚ Le cas de la disposition verticale des bondes plastiques dans la boîte de cisaillement :

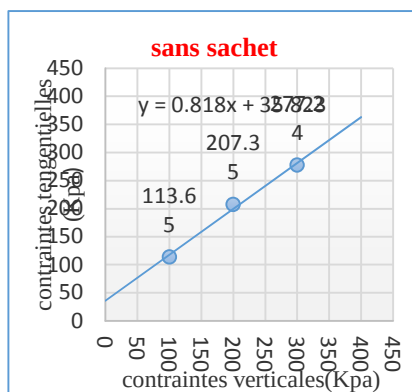


$\tan\phi$	ϕ	c
0.9431	43.32	18,93

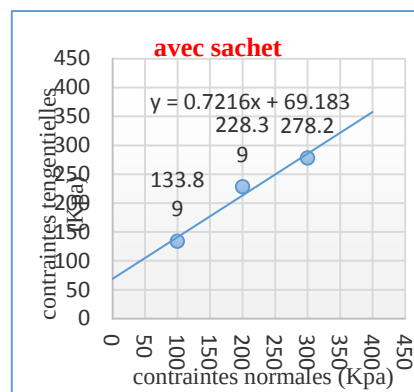


$\tan\phi$	ϕ	c
0.7376	36.41	59,89

Figure VIII.41 : Courbes intrinsèques $\tau = f(\sigma)$ et les caractéristiques mécaniques (c et ϕ) pour un mélange de 75% de sable et 25% d'argile .

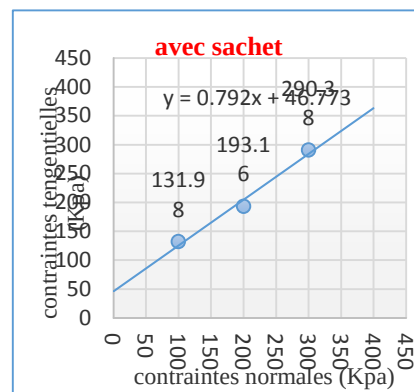
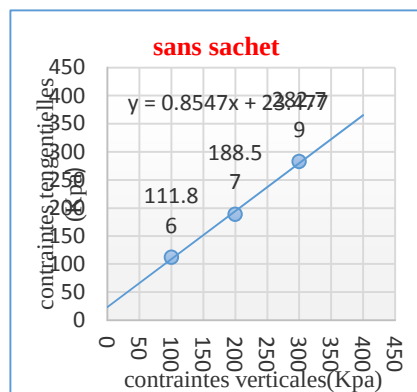


$\tan\phi$	ϕ	c
0.818	39.28	35,82



$\tan\phi$	ϕ	c
0.7216	35.81	69,18

Figure VIII. 42 : Courbes intrinsèques $\tau = f(\sigma)$ et les caractéristiques mécaniques (c et ϕ) pour un mélange de 85% de sable et 15% d'argile .

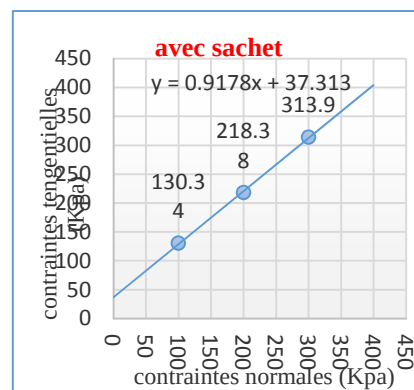
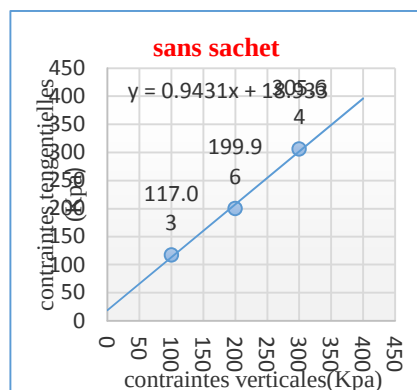


$\tan\phi$	ϕ	c
0.8547	40.52	23,47

$\tan\phi$	ϕ	c
0.792	38.38	46,77

Figure VIII.43 : Courbes intrinsèques $\tau = f(\sigma)$ et les caractéristiques mécaniques (c et ϕ) pour un mélange de 95% de sable et 5% d'argile

