

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et Sciences de la Terre et de l'Univers

Département d'Ecologie et Environnement

Laboratoire de Recherche n° 25 Promotion des Ressources Hydriques, Minières,
Pédologiques Législation de l'Environnement et Choix Technologiques.

THESE

Présentée pour l'obtention du **grade de DOCTORAT 3^{ème} Cycle (LMD)**

Spécialité : Ecologie et Environnement

Présentée par : Sebaa Abdelkamel

Thème

**Etude du rôle des Draas dans l'évacuation des dunes menaçant les routes dans
le Bas Sahara Algérien : expérimentation sur modèles réduits.**

Soutenue publiquement, le 10/07 /2021, devant le jury composé de :

Mr BENSALAH .Mustapha.	Professeur	Univ. Tlemcen	Président
Mr BOUDJEMA Abderrezzak	MCA	Univ. Tlemcen	Directeur de thèse
Mr MERZOUK Abdessamad	Professeur	Univ. Tlemcen	Examineur
Mme BELHACINI Fatima	MCA	Univ.Ain-Temouchent	Examinatrice
Mr HASNAOUI Okacha	Professeur	Univ. de Saïda	Examineur

Année universitaire : 2020/2021

REMERCIEMENTS

Avant de présenter les résultats de ce travail, je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à tous ceux et celles qui l'ont rendu possible par la collaboration scientifique et technique, leurs conseils ou leurs encouragements et surtout leur amitié.

J'adresse mes sincères remerciements et toute ma gratitude au défunt, Monsieur BELHAMRA Mohammed, Professeur à l'Université de Mohamed Kheider-Biskra (UMKB), en qualité d'enseignant chercheur et Directeur Général du Centre de Recherche Scientifique et Technique sur les Régions Arides (C.R.S.T.R.A), Biskra-Algérie. Ce fut pour moi un grand honneur de travailler sous sa direction, sans son aide précieuse, ses conseils et sa disponibilité à mon égard, ce travail n'aurait jamais pu aboutir à son terme. Son accueil, toujours empreint d'une grande chaleur humaine, nous fut un perpétuel encouragement. Qu'il veuille bien trouver ici l'hommage de ma gratitude. Aussi j'adresse mes sincères remerciements à Monsieur BOUDJEMA Abderrezak d'avoir accepté de prendre le relais pour m'encadrer et pour son aide précieuse qui ne manque pas de m'encourager et de suivre l'avancement de mes travaux.

Mes sincères remerciements s'adressent au Monsieur BENSALAH Mustapha Professeur à l'Université de Tlemcen, qui m'a fait l'honneur de présider le jury de cette thèse. Je remercie également très vivement les membres du jury qui m'ont fait l'honneur d'accepter d'évaluer ce travail : Monsieur MERZOUK Abdessamad, Professeur à l'Université de Tlemcen, Madame BELHACINI Fatima, maitre de conférences à l'université d'Ain Témouchente et Monsieur HASNAOUI Okacha, Professeur à l'Université de Saïda.

Nous tenons à exprimer notre gratitude et sincères remerciements à Madame LAKHDARI Fattoum, Ex-Directrice du Centre de Recherche Scientifique et Technique-Omar El-Bernaoui-Biskra, pour les efforts sans cesse déployés pour permettre aux équipes du CRSTRA de prendre en charge les problématiques réelles par priorité thématique et spatiale, pour son appui et son encouragement pour faire aboutir nos travaux aux développements de la connaissance et à de véritables outils d'aide à la décision devant soutenir un développement durable en régions arides.

Mes remerciements vont également aux Laboratoires qui ont permis la réalisation de ce travail. Cette étude n'aurait pu être réalisée sans le concours et le soutien de Monsieur

M'Hamed Boudoma, Président Directeur Général (PDG) du Laboratoire d'Etudes Maritimes Bp 848, Djenene El Malik Hydra, Alger, Algérie qui n'a pas hésité à parrainer notre recherche, en nous accueillant au sein de son Laboratoire et en nous intégrant dans son équipe. En apportant depuis sa conception jusqu'à sa phase terminale, toute l'aide matérielle et morale ainsi que tout nos besoins en documentation ; ce qui nous a permis de mener notre recherche dans les meilleures conditions.

Nous n'oublierons pas de remercier Monsieur Benaissa Zouhair Chef Département Laboratoire d'Etudes Maritimes, Mme Bakri Lila Ingénieur en Hydraulique et Mme Djeha Leïla, pour toute l'aide et ses précieux conseils et enseignements.

Monsieur le Professeur BENSALAH Mustapha, ancien Doyen de Faculté Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers-Université de Tlemcen, Directeur du Laboratoire de Recherche n° 25 Promotion des Ressources Hydriques, Minières, Pédologiques Législation de l'Environnement et Choix Technologiques et Expert en Environnement et en Sciences Géologiques et Minières, nous a aimablement ouvert son Laboratoire, pour effectuer les analyses minéralogiques (l'Etude des Minéraux Lourds), qu'il trouve ici un témoignage de notre reconnaissance et gratitude pour les facilités qu'il nous a accordé, et pour tout l'intérêt qu'il n'a pas manqué de témoigner pour notre recherche.

J'adresse aussi ma profonde sympathie à tous les Doctorants du Laboratoire de Recherche n° 25 pour l'ambiance de travail si chaleureuse et pour les bons moments passés ensemble : Hammouda Sid Ahmed, Mustapha Benadla, Baghli Hicham, Mennad Abdelkader, Mebarki Kaddour...

Je remerci également Saber Rachid et Boumediene Khaldi, responsables des produits chimiques Université-Tlemcen pour son soutien et son aide.

Aussi je m'adresse toute ma gratitude à Monsieur LOUAHDI Abdelbaki, Directeur de la Direction de la Recherche et de la Prospective (DRP), du Ministère des Travaux Publics, ainsi qu'à Mme BRAIK Nabila, S/D MTP, pour leur aide et leur soutien. Veuillez trouver dans ce travail l'expression de ma haute considération.

Très nombreux sont les habitants et les services techniques locaux (DTP..) qui m'ont aidé, guidé, tant par leurs connaissances que par leur générosité si spontanée et combien simple et touchante. Les nommer tous, serait trop fastidieux ; en citer quelques – uns

risquerait de blesser leur modestie et irait à l'encontre de leur discrétion innée. Que chacun d'eux soit chaleureusement remercié et puisse trouver ici, l'assurance de ma gratitude.

En fin, un immense merci à ma famille : ma femme Bekhta, mes enfants Achouak, Ferdaous, Adel, Hibet-Errahmane, Iness, Seïda Aïcha et Arafat, pour leur soutien, leur patience et leurs sacrifices consentis tout au long de la réalisation de ce travail et qui ont dû me trouver pénible par moments.

A tous les membres de l'équipe dynamique des sables et techniques de lutte contre l'ensablement, de la Station Expérimentale du Milieu Biophysique de L'Oued Righ et au personnel du CRSTRA en général et à toute personne qui y a contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Liste des figures

Figure1. Carroyage de palmes destinées à protéger la section routiers d'Aïn Beïda vers Sidi Khouiled (W Ouargla).....	36
Figure2. Epandage de dérivés de pétrole (bitume) pour protéger la voie ferrée contre l'ensablement (Biskra_ Touggourt) (Sebaa et al., 2015).....	36
Figure3. Dunes mobiles provoquant l'ensablement des routes au Bas-Sahara Algérien : (a) risque d'ensablement sur la route Hassi-Messaoud vers El-Borma. RN 53A ; (b) dunes mobiles provoquant l'ensablement de la route Touggourt vers Djelfa ; (c) moyen d'intervention pour le désensablement.....	40
Figure4 (a). Carte de situation de la région d'EL – Oued Souf au sein du Sahara Algérien. 1 : Oued Righ. 2 : Oued Souf. 3 : Ziban. 4 : Oued Mya (d'après BALLAIS, 2010).....	54
Figure4 (b). Carte du découpage administratif de la Wilaya d'El-Oued (d'après Medarag et al., 2009).....	55
Figure5. Vue de dessus du dispositif expérimental canal à courant (ECH : 1/50).....	76
Figure6(a). La première série des tests : (6a) profil d'équilibre de la route sans protection, la pente de la chaussée a été de 2/3 (ECH : 1/200).....	79
Figure6(b). Profil d'équilibre de la route sans protection, la pente de la chaussée a été de 1/5 (ECH 1/200).....	80
Figure 7A. (Variante A) : La deuxième série des tests, c'est tester le rôle du Drâa comme étant un obstacle ; variante A Drâa placé à 15m par rapport à l'axe de la route quant à la hauteur du Drâa, elle a été testée à 2.75m (ECH : 1/200).....	82
Figure 7A1. (Variante A1) : La deuxième série des tests, c'est tester le rôle du Drâa comme étant un obstacle ; variante A1 Drâa placé à 20m par rapport à l'axe de la route quant à la hauteur du Drâa, elle a été testée à 2.75m (ECH : 1/200).....	83
Figure 7A2. (Variante A2) : La deuxième série des tests, c'est tester le rôle du Drâa comme étant un obstacle ; (variante A2) Drâa placé à 40m par rapport à l'axe de la route quant à la hauteur du Drâa, elle a été testée à 2.75m (ECH : 1/200).....	84
Figure 7A3. (Variante A3) : La deuxième série des tests, c'est tester le rôle du Drâa comme étant un obstacle ; variante A3 Drâa placé à 30m par rapport à l'axe de la route quant à la hauteur du Drâa, elle a été testée à 3.75m (ECH : 1/200).....	85
Figure 7A4. (Variante A4) : La deuxième série des tests, c'est tester le rôle du Drâa comme étant un obstacle ; variante A4 Drâa placé à 40m par rapport à l'axe de la route quant à la hauteur du Drâa, elle a été testée à 3.75m (ECH : 1/200).....	86

Figure 7A5. (Variante A5) : La deuxième série des tests, c'est tester le rôle du Drâa comme étant un obstacle ; variante A5 Drâa placé à 50m par rapport à l'axe de la route quant à la hauteur du Drâa, elle a été testée à 3.75m (ECH : 1/200).....	87
Figure 8a. La troisième série des tests : (a) sur modèle réduit, l'implantation d'un obstacle (Drâa) en biai par rapport à la route.....	89
Figure (8b, 8c.) La troisième série des tests : (b) deux Drâas disposés parallèlement à la route soumise à l'action d'un vent frontal ; (c) sur modèle réduit, les Drâas sont parallèles à la chaussée.....	90
Figure (9a). Résultats des essais de la première série : (9a) la variante V1 a permis de constater une accumulation importante de sable dans la partie face au vent permettant ainsi l'ensablement de la chaussée. Suivie d'une accumulation de sable dans la partie sous-vent...	93
Figure (9b, 9c). Résultats des essais de la première série : (9b) la variante V3 a montré une érosion à l'amont de la chaussée suivie d'un dépôt près de l'axe de la chaussée. Par contre une érosion s'est effectuée dans la partie sous-vent ; (9c) la variante V4 montre un dépôt près de la chaussée avec une érosion de la partie sous-vent.....	94
Figure (10a). Résultats des essais de la deuxième série : (10a) la variante A a permis de constater une érosion sur une distance d'environ 30m juste à l'amont de la route suivie d'une accumulation importante excède 2.5m de hauteur en comblant à la fois le Drâa et la route. Le côté sous-vent connaît à lui une érosion.....	98
Figure (11b, 11c). Résultats des essais de la deuxième série : ((11b) la variante A3 à une vitesse maximale $V3 = 15.24\text{m/s}$ montre un arrachement important de sédiments en amont du Drâa, entre la chaussée et le Drâa, ainsi que dans la partie sous-vent ; (11c) La variante A4 montre une érosion suivie d'un dépôt qui s'est produit à l'amont du Drâa. Entre la chaussée et le Drâa ainsi que dans la partie sous-vent, une érosion s'est effectuée.....	99
Figure12. Résultats de la troisième série. L'implantation d'un obstacle (Drâa) en biais par rapport à la route, montre une érosion entre la chaussée et le Drâa et la partie sous-vent...	105
Figure13. Résultats de la troisième série. L'efficacité de l'implantation de deux Drâas en biais (variante B4).....	105
Figure14. Résultats de la troisième série des tests. L'efficacité de l'implantation de deux Drâas placées parallèlement à la chaussée.....	106
Figure (14a). Sur modèle réduit. L'efficacité de l'implantation de deux Drâas placées parallèlement à la chaussée, une quantité de sable est piégée par le Drâas.....	106
Figure15. Comportement dynamique de la circulation éolienne en présence d'un obstacle (D'après Mainguet et Remini, 2004).....	111

Figure16. Conception et disposition des Drâas en biais.....	111
Figure17. Le modèle de diagnostic participatif (investigation sur le terrain).....	116
Figure18. Conception et disposition des <i>Drâas</i> en chicane. (L) longueur du tas de remblai ; (H) hauteur du tas de remblai ; (D) distance à respecter entre le tas de remblai et la route à protéger ; (V1) l'espace de vide laissé entre le tas de remblai devant et derrière ; (V2) vide entre deux tas de remblai (Sebaa et al., 2015).....	117
Figure19. L'efficacité des Drâas en chicane appliqués sur la route nationale RN3 (Touggourt-Ouargla).....	118
Figure20. L'efficacité des Drâas implantés en biais sur la route Touggourt-Djelfa (Sebaa et al., 2015).....	119
Figure21. Conception et disposition des Drâas en chicane sous un régime du vent bidirectionnel.....	119
Figure22. Drâas en chicane sous un régime du vent bidirectionnel (Touggourt-Djelfa).....	120
Figure23. Conception et disposition de la méthode des cônes (d'après Sebaa et al., 2015)..	120
Figure24. L'efficacité de la méthode des cônes sur la route nationale RN 16 (Touggourt vers El Oued Souf) (d'après Sebaa et al., 2015).....	121
Figure25. Conception et disposition des Drâas successifs pour dévier la progression du sable dans une autre direction que celle du vent dominant. (D) distance à respecter entre les tas de remblais et la zone à protéger ; (V) l'espace de vide laissé entre les tas de remblais ; (d) distance entre deux tas de remblais successifs ; (L) longueur du tas de remblais.....	122
Figure26. Des trains barkhaniques provoquant l'ensablement et causant des dégâts importants sur les oasis et la route (cas d'EL Goug-Temacine, W Ouargla).....	122
Figure27. Présentation de la zone d'étude (tronçon routière RN 51A, de PK14 vers PK15 + 400, Charouine vers Timimoune).....	128
Figure28. Site expérimentale (La section ensablée) : Route Nationale RN 51A (PK 15 + 400 – PK14), de Cherouine vers Timimoune.....	129
Figure29. Vue générale de la section ensablée (RN 51A, PK15 – PK14) <i>avant</i> l'installation de dispositif.....	129
Figure30. Risque d'ensablement sur la route Charouine vers Timimoune (RN 51A, PK 15 – PK14).....	129
Figure31. Réunion de travail, le 13 janvier 2016 avec les Chefs services et les subdivisionnaires des travaux publics de la région d'Adrar.....	130

Figure32. Visite réservée à Monsieur le Chef de Daïra d'Aoulef à qui nous avons exposé le but de notre visite, les objectifs, la méthodologie et la technique préconisés pour lutter efficacement contre l'ensablement des routes (le 18.01.2016).....	130
Figure33. En dehors des autorités locales, nous avons rencontré lors de nos sorties sur terrain la population au niveau des sites visités.....	130
Figure34. Drâas déposés perpendiculairement à la direction du vent dominant.....	131
Figure35. Matériaux grossiers qui composent les drâas se trouvent sur le lieu d'expérimentation in situ (à 100 m de distance).....	131
Figure36. Pose des matériaux grossiers sur le site du travail.....	132
Figure37. Installation des Drâas sur la dune.....	132
Figure38. Vue générale d'une zone stabilisée mécaniquement par la technique des Drâas à Adrar.....	132
Figure39. (a, b, c). Le site expérimental stabilisé mécaniquement par la technique des Drâas le Samedi 30 Janvier 2016.....	133
Figure40. (a, b, c). Piquets installés sur le site expérimental le Samedi 30 Janvier 2016.....	136
Figure41. (a, b, c). Photos prises le 14 Novembre 2016 montre l'efficacité des Drâas à protéger la chaussée contre l'ensablement, après une année des vents violents.....	137
Figure42. Dune barkhanes qui traversent Chemin de Wilaya CW2, à 25 km vers la commune d'Akabli, Daïra d'Aoulef, W d'Adrar. La section à risque d'ensablement est de l'ordre de 4775 m (d'après Lakhdarie, 2016).....	139
Figure43. (a, b). Le site expérimental avant l'installation du dispositif, l'ancien route complètement ensablée par des dunes mobiles à Akabli, la longueur de la tracé est de l'ordre de $L = 2067$ m.....	140
Figure44. (c, d). Le site expérimental avant l'installation du dispositif, Barkhane résultante des vents efficaces, avec une hauteur peut atteindre 10m, photo prise le 16 /03/2016.....	140
Figure45. (e, f). Une série des chaines barkhaniques qui traversent le chemin de Wilaya numéro 2, qui rejoindre la commune d'Akabli, photo prise le 16/03/2016.....	140
Figure46. Conception et disposition des Drâas.....	141
Figure47. (a, b, c). Photos prises à des dates différentes à Akabli, Daïra d'Aoulef, Wilaya d'Adrar, qui montre l'efficacité des Drâas à protéger la chaussée contre l'ensablement, après une année des vents violents.....	142
Figure48. Carte générale du Bas-Sahara Algérien. 1 : Oued Righ. 2 : Oued Souf. 3 : Biskra. 4 : Oued M'ya (D'après Ballais, 2010).....	148

Figure49. Carte des affleurements géologiques du Sahara Septentrional (d'après OSS, 2003b).....	151
Figure50. Standard visuel pour l'estimation du tri (logarithmique de Folk et Ward, 1957)..	157
Figure51. Courbes de fréquence illustrant la relation entre le mode, la médiane et la moyenne et la différence entre une courbe normale symétrique et une courbe de fréquence asymétrique (Belmedrek, 2005).....	160
Figure52. Les sédiments de surface au Bas-Sahara présentent un faciès sableux.....	171
Figure53. Valeurs moyennes des paramètres statistiques de la taille des grains, Bas-Sahara Algérien, (a) moyenne ; (b) indice de classement Sorting ; (c) coefficient d'asymétrie Skewness ; (d) coefficient d'acuité Kurtosis.....	172
Figure54. Le réseau hydrographique du Bas-Sahara Algérien (d'après Ould Baba Sy, 2005). Aucun des oueds Sahariens ne rejoint la mer. Ils ont l'air aujourd'hui de se perdre dans le désert mais lors de périodes plus humides ils rejoignaient des cuvettes comparables au lac Tchad actuel. Il n'en reste à présent que les fonds humides ou colmatés par le sable : les sebkhas Mekerrane et Safioune et les chotts Merouane et Melrhir.....	175
Figure55. Origine des sables du Grand Erg Oriental (d'après Legrand et Guiraud, 1990 in Ouaja, 2003).....	176
Figure56. Diagrammes bidimensionnels entre (a) grain moyen et l'indice de classement Sorting (b) Coefficient d'asymétrie Skewness et le Coefficient d'acuité kurtosis (c) grain moyen et le coefficient d'asymétrie (d) l'indice de classement et le coefficient d'asymétrie.....	180
Figure57. Les échantillons des sables pour toutes les régions d'études montrent une prédominance des émoussés-luisants.....	182

Liste des tableaux

Tableau 1. Variation de la pluviométrie moyenne mensuelle et annuelle (période 1975 – 1996).....	56
Tableau 2. Moyennes mensuelles des températures en degrés Celsius (période 1975 – 1996).....	57
Tableau 3. Moyennes annuelles des vitesses du vent moyen (m/s) (période 1975 – 1996)...	58
Tableau 4. Nombre de jours de chasse sable et de tempête de sable (période 1975 – 1996).....	59
Tableau 5. E. T. P (mm) selon la méthode de THORNWAITE (période 1975 – 1996) (D’après Chalabi, 2008).....	59
Tableau 6. Humidité relative moyenne mensuelle en % (Période 1975 – 1996) (D’après Chalabi, 2008).....	60
Tableau 7. Récapitulation des systèmes aquifères de la région d’EL – Oued (D’après Bousalsal, 2007).....	63
Tableau 8. Les paramètres de la route ainsi que celle du Drâa testés en modèle réduit physique. H = hauteur de la chaussée en (m). I = pente des accotements. h = hauteur de l’obstacle (drâa) en (m). D = distance séparant l’axe de la chaussée à l’axe du drâa. α = L’inclinaison du drâa par rapport à la chaussée. V = vitesse du vent en m/s.....	78
Tableau 9. Résultats des essais de la première série. Consiste à déterminer le profil type de la route et la distance optimale pour l’implantation des drâas par rapport a l’axe de la chaussée. D = distance sur laquelle s’effectue le dépôt ou l’érosion. Z = indique la hauteur du dépôt ou la profondeur de l’érosion. (-) = indique une érosion. (+) = indique une accumulation ou un dépôt. V = vitesse du vent en m/s. H = hauteur de la chaussée en (m). I = pente des accotements.....	95
Tableau 10. Résultats de la deuxième série. Consiste en premier lieu à tester le rôle du drâa comme étant un obstacle et la position du dépôt par rapport à l’axe de la chaussée. D = distance sur laquelle s’effectue le dépôt ou l’érosion. Z = indique la hauteur du dépôt ou la profondeur de l’érosion. (-) = indique une érosion. (+) = indique une accumulation ou un dépôt. V = vitesse du vent en m/s. H = hauteur de la chaussée en (m). h = hauteur de l’obstacle (drâa) en (m). d = distance séparant l’axe de la chaussée à l’axe du drâa. I = pente des accotements.....	100
Tableau 11. Résultats de la troisième série. Cette série a été conçue en modifiant à chaque fois l’inclinaison du drâa par rapport à la chaussée. Les angles (α) testés sont de (45°, 30°,	

20°) par rapport à la parallèle de la route. D = distance sur laquelle s'effectue le dépôt ou l'érosion. Z = indique la hauteur du dépôt ou la profondeur de l'érosion. (-) = indique une érosion. (+) = indique une accumulation ou un dépôt. V = vitesse du vent en m/s. H = hauteur de la chaussée en (m). h = hauteur de l'obstacle (drâa) en (m). d = distance séparant l'axe de la chaussée à l'axe du drâa. I = pente des accotements. α = l'inclinaison du drâa par rapport à la chaussée. L₁ = longueur. L₂ = largeur.....107

Tableau 12. Classification dimensionnelle des sédiments détritiques en μm et en mm et leurs équivalents dans l'échelle des phi (Belmedrek, 2005).....154

Tableau 13 : Etude morphoscopique des grains de quartz. Pourcentage des principales formes de grains sur 03 fractions granulométrique (de 125 à 200 μm , de 200 à 315 μm , et de 315 à 500 μm). NU : les grains Non – Usés picotés ; EL : les grains Emoussés – Luisants ; RM : les grains Ronds – Mats. Le Bas – Sahara algérien.....166

Tableau 14. Le poids des minéraux lourds de ceux légers après décantation par le Bromoforme (fraction de 160-80 μm).....167

Tableau 15. Morphoscopie des grains de quartz (dans pourcentage du nombre total des principales formes de grains. NU : les grains Non-Usés ; EL : les grains Emoussés-Luisants ; RM : les grains Ronds-Mats. à chaque secteur au Bas-Sahara algérien pour 03 fractions granulométriques de 125 à 200 μm , de 200 à 315 μm et de 315 à 500 μm).....181

Tableau 16. Description globale des échantillons sableux superficiels au Bas – Sahara algérien. Nomenclature des échantillons. Ogl = Wilaya de Ouargla. Hassi = Zone de Hassi Messaoud. Tougg = Zone de Touggourt. Taïbet = Zone de Taïbet. Souf = Wilaya d'EL – Oued Souf. Le premier nombre qui suit les lettres correspond à l'indicatif de la Wilaya suivie par le numéro de l'échantillon.....204

Tableau 17. Valeurs des paramètres granulométriques des sédiments sableux superficiels au Bas-Sahara algérien (Ouargla, Hassi-Messaoud, Touggourt, Taïbet et Oued Souf). Q1 : premier quartile ; MD : médiane ; Q3 : troisième quartile ; le mode ; CS : centile supérieur ; Mz : la moyenne (Mean) ; σ : indice de classement (Sorting) ; Ski : coefficient d'asymétrie (Skewness) ; K_G : coefficient d'acuité (Kurtosis).....205

Tableau 18a. Analyse statistique descriptive des paramètres granulométriques calculées (Folk et Ward, 1957).....206

Tableau 18b. Analyse statistique descriptive des paramètres granulométriques calculées (Folk et Ward, 1957).....207

Tableau 19. Séparation par tri sous loupe binoculaire (fraction de 160-80µm), le nombre de grains par échantillon 200g (Belmedrek, 2015).....208

Tableau 20 : les cortèges minéralogiques lourds des différents échantillons traités (fraction de 160 – 80 µm). ANA : anatase ; AND : anadalousite ; AUG : augite ; DIS : disthène ; EPI : épidotes ; GRE : grenat ; HOR : hornblende ; RUT : rutile ; SIL : sillimanite ; SPH : sphène ; STA : staurotide ; TOU : tourmaline ; ILM : ilménite ; LEU : leucoxène ; HEM : hématite ; MAG : magnetite.....209

Liste des sigles et abréviations

AFNOR : Association Française de Normalisation
CDARS : Commissariat au Développement de l'Agriculture des Régions Sahariennes
CI : Continental Intercalaire
CPR : Chantiers Populaires de Reboisement
CRSTRA : Centre de Recherche Scientifique et Technique sur les Régions Arides
CT : Complexe Terminal
DGF : Direction Générale des Forêts
EL : Emoussés-Louisants
ETP : Evapotranspiration potentielle
FAO : Food et Agriculture Organization –Rome
GCA : Général de Concessions Agricoles
G2SD : Logiciel développé par Fournier et Gallon
HCDS : Haut Commissariat au Développement de l'Agriculture des Régions Sahariennes
INRF : Institut National de la Recherche Forestières
ISESCO : Islamic Educational, Scientific and Cultural Organization
ISS : Interviews Semi Structurés
KG : Le Kurtosis
LEM : Laboratoire d'Etudes Maritimes
MTP : Ministère des Travaux Publics
Mz : Graphic Mean
NU : Les grains Non-Usés
RM : les grains Ronds-Mats
SKI : Inclusive Graphic Deviation Skewness
SO : Le Sorting Index
UNESCO : Organisation des Nations Unies pour l'Education, la Science et la Culture

Glossaire

Afreg : Haies de palmes sèches (jerid) grossièrement entre croisées, parfois tresses, jouant le rôle de brise-vent

Bahri : vent de la mer (du Nord-est) : c'est le vent dominant de la saison chaude, il est apprécié au printemps (va de mars à juin), mais il est violent, c'est lui qui apporte le sable.

Bernoussa : Rangées de palmes sèches de protection (Zarb) en demi-cercles ou concentriques dressés sur le sommet des crêtes ou en avant, de façon que le vent dominant, c'est-à-dire du Nord-est n'ensable pas le fond de la palmeraie.

Bour : culture sèche, sans irrigation.

Chihili ou sirocco : Vent du Sud, domine pendant tout l'été.

Dahraoui : Le vent du Nord – Ouest – Sud – Est, souffle surtout au printemps.

Drâas : Des petits barrages faits en matériaux lourds et compacts dont la forme et l'emplacement obligent les vents dominants à travailler contre leurs impulsions naturelles et à chasser le sable qui, sans eux, s'accumulerait sur la route.

Dune en arrêt : Elle se forme à partir d'une palissade orientée perpendiculairement à la direction du vent le plus dangereux, destinée à arrêter la progression du sable aussi complètement que possible.

Dune en défilement : Elle se forme à partir d'une palissade dont l'orientation fait un angle de 120° à 140° avec la direction du vent, utilisée pour dévier la progression du sable dans une autre direction que celle du vent dominant.

Erg : Massif dunaire, est une région où le sable s'accumule en dunes (rempla)

Fellaha : Spécialistes, détenteurs d'un savoir traditionnel.

Foggara : le nom est d'origine arabe ; il vient de la racine fakara signifiant creuser la terre. Galerie souterraine qui draine par gravité l'eau d'une nappe phréatique vers les terres cultivables en aval. Des puits d'aération plus ou moins profonds sont aménagés régulièrement pour évacuer les matériaux, aérer la galerie et assurer son entretien périodique (curage et creusement).

Gharbi : Le vent d'Ouest, est le vent froid.

Ghoût : Jardin en arabe-pluriel : Ghitâne ou Aghouat ; le Ghout désigne l'entonnoir ; cratère creusé par l'homme pour la culture des palmiers.

Harams : Limites d'une propriété-licite pour tout autre que le propriétaire.

Houd : Cratère moins profonds qu'un Ghout, peu enfoncés dans le sol.

Jerid : Palme

Louss ou pierre à bâtir gypseux : Concrétionnement gypseux, est une roche géologique de formation gypseuse, très dure et résistante, la pierre Louss est utilisée pour sa solidité et son imperméabilité dans la construction.

Peigne et/ou Kas-riya : dispositif répartiteur, qui permettra la redistribution de l'eau de la foggara.

Sahanes : les sahanes sont des plateaux déprimés, souvent assez étendus parfois caillouteux ou recouverts d'une croûte gypseuse ; ils sont enserrés par l'Erg qui leur donne ainsi une forme de cratère.

Tafza ou pierre à plâtre calcaire : Concrétionnement tendre de gypse (servant pour le plâtre) ou pierre à plâtre calcaire.

Technique du venturi : La technique du venturi, consiste à construire, aux abords immédiats des infrastructures, un ouvrage en dur (tas de remblais) suivant un plan incliné et de forme trapézoïdale pour accroître la vitesse du vent aux abords immédiats de la chaussée sans provoquer l'effet tourbillonnaire. Il en résulte une absence de dépôt sableux.

Tercha : Concrétion de grain de gypse et de sable agglomérés aux formes et tailles variées, soit sous la forme d'une rose de sable ou amalgamée à d'autres.

Touiza : Forme de volontariat qui s'effectue avec la participation de tout le monde, fondée sur la solidarité traditionnelle.

Zarb : Haie en tronçons de palmiers.

العنوان : دراسة دور "الذراع" في إزالة الكثبان الرملية المهددة للطرق في المنخفض الصحراوي الجزائري : تجربة عبر نموذج فيزيائي مصغر

ملخص : يشكل زحف الرمال على الطرق في المنخفض الصحراوي الجزائري أحد أهم العوائق بالنسبة للمسؤولي القطاع ومستعملي الطريق بالنظر لما يشكله من خطر حقيقي قد يتسبب في وقوع حوادث مرورية أو في غلق تام لهذه الطرقات وبالتالي شلل في حركة السير بهذه المحاور، ما يحتم على مصالح الإشغال العمومية في إطار عمليات الصيانة العادية ضرورة التدخل وبصورة مستمرة ويومية لإزاحة هذه الرمال المتراكمة على الطرق.

هذه الوضعية فرضت نفسها على الخبراء من أجل البحث عن حلول جذرية على غرار استعمال الآت لتصدي لزحف الرمال أو على الأقل التقليل من الأضرار. من بين المكتسبات التقليدية، المعارف و الخبرات المستعملة في ميدان المعالجة ضد زحف الرمال، اهتمنا بطريقة "الذراع".

الهدف من هذه الدراسة وهو تحسين، فهم وتجربة فاعلية هذه الطريقة الخاصة بمنطقة وادي سوف والمسماة "بالذراع" على نموذج فيزيائي مصغر ثم تطبيقها ميدانيا وبعده نماذج على نطاق واسع.

التجارب تمت على نموذج مصغر يحتوي على قناة تسمح بمرور تيار مائي يقارب شدة الرياح مع احترام قواعد التقريب التيار الهيدروليكي والترسيبي.

متغيرات سلسلة التجارب الأولى بينت أن بإمكان الطريق الصحراوي وحده ان يلعب دور الحامل للحبيبات الرمل إذا كان لهذا الأخير منحدر ب 5/1 بدل 3/2. مختلف التجارب الأخرى مكنت من معرفة الأبعاد والإشكال الجيوميتريية للذراع.

القواطع أو المصدات الموضوعة ضد زحف الرمال والمستعملة من سالف الأزمنة تستحق التعميم سواء كانت بصيغته الأولى مصدات رملية مغطاة بمواد صلبة وثقيلة الوزن أو بشكلها المخروطي.

الدراسة الحبيبية للرمل العرق الشرقي الكبير بينت ان رمال الكثبان الرملية هي رمال متجانسة، صغيرة الحجم وحيدة الترتيب ومتناظرة. اما بالنسبة للدراسة شكل الحبيبات (الدراسة المورفوسكوبية للكوارتز) بينت ان 30% من حبيبات الكوارتز محدبة ومضيئة نمما يبين ان رمال العرق الشرقي تطورت في وسط مائي نتيجة لتواجد عدة اودية في العصور الجيولوجية السابقة (وادي ايغرغر، وادي ريغ و وادي ميا...).

الكلمات المفتاحية : شبكة الطرق، زحف الرمال، الذراع، نموذج مصغر، المنخفض الصحراوي الجزائري ، قناة بتيار.

Titre : Etude du rôle Draas dans l'évacuation des dunes menaçant les routes dans le Bas Sahara Algérien : expérimentation sur modèles réduits.

Résumé : L'ensablement des réseaux routiers dans la région du Bas-Sahara Algérien constitue l'un des principaux problèmes pour les acteurs du secteur. Des engins sont déployés à chaque fois pour venir à bout de ce phénomène. Cette situation récurrente a incité les experts à chercher des moyens autres que les machines afin d'enrayer cette invasion dunaire ou du moins en limiter les dégâts. Parmi les acquis et l'expérience capitalisés dans le domaine de la lutte contre l'ensablement nous nous intéressons au concept "Drâas". L'objet de cette étude est l'optimisation en modèle réduit physique de ces ouvrages de protection particulière dit Drâas. Afin de mieux connaître le mécanisme de leurs fonctionnements et d'éviter tout dépôt près ou sur la chaussée dont les résultats seront extrapolés pour la réalisation des prototypes en grandeur nature. Les essais en modèle ont été effectués en canal à courant. Le principe de la modélisation du transport éolien en modèle consiste à simuler le vent par le courant liquide en respectant les lois de similitude hydrauliques et sédimentologiques. Les variantes de la première série de test ont montré que la route saharienne peut à elle seule jouer le rôle d'évacuateur de sable, si cette dernière présente une pente d'accotement de 1/5 dans un profil en remblai au lieu de 2/3. Les autres séries ont permis d'optimiser les dimensions géométriques des Drâas. Les murs anti-sables, certainement utilisés dans l'antiquité, mériteraient d'être généralisés, soit sous leur forme primitive de murs de sable recouverts par des matériaux grossiers, soit sous celle de cônes.

L'étude des paramètres de textures des sédiments est d'une utilité primordiale pour différencier divers environnements de dépôts et d'interprétation ainsi l'origine des anciens dépôts clastiques. Les paramètres utilisés pour décrire la distribution granulométrique des sables du Grand Erg Oriental sont la moyenne graphique (MZ), la déviation standard (SD), le coefficient d'asymétrie (Ski) et le coefficient d'acuité (KG). Le Skewness indique des sables positivement asymétriques vers les fins et une distribution mésokurtique à platykurtique pour la plupart des échantillons. La morphoscopie du quartz montre une prédominance des émoussés-luisants (au-dessus de 30 %) qui indique que les quartz ont évolué dans un milieu aquatique continentaux (ancien fleuves sahariens : Igharghar, Oued Righ et Oued M'ya).

Mots clés : Réseaux routiers, ensablement, Draa, modèle réduit, Bas-Sahara Algérien, canal à courant.

Titer : Study of the role of the Draas in the evacuation of the dunes threatening roads in the Algerian Low- Sahara : experimentation on model reduces

Abstract : The stranding of the road networks in the area of the Algerian Low-Sahara constitutes one of the principal problems for the actors of the sector. Machines are deployed each time to come to end from this phenomenon. This recurring situation encouraged the experts to seek means other than the machines in order to stop this dune invasion or at least to limit the damage of them. Among the assets and the experiment capitalized in the field of the fight against the stranding we are interested in the concept "Drâas". The object of this study is optimization in model reduces physical these particular works of protection said Drâas, in order to better know the mechanism of their functioning and to avoid any deposit meadows or on the roadway whose results will be extrapolated for the realization of the prototypes in natural size. The tests in model were carried out in channel with current. The principle of the modeling of wind transport in model consists in simulating the wind by the liquid current by respecting the hydraulic and sedimentological laws of similarity. Variants of the first series of test showed that the Saharan road can alone play the role of spillway of sand, if the latter presents a slope of shoulder of 1/5 in a profile in elevation instead of 2/3. The other series allowed to optimize the geometrical dimensions of Drâas. The walls anti-sands, very certainly used in antiquity, would deserve to be generalized, either in their primitive form of sand walls covered by coarse materials, or under that of cones.

The study of textural parameters of the sediments is of paramount utility in differentiating various depositional environments and thereby interpreting the origin of ancient clastic deposits. The textural of the quartz grains of surface sediments samples data collected along the Great Oriental Erg of Algeria measured in terms of Mean (M_Z), Standard deviation (SD), Skewness (SK_I) and Kurtosis (K_G) are widely used to reconstruct the depositional environments of sediments. Presence of more amounts of positively Skewed sediments infers that they were deposited under low energy conditions in the fluvial zone. The samples are Platykurtic to Mesokurtic in nature of distribution The surface texture is examined most precisely under binocular microscope observation; show a predominance of Smoothened-shiny grains. Suggesting the influence by the fossil wadis (wadi Igharghar, wadi Mya and Wadi Rhir).

Key words : Road networks, stranding, Draa, reduced model, the Low-Sahara Algerian, channel with current.

Table des Matières

Introduction	25
Chapitre I. Les techniques adoptées pour la lutte contre l'ensablement et leur évaluation.....	31
I.1. la lutte mécanique.....	31
I.1.1. Techniques des palissades.....	31
a) Palissade en palmes.....	32
b) Palissade en branchages.....	33
c) Palissade en fibrociment (amiante – ciment ou Eternit).....	33
d) Quadrillage en palme.....	33
e) Carroyage a base de maille plastique extrudée.....	34
I.1.2. Technique du Mulch.....	34
a) Couverture végétale.....	34
b) Couverture en terre.....	34
c) Couverture à base de produits pétrolière.....	34
d) Couverture à base de matériaux synthétique.....	35
e) Couverture à base de produits chimiques.....	35
I.1.3. Méthode aérodynamique (désensablement par le vent).....	37
a) Technique des zones de turbulences.....	37
b) Reprofilage aérodynamique.....	38
I.1.4. Intervention curative.....	38
I.2. La lutte biologique.....	38
I.2.1. Le développement artificiel du couvert végétal.....	41
a) Le reboisement.....	41
b) Le semis direct.....	42
I.2.2. La régénération naturelle du couvert végétal (la mise en défens).....	42
I.2.3. La reconstitution naturelle de la végétation.....	42
I.2.4. Politique forestière et lutte contre la désertification en Algérie.....	42
I.3. Evaluation de l'efficacité des techniques utilisées.....	43
I.3.1. Au niveau de la stabilisation mécanique des dunes.....	43
I.3.2. Sur le plan de la fixation biologique.....	46

a) Pépinière.....	47
b) Plantation.....	48
Chapitre II. Drâas contre l'ensablement des routes : expérimentation sur modèles réduits.....	51
II.1. Caractéristiques physiques de la région d'étude....	51
II.1.1. Présentation de la région d'étude.....	51
II.1.2. Les forme du relief.....	52
II.1.3. Les caractéristiques climatiques.....	56
1. Précipitations.....	56
2. Températures.....	57
3. Le vent.....	57
4. L'E. T. P.....	59
5. L'Humidité relative.....	60
6. L'insolation.....	60
7. La nébulosité.....	60
II.1.4. Etude géologiques.....	61
1. La sédimentation continentale post – hercynienne.....	61
2. La sédimentation Laguno- marine du Crétacé Supérieur et de L'Eocène.....	61
3. La mise en place du Tertiaire Continental.....	62
4. Le Quaternaire.....	62
II.1.5. Les grands ensembles hydrogéologiques.....	62
1. Nappe phréatique.....	63
2. Nappe du Complexe Terminal (CT).....	63
3. Nappe du Continental Intercalaire (CI).....	64
II.2. Etude des Draas en modèle réduit physique.....	65
II.2.1. Historique des Drâas.....	65
II.2.2. Origine et définition de la méthode des Drâas.....	66
II.2.3. Conception et disposition des Drâas.....	66
II.2.4. Matériel et méthodes.....	67
1. Approche théorique.....	67
2. Formulation mathématique du régime du vent.....	67
3. Détermination des échelles de similitudes.....	68
3.1. Similitude hydraulique.....	71

a) Similitude géométrique.....	71
b) Similitude cinématique et dynamique.....	72
3.2. Similitude sédimentologique.....	72
4. Dispositif expérimental (canal à courant).....	73
5. Conduite des essais.....	74
a) Essais préliminaires et calibration du modèle.....	74
b) Etalonnage du modèle (réglage hydraulique).....	75
c) Construction du profil transversal de la route et de l'obstacle.....	75
6. Programme des essais en modèle réduit.....	77
a) Première série.....	77
B) Deuxième série.....	81
C) Troisième série.....	88
II.3. Résultats et discussions.....	91
1. Résultats des essais de la série 1.....	91
a) Variante V1.....	91
b) Variante V2.....	92
c) Variante V3.....	92
d) Variante V4.....	93
2. Résultats des essais de la série2.....	96
a) Variante A.....	96
b) Variante A1.....	96
c) Variante A2.....	97
d) Variante A3.....	97
e) Variante A4.....	98
f) Variante A5.....	98
3. Résultats des essais de la troisième série.....	102
a) Variante B.....	102
b) Variante B1.....	102
c) Variante B2.....	103
d) Variante B3.....	103
e) Variante B4.....	103
f) Variante B5.....	104
II.4. Conclusion.....	109
Chapitre III. Résultats des investigations sur le terrain.....	114
III.1. La méthodologie.....	114
a) Phase préparatoire.....	114

b) Phase d'enquête sur le terrain.....	115
c) Restitution des résultats.....	115
III.2. Les principaux résultats obtenus.....	117
a) Drâas déposés perpendiculairement à la direction du vent dominant (vent monodirectionnel).....	117
b) L'implantation des Drâas en biais par rapport à la route (vent monodirectionnel.....	119
c) Drâas déposés perpendiculairement à la direction du vent dominant (vent bidirectionnel).....	119
d) Méthodes des cônes «EL METHANA» pour évacuer le sable grâce à l'énergie éolienne (cas des grosses dunes).....	120
e) Dispositif des Drâas qui modifie la vitesse du vent et sa direction.....	121
Chapitre IV. Expérimentation In situ à Adrar en collaboration avec le Ministère des Travaux Publics.....	124
IV.1. Expérimentation In situ N°1 : L'efficacité des murs antisables "Drâas" installés in situ sur une dune vive de tronçon routière RN51A (Daïra de Charouine. Wilaya d'Adrar).....	124
IV.1.1. Présentation de la région d'étude.....	124
1. Introduction.....	124
2. Les grands traits morphologiques.....	126
IV.1.2. Matériels et méthodes.....	129
IV.1.3. Type de traitement.....	131
IV.1.4. Suivi du comportement de ces planches d'essais.....	134
a) Méthode de pièges à sables.....	134
b) Paramètres micro-météorologiques.....	135
c) Les relevés topographiques.....	135
d) La méthode des piquets.....	135
IV.2. Expérimentation In situ N°2 : L'efficacité des murs antisables "Drâas" installés in situ sur des barkhanes qui traversent chemin de Wilaya CW2, à 25 km de la commune d'Akabli, Daïra d'Aoulef, Wilaya d'Adrar (Algérie).....	138
1. Introduction.....	138
2. Présentation de la zone d'étude.....	138
3. Problématique.....	138
4. Dispositif expérimental proposé à ce site.....	141
5. Les résultats préliminaires de l'expérimentation In situ à Adrar.....	141

IV.3.Conclusion.....	143
ChapitreV. Caractérisation granulométrique, morphoscopique et cortège minéralogiques lourds des sédiments sableux superficiels au sein du Grand Erg Oriental (Algérie).....	145
1. Introduction.....	145
2. Cadre géologique de la zone d'étude.....	147
3. Matériel et méthodes.....	152
3.1. Les analyses granulométriques.....	152
3.1.1. Introduction.....	152
3.1.2. Définition des paramètres granulométriques.....	153
a) Graphic Mean.....	153
b) Inclusive Graphic Standard Deviation.....	154
c) Inclusive Graphic Skewness (SKI).....	158
d) le Kurtosis (K_G).....	159
3.1.3. Techniques granulométriques.....	161
3.2. Les analyses morphoscopiques.....	162
3.3. L'étude des minéraux lourds.....	164
3.3.1. La séparation densimétrique.....	164
3.3.2. Séparation par tri sous loupe binoculaire.....	165
3.3.3. Montage des minéraux.....	165
3.3.4. Observation au microscope polarisant et comptage.....	165
4. Résultats et discussion.....	168
4.1. Description globale des échantillons.....	168
4.2. Analyse granulométrique.....	169
4.2.1. La Moyenne M_z	170
4.2.2. Le Sorting Index ou déviation standard.....	173
4.2.3. Le Skewness ou Coefficient d'asymétrie (SK_i).....	173
4.2.4. Le Kurtosis ou Coefficients d'acuité.....	174
4.2.5. Origine des sables.....	177
4.3. Analyse morphoscopique des grains de quartz.....	178
4.4. Analyse des minéraux lourds.....	183
Conclusion.....	187
Les références bibliographiques.....	191
Annexe.....	203

Introduction Générale

Introduction Générale

Le sujet de l'érosion éolienne et par conséquent celui du risque d'ensablement a fait l'objet de plusieurs préoccupations en maints pays à travers le monde. Des essais de mesure et de quantification de l'ensablement ont été menés dans des régions où l'action du vent entraîne des effets graves, englobent le nord de l'Afrique, les régions arides et semi-arides au nord du Sahara (**Rajot et al ., 2009 ; Abdourhamane Touré et al., 2013 ; Houyou et al ., 2014**), les régions arides et semi-arides de l'Amérique du nord ainsi que le sud de U.R.S.S (**Simon et al ., 2001 ; Nordstrom et Hott, 2004 ; Vriend et al ., 2012**), certains secteurs de l'Asie méridionale et central (**Li et al ., 2009 ; Chen et al ., 2010 ; Santara et al ., 2010 ; Ravesh et al ., 2012**), le Moyen-Orient, l'Australie, le sud de l'Amérique latine, en vue de comprendre ce phénomène. D'autres études se sont intéressées directement aux stratégies de fixation de dunes (**Khatteli et Akrimi, 1997 ; Biel-ders et al ., 2004 ; Rozé et Lemauiel, 2004 ; Laminou Manzo et al ., 2009 ; Tidjani et al ., 2009**). Ces régions couvrent plus de 48 millions de km², soit plus le tiers de la superficie du globe terrestre. Malgré leur extrême vulnérabilité (29% de cette superficie sont déjà des déserts naturels et 46% sont menacés de désertification), ces zones supportent le poids de près d'un milliard d'habitants, soit près de 20% de la population de la planète. Au cours de chaque décennie, la superficie désertifiée dans le monde fut estimée à plus de 200.000 km².

En Algérie, sur les 238 millions d'hectares de la superficie du pays, 200 millions sont occupés par la zone saharienne au sud du pays, où l'activité éolienne est naturellement présente à des degrés divers. Sur les 38 millions d'hectares restant, 20 millions d'hectares de terres steppiques en zones aride et semi-aride, espace intermédiaire où vit une population de 6 millions d'habitants, sont soumis à une pression anthropique croissante. Pour remédier à la dégradation des ressources naturelles, l'Algérie a entrepris depuis l'indépendance un ensemble d'actions et de mesures stratégiques institutionnelles et réglementaires pour atténuer les effets de la désertification (**DGF, 2004**). La mise en œuvre du programme de lutte contre la désertification est confiée selon, les compétences territoriales, aux institutions suivantes: Haut Commissariat au Développement de la Steppe (**H.C.D.S**), Commissariat au Développement de l'Agriculture des Régions Sahariennes (**C.D.A.R.S**), Général des Concessions Agricoles (**G.C.A**) et Direction Générale des Forêts (**DGF**).

De 1962 à 1969 correspond à la mise en place de chantiers populaires de reboisement (CPR) 99 000 Ha de plantations forestières ont été réalisés dans le cadre de l'amélioration et l'aménagement des parcours et la lutte contre l'érosion éolienne (**Nedjraoui et al., 2008**). L'année 1974, a été marquée par la réalisation du barrage vert dans la zone présaharienne comprise entre les courbes isohyètes de 300 mm au Nord et 200 mm au Sud. Il représente une bande de 1000 km de pin d'Alep tout au long de la steppe comme technique visant à limiter l'avancée du désert. Ce programme avait pour objectif de freiner le processus de désertification et de rétablir l'équilibre écologique. Un autre programme a été lancé, il s'agit de la promulgation du code pastoral. Un code pastoral d'inspiration socialiste visant à créer des coopératives d'élevage et protéger les terres de parcours a été promulgué au milieu des années 1970, mais est demeuré lettre morte. Ainsi il a été créé en 1983 un Haut Commissariat de Développement de la Steppe. Ses actions portent notamment sur la limitation des prélèvements des ressources pastorales et la réhabilitation d'espaces dégradés. Ses réalisations sont en deçà des résultats espérés. A partir de l'année 1998, un changement réel de la politique de l'état est cependant constaté: la signature de l'Algérie de la convention internationale de lutte contre la désertification et la mise en place du plan national de développement agricole élargi ensuite en plan national de développement agricole et rural.

Le volet recherche est pris en charge par l'Institut National de la Recherche Forestière (**I.N.R.F**) qui participe activement au programme de lutte contre la désertification. Une station de recherche spécialisée dans ce domaine est installée à Djelfa et le Centre de Recherche Scientifique et Technique sur les Régions arides (**C.R.S.T.R.A**), qui est chargé de développer des recherches scientifiques et techniques et de tenir une veille écologique à travers l'observation continue et la constitution d'une base de données scientifique et technique au niveau des territoires arides et semi arides (les régions sahariennes et steppiques) qui couvrent plus de 2 millions de Km² soit plus de 85% du territoire national.

Malgré toutes les initiatives prises par les Pouvoirs Publics, nous ne pouvons dire à l'heure actuelle qu'il existe une politique environnementale en Algérie, et plus précisément une politique de lutte contre la désertification et l'ensablement dans l'Algérie, même si les contours de cette dernière commencent à être dessinés depuis la signature par l'Algérie de la convention internationale de lutte contre la désertification en 1996. En Algérie, les projets et programmes de lutte contre la désertification et l'ensablement ont mobilisé et continuent encore plus de mobiliser des ressources humaines, naturelles et financières importantes. Mais

force est de constater que très peu d'entre eux ont donné des résultats satisfaisants aux effets désastreux de la dégradation de l'environnement.

L'ensablement, qui représente l'une des manifestations la plus spectaculaire de phénomène de la désertification. Il réduit les superficies de terre arables et de pâturages et la disponibilité des ressources en eau, menaçant ainsi la productivité et les rendements agricoles, de même que la sécurité alimentaire et le niveau de vie des populations locales (**Ezzedine, 2006 ; Jacques Berte et al., 2010 ; FAO, 2011 ; Makhlouf et al., 2012**). Ce phénomène provoque, de ce fait, une entrave au développement agricole et une menace sérieuse pour les agglomérations, les oasis, les voies d'accès, les points d'eau et la santé des populations. Le processus de désertification est, aujourd'hui, décelable par l'œil de l'observateur. On assiste à un ensablement progressif allant du léger voile éolien dans certaines zones à la formation de véritables dunes dans d'autres. Des villes comme Méchéria ou Naama sont victimes de vents de sables de plus en plus fréquents. Face à cette situation, des essais de fixation des dunes en mouvement ont été faits à travers les zones à risque d'ensablement, notamment les travaux de l'institut national des recherches forestiers (I.N.R.F), dans la région d'El Mesrane (Wilaya de Djelfa). La superficie traitée est de 100 ha. Ces travaux ont été étendus plus tard à d'autres zones. Dans le cadre de lutte contre le phénomène éolien, de nombreuses études ont été réalisées par (**Oldache, 1988 ; Benazzouz (1994, 1996, 1998, 2000) ; Tolba, 1994 ; Makhlouf et al., 1997 ; Chouial et al., 2000 ; Remini, 2001 ; Benabdeli, 2002**). Ces techniques connaissent une large variabilité de succès selon la vitesse du processus (**Rajot et al., 2009**), les méthodes d'application ou même la typologie de chaque région (**Tidjani et al., 2009**).

Le Sahara algérien est actuellement couverte d'impressionnants et gigantesques dépôts de sable l'Erg Occidental à l'ouest et l'Erg Oriental à l'est. La mobilisation par le vent de cet important stock de sable constitue une menace sérieuse pour l'ensemble des infrastructures routières du sud du pays (RN3, RN16, RN53, RN53A et RN48...). Il en est de même pour la voie ferrée Biskra_Touggourt qui se trouve coupée au niveau Touggourt_Djamâa après chaque tempête de sable (**Mainguet & Remini, 2004 ; Ezzedine, 2006**). Le désensablement de ces routes durant l'année nécessite des moyens colossaux en permanence. Ce qui traduit par des dépenses annuelles très important lié au désensablement de ces routes. Face à ce phénomène, de gros efforts ont été employés et d'importants travaux utilisés par les acteurs du secteur en vue de lutter d'une manière efficace contre ce fléau tant sur le plan curatif que

préventif. Mais toutes ces techniques sont rapidement submergées par l'arrivée de dunes mobiles (Sebaa et al., 2009 ; Oulhadj, 2015).

Parmi les acquis et l'expérience capitalisée dans le domaine de la lutte contre l'ensablement nous nous intéressons au concept "Drâa". Ce type de déblayage du sable repose sur l'effet aérodynamique des modifications de la vitesse du vent ou de sa direction sur des regains de vitesse ou des turbulences qui permettent au vent de reprendre les accumulations par augmentation de sa capacité de charge (FAO, 1988 ; Sebaa et al., 2009 ; Oulhadj, 2015 ; sebaa et al., 2015). C'est la raison pour laquelle nous voulons comprendre et mesurer l'efficacité de ce système de lutte à travers la confrontation de deux volets de recherche :

Le premier volet est basé sur l'optimisation en modèle réduit physique de ces ouvrages de protection particulière dit Drâas. Afin de mieux connaître le mécanisme de leurs fonctionnements et d'éviter tout dépôt près ou sur la chaussée dont les résultats seront extrapolés pour la réalisation des prototypes en grandeur nature (Expérimentation In Situ à Adrar). Les essais en modèle réduit seront effectués au sein du Laboratoire d'Etudes Maritimes, dans un canal à courant, les dimensions géométriques de celui-ci sont déterminées et étudiées afin d'obtenir une série de vitesse adéquate. Le principe de la modélisation du transport éolien en modèle consiste à simuler le vent par le courant liquide en respectant les lois de similitude hydrauliques et sédimentologiques (Djeha et al., 1999).

Le deuxième volet, est consacré à la caractérisation granulométrique, morphoscopique et cortèges minéralogiques lourds des sédiments sableux superficiels au sein du Grand Erg Oriental (Algérie). Cette étude sédimentologique, offre la possibilité de préciser l'origine, la nature et la composition des matériaux du système dunaire.

Ce travail est constitué de 5 chapitres qui peuvent être résumés comme suit :

Le chapitre 1 est une introduction rapide qui donne un aperçu sur les techniques de lutte contre l'ensablement utilisées pour la fixation des dunes mobiles, leurs avantages et/ou inconvénients.

Le chapitre 2 concerne la nouvelle technique saharienne innovante de protection des routes contre l'ensablement "Drâas". Ils constituent un écran à section triangulaire ou conique et sont orientés de manière à dévier le vent et à éviter l'accumulation de sable sur la chaussée.

Afin de mieux comprendre, mesurer et connaître le mécanisme de fonctionnement de ces murs anti-sables spécifiquement rencontrés dans la région d'El Oued Souf, un modèle réduit physique choisie au sein de Laboratoire d'Etudes Maritimes, Djenane El Malik Hydra, Alger. Le principe de la modélisation du transport éolien en modèle consiste à simuler le vent par le courant liquide en respectant les lois de similitude hydrauliques et sédimentologiques.

La partie investigations, enquêtes sur terrain (**chapitre 3**) et expérimentation in situ à Adrar (**chapitre 4**) permet de suivre pendant plusieurs années d'observation, de suivi, de longues conversations enrichissantes avec les populations locales, les acteurs du terrain le comportement de protection de ces murs antisables "Drâas". Ainsi que l'efficacité des paramètres obtenus au laboratoire.

L'étude des paramètres de textures des sédiments dans **le chapitre 5** est d'une utilité primordiale pour différencier divers environnements de dépôts et d'interprétation ainsi l'origine des anciens dépôts.

Enfin, nous présentons les principaux résultats et dispositifs d'aménagement anti-érosif efficace, durable et moins coûteuses tirés de cette thèse pour lutter contre l'ensablement des infrastructures linéaires (routières, auto-routières et ferroviaires).

CHAPITRE I

Les techniques adoptées pour la lutte contre l'ensablement et leur évaluation

Chapitre I. Les techniques adoptées pour la lutte contre l'ensablement et leur évaluation

Plusieurs techniques de lutte contre l'ensablement sont utilisées. Elles peuvent être subdivisées en deux catégories de lutte mécanique et biologique (FAO, 1988 ; Ezzedine, 2006 ; Makhlouf *et al.*, 2012) :

I.1. la lutte mécanique

Dans la plupart des cas, la stabilisation mécanique est le préalable indispensable à la fixation durable des sables mobiles et des édifices dunaires à court et moyen terme (FAO, 2011). Elle empêche le sable d'être mobilisé pendant un temps assez long afin de permettre à la végétation de s'installer (Mainguet & Dumay, 2006).

Elles regroupent toutes les techniques de stabilisation des masses sableuses en mouvement. Ces techniques, malgré leur variabilité apparente, se subdivisent en quatre groupes (Ezzeddine, 2006):

- ◆ Techniques de la palissade
- ◆ Techniques du paillage ou mulching
- ◆ La méthode aérodynamique
- ◆ Techniques de désensablement

I.1.1. Techniques des palissades

Elle se base sur l'emplacement des obstacles, tels les palissades, dans la trajectoire éolienne. On assiste à une accumulation du sable autour de l'obstacle par le biais de la réduction de la vitesse du vent. Les palissades sont des obstacles linéaires exposés aux vents dominants pour en réduire la vitesse et provoquer à son niveau le dépôt et l'accumulation du sable transporté (FAO, 1988 ; Houmymid, 1993 ; Kebaïli & Moudjahed, 2010).

Suivant le positionnement de la palissade par rapport à la direction du vent dominant on distingue deux types de dunes artificielles :

- Les palissades d'arrêt : Elles servent à l'accumulation des sables en les stoppant. Leur position doit être toujours perpendiculaire à la direction des vents dominants (FAO, 1988 ; Kebaïli & Moudjahed, 2010 ; Oulhadj, 2015). La dune en arrêt est la pratique la plus

courante pour arrêter la progression du sable (FAO, 1988 ; Ezzedine, 2006 ; FAO, 2010 ; Jacques Berte *et al.*, 2010 ; Makhoul et al., 2012).

- Les palissades de défilement : Appelées aussi palissades de déviation, dévié la progression du sable dans une direction autre que celle du vent dominant (FAO, 1988 ; Jacques Berte *et al.*, 2010). L'orientation de la palissade fait un angle de 120 à 140 degrés avec la direction moyenne du vent dominant (FAO, 1988 ; Kebaïli & Moudjahed, 2010 ; Makhoul et al., 2012 ; Oulhadj, 2015).

Pour une meilleure efficacité, les palissades doivent obéir à certaines normes :

- Elles doivent avoir une certaine perméabilité pour atténuer la vitesse du vent, tout en entraînant le dépôt de sable à leur niveau sans soulever de tourbillons. Gangabaina (1984) in Sebaa et al., (2015) estime que la surface totale des vides doit être inférieure à 50 % par rapport à la surface totale des palissades.

- La hauteur efficace de la palissade varie d'un pays à un autre et selon la nature du matériau de confection. La palissade doit avoir une hauteur allant de 1 mètre et 1,20 mètre (FAO, 1988 ; Jacques Berte *et al.*, 2010). Une taille plus importante ne se justifierait pas puisque 95 % du sable en mouvement se trouvent dans les 30 premiers centimètres au – dessus de la surface du sol (FAO, 1988 ; Ezzedine, 2006 ; Kebaïli & Moudjahed, 2010).

La nature de la palissade diffère selon les matériaux utilisés :

a) Palissade en palmes

L'approvisionnement en palmes dépend de l'importance des oasis et des utilisations traditionnelles qui en sont faites. La récolte des palmes se fait à deux époques de l'année en Mars – avril à l'occasion de la pollinisation et en Octobre – novembre au moment de la cueillette des dattes (Kebaïli & Moudjahed, 2010 ; Oulhadj, 2015).

La palissade est constituée de palmes tressées et enterrées jusqu'à 30 cm et leur hauteur au – dessus du sol est de 0,7 à 1 m (ISESCO, 1997 ; Kardous, 2005 ; Makhoul et al., 2012).

L'expérience de certains pays, comme la Tunisie, montre que le nombre de palmes utilisé par mètre linéaire est élevé de 30 à 40 palmes/ml (Ezzedine, 2006). L'expérience Marocaine confirme par contre que les densités de l'ordre de 14 à 20 palmes/ml sont plus efficaces et confèrent à la palissade une perméabilité de 40 à 50 % (FAO, 1988, Makhoul et al., 2012).

b) Palissade en branchages

L'utilisation des branchages pour la confection de palissades est rendue possible lorsque des formations ligneuses avoisinent le site à protéger. Cette technique est d'emploi très courant dans les dunes maritimes où elle permet en particulier la formation d'une dune littorale artificielle s'opposant à la progression de sable d'origine marine (FAO, 1988).

En milieu dunaire continental, le recours aux branchages pour la confection de palissades ne constitue pas une pratique courante.

c) Palissade en fibrociment (amiante – ciment ou Eternit)

Cette technique est utilisée soit à titre expérimental soit lorsque l'approvisionnement en matériaux ligneux est difficile (FAO, 1988).

Selon **Sekkou (1996)**, au Maroc, les plaques utilisées ont 1,25 m de longueur, 0,92 m de largeur et une épaisseur de 6 mm. Ces plaques sont perforées de 16 trous de 3 cm de diamètre répartis par rangées de quatre trous, ce qui permet d'obtenir une légère perméabilité de la plaque. Chaque plaque est enfouie sur 0,25 m. Un espace de 4 cm est laissée entre deux plaques voisines pour augmenter la perméabilité de la palissade (FAO, 1988 ; **Ezzedine, 2006 ; Kebaïli & Moudjahed, 2010**).

d) Quadrillage en palme

Le carroyage est un quadrillage de dimensions variables des dunes mobiles à l'aide de la brise – vent inertes faits selon la disponibilité des matériaux de clayonnage en feuilles de palmes ou en plaques de fibrociment et servant à fixer les dunes sur place (FAO, 1988 ; **ISESCO, 1997 ; Ezzedine, 2006 ; Makhoul et al., 2012**). Elle est conçue pour la fixation des fronts dunaires et se justifie dans le cas des vents multidirectionnels (FAO, 1988). Le système de protection consiste à l'installation d'un réseau des palissades parallèles successives afin d'éviter le déplacement latéral du sable (tourbillons), des palissades secondaires sont disposées perpendiculairement aux premières. On aboutit ainsi à un «carroyage» dont la dimension de la maille est fonction de l'intensité du vent et de sa position sur le profil de la dune (FAO, 2011). (cf. figure. 1). La distance des dimensions de quadrillages généralement utilisés en Algérie de 6 x 6 m à 12 x 12 m (**Sebaa et al., 2015**).

Les palissades peuvent être un grillage synthétique résistant aux rayons solaires, avec des mailles de 6 x 6 millimètres ou un filet plastique. Dans la steppe Algérienne, des mailles plastiques de 4 x 4 millimètres ont été utilisées (**Mainguet & Dumay, 2006 ; Sebaa et al., 2015**).

Les conditions d'approvisionnement en matériaux et les prix de revient, incluant le transport et la maintenance, déterminent le choix de réalisation des palissades.

e) Carroyage a base de maille plastique extrudée

Cette technique, utilisée à titre expérimental en Algérie, a donné d'assez bons résultats avec des plastiques de maille serrée (2 mm) **(FAO, 1988)**.

I.1.2. Technique du Mulch

Il ne s'agit plus dans ce cas d'agir sur la vitesse du vent, mais plutôt de protéger le sol ou d'augmenter sa cohésion. Cette technique consiste à recouvrir le sable d'une couche protectrice aussi uniforme que possible pour supprimer l'action du vent au niveau du sol et empêcher le phénomène de saltation **(Kebaïli et Moudjahed, 2010 ; FAO, 2011)**.

Les procédés utilisés sont divers :

a) Couverture végétale

La couverture uniforme du sol par des matériaux ligneux généralement inertes (paille, herbes sèches, résidus agricoles, branchages, palmes...) présente l'avantage d'empêcher le phénomène de saltation et de s'opposer ainsi au déplacement du sable. Elle contribue en outre à réduire l'évaporation de l'eau du sol et à améliorer sa structure en y introduisant des matières organiques ce qui permet, de créer des conditions favorables au développement de la végétation **(FAO, 1988)**.

b) Couverture en terre

Il s'agit d'une technique qui fait recours à des moyens de terrassement important. Elle consiste à couvrir l'ensemble de la dune par le tout venant des carrières Cette pratique a été utilisée pour stabiliser les abords de certains tronçons de routes sahariennes **(FAO, 1988 ; Ezzedine, 2006)**.

c) Couverture à base de produits pétrolière

C'est une méthode qui a été initiée durant les années 60 en libye. Elle se réalise par épandage d'huiles lourdes ou d'autres dérivés de pétrole (bitume) sous forme d'une pellicule très mince, de l'ordre de 5 mm. L'expérience Algérienne (cf. figure. 2), qui date déjà d'une dizaine d'années a porté sur trois variantes de traitement (en plein à raison de 2 à 9 tonnes par hectare, en bande parallèles ou en V, de 1m de larg **(FAO, 1988)**.

d) Couverture à base de matériaux synthétique

Deux principaux produits sont testés en Egypte et en Algérie. Il s'agit du filet "Texand" et du film plastique. Leur étalement sur la dune est systématique ou en bande. Une technique assez particulière a été par ailleurs essayée en Algérie et consiste en l'utilisation de pneus usés placés à plat sur la dune ou enfoncés et à raison de 1600 unités/hectare **(FAO, 1988)**.

e) Couverture à base de produits chimiques

Leur application se fait généralement par pulvérisation. Divers produits et émulsions fixateurs de sable ont fait l'objet d'essai au niveau des pays de la région notamment en Libye, Egypte et Algérie (dosées 100 à 150 kg/ha/an) **(FAO, 1988)**. Parmi lesquels figurent : Unisol 096, Helsel 801, Agrofix 614, Shell Sandfix, Hygromol **(FAO, 1988)**. Ces produits chimiques imprègnent le sable traité formant ainsi une pellicule de protection, imperméable à la pluie et suffisamment résistante aux vents.



Figure 1. Carroyage de palmes destinées à protéger la section routiers d'Aïn Beïda vers Sidi Khouiled (W Ouargla) (Sebaa et al., 2015)



Figure 2. Epannage de dérivés de pétrole (bitume) pour protéger la voie ferrée contre l'ensablement (Biskra_ Touggourt) (Sebaa et al., 2015).

I.1.3. Méthode aérodynamique (désensablement par le vent)

Ce procédé qui fait travailler l'énergie du vent contre lui-même est le plus ingénieux de tous les procédés de désensablement. Il s'agit de techniques qui utilisent le vent lui-même pour évacuer le sable grâce à sa force et à sa vitesse (FAO, 1988 ; Sebaa *et al.*, 2015). Les aménagements ne doivent pas entraver la circulation du sable ; il faut donc informer les populations et mettre en œuvres des procédés élaborés, copiés sur des pratiques anciennes, pour évacuer le sable grâce à l'énergie éolienne (Mainguet & Dumay, 2006).

Ce type de déblayage du sable repose sur l'effet aérodynamique des modifications de la vitesse et de la direction du vent, sur des regains de vitesse ou des turbulences qui permettent au vent de reprendre les accumulations par augmentation de sa capacité de charge. On fait du vent un agent de transport et de nettoyages plus efficace (FAO, 1988 ; Sebaa *et al.*, 2015).

Cette méthode s'applique de deux façons différentes

- soit en lui faisant évacuer des dépôts de sable indésirables par des procédés qui accroissent sa vitesse au contact de tel dépôt.
- soit en profilant les obstacles rencontrés par le vent chargé de sable pour sa vitesse ne soit pas diminuée à leur contact (FAO, 1988 ; Kebaili & Moudjahed, 2010). L'utilisation du vent pour dégager ou empêcher l'amoncellement du sable est bien comprise de certaines populations des zones arides Algérienne confrontées au danger de l'ensablement (Sebaa *et al.*, 2015).

a) Technique des zones de turbulences

Le sable peut être évacué par accroissement de la vitesse du vent par :

- Des édifications successives de palissades autour des parcelles et des jardins pour créer un phénomène de substitution de charge et désensabler les terres de cultures, comme à Fachi au Niger (Sebaa *et al.*, 2015).
- Dans le cas des petites dunes de 1 à 2 mètres de hauteur, la pose traditionnelle, sur la crête de chaque dune isolée et peu volumineuse, de blocs de pierres de 20 à 50 centimètres de diamètre pour créer des turbulences. Ces turbulences augmentent ponctuellement la vitesse du vent et son énergie cinétique ce qui lui permet de transporter plus loin le sable et le remis en mouvement. Pour les grosses dunes, la vitesse du vent est augmentée par l'ajout de stipes de palmiers posés sur les alignements de pierre. Ce dispositif permet de créer un couloir renforçant le départ du sable (FAO, 1988 ; Mainguet & Remini, 2004 ; Makhoulouf *et al.*, 2012).

- Une orientation systématique des rues parallèles à la direction du vent dominant (FAO, 1988 ; Mainguet, 1991).

b) Reprofilage aérodynamique

Cette technique, assez élaborée, a été testée et appliquée au Maroc pour la protection des tronçons de routes menacés et des Khettaras (canalisation souterraine reliant un réseau de puits). Le cas le plus remarquable d'utilisation de la méthode est certainement le profilage transversal d'une route et de ses abords immédiats, quelle que soit d'ailleurs la pente générale du terrain sur laquelle s'inscrit cette route (FAO, 1988 ; ISESCO, 1997). Le profilage doit porter sur tous les obstacles : amas de sable, blocs de pierre et même végétation. Il est effectué sur une largeur moyenne de 25 m de chaque côté de la chaussée (Kebaili & Moudjahed, 2010). L'utilisation d'engins mécanique de type motor – grader permet une exécution adéquate de ce type de traitement (FAO, 1988 ; Sebaa *et al.*, 2015).

I.1.4. Intervention curative

Les interventions curatives sont en général le dégagement du sable (déposé en cordons ou en tas) de la chaussée suite à des intempéries de longue durée 4 à 5 jours en continu et essentiellement durant les périodes des mois d'Avril, mai et juin. Les moyens mécaniques utilisés sont des engins à pneus dont le rôle est de réaliser principalement l'opération d'urgence qui consiste à l'enlèvement du sable de la chaussée et des accotements par poussage à courte distance, soient des pelles chargeuses dotées de lames afin d'éviter la dégradation du revêtement, soient des camions pousseurs (cf.figure.3). Quant à l'utilisation des moyens manuels, le travail exécuté par des ouvriers qui intervient pour l'élimination de cordons de sables de faible importance (Sebaa *et al.*, 2015).

I.2. la lutte biologique

Avant tous travaux de fixation, il faut savoir que toute méthode qui vise à stabiliser les dunes à pour objectif de créer de nouvelles conditions pour que les plantes puissent se développer.

Les dunes possèdent une végétation naturelle spécifique et physiologiquement adaptée aux conditions locales, mais celle – ci disparaît à cause de la pression humaine et du changement des conditions climatiques. Les plantes qui pourront remplacer cette végétation devraient être sélectionnées pour répondre aux exigences difficiles du milieu. Pour ce faire, les espèces végétales utilisables doivent avoir les caractéristiques suivantes (FAO, 2011 ; Oulhadj, 2015) :

- être adaptées aux conditions locales ;
- être rustiques et résistantes à la sécheresse ;
- être peu exigeantes en éléments nutritifs ;
- supporter de gros écarts de température entre le jour et la nuit ;
- être résistants aux vents violents, au déchaussement et à l'ensevelissement ;
- avoir un enracinement profond ;
- avoir un développement initial rapide afin de fixer et protéger le sol dans un bref délai ;
- se régénérer naturellement et améliorer le sol (**FAO, 2011 ; Oulhadj ,2015**).



(a) Risque d'ensablement sur la route Hassi Messaoud vers El-Borma. RN53A



(b) Dunes mobiles provoquant l'ensablement de la route Touggourt vers Djelfa



(c) Moyen d'intervention pour le désensablement

Figure 3. Dunes mobiles provoquant l'ensablement des routes au Bas-Sahara Algérien : (a) risque d'ensablement sur la route Hassi-Messaoud vers El-Borma. RN 53A ; (b) dunes mobiles provoquant l'ensablement de la route Touggourt vers Djelfa ; (c) moyen d'intervention pour le désensablement (d'après Sebaa, 2013).

Les espèces autochtones doivent être utilisées en priorité. Lorsqu'il est difficile de trouver dans la flore locale des espèces capables d'une part de résister aux conditions difficiles de la dune et d'autre part de la fixer rapidement, le recours aux espèces exotiques pour la fixation initiale peut être envisagé. En plus de ces qualités d'ordre environnemental, d'autres d'ordre «socio - économique» sont recherchées. En effet, les espèces végétales utilisées doivent être susceptibles de fournir des biens et des services aux populations locales (**FAO, 2011 ; Oulhadj, 2015**).

Hagedon (1977) distingue trois processus lors de la stabilisation végétale des dunes qui sont :

- Le développement artificiel du couvert végétal (reboisement, semis direct)
- La régénération naturelle du couvert végétal (la mise en défens)
- Le développement semi – naturel de la végétation.

I.2.1. le développement artificiel du couvert végétal

Après le choix définitif des espèces à installer selon les conditions du site, on a recours soit au semis direct qui permet l'installation d'une couverture végétale avec le minimum de dépenses, soit au reboisement par bouturage direct ou par plante élevée en pépinière (**Oulhadj, 2015**).

a) le reboisement

L'installation d'une végétation arborée pérenne, à base d'espèces locales ou introduites, est considérée dans tous les pays du projet comme la méthode la plus efficace pour une fixation définitive des milieux dunaires, continentaux ou maritimes. Les différentes techniques sont selon la nature du matériel utilisé ; on distingue deux méthodes (**Fao, 1988**) :

- reboisement par plants élevés en pépinière : Cette méthode ne demande pas de préparation de sol au préalable, en effet la trouaison se fait simultanément avec la plantation. Elle se réalise par la mise en terre des plants à une profondeur convenable et suffisante pour permettre au système racinaire du jeune plant de bénéficier de l'humidité dans la dune, généralement 40 à 50 cm (**FAO, 1988**).

- reboisement par boutures : C'est une méthode simple à la fois économique et efficace pour le reboisement des dunes continentales qui se caractérisent par des couches superficielles généralement sèches et par l'existence d'une humidité en profondeur. La trouaison se fait à

l'aide d'une tarière pédologiques et la plantation par de longues boutures appelées vulgairement plançons. Au niveau de beaucoup de pays, cette technique intéresse particulièrement *Tamarix aphylla* qui a donné les meilleurs résultats (FAO, 1988).

b) Le semis direct

Cette technique de semis direct, à la volée ou en poquet, n'est pas coûteuse et nécessite beaucoup moins de main – d'œuvre que la plantation. La période de cette technique doit être bien choisie, en général après plus de 50 mm de pluie. La réussite de cette technique reste en dessous des espérances dans les régions arides et semi – arides, car le taux de mortalité des plantules après germination est en général très élevée (FAO, 1988). Dans la partie occidentale du Nord – est de la Chine, de grandes étendues de dunes ou de terre en friches sont ensemencées par voie aérienne, en général pendant la saison des pluies (FAO, 2011).

I.2.2. La régénération naturelle du couvert végétal (la mise en défens)

Elle peut être réalisée par la mise en défense. Il s'agit d'une opération qui vise à reconstituer la végétation locale.

L'instauration de la protection intégrale contre l'action anthropique de l'homme et de son bétail sur certains milieux dunaires a contribué à une reconstitution de la végétation et à une réduction des apports de sable. Lorsqu'on gère bien cette technique, elle pourra constituer à elle seule une solution pour atténuer la désertification (Oulhadj, 2015).

I.2.3. la reconstitution naturelle de la végétation

Elle consiste à supporter et à accélérer le développement naturel de la végétation par certaines façons culturales, telles que : l'aménagement de terrasses désignées à diminuer l'inclinaison du terrain afin d'en améliorer l'infiltration, l'addition des semences végétales, l'application de fertilisant (Sebaa *et al.*, 2015).

I.2.4. Politique forestière et lutte contre la désertification en Algérie

De part son relief et sa situation géographique, l'Algérie doivent faire face à un phénomène de désertification qui touche une partie importante du territoire national.

Consciente de la gravité du phénomène de désertification, l'état Algérien a depuis longtemps ont été mis en œuvre pour freiner ce phénomène. L'opération la plus importante est sans doute le «barrage vert» qui a traité plus de 200 000 hectares avec des taux de réussite

variables selon les régions avec un taux global estimé à 36 % pour la période 1972 – 1990 (**ISESCO, 1997 ; Bensouiah, 2004**). Tous les écrits affirment que l'inexpérience des jeunes du service national et l'absence des études préalables ont conduit aux faibles taux de réussite enregistrés au cours de la première décennie... etc.

Aussi, il est utile de rappeler que le taux de boisement actuel est estimé à 11 %, alors que la norme généralement admise se situe entre 20 et 25 %. C'est ainsi, qu'un Plan National de Reboisement a été mise en œuvre en l'an 2000, a pour objectifs (**Boussaïd et al., 2018**) :

-La reconstitution des massifs forestiers de l'Atlas Saharien et des terres à vocation forestière par :

- l'aménagement des forêts existantes sur 889 000 hectares,
- la sauvegarde et la restitution des forêts fortement dégradées par le repeuplement sur 325 000 hectares ;
- L'enrichissement et la protection des parcours sur 10 millions d'ha de parcours naturels ;
- La plantation d'espèces pastorales sur 700 000 ha ;
- Aménagement des parcours présahariens sur une superficie de 8 millions d'hectares ;
- Lutte contre l'ensablement par
- des bandes forestières au tout long des axes routiers sur une superficie de 32 000 hectares,
- des ceintures vertes autour des localités exposées sur 8000 hectares,
- la fixation des dunes sur une superficie à traiter de 250 000 hectares.

L'objectif essentiel de cette stratégie est de ramener le couvert forestier de 11 % à 18 % sur une période de 20 ans (**Ezzeddine, 2006 ; ISESCO, 2006**).

I. 3. Evaluation de l'efficacité des techniques utilisées

Depuis l'indépendance, le gouvernement Algérien ne cesse d'allouer d'importants moyens humains et financiers pour l'exécution de différents programmes de lutte contre l'ensablement et pour la fixation des dunes (**Ezzeddine, 2006**).

I.3.1. Au niveau de la stabilisation mécanique des dunes

Après l'inventaire des différentes techniques de lutte mécanique, nous notons que les matériaux végétaux inertes (palme sèche), ont fait l'objet d'expérimentations diverses, les résultats obtenus ont été très probants. Malgré cela, la disponibilité de la palme constitue ainsi un facteur qui détermine dans une large mesure le niveau de généralisation de la

palissade (l'utilisation des palmes comme combustible peut avoir pour conséquence une trop faible disponibilité par rapport aux besoins de la lutte contre l'ensablement) et participe au coût de son édification. Lequel coût est également fonction de la densité de la palissade (nombre de palmes/ml) et du réseau installé. La palissade en palmes joue souvent son rôle de brise – vent et d'obstacle physique freinant le mouvement des sables, toute brèche constitue immédiatement un siffle – vent dangereux, ce qui diminue l'efficacité de la palissades (**FAO, 1988 ; Sebaa et al., 2015**). Dans certains cas où le positionnement de la palissade est trop proche du site à protéger, celle ci peut même avoir un effet inverse surtout si le réseau de palissades installé est incomplet. En effet la palissade, en jouant son rôle d'obstacle, provoque une accumulation de sable aboutissant par rehaussement successif (les manipulations de rehaussement sont difficiles ou impossible) à la formation de dune artificielle qui peut devenir importante et menacer le site qu'on se propose de protéger (**FAO, 1988**). L'orientation des palissades par rapport au vent dominant actif ($v > 4$ m/s) n'est pas souvent appropriée, souvent en raison de l'absence de données anémométriques et climatiques propres à chaque site l'orientation de palissades est généralement déterminée en fonction de l'expérience de terrain et n'aboutit qu'à un effet limité (**FAO, 1988**).

Le quadrillage en palmes est la technique la plus indiquée dans le cas où les vents sont des directions variables. Facilitant à la fois le piégeage et l'immobilisation du sable et rendant le milieu favorable à l'installation de la végétation. Il est constaté cependant que cette efficacité peut être réduite, voire nulle, lorsque la maille du quadrillage est très grande (**FAO, 1988 ; Ezzeddine, 2006**). En effet, il n'est pas rare de trouver pour le même type de modelé éolien et très souvent dans des conditions écologiques similaires, des densités de clayonnage différentes, des espacements entre les dunes artificielles successives et des distances séparant l'infrastructure à protéger et la première contre dune très variables, d'où de mauvaises répercussions sur l'efficacité des techniques utilisées et sur leurs coûts (**Ezzeddine, 2006**). Le problème le plus difficile à résoudre est celui de l'approvisionnement en matériaux ; aussi ces travaux ne sont-ils réalisés que dans des cas exceptionnels, lorsque par exemple une dune importante menace directement un village, une plantation, ou une voie de communication, sans que son détournement ne soit possible (**FAO, 1988 ; FAO, 1992**).

Les matériaux synthétiques testés sont pour la plupart polluants, non biodégradables, c'est le cas des plaques en fibrociment. L'utilisation des plaques en fibrociment pour l'édification de palissades, bien que jugée au départ assez probante en raison des facilités de manipulation et

des possibilités de rehaussement au moindre coût qu'elle présentait, ne semble aboutir finalement qu'à des effets très limités et une efficacité relativement faible (**FAO, 1988**). A cette insuffisance s'ajoute également de nombreux inconvénients présentés par l'utilisation de ce matériau à savoir :

- Le coût élevé de la plaque en fibrociment rend cette technique très coûteuse ;
- La fragilité de ce matériau qui casse facilement et engendre des dégâts importants lors de la manipulation ;
- L'opacité des plaques crée des tourbillons surtout lorsque celles – ci ne sont pas trouées ;
- Les plaques sont fabriquées à base d'amiante, lequel produit est jugé fort dangereux pour la santé humaine (**FAO, 1988**).

D'autres critères doivent être pris en compte comme par exemple l'aspect esthétique de la dune fixée. La couverture de la dune par des pneumatiques usagés fixe efficacement le sable mais aboutit à un aspect esthétique désastreux (**FAO, 2011**).

D'autres matériaux synthétiques, ont donné de bons résultats, c'est le cas de la maille plastique. Cette technique, utilisée à titre expérimental en Algérie, a donné d'assez bons résultats avec des plastiques de maille serrée (2mm). Le coût très élevé de l'opération, même à des densités très lâches, constitue néanmoins l'inconvénient majeur (**FAO, 1988**).

Pour le traitement à base de produits pétroliers. Ces produits ont le plus souvent été appliquées sur des surfaces limitées, à l'exception cependant d'huiles dérivées du pétrole (le bitume), utilisées à grande échelle dans plusieurs pays (Libye, Proche Orient et Algérie), l'emploi de cette technique soulève de nombreux inconvénients même pour les pays pétroliers où les produits employés sont disponibles et à prix réduit. L'aspect polluant de ces produits constitue par ailleurs un inconvénient qui ne milite nullement en faveur de leur utilisation. Ils sont d'ailleurs très salissants et difficilement dégradables et donnent souvent au site un aspect désagréable (**FAO, 1988 ; FAO, 1992**).

La stabilisation des surfaces à base de produits chimiques. Cette technique suppose cependant des moyens de pulvérisations adéquats et de grandes quantités d'eau pour assurer la dilution des produits ce qui n'est pas toujours possible en raison de l'éloignement des zones dunaires traitées, cas des dunes continentales notamment, et de leurs faibles ressources en eau. Se désintégrant plus ou moins rapidement. Ils présentent en outre des effets néfastes sur le plan

écologique. S'ajoutent enfin, le prix très élevé de ces produits et l'absence parfois de main d'œuvre spécialisée (FAO, 1988).

Le choix entre ces différentes techniques est fait en fonction des conditions locales, notamment de la disponibilité ainsi que des coûts d'acquisition et de transport des matériaux nécessaires (FAO, 2011).

C'est dans ce contexte que nous avons jugé utile de valoriser la technique des zones de turbulences (Drâas et/ou les murs anti-sables), appliquée dans la région du Bas-Sahara. L'efficacité de ces techniques traditionnelles est mise en évidence par leur application par les services des travaux publics chargé de la protection des routes et par les résultats obtenus par ces derniers.

I.3.2. Sur le plan de la fixation biologique

La "fixation biologique" des dunes est une action qui intervient pour renforcer l'effet de la lutte mécanique et lui substituer après usure ou avarie de ses matériaux, inertes à effets limités dans le temps. En d'autres termes, la lutte mécanique n'est pour la plupart des cas qu'un premier soin d'urgence à renforcer par un traitement plus efficace et durable basé sur des matériaux vivants adaptés aux conditions écologiques du milieu à traiter. Contrairement à la fixation mécanique, la réussite de la lutte biologique est liée à certaines règles d'ordre écologique qu'il faudra scrupuleusement respectées. S'agissant de l'installation d'une couverture végétale sur des milieux très vulnérables, cette opération doit faire objet du maximum d'investigations (FAO, 1988 ; Ezzedine, 2006 ; Makhoul et al., 2012 ; Oulhadj, 2015).

La réussite de la mise en œuvre des techniques biologiques est liée à la prise en compte convenable des conditions écologiques locales et implique un postulat :

- la plantation d'arbres constitue un bon outil pour la fixation des dunes. Cependant leurs besoins en eau peuvent excéder les ressources disponibles. Si pourquoi, il est indispensable d'évaluer les besoins en eau du peuplement mis en place pour chaque étape de son évolution (FAO, 2011).
- les espèces autochtones doivent être utilisées en priorité. Lorsqu'il est difficile de trouver dans la flore locale des espèces capables d'une part de résister aux conditions difficiles de la dune et d'autre part de la fixer rapidement, le recours aux espèces exotiques peut être envisagé (FAO, 2011 ; Sebaa et al., 2015).

- il est indispensable de diversifier le choix des espèces et d'éviter les plantations mono – spécifiques.

- les systèmes de rideaux abris composés de brise-vent sont hautement appréciés. Ils constituent un grand écran vivant qui protège efficacement les exploitations agricoles contre le vent dont la vitesse peut être réduite de 46 à 82 % à l'intérieur du réseau (**FAO, 2011**).

En général, les travaux de fixation biologique commencent une année après la mise en place du réseau de palissades. Les espèces utilisées sont les Eucalyptus, Casuarina, Olivier... etc. soit sous forme de bandes forestières le long des voies d'accès ou sous forme de brise – vent autour des exploitations agricoles. La densité utilisée est de 200 à 300 plants/ha (**ISESCO, 1997**).

Elle passe par 3 étapes successives : la production des plants en pépinière, la plantation, l'entretien et la sauvegarde des plantations réalisées (Ezzeddine, 2006).

a) Pépinière

Compte tenu du nombre réduit des pépinières par région et de leur mauvaise répartition géographique, d'où un transport des plants pendant la campagne de plantation sur de grandes distances et dans des conditions qui ne sont pas toujours appropriées (absence de caisses prévues à cet effet...). En outre, le déchargement des plants et leur stockage sur les lieux de plantation ne sont pas toujours contrôlés. Il en résulte des dégâts parfois importants et des taux de réussite relativement faibles (**Ezzeddine, 2006**).

- Perforation des sachets : si la qualité et les dimensions des sachets sont convenables, leur perforation mérite d'être reconsidérée. En effet, le nombre des trous par sachet est excessivement élevé, d'où un excès de gaspillage d'eau d'arrosage alors que celle-ci n'est souvent pas disponible en quantités suffisantes (**Ezzeddine, 2006**). A cet égard, les perforations suivantes peuvent être recommandées (résultats des essais entrepris en Mauritanie, dans le cadre d'un projet FAO/PNUD, sur la fixation des dunes).

- $2 \times 3 = 6$ trous pour la terre sableuse (2 faces x 1 rangée x 3 trous)

- $2 \times 2 \times 2 = 8$ trous pour la terre moyennement sableuses (2 faces x 2 rangées x 2 trous).

- $2 \times 2 \times 3 = 12$ trous pour la terre argileuse (2 faces x 2 rangées x 3 trous) (**Ezzeddine, 2006**).

- Déplacement des sachets : cette opération qui consiste à couper les racines ayant déjà traversé le sachet en déplaçant périodiquement les plants dans chaque planche n'est

malheureusement pas pratiqué alors qu'elle est nécessaire pour avoir, au moment de la plantation, un plant ayant une chevelure racinaire active et bien développée dans la motte et à l'intérieur du sachet car les racines des plants quittent la motte soit par les trous de drainage soit en perçant le sachet, environ un mois après la germination. Les racines qui dépassent ainsi le sachet continuent leur pénétration dans le sol de la pépinière et assurent rapidement le monopole de l'alimentation du plant. Les racines restées dans les sachets deviennent alors inactives (**Ezzeddine, 2006**).

b) Plantation

Les programmes de la lutte contre l'ensablement menés par les services forestiers ont, sans nul doute, abouti à la création de belles réalisations le long des routes et autour de plusieurs infrastructures.

Tous les travaux sont effectués en régie par des ouvriers organisés sous forme de chantier et payés, la plupart du temps, dans le cadre de différents programmes et/ou projets de l'Etat.

Les dates de démarrage des opérations de plantation, en général, elle est échelonnée entre octobre et avril, avec néanmoins un report en décembre – janvier en raison du froid.

Le transport des plants sur les lieux de plantation s'effectue selon les moyens de bord disponibles dans chaque zone (camion, camionnette, tracteur...) (**Ezzeddine, 2006**).

La trouaison se fait selon la nature du sol, soit manuellement (sol sableux), soit mécaniquement sur les sols à croûte quand la logistique (tracteur, outils de travail du sol) le permet. Les dimensions des trous de plantation sont de 40 cm x 40 cm x 50 cm. Les densités théoriques à l'hectare varient de 3 m x 3 m à 5 m x 5 m selon la densité de plantation. La hauteur de plant à planter est variée entre 80 cm et 1,20 m. Au moment de la plantation, chaque plant reçoit 50 L d'eau se fait soit avec des citernes (3000 à 5000 litres), soit avec un système d'irrigation localisé (**Ezzeddine, 2006**).

Les plantations des milieux dunaires sont exposées à de nombreuses difficultés liées aux conditions climatiques, et à l'abondance des phytophages dont surtout les rongeurs. Pour prévenir les différentes attaques le reboiseur est tenu d'entourer les jeunes plantations de tous les soins nécessaires et d'assurer leur entretien pendant au moins les deux premières années (**FAO, 1988**).

Le vent et la chaleur sont des facteurs climatiques dont les actions portent atteintes aux jeunes plantations des milieux dunaires; les actions néfastes se traduisent par:

L'évaporation, l'ensablement, le déchaussement, le dessèchement, les brûlures, la corrosion... etc.

Contre ces attaques, le technicien doit prendre une série de mesures préventives de nature à préserver le jeune plant et lui permettre une installation et un développement normaux.

Parfois, pour des raisons particulières, la plantation installée n'est pas suivie de réussite nécessaire, le technicien est alors appelé après constat de l'échec de revenir sur son périmètre en réalisant les travaux de regarnis (**FAO, 1988**).

CHAPITRE II

Drâas contre l'ensablement des routes : Expérimentation sur modèles réduits

Chapitre II. Drâas contre l'ensablement des routes : expérimentation sur modèles réduits

Les murs antisables (Drâas) ne sont installés et construits que dans la seule région du Souf.

II.1. Caractéristiques physiques de la région d'étude (cas de localité de l'Oued Souf)

La position géographique de la région d'EL – Oued, notamment sa situation dans la partie Nord du Grand Erg Oriental, pose la problématique d'ensablement du réseau routier. Pour les acteurs, en particulier les usagers des infrastructures routières, le principal souci, de tous temps, est d'éliminer, autant que possible ce danger en pensant à la recherche des meilleurs méthodes et des moyens les plus adéquats pour lutter contre l'ensablement de la chaussée. Plusieurs tronçons de routes sont affectés par le phénomène d'ensablement, notamment la RN 16 l'axe reliant El Oued à Touggourt et nécessitent par conséquent des interventions de désensablement et de remises en état très fréquentes et même parfois urgentes (**Bekakra, 2007**). Afin d'atténuer les risques d'ensablement des routes dans la région d'El Oued, et mettre en valeur la méthode pratiquée actuellement (Drâas et/ou murs anti-sables), l'objet de cette étude est l'optimisation en modèle réduit physique de ces ouvrages de protection particulier dit Drâa (**Djeha & Taïbi, 2007**), afin de mieux connaître le mécanisme de leurs fonctionnement et d'éviter tout dépôt près ou sur la chaussée dont les résultats seront extrapolés pour la réalisation des prototypes en grandeur nature.

II.1.1. Présentation de la région d'étude (cas de localité de l'Oued Souf)

Le Souf n'est pas une région naturelle, mais c'est une création des hommes : c'est une unité créée par le travail de l'homme, et qui, de ce fait, s'oppose au reste de la région présentant une véritable unité géographique (**Medarag et al., 2009**). Des confins septentrionaux de l'Erg Oriental jusqu'aux abords du chott (Melrhir), s'étire une masse de palmeraies limitée à l'est par la frontière Tunisienne et à l'ouest par l'immense oasis de l'Oued Righ. Mais ses frontières sont plus amples si l'on considère l'aire de pâturage des nomades qui s'étend au nord jusqu'au monts Nemenchas, et au sud jusqu'à la frontière lybienne (cf. figure. 4a). Le Souf est une région isolée parce qu'elle est dépourvue de chemins transsahariens. Cela a encouragé une croissance considérable à cause de l'arrivée successive de diverses tribus en évasion dans ce « pays de refuge » (**Bataillon, 1955 ; Medarag et al., 2009**). La sédentarisation progressive des populations nomades a permis de créer des noyaux urbains. Jusqu'au 19^{ème} siècle, on comptait sept villages principaux, dont faisait partie le

village d'EL – Oued. Le début du 19^{ème} siècle connaît une croissance démographique fulgurante. En même temps les cultures s'intensifient, les tribus deviennent sédentaires, les communications se multiplient. Tous ces facteurs parviennent à faire sortir le Souf de son isolement (Medarag et al., 2009). L'essentiel des échanges commerciaux avec les régions voisines allait reposer sur la culture des palmiers (**Najah, 1970 ; Medarag et al., 2009**). La phoeniciculture traditionnelle appelle des techniques inexistantes ailleurs, conférant ainsi à la région une physionomie strictement typique. La solution adoptée étant d'abaisser le niveau du sol pour mettre les racines des palmiers à la portée de la nappe phréatique au lieu de monter l'eau à la surface du sol et d'en irriguer les arbres.

L'arrivée des français avait introduit de nouveaux modes d'occupation et de fonctionnements spatiaux, bouleversant ainsi l'organisation du Souf. L'administration française avait désigné EL – Oued comme capitale de la région du Souf, et ainsi en avait fait le pôle unique auquel s'identifiait toute la population Soufie (**Voisin, 2004 ; Medarag et al., 2009**).

La Wilaya d'EL – Oued est issue du découpage administratif de 1984. Située au Sud – est du pays entre 33° et 35° de latitude nord et entre 5° et 8° de longitude est. La wilaya d'EL – Oued occupe un espace vaste, s'étalant sur une superficie de 44. 586 km². Elle est limitée au Nord – est par la Wilaya de Tébessa, au Nord – ouest par la Wilaya de Biskra, au sud par la Wilaya de Ouargla, à l'ouest par la Wilaya de Djelfa, et à l'est par les Wilayas de Khenchela et de Tébessa et par la Tunisie (Medarag et al., 2009). La population est de 652. 210 habitants (**DPAT, 2006**). Elle comprend 12 daïras et 30 communes. La commune d'EL – Oued, également chef – lieu de daïra et de Wilaya, occupe pratiquement le centre. Elle est délimitée par la commune Oued Alenda à l'ouest, par la commune Trifaoui à l'est, par les communes Kouinine et Hassini Abdelkrim au nord, et enfin par la commune de Bayadha au sud (**Medarag et al., 2009**) (cf. figure. 4b).

II.1.2. les formes du relief

Le Souf est la partie Nord – oriental du Grand Erg et englobe l'aire dépressionnaire des grands chotts. La géomorphologie et les paysages permettent de distinguer trois sous – régions du nord au sud (**Benhouidi, 2010**) :

Au nord des chotts, les vastes piémonts parcourus par les oueds descendant des Aurès correspondant au sud Néméncha et constituant une zone traditionnelle de parcours pour les Soufis. Au sud des chotts, on se trouve dans les marges de l'Erg avec des placages de sable sans grande épaisseur, mais modelés en bras Nord-est/Sud-ouest séparés par des dépressions riches en végétation. Les oasis sont installées dans cette zone et rassemblées dans un rayon d'une trentaine de km (**Benhouidi, 2010**). Au sud de l'Oued Souf commencent les grandes accumulations sableuses, atteignant parfois 200 m de hauteur ; appelant ainsi les Ghourds. Ils sont la plupart du temps coupé par de longs couloirs appelés Gassi (**BNEDER, 1998**). Le relief du Souf est presque tout entier compris entre 2 lignes orientées Est – ouest ; la première au nord est la courbe des 50 m passe par Réguiba, Magrane et Hassi – Khalifa et la seconde au sud, celle des 100 m relie Oued – Ziten, Amiche et EL – Ogla. Une troisième ligne des 75 m relie Guémar et Z'Goum. Il est parallèle à ces deux lignes en leur milieu (**Voisin, 2004 ; Bekkari, 2012 ; Boubaker, 2014 ; Aguib & Messai Belgacem, 2015**).

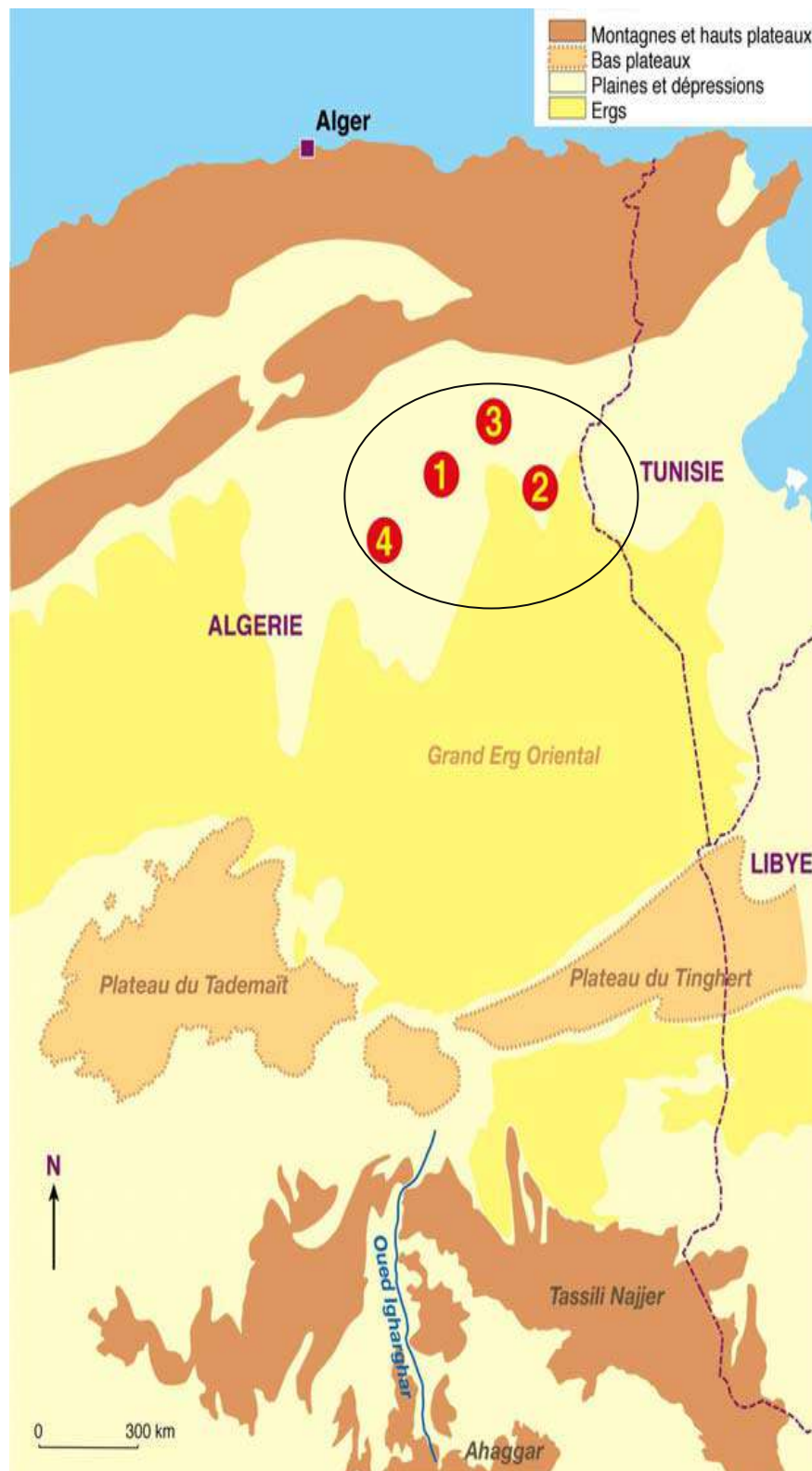


Fig 4(a). Carte de situation de la région d'EL – Oued Souf au sein du Sahara Algérien
 1: Oued Righ. 2: Oued Souf. 3: Ziban. 4: Oued Mya (d'après Ballais, 2010).

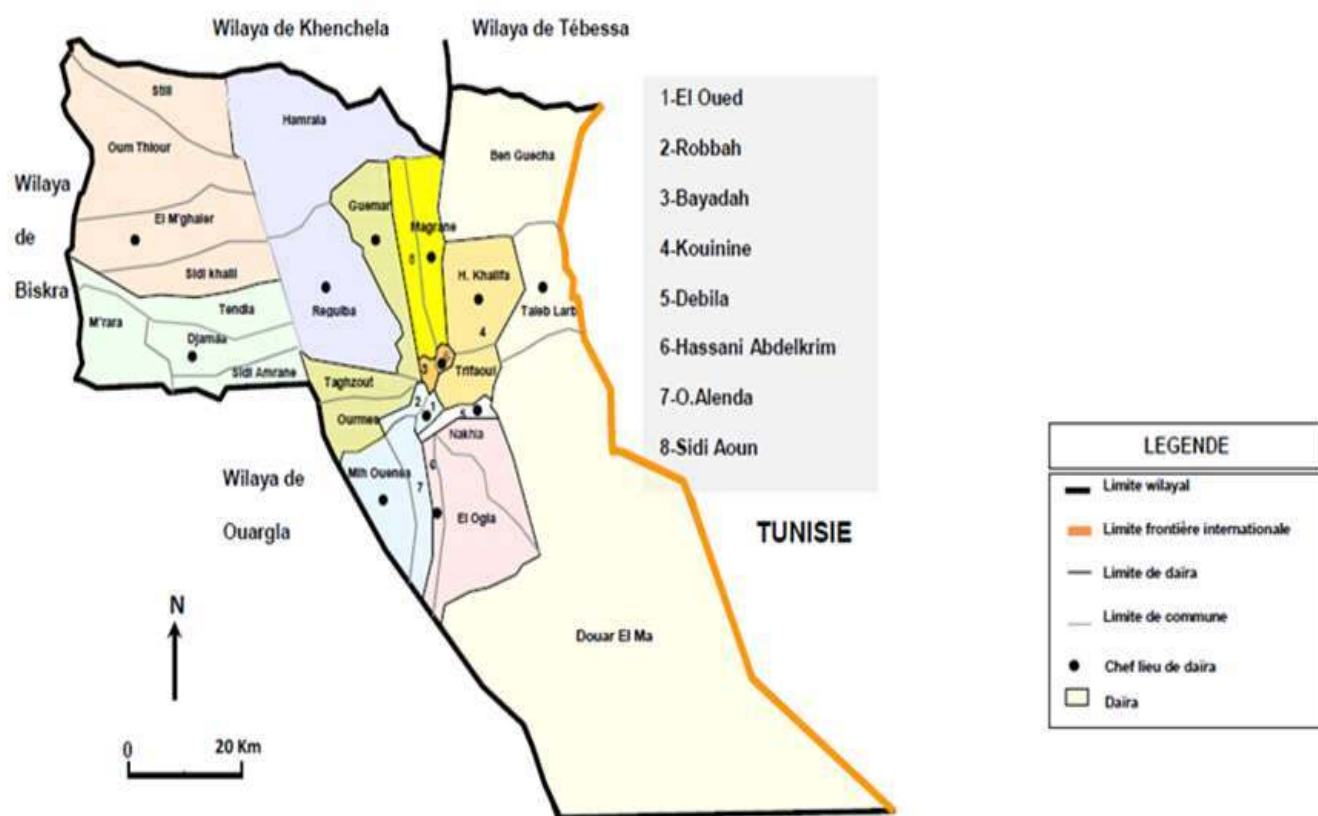


Fig. 4 (b). Carte du découpage administratif de la Wilaya d'El- Oued (d'après Medarag et al, 2009).

II.1.3. Les caractéristiques climatiques

Du fait de sa position continentale et de sa proximité de l'équateur (3700 km). Le climat de la région du Souf est, à certains points, analogue à celui du reste du Sahara ; c'est - à - dire un climat des contrées désertiques, si l'on considère le manque d'eau en surface, la sécheresse de l'air, l'irrégularité des précipitations et sa pauvreté en végétation.

D'après **Ozenda (1982)**, la végétation est bon indice climatique car elle est la résultante du climat et du sol.

Les données enregistrées par la Station Météorologique de Guemar (W d'EL – Oued).

1. Précipitations

Tableau 1 : Variation de la pluviométrie moyenne mensuelle et annuelle (période 1975 – 1996)
(d'après Chalabi, 2008)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
P. (mm)	23,4	15,5	18,3	12	9,6	2,6	0,5	2,2	7,7	8,5	15	7,1	122,4

Les précipitations sont rares et irrégulières, il pleut environ 122 mm/an mais il peut quand même pleuvoir en particulier entre les mois de novembre à février. Plus de 37% du total des précipitations sont enregistrées en hiver, alors qu'en été elle ne dépasse guère les 4% des précipitations. La répartition saisonnière est extrêmement variable, le Souf se trouve dans la zone des pluies ayant le maximum principal en hiver, de l'ordre de 15,33 mm (période 1975 – 1996). Il y a une autre période pluviale en automne, de l'ordre de 10,4 mm. Une longue période estivale complètement sèche de l'ordre de 1,77 mm (**Medarag, 2009**).

2. Températures

Tableau 2 : Moyennes mensuelles des températures en degrés Celsius (période 1975 – 1996)
(d'après Chalabi, 2008)

Temp.	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moy an
m	4,8	7,2	9,6	13,2	17,4	22	24,5	24,7	21,2	15,2	9,3	5,8	14,5
M	16,8	19,4	22,7	26,5	29,2	37,3	40,4	39,7	34,7	28,1	21,3	17,8	27,8
M + m/2	10,2	12,8	15,9	19,7	24,3	29,6	32,5	32,2	27,7	21,3	14,8	11,2	21

m : moyenne des minima du mois le plus froid en degré Celsius (°C)

M : moyenne des maxima du mois le plus chaud en degré Celsius (°C)

M + m/2 : Température moyenne mensuelle en degré Celsius (°C)

Le Souf présente de forts maxima de température, et de grands écarts thermiques. La moyenne des températures du mois le plus chaud atteint 40,4 (°C) (mois de juillet) et la moyenne des températures du mois le plus froid est de 4,8 (°C) (Bekkari, 2012) (mois de janvier). Les températures ne présentent pas des variations mensuelles importantes. L'amplitude thermique de 22,3 (°C) est relativement forte. La température du sol à 25 cm ne dépasse guère de 30(°C), alors que à la surface du sable peut atteindre 65 (°C) (**Chalabi, 2008**).

3. Le vent

Le vent est le facteur climatique le plus déterminant dans la région d'étude. D'après les observations recueillies par l'O.N.M concernant la période allant de 1975 à 1996, les vents soufflant du quadrant Ouest et Sud-ouest sont les plus dominants pendant la période hivernale. Leur influence débute à partir du mois de Novembre et s'étale jusqu'au mois de Mars. Pendant le printemps, les vents venant du Nord et du Nord-est sont prédominant. A partir du mois de juin, les vents d'Est et du Nord-est sont les plus importants et leur influence s'étale jusqu'au mois de Septembre. Au cours du mois d'Octobre, il est remarqué le début de changement de direction du vent car au cours de celui-ci aucune direction préférentielle n'est observée.

Tableau 3 : moyennes annuelles des vitesses du vent moyen (m/s) (période 1975 – 1996)
(d'après Chalabi, 2008)

Mois	0 h	3 h	6 h	9 h	12 h	15 h	18 h	21 h	moyenne
Janvier	2.6	2.6	2.5	3.3	4.4	4.2	2.1	2.4	3.0
Février	3.0	3.1	3.1	4.1	4.8	4.8	2.6	2.5	3.5
Mars	3.1	3.2	3.1	4.8	5.1	5.1	3.0	2.9	3.8
Avril	4.0	4.1	4.2	5.8	5.8	5.8	4.3	3.9	4.7
Mai	4.3	4.3	4.3	6.1	5.4	5.4	4.3	3.9	4.8
Juin	4.9	4.6	4.8	5.9	5.0	5.0	4.5	4.3	4.9
Juillet	4.2	4.2	4.3	5.6	4.3	4.3	3.6	2.9	4.3
Août	4.0	4.1	4.0	5.5	4.4	4.4	3.4	3.1	4.2
Septembre	3.0	2.9	2.7	4.7	3.7	3.7	2.1	2.3	3.2
Octobre	2.2	2.2	2.1	3.8	4.0	4.0	2.0	2.0	2.8
Novembre	2.3	2.3	2.2	3.3	3.7	3.7	1.8	2.0	2.7
Décembre	2.7	2.7	2.4	3.2	3.9	3.9	2.1	2.4	2.9
Annuel	3.7	3.4	3.3	4.7	4.5	4.5	3.0	2.9	3.7

Le tableau n°3 représente la répartition de la moyenne mensuelle des vitesses de vent moyen exprimé en mètre par seconde (m/s). Les vitesses moyennes maximales des vents pendant l'hiver se situent entre les mois de janvier et février avec une valeur de 3.5 m/s. Pendant le printemps, le maximum de vitesse est observé au cours du mois d'avril avec 4.7 m/s. En été, le maximum est relevé au cours du mois de juillet avec 4.3 m/s.

- pour le mois de janvier par exemple, la vitesse maximale était de l'ordre de 4.4 m/s relevé à 12 h de la journée.

- pour le mois de juillet, la vitesse maximale du vent était de 5.6 m/s relevée à 9 h du matin.

D'après ce tableau, les vents atteignent les vitesses maximales entre 9h et 15h de la journée.

Kardous, 2005 ; Mainguet et Dumay (2006) démontrent que la prise en charge et la mise en mouvement des particules de sable par le vent exigent une vitesse supérieure à la vitesse de friction, généralement estimée à 4 m/s pour un substrat composé de particules de taille entrant dans la compétence éolienne (capacité de transport).

Tableau 4 : Nombre de jours de chasse sable et de tempête de sable (période 1975 – 1996)
(d'après Chalabi, 2008)

Mois Phénomène	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Annuel
Chasse sable	2.9	5.5	7.9	10.0	10.5	12.0	7.2	7.8	4.7	3.8	3.9	3.6	79.8
Tempête de sable	0.2	0.3	0.4	0.7	0.6	0.6	0.0	0.5	0.1	0.0	0.0	0.4	3.8

Le tableau n° 4 montre le nombre de jours de tempête de sable et le nombre de chasse sable. Le nombre de jours de tempête de sable couvrant la période allant de 1975 à 1996 se présente de la manière suivante :

- du mois de Décembre au mois de Février, la moyenne est de l'ordre de 0.3 jour de tempête ;
- du mois de Mars au moi de Mai la moyenne de jours de tempête est de l'ordre de 0.56 jour ;
- du mois de Juin au mois de Septembre la moyenne de jours de tempête est de l'ordre de 0.3 jour ;
- du mois d'Octobre au mois de Novembre, aucune tempête n'a été relevée.