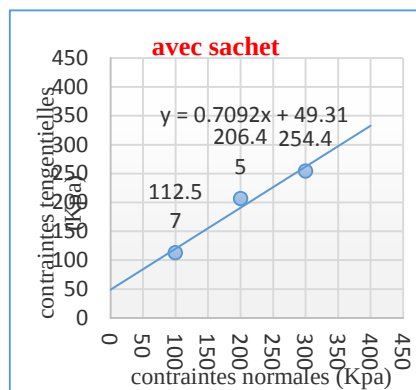
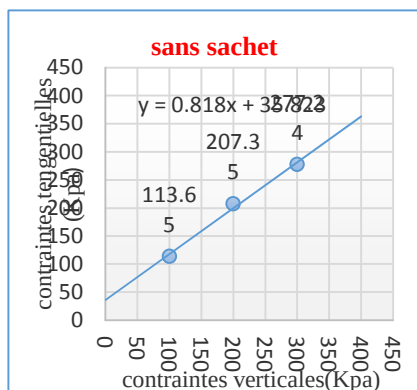
✚ Le cas de la disposition inclinée des bandes plastiques dans la boîte de cisaillement :



$\tan\phi$	ϕ	c
0.9431	43.32	18,93

$\tan\phi$	ϕ	c
0.9178	42.55	37,31

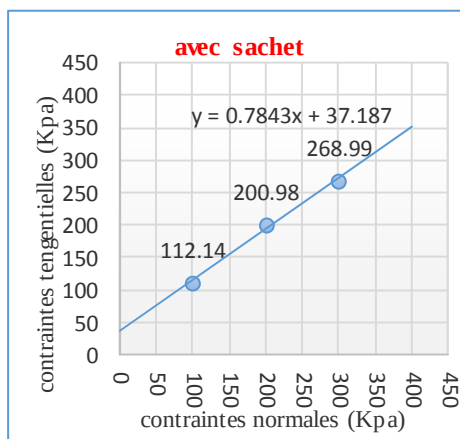
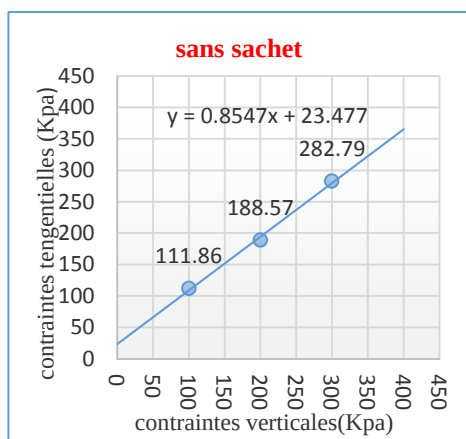
Figure VIII.44 : Courbes intrinsèques $\tau = f(\sigma)$ et les caractéristiques mécaniques (c et ϕ) pour un mélange de 75% de sable et 25% d'argile .



tang ϕ	ϕ	c
0.818	39.28	35,82

tang ϕ	ϕ	c
0.7092	35.34	49,31

Figure VIII.45 : Courbes intrinsèques $\tau = f(\sigma)$ et les caractéristiques mécaniques (c et ϕ) pour un mélange de 85% de sable et 15% d'argile .



tang ϕ	ϕ	c
0.8547	40.52	23,47

tang ϕ	ϕ	c
0.7843	38.11	37,18

Figure VIII.46 : Courbes intrinsèques $\tau = f(\sigma)$ et les caractéristiques mécaniques (c et ϕ) pour un mélange de 95% de sable et 5% d'argile .

10.4 Interprétation des résultats (essais de cisaillement à la boîte)

✚ Cas n ° 1 : Disposition du plastique selon le plan de cisaillement

➤ 75% S + 25% A;

- Pour les courbes contraintes tangentielles- déplacement horizontal : elles sont confondues pour toutes les contraintes axiales (1, 2 et 3 bars) ceci montre que le plastique dans l'échantillon n'influe pas sur la résistance au cisaillement.
- Par contre, la présence du plastique influe beaucoup sur la variation du volume particulièrement lorsque les contraintes axiales augmentent de 1 à 3 bars.
- Les caractéristiques mécaniques obtenues montrent clairement que l'angle de frottement ϕ reste constant entre 42 et 43° par contre la cohésion augmente de 5 à 6 Kpa en présence du plastique.

➤ 85% S + 15% A;

- Dans ce cas pour les courbes $\tau = f(\Delta L)$, on ne constate pas que le plastique apporte un supplément de résistance important.
- Pour les courbes $\Delta h = f(\Delta L)$, aux petites contraintes (1 bar), l'effet du plastique dans les échantillons est important et crée des grandes variations de volume, plus la contrainte augmente plus son effet diminue.
- La cohésion c augmente en présence du plastique par contre l'angle de frottement ϕ diminue.