Quant au nombre d'interventions de chasse sable, on relève 12 jours d'interventions au cours du mois de juillet, 10 jours au mois d'Avril et 5.5 jours au mois de Février.

L'analyse des données relatives au vent, montre que les tempêtes de sables connaissent deux périodes d'apparition :

- en hiver : elles s'étendent du mois de Décembre au mois Février
- au printemps : elles s'étendent du mois d'Avril au mois de Mai.

4. L'Evapotranspiration Potentiel (E. T. P)

Tableau 5 : E. T. P (mm) selon la méthode de THORNWAITE (période 1975 – 1996)
(d'après Chalabi, 2008)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
E.T.P (m m)	11.5	19.5	40.4	71.2	130.3	190.7	213.9	199.1	145.0	75.9	28,5	14,0

Nous constatons que L'Evapotranspiration annuelle est élevée (1140 mm), le déficit agricole commence à se manifester en grande ampleur à partir du mois d'avril (71,2 mm), pour atteindre son maximum au mois de juillet (213,9 mm) et commence à diminuer au mois de novembre pour atteindre le minimum au mois de janvier (11,5 mm) (**Chalabi, 2008**).

5. L'Humidité relative

L'humidité relative au Sahara est faible, souvent inférieure à 20 % (**Monod, 1992 ; Chehma, 2005**).

Tableau 6 : Humidité relative moyenne mensuelle en % (Période 1975 – 1996)
(d'après Chalabi, 2008)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Hr %	63.9	59.6	48.2	44.8	40.1	35.2	32.6	35.8	46.8	53.9	63.6	63.2

Selon les données de l'humidité relative moyenne mensuelle (en %) de la station de Guémar (EL – Oued) reportées dans le tableau ci – dessus, nous remarquons que le degré hygrométrique (le rapport entre la teneur réelle de l'air en vapeur d'eau et celle d'un air saturé à la même température) atteint les valeurs maximales au mois de novembre, décembre et janvier (63 %). Elle est inférieure à 50 % au moins durant 8 mois de l'année.

Les valeurs minimales sont observées en juin et juillet.

6. L'insolation

A cause de la faible nébulosité de l'atmosphère. La quantité de lumière solaire est relativement forte, ce qui à un effet desséchant avec l'augmentation de la température (**Ozenda, 1991**).

L'insolation est très forte et atteint 3500 heures par an. La durée d'insolation moyenne est de 9 à 10 heures par jour. Les durées d'insolation varient notablement d'une année à l'autre et même suivant les périodes de l'année envisagée (**Dubief, 1952**).

7. La nébulosité

La nébulosité moyenne annuelle, exprimée en dixième de ciel couvert est partout très faible. Le nombre de jours clairs sans aucun nuage peut s'élever à 230 (**Monod, 1992 ; Chehma, 2005**).

II.1.4. Etude géologiques

Au cours des âges, le Souf s'est transformé et son évolution n'est qu'une suite de variations tectoniques et climatiques. La dernière, voici quelques milliers d'années, fut d'une intense sécheresse. On peut dire que le Souf n'est devenu ce qu'il est, qu'à une époque relativement récente. Durant les ères, il fut mer ou continent suivant les transformations du Sahara.

1. la sédimentation continentale post – hercynienne

Le Sahara a subi des mouvements tectoniques Hercyniens verticaux, horizontaux puis de nouveaux mouvements Post – Triasique juste après le dépôt des formations marines primaires, il s'en suit un affaissement du Sahara Nord – oriental. C'est ainsi que les matériaux arrachés dans la région du Hoggar et du Tassili sont transportés par les eaux courantes vers le nord. Avec l'abaissement du relief, l'érosion s'atténue et les matériaux transportés sont abandonnés sur la plate – forme Saharienne (**Chalabi, 2008**).

Au Jurassique et au Crétacé Inférieur, plusieurs transgressions marines de courtes durées assurent le dépôt de sable éolien fluvial et des argiles Continentales. L'ensemble de ces dépôts dont les sables ont été transformés en grès poreux, est appelé Continental Intercalaire (**UNESCO, 1975**).

2. la sédimentation Laguno- marine du Crétacé Supérieur et de L'Eocène

Les écoulements du Continental Intercalaire vont connaître un amaigrissement au Vraconien. Un régime de lacs et de lagunes engendre les dépôts d'argiles, de dolomies d'argiles sableuses, et de grès à ciment calcaire.

Avec le Cénomanién Inférieur, une mer peu profonde avance vers le Sud, mais elle connaît plusieurs phases de régression présentant ainsi une alternance d'argile et d'anhydrite (**Chalabi, 2008**).

Le Cénomanién Supérieur est franchement marin avec des dépôts de dolomie et, de calcaire dolomitique disposé en banc de quelques mètres d'épaisseur, au Nord – est la falaise et l'épaisseur des dépôts varie. Les carbonates deviennent plus importants et la puissance des bancs s'accroît (**Nesson, 1975**).

Le Turonien franchement marin, assure le dépôt de calcaires et dolomies sur l'ensemble du Sahara Algérien et à la fin du Turonien, la mer est remplacée par des lagunes pour disparaître complètement quelques fois. Ainsi ces dépôts présentent une alternance irrégulière de bancs d'anhydrite, de dolomie, d'argile et de sel (**Chalabi, 2008**).

Le Sénonien Inférieur lagunaire est précédé par le Sénonien Supérieur marin assurant un dépôt de dolomies, de calcaires dolomitiques et d'intercalations de marnes, d'argiles et quelques fois d'anhydrite (**Kolli, 2012**).

L'Eocène marin assure les dépôts carbonatés mais absents dans notre région d'étude. Il est opposé à L'Eocène Moyen franchement évaporitiques (**Chalabi, 2008**).

3. la mise en place du Tertiaire Continental

Les hautes montagnes de L'Atlas subissent, à partir du Miocène surtout, une érosion intense qui permet la construction d'un vaste glacis de piémont composé de sable et d'argiles rouges reposant, en discordance, sur des terrains variés allant du Primaire à l'Ouest à L'Eocène à L'Est. Ces terrains fluvio – lacustres recouvrent d'immenses étendues de part et d'autre de la dorsale Mzabite émergée et s'étalent très loin vers le sud où ils forment aujourd'hui le substratum des grands Ergs (**Nesson, 1975**).

4. Le Quaternaire

Au quaternaire, le Souf subit un régime climatique des plus variables, allant des pluies tenaces et continues durant les périodes glaciaires, au climat le plus sec pendant les phases interglaciaires.

Dans le Sahara Oriental, les études révèlent :

Un quaternaire ancien représenté par des sables siliceux ou gypsifères clairs à jaunâtre avec des niveaux plus calcaires et plus durs. Les sables sont plus ou moins consolidés et peuvent contenir des galets ou dragées de quartz et des galets de quartzites, de feldspaths, d'épidolites, ...etc. Il s'agit de véritables regs fossiles. Dans le Souf, le quaternaire est détritique perméable avec une épaisseur moyenne de 40 mètres. Il est constitué parfois par un niveau argilo – gréseux ou sableux à la base notamment dans les dépressions. Le reste du quaternaire est constitué de sables éoliens et grès à ciment calcaire. Des concrétions gypseuses se trouvent partout dans le Souf, à tous les niveaux du sous – sol (**Chalabi, 2008**).

On constate donc dans le Souf que le Quaternaire ancien a été complètement érodé. Il ne subsiste que le Quaternaire récent (**Bensalma, 2002**).

III.1.5. Les grands ensembles hydrogéologiques

Malgré l'absence des ressources de surfaces, la région d'EL – Oued Souf (dispose d'une réserve hydraulique très importante, présente sous forme de trois nappes souterraines : la nappe de l'Albien ou Continental Intercalaire (CI), la nappe du Complexe Terminal (CT) et

la nappe phréatique (**Medarag, 2009**), le tableau N° 1, récapitule les systèmes aquifères de la région d'EL – Oued.

Tableau 7 : Récapitulation des systèmes aquifères de la région d'EL – Oued
(D'après Bousalsal, 2007)

Nature Hydrogéologique		Nature Lithologique	Etage		Ere
Nappe phréatique		Sables	Quaternaire		
Niveau imperméable		Argile			
1 ^{ère} nappe des sables	Complexe Terminal	Sables	Pliocène		Tertiaire
Semi perméable		Argiles gypseuses			
2 ^{ème} nappe des sables		Sables grossiers graviers	Pontien	Miocène	
Niveau imperméable		Argiles lagunaires marnes	Moyen	Eocène	
			Inférieur		
Nappe des calcaires		Calcaire fissure	Sénonien carbonaté	Crétacé	Secondaire
Semi - perméable		Evaporite, argiles	Sénonien lagunaire		
Niveau imperméable		Argile, marne	Cénomanién		
Nappe de Continental Intercalaire		Sable et Grés	Albien		

1. Nappe phréatique

L'eau phréatique est partout dans le Souf. Elle repose sur le plancher argilo – gypseux du Pontien Supérieur. La zone d'aération qui sépare la surface de cette eau de la surface de sol, elle est située à une distance moyenne verticale de plus de 20 m de sable non aquifère (**Voisin, 2004 ; Bekkari, 2012 ; Boubaker, 2014 ; Aguié & Belgacem, 2015**). Cette nappe s'écoule, avec une extrême lenteur vers le Nord – est. Les eaux de cette nappe ont une qualité médiocre (résidu sec entre 3 à 6 g/l).

2. Nappe du Complexe Terminal (CT)

Les forages du Souf exploitent la nappe dite du Pontien Inférieur qui est constituée par des alluvions sableuses déposées pendant le Miocène Supérieur sur 200 à 400 m d'épaisseur (**Rolland, 1890 ; Boughazala, 2009**).

Elle est composée des trois nappes : les deux premières correspondent aux nappes des sables d'âge Moi – Pliocène et Pontien, la troisième est la nappe des calcaires d'âge Sénonien.

La première correspond à la formation supérieure du Complexe Terminal (CT), elle est constituée par de sable peu grossier se trouve à une profondeur moyenne de 280 m, cette nappe du Mio – Pliocène couvre presque tout le Souf. La deuxième nappe de sable est d'âge Pontien (Eocène Supérieur). Elle prend position entre la 1^{ère} et la nappe de calcaire.

3. Nappe du Continental Intercalaire (CI)

La nappe du CI, ou nappe albienne, est contenue dans les formations continentales sablo-gréseuses et argilo-gréseuses du Crétacé inférieur. Son extension sur plus de 600 000 km² et son épaisseur de plusieurs centaines de mètres lui assurent un volume gigantesque. Dans le centre du bassin, elle est fortement artésienne, profonde et son eau à une température élevée.

L'essentiel de cette eau est fossile : elle s'est accumulée pendant des périodes pluvieuses du Quaternaire. Cependant, une recharge actuelle s'effectue par des ruissellements à la périphérie du Bas – Sahara, le long des oueds qui descendent de l'Atlas saharien, du Dahar et, parfois du Tademaït et par les pluies exceptionnelles tombant sur le Grand Erg Occidental (**Côte, 2005**). Elle est située à une profondeur allant de 1400 à 1800 m (**Khadraoui, 2008**).

II.2.Etude des Drâas en modèle réduit physique

II.2.1. Historique des Drâas

Le problème d'ensablement a toujours été l'une des principales préoccupations des Wilayas du Sud Saharien et principalement la Wilaya d'El-Oued qui depuis la période coloniale n'a pas cessé de chercher une résolution au problème d'ensablement des routes (**Sebaa *et al.*, 2015**). En 1964, l'Organisme Saharien avait demandé à l'Institut Français du Pétrole (I.F.P) d'étudier le procédé de stabilisation des dunes par épandage de produits pétroliers appropriés. Plusieurs essais ont été entrepris en laboratoire, en soufflerie et sur site. Le but de ces essais était de déterminer :

- les caractéristiques du sable éolien ;
- les mouvements du sable ;
- l'influence du sable sur la vitesse du vent ;
- la technique à mettre au point en vue de protéger les routes sahariennes contre l'ensablement.

Après deux (02) années d'essais au laboratoire et sur site, il a été constaté que les parties des dunes arrosées par le produit (cut-back 01) ont connu une stabilisation partielle. La fréquence de renouvellement du procédé était de deux ans. Pour des raisons esthétiques, cette méthode n'a pas été retenue ni même encouragée. En effet, l'injection des produits pétroliers donne une mauvaise image aux dunes en apparaissant comme de grandes tâches noires. D'autres essais ont été effectués entre 1969 et 1970 en utilisant un produit différent de type (carosol). Celui-ci avait l'avantage de n'affecter en rien le paysage mais en raison de sa croûte très mince et peu plastique, ce produit présentait des inconvénients du fait qu'il cédait facilement au poids des caravanes. D'autres essais de fixation biologique ont été testés mais n'ont pas donné de résultats satisfaisants.

Il a même été mis en point dans les ateliers de Ouargla un modèle de Drâa métallique en tôle pliée, soudée renforcée et démontable dans le but de définir les principaux paramètres qui régissent le déclenchement du phénomène d'ensablement. La Direction des Travaux Publics de la Wilaya d'El-Oued a confié au Laboratoire d'Etudes Maritimes (LEM) entre 1996 et 1999 l'étude de protection des routes contre l'ensablement par la méthode des Drâas en modèle réduit physique, afin de mieux connaître le mécanisme de leur fonctionnement et d'optimiser leur utilisation par une étude technique et scientifique dont les résultats seront extrapolés pour la réalisation d'un prototype en grandeur nature.

II.2.2. Origine et définition de la méthode des Drâas

La méthode de stabilisation des dunes par des Drâas est une méthode traditionnelle de lutte contre l'ensablement. Cette technique est spécifique à la région de L'Oued Souf (Oulhadj, 2015). Cette technique consiste à édifier des petits barrages (tas de remblai) faits en matériaux lourds et compacts dont les dimensions est supérieur à 2 mm déposées sur la crête de chaque édifice dunaire en amont de site à protéger. Ces barrages, appelés Drâas, doivent être orientés de manière à dévier le vent et éviter l'accumulation de sable sur la chaussée. Drâas obligent les vents dominants à travailler contre leurs impulsions naturelles et à chasser le sable qui, sans eux s'accumulerait sur la route (Sebaa et al., 2015). Elle a été mise en place par les autochtones depuis très longtemps. Le fellah avait utilisé cette technique afin de préserver ses palmeraies et ses Ghouts. Il construisit alors tout autour de ses palmeraies des haies de palmes sèches de forme circulaires ou concaves surmontées sur des dunes protectrices protégées par des matériaux locaux (Tafza, Louss, Tercha...), assurant ainsi la circulation du vent à l'intérieur de la palmeraie et évitant l'ensablement des Ghitanes avoisinants (Oulhadj, 2015).

II.2.3. Conception et disposition des Drâas

Les drâas sont des levés de sable éolien dressés selon le talus naturel d'éboulement et disposés sous le vent dominant de la section assujettie à l'ensablement. Ils constituent un écran à section triangulaire ou conique et sont orientés de manière à dévier le vent et à éviter l'accumulation de sable sur la chaussée. Le sable est protégé par un revêtement de pierrailles gypseuses déposées sur la crête le long du talus.

Selon les cas, les Drâas sont disposés en un, deux ou plusieurs rangées avec les caractéristiques suivantes :

- une longueur variable de l'ordre de 10 à 15 m ;
- une hauteur de 2.50 m à 3.0 m ;
- une distance de 20 à 30 m de la plate-forme ;
- en laissant le vide entre les drâas.

Les essais de désensablement par les Drâas, montrent que ceux implantés parallèlement à la route. Ils jouent alors le rôle d'accumulation, d'écran et de « désensableur », mais leur efficacité n'est certaine que s'ils sont nettoyés fréquemment. Ils rendent des services appréciables en évitant l'ensablement instantané des routes et permettent de procéder au désensablement d'une manière discontinue. Mais si leur nettoyage n'est plus possible, ces Drâas deviennent un danger en favorisant la formation des dunes le long des routes. C'est

pourquoi cette technique des Drâas parallèles à la route avait été plus ou moins abandonnée. Elle vient d'être reprise vers 1967 à El-Oued Souf, sous une forme légèrement différente : les Drâas sont implantés en biais par rapport à la route. Les Drâas interviennent dans ce cas en tant que canalisateur et accélérateur du vent. Sous ce double effet, le vent se charge en sable au passage de la dune, l'érode et la repousse plus loin (Sebaa *et al.*, 2015).

II.2.4. Matériel et méthodes

1. Approche théorique

L'approche théorique a permis d'étudier les différents paramètres intervenant dans l'action du transport éolien (Martinez *et al.*, 1996). Les hypothèses qui ont servi pour la formulation mathématique du problème sont comme suit (Djeha *et al.*, 1999) :

Le vent étant considéré comme un écoulement *d'un fluide incompressible* de vitesse, de direction et d'intensité variables exerçant une force qui agit :

- D'une part, sur l'obstacle que constitue le "Drâa" dont la forme, les dimensions et sa position par rapport à la route sont étudiées.
- D'autre part, sur les particules de sable mises en mouvement et transportées par le vent.

2. Formulation mathématique du régime du vent

L'étude de l'équilibre d'un parallélépipède élémentaire isolé dans un fluide en mouvement permet d'écrire l'équation générale de l'écoulement d'un fluide (Nougara, 1968). Le parallélépipède est soumis aux forces suivantes :

- les forces d'inerties : $\vec{F}_I = \frac{d\vec{v}}{dt}$
- les forces de pression et de pesanteur : $\vec{F}_P = g \vec{rad} P^*$, $P^* = P + \rho g z$
- les forces de frottement : $\vec{F}_f = \frac{\mu}{\rho} \cdot \Delta \vec{V}$ (Force de frottement visqueuse)

En faisant apparaître l'énergie cinétique dans les forces d'inertie :

$$F_I = \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + \vec{v} \cdot g \vec{rad} V$$

$$\text{Comme : } \vec{v} \cdot g \vec{rad} V = g \vec{rad} \cdot \frac{v^2}{2} - \vec{\Omega} \wedge \vec{rot} \vec{V}$$

$$\text{Ecrivant l'équation d'équilibre : : } \vec{F}_I + \vec{F}_P + \vec{F}_f = \vec{0}$$

$$\text{Ce qui donne : } \frac{\rho \vec{v}}{\rho t} + g \vec{rad} \left(\frac{P^*}{\rho} + \frac{v^2}{2} \right) = v \Delta \vec{V} + \vec{\Omega} \wedge \vec{rot} \vec{V}$$

$$\text{En considérant l'écoulement permanent } \left(\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} = \vec{0} \right)$$

Le fluide est parfait $\vec{Ff} = \vec{0}$ et irrotationnel $\overrightarrow{rot. \vec{V}} = \vec{0}$ ce qui donne :

$$grad\left(\frac{p}{\rho} + \frac{v^2}{2}\right) = \vec{0}$$

Pour le cas d'un fluide incompressible : où la masse spécifique ρ est constante, on obtient alors

$$gZ + \frac{p}{\rho} + \frac{v^2}{2} = \text{constante}$$

Cela constitue le théorème de BERNOULLI. Comme l'air est un fluide nous posons le terme gZ est négligeable devant $\frac{p}{\rho}$ et $\frac{v^2}{2}$, cela permet d'écrire :

$$P + \rho \frac{v^2}{2} = \text{constante}$$

Avec :

$$\rho \frac{v^2}{2} \quad : \text{Pression dynamique}$$

$$P \quad : \text{Pression statique}$$

$$P + \rho \frac{v^2}{2} \quad : \text{Pression totale}$$

A partir de cette approche mathématique le modèle physique a été conçu.

3. Détermination des échelles de similitudes

Par application du théorème du π , la relation de similitude (G) permet en utilisant l'analyse dimensionnelle de réduire le nombre de variables sous forme de nombre sans dimension couramment connue (Reynolds-Froude), suivant l'importance des forces de viscosité ou de pesanteur par rapport aux forces d'inertie. Mais la complexité de cet écoulement biphasique (solide-air) qui exige au préalable la connaissance de la vitesse de frottement V_{*c} critique de mise en mouvement des particules solides, qui est elle aussi fonction de la granulométrie et de la masse volumique des grains. Ceci nous amène à considérer le vent comme étant un écoulement turbulent d'un fluide de force dynamique F agissant sur l'obstacle de protection "Drâa" et les grains de sable sont mis en mouvement dès que le rapport des forces verticales appliquées est atteint.

Ainsi, en notant respectivement les indices 1 et 2 les paramètres du modèle et du prototype on a :

a) les forces dynamiques du vent par unité de surface :

$$F_1 = \rho \cdot C_f \cdot \frac{V_1^2}{2}$$

$$F_2 = \rho \cdot C_f \cdot \frac{V_2^2}{2}$$

Cf : Coefficient dépend de la forme aérodynamique du prototype et du modèle. Le rapport de ces forces est proportionnel au rapport des carrés des vitesses.

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{V_1^2}{V_2^2} = \lambda_v^2 \dots\dots\dots (1)$$

Où λ_v est l'échelle des vitesses

b) la condition de mise en mouvement du grain de sable est donnée par le rapport de la portance sur le poids :

$$\frac{\text{Portance}}{\text{Poids}} = K \cdot \frac{\tau}{\rho_s g d} \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{Avec } \tau = \rho \cdot V_*^2$$

Nous voyons alors $\tau = \rho \cdot V_*^2$ apparaître un nombre sans dimension du type Froude au carré :

$$Y = \frac{V_*^2}{g \cdot s \cdot d} \dots\dots\dots (3)$$

$$\text{Où : } s = \frac{\rho_s}{\rho} \text{ densité du sable et } Y \geq 1$$

En employant les mêmes indices 1, et 2 on aura :

$$\frac{Y_1}{Y_2} = \frac{V_{*1}^2}{g \cdot s_1 \cdot d_1} \times g \cdot \frac{s_2 \cdot d_2}{V_{*2}^2}$$

$$\frac{Y_1}{Y_2} = \frac{V_{*1}^2}{V_{*2}^2} \times \frac{s_2 \cdot d_2}{s_1 \cdot d_1} \dots\dots\dots (4)$$

Le rapport des $\frac{V_{*1}^2}{V_{*2}^2}$ est le même que pour les vitesses moyennes $\frac{V_1}{V_2}$ d'après la relation définissant la variation de cette vitesse en fonction de l'altitude Z

$$V = \frac{1}{K} \cdot \sqrt{\frac{\tau}{\rho}} \log \left(\frac{Z}{Z_0} \right) = \frac{1}{K} V^* \log \left(\frac{Z}{Z_0} \right)$$

En définitive on a le système suivant :

$$\begin{cases} \frac{F1}{F2} = \lambda_v^2 \\ \frac{Y1}{Y2} = \frac{\lambda_v^2}{\lambda_s \cdot \lambda_d} \end{cases}$$

Où λ_s et λ_d représentent respectivement l'échelle des densités et de la granulométrie. On

a donc un système de deux équations à trois inconnues $\lambda_v, \lambda_s, \lambda_d$.

Ces deux dernières posent un choix de matériaux à utiliser au niveau du modèle. En effet, pour résoudre le problème, il faut se fixer sur une des échelles λ_s ou λ_d .

En fixant λ_s , on choisira alors un matériau de même densité et de granulométrie différente que le sable du prototype.

En fixant λ_d , on choisira un matériau de même granulométrie et de densité différente que le sable du prototype.

Quant à l'échelle des vitesses λ_v , elle est automatiquement liée à l'échelle des dimensions (hauteurs), du fait que les dimensions en plan du prototype sont importantes devant les dimensions verticales, on aura :

$$\lambda_v = \lambda_H^{1/2}$$

Sachant que :

$$\Delta = \frac{\lambda_H}{\lambda_L} \quad \Delta = 2$$

Connaissant la vitesse maximale du vent dans la région et la vitesse maximale que l'on peut obtenir dans la soufflerie, l'échelle λ_v des vitesses.

$$\lambda_v = \frac{1}{5}$$

On peut déduire :

$$\lambda_H = \frac{1}{25}$$

$$\lambda_L = \frac{\lambda_H}{\Delta} = \frac{1}{50}$$

En supposant une distorsion $\Delta = \frac{\lambda_H}{\lambda_L}$

La vitesse sers définie par : $\lambda_v = \lambda_H^{1/2}$

En prenant $\Delta = 2$, on peut définir les dimensions géométriques et cinématique du prototype et du modèle.

Modèle	Prototype
H ₁ = 20 cm	H ₂ = 5m
L ₁ = 40 cm	L ₂ = 20m
V ₁ = 6 m/s	V ₂ = 30 m/s

Il est à rappeler que cette similitude est établie en supposant le vent est assimilé à un fluide incompressible de force dynamique qui déplace et transporte les particules de sable (**Djeha et al., 1999**).

3.1. Similitude hydraulique

a) Similitude géométrique

La similitude géométrique suppose que les dimensions ont le même rapport sur le modèle et le prototype pour tous les couples de points similaires que l'on peut choisir. Donc la route et les obstacles seront représentés en modèle selon les échelles géométriques.

b) Similitude cinématique et dynamique

La similitude cinématique et dynamique de l'écoulement exige que les vitesses du fluide et les forces qui interviennent dans l'écoulement doivent avoir le même rapport (modèle et prototype) pour tous les couples de points similaires puisque l'écoulement est gravitaire, les forces de viscosités sont négligeables par rapport aux forces d'inerties et de gravités.

La similitude dynamique suit la loi de Reech Froude avec la distorsion Δ (Naaim, 1995) :

$$\text{Donc } \frac{F^2}{\Delta} = 1 \Rightarrow \hat{V}^2 = D \cdot \hat{L} \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{Par conséquent le rapport de vitesse : } \hat{V} = D \hat{L}^{1/2} \dots\dots\dots (2)$$

3.2. Similitude sédimentologique

La similitude sédimentologique consiste à reproduire sur modèle un transport de sédiments semblable à celui du prototype en respectant la loi du début d'entraînement des sédiments . (Naaim-Bouvet & M. Naaim,1995).

$$\boxed{\frac{\rho u^2}{(\rho_s - \rho)gD} = f\left(\frac{u^*D}{\nu}\right)} \quad \text{Ou bien } y = f(x)$$

$$\text{Avec : } \begin{cases} y = \frac{\rho u^2}{(\rho_s - \rho)gD} : \dots\dots\dots (3) \\ X = \left(\frac{u^*D}{\nu}\right) \end{cases}$$

Puisque l'écoulement de l'air est turbulent et rugueux, le critère du début d'entraînement ne dépend pas du paramètre $X = \left(\frac{u^*D}{\nu}\right)$ (Reynolds étoilé). Donc le seul rapport dimensionnel à respecter est $\hat{y} = 1$

$$\hat{y} = 1 \Rightarrow \frac{\hat{\rho} \hat{u}^2}{\hat{\delta}_s \hat{D}} = 1 \dots\dots\dots (4)$$

$$\text{Et comme } \hat{u} = \hat{V} \dots\dots\dots (5)$$

Nous pouvons résoudre le système d'équations (2), (4) et (5)

$$\begin{cases} \hat{V} = \Delta \hat{L}^{1/2} \\ \hat{V} = \hat{U} \\ \hat{V} = \Delta \hat{L}^{1/2} \\ \frac{\hat{\rho} \hat{V}^2}{\hat{\delta}_s \hat{D}} = 1 \end{cases}$$

$$\bar{D} = 0.5 = 1/2 \text{ et } \Delta = 10 \Rightarrow \begin{cases} \hat{v} = 25 \\ \hat{L} = 62.5 \end{cases}$$

En utilisant le sable de densité $d = 2.65$, et comme fluide l'eau de densité $d = 1$.

Le principe de la modélisation du transport éolien en modèle consiste à simuler le vent par le courant liquide en respectant les lois de similitude hydrauliques et sédimentologiques dont les échelles de similitudes sont les suivantes (**Djeha et al., 1999**) :

Grandeur	Rapport de similitude	Valeur du rapport de
Dimension	$\hat{L}$	62.5
Vitesse	$\hat{v}$	25
Distorsion	Δ	10
Diamètre de grain	$\bar{D}$	0.5
Vitesse de frottement	$\bar{U}$	25
Temps	$\hat{t}$	25

Ce tableau récapitule l'ensemble des échelles de similitude qui seront exploitées en modèle réduit physique.

4. Dispositif expérimental (canal à courant)

Plusieurs tentatives de conception du dispositif expérimental ont été effectuées pour simuler le vent au Laboratoire d'Etudes Maritimes. Nous avons songé d'abord à l'utilisation des ventilateurs domestiques qui ont été écarté à cause de la faible puissance du courant d'air obtenu. Nous avons alors décidé après prospection, la conception et la fabrication d'une soufflerie (**Naaim-Bouvet et al., 1996**). Les dimensions géométriques et le débit d'air ont été déterminés afin d'obtenir la gamme de vitesse maximale correspondant à celle relevée au niveau du site d'étude (**Djeha et al., 1999**).

Le dispositif expérimental qui a été utilisé dans les essais est constitué essentiellement (cf. figure 5).

- d'un canal à courant prismatique en béton, avec une baie vitrée de longueur 8m, et 0.52m de largeur avec une hauteur de 0.60m. Le canal est horizontal où l'on distingue deux parties :

- Une partie amont où l'injection des particules solides s'effectue avec une grille de tranquillisation de l'écoulement afin d'éviter la formation du ressaut hydraulique ;
- Une partie aval qui est constituée d'une baie vitrée pour permettre la visualisation de l'écoulement, le transport des particules et les zones de dépôt. Les obstacles et la route y sont disposés suivant de différentes dimensions et distances.
- L'alimentation en eau du modèle se fait par l'intermédiaire d'un réservoir à charge constante, alimenté par deux pompes (120 l/s et 50 l/s). Le réglage du débit se fait par l'intermédiaire de deux vannes. Le modèle est équipé d'un déversoir triangulaire qui permettra à l'aide d'un limnimètre de mesurer la hauteur d'eau et le calcul du débit liquide. 03 micro-moulinets pour la mesure des vitesses de courant.
- le piégeage des sédiments s'effectue à l'aval du canal dans le système d'évacuation.

5. Conduite des essais

a) Essais préliminaires et calibration du modèle

Les essais préliminaires sont nécessaires pour la mise au point des différents paramètres à savoir :

- Champ de vitesses : le champ de vitesses dans la chambre d'essai doit être uniforme, pour cela, plusieurs profils de vitesses à des sections différentes seront mesurés pour différents débits d'air.
- Matériaux utilisés : ils permettent de déterminer la mise en mouvement des particules et la mesure de la vitesse critique correspondante. Cela va se faire sur plusieurs matériaux de granulométrie différente mais de même densité ou inversement. Il est à noter que pour le choix de matériaux ce dernier ne doit pas donner un effet d'un vent de poussière.
- Etude des profils aérodynamique (du point de vue dimension géométrique) :
 - ces essais s'effectueront sans injection de particules solides, il s'agit de mesurer les vitesses et déterminer l'évolution des profils de vitesses autour de l'obstacle afin de déterminer les zones de courants de retour.
 - tester la forme du profil aérodynamique en tenant compte des dimensions géométriques déterminées par l'échelle de similitude (coefficient de distorsion).
 - Détermination de la position optimale de l'emplacement du matériau par rapport au modèle et la position de ce dernier par rapport à l'axe de la route.

Ces essais auront pour objectif de vérifier les dimensions de la chambre d'essai.

b) Etalonnage du modèle (réglage hydraulique)

Le réglage hydraulique permet de :

- Mesurer le débit en fonction de l'ouverture de la vanne
- Mesurer les vitesses de chaque débit.

c) Construction du profil transversal de la route et de l'obstacle

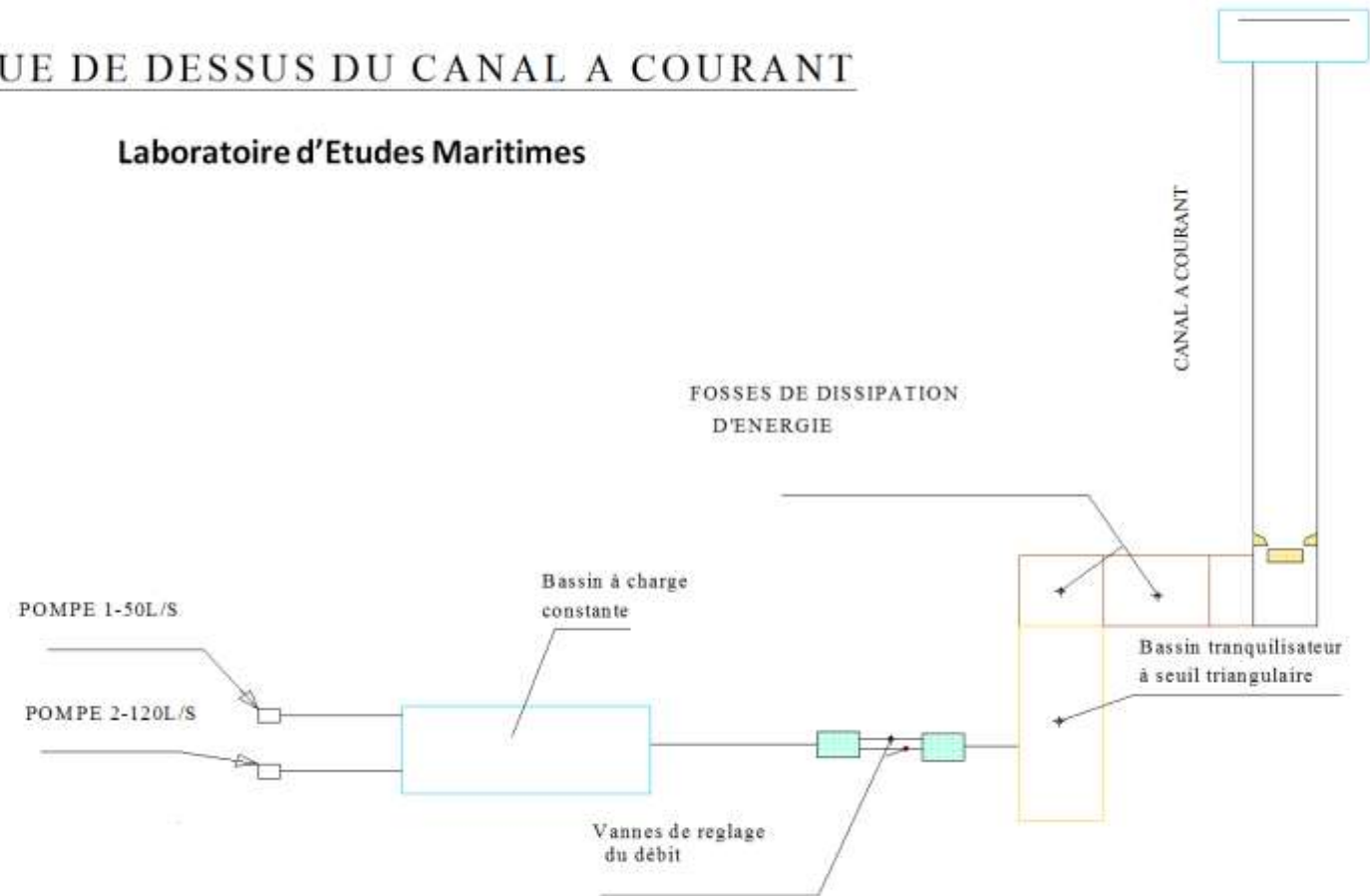
Les tests sont exécutés de la façon suivante :

- Mise en place du fond mobile (sable) de densité 2.65 avec une couche de 05cm.
- Mesurer l'état des reliefs avant la génération du courant liquide.
- Génération du courant liquide avec une série de vitesse qui correspond à celle du vent naturel.
- Injection d'un débit solide à l'amont du canal.

Après chaque test un prélèvement du profil d'équilibre est mesuré. Ce procédé permet d'évaluer l'efficacité de chaque disposition des obstacles par rapport à l'axe de la route.

Figure 5. VUE DE DESSUS DU CANAL A COURANT

Laboratoire d'Etudes Maritimes



6. Programme des essais en modèle réduit

Les paramètres de la route ainsi que ceux du Drâa testés en modèle réduit physique sont présentés dans le Tableau N° 8. En grandeur nature, trois (03) séries d'essais ont été testées avec des variantes correspondantes.

Il est à rappeler que le tronçon testé en modèle, représente en nature un tronçon de 30 m environ.

a) Première série

Elle consiste à tester le profil type de la route considérée comme étant un obstacle. Elle permet également de déterminer le profil d'équilibre de la route sans protection en fonction :

- de la gamme de vitesses du courant généré ;
- de la hauteur de la chaussée ;
- de la pente des accotements,

Pour cela on a testé la hauteur de la chaussée, selon trois (03) hauteurs respectivement 1m, 1.5m et 2m, la pente de la chaussée a été de $\frac{2}{3}$, pour toutes les variantes (cf. figure 6a). Un essai à $H = 2\text{m}$ (H = hauteur de la route) avec une pente de $\frac{1}{5}$ (cf. figure 6b), afin de démontrer l'importance et le rôle que joue la pente des accotements dans le tracé des routes sahariennes et enfin, la détermination de la distance optimale pour l'implantation des Drâas par rapport à l'axe de la chaussée. Sachant que la distance d'implantation des Drâas réalisés par les autorités locales varie entre 10 et 20m.

Une gamme de trois (03) vitesses a été choisie dont une vitesse minimale, une vitesse moyenne et une maximale.

Tableau 8. Les paramètres de la route ainsi que celle du Drâa testés en modèle réduit physique. H = hauteur de la chaussée en (m). I = pente des accotements. h = hauteur de l'obstacle (drâa) en (m). D = distance séparant l'axe de la chaussée à l'axe du drâa. α = L'inclinaison du drâa par rapport à la chaussée. V = vitesse du vent en m/s.

Variantes	H (m)	I	V (m/s)	h (m)	D (m)	α (°)
Première série : dimensions de la route sans obstacle						
V1	1.00	2/3	5 à 20			
V2	1.50	2/3	5 à 20			
V3	2.00	2/3	5 à 20			
V4	2.00	1/5	5 à 20			
Deuxième série : disposition de l'obstacle à différentes distances de la route						
A	2.00	2/3	5 à 20	2.75	15	
A1	2.00	2/3	5 à 20	2.75	20	
A2	2.00	2/3	5 à 20	2.75	40	
A3	2.00	2/3	5 à 20	3.75	30	
A4	2.00	2/3	5 à 20	3.75	40	
A5	2.00	2/3	5 à 20	3.75	50	
Troisième série : un obstacle incliné par rapport à la chaussée						
B	2.00	2/3	5 à 20	3.75	30	45°
B1	2.00	2/3	5 à 20	3.75	30	30°
B2	2.00	2/3	5 à 20	3.75	30	20°
B3	2.00	2/3	5 à 20	3.75	40	30°
Troisième série : deux drâas en biais, Longueur = 16m ; Largeur = 9m						
B4	2.00	2/3	5 à 20	3.75	30	30°
Troisième série : deux drâas en parallèle						
	H (m)	I	V (m/s)	H (m)	D1 (m)	D2 (m)
B5	2.00	2/3	5 à 20	3.75	30	20

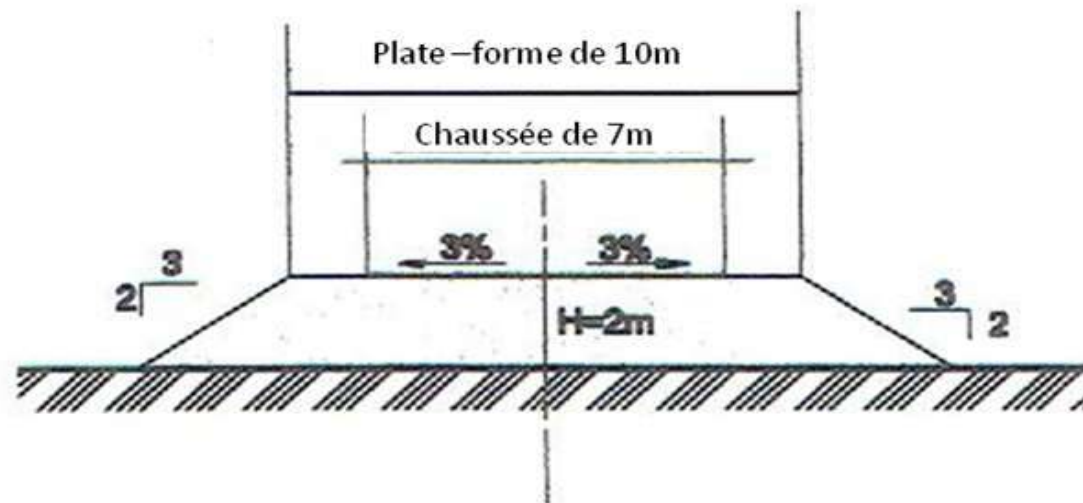


Figure 6a Profil d'équilibre de la route sans protection, la pente de la chaussée a été de 2/3 (ECH : 1/200)

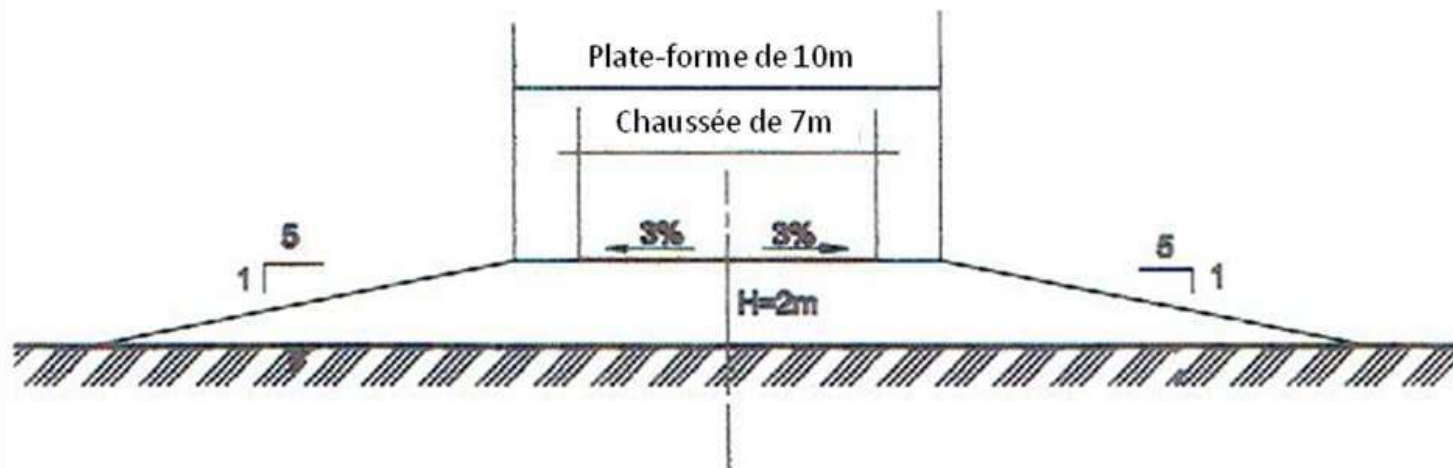


Figure 6b Profil d'équilibre de la route sans protection, la pente de la chaussée a été de 1/5 (ECH : 1/200)

B) Deuxième série

L'étude de cette série consiste en premier lieu à tester le rôle du Drâa comme étant un obstacle en déterminant ses caractéristiques géométriques en fonction de sa capacité de rétention et la position du dépôt par rapport à l'axe de la chaussée. Il est à noter que l'implantation du Drâa a été placée respectivement à 15m, 20m et à 40m par rapport à l'axe de la route quant à la hauteur du Drâa, elle a été testée à 2.75m (cf. figure 7A, 7A1, 7A2). Les variantes A3, A4 et A5 consiste à modifier la hauteur du Drâa ($h = 3.75\text{m}$) ainsi que la distance séparant l'axe du Drâa de la chaussée qui est respectivement à 30m, 40m et 50m (cf. figure 7A3, 7A4, 7A5). La longueur de Drâa est de 20 m.

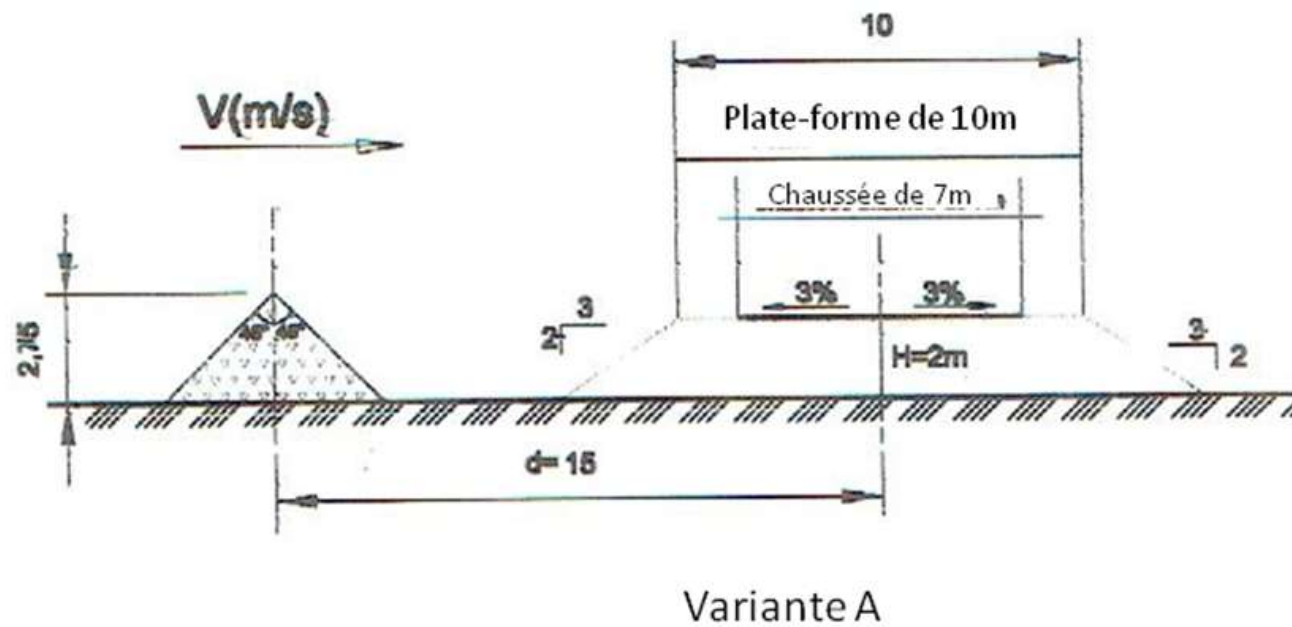
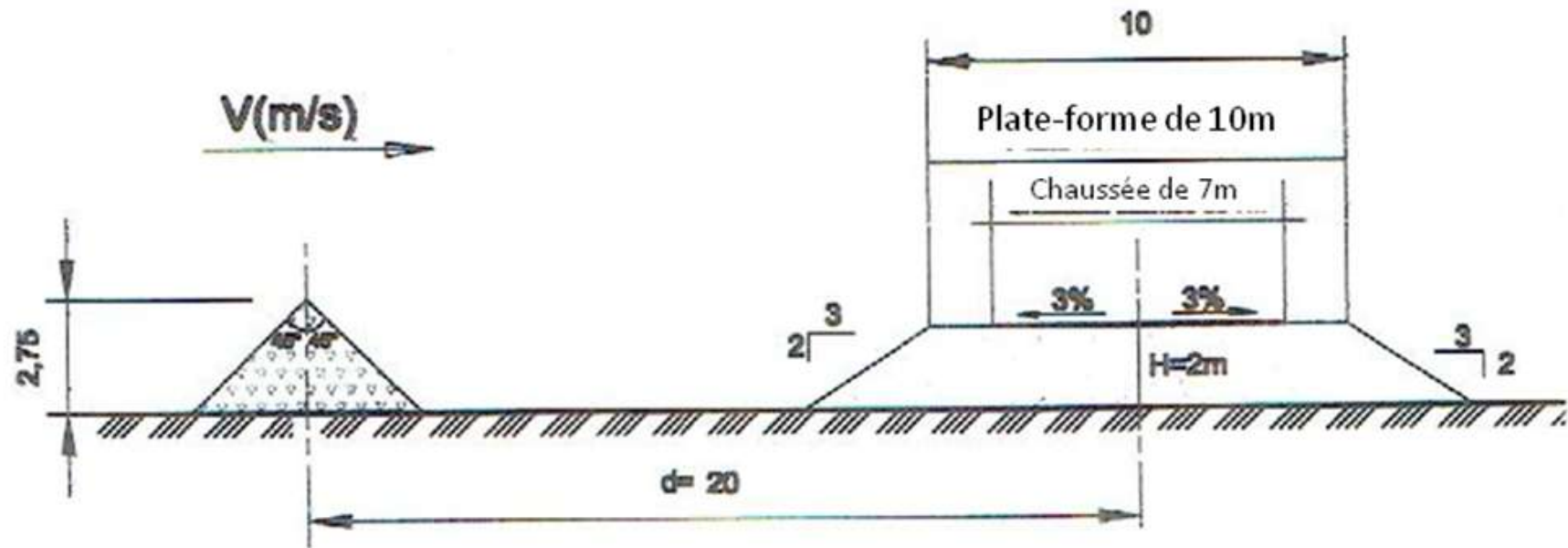


Figure 7A. (Variante A) : La deuxième série des tests, c'est tester le rôle du **Drâa** comme étant un obstacle ; variante A Drâa placé à **15m** par rapport à l'axe de la route quant à la hauteur du Drâa, elle a été testée à **2.75m** (ECH : 1/200).



Variante A1

Figure 7A1. (Variante A1) : La deuxième série des tests, c'est tester le rôle du **Drâa** comme étant un obstacle ; variante A1 Drâa placé à 20m par rapport à l'axe de la route quant à la hauteur du Drâa, elle a été testée à 2.75m (ECH : 1/200).

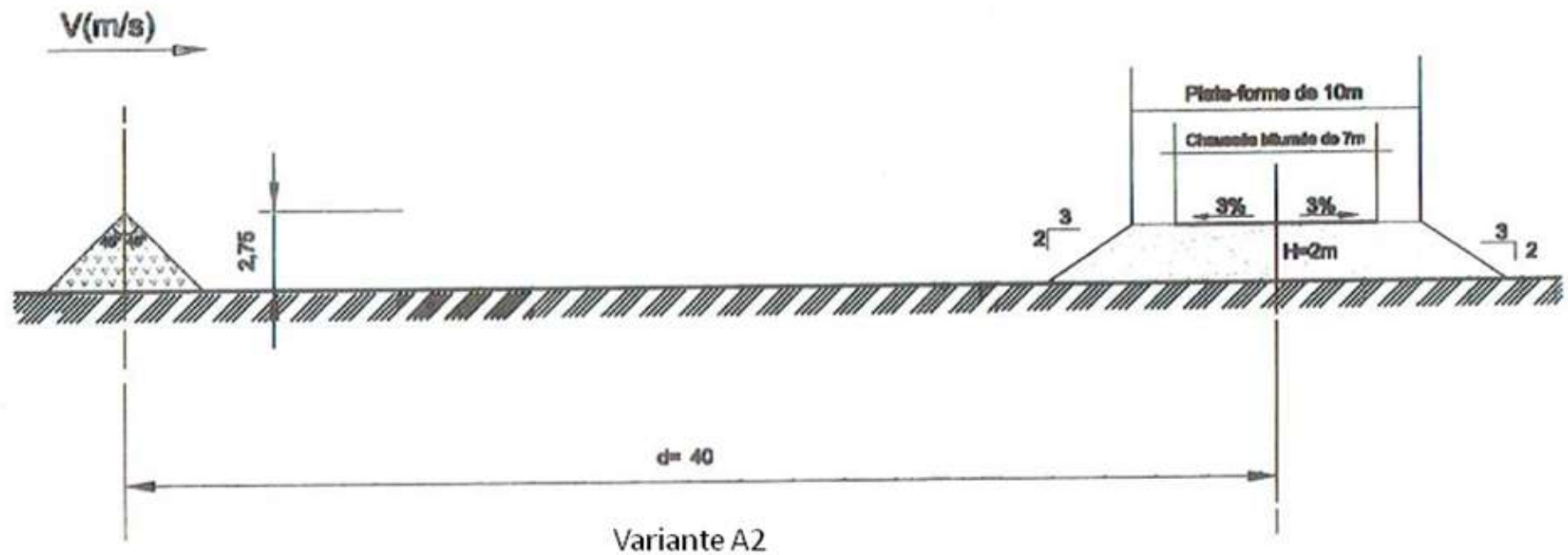


Figure 7A2. (Variante A2) : La deuxième série des tests, c'est tester le rôle du Drâa comme étant un obstacle ; (variante A2) Drâa placé à 40m par rapport à l'axe de la route quant à la hauteur du Drâa, elle a été testée à 2.75m (ECH : 1/200).

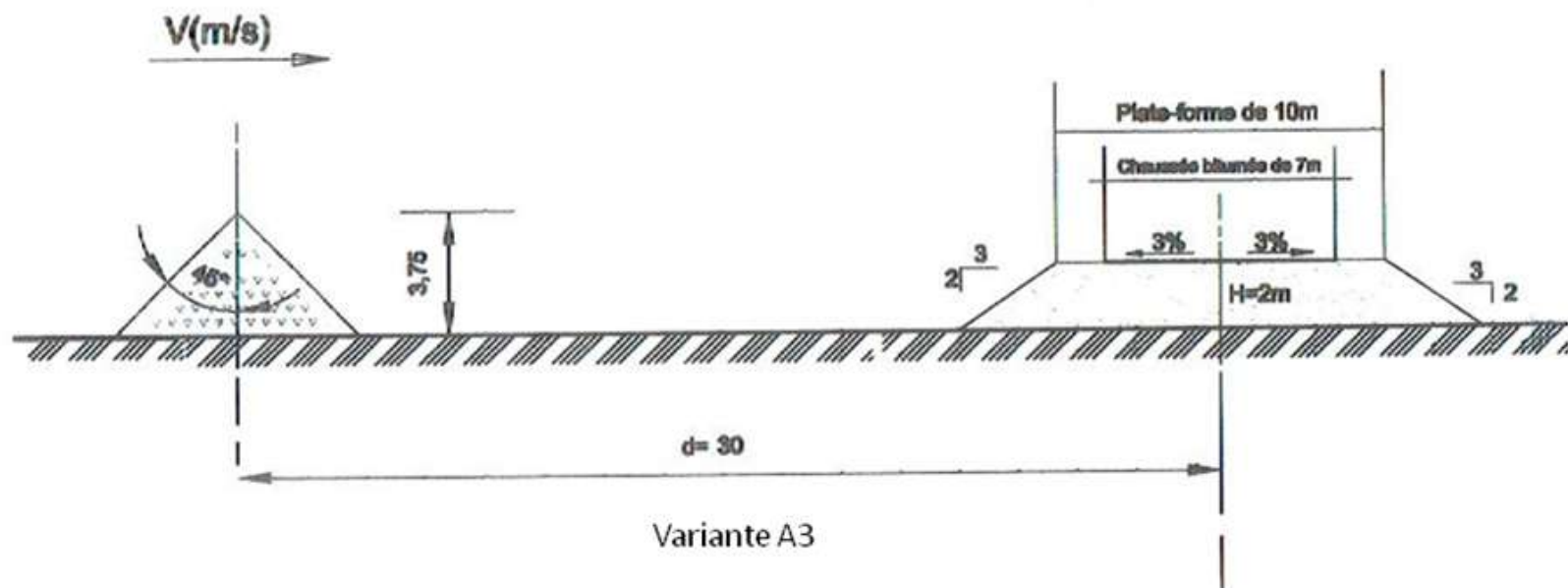


Figure 7A3. (Variante A3) : La deuxième série des tests, c'est tester le rôle du **Drâa** comme étant un obstacle ; variante A3 Drâa placé à **30m** par rapport à l'axe de la route quant à la hauteur du Drâa, elle a été testée à **3.75m** (ECH : 1/200).

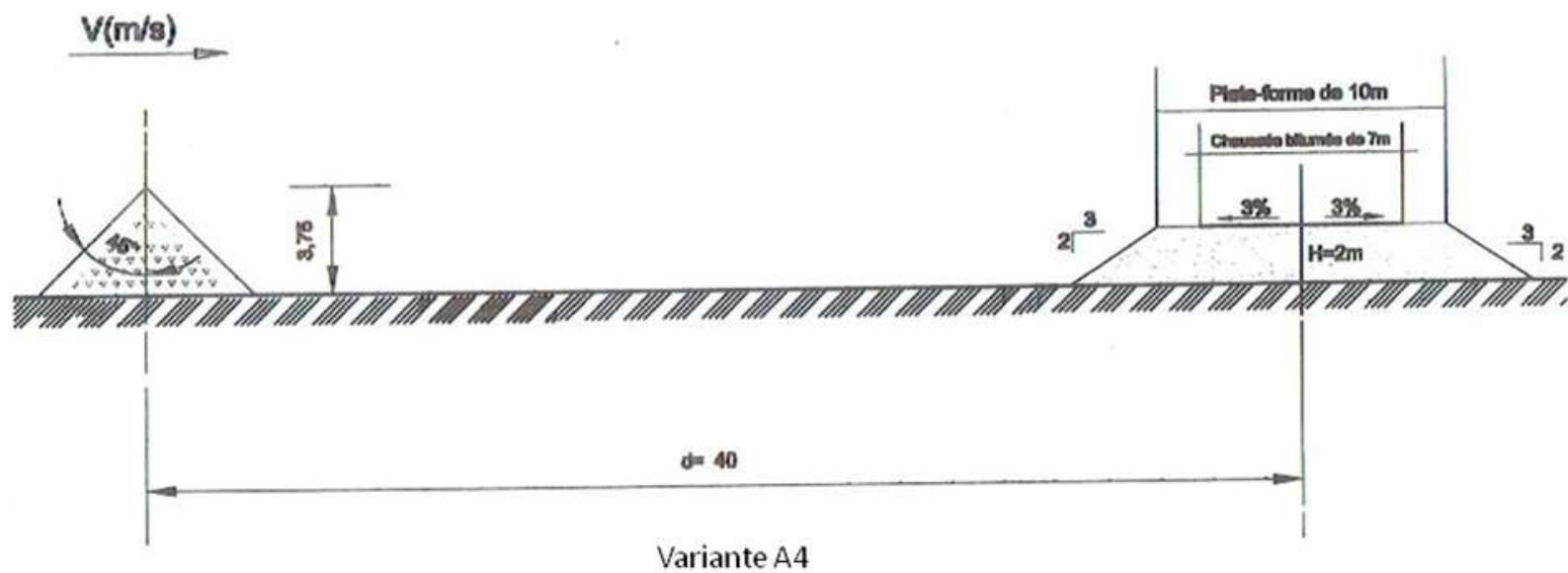


Figure 7A4. (Variante A4) : La deuxième série des tests, c'est tester le rôle du **Drâa** comme étant un obstacle ; variante A4 Drâa placé à 40m par rapport à l'axe de la route quant à la hauteur du Drâa, elle a été testée à 3.75m (ECH : 1/200).

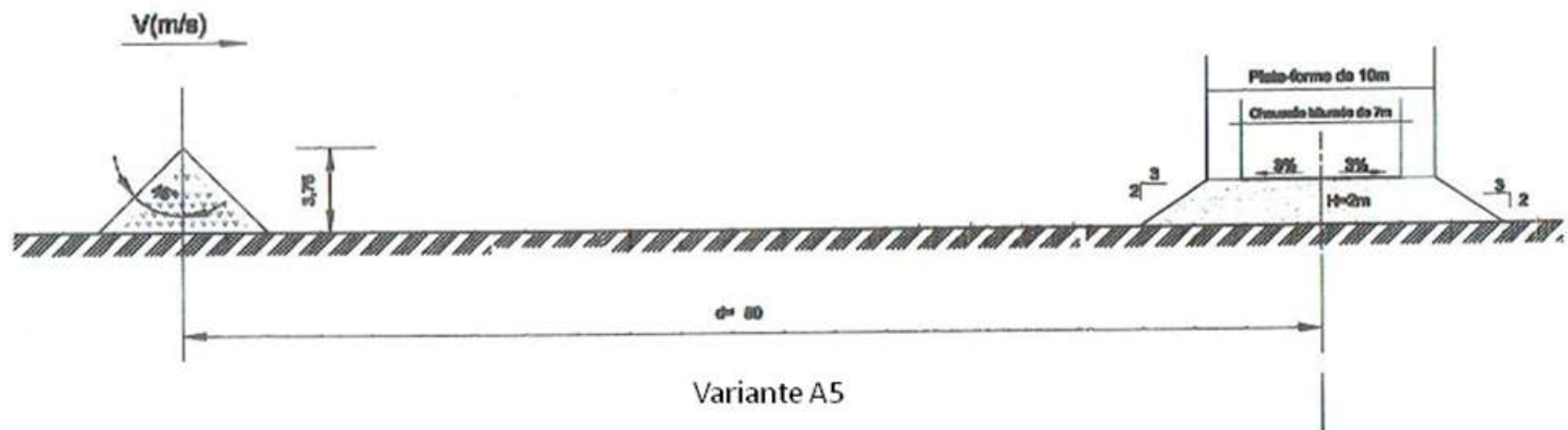


Figure 7A5. (Variante A5) : La deuxième série des tests, c'est tester le rôle du **Drâa** comme étant un obstacle ; variante A5 Drâa placé à **50m** par rapport à l'axe de la route quant à la hauteur du Drâa, elle a été testée à **3.75m** (ECH : 1/200).

C) Troisième série

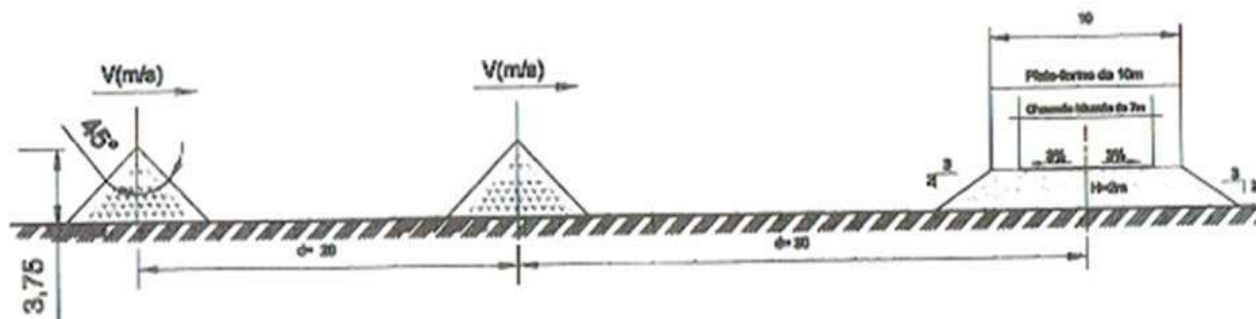
Cette série est conçue en modifiant à chaque fois l'inclinaison du Drâa par rapport à la chaussée (variantes B, B1, B2 et B3). Les angles (α) testés sont de 45°, 30° et 20° par rapport à la parallèle de la route, la hauteur du Drâa est de 3.75m, la distance testée est de 30m. La variante B4 consiste à tester l'efficacité de l'implantation de deux Drâas en biais. L'angle de l'inclinaison est de 30° par rapport à la perpendiculaire de la route. L'équidistance entre les Drâas est de 12m. Les dimensions géométriques des Drâas testés dans cette variante présentent une longueur de 16m et une largeur de 9m (cf. figure 8a). Dans la variante B5 les Drâas sont placés parallèlement à la chaussée, la distance entre l'axe du premier Drâa et celui de la chaussée est de 30m, la distance séparant les deux Drâas est de 20m. Les dimensions géométriques de chacun des deux Drâas sont respectivement de 16m de long et de 9m de large (cf figure 8b, 8c).

Chaque variante est soumise à de différentes vitesses en modèle. La durée de chaque test est de 30 minutes en modèle. Ce qui correspond à une tempête du vent de 16 h en nature.

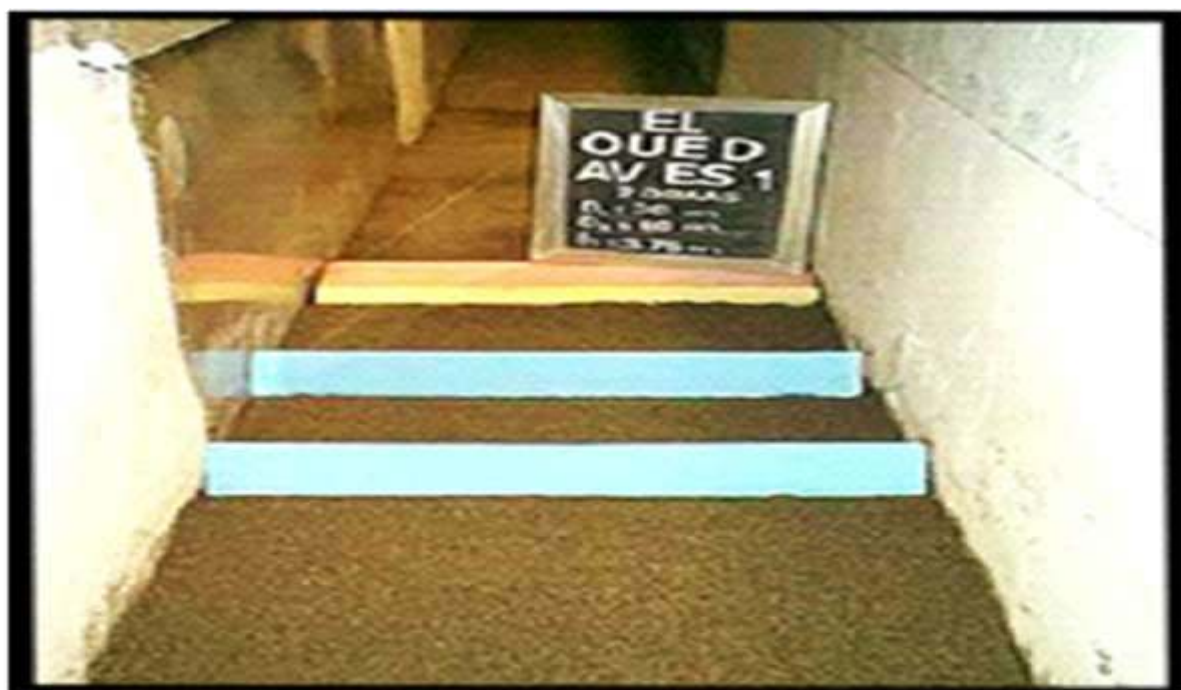


(a) Sur modèle réduit, l'implantation d'un obstacle (Drâa) en biaié par rapport à la route

Figure 8a. La troisième série des tests : (a) sur modèle réduit, l'implantation d'un obstacle (Drâa) en biaié par rapport à la route.



(b) Deux Drâas disposés parallèlement à la route soumise à l'action d'un vent frontal (ECH : 1/205)



(c) Sur modèle réduit, les Drâas sont parallèles à la chaussée

Figure (8b, 8c.) La troisième série des tests :(b) deux Drâas disposés parallèlement à la route soumise à l'action d'un vent frontal ; (c) sur modèle réduit, les Drâas sont parallèles à la chaussée.

II.2.5. Résultats et discussions

Les essais en modèle réduit ont été effectués en canal à courant dans le but de déterminer le profil d'équilibre de la route sans protection en fonction de la vitesse du courant, de la hauteur de la chaussée en premier lieu et de tester l'efficacité des différentes dispositions des Drâas par rapport à la chaussée en second lieu.

1. Résultats des essais de la série 1

Les résultats des essais de la série 1 sont représentés dans le tableau 9.

Les essais de cette série ont permis de déterminer :

- la hauteur optimale de la chaussée
- la pente des accotements
- et enfin, la distance optimale pour l'implantation des Drâas par rapport à l'axe de la chaussée.

a) Variante V1

La variante V1 a été testée sur le profil de la route ayant une hauteur de 1m, et une pente de 2/3 pour la gamme des vitesses $V1 = 5.09\text{m/s}$; $V2 = 8.69\text{m/s}$ et $V3 = 11.57\text{m/s}$. Ce test a permis de déterminer les distances susceptibles d'être ensablé par rapport à l'axe de la route d'une part et de quantifier les quantités de sables déposées de part et d'autre de la chaussée d'autre part.

1^{er} test avec une vitesse minimale ($V1 = 5.09\text{m/s}$)

Il a été remarqué que, dans la partie face au vent le dépôt de sable s'effectue sur environ 160m par rapport à l'axe de la route, la quantité de sable piégée à cet endroit est estimée à environ 6000m^3 . Ce test permis de constater une accumulation importante de sable dans la partie face au vent permettant ainsi l'ensablement de la chaussée.

2^{ème} test avec une vitesse moyenne ($V2 = 8.69\text{m/s}$)

Ce test a montré une érosion à l'amont de la route sur environ 67m et un ensablement total de la route ayant une épaisseur d'environ 1.20m. Les quantités quantifiées de part et d'autre de la route sont de l'ordre de 3500 et 4500m^3 .

3^{ème} test avec une vitesse maximale ($V3 = 11.57\text{m/s}$)

Il a été constaté une érosion sur environ 73m à l'amont de la route suivie d'une accumulation de sable d'environ 2500m^3 sur une hauteur de 1.2m, dans la partie face au vent, par contre, la plus grande pointe soit 4500m^3 s'est déposée dans la partie sous vent sur une distance d'environ 100m par rapport à l'axe de la route (cf. figure 9a).

En conclusion la variante V1 montre un ensablement important pour les différentes vitesses.

b) Variante V2

La variante V2 consiste à tester avec une hauteur de la chaussée $H = 1.5\text{m}$ et une pente des accotements de $2/3$.

1^{er} test avec une vitesse minimale ($V1 = 5.09\text{m/s}$)

Cette variante montre que les petites vitesses permettent la formation d'une dune à 40m en amont de la chaussée soit un volume de 3600 m^3 de sable déposé en amont. Dans la partie sous-vent une érosion s'est effectuée au pied de la chaussée suivi d'un dépôt de 1950m^3 , de hauteur de 1m qui se prolonge par des rides.

2^{ème} test avec une vitesse moyenne ($V2 = 8.69\text{m/s}$)

Pour les vitesses moyennes, il a été constaté une érosion sur 67m accompagnée d'un dépôt d'environ 5200m^3 sur la partie face au vent. Une formation de rides sur le côté sous vent a été également remarquée.

3^{ème} test avec une vitesse maximale ($V3 = 11.57\text{m/s}$)

Il a été constaté une forte érosion s'étendant sur 150 m en amont de la chaussée avec une fine couche de dépôt sur la route, le côté aval connaît quant à lui la formation de rides suivies d'une érosion sur une distance de 50m environ.

En conclusion la variante V2 montre que la surélévation de la côte de la chaussée n'a pas modifié le mécanisme du dépôt.

c) Variante V3

La variante V3 consiste à donner à la chaussée une hauteur de 2m et une pente de $2/3$.

1^{er} test avec une vitesse minimale ($V1 = 5.09\text{m/s}$)

Cette variante a montré que la formation de la dune s'effectue en amont de la route sur environ 125m , véhiculant un volume d'environ 4600m^3 . On constate également une érosion à l'aval de la chaussée sur environ 43m , et la formation d'un dépôt de sable estimé à 1600m^3 déposé à 45m loin de la chaussée.

2^{ème} test avec une vitesse moyenne ($V2 = 8.69\text{m/s}$)

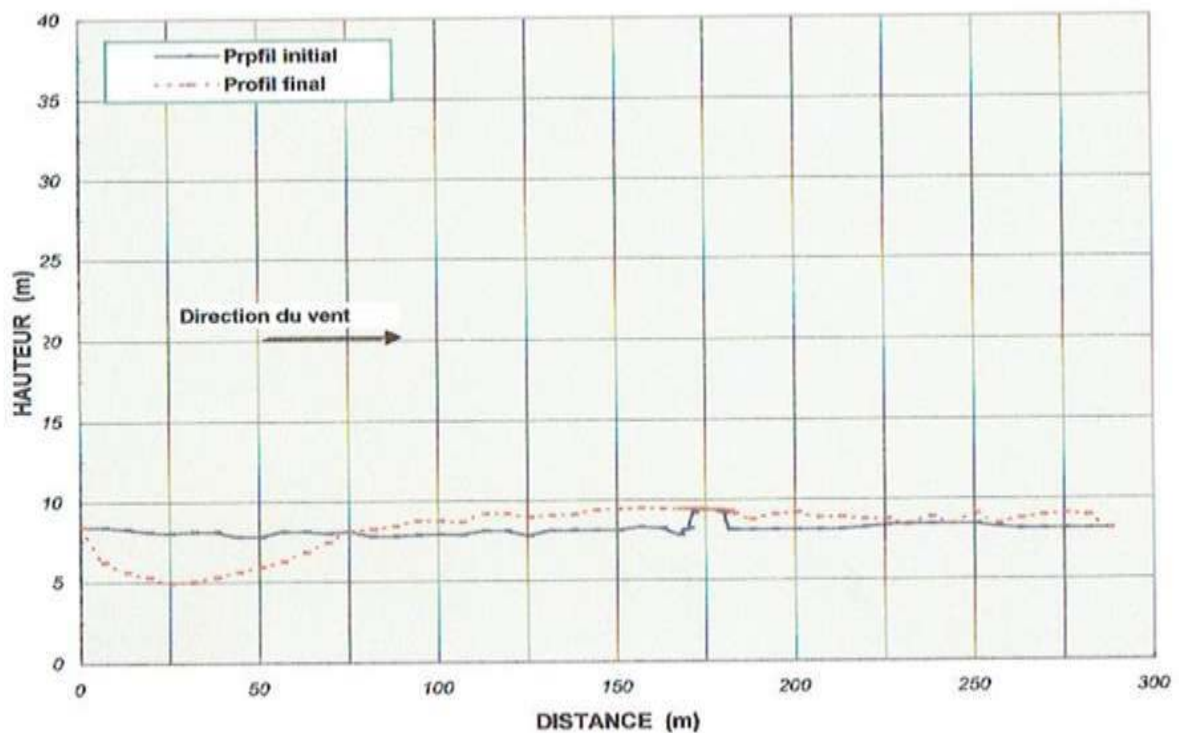
Dans cette variante, il a été observé une érosion à l'amont de la chaussée sur une distance de 53m environ suivi d'un dépôt de $+ 1.80\text{m}$ de hauteur près de l'axe de la chaussée, par contre une érosion s'est effectuée dans la partie sous- vent.

3^{ème} test avec une vitesse maximale ($V3 = 11.57\text{m/s}$)

Il a été observé une érosion sur une distance de 117m à l'amont de la route et un dépôt de 1600m^3 près de chaussée et une évacuation totale du sable sur la côte aval de la route (cf. figure 9b).

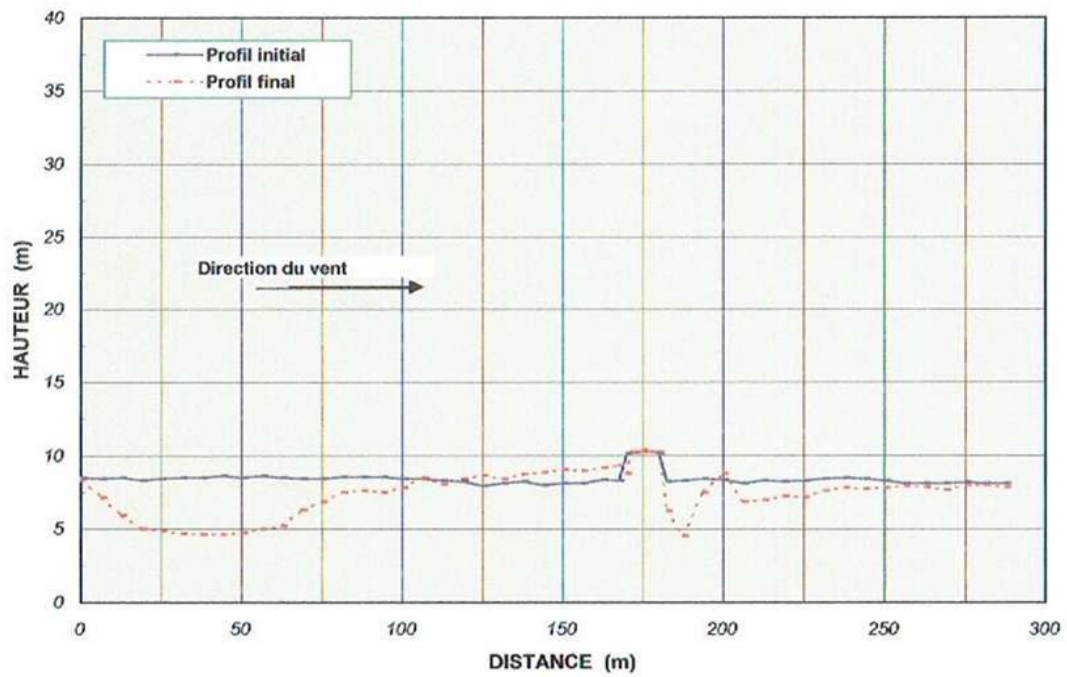
d) Variante V4

La variante V4 consiste à modifier la pente des accotements de la chaussée. Pour cela, on a testé une route dont la hauteur est de 2m et une pente des accotements égale à 1/5. Cette variante montre que les dépôts de sable s'effectuent loin de la chaussée sur une distance de 45m pour la vitesse minimale ($v = 5.09\text{m/s}$). Pour la vitesse moyenne et maximale, le dépôt est près de la chaussée avec une érosion de la partie sous vent (cf. figure 9c).

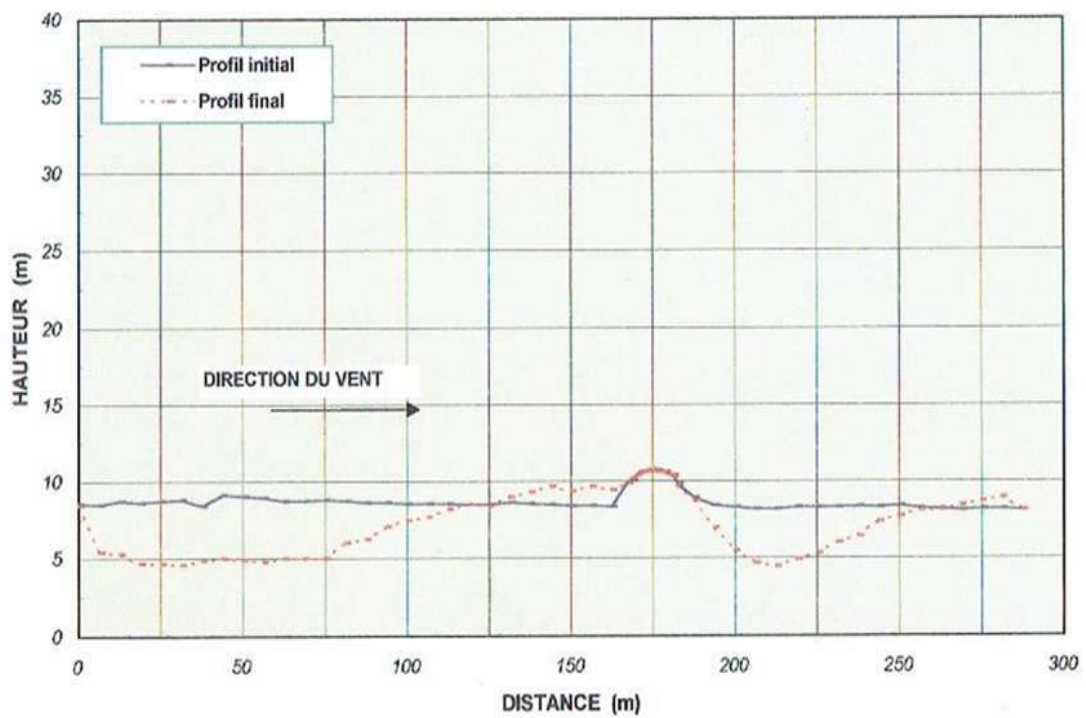


(a) Variante V1

Figure (9a). Résultats des essais de la première série : (9a) la variante V1 a permis de constater une accumulation importante de sable dans la partie face au vent permettant ainsi l'ensablement de la chaussée. Suivie d'une accumulation de sable dans la partie sous-vent,



(b) Variante V3



(c) Variante V4

Figure (9b, 9c). Résultats des essais de la première série : (9b) la variante V3 a montré une érosion à l'amont de la chaussée suivie d'un dépôt près de l'axe de la chaussée. Par contre une érosion s'est effectuée dans la partie sous-vent ; (9c) la variante V4 montre un dépôt près de la chaussée avec une érosion de la partie sous-vent.

Tableau 9. Résultats des essais de la première série. Consiste à déterminer le profil type de la route et la distance optimale pour l'implantation des drâas par rapport à l'axe de la chaussée. D = distance sur laquelle s'effectue le dépôt ou l'érosion. Z = indique la hauteur du dépôt ou la profondeur de l'érosion. (-) = indique une érosion. (+) = indique une accumulation ou un dépôt. V = vitesse du vent en m/s. H = hauteur de la chaussée en (m). I = pente des accotements.

D, Z (m) V (m/s)	Partie face au vent						Partie sous vent								
	D1	D2	Z1	Z2	Q (m ³)	Observations	D1	Z1	Q m ³	Observations					
Variante V1							H = 1m			I = 2/3					
V1 = 5.09	160	-	+ 1	-	6000	Dépôt sur une distance de 160	13	+1.00	200	Formation de rides.					
V2 = 8.69	67	86	-1.87	+1.20	3500	La route est totalement ensablée.	75	+1.66	4500	La route est totalement ensablée.					
V3 = 11.57	73	81	-2.33	+1.2	2500	Ensablement de la chaussée (une hauteur de sable de +0.30 m).	100	+1.30	4500	Dépôt important sur une distance de 100 m.					
	D1	D2	Z1	Z2	Qm ³	Observations	D1	D2	Z1	Z2	Qm ³	Observations			
Variante V2							H = 1.50m			I = 2/3					
V1 = 5.09	-	116	-	+4.63	36000	Formation d'une dune à 40m	29	56	-0.77	1	1950	dépôt de 1m de hauteur.			
V2 = 8.69	67	107	-2.42	+1.33	5200	Formation de dépôt près de la	-	-	-	-	-	Formation des rides.			
V3 = 11.57	150	-	-2.60	-	-	Erosion à l'amont de la chaussée.	50	-	-2.00	-	-	Formation de rides suivie d'une			
	D1	D2	Z1	Z2	Qm ³	Observations	D1	D2	D3	Z1	Z2	Z3	Q ₃	Observations	
Variante V3							H = 2m			I = 2/3					
V1 = 5.09	125	-	+1.6	-	4600	Erosion sur 50m environ avant l'axe de la chaussée.	43	45	-	-1.85	-	-	1650	dépôt loin de la chaussée à 45m.	
V2 = 8.69	53	122	-1.5	+1.80	6200	Erosion suivie d'un dépôt de 1.80 de hauteur de sable près de la route.	125	-	-	-2.30	-	-	-	Erosion de la partie sous vent	
V3 = 11.57	117	67	-2.0	+1.40	1600	Dépôt près de la chaussée.	22	7	58	-2.72	-0.74	-0.74	-	Erosion de la partie sous vent	
	D1	D2	D3	Z1	Z2	Z3	Qm ³	Observations	D1	D2	D3	Z1	Z2	Z3	Observations
Variante V4							H = 2m			I = 1/5					
V1 = 5.09	14.5	50	-	-0.50	+1.50	-	2450	Dépôt sur une distance de 50m et à 100m	26	-	-	-1.40	-	-	Erosion au pied de la chaussée. Formation des
V2 = 8.69	34	100	-	-1.20	+2.00	-	-	Dépôt près de la chaussée	113	-	-	-3.00	-	-	Erosion importante au pied de la chaussée
V3 = 11.57	57	82	-	-1.90	+1.40	-	4000	Dépôt près de la chaussée	28	25	37	-1.60	+0.80	-1.20	Petit amas à 70m environ après l'axe de la chaussée.

Résultats des essais de la série2

Les résultats de la deuxième série sont représentés dans le tableau 10.

L'étude de cette série consiste en premier lieu à tester le rôle du Drâa comme étant un obstacle, en déterminant ses caractéristiques en fonction de sa capacité de rétention et la position du dépôt par rapport à l'axe de la chaussée.

a) Variante A

Cette variante consiste à tester l'implantation du Drâa ayant une hauteur de 2.75m à 15m par rapport à l'axe de la route selon la gamme des vitesses $V1 = 5.09\text{m/s}$, $V2 = 8.69\text{m/s}$.

1^{er} test avec une vitesse minimale ($V1 = 5.09\text{m/s}$)

On constate un dépôt de 1.80m à l'amont du Drâa. Une érosion est observée dans la partie sous vent suivi d'une accumulation à environ 57m loin de l'axe de la chaussée.

2^{ème} test avec une vitesse moyenne ($V2 = 8.69\text{m/s}$)

Il a été observé une érosion sur une distance d'environ 30m juste à l'amont de la route suivie d'une accumulation importante excédant 2.5m de hauteur en comblant à la fois le Drâa et la route, le côté sous vent connaît quant à lui une érosion intense au pied de la chaussée (cf. figure 10a). En conclusion on constate que l'implantation du Drâa à 15m par rapport à la route présente une accumulation accélérée de la chaussée.

b) Variante A1

La variante A1 présente l'implantation du Drâa sur une distance de 20m et une hauteur du Drâa de $h = 2.75\text{m}$.

1^{er} test avec une vitesse minimale ($V1 = 5.09\text{m/s}$)

Il a été observé un dépôt important à 77m environ à l'amont du Drâa. Entre le Drâa et la chaussée, une érosion s'est effectuée ainsi qu'à son aval, une érosion s'est observée avec un léger dépôt loin de la chaussée.

2^{ème} test avec une vitesse moyenne ($V2 = 8.69\text{m/s}$)

On constate une érosion suivie d'un dépôt important excédant la hauteur du Drâa, et comble la chaussée quant à la partie sous vent il a été observé une érosion au pied de la chaussée.

3^{ème} test avec une vitesse maximale ($V3 = 11.57\text{m/s}$)

On remarque une grande érosion à l'amont du Drâa suivie d'un ensablement à proximité de ce dernier. Entre la chaussée et le Drâa et dans la partie sous vent un

arrachement important des sédiments s'est effectué. En conclusion l'obstacle implanté sur une distance de 20m ne permet pas l'évacuation du sable loin de la chaussée.

c) Variante A2

La variante A2 présente l'implantation du Drâa à 40m par rapport à l'axe de la route, la hauteur du Drâa testée est de $h = 2.75\text{m}$

1^{er} test avec une vitesse minimale ($V1 = 5.09\text{m/s}$)

On constate qu'en amont du Drâa, une sédimentation ainsi qu'une érosion se sont produites. Dans le côté sous vent, une érosion s'est observée au pied de la chaussée avec formation de rides à environ 40m par rapport à l'axe de la chaussée.

2^{ème} test avec une vitesse moyenne ($V2 = 8.69\text{m/s}$)

Pour cet essai, il a été observé une érosion à l'amont du Drâa, suivie d'une formation de dune près du Drâa, la partie comprise entre le Drâa et la route a été érodée, un arrachement de sédiments s'est effectué dans la partie sous-vent.

3^{ème} test avec une vitesse maximale ($V3 = 11.57\text{m/s}$)

Une érosion s'est observée entre le Drâa et l'axe de la route et se prolonge jusqu'à la face sous vent.

d) Variante A3

La variante A3 consiste à modifier la hauteur du Drâa ($h = 3.75\text{m}$) ainsi que la distance séparant l'axe du Drâa à l'axe de la chaussée qui est de 30m.

1^{er} test avec une vitesse minimale ($V1 = 5.09\text{m/s}$)

Il a été observé une formation d'une dune à 70m environ à l'amont du Drâa, suivie d'une érosion entre le Drâa et la route poursuit dans la partie, cette dernière se avale de la chaussée.

2^{ème} test avec une vitesse moyenne ($V2 = 8.69\text{m/s}$)

Pour cette vitesse on constate que dans la partie face au vent une légère érosion, suivie d'un dépôt de + 3.00m environ près du Drâa. Une érosion s'est produite entre la chaussée et le Drâa, cette dernière s'est étalée jusqu'à la face sous vent.

3^{ème} test avec une vitesse maximale ($V3 = 11.57\text{m/s}$)

Il a été observé un arrachement important de sédiments en amont du Drâa sur une distance de 100m environ, une partie de ces sédiments s'accumule sur le Drâa, en formant un dépôt d'une hauteur de + 2.50m environ. Entre la chaussée et le Drâa, ainsi que dans la partie sous vent, l'arrachement du sédiment a provoqué une érosion importante (cf. figure 11b).

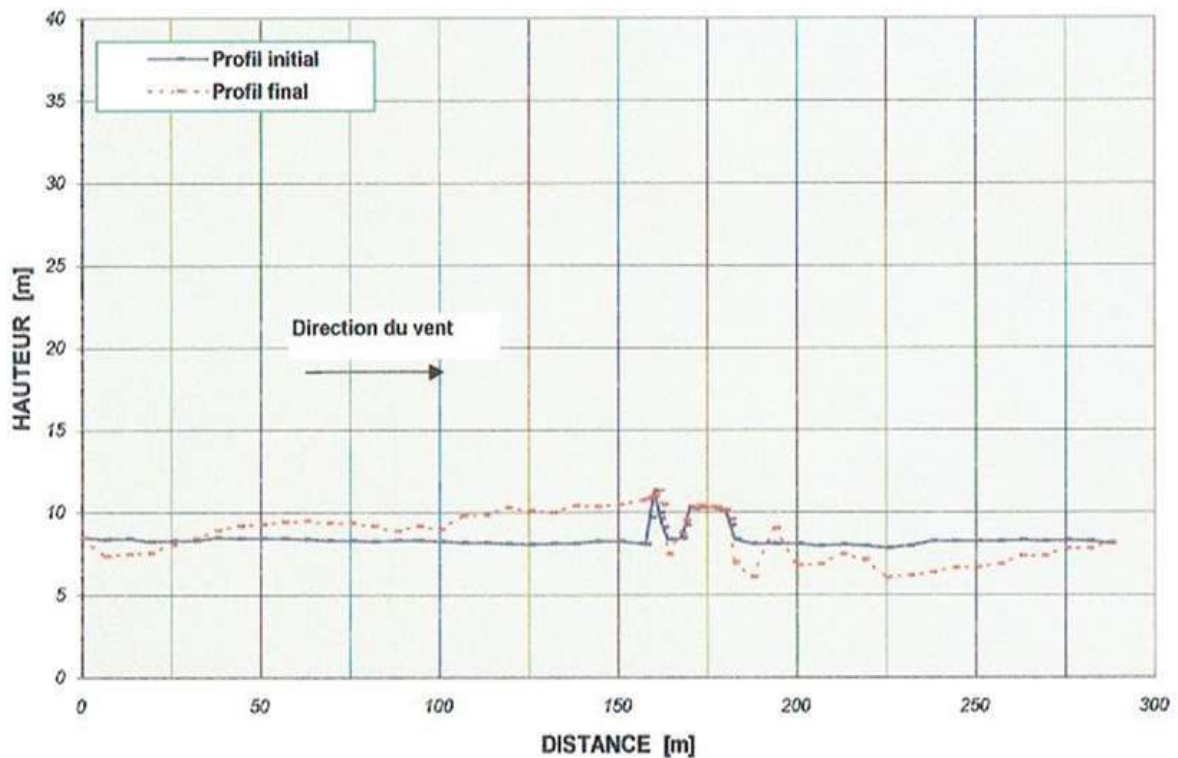
e) Variante A4

L'obstacle est situé à 40m par rapport à l'axe de la chaussée.

Cette variante a permis l'accumulation du sable à l'amont du Drâa pour la gamme de vitesse étudiée (V1, V2 et V3) ainsi qu'une érosion qui s'est effectuée entre la chaussée et le Drâa et dans la partie sous-vent. Ce profil offre une protection satisfaisante (cf. figure 11c).

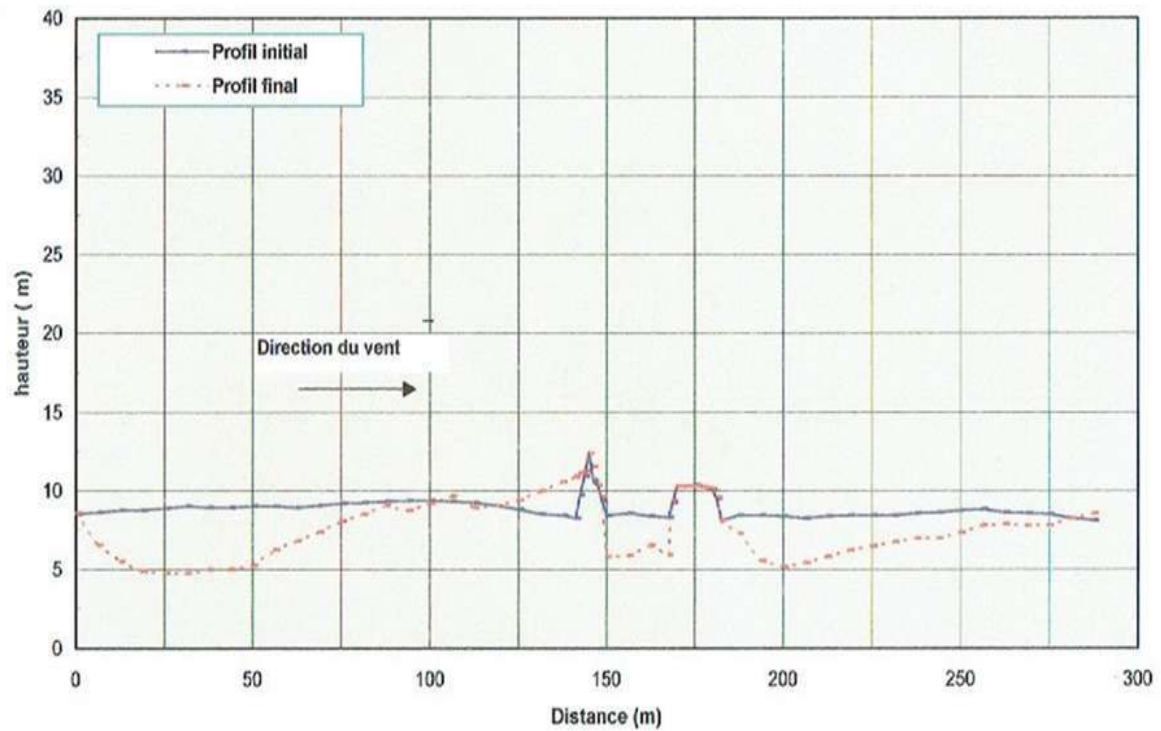
f) Variante A5

Les essais effectués sur cette variante ont montré un désensablement de la chaussée.

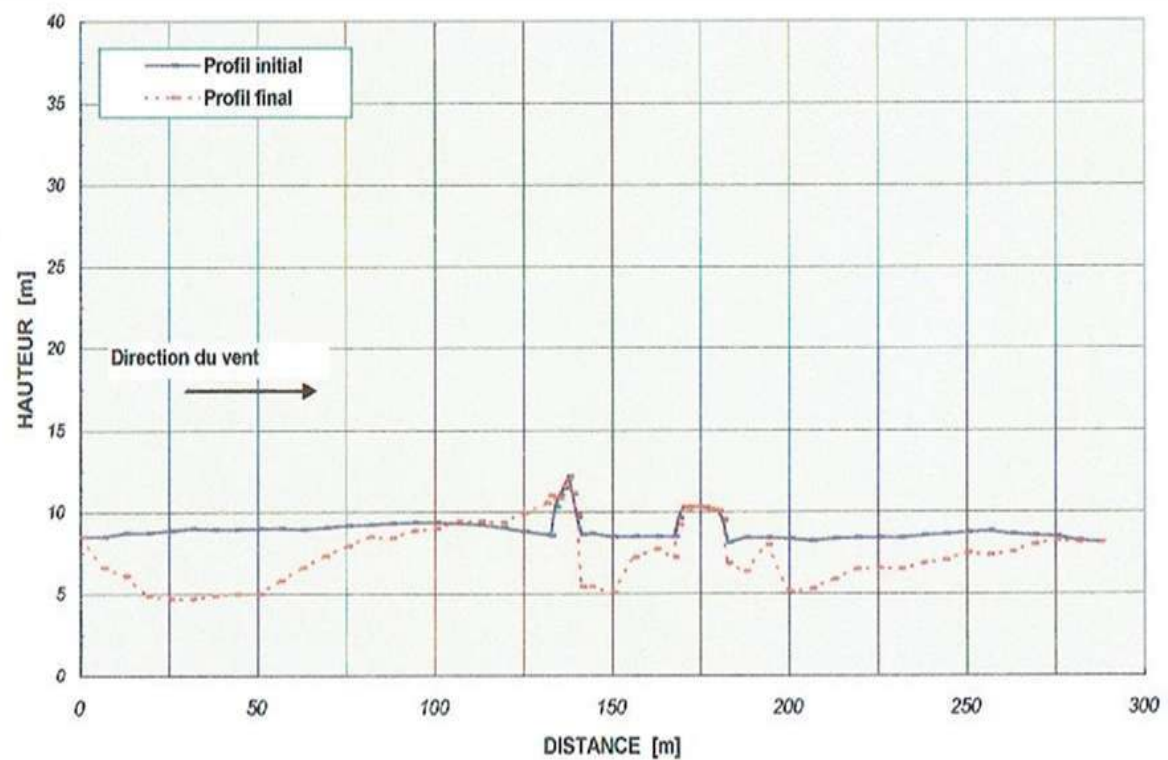


(a) Variante A

Figure (10a). Résultats des essais de la deuxième série : (10a) la variante A a permis de constater une érosion sur une distance d'environ 30m juste à l'amont de la route suivie d'une accumulation importante excède 2.5m de hauteur en comblant à la fois le Drâa et la route. Le côté sous-vent connaît à lui une érosion.



(b) Variante A3



(c) Variante A4

Figure (11b, 11c). Résultats des essais de la deuxième série : ((11b) la variante A3 à une vitesse maximale $V3 = 15.24\text{m/s}$ montre un arrachement important de sédiments en amont du Drâa, entre la chaussée et le Drâa, ainsi que dans la partie sous-vent ; (11c) La variante A4 montre une érosion suivie d'un dépôt qui s'est produit à l'amont du Drâa. Entre la chaussée et le Drâa ainsi que dans la partie sous-vent, une érosion s'est effectuée.

Tableau 10. Résultats de la deuxième série. Consiste en premier lieu à tester le rôle du drâa comme étant un obstacle et la position du dépôt par rapport à l'axe de la chaussée. D = distance sur laquelle s'effectue le dépôt ou l'érosion. Z = indique la hauteur du dépôt ou la profondeur de l'érosion. (-) = indique une érosion. (+) = indique une accumulation ou un dépôt. V = vitesse du vent en m/s. H = hauteur de la chaussée en (m). h = hauteur de l'obstacle (drâa) en (m). d = distance séparant l'axe de la chaussée à l'axe du drâa. I = pente des accotements.

D , Z (m) V (m/s)	Partie face au vent						Entre le Drâa et la chaussée						Partie sous vent					
	D1	D2	Z1	Z2	Observations		D1	Z1	Observations		D1	D2	D3	Z1	Z2	Z3	Observations	
	Variante A						H = 2m		d = 15m		h = 2.75		I = 2/3					
V1 = 5.09	50	-	+1.80	-	Dépôt de 1.80 près de drâa.		-	-	Dépôt entre la chaussée et le drâa.		20	60	-	-	+1	-	Erosion au pied de la chaussée. Dépôt à 57m.	
V2 = 8.69	30	122	-2	+2.5	Erosion suivie d'un dépôt à l'amont du drâa.		5	-0.8	Légère érosion entre la chaussée et la Drâa		11	3	86	1.8 -2	+0.8	-1.5	Petit amas à 17m de l'axe de la chaussée.	
	D1	D2	Z1	Z2	Observations		D1	Z1	Z2	Observations	D1	D2	D3	Z1	Z2	Z3	Observations	
	Variante A1						H = 2m		d = 20		h = 2.75m		I = 2/3					
V1 = 5.09	54	-	+2	-	Dépôt à 77m environ loin de l'axe du drâa.		11.5	-1.4	-	Erosion entre la chaussée et le drâa.	9.6	48	-	-1	+0.6	-	Erosion au pied de la chaussée. Dépôt à 57m environ loin de l'axe de la chaussée.	
V2 = 8.69	38.5	135	-1	1.66	Dépôt près du drâa.		13.5	-	1.25	Dépôt entre la chaussée et le drâa.	96	-	-	-1.5	-	-	Erosion de la partie sous le vent	
V3 = 11.57	112	37.5	4	+1.70	Erosion sur une distance de 112m environ. Dépôt près du drâa.		8	-2	-	Erosion entre le drâa et la chaussée.	8	9.4	78	-2	+1.3	-2.6	Petit amas dans la partie avale de la chaussée suivie d'une érosion.	
	D1	D2	D3	Z1	Z2	Z3	Observts	D1	D2	Z1	Z2	Observats	D1	D2	Z1	Z2	Observations	
	Variante A2						H = 2m		d = 40m		h = 2.75		I = 2/3					
V1 = 5.09	19.5	70	12.5	-0.5	+1.66	-1.5	Dépôt et érosion à l'amont du drâa.	20	-	+1	-	Dépôt entre la chaussée et le drâa.	31.2	-	-2	-	Erosion au pied de la chaussée. Formation des rides à 40m environ après l'axe de la chaussée.	
V2 = 8.69	26.5	70.3	-	-1.5	+2	-	dune près du drâa.	23.4	-	-1	-	Erosion près de la chaussée	62.5	-	-2	-	Erosion de la partie sous vent.	
V3 = 11.57	86	39	-	-4	+1.33	-	Erosion et dépôt.	12.5	12.5	1.25	-1.5	Erosion près de la chaussée	10	39	+1.5	-2	Petit amas au pied de la chaussée plus une érosion à 10m environ loin de l'axe de la chaussée.	

	D1	D2	Z1	Z2	Observations	D1	D	Z1	Z2	Obsrvts	D1	Z1	Observations		
Variante A3					H = 2m	d = 30m					h = 3.75m		I = 2/3		
V1 = 5.09	55	47	+2.9	-0.4	Formation d'une dune à 70m environ à l'amont de l'axe du drâa. Suivie d'une légère érosion.	3	16	-	-3	Erosion entre la chaussée et le drâa.	40	-1.6	Erosion au pied de la chaussée.		
V2 = 8.69	26	113	-1.25	+2.9	Erosion et dépôt important à l'amont du drâa. Légère érosion à l'amont et juste au pied du drâa.	19		-4	-	Arrachement intense des sédiments.	92	-2	Erosion de la partie sous-vent.		
V3 = 11.57	100	24	-3	+2.5	Erosion suivie d'un dépôt à l'amont du drâa.	18		-2.5	-	Erosion.	105	-2.3	Erosion à l'aval de la chaussée.		
	D1	D2	Z1	Z2	Observations	D1	Z1	Observations			D1	Z1	Observations		
Variante A4					H = 2m	d = 40m					h = 3.75m		I = 2/3		
V1 = 5.09	58	-	+1.8	-	Légère érosion. Dépôt à l'amont du drâa.	29	-3	Erosion importante entre le drâa et la chaussée.			31.2	-1.8	Erosion à l'aval de la chaussée suivie d'une légère ondulation.		
V2 = 8.69	28	95	-1.4	+2.50	Erosion suivie d'un dépôt à l'amont du drâa.	26	-3	Léger dépôt au pied du drâa. Erosion entre le drâa et la chaussée.			62.5	-2.9	Erosion importante au pied de la chaussée.		
V3 = 11.57	105	21	-3	+2	Erosion suivie d'un dépôt près du drâa.	32	-2.8	Erosion à l'aval du drâa.			120	-2.5	Erosion de la partie sous vent.		
	D1	D2	Z1	Z2	Observations	D1	D2	Z1	Z2	Obsrvts	D1	D2	Z1	Z2	Observations
Variante A5					H = 2m	d = 50m					h = 3.75		I = 2/3		
V1 = 5.09	55	-	+2.9	-	Dépôt à l'amont du drâa (à 70m environ loin de l'axe du drâa).	25	12	-3	+1.7	Erosion suivie d'un dépôt entre le drâa et la Chaussée.	15	90	-1.25	+0.80	Erosion suivie d'un dépôt à l'aval de la chaussée.
V3 = 11.57	77	77	-3	+1.7	Erosion et dépôt dans la partie face au vent (Dépôt près du drâa)	38	-	-2	-	Erosion à l'aval du drâa.	76	-	-3	-	Erosion de la partie sous vent.

3. Résultats des essais de la troisième série

Cette série a été conçue en modifiant à chaque fois l'inclinaison du Drâa par rapport à la chaussée. Les angles (α) testés sont de (45° , 30° et 20°) par rapport à la parallèle de la route, la hauteur du Drâa est de 3.75m, la distance testée est de 30m. Les résultats de la troisième série sont représentés dans le tableau 11.

a) Variante B

L'obstacle (Drâa) dans cette variante est incliné d'un angle de 45° par rapport à la parallèle de la chaussée, la distance séparant l'axe de la route à l'axe de l'obstacle est de 30m, la hauteur du Drâa est de 3.75m.

1^{er} test avec une vitesse minimale ($V1 = 5.09\text{m/s}$)

Ce test montre une érosion suivie d'une accumulation d'une hauteur d'environ 2.00m à 80m à l'amont du Drâa et un arrachement de sédiments s'est effectué entre le Drâa et la chaussée, par contre la partie sous-vent connaît une érosion du pied de la chaussée suivie d'un dépôt de 1m de hauteur.

2^{ème} test avec une vitesse maximale ($V2 = 11.57\text{m/s}$)

Ce test montre un arrachement important en sédiments à l'amont du Drâa suivi d'un dépôt. L'érosion se produit essentiellement entre le Drâa et la route et la partie sous vent. Cette disposition a permis le piégeage des sédiments avant d'atteindre la route (cf. figure 12).

b) Variante B1

Cette variante consiste à tester l'efficacité du Drâa par rapport à la chaussée en inclinant l'obstacle à 30° .

1^{er} test avec une vitesse minimale ($V1 = 5.09\text{m/s}$)

Ce test a montré la formation d'une dune à environ 92m à l'amont du Drâa, une érosion est observée sur la partie comprise entre le Drâa et la chaussée. Par contre la partie sous vent, connaît une érosion et une légère accumulation de sable.

2^{ème} test avec une vitesse maximale ($V2 = 11.57\text{m/s}$)

L'érosion se produit essentiellement entre le Drâa et la route et la partie sous vent. Cette variante présente une bonne protection de la chaussée.

c) Variante B2

1^{er} test avec une vitesse minimale ($V1 = 5.09\text{m/s}$)

Un dépôt excédant 3m, s'est déposé à environ 100m en amont du Drâa. Sur la partie comprise entre la chaussée et le Drâa ainsi que la partie sous vent s'observe une érosion suivie d'une accumulation loin de la chaussée.

2^{ème} test avec une vitesse maximale ($V2 = 11.57\text{m/s}$)

Ce test montre une importante érosion produite en amont du Drâa suivie d'une accumulation sur la face amont de ce dernier évaluée à environ 1.5m d'épaisseur. Il a été constaté que la partie comprise entre le Drâa et la chaussée, ainsi que la partie sous vent une forte érosion.

d) Variante B3

Deux paramètres ont été modifiés dans cette variante, la distance (d) séparant l'axe du Drâa à celui de la chaussée ($d = 40\text{m}$) et l'angle d'inclinaison $\alpha = 30^\circ$.

1^{er} test avec une vitesse minimale ($V1 = 5.09\text{m/s}$)

Ce test montre un dépôt à 75m environ à l'amont du Drâa suivi d'une érosion entre la chaussée et le Drâa et d'un léger dépôt (petit amas à l'amont de la chaussée). Dans la partie sous vent, on constate une érosion au pied de la chaussée succédé d'une accumulation de 1.25m de hauteur.

2^{ème} test avec une vitesse maximale ($V2 = 11.57\text{m/s}$)

Il a été observé une érosion sur une distance de 71m environ suivie d'un dépôt à l'amont du Drâa. Un arrachement de sédiments s'est effectué entre la chaussée et le Drâa. A l'aval de la chaussée, il a été constaté une érosion suivie d'un dépôt à 80m environ de l'axe de la chaussée.

e) Variante B4

Cette variante consiste à tester l'efficacité de l'implantation de deux Drâas en biais. L'angle de l'inclinaison est de 30° par rapport à la perpendiculaire de la route. L'équidistance entre les Drâas est de 12m. Les dimensions géométriques des Drâas testés dans cette variante présentent une longueur de 16m et une largeur de 9m.

1^{er} test avec une vitesse minimale ($V1 = 5.09\text{m/s}$)

On constate la formation d'une dune dans la partie amont à environ 50m avant l'enracinement des Drâas, une érosion est observée entre les deux Drâas suivie d'une

accumulation au pied de la chaussée. Dans la partie sous vent, une érosion s'est installée accompagnée par la formation de micro dunes loin de l'axe de la route.

2^{ème} test avec une vitesse maximale ($V2 = 11.57\text{m/s}$)

On observe un arrachement intense de sédiments, ce qui a provoqué une érosion importante dans la partie face au vent (à l'amont des deux Drâas, entre les deux Drâas et entre la chaussée et le Drâas). A l'aval de la chaussée (partie sous vent) une érosion s'est effectuée au pied de la chaussée suivie d'un dépôt et une érosion (cf. figure 13).

f) Variante B5

Dans cette variante les Drâas sont placés parallèlement à la chaussée, la distance entre l'axe du premier Drâa et celui de la chaussée est de 30m, la distance séparant les deux Drâas est de 20m. Les dimensions géométriques de chacun des deux Drâas sont respectivement de 16m de long et de 9m de large.

1^{er} test avec une vitesse minimale ($V1 = 5.09\text{m/s}$)

On remarque un dépôt à l'amont du Drâa (partie face au vent) suivie d'une érosion entre les deux Drâas ainsi qu'entre le Drâa et la chaussée, l'arrachement des sédiments se poursuit jusqu'à l'aval de la chaussée pour s'accumuler loin de cette dernière.

2^{ème} test avec une vitesse maximale ($V2 = 11.57\text{m/s}$)

Les vitesses maximales ont provoqué une érosion suivie d'un dépôt à l'amont et à l'aval du premier Drâa. L'arrachement des particules a été intense le long du profil expérimenté.

Le profil de cette variante a permis le piégeage du sable par l'obstacle d'une part, et au désensablement de la chaussée d'autre part (cf. figure 14).

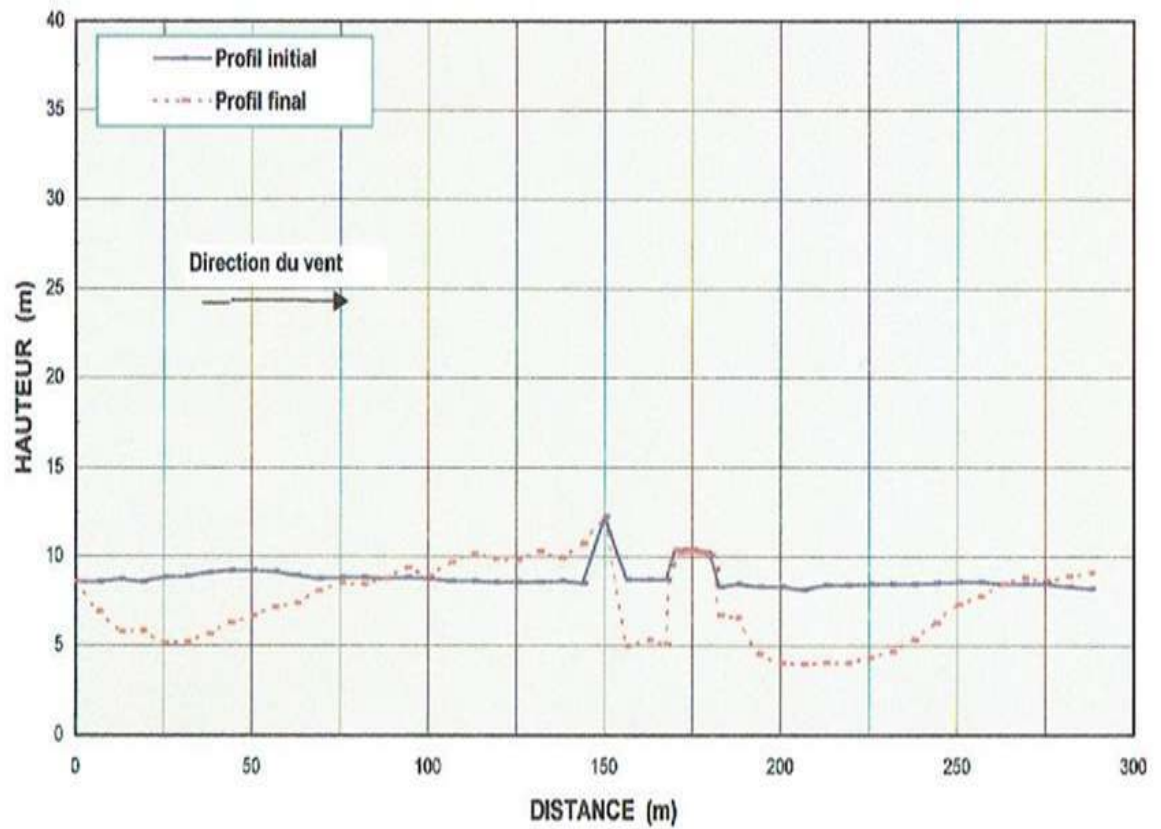


Figure 12. Résultats de la troisième série . L'implantation d'un obstacle (Drâa) en biais par rapport à la route montre une érosion entre la chaussée et le Drâa et la partie sous-vent.