➤ 95% S + 5 % A ;

- Les courbes $\tau = f(\Delta L)$ sont confondues et cela quelle que soit la contrainte normale. L'effort de résistance au cisaillement par le plastique est infiniment petit.
- La quantité d'argile est petite, l'ensemble (sable + argile) reste dilatant quelle que soit la contrainte normale, cette dilatance diminue lorsque σ_N augmente. L'effet du plastique dans ce cas n'est pas important.
- Dans ce cas, $\Delta \phi = 3^\circ$ et $\Delta c < 20$ Kpa.

✚ Cas n ° 2 : Disposition du plastique horizontale

➤ 75 % S + 25 % A ;

- Pour les courbes $\tau = f(\Delta L)$, les résultats sont identiques au cas n°1 (aucune influence du plastique sur la résistance au cisaillement).
- - Une dilatance pour σ_N petite.
 - Contractance pour $\sigma_N > 2$ bars
 - L'effet du plastique est important dans la variation de volume et devient de plus en plus contractant lorsque $\tau_N > 2$ bars

- A la présence du plastique l'angle de frottement augmente par contre la cohésion diminue et les résultats sont identiques pour le cas du mélange de 85 % de sable et 15 % d'argile.

➤ 85 % S + 15 % A,

- Les graphes $\tau = f(\Delta L)$, donnent des courbes assez proches avec un petit écart entre elles.

- Pour la variation de volume on remarque que :

- $\sigma_N = 1 \text{ bar}$; une dilatance assez marquée est obtenue.
- $\sigma_N > 1 \text{ bar}$; une contractance de plus en plus accentuée au fur et à mesure de l'augmentation de la contrainte normale. La présence du plastique réduit la contractance.

➤ 95% S + 5% A ;

- Un écart est visible dans ce cas ; Il y'a une augmentation de résistance par la présence du plastique.
- - La dilatance est accentuée dans ce cas .
- Plus σ_N augmente plus la dilatance diminue mais ne tend pas vers la contractance

✚ Cas n° 3 : disposition verticale des bandes plastiques

➤ 75% S + 25% A;

- courbes $\tau = f(\Delta L)$ sont assez confondues et les résultats sont identiques pour le cas du mélange de 85% de sable et 25 % d'argile ; donc le plastique n'a aucune influence sur la résistance au cisaillement.
- On remarque : une dilatance pour $\sigma_N > 1 \text{ bar}$
- Pour les caractéristiques mécaniques y'a une diminution de l'angle de frottement
 - $(\Delta \phi < 7^\circ)$ en présence du plastique par contre la cohésion augmente de plus de 40 Kpa et ces résultats sont identiques pour le mélange de 85% de sable et 15% d'argile .

➤ 85% S + 15% A;

- Pour les courbes $\tau = f(\Delta L)$, on constate deux comportements de l'échantillon : dilatant lorsque la contrainte normale varie entre 100 ; 200 Kpa et contractant à $\sigma_N = 3 \text{ bar}$.

- 95% S + 5% A;
 - Dans ce cas le comportement est le même que pour le mélange de (85% de sable et 15% d'argile).
 - Notre échantillon a un comportement dilatant quelle que soit la contrainte normale (1, 2 et 3 bars).
 - En présence du plastique , dans ce cas l'angle de frottement diminue ($\Delta \phi < 2^\circ$) et la cohésion augmente ($\Delta c > 24$ kPa).
- ✚ Cas n ° 4 : disposition inclinée des bandes de plastique
- 75 % S + 25% A;
 - Pour les courbes $\tau = f(\Delta L)$, l'effet du plastique est important dans l'échantillon créant une grande variation de volume. Plus la contrainte normale augmente l'effet de la variation de volume diminue et les résultats sont identiques pour le cas du mélange de 95% de sable et 5% d'argile.
 - Pour $\sigma_N = 1$ bar, l'échantillon est dilatant et tend vers la contractance quand σ_N tend vers 200 et 300 kPa.
- 85 % S + 15% A;
 - Les courbes contraintes- déformation sont confondues pour $\sigma_N = 100$ et 200 kPa ceci montre que le plastique n'a aucune influence. Lorsque $\sigma_N = 300$ kPa les courbes de cisaillement présentent une résistance plus importante suivant un palier.
 - On remarque dans cet échantillon a un comportement dilatant quelle que soit la contrainte normale, et les résultats sont identiques pour le cas du mélange de (95% de sable et 5% d'argile).
- On constate dans ce 4^{ème} cas que les angles de frottement diminuent par contre les cohésions augmentent d'une moyenne de : $\phi > 4^\circ$ et $c > 16$ kPa.

Conclusion générale

La récupération ,le recyclage et la valorisation des déchets des sacs en plastiques qui a fait l'objet de ce mémoire, ce problème des déchets plastiques reste prépondérant dans la gestion des déchets urbains, du point de vue de leur collecte, car ils envahissent quantitativement la nature (les poubelles, les décharges, les espaces publics, les arbres...).