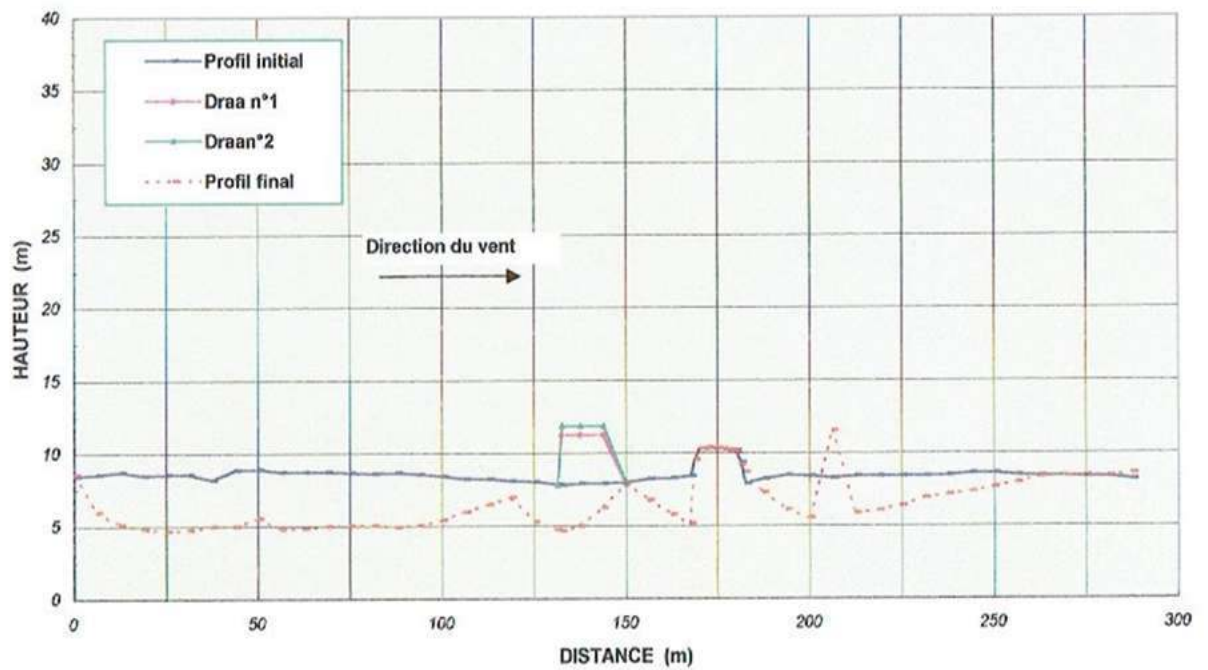


Figure 13. Résultats de la troisième série. L'efficacité de l'implantation de deux Drâas en biais (variante B4)

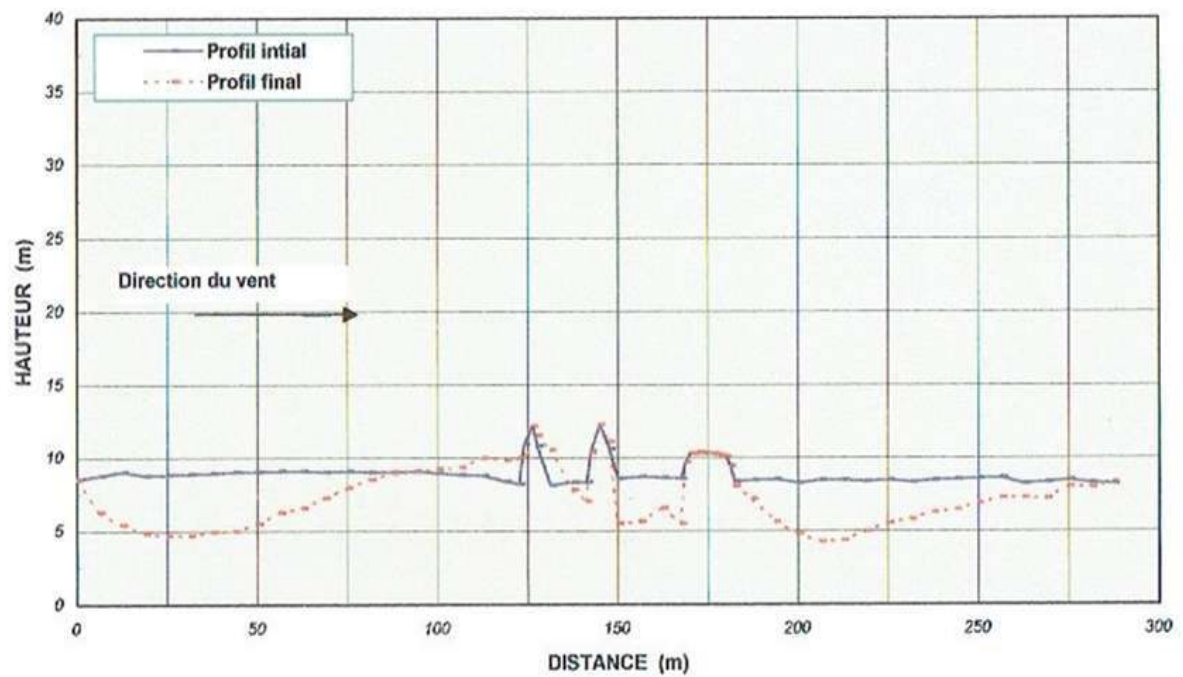


Figure 14. Résultats de la troisième série des tests. L'efficacité de l'implantation de deux Drâas placées parallèlement à la chaussée.



Figure (14a). Sur modèle réduit. L'efficacité de l'implantation de deux Drâas placées parallèlement à la chaussée, une quantité de sable est piégée par le Drâas.

Tableau 11. Résultats de la troisième série. Cette série a été conçue en modifiant à chaque fois l'inclinaison du drâa par rapport à la chaussée. Les angles (α) testés sont de (45°, 30°, 20°) par rapport à la parallèle de la route. D = distance sur laquelle s'effectue le dépôt ou l'érosion. Z = indique la hauteur du dépôt ou la profondeur de l'érosion. (-) = indique une érosion. (+) = indique une accumulation ou un dépôt. V = vitesse du vent en m/s. H = hauteur de la chaussée en (m). h = hauteur de l'obstacle (drâa) en (m). d = distance séparant l'axe de la chaussée à l'axe du drâa. I = pente des accotements. α = l'inclinaison du drâa par rapport à la chaussée. L₁ = longueur. L₂ = largeur.

D, Z m V m/s	Partie face au vent					Entre le drâa et la chaussée			Partie sous vent				
	D1	Z1	D2	Z2	Observations	D1	Z1	Observations	D1	Z1	D2	Z2	Observations
Variante B H = 2m h = 3.75 d = 30m I = 2/3 $\alpha = 45^\circ$													
V1 = 5.09	34	-1.5	61	+2.2	Dépôt de 2.2 m de hauteur à 84 m environ de l'axe du drâa.	16	-3.5	Erosion entre la chaussée et le drâa.	34	-1.6	95	+1.0	• Erosion au pied de la chaussée.
V2 = 11.57	114	-3.0	80	+2.0	Erosion suivie d'un dépôt à l'amont du drâa.	16	-3.0	Erosion entre la chaussée et le drâa.	114	-4.0	34	+1.0	• Dépôt près de l'obstacle de +1.0m de hauteur. Erosion au pied de la chaussée suivie d'un dépôt.
	D1	Z1	D2	Z2	Observations	D1	Z1	Observations	D1	Z1	D2	Z2	Observations
Variante B1 H = 2m h = 3.75 d = 30m I = 2/3 $\alpha = 30^\circ$													
V1 = 5.09	50	+2.5	-	-	Formation d'une dune à 92m environ à l'amont du drâa.	16	-2.8	Erosion entre le drâa et la chaussée.	11	-2.0	95	+0.8	Erosion et dépôt à l'aval de la chaussée.
V2 = 11.57	55	-2.0	84	+2.0	Erosion à l'amont du drâa. Dépôt près du drâa.	19	-2.8	Erosion entre le drâa et la chaussée.	71	-2.3	32	+0.8	Erosion au pied de la chaussée. Petit amas loin de la l'axe de la chaussée.
	D1	Z1	D2	Z2	Observations	D1	Z1	Observations	D1	Z1	D2	Z2	Observations
Variante B2 H = 2m h = 3.75 d = 30m I = 2/3 $\alpha = 20^\circ$													
V1 = 5.09	43	+2.8	-	-	Formation d'une dune à 95m à l'amont du drâa.	16	-3.0	Erosion entre la chaussée et le drâa.	17	-1.7	75	+1.0	Erosion et dépôt dans la partie sous vent.
V2 = 11.57	87	-3.7	54	1.5	Erosion et dépôt dans la partie face au vent. Dépôt de 1.5m environ près du drâa.	16	-2.3	Erosion entre la chaussée et le drâa.	71	-2.7	-	-	Erosion de partie sous vent.

	D1	Z1	D2	Z2	Observations	D1	Z1	D2	Z2	Observations	D1	Z1	D2	Z2	Observations					
Variante B3						H = 2m					h = 3.75					d = 40m		I = 2/3		α = 30°
V1 = 5.09	50	+1.6	-	-	Formation d'une dune à 75m environ à l'amont du drâa.	18	-2.7	8.0	+0.6	Erosion entre le drâa et la chaussée sur une distance de 18m environ. Dépôt au pied de la chaussée.	30	-2.0	75	+1.25	Erosion au pied de la chaussée. Dépôt distant de l'axe de la chaussée de 37m environ.					
V2 = 11.57	71	-3.0	50	+1.4	Erosion sur une distance de 71m environ. Dépôt près du drâa de 1.4m de hauteur.	28	-2.0			Erosion entre le drâa et la chaussée	67	-3.0	38	+0.8	Erosion au pied de la chaussée. Dépôt distant de l'axe de la chaussée de 80m environ.					
	Partie face au vent				Entre les deux drâas				Entre la chaussée et les drâas				Partie sous vent							
	D1	Z1	Observations		D1	Z1	Observations		D1	Z1	Observations		D1	Z1	D2	Z2	Observations			
Variante B4						H = 2m			h = 3.75		d = 30m		L ₁ = 16m		L ₂ = 9m		α = 30°			
V1 = 5.09	72	+1.5	Dépôt à 50m environ avant l'axe des drâas.		12	-1.0	Erosion entre les deux drâas.		12	+0.8	Dépôt au pied de la chaussée.		26	-2.8	40	+0.8	Erosion au pied de la chaussée. Petit amas loin de l'axe de la chaussée.			
V2 = 11.57	130	-3.5	Erosion de la partie face au vent.		18	-2.4	Erosion entre les deux drâas.		18	-2.4	Erosion entre la chaussée et les drâas.		18	-2.3	8.0	+2.8	Erosion au pied de la chaussée. Petit amas loin de l'axe de la chaussée suivi d'une érosion.			
	D1	Z1	Observations		D1	Z1	D2	Z2	Obsvts	D1	Z1	Observations		D1	Z1	D2	Z2	Observations		
Variante B5						H = 2m			h = 3.75		d ₁ = 30m		d ₂ = 20m		L ₁ = 16m		L ₂ = 9m			
V1 = 5.09	33	+2.4	Dépôt à 83m environ à l'amont des drâas.		10	-1.5	-	-	Erosion entre les deux drâas.	18	-3.0	Erosion entre la chaussée et les drâas.		20	-3.0	82	+0.95	Erosion et dépôt dans la partie sous vent.		
V2 = 11.57	85	-3.0	Erosion et dépôt à L'amont des drâas.		6	+2.4	7	-1	Erosion entre les deux drâas.	18	-2.5	Erosion entre la chaussée et les drâas.		100	-2.8	-	-	Erosion et dépôt dans la partie sous vent.		

II.4. Conclusion

Les Drâas sont des levés de sable éolien dressés selon le talus naturel d'éboulement, de formes oblongues stabilisées par des matériaux grossiers et/ou pierres déposées sur la crête le long du talus. Ces barrages artificiels sont disposés à une distance de 20 à 30m de la plate forme selon sa hauteur en un, deux ou plusieurs rangées orientées de manière à dévier le vent et à éviter l'accumulation de sable sur la chaussée. Les spécialistes chargés de la construction de ces Drâas savent calculer la place, l'orientation, le nombre et le volume de ces talus artificiels dont la surface est stabilisée par un revêtement de pierrailles gypseuses (**Voisin, 2004**).

Les variantes de la première série de test ont montré que la forme géométrique de la route joue un rôle déterminant et prépondérant dans le phénomène d'ensablement des routes. Dans l'intérêt de donner un profil en travers le plus aérodynamique possible, les zones de hauts remblais devront être limitées au maximum et les passages en déblais devront être limités au strict minimum. A l'issue de ces essais, il a été constaté qu'une route saharienne peut à elle seule jouer le rôle d'évacuateur de sable, si cette dernière présente une pente d'accotement de 1/5 dans un profil en remblai au lieu de 2/3 et 1/10 pour un profil en déblai. La distance optimale issue des essais s'étale sur un rayon de 50m environ par rapport à l'axe de la route.

L'étude de la deuxième série consiste en premier lieu à tester le rôle du Drâa comme étant un obstacle. L'effet d'un obstacle sur un fluide donne «naissance» à des convergences et à des divergences (cf figure 15). Le vent qui rencontre un obstacle le contourne par le haut pour redescendre derrière lui et reprendre sa route (**Mainguet & Remini, 2004**). Il se forme devant et derrière l'obstacle une masse d'air comprimé sur lequel glissent et s'accélèrent les filets d'air (**Sebaa et al., 2015**) :

- A l'avant, au point **A** appelé point d'arrêt ; l'aire amont de l'obstacle, la pression est maximale et la vitesse est faible ou nulle. Pour le cas d'une circulation éolienne, cette aire est le siège d'un dépôt sableux (**Mainguet & Rémini, 2004**).
- De **A** en **B**, les applications par Bernoulli de la loi de Boyle (selon laquelle, pour les fluides en mouvement, le produit de la pression par la vitesse est constant) donneront naissance au principe de Venturi. Ceci signifie pratiquement que, dans un courant d'air, à toute augmentation de la vitesse, correspond une baisse de la pression. Ainsi, des filets d'air

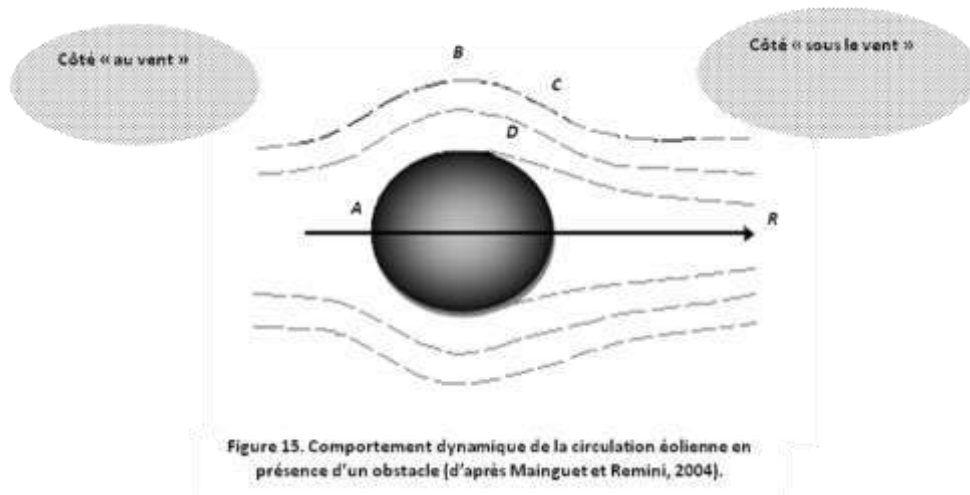
convergençs se comportent comme s'ils circulaient à travers un rétrécissement, avec un accroissement de la vitesse et une baisse de la pression. A l'inverse, lorsque ces mêmes filets d'air divergent, la pression s'accroît tandis que la vitesse décroît (**Mainguet & Remini 2004 ; Mainguet & Dumay, 2006**). Il peut paraître paradoxal que, dans la ligne du vent, la valeur de la pente des versants au vent d'un obstacle joue considérablement sur le transport éolien du sable. Sur le filet fluide de ABC, la pression décroît, la vitesse augmente et les filets d'air y rencontrent une masse d'air comprimé qui leur sert de rampe : ils escaladent l'obstacle, sur lequel ils se compriment et accélèrent. C'est une aire d'érosion et de transport, où la corrasion éolienne peut être active.

- Au-delà du point **B**, la pression augmente de nouveau et il en résulte une brusque diminution de la vitesse, les filets du fluide s'écartent de l'obstacle ; c'est l'aire de décollement (**Mainguet & Rémini, 2004**).

- Le point **D** appelé point de décollement au-delà duquel, la vitesse le long de la paroi est en sens contraire de l'écoulement. Les points de décollements forment sur la surface de la paroi une ligne de décollement (**Mainguet & Rémini, 2004**).

- A partir du point **D**, la couche limite se détache de la paroi en formant un sillage tourbillonnaire. Cette aire ne comporte pas un dépôt qu'à la limite externe de l'aire de sillage (**Mainguet & Rémini, 2004**).

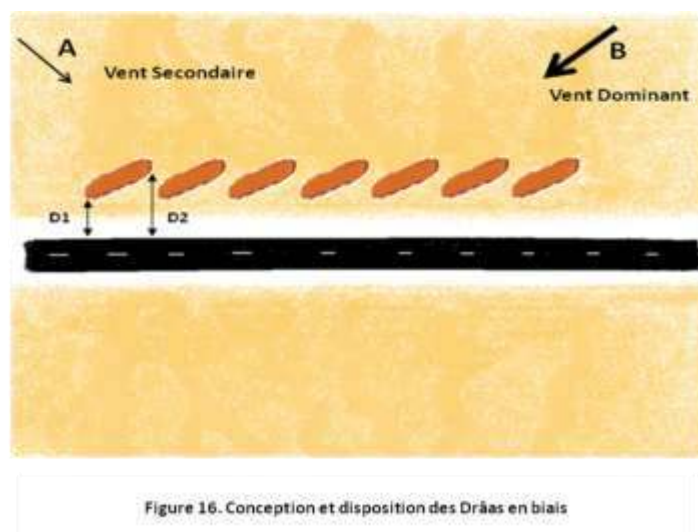
l'aval de l'aire du sillage, se situe le point de recollement qui constitue l'amorce de l'aire de dépôt potentiellement maximum. L'aire de recollement est riche en dépôt sableux, les vents de sable après avoir été déviés par les obstacles y retrouvent leur direction initiale (**Mainguet & Rémini, 2004**). L'issue des essais effectués en canal à courant pour les différentes variantes de la deuxième série (dimensions de la route avec obstacle), on remarque qu'une accumulation de sédiments s'effectue en amont du drâa pour la gamme de vitesse étudiée. Néanmoins une érosion apparaît entre le Drâa et la chaussée, ainsi que dans la partie sous vent.



L'inclinaison du Drâa par rapport à l'axe de la chaussée (45° , 30° , 20°) a provoqué une érosion entre la chaussée et le Drâa, ainsi que dans la partie sous-vent. Ceci peut-être interprété par :

- Le piégeage du sable par l'obstacle avant d'atteindre la chaussée
- Le désensablement de la chaussée puisqu'on assiste au dégarnissement de la partie avale.

L'implantation de deux Drâas en biais pour la gamme de vitesses testées, on observe un arrachement intense de sédiments, ce qui a provoqué une érosion importante dans la partie face au vent. Dans la partie sous-vent, une érosion s'est installée, accompagné par la formation de micro-dunes loin de l'axe de la route. Dans ce cas, les Drâas implantés en biais par rapport à la route jouent un double rôle préventif (Sebaa *et al.*, 2015)(cf. figure 16) :



1. Vis-à-vis des vents venant de la direction **A**, ils servent d'écran et de désensableur. Des dépôts se forment.

2. Vis-à-vis des vents venant de la direction **B**, ils jouent à la fois le rôle de canalisateurs et d'accélérateurs. Les vents enlèvent les dépôts précédents et passent au-dessus de la chaussée sans déposer. L'orientation optimum étant évidemment fonction de la rose des vents locaux, ayant une force supérieure à une valeur donnée. Les Drâas interviennent dans ce cas en tant que canalisateur et accélérateur du vent. Sous ce double effet, le vent se charge en sable au passage de la dune, l'érode et la repousse plus loin (**Remini, 2006**).

CHAPITRE III

Résultats des investigations sur le terrain

Chapitre III. Résultats des investigations sur le terrain

Dans le présent chapitre, nous présentons les principaux résultats des investigations sur le terrain, des entretiens avec les responsables, techniciens et experts fellahs ... ; qui montrent un assai d'innovation des techniques ancestrales de lutte contre l'ensablement des routes dans la région d'EL – Oued Souf.

III.1. La méthodologie

La méthode utilisée s'appuie sur des investigations sur le terrain confortées par des enquêtes et des entretiens auprès des paysans et des techniciens. Les enquêtes menées sont basées sur une approche participative à travers des Interviews Semi Structurées (**ISS**) ou questionnaires non standardisées, guidées d'une part par les objectifs visés et d'autre part à travers l'observation du terrain enquêté et l'avis de l'agriculteur (expert fellah) considéré comme acteur principal. Les interviews sont effectuées auprès des individus ou auprès de groupes de paysans (**Sebaa et al., 2015**).

Le modèle de diagnostic participatif se déroule en trois phases (cf. figure 17) :

a) Phase préparatoire

La réussite des investigations sur terrain nécessite au préalable une bonne préparation à savoir (**Kardous, 2005 ; Ezzeddine, 2006 ; Sebaa et al., 2015**):

- Il nous faut d'abord collecter et rassembler les données, et les informations à travers les publications scientifiques mais aussi celles des études et action menées par les services techniques et administratifs sur la question.
- Une analyse des données existantes quelle que soit son origine et de veiller à les localiser dans le temps et l'espace (plusieurs jeux de cartes, générales ou thématiques, à différentes échelles, des plans, des photographies aériennes et même des croquis sans échelles, rapports d'études, interviews de personnes ayant travaillé sur le site...etc.
- L'identification des questions clés en liaison avec les objectifs et l'élaboration du guide d'observation et d'entretien adapté à chaque zone et à chaque site pour bien saisir la problématique de l'ensablement et les solutions proposées.

b) Phase d'enquête sur le terrain

Les outils les plus utilisés dans la prospection sur le terrain sont les suivants :

- Interview Semi – Structurée

Pour découvrir ou comprendre la problématique de l'ensablement dans la région d'étude, L'Interview Semi – Structurée (ISS) est tout indiquée.

L'Interview Semi – Structurée accompagnée d'un guide d'observation et d'entretien est la méthode la plus appropriée. Plutôt que de se servir de questions préétablies, on utilise un guide qui répertorie les lignes essentielles autour des quelles portera l'entretien. Les questions sont formulées sur le lieu et au moment de l'entretien et leur ordre peut varier en fonction des circonstances (**sebaa et al., 2015**).

- Transect

Le transect est la prospection physique d'un terroir, en suivant un parcours bien déterminé pour découvrir la diversité du milieu et mieux comprendre les problèmes, leurs causes et leurs effets. L'idée est de sortir avec les grandes caractéristiques technico – économiques des principaux constituants de l'espace à enquêter pour s'entendre, sur les points à aborder avec les acteurs sur place, ainsi que sur les observations à faire : soit pour compléter les informations reçues de la part des personnes ressources qui en sont à l'origine, soit pour attirer l'attention sur de nouveaux éléments auxquels on n'y avait pas pensé avant d'être sur place.

c) Restitution des résultats

La restitution et le dépouillement des données collectées après les travaux d'enquêtes, d'observation et d'exploitation documentaire de chaque zone inventoriée renseignent sur les aspects relatifs aux connaissances des procédés (méthodes) de lutte appliquées contre l'ensablement dans telle ou telle région.

Approche Méthodologique

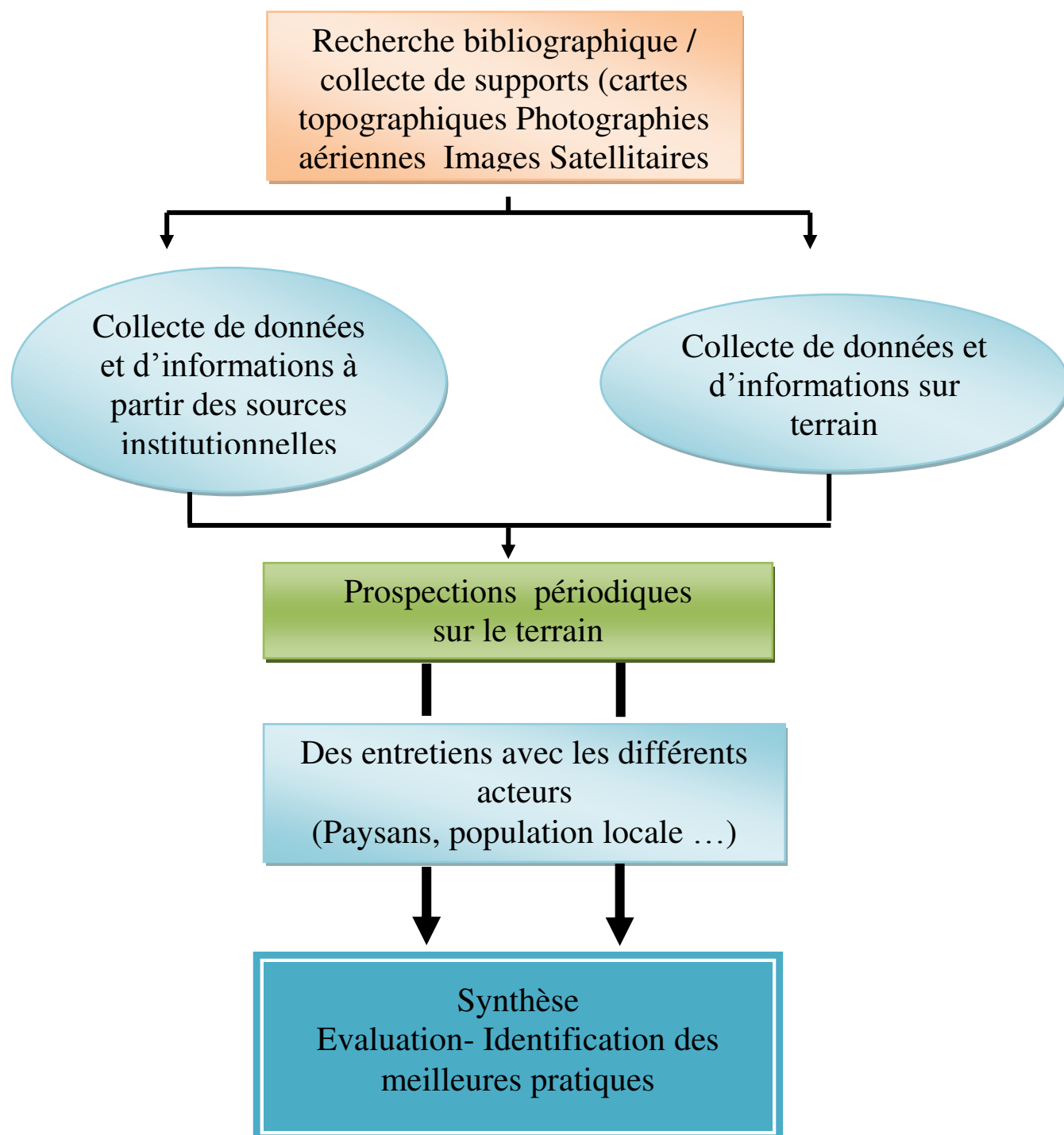


Figure 17. Le modèle de diagnostic participatif (investigations sur le terrain) (d'après Sebaa, 2015).

III.2. Les principaux résultats obtenus

Des essais sur terrain de ce type Drâas ont données des résultats très satisfaisants peuvent être cités témoignant de cette compréhension :

a) Drâas déposés perpendiculairement à la direction du vent dominant (vent monodirectionnel)

Dans le Sud-est Algérien, les oasiens utilisent dans le cas des petites dunes (dune isolée et peu volumineuse), des tas de remblais de 3 m de hauteur (H), de 14 à 16 m de longueur (L) et 3 à 6 m de largeur, avec une forme trapézoïdale pour accroître la vitesse du vent aux abords immédiats de la chaussée (Sebaa et al., 2009). Ces obstacles sont déposés le long de la crête des dunes à faire disparaître.

Le dispositif appliqué est basé essentiellement sur le vide ou l'espace laissé entre les tas de remblais (V1) et (V2). (Une discontinuité entre les tas de remblais) qui sont opposés au vent dominant (Dispositif en chicane). V1 = variant de 3 à 4m et V2 = variant de 14 à 16m. (Sebaa et al., 2015) (cf. figure 18).

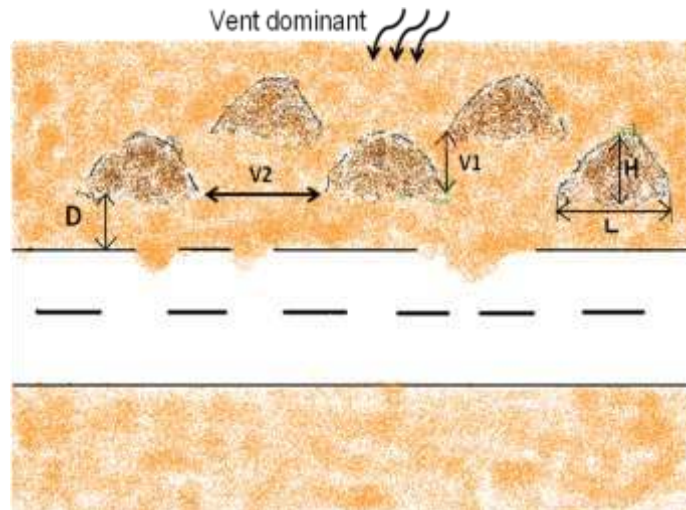


Figure 18. Conception et disposition des *Drâas* en chicane. (L) longueur du tas de remblai ; (H) hauteur du tas de remblai ; (D) distance à respecter entre le tas de remblai et la route à protéger ; (V1) l'espace de vide laissé entre le tas de remblai devant et derrière ; (V2) vide entre deux tas de remblai (d'après Sebaa et al., 2015).

Les Drâas sont disposés à une distance (D) de 10 à 15m de la plate forme. Sa hauteur est de l'ordre de 3m, sa longueur (L) est variable de l'ordre de 14 à 16m.

Lorsque le vent érosif souffle, les turbulences se créent au niveau de chaque Drâa créant à une distance égale à 2 fois la hauteur de l'obstacle (on dit «2h») et sur une profondeur de 5h, une zone tourbillonnaire plus desséchante que le vent normal (**Mainguet & Remini, 2004**). Des mesures montrent que le vent s'engouffre avec une vitesse de 5m/s et qu'il ressort avec une vitesse au sol de 9m/s. De ce fait le sable ne se dépose pas mais transite. Un affouillement éolien se produit à la base de chaque tas de remblais qui tend ainsi à descendre. D'autre part, entre les trois tas de remblais, il se crée un effet de «sifflet» se traduisant encore par une accélération de la vitesse du vent et de son énergie cinétique (**Mainguet & Remini, 2004 ; Kardous, 2005 ; Makhoul et al., 2012**). Sous l'effet de ces deux actions, la dune soumise à ce traitement diminue progressivement de volume et finit par laisser les Drâas sur place (**Sebaa et al., 2015**).

La figure 19 montre l'efficacité de la technique du tas de remblais qui sont déposés perpendiculairement à la direction du vent dominant.



Figure 19. L'efficacité des Drâas en chicane appliqués sur la route nationale RN3 (Touggourt-Ouargla) (d'après Sebaa, 2015).

b) L'implantation des Drâas en biais par rapport à la route (vent monodirectionnel)

C'est le principe du Venturi, testée dans le Sud-est Algérien, consiste à construire, aux abords immédiats des infrastructures, un ouvrage en dur suivant un plan incliné et de forme trapézoïdale pour accroître la vitesse du vent aux abords immédiats de la chaussée (FAO, 1988 ; Sebaa *et al.*, 2015).

Un exemple concret de l'efficacité de cette technique est appliquée par les services de travaux publics sur la route Touggourt _ Djelfa est montré dans la Figure ci – dessous (cf. Figure 20).



Figure 20. L'efficacité des Drâas implantés en biais sur la route Touggourt-Djelfa (d'après Sebaa et al., 2015).

c) Drâas déposés perpendiculairement à la direction du vent dominant (vent bidirectionnel)

Sous un régime du vent bidirectionnel, le sable peut être évacué par accroissement de la vitesse du vent par une orientation systématique des Drâas de chaque côté de la chaussée. (cf. figure 21).

Le dispositif du tas de remblais qui déposé perpendiculairement au vent dominant au côté droit de la chaussée. Sur L'autre côté le même dispositif est appliqué en parallèle au côté gauche de la chaussée de sorte que le dispositif facilite la circulation du sable (FAO, 1988 ; Sebaa *et al.*, 2015).

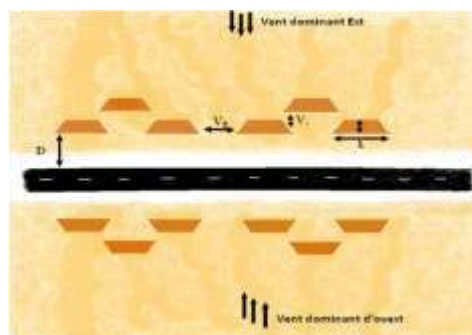


Figure 21. Conception et disposition des Drâas en chicane sous un régime du vent bidirectionnel (d'après Sebaa et al., 2015).

Un exemple concret de ce type de dispositif est appliqué sur la route Touggourt-Djelfa (cf. figure 22).



Figure. 22. Drâas en chicane sous un régime du vent bidirectionnel (Touggourt-Djelfa) (d'après Sebaa, 2015).

d) Méthodes des cônes «EL METHANA» pour évacuer le sable grâce à l'énergie éolienne (cas des grosses dunes)

Une méthode très efficace appliquée sur la route nationale RN16 (Touggourt- Oued Souf) qui a le même principe que les techniques précédentes. (cf. figure 23).

Pour les grosses dunes, la pose traditionnelle, sur la crête de chaque édifice dunaire (Sif), en amont du vent des gros tas de remblais, pointus sous forme de cônes en amont du site à protéger. Les tas de remblais sous forme de cônes créent avec le vent et autour d'elle des turbulences. Ces turbulences augmentent ponctuellement la vitesse du vent et son énergie cinétique lui permettant de transporter plus loin le sable remis en mouvement. Un affouillement éolien se produit à la base de chaque cône qui tend ainsi à descendre simultanément au fur et à mesure que diminue le niveau de la crête de la dune (**FAO, 1988, Sebaa et al., 2015**).

La vitesse du vent est augmentée aussi par l'ajout des Drâas suivant un plan incliné et de forme trapézoïdale aux abords immédiats de la chaussée. Les grosses dunes ou dune linéaire Sif qui s'érodent dans leur partie supérieure diminuent progressivement jusqu'à disparaître complètement.

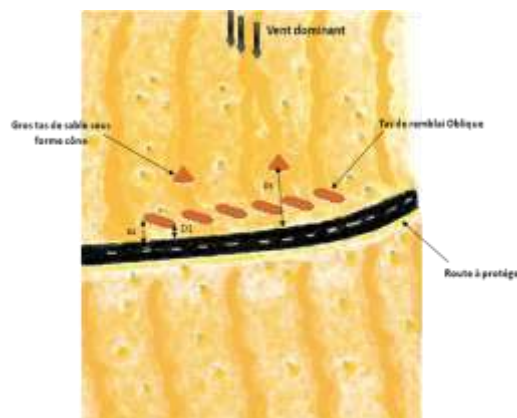


Figure 23. Conception et disposition de la méthode des cônes (d'après Sebaa et al., 2015).

Un exemple concret de ce dispositif est adopté par les services de travaux public et les expert Fellaha sur la route nationale RN16 Touggourt _ Oued Souf au point kilométrique (PK 617 + 500), montre l'efficacité de cette technique, la zone à protéger est complètement désensablé (cf. figure 24).



Figure 24.L'efficacité de la méthode des cônes sur la route nationale RN 16 (Touggourt vers El Oued Souf) (d'après Sebaa et al., 2015).

e) Dispositif des Drâas qui modifie la vitesse du vent et sa direction

Ce type de désensablement est basé sur l'effet aérodynamique des modifications de la vitesse du vent et de sa direction (dévier la progression du sable dans une autre direction que celle du vent dominant. (cf. figure 25).

- Pour empêcher l'ensablement, la création de dunes artificielles au vent de l'infrastructure à protéger est préconisée. Cette méthode suppose des Drâas perpendiculaires en amont – vent dominant, à 200 mètres au moins de la structure à protéger et non immédiatement (D) **(FAO, 1988).**

- Le dispositif est formé à partir de plusieurs Drâas (de 2 à 4) successifs orientés perpendiculairement à la direction du vent dominant, de sorte qu'elle coupe l'édifice dunaire complètement. La distance entre les Drâas successifs est au-dessus de trente mètres (d) **(Sebaa et al., 2015).**

- Le vide compris entre les tas de remblais (V) favorise le déplacement du sable par la force éolienne dans une autre direction que celle du vent dominant.

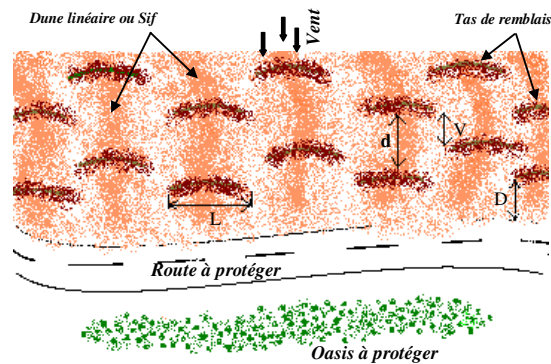


Figure 25. Conception et disposition des Drâas successifs pour dévier la progression du sable dans une autre direction que celle du vent dominant. (D) distance à respecter entre les tas de remblais et la zone à protéger ; (V) l'espace de vide laissé entre les tas de remblais ; (d) distance entre deux tas de remblais successifs ; (L) longueur du tas de remblais (d'après Sebaa et al., 2015).

Le dispositif ci-dessus peut s'appliquer pour le désensablement des tronçons de route et oasis menacée en même temps (cf. figure 26).



Figure 26. Des trains barkhaniques provoquant l'ensablement et causant des dégâts importants sur les oasis et la route (cas d'EL Goug-Temacine. W Ouargla) (d'après Sebaa, 2010).

Les modèles de stabilisation mécanique des dunes mis en place (Drâas), demeurent encore intact et confirme une fois de plus leur efficacité, face à l'agressivité de l'action des vents violents. Toutefois, des innovations techniques basées sur un affinement des connaissances relatives à la dynamique des vents et des sols mobiles doivent être apportées aux systèmes ancestraux pour augmenter et améliorer leur efficacité (Oulhadj 2015 ; Sebaa *et al.*, 2015).

CHAPITRE IV
Expérimentation in situ à Adrar en collaboration avec le
Ministère des Travaux Publics

Chapitre IV. Expérimentation In situ à Adrar en collaboration avec le Ministère des Travaux Publics

IV.1. Expérimentation In situ N° 1 : L'efficacité des murs antisables "Drâas" installés in situ sur une dune vive de tronçon routière RN 51A (Daïra de Charouine. Wilaya d'Adrar)

Le Ministère des Travaux Publics a valorisé la technique classique dite "Drâa", l'expérience menée en matière de lutte contre l'ensablement sur la RN-51, sur le territoire des communes de Timimoune et Charouine (**DK News, 2016**). Le principe de cette technique, confortée par des recherches menées par le Centre de Recherche Scientifiques et Techniques sur les Régions Arides (CRSTRA), repose sur la protection des chaussées par des petits barrages fait en matériaux lourds, appelées à briser les courant de vents chargés de sables et éviter leur entassement sur la route et les points noirs qu'elle engendrent sur le réseau routier ou les voies ferrées.

IV.1.1. Présentation de la région d'étude

1. Introduction

Les oasis du Touat-Gourara-Tidikelt sont implantées sur les bordures nord-ouest, ouest et sud du plateau du Tademaït, sur les affleurements du Continental intercalaire. Cet ensemble régional couvre un cinquième du Sahara algérien et près d'un sixième du territoire national, soit, selon leurs limites administratives, 436, 272 km² (**Otmane, 2010 ; Sebaa et al., 2015**). Cette région qui occupe la quasi-totalité du Sud-ouest du Sahara Algérien s'étale jusqu'aux confins de L'Erg Oriental à l'est, couvre en grande partie L'Erg Occidental au nord et s'ouvre sur un immense reg au sud, le Tanezrouft. La vie en agglomération, Ksourienne, est une caractéristique de ce peuplement. Le système hydraulique est fondé au Touat-Gourara-Tidikelt sur une technique complexe et originale, celle de la foggara. Il s'agit d'une galerie souterraine permettant de drainer l'eau du sous-sol et de l'amener par gravité jusqu'à la surface d'une dépression, où peut être installée une oasis. A ce système hydraulique (foggara) s'associe un système de lutte contre les méfaits de l'ensablement, qui lui aussi dénote une forte capacité d'organisation du travail et un savoir-faire incontestable. Pour survivre dans un milieu implacable, les agriculteurs oasiens du Touat-Gourara-Tidikelt ont développé des techniques ingénieuses et adaptées afin de minimiser les dégâts de l'ensablement, réalisation

de barrières connues localement sous le nom d'afreg. Pour éviter l'ensevelissement sous le sable des villages et leur terroir attenant, les habitants(du Sud-Ouest du Sahara Algérien) les ceignent toujours de haies de palmes sèches (jerid) grossièrement entre croisées, parfois tressées, jouant le rôle de brise-vent que l'on nomme «afreg» : l'accumulation de sable se produit au niveau de la haie, si bien que rapidement naît une dune qui épouse le tracé même de l'afreg ; à mesure que le sable s'accumule, la dune artificielle ainsi créée «dune-afreg» s'élève, finira par être totalement submergée par le sable. On en érige une nouvelle avec les mêmes matériaux. Il s'agira de suivre la crête de la première palissade et d'en confectionner une nouvelle identique à la première. Dès que la nouvelle palissade se trouvera sur le point d'être ensevelie à son tour, on procédera à son rehaussement par l'édification d'une troisième, et ainsi de suite jusqu'à ce que la dune artificielle atteigne son profil d'équilibre, protégeant du même coup très efficacement le jardin et l'habitat située sous le vent de cette dune (**FAO, 1988 ; Kebaili & Moudjahed, 2010 ; Ouljadj ; 2015**). Dans certains cas où le positionnement de l'afreg est trop proche du site à protéger (oasis, route), celui-ci peut même avoir un effet inverse et menacer le site qu'on se propose de protéger. C'est pourquoi l'afreg est toujours fixé à une certaine distance du terroir à protéger (**Sebaa *et al.*, 2015**).

La Daïra de Charouine qui fait partie de la wilaya d'Adrar couvre plus de 10.000 km². Elle englobe trois communes, celle de charouine, celle de Talmine et enfin celle d'Ouled Aissa. Sa principale caractéristique concerne son site en plein au niveau de l'Erg Occidental. Les implantations humaines dans ces trois communes sont répartir au niveau de plusieurs Ksours (37 Ksour) plus ou moins touchés par le phénomène de l'ensablement en fonction de leur position par rapport à l'océan de sable qu'est l'Erg Occidental.

De part ses situations géographique très délicates, le vent met en mouvement d'importantes quantités de sable qui encombrant les infrastructures socio – économiques et particulièrement les routes qui constituent un moyen de communication vital pour cette région (**Oulhadj, 2015**). Plusieurs tronçons de routes seraient alors affectés et nécessiteraient par conséquent des interventions de désensablement et de remise en état fréquentes et souvent très urgentes (cf. figure 27). De ce fait le problème de désensablement a toujours été l'une des principales préoccupations de secteur des travaux publics. Face à ce phénomène, de gros efforts sont déployés et d'importants travaux (technique de la palissade (Afreg), mulching et le désensablement), sont utilisés par les acteurs du secteur en vue de lutter efficacement contre le processus. Des interventions de désensablement et de remise en état très fréquentes et même

parfois de façon urgente nécessitent des moyens matériels et humains importants. Il est entendu que ces travaux mobilisent des moyens financiers très importants liés aux désensablements des routes. D'autant plus que ce phénomène ne constitue pas seulement une gêne pour le trafic routier, mais il est aussi à l'origine de nombreux et graves accidents de la circulation, particulièrement en période de grande mouvance des sables (Sebaa *et al.*, 2009 ; Oulhadj, 2015 ; Sebaa *et al.*, 2015)). Mais toutes ces techniques sont rapidement submergées par l'arrivée de dunes mobiles.

Cette situation récurrente a incité les experts à chercher des moyens autres que les machines afin d'enrayer cette invasion dunaire ou du moins en limiter les dégâts. Parmi les acquis et l'expérience capitalisés dans le domaine de la lutte contre l'ensablement, Drâas a retenu notre attention.

L'objectif de cette étude est de tester l'efficacité de la technique "Drâas" installés in-situ sur une dune vive de tronçon routière Cherouine vers Timimoune (RN 51A, PK15+400 – Pk14 sur une longueur de 1400 m et sur une largeur de 30 m) sur le flux des sédiments éoliens et le désensablement de la chaussée (expérimentation In situ N°1 de 11 Janvier 2016 au 05 Février 2016).

Expérimentation In situ N °2 de 12 Mars 2016 au 27 Mars 2016 : Murs antisables "Drâas" installés in situ sur des dunes barkhanes qui traversent chemin de Wilaya CW2, de PK 16 vers PK 18 (Commune d'Akabli, Daïra d'Aoulef, Wilaya d'Adrar).

2. Les grands traits morphologiques

Située à l'ouest de Timimoune la région correspondant au territoire de la Daïra de Charouine se présente sous la forme d'un quadrilatère allongé du Nord-est au Sud-ouest sur plus de 60km et d'est en ouest sur 40km environ. Ce vaste ensemble se compose en fait de trois unités topographiques disposées suivant le même schéma. Il s'agit en fait de la Hamada, surface structurale, tendue culminant à des altitudes de 355m au nord et 300m au sud, et de dépression peu large inscrite dans cette hamada. Cette dépression connue sous le nom de Theirat signifiant plaine présente le même système de pente. Les altitudes déclinent du nord 354m au sud 316m.

Le passage de surface majeure à la dépression s'effectue par l'intermédiaire d'un talus présentant une corniche au sommet, correspondant selon le cas soit à un affleurement de banc dure soit à celui de la croûte siliceuse (**Otmene, 2010**).

Dans la partie occidentale et la partie centrale on retrouve des accumulations éoliennes assez importantes allongées elles aussi du Nord-est au Sud-ouest et correspondant à l'erg. Sur le plan typologique ces constructions éoliennes correspondent à plusieurs types allant de la barkhane isolée au train de barkhane impressionnant, donnant au paysage l'aspect d'un océan de sable. Sur le plan topographique pas moins de trois sites ont pu être identifiés, le premier correspond à des zones planes, appelées localement "Theirat" localisées entre les systèmes d'erg, et balayés par le vent dont la direction principale reste le NE-SW. Le second site correspond à des dépressions aménagées dans la topographie hamadienne et qui sont dominées de nos jours par des talus de 15 à 20m, enfin le dernier site, le plus féérique pour nous peut être est sans contexte le domaine de l'erg, véritable océan de sable (**Otmene, 2010**).

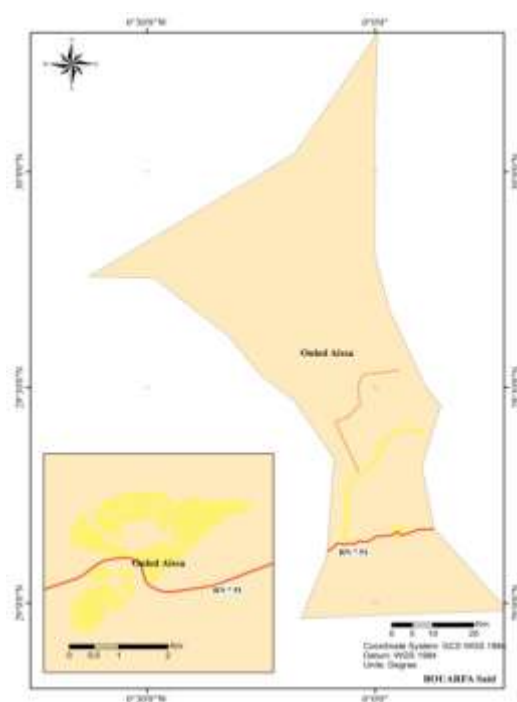


Figure 27. Présentation de la zone d'étude (tronçon routière RN 51A, de PK 14 vers PK 15 + 400 Charouine vers Timimoune (d'après Bouarfa, 2016).

IV.1.2. Matériels et méthodes

La lutte contre l'ensablement des routes mobilise en permanence de nombreuses équipes d'ouvriers et un important parc d'engins, car le sable menace toujours les routes rendant chaque jour difficile la vie des populations. (Sebaa et al., (2015) démontrent qu'il y a un budget très important est octroyé pour désenclaver les régions du sud Algérien par la réalisation de routes, mais ces infrastructures restent menacées par le phénomène d'ensablement provoqué par la conjugaison des vents forts, l'aridité du sol, l'absence de couverture végétale, accentuée par la rareté de la pluviométrie, notamment dans notre cas le tronçon routiers : la RN 51A (PK15 – PK14) (cf. figure 28,29 et 30).



Figure 28. Site expérimentale (La section ensablée) : Route Nationale RN 51A (PK 15 + 400 – PK14), de Cherouine vers Timimoune (d'après Sebaa, 2016)



Figure 29. Vue générale de la section ensablée (RN 51A, PK15 – PK14) avant l'installation de dispositif (d'après Sebaa, 2016).



Figure 30. Risque d'ensablement sur la route Charouine vers Timimoune (RN 51A, PK 15 – PK14) (d'après Sebaa, 2016)

La démarche suivie pour la réalisation de ce travail repose sur deux phases. La première réalisée entièrement sur terrain à l'issue de missions de prospection nous a permis dans un premier stade de prendre contact avec les différentes autorités locales, Monsieur le Directeur des travaux publics et Monsieur le Chef de Daïra et les Présidents et/ou Secrétaires Généraux des APC et ce pour nous imprégner des réalités du milieu et de cerner les difficultés rencontrés. Des contacts ont été établis avec les populations lors de nos sorties sur terrain pour avoir leur point de vue sur le problème (cf. figure 31, 32 et 33).



Figure 31. Réunion de travail, le 13 janvier 2016 avec les Chefs services et les subdivisionnaires des travaux publics de la région d'Adrar (d'après Sebaa, 2016).



Figure 32. Visite réservée à Monsieur le Chef de Daïra d'Aoulef à qui nous avons exposé le but de notre visite, les objectifs, la méthodologie et la technique préconisés pour lutter efficacement contre l'ensablement des routes (le 18.01.2016) (d'après Sebaa, 2016).



Figure 33. En dehors des autorités locales, nous avons rencontré lors de nos sorties sur terrain la population au niveau des sites visités (d'après Sebaa, 2016)

Dans un deuxième stade, nous nous sommes livrés à un travail technique de levés sur terrain pour apprécier le phénomène d'ensablement, d'en comprendre les mécanismes et d'entrevoir les méthodes à mettre en place.

IV.1.3. Type de traitement

Dans la section ensablée Cherouine vers Timimoune (RN 51A, PK 15- PK 14), la technique des Drâas déposés perpendiculairement à la direction du vent dominant à été retenue en fonction des directions des vents dominants (cf. figure 34). Les murs-antisables et/ou Drâas sont largement utilisés au Bas-Sahara Algérien, en raison de leur coût relativement bas, de leur acquisition facile et de leur montage simple. Ils ont fait leurs preuves lors de nombreux travaux de lutte contre l'ensablement des routes.

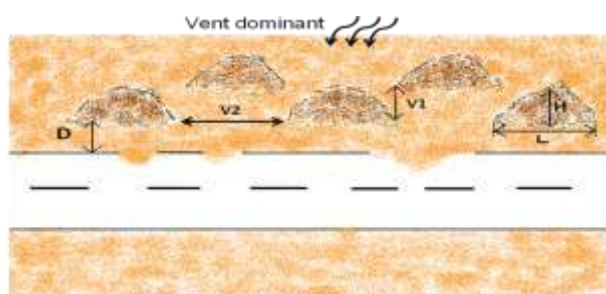


Figure 34. Drâas déposés perpendiculairement à la direction du vent dominant (d'après Sebaa et al., 2015)

Comme matériaux de stabilisation, la surface est stabilisée par des matériaux grossiers se trouve sur le lieu d'expérimentation (cf. figure 35). Cette méthode s'est avérée beaucoup plus rapide et moins onéreuse que celle des palissades (afreg).



Figure 35. Matériaux grossiers qui composent les drâas se trouvent sur le lieu d'expérimentation in situ (à 100 m de distance) (d'après Sebaa, 2016).

La pose des matériaux grossiers se fait en respectant la perméabilité des Drâas, Le dispositif appliqué est basé essentiellement sur le vide ou l'espace laissé entre les tas de remblais (V1) et (V2). (Une discontinuité entre les tas de remblais) qui sont opposés au vent dominant (Dispositif en chicane). V1 = variant de 3 à 4m et V2 = variant de 14 à 16m.

Les Drâas sont disposés à une distance (D) de 10 à 15m de la plate forme. Sa hauteur est de l'ordre de 3m, sa longueur (L) est variable de l'ordre de 14 à 16m (cf. figure 36, 37, 38 et 39).

Figure 36. Pose des matériaux grossiers le site du travail (d'après Sebaa, 2016).



Figure 37. Installation des Drâas sur la dune (d'après Sebaa, 2016).



Figure 38. Vue générale d'une zone stabilisée mécaniquement par la technique des Drâas à Adrar (d'après Sebaa, 2016).



Figure a



Figure b



Figure c



Figure 39 (a, b, c). Le site expérimental stabilisé mécaniquement par la technique des Drâas le Samedi 30 Janvier 2016 (d'après Sebaa, 2016).

IV.1.4. Suivi du comportement de ces planches d'essais

Le but de cette étude est de mesurer les flux éoliens réels et/ou les flux sédimentaires éoliens sur le terrain avec *des pièges à sédiments* sur des sites choisies. Afin d'estimer le volume du transport éolien en saltation (**Catherine & Ruz, 2002**).

a) Méthode de pièges à sables :

L'érosion éolienne a été caractérisée par le flux horizontal et/ou les flux de saltation exprimé en Kg.m^{-1} par événement. Ce flux désigne la masse de particules traversant au cours d'un événement érosif une surface verticale, perpendiculaire au sens de l'écoulement du vent, de hauteur infinie et de largeur unité (**Kardous, 2005**). Il a été mesuré par des pièges à sables. Une large gamme des modèles des pièges à sables pour collecter les sédiments est actuellement en cours d'utilisation par les chercheurs dans le monde (BSNE, POLCA, MWAC, SUSTRA, Saltiphone, Sartorius, Piège-Owens, Piège-Plateau, Piège de Leatherman 1978). Le principe commun entre ces nombreux appareils est d'assurer le piégeage des particules transportées au sein de collecteurs et de laisser le vent sortir.

Le principe de la mesure consiste à piéger, en un même point de mesure, le sable transporté en saltation à différentes hauteurs. Les masses de sables collectées après chaque événement érosif permettent d'ajuster une équation représentant la densité de flux en fonction de la hauteur. Le flux horizontal est obtenu en intégrant cette équation sur la hauteur à chaque mât de mesure (**Kardous, 2005**).

- Pour estimer les flux de sédiments éoliens en équilibre avec un état de surface donné (situation où le vent a atteint sa capacité de charge maximale en sédiments), différents modèles ont été proposés (**Bagnold, 1941 ; Lettau et Lettau, 1978 ; Shao et Raupach, 1993 ; Marticorena et Bergametti, 1995**). Les paramètres de l'équation ont été calculés à partir du poids des sédiments piégés à différentes hauteurs par les capteurs. L'intégration de ce profil sur la hauteur de récolte des sédiments fournit le flux de masse en un point (**Seyni Seybou, 2006**). Les flux collectés par chaque étage sont enfermés dans des sacs plastiques étanches, séchés à l'étuve à 105°C pendant 24h, et pesés (**Cappucci & Pallottini, 2007**). Puis soumis à une analyse granulométrique afin de déterminer la taille moyenne du sédiment et un indice de tri (**Catherine & Ruz, 2002**).

b) Paramètres micro-météorologiques :

Pendant les campagnes de mesures sur le terrain. La vitesse du vent et sa direction ont été mesurées par une station météorologique automatique (**Rajot et al., 2009**) (se compose des appareils de mesures proprement dits et d'un système d'acquisition de données).