La gestion des déchets pose d'énormes problèmes (pré-collecte, collecte et traitement). De nombreuses études ont été réalisées sur le système de gestion des déchets mais le système de production de ces déchets reste un domaine peu exploré, surtout pour ce qui concerne les déchets plastiques.

On note entre autre la propagation des maladies, la mortalité du bétail, les atteintes à l'environnement....Les sources de génération de déchets plastiques (diverses utilisations des sachets plastiques) ainsi que les différents facteurs qui entrent en jeu dans la production de ces déchets sont multiples.

L'objectif de ce travail est de réduire la pollution occasionnée par le rejet des sachets plastiques dans la nature. Elle concerne principalement des emballages plastiques triés ; à savoir les sachets et films transparents en polypropylène (PP) et en polyéthylène (PE) basse densité. Les solutions techniques de recyclage de ces déchets existent. La méthode la plus simple est de les broyer ou de les faire fondre pour obtenir de nouvelles applications. Une des pistes proposées est leur utilisation comme liant, comme le ferait le ciment ou la chaux, pour la fabrication de matériaux de construction. Ainsi, des éprouvettes à base (matériau+liant plastique) seront confectionnées et seront soumises aux essais de laboratoire de façon à rendre utilisable ce nouveau matériau à supporter une route un parking, une aire industrielle ou une construction.

Références bibliographiques

Hélène Allias-Denis, Brigitte Baroin . La chaîne de valeur du recyclage des plastiques en France :trois grands axes d’actions pour développer la filière . mars 2015 . Martine Automme, Nicole Merle-Lamoot .

E algier@advantageaustria.org

www.plasticseurope.fr/ Planète écolo, Fleurus.

N. BELHANECHÉ , M.A. CHABOU . Contribution à la valorisation des déchets de matières plastiques. Ecole Nationale Polytechnique, BP182, El- Harrach, Algerie.

Nadia DORBANE . Quel avenir pour les matières plastiques dans le cadre du développement durable ? Université de Tizi-Ouzou, Algérie.

AMEGNRAN Yaotree Cyrille . Problématiques de la gestion des déchets solides en Afrique » : 26 octobre 2009.

Gabriel MOUSSANANG,La question de la gestion des déchets en Afrique . Tour Samedi 20 octobre 2012 de 9h30 à 17h.

Emmanuel Nguikam ,Emile Tanawa. Les villes d'Afrique face à leurs déchets. Université de Technologie de Belfort-Montbéliard (UTBM).

Arouna Rémi TOGUYENI. La gestion des déchets solides de la ville de Ouagadougou (Burkina Faso):Etat des lieux et analyse de la problématique des déchets d’emballages plastiques.2006 .

Caroline Bureau, Optimisation de la gestion et de la mise en valeur des plastiques récupérés au Québec . Centre universitaire de formation en environnement. Sherbrooke, Québec, Canada, décembre 2009 .

Hamza CHENITI. La gestion des déchets urbains solides: cas de la ville de Annaba, Université Badji Mokhtar-Annaba,**2014**.

Brahim DJEMACI* & Malika AHMED ZAÏD - CHERTOUK*. "La gestion intégrée des déchets solides en Algérie". Contraintes et limites de sa mise en œuvre. Université de Rouen (Laboratoire CARE EA-2260), Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou (Laboratoire REDYL).Avril 2011.

Ousmane GNING. Thématique: Déchets solides.(Entrée en vigueur de la loi sur l’interdiction des déchets plastiques au Sénégal.4 janvier 2016.

Références bibliographiques

S. GAYE, M. ADJ, CARACTERISATION DES PROPRIETES THERMIQUES ET MECANIQUES DU BETON DE POLYMER RECYCLE. Ecole supérieure Polytechnique Université Cheikh Anta DIOP. SENEGAL .

Farid Debieb ,Mohamed Bentchikou. "Valorisation et Recyclage des Déchets Plastiques dans le Béton ".Conférence à Université de Médéa Avril 2014 .

Jean-Christophe Maisin - Benoit Mpoyi – Philippe Langouche."Guide technique d'une chaîne de recyclage des sachets plastiques dans les pays en développement" Ingénieurs sans Frontières Rue d'Edimbourg 26 - 1050 Bruxelles.

Fanny TAIN. " MISE EN PLACE D'UNE UNITE DE TRANSFORMATION DE SACS PLASTIQUES EN PAVES" UNIVERSITE PIERRE MENDES-FRANCE.2010

Nouria Achour, " RECYCLAGE DES MATERIAUX EN ALGERIE " UNIVERSITE D'ORAN ES-SENIA.ALGERIE.2007