- Un Saltiphone, capteur de saltation qui enregistre les impacts des grains de sable sur un microphone, a permis de déterminer précisément la date et la durée de chaque événement érosif (**Rajot et al., 2009**).

c) Les relevés topographiques

Les relevés topographiques permettent de connaître l'évolution du milieu.

Les relevés topographiques en fournissant des profils dunaires ont pour objectif une Connaissance précise de la morphologie d'une zone d'étude. Ces relevés permettent et de calculer les bilans sédimentaires pour un site donné et ainsi d'appréhender les Caractéristiques et le fonctionnement d'un site (**Cappucci & Pallottini, 2007**).

Les relevés topographiques peuvent se baser sur différentes techniques, des moyens de mesures classiques : les levés au Tachéomètre, à la lunette de visée ; mais également des relevés au DGPS. Réalisation de profils topographiques et de modèles numériques de terrain (**Cappucci & Pallottini, 2007**).

La fréquence des relevés dépend du type d'étude et de suivi réalisé. Au minimum une fois par an, dans l'idéal à la fin de la période des tempêtes au mois de Février puis à la fin de la période d'engraissement fin juin (**Cappucci & Pallottini, 2007**).

d) La méthode des piquets

La méthode des piquets utilisée sur le terrain pour quantifier l'érosion éolienne. Ce réseau de piquets sert à quantifier les apports/pertes en sol (ensablement/érosion) exprimés en hauteur ou en masse et déterminés à partir de l'évolution naturelle du niveau de la surface du sol. Cette quantification est calculée sur la base du bilan des fluctuations du niveau du sol à partir d'un état initial pris comme origine (**Kardous, 2005**).

Pour l'étude et le suivi de l'érosion éolienne à l'intérieur des différents traitements, un réseau composé de piquets en fer rond a été mis en place (cf. figure 40).

L'analyse a concerné le suivi des quantités de sable transporté dans chaque traitement et l'évolution de la sensibilité de la surface du sol à l'érosion éolienne (cf. figure 41).

Figure a



Figure b

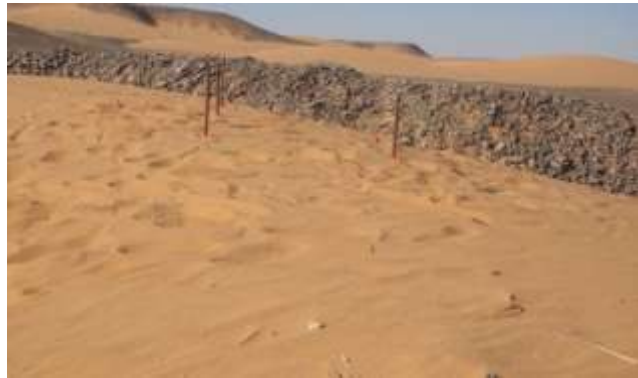


Figure c

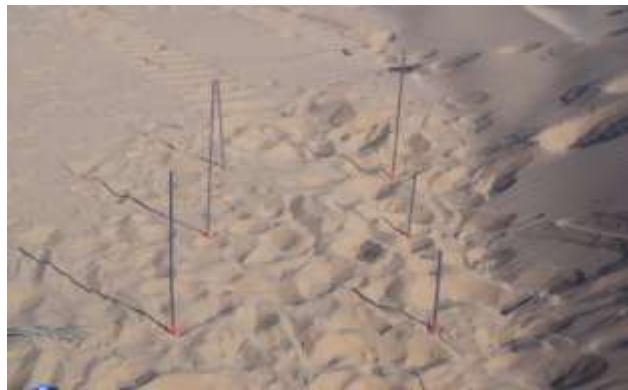


Figure 40 (a, b, c). Piquets installés sur le site expérimental le Samedi 30 janvier 2016 (d'après Sebaa, 2016).

Figure a



Figure b



Figure c



Figure 41 (a, b, c). Photos prises le 14 Novembre 2016, montre l'efficacité des Drâas à protéger la chaussée contre l'ensablement après une année des vents violents (d'après Sebaa, 2016).

IV.2. Expérimentation In situ N° 2 : L'efficacité des murs antisables "Drâas" installés in situ sur des barkhanes qui traversent chemin de Wilaya CW2, à 25 km de la commune d'Akabli, Daïra d'Aoulef, Wilaya d'Adrar (Algérie)

1. Introduction

C'est au cours de la visite dans la daïra d'Aoulef et ses communes, que nous avons eu l'occasion de découvrir que sur le plan infrastructures, rien ne manque, mais leur combat contre la nature et la difficulté de l'isolement fait que leurs conditions ne sont pas du tout similaires à celles des gens qui vivent tout près des institutions.

Akebli est une petite commune de 10 171 habitants, située à 1 851 km au sud de la capitale, à 308 km au sud-est du chef-lieu de wilaya et à 60 km de la daïra d'Aoulef. Un petit point de verdure cerné par des dunes de sable envahissantes. Il suffit de voir l'état de l'ancienne route, avalée par le sable, pour déduire que le quotidien des citoyens de cette petite commune est fait du combat permanent contre l'empiétement du sable. Malgré les clôtures en feuilles de palmier, que les habitants appellent afrag, et les grands efforts des travailleurs de la direction des travaux publics que nous avons trouvés à l'œuvre, la dune avance sans aucune retenue, essayant de bloquer ainsi l'unique chemin qui épargne à Akebli l'isolement. C'est au Kilomètre 32 de la RN52 que la direction des travaux publics a érigé une maison cantonnière, constituée d'un parc pour les véhicules de désensablement et une habitation pour les travailleurs de la chaussée afin de les rapprocher des zones à risques. Le coût de la réalisation est de 11 millions de DA.

2. Présentation de la zone d'étude

Akabli entourée par Tit et Aoulef est située à 41 km au sud-est d'Aoulef la plus grande ville aux alentours. Située à 204 mètres d'altitude, la ville d'Akabli a pour coordonnées géographiques latitude : 26° 42" nord longitude : 1° 22' 0" est (cf. figure 42).

3. Problématique

La fréquence des vents actifs, la pauvreté du couvert végétal et la présence de vastes champs dunaires sous forme barkhanes menacent d'ensablement pratiquement toutes les palmeraies et les routes. Pour rejoindre la commune d'Akabli, il n'y a qu'un seul chemin, à partir de route nationale RN52, il faut emprunter le CW2 sur près de 25 km (cf. figure 43, 44 et 45).

139Page



Figure (a)



Figure (b)

Figure 43 (a, b). Le site expérimental avant l'installation du dispositif, l'ancien route complètement ensablée par des dunes mobiles à Akabli, la longueur de la tracé est de l'ordre de $L = 2067\text{m}$ (d'après Sebaa, 2016).



Figure (c)



Figure (d)

Figure 44 (c, d). Le site expérimental avant l'installation du dispositif, barkhane résultante des vents efficaces, avec une hauteur peut atteindre 10 m, photo prise le 16/03/2016 (d'après Sebaa, 2016).



Figure (e)



Figure (f)

Figure 45 (e, f). Une série des chaines barkhaniques qui traversent le chemin de Wilaya Numéro 2, qui rejoindre la commune d'Akabli, photo prise le 16/03/2016 (d'après Sebaa, 2016).

4. Dispositif expérimental proposé à ce site :

Dispositif des Drâas qui modifie la vitesse du vent et sa direction : Ce type de désensablement est basé sur l'effet aérodynamique des modifications de la vitesse du vent et de sa direction (dévier la progression du sable dans une autre direction que celle du vent dominant).

Le dispositif est formé à partir de plusieurs Drâas (de 2 à 4) successifs orientés perpendiculairement à la direction du vent dominant (cf. figure 46). La pose traditionnelle, sur la crête de chaque édifice dunaire, en amont du vent des gros tas de remblais, pointus sous forme de cônes en amont du site à protéger.

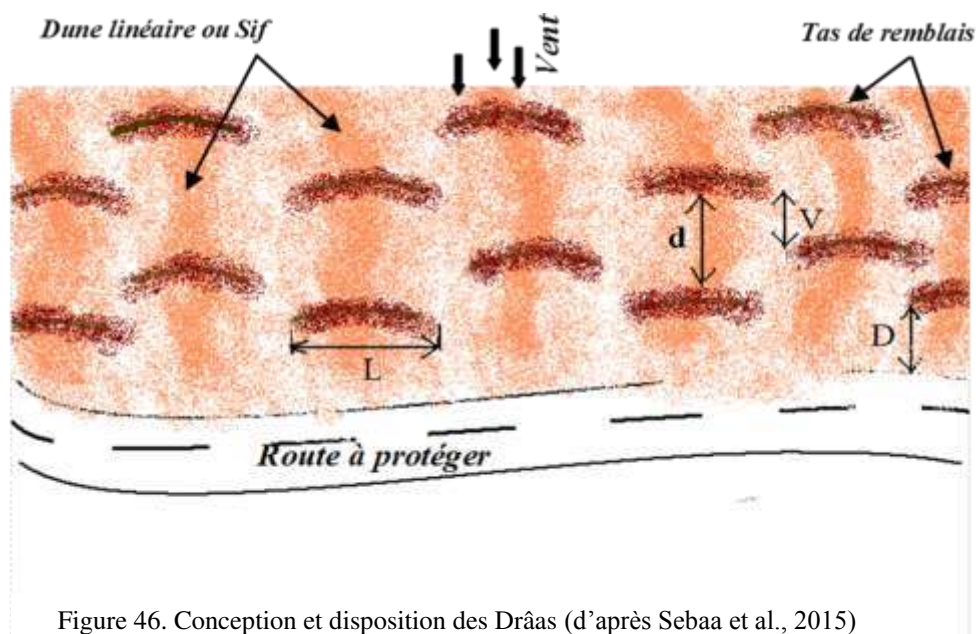


Figure 46. Conception et disposition des Drâas (d'après Sebaa et al., 2015)

5. Les résultats préliminaires de l'expérimentation In Situ à Adrar

L'expérience menée en matière de lutte contre l'ensablement sur la RN-51A, sur le territoire des communes de Timimoune à Cherouine, et le chemin de Wilaya CW 2 vers la commune d'Akabli montré leur efficacité après une année des vents violents. (cf. figure 47).



a) Avant : Photo prise **le 24 Mars 2016**, date d'installation de dispositif sur le chemin de Wilaya CW2 vers la commune d'Akabli. La longueur de la section n° 2 ensablée est de l'ordre de 304.8m.

a) Après 08 mois : Photo prise **le 15 Novembre 2016**, une année après l'installation de dispositif sur le chemin de Wilaya CW2 vers la commune d'Akabli. La longueur de la section n° 2 ensablée est de l'ordre de 304.8m.



b) Avant : Photo prise **le 24 Mars 2016**, date d'installation de dispositif sur le chemin de Wilaya CW2 vers la commune d'Akabli. La longueur de la section n° 2 ensablée est de l'ordre de 304.8m.

b) Après 08 mois : Photo prise **le 15 Novembre 2016**, une année après l'installation de dispositif sur le chemin de Wilaya CW2 vers la commune d'Akabli. La longueur de la section n° 2 ensablée est de l'ordre de 304.8m.



c) Avant : Photo prise **le 24 Mars 2016**, date d'installation de dispositif sur le Chemin de Wilaya CW2 vers la commune d'Akabli. La longueur de la section n° 2 ensablée est de l'ordre de 304.8m.

c) Après 08 mois: Photo prise **le 15 Novembre 2016**, une année après l'installation de dispositif sur le chemin de Wilaya CW2 vers la commune d'Akabli. La longueur de la section n° 2 ensablée est de l'ordre de 304.8m.

Figure 47 (a, b, c). Photos prises à des dates différentes à Akabli, Daïra d' Aoulef, Wilaya d'Adrar montre l'efficacité des Drâas à protéger la chaussée contre l'ensablement, après une année des vents violents (d'après Sebaa, 2016).

IV.3.Conclusion

La lutte contre les dunes a entraîné un changement total de stratégie. Il ne suffit plus d'arrêter une pellicule de sable en mouvement par saltation (chasse-sables), mais de détruire une topographie dunaire représentant des volumes de sable considérables. Parmi les méthodes la Technique des Drâas. Une technique écologique qui pourra généralisée aux autres régions dont les conditions naturelles présentent une similitude à celle d'Adrar. Le principe de cette technique, confortée par des recherches menées par les secteurs de l'Enseignement Supérieur (CRSTRA) et le secteur des travaux publics (MTP), repose sur la protection des chaussées par des monticules de matériaux grossiers de part et d'autres, appelées à briser les courant de vents chargés de sables et éviter ainsi leur entassement sur la route et les points noirs qu'elles engendrent sur le réseau routier ou les voies ferrées.

La méthode Drâas peut ainsi apporter une solution plus pratique que les palissades en palmes (afreg), mur Atalus, la colle Allemand et l'épandage d'hydrocarbures pour lutter contre l'ensablement des routes. Utilisant l'énergie du vent et des matériaux grossiers, elle ne nécessite pas de gros investissements et sa diffusion peut être assurée par des stages de 1 à 2 semaines, pour les responsables des chantiers. Elle pourrait donc facilement être développée dans tous les secteurs menacés par l'avancée des dunes dont le risque s'étendra au cours des prochaines décennies, avec le développement des installations humaines dans les régions arides et les régions en voie de désertification.

CHAPITRE V

Caractérisation granulométrique, morphoscopique et cortèges minéralogiques lourds des sédiments sableux superficiels au sein du Grand Erg Oriental (Algérie)

Chapitre V. Caractérisation granulométrique, morphoscopique et cortège minéralogiques lourds des sédiments sableux superficiels au sein du Grand Erg Oriental (Algérie)

1. Introduction

Les recherches menées dans les domaines de la géomorphologie et de la sédimentologie se fondent sur l'étude des sédiments minéraux. Après les travaux de terrain, les sédiments échantillonnés doivent être caractérisés par l'entremise de diverses analyses telles la granulométrie, la morphoscopie, la minéralogie et l'exoscopie des quartz. Les données informent sur l'origine des sédiments, sur les modes de transport et sur les modalités de mise en place. De ce fait, on peut reconstituer le ou les environnements dans lesquels ont évolués les sédiments **(LGS, 2016)**.

Les méthodes et techniques applicables aux sables sont variées et les informations qu'elles peuvent apporter sont d'ordres variés, elles aussi. L'analyse des courbes granulométriques (pente, étalement, asymétrie, position du mode et des points d'inflexion, taille maximale des grains) est l'une des méthodes les plus fréquemment utilisées pour déterminer l'agent de transport qui a permis le dépôt ou pour différencier des faciès sédimentaires **(Cailleux & Tricart, 1959 ; Visher, 1969 ; Vandenberghe, 1975 ; Torres *et al.*, 2005)**. Différents indices, calculés sur la base de centiles granulométrique (D_{99} , D_{84} , D_{50} , etc.), peuvent également fournir des informations sur les caractéristiques du processus de mise en place **(Folk, 1966 ; Blott & Pye, 2001)**. Les indices granulométrique obtenus par l'analyse granulométrique des sédiments détritiques ont souvent été utilisés comme critères de caractérisation des environnements de dépôt **(Friedman, 1961 ; Goldsmith, 1985 ; Hartmann, 1991 ; Arens, 1994, cité dans Belmedrek, 2005)**. Ils sont aussi utilisés pour distinguer les sables de différentes origines, sables dunaires, sables de plages, sables fluviaux.

La morphoscopie est une technique complémentaire de la granulométrie. **Cailleux (1959)**, a développé la morphoscopie qui consiste à trier les fractions granulométriques d'un échantillon sédimentaire puis à classer les grains par observation optique ($\times 5$ à $\times 80$) selon des critères de forme et d'aspect de surface, qui reflètent leur histoire et peuvent fournir des indices sur l'évolution des milieux et le mode de mise en place des sédiments.

L'analyse minéralogique a pour but d'identifier les espèces minérales et le niveau d'altération des minéraux afin de connaître l'origine des sédiments et de déduire les conditions de mise en place (**LGS, 2016**).

Afin de préciser l'origine, la nature, la composition des sédiments superficiels de sables prélevés aux cinq coins du Bas-Sahara Algérien, dans des régions géographiques diversifiées (Ouargla, Hassi-Massoud, Touggourt, Taïbet et Oued Souf) (cf. figure 48), nous avons fait appel à des analyses sédimentologiques basées sur la granulométrie, la morphoscopie des grains de quartz et l'analyse minéralogique.

L'étude sédimentologiques a été effectuée sur des sables bruts. Nous avons prélevé à la main 48 échantillons dans des sites choisis en tenant compte des zones les plus sensibles à l'ensablement (cf. tableau 16 en annexe).

Au laboratoire de Centre de Recherche Scientifique et technique sur les Régions Arides (CRSTRA), Station du Milieu Biophysique Nezla/Touggourt, les échantillons de sables récoltés ont fait l'objet d'analyse granulométriques et morphoscopiques. Les données granulométriques brutes, rassemblées dans des tableaux sous forme de fréquence élémentaire pour chaque fraction ($> 50 \mu\text{m}$) (cf. Annexe). Les poids des refus de tamis, après transformation en pourcentages pondéraux et en pourcentages pondéraux cumulés, sont utilisés pour le tracé des histogrammes de fréquence et les courbes cumulatives semi-logarithmiques. **Cailleux et Tricart (1959)** dénombrent trois types principaux de grains de quartz reflètent à des environnements différents : les grains Non-Usés (NU), les grains Emoussés-Louisants (EL) et les grains Ronds-Mats (RM). Les observations morphoscopiques sont effectuées à la loupe binoculaire. Des photographies numériques sont prises via une caméra reliée à l'ordinateur. Les résultats des comptages et des déterminations à la loupe binoculaire sont inscrit par colonne sur 03 fractions granulométriques ($500-315 \mu\text{m}$, $315-200 \mu\text{m}$ et $200-125 \mu\text{m}$).

Pour l'étude minéralogique, la séparation densimétrique, les opérations du montage de polissage et l'identification des minéraux ont été effectuées au Laboratoire de Recherche N°25, Promotion des Ressources Hydriques, Minières, Pédologiques Législation de l'Environnement et Choix Technologiques. Université de Tlemcen.

2. Cadre géologique de la zone d'étude

Le Grand Erg Oriental est presque deux fois plus grande que le Grand Erg Occidental. Environ neuf dixièmes de sa superficie sont en territoire Algérien, le reste en Tunisie. Il s'étend du Nord au Sud, d'El Oued et Touggourt, à Bordj Omar Idriss et Illizi, sur environ 600 km (**Bernezat, 2007**).

En Algérie, il est bordé, à l'Ouest par la dorsale du M'Zab, au Sud par les plateaux du Tadmait et de Tinghert et à l'Est par les plateaux du Dahar Tuniso-Libyen (**Rognon, 1994 cité dans Ballais, 2010**) (cf.figure 36). Ses bordures, de hauteur modeste, s'inclinent en pente douce vers la partie déprimée matérialisée par l'axe SSW-NNE des Oueds Mya et Righ. Vers le Nord au contraire, dressée au-dessus d'une dépression longitudinale occupée par des chotts et dont le fond est inférieur au niveau de la mer (**Drouiche, 2014**), une haute barrière composée des Monts des Ouled Naïl, de l'Aurès et des Nememecha en constitue la limite (**Nesson, 1975**) ; une énorme dépression, le Gassi Touil, le traverse, de Bordj Omar Idriss à Hassi Messaoud, formant un large couloir de communication qu'emprunte d'ailleurs une des grandes routes du Sud Algérien. Cette trouée dans la masse de l'Erg a été faite par l'Oued Igharghar qui drainait autre fois, vers le Nord, les eaux de tous les importants massifs qui occupent la partie centrale du Sahara (Tassilis et Monts du Hoggar) (**Bernezat, 2007**).

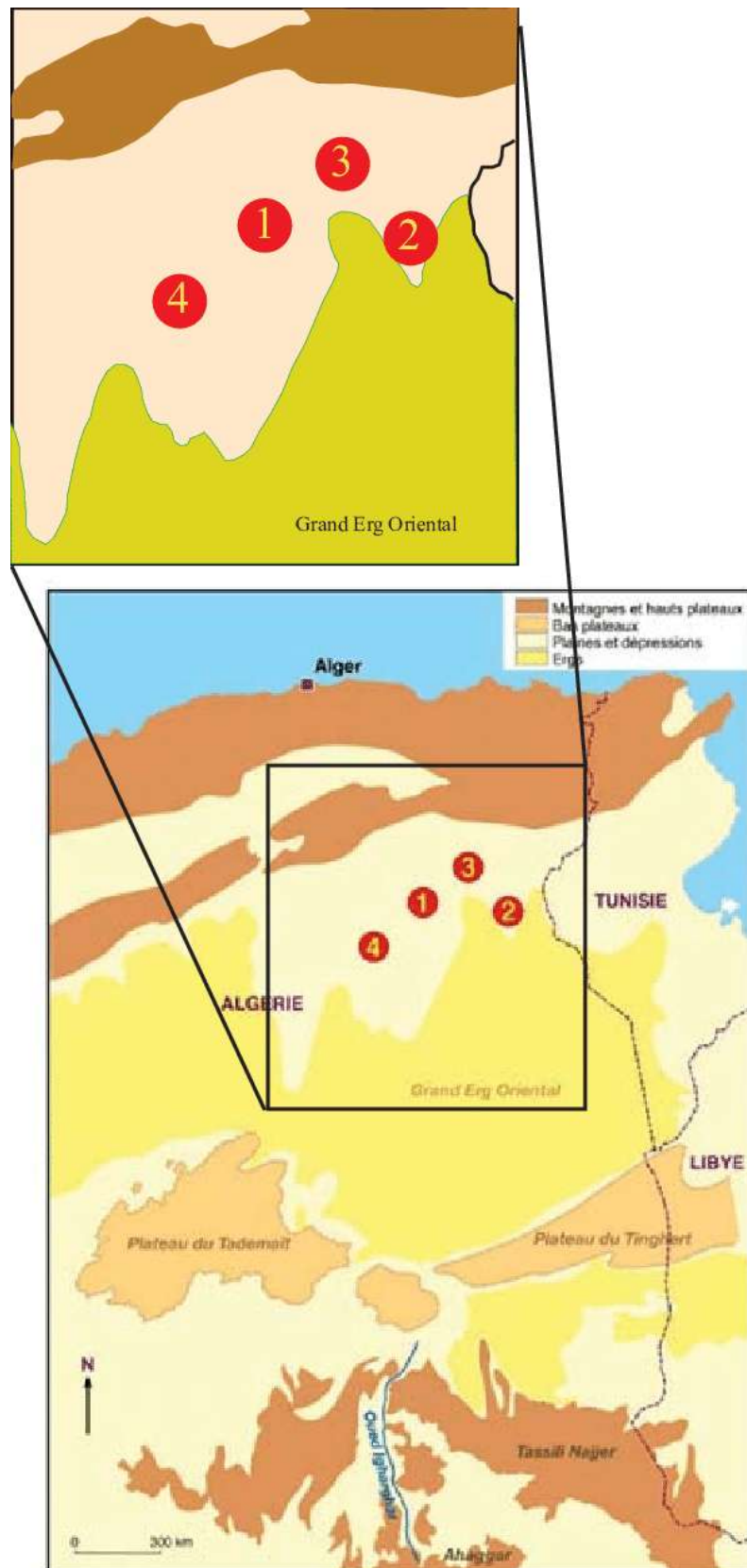


Figure 48. Carte générale du Bas Sahara Algérien. 1 : Oued Righ. 2 : Oued Souf. 3 : Biskra. 4 : Oued M'ya (d'après Koull, 2017).

Pour étudier la géologie de la zone d'études, nous étendrons le champ d'investigation à tout le Bas-Sahara. Nous distinguant de bas en haut trois ensembles (cf. figure 49) :

- Les terrains Paléozoïques affleurent eu Sud entre les plateaux de Tadmait, Tinghert et le massif du Hoggar.
- Les terrains du Mésozoïques et cénozoïques constituent l'essentiel des affleurements des bordures du Bas-Sahara.
- Des dépôts continentaux de la fin de Tertiaire et du Quaternaire, occupent le centre de la cuvette.

Les formations géologiques sont décrites du plus anciens au plus récent :

- Le Précambrien : au Sud de l'accident Sud atlasique, le bouclier rigide est formé de terrains éruptifs, plissés et métamorphisés surmonté par des milliers de mètres de dépôt allant de Cambrien au Quaternaire (**Kolli, 2012**).

- Le Trias : **Busson (1970)**, souligne la grande variabilité de faciès et d'épaisseurs du Trias. Il est divisé en grandes unités Lithologiques distinctes, qui peuvent être : salifères, argileuses, argilo-gréseuses ou carbonatées (**Kolli, 2012**). Le Trias salifère présente une grande épaisseur (de 700m au N-E de Ghadamès, il atteint 1300m à Hassi Messaoud) (**OSS, 2003a, cité dans Ould Baba Sy, 2005**).

- Le Jurassique : le Jurassique Inférieur et moyen (Lias-Dogger) comprend principalement des couches évaporitiques constituées essentiellement de sel, d'anhydrite et d'argiles auxquelles se superposent des couches franchement marines et qui se présentent sous forme de calcaires et argiles avec des bancs d'anhydrite (**Kolli, 2012**). Le passage du Jurassique au Crétacé Inférieur se caractérise par des apports terrigènes ayant pour origine les reliefs nourriciers situés au Sud du bassin Saharien (Hoggar) (**Busson, 1970 ; Ould Baba Sy, 2005, cité dans Kolli, 2012**).

- Le Crétacé Inférieur : cette époque géologique est intéressante pour deux raisons :

D'une part, le Crétacé affleure sur les bords du Bas-Sahara.

D'autre part, l'étendue des affleurements Crétacés est très importante en Algérie Orientale (**Drouiche, 2014**).

L'essentiel des sédiments accumulés à cette époque sont des sables éoliens et fluviatiles et des argiles continentales. L'ensemble de ces dépôts dont les sables ont été transformés en grès poreux, est appelé «Continental Intercalaire» parce qu'il apparaît dans l'échelle stratigraphique après les formations marines primaires et avant les formations résultant d'une transgression marine d'époque Cénomaniennne (**Nesson, 1975**).

- La sédimentation laguno-marine du Crétacé supérieur et de l'Eocène sur les alluvions uniformément épandues du Continental Intercalaire apparaît, au Vraconien, un régime de lacs et de lagunes. Dû à l'amaigrissement des écoulements du Continental Intercalaire, il engendre des dépôts alternés d'argile, de dolomie, d'argiles sableuses, de grès à ciment calcaire. Le Cénomaniennne est constitué par une alternance de bancs de dolomie, de calcaire dolomitique, d'argiles et d'évaporites (anhydrite ou sel). La présence de nombreux bancs d'évaporite et d'argiles rendent le Cénomaniennne imperméable (**Bel & Cuche, 1969, cité dans Kolli, 2012**).

Le Turonien voit s'établir un régime marin franc responsable du dépôt de calcaires et de dolomies sur l'ensemble du Sahara Algérien. Son épaisseur moyenne varie entre 50 et 100m. Elle augmente cependant dans la région des chotts où elle dépasse 300 mètres (**Bel & Cuche, 1969, cité dans Kolli, 2012**). Dès la fin du Turonien, la mer est remplacée par des lagunes. Il s'individualise en deux faciès :

- le Sénonien inférieur, les dépôts présentent alors une alternance irrégulière de bancs d'anhydrite, de dolomie, d'argile et de sel.

-le Sénonien supérieur, il est essentiellement constitué de dolomies, de calcaires dolomitiques et d'intercalations de marnes, d'argiles et quelque fois d'anhydrite.

En Algérie, on distingue dans l'Eocène deux ensembles différents du point de vue lithologique. A la base, l'Eocène carbonaté est formé essentiellement par des dolomies et des calcaires dolomitiques avec quelques intercalations de marnes, d'argiles et même d'anhydrite et de marnes. Au sommet, l'Eocène évaporitique est formé par une alternance de calcaire, d'anhydrite et de marnes (**Kolli, 2012**). Cet Eocène évaporitique achève d'ailleurs sa formation à l'Eocène moyen quand la mer se retire définitivement de la plate-forme Saharienne (**Busson, 1970, cité par Djidel, 2008**).

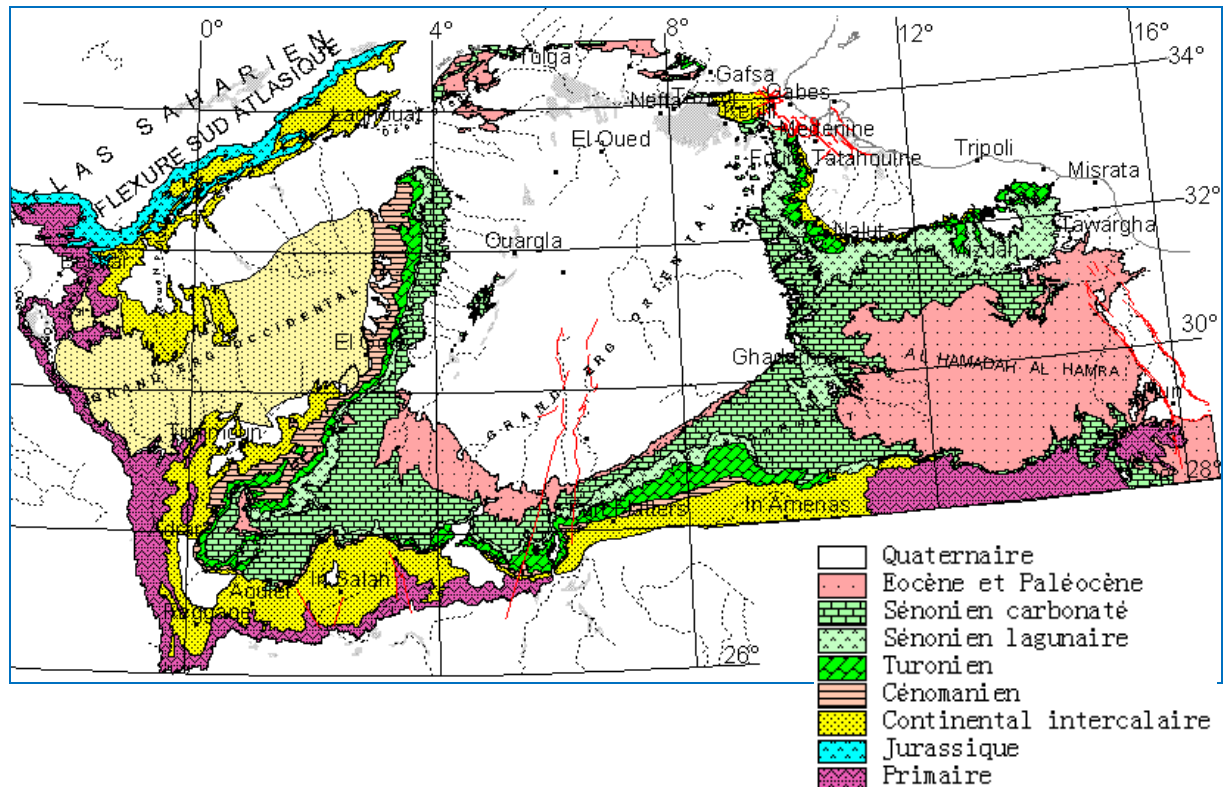


Figure 49. Carte des affleurements géologiques du Sahara Septentrional (d'après OSS, 2003b).

- Le Mio-Pliocène (le Tertiaire) : le Tertiaire continental du Sahara peut être relativement épais (150m). il se présente sous forme d'un faciès sableux et argileux avec du gypse. Dans le Bas-Sahara, la sédimentation lacustre se présente sous forme de séries sableuses et argileuses connues sous le nom du Continental Terminal (Mio-Pliocène) (**Kolli, 2012**). L'ensemble est surmonté par le plio-quaternaire argilo-sableux et gypseux qui résulte de la sédimentation en milieu lacustre durant la phase d'assèchement des lagunes des chotts (**Busson, 1970**).

- Le Quaternaire : le Quaternaire est constitué de sable éoliens et sables argileux. Ces sables forment d'énormes accumulations dans le Grand Erg Oriental. Le bas-Sahara a désormais atteint sa structure actuelle en cuvette synclinale dissymétrique bordée à l'Ouest, au Sud et à l'Est par des bancs à pendages faibles tandis qu'au Nord une fosse profonde se creuse au pied de l'Aurès et redresse presque à la verticale les sédiments déposés.

3. Matériel et méthodes

Au Laboratoire, trois types d'analyses ont été entreprises :

3.1. Les analyses granulométriques

3.1.1. Introduction

Le sable est une roche détritique meuble dont les grains sont en majorité compris entre 62.5µm et 2 mm. L'opération permettant de Déterminer la taille des grains de sable est appelée analyse granulométrique, cette analyse consiste à fractionner le matériau en différentes coupures au moyen de tamis emboîtés les uns sur les autres (**Belmedrek, 2005**).

Les résultats de l'analyse granulométrique sont le plus souvent représentés sous forme d'histogramme de fréquence et courbes cumulatives. A partir des histogrammes on lit directement la valeur du mode d'une distribution granulométrique et qui correspond aux sommets de "cloches" des histogrammes, alors que la représentation par courbes cumulatives, permet le repérage aisé des différents quartiles, avec lesquels on peut calculer les différents paramètres et indices granulométriques (**Belmedrek, 2005**).

Les sédimentologues anglo-saxons ont généralisé l'usage d'une échelle logarithmique, dite échelle des phi (Φ), défini par **Krumbein et Pettijohn (1938)** par la relation : $\Phi = -\log_2(d)$, (d = étant le diamètre des grains en mm).

Plusieurs auteurs ont proposé de diviser le gravier, le sable et le limon chacun en catégories choisies parmi les cinq suivantes : très fin, fin, moyen, grossier et très grossier et les limites entre ces catégories sont choisis arbitrairement. Seules les valeurs entières de l'échelle Φ permettent de diviser cailloux, sable et limon, chacun en 5 catégories tout en respectant d'assez près les diverses limites admises par différents auteurs (**Belmedrek, 2005**) (cf. tableau 12).

Nombreux sont les auteurs qui ont proposé des indices qui permettent d'exprimer numériquement les caractères de distribution granulométrique et on cite parmi eux (**Trask, 1930 ; Inman, 1952 ; Folk & Ward, 1957, cité dans Belmedrek, 2005**). Les indices les plus couramment utilisés sont la Moyenne M_z , le Sorting Index σ_1 , le Skewness SKI et le Kurtosis KG (**Rajganapathia et al., 2012**).

3.1.2. Définition des paramètres granulométriques

a) Graphic Mean

Dans la formule proposée par Trask l'échelle utilisée est l'échelle millimétrique, par contre Inman (1938) utilise l'échelle des Phi et il a proposé la formule suivante pour le calcul de la moyenne (**Belmedrek, 2005**) :

$$M = \Phi_{16} + \Phi_{84} / 2$$

Mais avec deux quartiles seulement ($\Phi_{16} + \Phi_{84}$), la moyenne granulométrique ne serait pas représentative de l'échantillon. Pour remédier, Folk et Ward ont proposé une autre expression «Graphic Mean» :

$$Mz = \Phi_{16} + \Phi_{50} + \Phi_{84} / 3$$

Dans leur formule Folk et Ward ont choisi trois quartiles ($\Phi_{16} + \Phi_{50} + \Phi_{84}$), dans le but d'avoir une bonne moyenne représentative de l'échantillon.

Graphic Mean ou moyenne granulométrique permet de donner une idée générale sur la texture de l'échantillon (**Belmedrek, 2005**) :

- Sables grossiers et graviers : $Mz < 1 \Phi$
- Sables moyens : $1 \Phi < Mz < 2 \Phi$
- Sables fins : $2 \Phi < Mz < 3 \Phi$
- Siltes et argiles : $Mz > 4 \Phi$

Phi	Grade		mm	µm
-8	Bloc	G R A V I E R	256	256,000
-6	Galet			
-2	Caillou		64	64,000
-1	Granule		4	4,000
0	Très Grossier		2	2,000
1	Grossier	S A B L E	1	1,000
2	Moyen		0.50	500
3	Fin		0.25	250
4	Très Fin		0.125	125
5	Grossier		0.0625	62.5
6	Moyen	V A S E	0.0313	31.3
7	Fin		0.0156	15.6
8	Très Fin		0.0078	7.8
	Argile		0.0039	3.9

Tableau 12. Classification dimensionnelle des sédiments détritiques en µm et en mm et leurs équivalents dans l'échelle du phi (Belmedrek, 2005).

b) Inclusive Graphic Standard Deviation

Ce paramètre est connu sous le nom de «indice de classement. S_0 », (Trask, 1930, cité dans Belmedrek, 2005), et «Graphic Standard Deviation σ ».

Les expressions mathématiques utilisées pour définir ce paramètre diffèrent d'un auteur à autre (Otto, 1938, cité dans Belmedrek, 2005) :

- l'indice de Trask ou Sorting-Index S_0 . De loin le plus employé, il correspond par définition à :

$$S_0 (\text{mm}) = \sqrt{\frac{Q_{25} (\text{mm})}{Q_{75} (\text{mm})}}$$

Le classement est d'autant plus mauvais que les valeurs du S_0 sont élevées et parfait pour la valeur 1,

S_0	Classement
1 à 1.17	Très bien classé
1.17 à 1.20	Bien classé
1.20 à 1.35	Assez bien classé
1.35 à 1.87	Moyennement classé
1.87 à 2.75	Mal classé
> 2.75	Très mal classé

- L'indice $Qd \Phi$ de Krumbein. Les quartiles sont alors exprimés en unités Φ .

$$Qd \Phi = Q_{25} \Phi - Q_{75} \Phi / 2$$

On a un classement parfait pour une valeur nulle de $Qd \Phi$ et une hétérométrie croissante avec les valeurs croissantes de $Qd \Phi$. la relation mathématique qui relie les deux paramètres précédents est :

$$Qd \Phi = \log_{10} S_0$$

- L'indice de dispersion de Otto et Inman.

$$D = Q_{84} \Phi + Q_{16} \Phi / 2$$

On remarque que seuls deux quartiles, représentant 68% de la partie centrale de la distribution sont utilisés pour calculer ce paramètre.

- Selon Fournier et al., (2012), L'indice de dispersion de Folk et Ward. Contrairement aux autres indices, celui-ci fait intervenir les extrémités de la courbe dans la définition du classement (cf. figure 50).

Inclusive Graphic Standard Deviation est le terme utilisé par **Folk & Ward (1957, cité dans Belmedrek, 2005)**, cet indice est donné par la formule suivante :

$$\sigma_I = Q_{84} \Phi - Q_{16} \Phi / 4 + Q_{95} \Phi - Q_5 \Phi / 6.6$$

Avec ces quatre quartiles 90% de la distribution est utilisée dans le calcul de ce paramètre le Sorting Index ou indice de tri ou de classement présent une estimation de la dispersion des tailles des particules par rapport à la moyenne de l'échantillon.

Suivant sa valeur, on distingue plusieurs types de sables (**Bouharras & Ajouguim, 2012**) :

- Sables très bien classés : $\sigma_I < 0.35 \Phi$
- Sables bien classés : $0.35 \Phi < \sigma_I < 0.50 \Phi$
- Sables assez bien classé : $0.50 \Phi < \sigma_I < 0.70 \Phi$

- Sables moyennement classé : $0.70 \Phi < \sigma_t < 1.00 \Phi$
- Sables mal classés : $1.00 \Phi < \sigma_t < 2.00 \Phi$
- Sables très mal classés : $2.00 \Phi < \sigma_t < 4.00 \Phi$
- extrêmement très mal classés : $\sigma_t > 4.00$

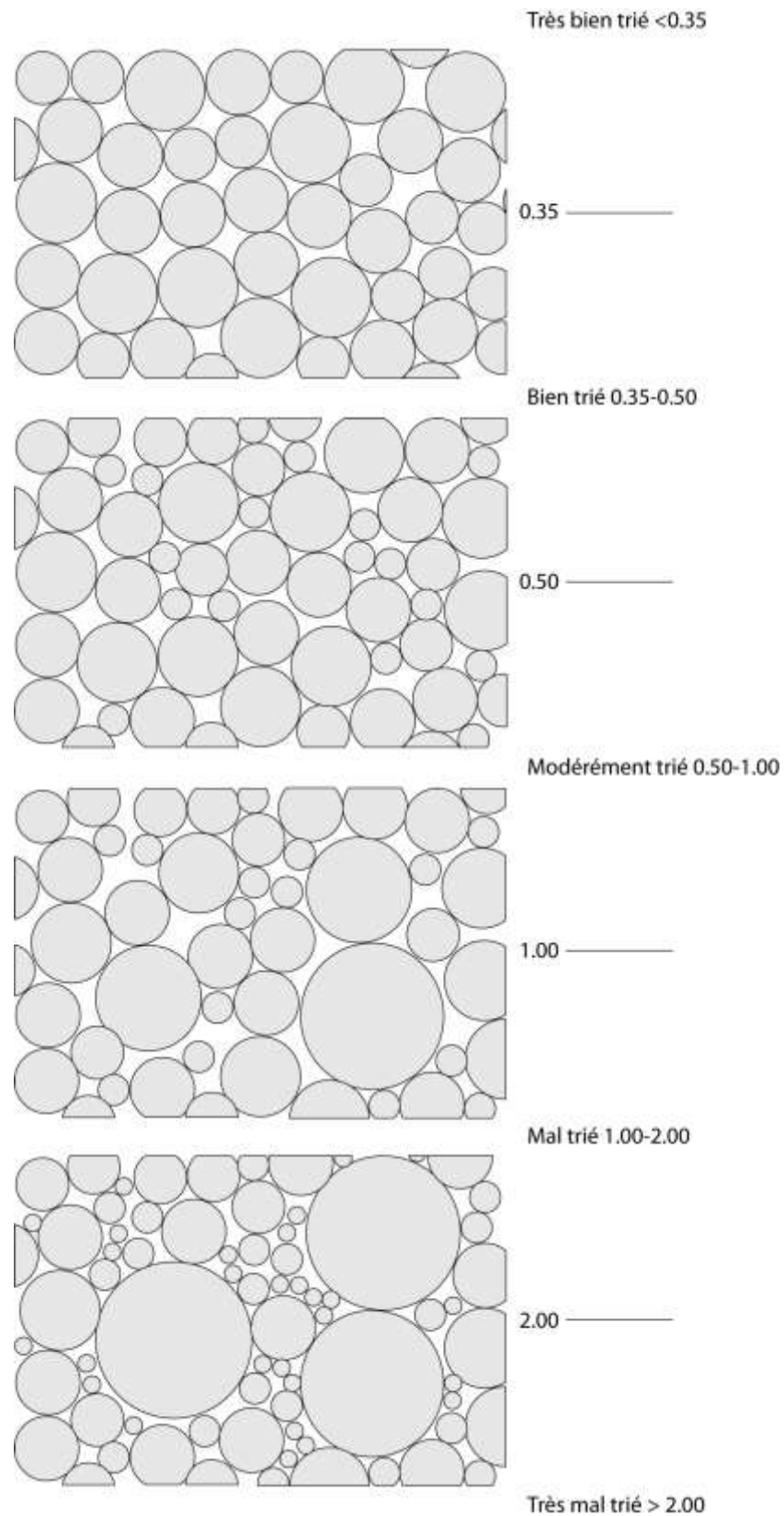


Figure 50. Standard visuel pour l'estimation du tri (σ_l logarithmique de Folk et Ward, 1957, cité dans Fournier et al., 2012).

c) Inclusive Graphic Skewness (SKI)

Outre les paramètres de position et de dispersion, les paramètres d'asymétrie, mesurant l'allure de la distribution de part et d'autre de la médiane, sont nécessaires à la bonne définition d'une courbe granulométrique. Là encore, plusieurs indices ont été proposés (**Fournier et al., 2012**).

- L'indice d'asymétrie de Trask est défini par :

$$ast = Q_{25} \text{ (mm)} \times Q_{75} \text{ (mm)} / Q_{50}^2 \text{ (mm)}$$

- L'indice d'asymétrie de Inman (partie centrale).

$$a\Phi = (\Phi_{16} + \Phi_{84} - 2 \Phi_{50}) / (\Phi_{84} - \Phi_{16})$$

- l'indice d'asymétrie de Inman (extrémités).

$$a(2 \Phi) = (\Phi_5 + \Phi_{95} - 2 \Phi_{50}) / (\Phi_{84} - \Phi_{16})$$

- L'indice d'asymétrie de Krumbein. Il est exprimé en Φ

$$SK_I = Q_{25} \Phi + Q_{75} \Phi - 2 Q_{50} \Phi / 2$$

Sur l'histogramme de fréquence, trois cas de figure peuvent se présenter selon les valeurs de cet indice (**Fournier et al., 2012**) (cf.figure 51) :

1. $SK = 0$ (ou $ast = 1$), le mode coïncide avec la médiane et la moyenne, les fractions fines et grossières sont classées symétriquement par rapport à la médiane,
2. $SK > 0$ (ou $ast < 1$), la fraction grossière est plus importante donc mieux classée que la fraction fine. La médiane et le mode se situent à gauche de la moyenne,
3. $SK < 0$ (ou $ast > 1$), la fraction fine est mieux classée que la fraction grossière. La médiane et le mode sont cette fois à droite de la moyenne.

Le meilleur calcul de cet indice est donné selon la formule proposé par **Folk et Ward (1957, cité dans Belmedrek, 2005)** :

$$SK_I = (\Phi_{16} + \Phi_{84} - 2 \Phi_{50}) / 2(\Phi_{84} - \Phi_{16}) + (\Phi_5 + \Phi_{95} - 2 \Phi_{50}) / 2(\Phi_{95} - \Phi_5)$$

Le Coefficient d'asymétrie SK_I qui correspond à un indicateur de l'environnement (sable de plage ne possède pas de particules fines emportées par les vagues alors que la sable fluviales comprend une fraction fin bien représentée).

Ce paramètre informe sur l'enrichissement en particules grossiers (asymétrie négative), l'enrichissement en particules fines mal triées (asymétrie positive), ou s'il y'a symétrie (skewness compris entre -0.1 et 0.10).

En fonction de sa valeur, on distingue :

- courbe très asymétrique vers les fins : $+1.00 \Phi > SK_I > +0.30 \Phi$
- courbe asymétrique vers les fins : $+0.30 \Phi > SK_I > +0.10 \Phi$
- symétrie granulométrique de l'échantillon : $+0.10 \Phi > SK_I > -0.10 \Phi$
- courbe asymétrique vers les grossiers : $-0.10 \Phi > SK_I > -0.30 \Phi$
- courbe très asymétrique vers les grossiers : $-0.30 \Phi > SK_I > -1.00 \Phi$

d) le Kurtosis (K_G)

Folk et Ward 1957, cité par Belmedrek, 2005 ont défini ce paramètre par l'expression suivante :

$$K_G = \Phi_{95} - \Phi_5 / 2.44 (\Phi_{75} - \Phi_{25})$$

Le Kurtosis est l'indice d'acuité du mode, il mesure l'angulosité de la courbe des fréquences. Si le mode est concentré dans des classes granulométriques restreinte, on a une distribution leptokurtique, s'il est dispersé on a une distribution platykurtique.

Terminologie du Kurtosis (K_G) définie par Folk et Ward :

- courbes très platykurtique : $K_G < 0.67$
- courbes platykurtique : $0.67 < K_G < 0.90$
- courbes mésokurtique : $0.90 < K_G < 1.11$
- courbes leptokurtique : $1.11 < K_G < 1.50$
- courbes très leptokurtique : $1.50 < K_G < 3.00$
- courbe extrêmement leptokurtique : $K_G > 3.00$

Dans ce présent travail les paramètres et indices choisis sont ceux définis par **Folk et Ward (1957, cité par Belmedrek, 2005)**, ces deux auteurs ont proposé des formules qui contiennent un nombre élevé de quartiles, et ils ont utilisé des valeurs de phi comprises entre 5 % et 95%.

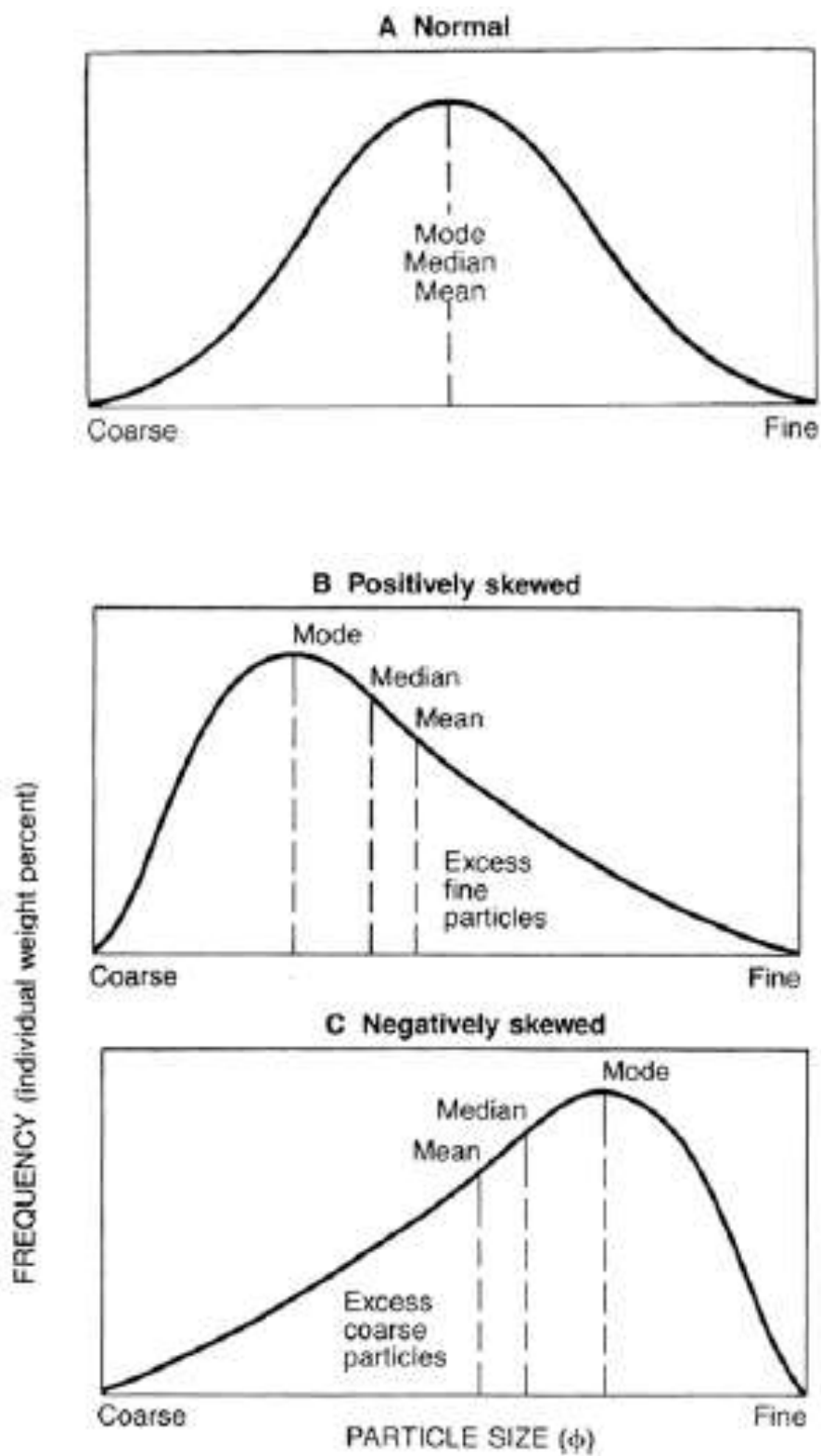


Figure 51. Courbes de fréquence illustrant la relation entre le mode, la médiane et la moyenne et la différence entre une courbe normale symétrique et une courbe de fréquence asymétrique (d'après Fournier et al., 2012, cité par belmedrek, 2005) .

3.1.3. Techniques granulométriques

Les analyses granulométriques ont pour leur part suivi les voies classiques du tamisage à sec de la fraction supérieure à 50 μ m. Environ 200g de sédiment ont été traités pour chaque échantillon. Le sable est lavé à l'eau, en frottant fortement avec les doigts pendant 1 à 3 minutes pour le débarrasser des grains de poussières on enduits qui adhèrent. Puis il est séché. On le traite d'abord avec Hcl 0.1N pendant 15 mn à chaud en vue de détruire les carbonates, puis lavée et séchée dans une étuve à une température de 105 c°. les échantillons qui ont subi la déminéralisation par Hcl, sont plongés dans un bain de l'eau oxygénée H₂O₂ pendants 10 mn pour la destruction de la matière organique qui pourrait encore adhérer à la surface des grains, puis lavée et séchée avant d'être tamisée avec une série de 14 tamis AFNOR dont les mailles sont de dimensions : 1600, 1250, 1000, 800, 630, 500, 400, 315, 200, 160, 125, 100, 80, et 50 μ m (**Belmedrek, 2005**).

Compte tenu de la capacité de l'appareil, la colonne a été divisée en deux. La première série donne les poids des fractions supérieures à 315 μ m ; la deuxième ceux de la fraction comprise entre 315 et 50 μ m. Le tamisage de chaque série a duré 15 minutes.

Les refus récoltés sur chaque tamis sont pesés sur une balance de précision sensible au millièème de gramme.

Les données granulométriques brutes, rassemblées dans des tableaux sous forme de fréquence élémentaire et les pourcentages cumulés ont été traitées par le package G2Sd développé par **Jérôme Fournier, Régis K, Gallon et Raphaël Paris (2014)**. Ce logiciel nous a permis de calculer les paramètres statistiques les plus utilisées et une description du sédiment à partir de données acquises par colonnes de tamis AFNOR. A partir des formules **Folk et Ward (1957)**, on a calculé les paramètres de distribution (**Fournier et al., 2014**) (cf. Tableau 17 en annexe). Analyse statistique descriptive des paramètres granulométriques sont calculées avec les méthodes des moments arithmétiques et géométrique et la méthode logarithmique du **Folk et Ward (1957)** : moyenne, écart type, skewness (coefficient de dissymétrie), Kurtosis (coefficient d'aplatissement). Les résultats numériques sont exprimés en Phi (Φ) (cf. tableau 18a et 18b en annexe).

3.2. Les analyses morphoscopiques

lorsqu'une roche est soumise à l'altération, elle libère une fraction de ses minéraux sous forme de grains de sable. Ceux-ci sont transportés ensuite par des agents tels que la glace, le vent, les rivières ou la mer et passent souvent d'un environnement à un autre. Ils sont parfois immobilisés et soumis aux influences pédogénétiques avant d'être libérés et de reprendre leur course (**Pimmel, 1984**). Au cours de cette évolution, ils subissent des modifications de taille, de forme et d'aspect de surface, par rapport aux caractères originaux qu'ils avaient acquis au sein de la roche-mère dont ils issus" (**Le Ribault, 1975**).

Les environnements successifs vont donc influencer les grains de quartz d'une telle façon que ceux-ci vont en porter longtemps des traces, qu'elles soient mécaniques ou chimiques. Ces traces vont leur conférer plus ou moins rapidement une morphologie de détail, typique de leur séjour dans un milieu donné. Elles seront étudiées à l'aide de la morphoscopie.

L'examen de la forme des grains de quartz permet de connaître le degré et la forme d'usure et donc de déduire l'agent de transport (**Martin, 2003**).

Les analyses morphoscopiques s'appuient sur les travaux de **Cailleux et Tricart (1959)** qui ont défini les principaux types de grains de quartz correspondant à des environnements différents :

- Les grains "Non-Usés" (NU) : résultent de la désagrégation mécanique ou chimiques des roches, ils sont anguleux et souvent de forme irrégulière, qui ont subi un transport nul ou très faible. Ils sont typiques des formations glaciaires, des arènes, des rivières courtes, des plages de basse énergie et des petites dunes (**Pimmel, 1984**).

- Les grains "Émoussés-Luisants" (EL) : les émoussés-luisants présentent une dominance d'arêtes arrondies. Les quartz ont évolué dans un milieu aquatique sur de longues distances, ou sur des plages de haute énergie. L'aspect émoussé-luisant des grains est dû au brassage mécanique de l'eau. Leur aspect de surface est toujours très poli, brillant, luisant sous l'éclairage de la loupe (**Morphoscopie, 2018**).

Dans les fleuves, c'est seulement au bout de 300 km que les Non-Usés sont devenus émoussés luisants (de contour d'ailleurs encore subanguleux). L'action de la mer (vagues, marées, brassage par courants) se traduit par une prédominance des émoussés-luisants.

- Les grains "Ronds-Mats" (RM) : les ronds-mats, comme leur nom l'indique, ont une morphologie sub-sphérique. Leur aspect de surface est toujours dépoli et mat. Cet aspect rond mat picoté est lié à une longue usure par des chocs dans l'air, sous l'effet du vent. Ils sont typiques des dunes littorales et/ou des déserts sableux (**Morphoscopie, 2018**).

Les observations ont porté sur 03 fractions granulométriques :

- grains fins (200-125 μ m)
- grains moyens à fins (315-200 μ m)
- grains moyens à grossiers (500-315 μ m)

Cent grains de chaque fraction granulométrique sont observés à la loupe binoculaire, grossissement 40 à 100, à sec sur fond noir, en lumière réfléchie, au double point de vue de leur forme et de l'aspect de leur surface, des pourcentages sont établies, d'après les catégories observées et les dimensions des grains. Les résultats des comptages et des déterminations à la loupe binoculaire sont inscrit par colonne sur le tableau 13.

3.3. L'étude des minéraux lourds

Les sédiments sableux détritiques sont composés habituellement de quartz qui en constitue à lui seul la majeure partie, puis de feldspaths potassiques, plagioclases, en proportions variables, et enfin de minéraux rares (minéraux lourds, «denses», c'est-à-dire de densité > 2.9 dont les pourcentages par rapport à l'ensemble peuvent varier entre 0.05 et 3% (**Duplaix, 1958**). Ces proportions sont habituelles sauf pour certains concentrés naturels tels que les sables de plages où les minéraux lourds peuvent atteindre jusqu'à 90% du total (**Belmedrek, 2005**). La rareté des minéraux lourds et leur diversité donnent la possibilité de caractériser un sédiment, soit par l'association minéralogique (formée de 2 à 4 espèces minérales les plus abondantes), soit par un minéral indicateur (minéral peu fréquent et souvent peu abondant) (**Beiner et al., 2009**). L'étude des minéraux lourds a été réalisée selon la méthode de **Parfenoff et al. (1970)**. Cette technique comporte plusieurs étapes et qui sont respectivement :

3.3.1. La séparation densimétrique

La séparation des minéraux lourds de ceux légers a été faite par le Bromoforme de densité ($d = 2.89$) ; elle a porté sur trois fractions granulométriques (315-160 μ m, 160-80 μ m et 80-50 μ m) ont été choisies pour la séparation. Ces coupures granulométriques correspondent à celles proposées par divers auteurs pour les sables moyens et fins (**Duplaix, 1958 ; Vatan, 1967 ; Parfenoff et al., 1970, cité par Belmedrek, 2005**). L'intérêt de ces coupures est d'avoir sous le microscope des grains de taille comparable et de faciliter ainsi l'observation. Environ 20gr, de chaque échantillon ont été séparés dans une ampoule à décantation de 250ml remplie à moitié de Bromoforme (125ml). On introduit le sable. On agite énergiquement le

mélange et on laisse reposer ce mélange. Une fois la séparation opérée, elle est observable à l'œil nu et prend quelques minutes. On ouvre doucement le robinet de l'ampoule pour recueillir les minéraux lourds (qui se sont déposés au fond de l'ampoule) sur un filtre placé sur un erlenmeyer ; les minéraux légers (surnageant) sont récupérés sur un autre filtre. Les minéraux sont rincés à l'alcool éthylique à 90% et séchés à l'air dans leur filtre puis pesés. Récupérez le mélange alcool-liqueur pour un recyclage éventuel.

En considérant que la fraction 315-160 μ m est quasi-inexistante dans un bon nombre d'échantillons, que la fraction 80-50 μ m renferme des grains dont la taille ne permet pas de les déterminer correctement sous la loupe, nous avons retenu seulement les résultats fournis par la fraction 160-80 μ m qui, selon (**Parfenoff *et al.*, 1970 ; Pomerol, 1968 ; Pupin, 1976 ; Tourenq, 1986 ; Censier, 1991, cité dans Belmedrek, 2005**) ont montré que le résidu lourd de cette fraction est représentatif d'un sédiment détritique. Pesez les deux fractions et calculez la proportion lourd-léger (cf. tableau 14).

3.3.2. Séparation par tri sous loupe binoculaire

En effet cette séparation est effectuée sur une plaque de verre et elle consiste à séparer les minéraux opaques des minéraux transparents à l'aide d'une aiguille. Le nombre de grains comptés a toujours atteint 200 grains (**Belmedrek, 2005**).

3.3.3. Montage des minéraux

Pour la rendre possible les lots de grains obtenus doivent subir un montage sur une lame par un collage adéquat pour une étude tridimensionnelle.

- le montage des minéraux transparents se fait dans la résine chauffée à 140°C pendant 45 mn.
- le montage des minéraux opaques se fait dans une résine synthétique suivi d'un polissage (**Belmedrek, 2005**).

3.3.4. Observation au microscope polarisant et comptage

Les minéraux lourds sont déterminés soit par transmission au microscope polarisant, soit par réflexion au microscope métallographique (**Vuilleumier, 2019**). On note pour chaque grain la forme, la couleur, l'état de surface, les clivages, les inclusions et globalement l'état de fraîcheur ou d'altération. Entre nicols croisés, le pléochroïsme et la biréfringence sont deux caractéristiques quantifiables qu'il est important de connaître. Tous les grains montés sur la lame sont comptés (**Beiner, 2009**).

Tableau 13 : Etude morphoscopique des grains de quartz. Pourcentage des principales formes de grains sur 03 fractions granulométrique (de 125 à 200 μm , de 200 à 315 μm , et de 315 à 500 μm). NU : les grains Non – Usés picotés ; EL : les grains Emoussés – Luisants ; RM : les grains Ronds – Mats. Le Bas – Sahara algérien.

échantillons		Dimensions des grains								
		125 – 200 μm			200 – 315 μm			315 – 500 μm		
		NU	EL	RM	NU	EL	RM	NU	EL	RM
Ouargla	Ogla 30 01	00	38	62	00	46	54	-	-	-
	Ogla 30 02	00	60	40	00	05	95	00	03	97
	Ogla 30 03	00	25	75	00	11	89	00	03	97
	Ogla 30 04	00	00	100	00	00	100	00	00	100
	Ogla 30 05	00	32	68	00	26	74	00	19	81
	Ogla 30 06	00	35	65	00	31	69	00	23	77
	Ogla 30 07	00	65	35	00	63	37	00	24	76
	Ogla 30 08	00	57	43	00	75	25	00	36	64
	Ogla 30 09	00	58	42	00	40	60	00	06	94
	Ogla 30 10	01	00	99	00	07	93	00	01	99
Hassi Messaoud	Hassi 30 11	00	65	35	00	61	39	00	43	57
	Hassi 30 12	00	76	24	00	87	13	00	74	26
	Hassi 30 13	00	70	30	00	71	29	00	59	41
	Hassi 30 14	00	73	27	00	80	20	00	80	20
	Hassi 30 15	00	65	35	00	05	95	00	00	100
	Hassi 30 16	00	78	22	00	58	42	00	08	92
	Hassi 30 17	00	30	70	00	07	93	00	02	98
	Hassi 30 18	00	70	30	00	75	25	00	05	95
	Hassi 30 19	00	77	23	00	56	44	00	27	73
	Hassi 30 20	00	78	22	00	62	38	00	02	98
	Hassi 30 21	00	73	27	00	72	28	00	16	84
	Hassi 30 22	00	78	22	00	74	26	00	21	79
	Hassi 30 23	00	76	24	00	73	27	00	39	61
	Hassi 30 24	00	87	13	00	77	23	00	74	26
	Hassi 30 25	00	85	15	00	86	14	00	71	29
	Hassi 30 26	00	77	23	00	83	17	00	80	20
	Hassi 30 27	00	89	11	00	92	08	00	82	18
	Hassi 30 28	00	68	32	00	80	20	00	71	29
Tougourt	Toug 30. 29	00	77	23	00	73	27	00	17	83
	Toug 30. 30	00	87	13	00	88	12	00	45	55
	Toug 30. 31	00	90	10	00	87	13	00	80	20
	Toug 30. 32	00	93	07	00	85	15	00	74	26
	Toug 30. 33	00	64	36	00	35	65	-	-	-
	Toug 30. 34	00	86	14	00	67	33	00	76	24
	Toug 30. 35	00	91	09	00	89	11	00	80	20
	Toug 30. 36	00	84	16	00	82	18	00	82	18
Taibet	Toug 30. 37	00	84	16	00	84	16	00	85	15
	Taib. 30 38	00	87	13	00	85	15	00	74	26
	Taib. 30 39	00	91	09	00	90	10	00	80	20
	Taib. 30 40	00	96	04	00	86	14	00	83	17
	Taib. 30 41	00	92	08	00	93	07	00	71	29
	Taib. 30 42	00	95	05	00	93	07	00	70	30
	Taib. 30 43	00	74	26	00	76	24	-	-	-
Souf	Souf 39 44	00	85	15	00	82	18	-	-	-
	Souf 39 45	00	85	15	00	80	20	00	80	20
	Souf 39 46	00	93	07	00	80	20	-	-	-
	Souf 39 47	00	88	12	00	76	24	00	87	13
	Souf 39 48	00	88	12	00	92	08	00	87	13

Tableau 14. Le poids des minéraux lourds de ceux légers après décantation par le Bromoforme (fraction de 160-80µm).

échantillons		Fraction de 160-80µm		
		Poids des minéraux légers en (g)	Poids des minéraux lourds en (g)	Pourcentage des minéraux lourds
Ouargla	Ogla 30 01	19.808	0.016	0.003
	Ogla 30 02	17.675	0.008	0.001
	Ogla 30 03	19.686	0.009	0.001
	Ogla 30 04	19.667	0.015	0.003
	Ogla 30 05	19.777	0.001	0.001
	Ogla 30 06	19.662	0.018	0.003
	Ogla 30 07	19.548	0.004	0.001
	Ogla 30 08	19.762	0.020	0.004
	Ogla 30 09	19.588	0.013	0.002
	Ogla 30 10	19.730	0.025	0.005
Hassi Messaoud	Hassi 30 11	19.458	0.021	0.004
	Hassi 30 12	17.644	0.019	0.003
	Hassi 30 13	19.536	0.086	0.017
	Hassi 30 14	19.478	0.113	0.022
	Hassi 30 15	19.136	0.025	0.005
	Hassi 30 16	19.564	0.025	0.005
	Hassi 30 17	19.367	0.031	0.006
	Hassi 30 18	19.653	0.026	0.005
	Hassi 30 19	19.593	0.020	0.004
	Hassi 30 20	19.661	0.129	0.025
	Hassi 30 21	19.687	0.033	0.006
	Hassi 30 22	14.412	0.006	0.001
	Hassi 30 23	19.686	0.007	0.001
	Hassi 30 24	19.736	0.046	0.009
	Hassi 30 25	19.627	0.101	0.020
	Hassi 30 26	19.058	0.073	0.014
	Hassi 30 27	19.645	0.017	0.003
	Hassi 30 28	19.719	0.032	0.006
Touggourt	Toug 30. 29	19.713	0.069	0.013
	Toug 30. 30	19.684	0.079	0.015
	Toug 30. 31	19.541	0.132	0.026
	Toug 30. 32	19.649	0.144	0.028
	Toug 30. 33	19.918	0.178	0.035
	Toug 30. 34	19.904	0.151	0.030
	Toug 30. 35	19.775	0.172	0.034
	Toug 30. 36	19.587	0.143	0.028
	Toug 30. 37	19.866	0.163	0.032
Taibet	Taib. 30 38	19.959	0.129	0.025
	Taib. 30 39	19.843	0.026	0.005
	Taib. 30 40	19.654	0.063	0.012
	Taib. 30 41	19.847	0.056	0.011
	Taib. 30 42	19.798	0.077	0.015
	Taib. 30 43	19.821	0.025	0.005
Souf	Souf 39 44	19.911	0.036	0.007
	Souf 39 45	19.846	0.047	0.009
	Souf 39 46	19.839	0.055	0.011
	Souf 39 47	19.897	0.032	0.006
	Souf 39 48	19.852	0.537	0.107

4. Résultats et discussion

4.1. Description globale des échantillons

- De l'ensemble des caractéristiques globales des différents échantillons (tableau 16 en annexe), il ressort que :

Par rapport à l'ensemble de l'échantillon, les sédiments de surface au bas-Sahara présentent un faciès sableux (cf.figure 52). En effet, la fraction ($> 50\mu\text{m}$) varie de 96.36 à 99.78%, alors que la fraction fine ($< 50\mu\text{m}$) fluctue sensiblement d'un échantillon à l'autre (de 0.28 à 0.96% dans la zone de Hassi Messaoud, de 0.34 à 0.63% pour la zone de Taïbet, de 0.54 à 1.24 pour la zone d'El Oued Souf et de 0.76 à 2.07% pour la zone de Ouargla). Il apparaît toute fois que c'est dans la zone de Touggourt que cette fraction est régulièrement la plus grande (de 2.04 à 3.64%). Au sud de Touggourt, dans le Nord-ouest de Blidet Amor, les carrières entaillent les formations attribuées au Mio-Pliocène sur plusieurs dizaines de mètres de haut : il s'agit d'argile et de limons, souvent gypseux, en lits subhorizontaux, qui constituent des dépôts de milieux de faible énergie (**Ballais, 2010**). Ce résultat paradoxal, dans la mesure où le faible hydrodynamisme dans l'Oued Righ favorise les dépôts par décantation, vient d'un réseau hydrographique ancien qui témoigne d'écoulements de surface énergiques au cours des périodes humides du Quaternaire (**Ould Baba Sy, 2005**).

D'après (**Granger, 1922 ; Dubief, 1953a ; Dubief, 1953b**), montrent que l'Oued Igharghar (cours d'eau fossile) part du Tassili Najjer (2158m), pour couler au maximum sur une distance de 260 km et disparaître à 560 km des chotts. Il se serait jeté dans le chott Mérouane-Melrhir encore au Paléolithique, en empruntant l'Oued Righ, selon un tracé rectiligne Sud-nord (**Ballais, 2010**).

- le pourcentage de minéraux rares ($d > 2.89$) de la fraction ($160-80\mu\text{m}$) est très faible pour l'ensemble des échantillons et de (0.001 à 0.035%) (Tableau 20 en annexe).

4.2. Analyse granulométrique

Les analyses granulométriques tiennent une place particulière, liée à leur développement dans différentes disciplines des sciences de la terre et dans les recherches paléoenvironnementales. En effet, elles permettent de déterminer les processus de transport et de sédimentation hérités : puissance et dynamique des écoulements passés, mode de transport (fluvial, marin, éolien ...etc.), modes d'accumulation.

A partir des données granulométriques chiffrées, obtenues par tamisage pour les particules sablo-graveleuses et densimétrie pour les particules limono-argileuses, il existe plusieurs façons de représenter les résultats, sous forme graphique et/ou d'indices (**Perriaux, 1972 ; Hadjouis, 1987 ; Chamley, 2000**) in (**Losson et Corbonnois, 2006**).

Dans ce présent travail les paramètres et indices choisis sont ceux définis par **Folk et Ward (1957)**, ces deux auteurs ont proposé des formules qui contiennent un nombre élevé de quartiles, ils ont utilisé des valeurs de Phi (Φ) comprise entre 5% et 95% (**Belmedrek, 2005**). La figure 53 donne les Valeurs moyennes des paramètres statistiques de la taille des grains, Bas-Sahara Algérien, (a) moyenne ; (b) indice de classement Sorting ; (c) coefficient d'asymétrie Skewness ; (d) coefficient d'acuité Kurtosis.

En plus de leur signification statistique, les indices granulométriques révèlent le comportement énergétique de l'agent de dépôt (**Greenwood, 1969**). Le diamètre moyen (M_z) se veut un indicateur de l'énergie moyenne (vitesse) de l'agent de dépôt. Si M_z (Φ) est petit, c'est que l'agent de dépôt possède une énergie moyenne relativement forte. La déviation standard (σ) est une mesure du triage des particules et représente les fluctuations de l'énergie de l'agent de dépôt. Si σ (Φ) est petit, c'est que l'agent opère avec une énergie relativement constante et le matériel déposé est bien trié. Les indices Skewness SK_i et Kurtosis k_G sont reliés à la fréquence et à la durée des fluctuations d'énergie de l'agent de dépôt. Si SK_i est positive, le sédiment présente un excès de matériel fin et si SK_i est négatif, le sédiment accuse un excès de matériel grossier. Une courbe présentant une forte acuité (sédiment unimodal) aura une valeur de k_G élevée alors que le sédiment bimodal ou multimodal aura une valeur de k_G inférieur à 1.0. Si SK_i ou k_G présentent des valeurs constantes, ceci implique une stabilité des conditions hydrauliques du cours d'eau (**Martin, 1965**).

4.2.1. La Moyenne M_z

Les valeurs de la moyenne de tous les échantillons de la région d'Ouargla varient de 2.27 à 2.68 Φ avec une moyenne de 2.52 Φ , ces valeurs traduisent une dominance des sables fins à très fins. Au niveau de la zone de Touggourt, on ne remarque pas un changement de la taille des grains, les valeurs du grain moyen oscillent entre 2.02 à 2.79 Φ avec une moyenne de 2.43 Φ , indiquant la dominance des sables fins à très fins. La distribution granulométrique des sables de la zone d'El Oued Souf et Taïbet montre des sables fins, les valeurs du grain moyen varient de 2.39 à 2.73 Φ avec une moyenne de 2.57 Φ .

La taille moyenne des sables de l'Erg Oriental diminue, généralement, en allant de Hassi Messaoud à L'Oued Souf. Les diamètres des sables présentent un affinement du Sud vers le Nord. Il s'agit d'un trigranulométrique Sud-nord effectué par l'ancien système hydrographique (Oued Igharghar). Au Quaternaire cet Oued déversait ses crues jusque dans le sud Tunisien.

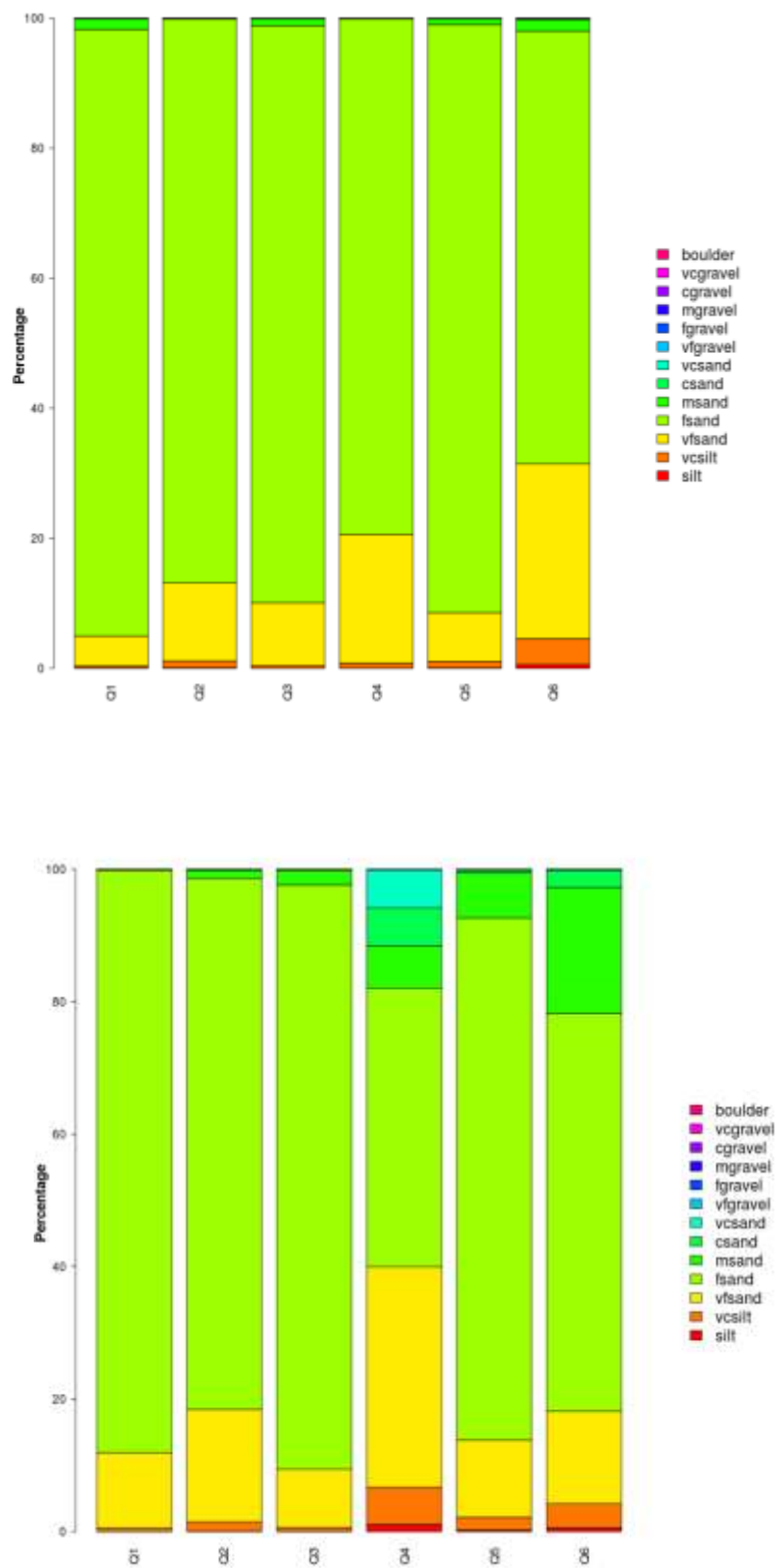


Figure 52. Les sédiments de surface au Bas-Sahara présentent un faciès sableux (d'après Sebaa, 2016).

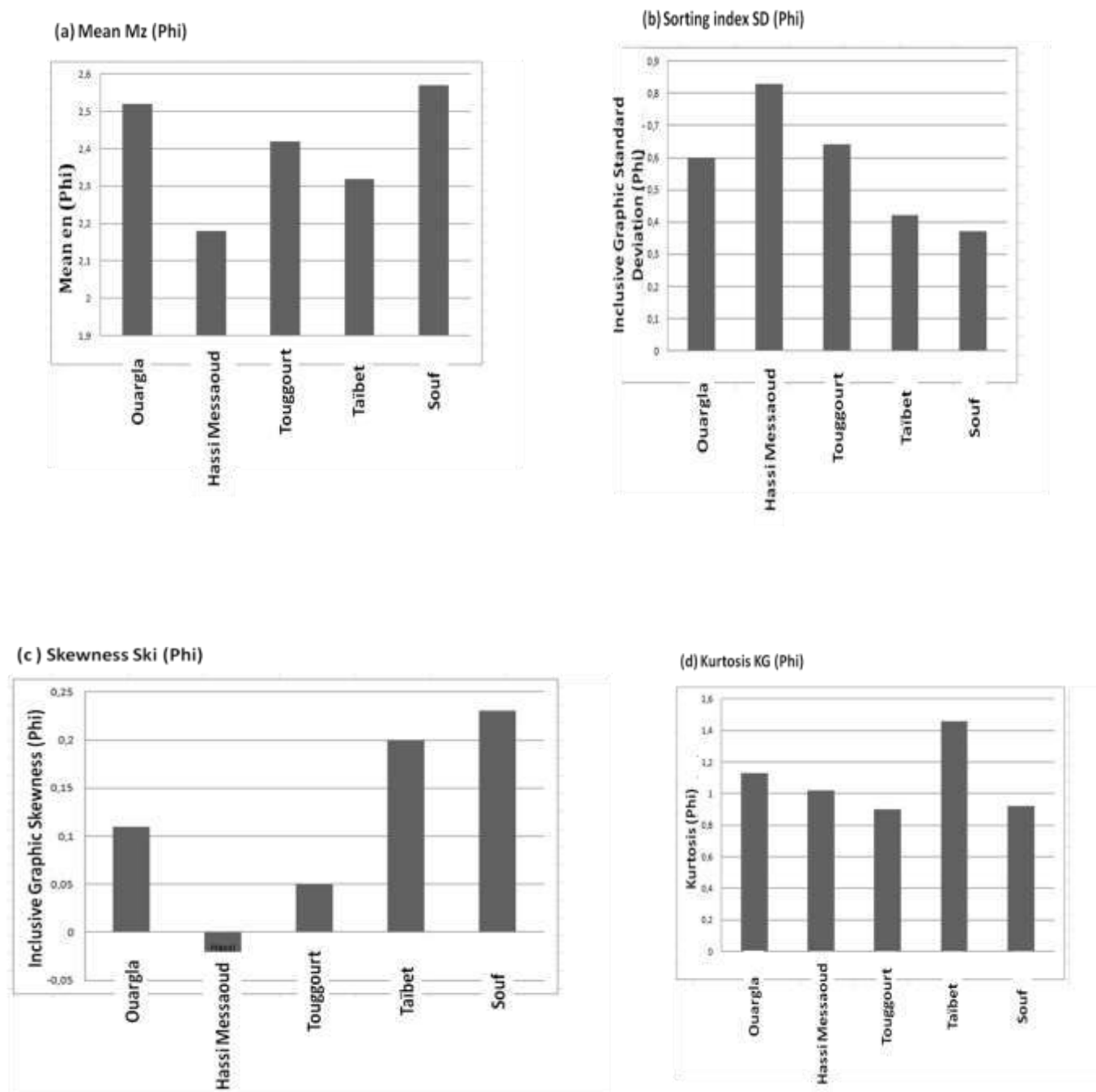


Figure 53. Valeurs moyennes des paramètres statistiques de la taille des grains, Bas-Sahara Algérien, (a) moyenne ; (b) indice de classement Sorting ; (c) coefficient d'asymétrie Skewness ; (d) coefficient d'acuité Kurtosis (d'après Sebaa, 2016)

Nous noterons aussi la présence d'une zone de sables moyens à Hassi Massoud, qui ne représentent que 20.23% des échantillons.

4.2.2. Le Sorting Index (σ_t) (appelé aussi écart-type ou déviation standard)

Cet indice, donne une idée du tri des sédiments. Il renseigne sur la régularité des flux au moment de la sédimentation. La majorité des sables de la région d'ouargla, Hassi Messaoud et Touggourt ont des valeurs d'écart type variant de 0.35 à 1.08. Ils sont donc moyennement classés à assez bien classés et sont déposés dans un courant de transport assez régulier. La plupart des valeurs du triage de la région d'El Oued Souf et Taïbet sont comprises entre 0.31 à 0.50 Φ . Ils sont donc bien à très bien classés et sont déposés dans des milieux calmes, à faible énergie.

4.2.3. Le Skewness ou Coefficient d'asymétrie (SK_i)

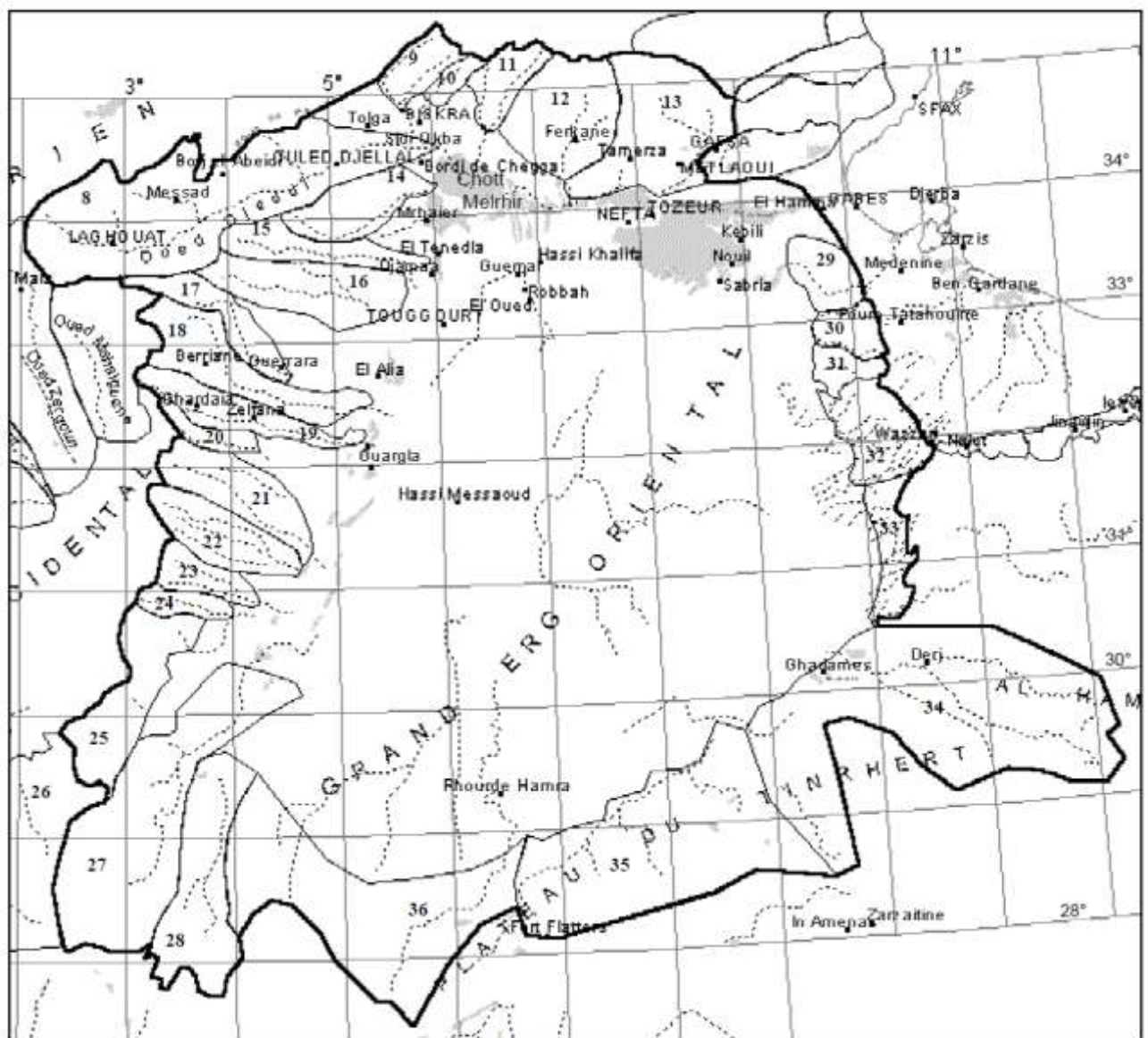
L'indice de biais (Skewness) est le facteur le plus important pour distinguer, à partir de la granulométrie d'échantillon, les sédiments provenant de plages, de fleuves, de dunes ou de rivières. Diverses interprétations existent à propos de la valeur de cet indice. Selon **(Chamley, 2000)**, il exprime le milieu de dépôt, plutôt que les conditions de transport. Ainsi, les fortes asymétries positives se rencontrent essentiellement dans les sédiments fluviaux enrichis en fines décantées en fin de crue, tandis que les asymétries négatives s'observent davantage dans les sables littoraux où les fines sont éliminées par vannage. Le Skewness indique des sables très asymétrique vers les grossiers pour la zone de Hassi Messaoud, alors que ceux de Touggourt, Taïbet, Oued Souf et Ouargla, à devenir asymétriques et très asymétriques vers les fins. (Le Bas-Sahara Algérien actuel porte les vestiges d'un réseau hydrographique ancien qui témoigne d'écoulements de surface énergiques au cours des périodes humides du Quaternaire (cf. figure 54). Bien que ce réseau soit aujourd'hui ou moins colmaté par des apports éoliens ou des dépôts sédimentaires **(Ballais, 2010)**. Ces écoulements ne se produisaient pas vers la mer mais vers l'intérieur du Sahara : il s'agit d'un réseau endoréique débouchant dans les grandes sebkhas (Melrhir par exemple) en communiquant avec les nappes aquifères souterraines. On comprend ainsi que d'énormes réserves hydrauliques se soient constituées au cours des périodes géologiques humides en s'accumulant dans les terrains perméables du secondaire et du Tertiaire **(Dubief, 1953)**).

Ce Triage a été faite par l'Oued Igharghar et Oued Mya (cf. figure 55) qui drainait autre fois, vers le Nord, les eaux de tous les importants massifs qui occupent la partie centrale du Sahara (Tassilis et Monts du Hoggar) (**Ballais, 2010**). Selon (**Granger, 1922**), montre que L'Igharghar part du Tassili Najjer (2158m) et atteint le chott Mérouane-Melrhir (-27m) en empruntant L'Oued Righ, selon un tracé rectiligne Sud-nord. Confirmant ainsi leur caractère de sédiments fluviaux.

4.2.4. Le Kurtosis ou Coefficients d'acuité

Le Kurtosis est l'indice d'acuité du mode, il mesure l'angulosité de la courbe des fréquences. Si le mode est concentré dans les classes granulométriques restreinte, on a une distribution Leptocurtique, s'il est dispersé on a une distribution platycurtique (**Belmedrak, 2005**).

Les valeurs de l'indice d'acuité des échantillons de la région d'Ouargla et Hassi Messaoud sont comprises entre 1.62 et 0.78 et avec ces valeurs les distributions granulométriques présentent des courbes leptocurtiques à mésocurtiques, sauf pour certaines échantillons entraînent une distribution platycurtiques. Les valeurs du Kurtosis KG de la région de Touggourt et Oued Souf sont comprises entre 1.26 et 0.83 et avec ces valeurs les distributions granulométriques présentent des courbes platycurtiques à mésocurtiques. Pour l'indice d'acuité du Taïbet présente une distribution leptocurtique à très leptocurtique.



: Bassins du Melhir

8 : Oued Djedi	14 : Oued Ittel	20 : Oued Metlili	26 : Oued Ech Cheguig	32 : Secteur Djneiene
9 : Oued Biskra	15 : Oued Rtem	21 : Oued Touil	27 : Oued Mya	33 : Secteur Tiaret
10 : Oued Biraz	16 : Oued Attar	22 : Oued Fahl	28 : Oued In Sakki	34 : Oued Tanarout
11 : Oued El Arab	17 : Oued Zegrir	23 : Oued Gouiret Moussa	29 : Oued Hallouf	35 : Oued Dranet
12 : Oued Djedah	18 : Oued N'sa	24 : Oued Djafou	30 : Secteur Mahbes	36 : Oued El Abed-Igharghar
13 : Oued El Melah	19 : Oued M'zab	25 : Oued Djoua	31 : Secteur Lisséri	

Figure 54. Le réseau hydrographique du Bas-Sahara Algérien (d'après Ould Baba Sy, 2005). Aucun des oueds Sahariens ne rejoint la mer. Ils ont l'air aujourd'hui de se perdre dans le désert mais lors de périodes plus humides ils rejoignaient des cuvettes comparables au lac Tchad actuel. Il n'en reste à présent que les fonds humides ou colmatés par le sable : les sebkhas Mekerrane et Safioune et les chotts Merouane et Melhir.

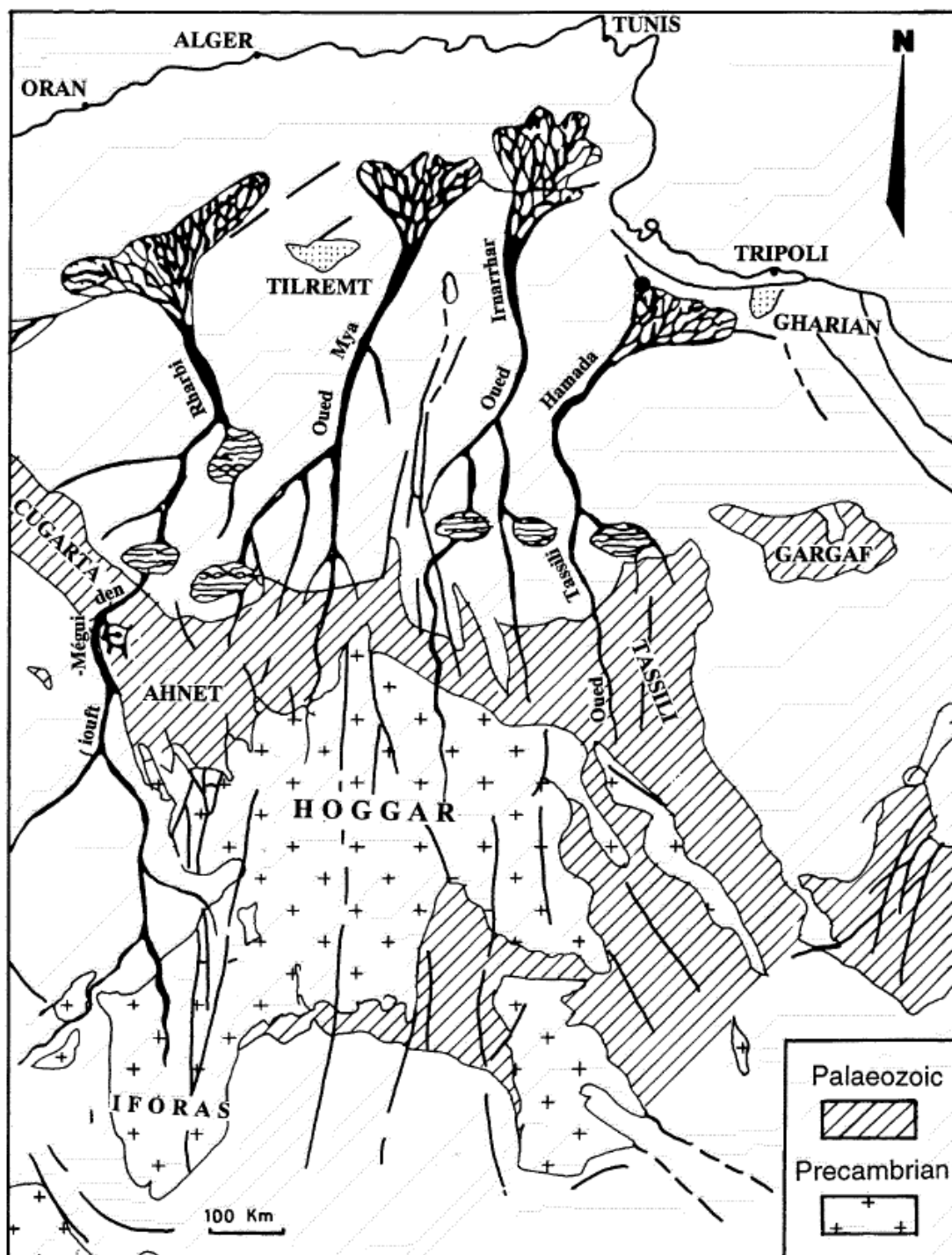


Figure 55. Origine des sables du Grand Erg Oriental (d'après Legrand et Guiraud, 1990 in Ouaja, 2003).

4.2.5. Origine des sables

Les paramètres de **Folk et Ward (1957)** ont été utilisés pour caractériser les environnements sédimentaires. Certains auteurs, comme (**Friedman, 1961 ; Moiola et Weiser, 1968 ; Valia et Cameeron, 1977**) ont proposé d'utiliser des diagrammes bidimensionnels faisant intervenir deux paramètres, comme l'indice d'hétérogénéité et l'indice de biais, pour définir des zones caractéristiques des sédiments de différentes origines. Ainsi **Mason et Folk (1958) in Belmedrek (2005)**, ont montré qu'à partir d'un diagramme binaire qui comprend le Skewness et le Kurtosis, on peut différencier entre le sable dunaire et le sable de plage. Nous avons établi, les diagrammes Mz- σ_1 ,SKI- KG, Mz- SKI, σ_1 - SKI (cf. figure 56).

- la couple Mz- σ_1 permet une bonne différenciation entre sables de rivières et sable de plage d'une part, et sables de rivière et d'une côtières d'autre part.
- les couples SKI- KG et Mz- SKI permettent de différencier sables de plage et dunes continentales d'une part, et dunes côtières et dunes continentales d'autre part.
- la couple σ_1 - SKI permet de différencier sables de rivière et sables de plage.

Les résultats de nos corrélations entre le grain moyen-sorting (Mz- σ_1) et grain moyen-Skewness (Mz- SKI) permettent de déterminer leur milieu de dépôt. Le diagramme Mz- σ_1 présente la dispersion des points. Elle se fait entre le domaine de plages et le domaine de rivières. A l'analyse, tous les points sont regroupés dans le domaine de rivières. Ceci signifie que la quasi-totalité des grains sont issus des rivières, principalement de l'érosion fluviale du massif cristallophylien du Hoggar, ceci suppose que ce sont des accumulations anciennes de l'Oued Igharghar. Les sédiments pourraient dans ce cas être des sables d'origine fluvatile. La figure 44c présente le diagramme de dispersion grain moyen-Skewness. La répartition des points montre que tous les points sauf certains points sont regroupés dans le milieu des dunes continentales. Cela pourrait s'expliquer par le fait que l'Oued Igharghar est alimenté par un bassin principal qui draine les eaux de tous les importants massifs qui occupent la partie centrale du Sahara. (Le Grand Erg Oriental long de 600 km, avec un bassin versant 700 000 km²). Ces données sont pour l'essentiel dues à (**Dubief, 1953 ; Vianney, 1960 ; Medinger, 1961 ; Tessier, 1965 ; Nesson, 1975 et Rongnon, 1994**).

L'étude réalisée pour la discrimination des milieux de dépôt à partir des diagrammes Mz- σ_1 et Mz- SKI (N'Guessan *et al.*, 2014), où le nuage de points se trouve respectivement dans le domaine de la rivière et des dunes continentales, permet de caractériser le milieu de dépôt des sédiments du Grand Erg Oriental. Il est continental fluviatile.

4.3. Analyse morphoscopique des grains de quartz

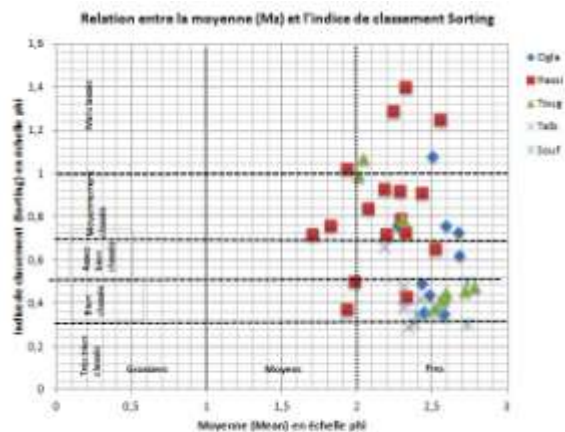
L'examen morphoscopique des grains de quartz des sédiments sableux superficiels fournit des indications précieuses sur les mécanismes de transport et éventuellement sur le milieu de sédimentation. En effet, à la suite des travaux de (Cailleux, 1943) qui énoncent, pour des grains de 300 μ m, les règles suivantes :

- Au-dessus de 30% d'émoussés luisants, l'usure par la mer est certaine
- De 30 à 20% d'émoussés luisants, l'usure par la mer est probable
- En-dessous de 20% d'émoussés luisants, il y a alternative entre usure des grains par la mer ou par un fleuve.

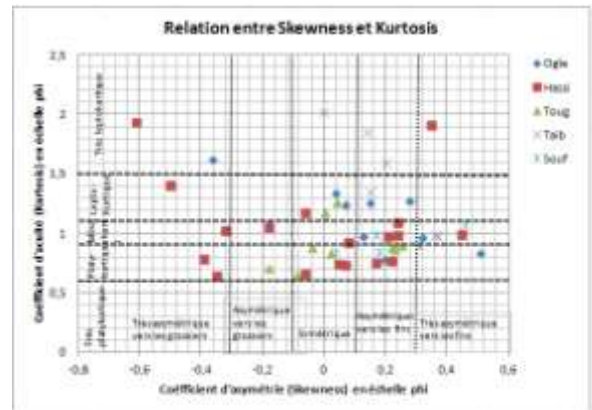
Si l'on se réfère à la norme communément admise définie par (Cailleux, 1943), il est évident que l'ensemble des dépôts étudiés a été accumulé en milieu aquatique. Les sables considérés montrent tous un pourcentage de grains émoussés-luisants très largement supérieur à 30% (cf Tableau 15). Les sables pour tous les régions présentent dans leur majorité, pour la classe de 125 à 315 μ m, une proportion de grains émoussés-luisants supérieur à 70%. Les grains Ronds-mats pour leur part totalisent 30% du sédiment, et les Non-usés sont pour ainsi dire inexistantes. Dans la classe granulométrique supérieure, de 315 à 500 μ m, l'émoussé du sédiment apparaît encore mieux, avec en général 55 à 60% des grains émoussés luisants et de 40 à 45% de Ronds-mats (cf. figure 57). Toujours en l'absence de Non-Usés.

L'ensemble de ces résultats témoigne pour les sables du Grand Erg Oriental d'un émoussé tellement important qu'ils signalent que les grains de quartz ont principalement subi l'influence du transport par l'eau et de la dynamique fluviatile sur grains qui proviennent des formations gréseuses du Tassili et des formations granitiques du massif du Hoggar suite à des cycles d'érosion intense au Quaternaire à l'occasion du vent et des pluies diluviennes durant le cycle humide. Au quaternaire, le Bas-Sahara Algérien subit un régime climatique des plus variables, allant des pluies tenaces et continues durant les périodes glaciaires, au climat le plus sec pendant les phases interglaciaires. On peut dire que le Bas-Sahara n'est devenu ce qu'il est, qu'à une époque relativement récente. Durant les ères, il fut mer ou continent suivant les transformations du Sahara. D'après Nesson (1975), la région a connu, en effet, au cours de

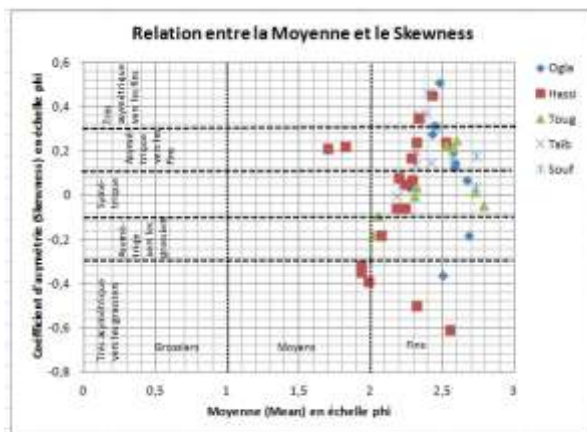
son histoire géologique de longues phases de sédimentation alternativement marines et continentales. Il possédait un réseau hydrographique marqué et l'Oued Igharghar qui le traversait, allait se perdre ses crues jusque dans le Sud Tunisien (**Voisin, 2004**).



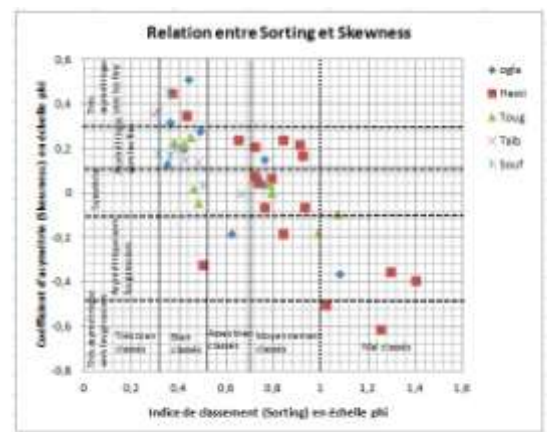
(a)



(b)



(c)

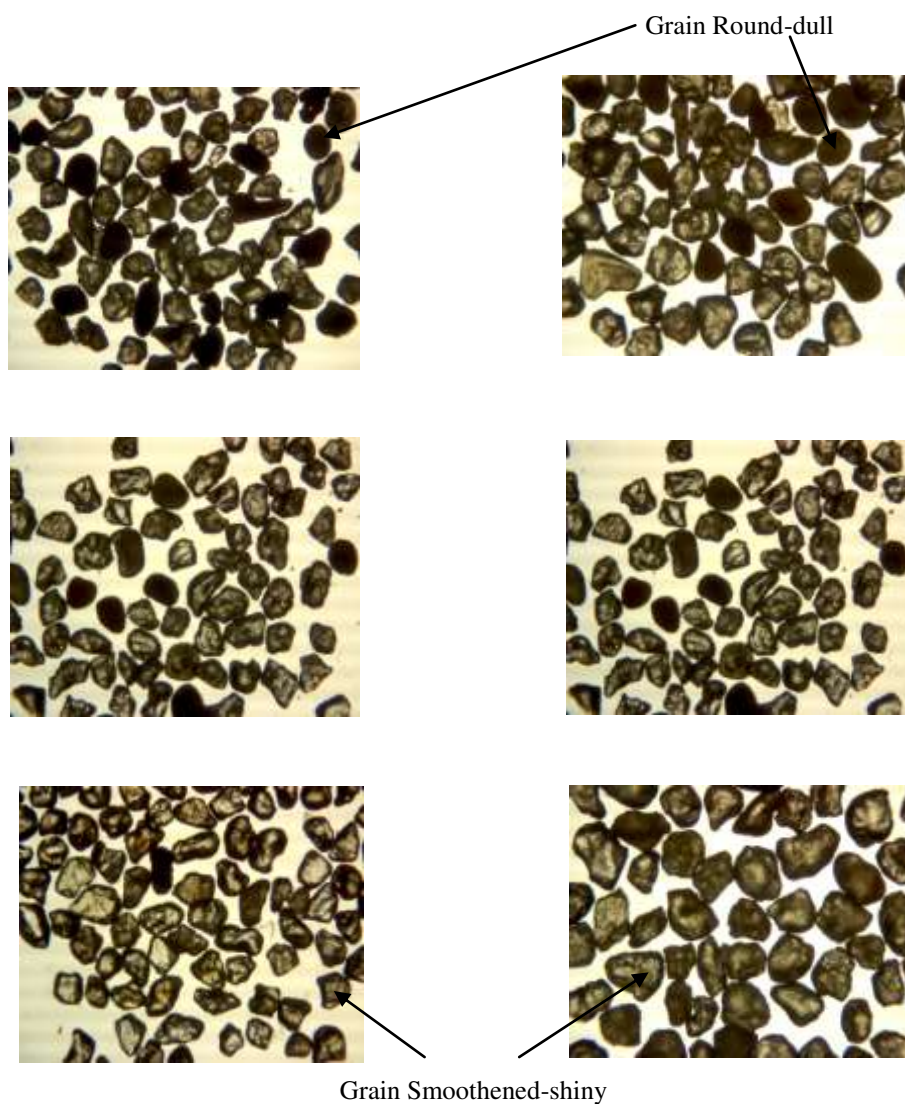


(d)

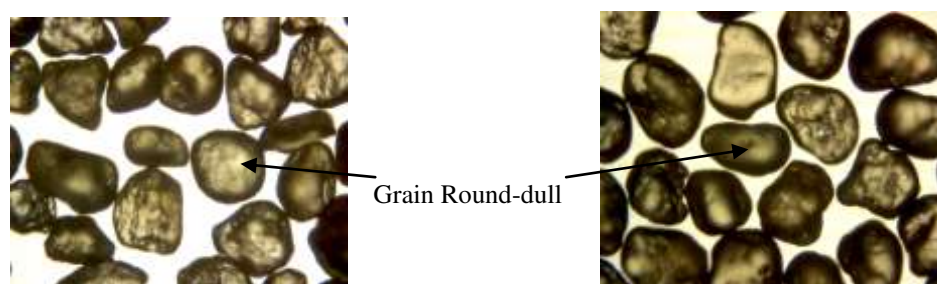
Figure 56. Diagrammes bidimensionnels entre (a) grain moyen et l'indice de classement Sorting (b) Coefficient d'asymétrie Skewness et le Coefficient d'acuité kurtosis (c) grain moyen et le coefficient d'asymétrie (d) l'indice de classement et le coefficient d'asymétrie (d'après Sebaa, 2016).

Tableau 15. Morphoscopie des grains de quartz (dans pourcentage du nombre total des principales formes de grains. NU : les grains Non-Usés ; EL : les grains Emoussés-Luisants ; RM : les grains Ronds-Mats. à chaque secteur au Bas-Sahara algérien pour 03 fractions granulométriques de 125 à 200 μm , de 200 à 315 μm et de 315 à 500 μm).

	Ouargla	Hassi Messaoud	Touggourt	Taïbet	Oued Souf
Fraction granulométrique (de 125 à 200 μm)					
NU	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
EL	37.1	73.06	84	89.17	87.8
RM	62.9	26.94	16	10.83	12.2
Fraction granulométrique (de 200 à 315 μm)					
NU	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
EL	30.4	66.62	76.67	87.17	82
RM	69.6	33.38	23.33	12.83	18
Fraction granulométrique (de 315 à 500 μm)					
NU	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
EL	12.77	41.88	67.38	75.6	84.67
RM	87.23	58.12	32.62	24.4	15.33



Morphoscopy of the quartz grains for the samples in the Algerian Bas-Sahara
(Fraction 315-200 μm)



Morphoscopy of the quartz grains for the samples in the Algerian Bas-Sahara
(Fraction 500-315 μm)

Figure 57. Les échantillons des sables pour toutes les régions d'études montrent une prédominance des émoussés-luisants (d'après Sebaa, 2016).

Par ailleurs, on remarquera qu'en général, les grains les plus gros d'un sédiment de 315 à 500µm possèdent un pourcentage de Ronts Mats plus élevé. Permettent d'attribuer une reprise éolienne à ces sables d'origine marine. Confirmant ainsi la règle qui prétend qu'un grain plus gros est plus sensible au façonnement de l'agent de transport.

Nous avons vu que des cours d'eau nombreux avaient raviné la région (Oued Igharghar, Oued M'ya et Oued Righ...), formant les vallées et transportant des alluvions. Une fois les rivières taries, les alluvions sableuses, livrées à la fougue du travail du vent, ont fourni la matière nécessaire à la formation de l'Erg. Le sable occupe donc l'emplacement d'anciens réseaux hydrographiques, et l'on peut affirmer que les sables sont d'origine fluviale. Le vent n'a qu'un rôle formatif secondaire.

4.4. Analyse des minéraux lourds

Les analyses minéralogiques sont d'une importance primordiale dans l'étude des sables du Grand Erg Oriental. Elles apportent d'indéniables enseignements quand à la reconnaissance de ces sables. L'extraction des minéraux lourds du reste du sédiment se fait par des liqueurs denses, dont la plus couramment employée est le bromoforme ($d = 2.89$ à 20°C) : les minéraux légers, tels que le quartz, les feldspaths, les micas, y flottent tandis que les minéraux lourds coulent (**Vuilleumier, 2019**). Après la séparation densimétrique par le bromoforme, les échantillons conservées et choisies pour le tri en loupe binoculaire, pour le montage et l'identification des minéraux lourds.

La détermination a été faite à la loupe binoculaire et au microscope sur des minéraux non montés au baume du Canada. Après dépôt sur un portoir carré de 8 cm de côté, quadrillé au millimètre, le comptage a été effectué sous la loupe binoculaire. Suivant l'abondance du cortège lourd, nous avons procédé de trois manières :

- dans le cas où les grains sont suffisamment abondants, seuls ceux situés à la croisée des deux lignes millimétriques ont été comptés ;
- si le cortège de minéraux lourds est très peu fourni, la totalité des grains a été comptée par bande (**Parfenoff et al., 1970**) ;
- dans les cas intermédiaires, nous avons procédé au comptage par ligne.

Le nombre de grains comptés a toujours atteint 200. Le comptage a porté à la fois sur les minéraux transparents et opaques.

Les comptages effectués, dont les résultats figurent au Tableau 19 en annexe.

Pour comprendre l'histoire d'une roche, il est souvent utile de déterminer les minéraux qui les composent, et ces minéraux ne sont pas toujours visibles à l'œil nu. On utilise alors un microscope polarisant pour observer et identifier ces minéraux.

a) Détermination en lumière transmise : ce type d'analyse est préconisé dans le cas des minéraux denses transparents comme Zircon, le Rutile, l'Anadalousite, le Disthène, la Staurotide, le Grenat, Sphène, l'Anastase, la Brookite, l'Hornblende, l'Apatite et l'Epidote. Elle permet aussi de connaître la couleur, la forme, le pléochroïsme, le relief, le clivage et l'extinction du minéral (**Belmedrek, 2005**).

b) Détermination en lumière réfléchie : cette pratique est particulièrement indiquée pour les minéraux opaques comme la Magnétite, l'Ilménite, le Leucoxène, l'Hématite, la chromite. Elle permet de mettre en évidence la couleur, le pouvoir réflecteur, la biréfringence, l'extinction et les réflexions internes (**Belmedrek, 2005**).

Le pourcentage de minéraux lourds dans la fraction examinée (160-80µm) contient les mêmes cortèges minéralogiques lourds (cf. tableau 20 en annexe). L'analyse minéralogique de la fraction lourde montre l'abondance de l'Hématite et de la Magnétite sur le reste des minéraux. Certaines espèces sont très rares. C'est le cas de Grenat, Siderite, Geothite, L'Anatase, l'Augite, La Sillimanite et le Sphère ; la Tourmaline, la Staurotide, la Hornblende et les épidotes... ont été décelés (moins de 1%).

Les minéraux les plus abondants dans le sable sont les minéraux qui étaient abondants dans la roche à l'origine de ce sable, accompagné de certains minéraux moins abondants au départ, mais qui se sont concentrés par la suite. En raison de leur grande résistance à la météorisation, la Magnétite à la fois dure et inaltérable, peuvent se concentrer dans le sable, par disparition des minéraux fragiles durant le transport et devenir la principale composante des minéraux lourds du sable de rivière.

L'étude minéralogique du sable de l'Erg Oriental révèle l'appartenance de ces sables à l'origine fluvial du massif cristallophylien du Hoggar, ceci suppose que ce sont des accumulations anciennes de l'Oued Igharghar.

Du point de vue géologique, les formations de sable de dune, s'étale de l'Erg Oriental jusqu'à la région de Djanet se sont constituées pendant les différentes périodes du Quaternaire, elles

proviennent des formations gréseuses du Tassili et des formations granitiques du massif du Hoggar suite à des cycles d'érosion intense au Quaternaire à l'occasion du vent et des pluies diluviennes durant le cycle humide.

Conclusion Générale

Conclusion

Les variantes de la première série du test ont permis de démontrer que la forme géométrique de la route joue un rôle déterminant et prédominant dans le phénomène de l'ensablement des routes. Les principaux résultats obtenus ont montré que :

- Une route saharienne peut à elle seule jouer le rôle d'évacuateur de sable, si cette dernière présente une pente d'accotements de 1/5 ème dans un profil en remblai au lieu de 2/3.
- La hauteur de la route doit être supérieure à 1m.

Pour la deuxième série, l'implantation du Drâa à 15m et 20m par rapport à la route et ayant une hauteur de 2.75m présente une accumulation accélérée de la chaussée. Mais l'implantation du drâa à respectivement 30m, 40m et 50m par rapport à la route et ayant une hauteur de 3.75m montre que l'accumulation des sédiments s'effectue en amont du Drâa pour la gamme de vitesse étudiée. Néanmoins une érosion apparaît entre le Drâa et la chaussée, ainsi que dans la partie sous-vent. Ces essais montrent un désensablement de la chaussée.

Pour la troisième série, l'essai effectué sur la disposition de deux Drâas parallèlement à la route à 30m environ de la chaussée a donné des résultats satisfaisants. L'inclinaison du drâa par rapport à l'axe de la chaussée a provoqué une érosion entre la chaussée et le Drâa, ainsi que dans la partie sous-vent.

A travers les essais effectués en canal à courant, les distances adéquates d'implantation des Drâas parallèlement à la chaussée requises dans ce cas sont de 30, 40, et 50m de la chaussée pour une hauteur de Drâa de 3.75m (variante A3, A4, A5). La variante recommandée dans le cas de la disposition de l'obstacle parallèlement à la chaussée est la variante A3, et B5 dans le cas d'implantation de 2 Drâas parallèle. Quant à la disposition des Drâas en biais et soumis à une direction de vent frontale, la variante B1 est proposée. Il reste évident que pour l'étude de l'efficacité des Drâas implantés obliquement par rapport à l'axe de la route, seule une étude en modèle physique tridimensionnel peut permettre de tirer des conclusions fiables et intéressantes pour l'objet de la présente étude.

A l'issue des résultats obtenus en modèles réduits, la partie enquête sur terrain permet de suivre pendant plusieurs années d'observation, de suivi, de longues conversations enrichissantes avec les populations locales, les acteurs du terrain le comportement de protection de ces murs anti-sables (Drâas) ainsi que l'efficacité des paramètres obtenus au laboratoire. Les résultats enregistrés sur le terrain ont d'importantes performances et ils ont

montré leurs efficacités à travers le temps. Les modèles de stabilisation mécanique des dunes mises en place, demeurent encore intact et confirme une fois de plus son efficacité face à l'agressivité de l'action des vents violents. La technique de Drâa est venue pour combler les insuffisances et mettre en place une solution à la fois pratique et durable pour l'évacuation des dunes menaçant les routes. D'une part, la facilité de mise en place de ces petits barrages et de leur longue durée de vie. D'autre part par le coût de revient de cette technique considérablement réduit par rapport à d'autres méthodes de fixation mécanique. Sa facilité d'installation avec la possibilité de mécanisation offre de grandes perspectives (**Sebaa et al., 2015**). Les premières réalisations expérimentales à Adrar montrent que la méthode Drâas est efficace. Mais elle devra être complétée par des mesures précises et des simulations numériques pour déterminer l'origine et la structure des écoulements aérodynamiques au voisinage des différents brise-vents utilisés et pouvoir ainsi optimiser l'action de ces recirculations. La méthode Drâas peut ainsi apporter une solution plus pratique que les palissades en palmes et l'épandage d'hydrocarbures pour lutter contre l'ensablement des routes. Utilisant l'énergie du vent et des matériaux grossiers, elle ne nécessite pas de gros investissements et sa diffusion peut être assurée par des stages de 1 à 2 semaines, pour les responsables des chantiers. Elle pourrait donc facilement être développée dans tous les secteurs menacés par l'avancée des dunes dont le risque s'étendra au cours des prochaines décennies, avec le développement des installations humaines dans les régions arides et les régions en voie de désertification. L'étude des paramètres de textures des sédiments est d'une utilité primordiale pour différencier divers environnements de dépôts et d'interprétation ainsi l'origine des anciens dépôts élastiques. La distribution granulométriques constitue d'ailleurs une caractéristique intrinsèque essentielle pour toute description quantitative des sédiments (**Fournier et al., 2014**). Les paramètres utilisés pour décrire la distribution granulométrique des sables du Grand Erg Oriental sont la moyenne graphique (MZ), la déviation standard (SD), le coefficient d'asymétrie (Ski) et le coefficient d'acuité (KG). Les statistiques sont calculées avec les méthodes des moments arithmétiques et géométriques et la méthode logarithmique de **R.L. Folk et W.C. Ward (1957, cité par Belmedrek, 2005)**. L'analyse morphoscopique du quartz a été réalisée à la loupe binoculaire (x 40). Le comptage des grains a été effectué sur 100 grains (**Benali & et Soualah, 2014 ; Chellat, 2014**). Le Skewness indique des sables positivement asymétriques vers les fins et une distribution mésokurtique à platykurtique pour la plupart des échantillons (**Irudhayanathan et al., 2011**). La morphoscopie du quartz montre une prédominance des émoussés-luisants (au-dessus de 30 %)

qui indique que les quartz ont évolué dans un milieu aquatique continentaux (ancien fleuves sahariens : Igharghar, Oued Righ et Oued M'ya).

Nous avons vu que des cours d'eau nombreux avaient raviné la région du Bas-Sahara Algérien, formant les vallées et transportant les alluvions. Une fois les rivières taries, les alluvions sableuses, livrées à la fougue du travail du vent, ont fourni la matière nécessaire à la formation de l'Erg. Rappelons que ce sable n'est pas amené par le vent mais qu'il est le résultat d'une longue évolution sous différents climats.

La période Quaternaire s'ouvre sur une phase plutôt humide installée dès la fin du Tertiaire et qui va durer un bon million d'années. Pendant cette longue période le paysage actuel s'élabore : des grands oueds descendant du Nord vont se jeter dans la cuvette de l'Erg Chech et dans la zone de subsidence des grands chotts Algéro-Tunisiens. Les vallées se creusent et s'encaissent, de nombreux lacs se maintiennent dans la Saoura, le Touat, le Bas-Pays de l'Ahnet et le Bas-Sahara.

Ce Quaternaire n'a connu que des transformations géologiques limitées, mais les événements climatiques ont eu une importance capitale sur le modelé.

Les périodes arides ont au contraire masqué une partie de ce réseau en accumulant d'énormes masses sableuses sans les deltas, sur plusieurs centaines de milliers de km². Ces véritables massifs dunaires constituent aujourd'hui les Grands Ergs Occidental et Oriental.

L'étude minéralogique du sable de l'Erg Oriental révèle l'appartenance de ces sables à une érosion fluviale du massif cristallophylien du Hoggar, ceci suppose que ce sont des accumulations anciennes de l'Oued Igharghar. Le sable occupe donc l'emplacement d'anciens réseaux hydrographiques, et l'on peut affirmer que les sables sont d'origine fluviale. Le vent n'a qu'un rôle formatif secondaire.

Les Références Bibliographiques

Les Références Bibliographiques

- Aguiieb, Z., et Messai Belgacem, M., (2015).** Valorisation des arachides (*Arachis hypogea* L.) cultivées à la Wilaya d'El-Oued. Master Académique en Sciences Biologiques. *Université Echahid Hamma Lakhdar : Oued Souf*, 145p.
- Arens, S-M., (1994).** Aeolian processes in the Dutch fore dunes. Ph.D. dissertation, *University of Amsterdam, the Netherlands*, 150p.
- Bagnold, R-A., (1941).** The physics of wind btown sands and desert dunes. *Methuen. London*, 265p.
- Ballais, J-L., (2010).** Des oueds mythiques aux rivières artificielles : l'hydrographie du Bas-Sahara Algérien. *Physio-Géo. Géographie physique et environnement. Vol IV. pp. 107-127.*
- Bataillon, CL., (1955).** Le Souf, étude géographique. *Alger : Institut de Recherches Sahariennes, mémoire n° 02. 140 p.*
- Beiner, M ; Harmand, D ; Cordier, S ; Occhietti, S., (2009).** Les minéraux lourds des alluvions quaternaires du bassin de la moselle : nouvelles données. *Quaternaire, 20, (1), pp. 63-80.*
- Bekakra., (2007).** La lutte contre l'ensablement : bilan des activités DTP d'El Oued. **In :** Actes des journées d'étude et de sensibilisation sur la quantification du sable en transit éolien et sur la lutte contre l'ensablement, 21-22 Janvier 2007, *Université Kasdi Merbah de Ouargla*, 182p.
- Bekkari, T-H., (2012).** Contribution à l'étude du cycle biologique d'une coccinelle phytophage *Epilachna chrysomelina* dans la région à Ghamara. *Thèse d'Ingénieur d'Etat en Sciences Agronomiques. Université Kasdi Merbah : Ouargla*, 102p.
- Bel, F., et Cuch, D., (1969).** Mise au point des connaissances sur la nappe du Complexe Terminal ; ERESS ; Ouargla. *Algérie. 3 fig, 17 planches, 20p.*
- Belmedrek, S., (2005).** Granulométrie et minéraux lourds des sables dunaires et de plage des secteurs de Oued Zhour et de Béni Bélaid (Jijel, Algérie nord oriental). *Thèse de Magister en géologie, 102p.*
- Benabdeli, K;Mohammedi, H;Letereuch-Belarouci, N.,(2002).**Conséquences phytoécologiques de la restauration d'un écosystème dunaire fixé avec le tamaris, en Algérie. *Ecologia mediterranea, vol. 28, no2, pp.93-99.*
- Benali, T., et Soualah Bedada, N-E., (2014).** Etude géologique et sédimentologique des gara Moi-pliocène de l'Est de Oued My'a (Ouargla). *Thèse d'ingénieur d'Etat en Géologie. Université Kasdi Merbah-Ouargla*, 89p.

- Benazzouz, M-T., (1994).** Etude des interactions relief-migrations éoliennes de sables dans la région de M'Doukal (Algérie) , *rev. Méditerranée n. 3-4* , pp. 51-58.
- Benazzouz, M-T., (1996).** The causes of desertification in the northern Algerian Sahara. *Geomorphic hazards*, edited by O.Slymaker. John Wiley,pp.183-195.
- Benazzouz, M-T. (1997).** Morphogénèse éolienne et désertification dans les monts des Zibans , Algérie. *Fourth International Conference on Geomorphology* , Bologna,Italy, 28 August-3 September 1997 .
- Benazzouz, M-T., (2000).** Morphogénèse éolienne holocène et actuelle dans l'Atlas saharien oriental : conséquences sur la désertification. *Thèse Doctorat d'Etat, université de Constantine*, 350 p.
- Benhouidi, S., (2010).** Contribution à l'étude de l'impact de la variabilité spatiale du niveau de la phréatique dans les Ghouts de Oued Souf sur la salinisation des sols. *Thèse d'Ingénieur d'Etat en Sciences Agronomiques. Université Kasdi Merbah : Ouargla*, 101p.
- Bensalma, H ; Tacherifet, L ; Si Moussa, S., (2002).** Contribution à l'étude de la remontée des eaux dans la vallée du Souf. *Mém. Ingéniorat d'Etat, USTHB. Alger*, 89 p.
- Bensouiah, R., (2004).** Politique forestière et lutte contre la désertification en Algérie : du barrage vert au PNDA. *T. XXV, n°3*, pp. 191-198.
- Bernezat Jean Louis.** Zaïed Travel Agency. Tunisie ; le grand erg oriental. [en ligne] (Modifié le 06 Septembre 2007) Disponible sur : <<http://www.Zaïed-travel.com/lstcat-le-grand-erg-oriental-7.html>> (consulté le 05/06/2017).
- Bielders, C-L ; Rajot, J-R ; Karlheinz, M., (2004).** L'érosion éolienne dans le Sahel nigérien : influence des pratiques culturelles actuelles et méthodes de lutte. *Sécheresse 15* : pp.19–32.
- Blott, S-J., et Pye, K., (2001).** Gradistat : a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth Surface Processes and Landforms*, 26, pp. 1237-1248. Doi : 10-1002/esp.261.
- BNEDER., (1998).** Etude du plan directeur générale de développement des régions Sahariennes, indicateurs de développement monographies régionales. 95 p.
- Boubaker, O., (2014).** Biodiversité de l'arthropodofaune dans la région d'Oued Souf. *Thèse d'Ingénieur d'Etat en Sciences Agronomiques. Université Kasdi Merbah : Ouargla*, 100p.
- Boughazala, H., (2009).** Place des espèces nuisible dans le régime alimentaire du Hibou grand-duc ascalaphe *Bubo ascalaphus* (Savigny, 1889) dans la région du Souf. *Thèse d'Ingénieur d'Etat en Sciences Agronomiques. Université Kasdi Merbah : Ouargla*, 156p.

- Bouharras, F-E et Ajouguim, S., (2012).** L'influence de l'origine du sable et la taille de ses grains sur les produits finis. Thèse en Licence Sciences et Techniques. *Université Cadi Ayyad Faculté des Sciences et Techniques Marrakech*, 45p.
- Boussaïd, A ; Souiher, N ; Dubois, C ; Schmitz, S., (2018).** L'amplification de la désertification par les pratiques agro-sylvo-pastorales dans les hautes plaines steppiques Algériennes : les modes d'habiter de la Wilaya de Djelfa. *Cybergeo : European Journal of Geography [En ligne], Environnement, Nature, Paysage, document 862, mis en ligne le 04 septembre 2018. URL : [http://Journals. Openedition. Org/cybergeo/29257](http://Journals.Openedition.Org/cybergeo/29257) ; DOI : 10.4000/cybergeo.29257.*
- Busson, G., (1970).** Le Mésozoïque Saharien. 2ème partie : Essai de synthèse des données des sondages Algéro-Tunisiens. *Edit., Paris, «Centre. Rech. Zones. Arides», Géol. Ed. C.N.R.S. 811p.*
- Cahiers FAO., (1988).** Manuel de fixation des dunes. *Cahiers conservation N° 18, Rome. 68p.*
- Cailloux, A., (1943).** Distinction des sables marins et fluviatiles. *Bull. Soc. Géol. France, 5^e série, 13 (4,5,6) : pp. 125-138.*
- Cailloux, A., et Tricart, J., (1959).** Initiation à l'étude des sables et des galets (tome 1). *Paris : CDU, 367p.*
- Cappucci, S., et Pallottini, E., (2007).** Manuel pour la caractérisation et l'aménagement des dunes côtières. *ICRAM Provincia Di Pisa. Université de Ferrara. Université de Bologna-CIRSA et Dista. 129p.*
- Catherine, M-F., et Ruz, M-H., (2002).** Transports éoliens réels et théoriques en haut de plage et sommet de dune (Wissant, Pas-de- Calais, France)/Observed and predicted rates of aeolian sand transport on the upper beach and dune top, Wissant beach, Northern France. *Géomorphologie : relief, processus, environnement, pp.321-334.*
- Censier, C., (1991).** Dynamique sédimentaire d'un système fluviatile diamantifère mésozoïque : la formation de carnot (République centre africaine). *Thèse.Doct. Univ. Bangui et Univ. Bourgogne. Mémoire BRGM, n°205, 568p.*
- Chalabi, K., (2008).** Etude floristique des formations Sahariennes et de la germination des graines de *Retama retam* (webb) de la région de Taleb EL Arbi (W. d'EL – Oued). *Thèse Magister. Université d'Oran. 134 p.*
- Chamley, H., (2000).** Bases de sédimentologie. *Dunod, Paris, 2ème édition, 178p.*
- Côte, M., (2005).** La ville et le désert, le Bas – Sahara Algérien. *Ed KARTHALA et IREMAM, Paris, Aix – en – Provence, 306 p.*

- Chehma, A., (2005).** Etude floristique et nutritive des parcours camelins du Sahara Septentrional Algérien cas des régions de Ouargla et Ghardaïa. *Thèse Doctorat en Sciences. Université Badji Mokhtar : Annaba, 198p.*
- Chellat, S., (2014).** Cadre Sédimentologique et Paléoenvironnemental des Formations mio-pliocènes de la région de Guerrara (Ghardaïa, Algérie). *Thèse Doctorat en Sciences en Géologie. Université Constantine 1, 192p.*
- Chen, Z ; Cui, H ; Wu, P ; Zhao, Y ; Sun, Y., (2010).** Study on the optimal intercropping width to control wind erosion in North China. *Soil & Tillage Research 110 : pp.230– 235.*
- Chouial, A ; Hammoudi,A ; Makhloufk,L ; TOLBA, K.,(2000).** Expérience Algérienne en matière de fixation mécanique et biologique des formations éoliennes : Projet de recherche expérimentale sur les techniques de lutte contre la dynamique éolienne dans la zone steppique Algérienne, El-Mesrane, Djelfa., I.N.R.F. *Alger, p 65, (annexe, 22. tab, graph., schémas, cartes, photos.).*
- Direction générale des forêts (Algérie). (2004).** Rapport national de l'Algérie: sur la mise en œuvre de la convention de lutte contre la désertification. *Alger : Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural. 35 p.*
- Direction Générale de l'Environnement., (2001).** Elaboration de la stratégie et du plan d'action national des changements climatiques. 131 p.
- Djeha, L ; Taïbi, L ; Benaïssa, Z ; Boudouma, M., (1999).** Laboratoire d'Etudes Maritimes. Etude de protection des routes contre l'ensablement. *Rapport de synthèse, 14p.*
- Djeha, L., et Taïbi, L., (2007).** Contribution à la protection contre l'ensablement des routes Sahariennes : etude en modèle réduit physique. *In : Actes des journées d'étude et de sensibilisation sur la quantification du sable en transit éolien et sur la lutte contre l'ensablement, 21-22 Janvier 2007, Université Kasdi Merbah de Ouargla, 182p.*
- Djidel, M., (2008).** Pollution minérale et organique des eaux de la nappe superficielle de la cuvette de Ouargla (Sahara Septentrional, Algérie). *Thèse de Doctorat en Hydrogéologie. Université Badji Mokhtar Annaba, 208p.*
- DK News., (2016).** Adrar : hâter la réalisation de la route Adrar – Tindouf pour la livrer cette année. *Publier par le Quotidien National d'Information DK News le 25.03.2016.*
- DPAT., (2006).** Annuaire statistique de la Wilaya d'EL – Oued. 99 p.
- Drouiche, A., (2014).** Impact de la remontée des eaux sur la qualité des eaux de la nappe phréatique et sur l'environnement dans la vallée du Souf Sud-est Algérien. *Thèse de Doctorat en géologie appliquée. Université Badji Mokhtar-Annaba, 201p.*

- Dubief, J., (1952).** Le vent et le déplacement du sable au Sahara. *Ed. Inst. Rech. Sah. Alger. Tome VIII. pp. 123 – 163.*
- Dubief, J., (1953a).** Ruissellement superficiel au Sahara. *Colloque CNRS XXV (Alger, 1951), pp. 303-315.*
- Dubief, J., (1953b).** Essai sur l'hydrologie superficielle au Sahara. *Thèse de Doctorat d'Etat, Université d'Alger, 457p.*
- Dubief, J., (1963).** Le climat du Sahara. *Ed. Inst. Rech. Saha. Alger Tome II. 275 p.*
- Dulpaix, A.,(1958).** Détermination microscopique des sables. *Librairie Polytechnique C. Béranger, Paris, 96p.*
- Ezzeddine, A., (2006).** La lutte contre l'ensablement en Tunisie. 34p.
- FAO., (1980).** Cahier FAO conservation des sols n° 3 : *conservation des ressources naturelle en zones arides et semi – arides.*
- FAO., (1988).** Cahier FAO conservation n° 18 : *Manuel de fixation des dunes. Rome. 68p.*
- FAO., (1992).** Cahier FAO conservation n° 20 : *Foresterie en zones arides. Guide à l'intention des techniciens de terrain. 143 p.*
- FAO., (1992).** Cahier FAO conservation n° 21 : *le rôle de la foresterie dans la lutte contre la désertification.*
- FAO., (2011).** Gestion des plantations sur dunes. *Document de travail sur les Forêts et la Foresterie en zone aride n° 3, 52p.*
- Folk, R-L., et Ward, W.C., (1957).** Brazos River bar : a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology 27 : pp. 3-27.*
- Folk, R-L., (1966).** A review of grain-size parameters. *Sedimentology, 6, pp. 73-93.*
- Fournier, J ; Bonnot-Courtois, C ; Paris, R ; Voldoire, D ; Le Vot, M., (2012).** Analyses granulométriques, principes et méthodes. *CNRS, Dinard, 99p.*
- Fournier, J ; Gallon, R-K ; Paris, R., (2014).** G2Sd : a new R package for the statistical analysis of unconsolidated sediments. *Géomorphologie : relief, processus, environnement, Vol. 20 – n°1, pp. 73-78.*
- Friedman, G-M., (1961).** Distinction between dune, beach and river sands from their textural characteristics. *Journal of Sedimentary Petrology 31, pp. 514-529.*
- Gallon, R-K., et Fournier, J., (2012).** Grain-size statistics and description of sediment. CRAN R-package.
- Gangbaina, SL., (1984).** La lutte contre l'ensablement et la désertification dans la vallée de Draâ. Bilan de lutte. *Mémoire de 3^{ème} cycle Agronomique option Eaux et Forêts. I. A. V Hassan II. Rabat.*

- Goldsmith, V., (1985).** Coastal dunes. In : Davis, R.A. (Ed.), Coastal Sedimentary Environments. *Springer-verlag, New York, pp. 171-236.*
- Granger, E., (1922).** Nouvelle Géographie Universelle. *Tome II.Edit. Hachette, Paris-Londres, 496p.*
- Greenwood, B., (1969).** Sediment parameters and environment discrimination : an application of multivariate statistics. *Canadian Journal of Earth Science, Vol. 6, pp. 1347-1358.*
- Hadjouis, A., (1987).** Granulométrie des fractions sableuses. In : Miskovsky J.C. (ed.) – Géologie de la préhistoire. *Géopré, Paris, pp. 413-426.*
- Hagedon, H., (1977).** Dune stabilisation. A survey of literature on dune formation and dune stabilisation. *Géographics Universitat wurzburg. pp. 119 – 141.*
- Hartmann, D., (1991).** Cross-shore selective sorting processes and grain size distributional shape. *Acta Mechanica 2, pp. 49-63.*
- Houmyid, M., (1993).** Guide des techniques de lutte contre l'ensablement Projet RAB/98/084. *FAO. 91 p.*
- Houyou, Z ; Biolders, C-L ; Benhorma, A ; Dellal, A ; Boutmedjet, A., (2014).** Evidence of strong land degradation by wind erosion as a result of rainfed cropping in the algerian steppe: a case study at Laghouat. *Land Degrad. & Develop. DOI : 10.1002/ldr.2295.*
- Ikhlef, N., (2013).** Evaluation d'un projet de lute contre la desertification. Cas de la localité de Oued El Hallouf, commune de Maamora, Wilaya de Saida-Montpellier : CIHEAM-IAMM.136p.
- Inman, D.L., (1952).** Measures for describing the size distribution of sediments. *Journal of Sedimentary Petrology 22 : pp. 125-145.*
- Irudhayanathan, A ; Thirunavukkarasu, R ; Senapathi, V., (2011).** Grain size characteristics of the coleroon estuary sediments, Tamilandu, East coast of India. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences, Vol.6, N° 02, pp.151-157.*
- ISESCO et ACCT., (1997).** La lutte contre l'ensablement et la stabilisation des dunes. *Actes du séminaire – Atelier IRA/ISESCO, 205p.*
- Jacques Berte, C ; Ould Mohamed, M ; Ould Salek, M., (2010).** Lutte contre l'ensablement L'exemple de la Mauritanie. *FAO Forêts 158, Rome, 89p.*
- Kardous, M., (2005).** Quantification de l'érosion éolienne dans les zones arides Tunisiennes : approche expérimentale et modélisation. *Thèse Doctorale en Sciences présentée à l'Université Paris 12-Val-de-Marne, 298p.*
- Kebaïli, N., et Moudjahed, N., (2010).** Protection des routes contre l'ensablement : cas du Sud Algérien. *Annales des Sciences et Technologie AST, volume 2 numéro 2.*

- Khadraoui, A., (2008).** Les premières journées d'études sur la remontée des eaux dans la région d'EL – Oued. *Gestion intégrée des ressources en eau au Sahara*.
- Khatteli, H et Akrimi N., (1997).** Mise au point d'une méthode de fixation mécanique des dunes mobiles dans une zone pré-saharienne du sud tunisien. *Medit 1 : pp.14 - 19*.
- Kolli, A., (2012).** Etude des effondrements du Sahara septentrional cas : M'Rara, Guerrara et Mansourah. *Thèse de Magister en géoscience et environnement, 79p*.
- Krumbein, W-C., et Pettijhon, F-J., (1938).** Manual of Sedimentary Petrography. *Appleton-century-Crofts, New-York*.
- Lakhdarie, F., (2016).** Drâas installés sur le site expérimental le samedi 30 Janvier 2016. [Photo]. Disponible sur : <<http://www.crstra.dz/telechargement/conference/2016/directrice-Lakhdarie.17-12-2016.pdf>> (consulté le 17.12.2016).
- Lakhdarie, F., (2016).** Dune barkhanes qui traversent chemin de Wilaya CW2, à 25 km vers la commune d'Akabli, Daïra d'Aoulef, W d'Adrar. La section à risque d'ensablement est de l'ordre de 4775m. Disponible sur : <<http://www.crstra.dz/telechargement/conference/2016/directrice-Lakhdarie.17-12-2016.pdf>> (consulté le 17.12.2016).
- Laminou Manzo, O ; Campanella, B ; Paul, R., (2009).** Sélection d'espèces ligneuses adaptées à la fixation de dunes au Niger. *Geo-Eco-Trop. 33 : pp.99 – 106*.
- Le Ribault, L., (1975).** L'exoscopie ; méthodes et applications. *Notes et mémoires 12, total Cie française des Pétroles, Paris*.
- Lettau, K., et Lettau, H., (1978).** Experimental and micrometeorological field studies of dune migration. In H. Lettau, K. Lettau (Eds.) : *Exploring the world's driest climate. Center for climatic Research, Univ, Wisconsin, pp. 110-147*.
- Li, F-R ; Zhao, W-Z ; Liu, J-L ; Huang, Z-G., (2009).** Degraded vegetation and wind erosion influence soil carbon, nitrogen and phosphorus accumulation in sandy grasslands. *Plant Soil 317 : pp.79–92*.
- Losson,B., et Corbonnois, J., (2006).** Les modes de sédimentation détritique : nouvelle méthode de détermination appliquée à des remplissages endokarstiques. *Géologica Belgica 9/3-4, pp.257-265*.
- Mainguet, M., (1991).** Désertification. Natural background and human mismangement. *Springer, Series in physical environnement, vol. 9, springer – verlag. 306 p*.
- Mainguet, M., et Rémini, B., (2004).** Le rôle des méga-obstacles dans la formation et le façonnement des ergs : quelques exemples du Sahara. *Laboratoire de Recherche en Hydraulique Souterraine et de surface. Larhyss Journal N° 3. pp. 13-23*.

- Mainguet, M., et Dumay, F., (2006).** Combattre l'érosion éolienne : un volet de la lutte contre la désertification. *Les dossiers thématiques du CSFD. N° 3. Montpellier : Agropolis. 44 p.*
- Makhlouf, L ; Belabiod, Tolba,K., Zitouni, A ;Amraoui, A., (1997).** Recherche sur les techniques de lutte contre les phénomènes d'ensablement et de surcreusement des pieds de pylônes électriques dans la région d'El-oued. *Projet d'exécution (INRF/Sonelgaz).*
- Makhlouf, L ; Nadjahi, A ; Abdellaoui, M ; Benarar., (2012).** Protection des périmètres agricoles dans les régions arides et semi – arides. *Ed. INRF : Alger, 44p.*
- Marticorena, B., et Bergametti, G., (1995).** Modeling the atmospheric dust cycle : 1. Design of a soil – derived dust emission scheme. *J. Geophys.Res, 100: 16415 : 16430.*
- Martins, L-R., (1965).** Significance of Skewness and Kurtosis in environmental interpretation. *Journal of Sedimentary Petrology, Vol. 35, pp. 768-770.*
- Martin, L-R., (2003).** Recent sediments and grain size analysis. *GRAVEL. Porte Alegre, 1, pp. 90-105.*
- Mason, C-C., et Folk, R-L., (1958).** Differentiation of beach, dune and Aeolian flat environments by size analysis. *Journal of Sedimentary Petrology, Vol. 28, pp. 211-226.*
- Medarag, H; Boubir, N ; Farhi, A., (2009).** Le rôle des services et des investissements dans l'hypertrophie de la ville d'El Oued au Bas Sahara Algérien. *Environnement Urbain/Urban Environment [En ligne], volume 3, mis en ligne le 09 Septembre 2009, consulté le 13 septembre 2018. URL : <http://journals.openedition.org/eue/921>.*
- Medinger, G., (1961).** La crue de décembre 1960 de l'Oued Mya. *Trav. Inst. Rech.Sahar., XX, pp. 203-206.*
- Moiola, R-j., et Weiser, D., (1968).** Textural parameters : an evaluation. *Jour. Sedim. Petrol., Vol 38, pp. 45-53.*
- Monod, T., (1992).** Du désert. Sécheresse. 3 (1). pp. 7 – 24.
- Morphoscopie., (2018).** Wikipédia, l'encyclopédie libre. Page consulté le 19 :36 octobre 9, 2018 à partir de [http:// fr.wikipedia.org/w/index.php?title=morphoscopie&oldid=152896564](http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=morphoscopie&oldid=152896564).
- Najah, A., (1970).** Le Souf des oasis. *Maison des livres : Alger. 174 p.*
- Naaim-Bouvet, F., (1995).** La protection du col d'Engeyresque (A75) Modélisation physique en soufflerie et à l'extérieur de la formation de congères. *In Annales des Ponts et chaussées N° 73, pp. 27-41.*
- Naaim-Bouvet, F., et Naaim, M., (1995).** Modélisation physique en soufflerie et à l'extérieur du transport de la neige par le vent. *In La Houille Blanche N° 7, pp. 68-74.*

- Naaïm-Bouvet, F ; Naaïm, M ; Martinez, H., (1996).** Profils de concentration de la neige soufflée-théorie, résolution numérique et validation expérimentale In-situ. *In la Houille Blanche N° 5.* pp. 53-56.
- Nedjraoui, D et Bédrani, S., (2008).** La désertification dans les steppes algériennes: causes, impacts et actions de lutte. *VertigO -la revue électronique en sciences de l'environnement, vol. 8, n. 1.*
- Nesson, CL., (1975).** L'évolution des ressources hydrauliques dans les oasis du Bas – Sahara Algérien. *In : recherche sur l'Algérie, Mémoires et document n° 17, Paris, CNRS.* pp. 7 – 99.
- N'Guessan, Y-A ; Amani, E-M ; Koffi, K-F ; Adopo, L ; Diangone, B-E ; Monde, S ; Kouadio, A., (2014).** Caractérisation morphologique et sédimentologique de l'embouchure du fleuve Sassandra (Côte d'Ivoire). *Afrique Science 10/(2),* pp.277-288.
- Nougara, J.,(1968).** Mécanique des fluides expérimentale. *Ecole Nationale Supérieure d'Electronique d'Informatique et d'Hydraulique Université de Toulouse.*
- Nordstrom, K-F et Hott, S., (2004).** Wind erosion from cropland in the USA: a review of problems, solutions and prospects. *Geoderma 121 : pp.157–167.*
- OLDACHE (1988).** Contribution a l'étude de la fixation des dunes dans les régions d'el Mesrane (w. De djelfa) et ou-Saada (w. De m'sila). *Thèse de mag. Ina, 145 p.*
- OSS., (2003a).** Système Aquifère du Sahara Septentrional. Volume 2 : Hydrogéologie. *Projet SASS. Rapport interne. Coupes. Planches. Annexes. Tunis, Tunisie. 275p.*
- OSS., (2003b).** Système Aquifère du Sahara Septentrional. Volume 4 : Modèle Mathématique. *Projet SASS ; Rapport interne. Annexes. Tunis, Tunisie, 229p.*
- OTMANE, T., (2010).** Mise en valeur agricole et dynamiques rurales dans le Touat, le Gourara et le Tidikelt (Sahara Algérien). *Thèse de Doctorat en Cotutelle, Université d'Oran, Algérie et Université de Franche-Comté, France.*
- Otto, G-H., (1938).** The sedimentation unit and its use in field sampling. *Journal of Géology. Vol 46, pp. 569-582.*
- Ouaja, M., (2003).** Etude sédimentologique et paléobotanique du Jurassique moyen- Crétacé inférieur du bassin de Tatouine (Sud-est de la Tunisie). *Ph D, Univ. Claude Bernard ; Lyon 1 ; 164p.*
- Ould Baba Sy, M., (2005).** Recharge et paléorecharge du système aquifer du Sahara septentrional. *Thèse de Doctorat. Université Tunis El Manar, 261p.*
- Oulhadj, I., (2015).** Protection et mise en valeur intégrée dans les parcours Sahareins dans la région de Gourara (Wilaya d'Adrar). *Thèse de Master en Foresterie, 76p.*
- Ozenda, P., (1982).** Les végétaux dans la biosphère. *Ed. Doin : Paris. 431 p.*

- Ozenda, P., (1991).** *Flore de Sahara (3^{ème} édition)*. C. N. R. S. Paris. 662 p.
- Parfenoff, A ; Pomerol, C ; Tourenq, J., (1970).** Les minéraux en grains. Méthode d'étude et de détermination. *Masson*, 578p.
- Perriaux, J., (1972).** Dynamique des roches sédimentaires : la sédimentologie. In : Goguel, J., (ed.) – Géologie 1. La composition de la terre. *Gallimard (collection «Encyclopédie de la Pléiade»)*, pp. 721-757.
- Pimmel, A., (1984).** Contribution à l'étude sédimentologique des mangroves de casamance (Sénégal) : étude granulométrique et exoscopique. *Thèse de Docteur de spécialité (3^{ème} cycle) en géologie*, 149p.
- Pomerol, C., (1968).** Minéraux lourds. In. Etude géologique de quatre sondages dans le Paléogène du Bassin de Paris. *Mémoire BRGM, n°59*, pp. 77-86.
- Pupin, J-P., (1976).** Signification des caractères morphologiques du Zircon commun des roches en pétrologie. Base de la méthode typologique. Applications. *Thèse Doct.Etat. Univ. Nice*, 410p.
- Rajganapathi, V-C ; Jitheshkumar, N ; Sundararajan, M; Bhat, K-H; Velusamy, S., (2012).** Grain size analysis and characterization of sedimentary environment along Thiruchendur coast, Tamilnadu, India.in *Arabian Journal of Geosciences* 6(12). Doi 10.1007/s2517-012-0709-0.
- Rajot, J-L ; Karambiri, H ; Ribolzi, O ; Planchon, O ; Thiebaut, J-P., (2009).** Interaction entre érosion hydrique et éolienne sur sols sableux pastures au Sahel : cas du bassin-versant de Katchari au nord du Burkina Faso. *Sécheresse vol 20, n°1*, pp.131-138.
- Ravesh, M-H ; Khoram, M-R ; Khosravi, H., (2012).** Zoning Wind Erosion Potential Risk in Central Iran Using Modified Numerical Taxonomy Model. - *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci.* 12 (1): pp.91-99.
- Remini, B., (2001).** Méga-obstacles et dépressions topographiques, leur influence sur la dynamique éolienne, les ergs et l'ensablement des espaces oasiens. *Thèse doctorat université de Reims Champagne-Ardenne: Géographie 2001, Université de Reims Champagne-Ardenne.*
- Rémini, A., (2006).** Etude expérimentale de l'évolution de l'ensablement derrière les brise-vents. *Journal. Alg. Rég. Arides. N° 5*. pp. 23-28.
- Rognon, P., (1994).** Biographie d'un désert. Sahara. *Edit. l'Harmattan, Paris*, 350p.
- Rolland, G., (1980).** Hydrologie du Sahara Algérien. *Imprimerie Nationale*. 253 p.
- Rouvillois – Brigol, M., (1975).** Le pays d'Ouargla (Sahara Algérien). *Paris : Dep. Géog Université de Paris-Sorbonne*. 390p.

- Rozé, F., et Lemauiel S., (2004).** Sand dune restoration in north Brittany, France : a 10-years monitoring study. *Restoration Ecology* 12 : pp.29 – 35.
- Santara, P ; Mertia, R-S ; Kushawa, H-L., (2010).** A new wind-erosion sampler for monitoring dust-storm events in the Indian Thar desert. *Current science* 99 : pp.1061 – 1067.
- Sebaa, A-k; Berroussi, S; Bouhanna, M; Benazouz, M-T., (2009).** Utilisation des méthodes traditionnelles de lutte contre l'ensablement dans le Bas-Sahara Algérien : le tas de remblai. *Journal Algérien des Régions Arides*. N° 8. pp. 107-117.
- Sebaa, A-K ; Berroussi, S ; Bouhanna, M ; Boulghobra, N ; Hadri, T ; Koull, N ; Kherraze, M-E ; Benzaoui, T., (2015).** Guide des techniques de lutte contre l'ensablement au Sahara Algérien. *Ed. CRSTRA : Alger, 84p.*
- Seyni Seybou, A., (2006).** Impacts des brise-vent mécaniques installés sur une dune vive de Tchago (département de Gouré) sur le flux des sédiments éoliens et le retour de la végétation herbacée. *Faculté d'Agronomie de l'Université Abdou Moumouni de Niamey.*
- Sekkou, H., (1996).** Ensablement au maroc : ampleur, localisation, traitement et évaluation économique des interventions. IN ISESCO. *La lutte contre l'ensablement et la stabilisation des dunes du 18 au 21 septembre à Médenine. République Tunisienne.* pp. 87 – 104.
- Shao, Y ; Raupach, M-R ; Findlater, P-A. (1993).** Effect of saltation bombardement on the entrainment of dust by wind. *J. Geophys. Res*, 98 : 3023 – 3029.
- Tessier, M., (1965).** Les crues d'Oueds au Sahara Algérien de 1950 à 1961. *Trav.Inst.Rech.Sahar., XXIV, pp. 7-29.*
- Tidjani, A-D ; Ambouta, K ; Bielders C., (2009).** Réhabilitation d'une dune vive par fixation mécanique : flux éoliens, fertilité du sol et biodiversité des herbacées. *Geo-Eco-Trop.*, 33 : pp.81 – 98.
- TOLBA, K., (1994).** Stabilisation et reboisements des formations éoliennes à El Mesrane (Djelfa). *Symposium « Wind Erosion in West Africa », Allemagne, décembre 1994.* Pp.191-207.
- Torres, V ; Vandenberghe, J ; Hooghiemstra, H., (2005).** An environmental reconstruction of the sediment in fill of the Bogota basin (Colombia) during the last 3 million years from abiotic and biotic proxies. *Palaeogeography, palaeoclimatology, palaeoecology*, 226, pp. 127-148.
- Touré, A ; Rajot, J-L ; Gabra, Z ; Guillon, R ; Didier, T-A ; Marticorena, B ; Petit, C ; Sebag, D., (2013).** Six années de suivi du flux d'érosion éolienne sur un sol sableux cultivé au sahel : impact des résidus de cultures et de l'encroûtement. *Etude et gestion des sols* 20 :pp 55 – 68.

- Trask, P-D., (1930).** Economic geology. Vol. 25, pp. 581-599.
- UNESCO., (1975).** Rapport sur les réserves hydraulique du Sahara Algérien.
- Université Laval, Québec (Qc) Canada. Laboratoire de géomorphologie et de sédimentologie (LGS).** [en ligne]. (Mise à jour 2016) Disponible sur : <<https://www.ggr.ulaval.ca/laboratoire-de-géomorphologie-et-de-sédimentologie-lgs>> (consulté le 22/05/2019).
- Valia, S.H., et Cameeron, B., (1977).** Skewness as a paleoenvironmental indicator. *J. Sedim. Patrol.*, Vol. 47, n°2, pp. 784-793.
- Vandenberghe, N., (1975).** An evaluation of CM patterns for grain-size studies of fine grained sediments. *Sedimentology*, 22, pp. 615-622.
- Vatan, A., (1967).** Manuel de sédimentologie. *Ed. Technip, Paris*, 397p.
- Vianney, J.R., (1960).** Pluie et crue dans le Sahara Nord-occidental (mars 1959). *Monographies régionales de l'Inst. Rech. Sahar. (Alger)*, 118p.
- Visher, G.S., (1969).** Grain size distributions and depositional processes. *Journal of Sedimentary Petrology*, 39(3), pp. 1074-1106.
- Voisin, A-R., (2004).** Le Souf, monographie. *EL-Oued : EL Walid*. 319p.
- Vriend, N-M ; Hunt, M-L ; Clayton, R-W., (2012).** Sedimentary structure of large sand dunes: examples from Dumont and Eureka dunes, California. *Geophys. J. Int.* : 190 : pp.981–992.
- Vuilleumier, J., (2019).** Minéraux lourds, Encyclopaedia Universalis [en ligne], consulté le 02 avril 2019. URL : <http://www.universalis.fr/encycopedie/minéraux-lourds/>.

Annexe

Tableau 16 : Description globale des échantillons sableux superficiels au Bas – Sahara algérien. Nomenclature des échantillons. Ogla = Wilaya de Ouargla. Hassi = Zone de Hassi Messaoud. Tougg = Zone de Touggourt. Taïbet = Zone de Taïbet. Souf = Wilaya d'EL – Oued Souf. Le premier nombre qui suit les lettres correspond à l'indicatif de la Wilaya suivie par le numéro de l'échantillon.

Loc.	Ech.	X Geo	Y Geo	X UTM in meter	Y UTM in meter	% de la fraction >50µm	% de la fraction <50µm
Sidi Khouiled	Ogla 30 01	31 56 31.8	005 24 07.7	159850.54	3539680.181	99.13	0.87
Aïn Moussa	Ogla 30 02	32 04 24.0	005 20 12.9	154174.399	3554439.263	98.15	1.84
Sidi Khouiled	Ogla 30 03	31 56 28.4	005 24 19.8	160165.01	3539564.834	99.23	0.76
Oum er Raneb	Ogla 30 04	32 00 43.8	005 24 25.2	160568.627	3547430.585	97.93	2.07
Oum er Raneb	Ogla 30 05	32 03 11.3	005 21 51.2	156678.223	3552111.498	98.63	1.37
Bour el - Aïcha	Ogla 30 06	32 02 30.0	005 19 32.4	152991.919	3550962.23	98.13	1.86
Sedratta	Ogla 30 07	31 51 50.9	005 20 33.7	153934.759	3531212.308	98.43	1.56
N'Goussa	Ogla 30 08	32 06 11.7	005 27 35.0	165883.936	3557370.389	97.96	2.04
EL- Hadjira – EL Alia	Ogla 30 09	32 42 29.7	005 26 20.5	166168.256	3624554.349	98.91	1.09
EL- Hadjira	Ogla 30 10	32 41 50.4	005 26 43.3	166721.66	3623323.249	98.24	1.76
El Gassi (Ghourd)	Hassi 30 11	31 05 11.3	005 41 15.3	183979.57	3443905.242	99.49	0.51
El Gassi (Ghourd)	Hassi 30 12	31 05 12.1	005 41 15.9	183996.215	3443929.415	99.51	0.49
El Gassi (Ghourd)	Hassi 30 13	31 05 11.7	005 41 55.8	185053.8	3443885.529	99.36	0.64
El Gassi	Hassi 30 14	31 05 13.5	005 41 10.3	183849.02	3443976.986	99.04	0.96
El - Borma	Hassi 30 15	31 34 01.9	009 04 17.5	506787.725	3492466.315	99.34	0.66
El - Borma	Hassi 30 16	31 34 47.9	008 27 59.8	449389.917	3494003.693	99.54	0.46
El - Borma	Hassi 30 17	31 34 44.9	009 07 57.0	512572.167	3493795.573	99.15	0.85
El Gassi	Hassi 30 18	31 34 28.18	005 49 50.6	199200.78	3497631.963	99.42	0.58
EL-Borma – EL-Baguel	Hassi 30 19	31 39 11.1	006 14 45.4	238844.528	3505278.98	99.54	0.46
Hassi Messaoud	Hassi 30 20	31 05 12.5	005 41 11.4	183877.265	3443945.305	99.63	0.37
Bourge EL Almani	Hassi 30 21	31 18 52.4	006 18 13.7	243409.849	3467602.654	99.36	0.64
Gassi Touil (Ghourd)	Hassi 30 22	30 33 33.8	006 27 30.9	256233.714	3383522.661	99.45	0.55
Gassi Touil (Ghourd)	Hassi 30 23	30 33 37.8	006 27 25.5	256092.574	3383649.1	99.71	0.29
Hassi Messa – EL-Borma	Hassi 30 24	31 34 46.3	009 08 16.5	513086.07	3493839.311	99.42	0.58
EL-Baguel- EL Borma	Hassi 30 25	31 34 49.2	009 27 18.5	543185.164	3494010.174	99.31	0.69
Hassi- Gassi Touil	Hassi 30 26	30 29 03.0	006 27 18.5	255714.974	3375190.218	99.24	0.76
Hassi- EL Baguel	Hassi 30 27	31 38 11.1	006 14 43.8	238755.715	3503431.807	99.55	0.45
Hassi- EL Baguel	Hassi 30 28	31 36 13.3	006 14 45.5	238709	3499801.981	98.81	1.19
EL Goug	Toug 30. 29	32 54.12.8	006 00 10.0	216839.308	3544362.622	97.89	2.11
EL Goug	Toug 30. 30	32 54 12.4	006 00 12.6	219722.198	3644566.425	97.79	2.21
EL Goug	Toug 30. 31	32 54 14.6	006 00 14.4	219770.911	3644632.88	97.26	2.74
EL Goug	Toug 30. 32	32 54 42.3	006 00 16.1	219839.361	3645485.099	97.96	2.04
EL Goug	Toug 30. 33	32 65 16.1	006 00 36.5	220925.062	3664998.464	97.26	2.74
EL Goug	Toug 30. 34	32 54 40.1	006 00 19.2	219918.001	3645415.024	97.78	2.22
EL Goug	Toug 30. 35	32 54.16.1	006 00 36.5	217535.023	3544343.342	96.99	3.01
EL Goug	Toug 30. 36	32 65 16.1	006 00 36.5	220925.062	3664998.464	96.36	3.64
EL Goug	Toug 30. 37	32 54 12.8	006 00 10.0	219654.97	3644580.672	97.42	2.58
Taïbet - Chebli	Taib. 30 38	33 14 01.3	006 22 55.9	256068.082	3680250.167	99.48	0.52
Taïbet- Mouiat Benali	Taib. 30 39	33 12 20.6	006 21 30.6	253781.148	3677203.319	99.44	0.56
Taïbet- Mouiat Benali	Taib. 30 40	33 12 20.6	006 21 31.6	253807.047	3677202.664	99.66	0.34
Taïbet- Mouiat Benali	Taib. 30 41	33 12 20.7	006 21 32.5	253830.435	3677205.156	99.51	0.49
Taïbet- Mouiat Benali	Taib. 30 42	33 12 20.0	006 21 34.2	253873.919	3677182.478	99.37	0.63
Taïbet- Mouiat Benali	Taib. 30 43	33 12 20.3	006 21 33.2	253848.253	3677192.375	99.54	0.46
Robbah	Souf 39 44	33 20 00.3	006 51 44.4	301044.125	3690290.592	99.46	0.54
Robbah	Souf 39 45	33 16 34.6	006 53 48.5	304125.312	3683888.862	99.34	0.66
Robbah	Souf 39 46	33 17 33.0	006 53 42.3	304001.175	3685691.062	99.45	0.55
Souf	Souf 39 47	33 14 03.2	006 40 38.1	283569.644	3679658.482	99.46	0.54
EL-Ogla - Sandrousse	Souf 39 48	33 27 04.6	006 56 49.7	309196.329	3703202.134	98.76	1.24

Tableau 17. Valeurs des paramètres granulométriques des sédiments sableux superficiels au Bas-Sahara algérien (Ouargla, Hassi-Messaoud, Touggourt, Taïbet et Oued Souf). Q1 : premier quartile ; MD : médiane ; Q3 : troisième quartile ; le mode ; CS : centile supérieur ; Mz : la moyenne (Mean) ; σ : indice de classement (Sorting) ; Ski : coefficient d'asymétrie (Skewness) ; K_G : coefficient d'acuité (Kurtosis).

	N° échantillon	Fractile (en μm)				Paramètres calculés				
		Q1	MD	Q3	Mode	CS	Mz	σ	Ski	K_G
Ouargla	Ogla 30 01	39.36	78.87	99.86	79.01	99.86	2.58	0.35	0.13	0.98
	Ogla 30 02	41.62	66.21	98.67	64.91	98.67	2.57	0.42	0.20	0.78
	Ogla 30 03	26.5	55.6	97.68	84.15	97.68	2.44	0.36	0.32	0.97
	Ogla 30 04	41.22	54.32	82.48	50.84	94.29	2.50	1.08	-0.36	1.62
	Ogla 30 05	28.22	92.77	92.77	88.15	98.04	2.43	0.49	0.28	1.28
	Ogla 30 06	30.63	78.68	78.68	70.08	97.33	2.27	0.76	0.04	1.34
	Ogla 30 07	34.02	55.25	89.91	47.23	94.43	2.68	0.62	-0.18	1.08
	Ogla 30 08	30.68	59.41	85.86	52.88	97.38	2.59	0.76	0.15	1.26
	Ogla 30 09	32.61	51	96.27	90.55	96.27	2.48	0.44	0.51	0.84
	Ogla 30 10	34.3	50.97	90.43	45.29	95.16	2.67	0.73	0.07	1.24
Hassi-Messaoud	Hassi 30 11	30.23	69.11	90.86	77.76	99.01	2.19	0.72	0.08	0.92
	Hassi 30 12	48.03	67.88	86.77	59.39	96.08	1.70	0.72	0.21	0.97
	Hassi 30 13	29.96	92.43	92.43	124.93	99.57	2.33	0.43	0.35	1.91
	Hassi 30 14	58.81	58.81	74.46	77.9	96.79	2.55	1.25	-0.61	1.93
	Hassi 30 15	25.76	73.83	90.38	60.48	98.38	2.29	0.79	0.07	0.73
	Hassi 30 16	26.09	63.72	75	36.19	98.46	2.18	0.93	-0.06	0.66
	Hassi 30 17	32.73	63.21	87.27	48.13	99.35	2.28	0.92	0.17	0.75
	Hassi 30 18	30.52	51.19	84.99	67.58	98.18	2.52	0.65	0.24	0.98
	Hassi 30 19	33.89	69.41	80.32	71.03	97.76	2.07	0.84	-0.18	1.05
	Hassi 30 20	27.86	76.26	76.26	73.37	99.56	2.32	0.84	0.24	1.09
	Hassi 30 21	29.63	55.12	76.81	36.63	94.81	1.98	1.40	-0.39	0.78
	Hassi 30 22	66.9	66.9	88.22	101.97	97.73	1.93	0.50	-0.32	1.02
	Hassi 30 23	25.09	50.29	98.34	96.08	98.34	2.43	0.37	0.45	0.99
	Hassi 30 24	29.89	50.11	79.1	40.43	99.11	1.82	0.91	0.22	0.77
	Hassi 30 25	31.85	76.04	76.04	60.45	95.87	2.24	0.76	-0.06	1.17
	Hassi 30 26	28.46	49.55	73.89	40.59	96.29	1.93	1.29	-0.35	0.64
	Hassi 30 27	29.73	51.36	78.97	45.4	96.79	2.32	1.02	-0.50	1.40
	Hassi 30 28	30.16	71.33	91.16	65.3	99.13	2.24	0.73	0.05	0.74
Touggourt	Toug 30 29	31.07	61.9	78.38	40.06	98.55	2.01	0.99	-0.18	0.71
	Toug 30 30	25.68	57.31	75.4	31.2	98.71	2.04	1.07	-0.09	0.65
	Toug 30 31	35.4	65.62	99.34	67.42	99.34	2.52	0.38	0.23	0.87
	Toug 30 32	37.84	64.4	81.65	53.12	98.97	2.78	0.48	-0.04	0.88
	Toug 30 33	41.02	69.38	99	59.24	99	2.57	0.42	0.22	0.88
	Toug 30 34	31.76	58.05	78.6	52.56	99.45	2.72	0.46	0.02	0.83
	Toug 30 35	34.28	81.32	81.32	67.84	96.28	2.31	0.78	0.04	1.26
	Toug 30 36	42.14	69.48	98.54	58.11	98.54	2.59	0.45	0.25	0.90
	Toug 30 37	37.09	50.16	78.17	56.02	97.08	2.30	0.79	0.00	1.17
Taïbet	Taïb 30 38	37.2	92.5	92.5	110.61	98.54	2.31	0.38	0.20	1.60
	Taïb 30 39	81.34	81.33	81.33	92.99	97.35	2.18	0.66	0.00	2.02
	Taïb 30 40	50.03	50.03	99.13	98.2	99.13	2.38	0.31	0.37	0.98
	Taïb 30 41	24.62	54.26	94.78	81.04	94.78	2.42	0.42	0.15	1.35
	Taïb 30 42	36.84	85.19	85.19	96.69	97	2.31	0.48	0.14	1.86
	Taïb 30 43	44.94	98.31	98.31	106.73	98.31	2.34	0.29	0.36	0.99
Souf	Souf 39 44	37.17	76.12	76.12	77.88	99.89	2.56	0.36	0.17	0.99
	Souf 39 45	28.81	57.12	98.88	83.52	98.88	2.46	0.36	0.31	0.90
	Souf 39 46	55.5	55.5	95.43	79.85	95.43	2.73	0.31	0.18	0.84
	Souf 39 47	46.65	99.05	99.05	104.79	99.05	2.39	0.35	0.46	1.07
	Souf 39 48	32.31	57.24	76.15	49.87	98.05	2.73	0.5	0.04	0.84

Tableau 18a

Analyse statistique descriptive des paramètres granulométriques calculées (Folk et Ward, 1957)

Description statistique de type de dépôts	Ogla 3001	Ogla 3002	Ogla 3003	Ogla 3004	Ogla 3005	Ogla 3006	Ogla 3007	Ogla 3008	Ogla 3009	Ogla 3010	H M 3011	H M 3012
Paramètres calculés												
La moyenne (Mean Mz)	2.58	2.57	2.44	2.50	2.43	2.27	2.68	2.59	2.48	2.67	2.19	1.70
Indice de classement (Sorting σ)	0.35	0.42	0.36	1.08	0.49	0.76	0.62	0.76	0.44	0.73	0.72	0.72
Coefficient d'asymétrie (Skewness Ski)	0.13	0.20	0.32	-0.36	0.28	0.04	-0.18	0.15	0.51	0.07	0.08	0.21
Coefficient d'acuité (Kurtosis K_G)	0.98	0.78	0.97	1.62	1.28	1.34	1.08	1.26	0.84	1.24	0.92	0.97
Analyse descriptive												
La moyenne (Mean Mz)	fine	fine	Fine	fine	fine	fine	fine	fine	fine	fine	fine	me- dium
Indice de classement (Sorting σ)	VWS	WS	WS	PS	WS	MS	MWS	MS	WS	MS	MS	MS
Coefficient d'asymétrie (Skewness Ski)	FS	FS	VFS	VCS	FS	S	CS	FS	VFS	S	S	FS
Coefficient d'acuité (Kurtosis K_G)	MK	PK	MK	VLK	LK	LK	MK	LK	PK	LK	MK	MK
	H M 3013	H M 3014	H M 3015	H M 3016	H M 3017	H M 3018	H M 3019	H M 3020	H M 3021	H M 3022	H M 3023	H M 3024
Paramètres calculés												
La moyenne (Mean Mz)	2.33	2.55	2.29	2.18	2.28	2.52	2.07	2.32	1.98	1.93	2.43	1.82
Indice de classement (Sorting σ)	0.43	1.25	0.79	0.93	0.92	0.65	0.84	0.84	1.40	0.50	0.37	0.91
Coefficient d'asymétrie (Skewness Ski)	0.35	-0.61	0.07	-0.06	0.17	0.24	-0.18	0.24	-0.39	-0.32	0.45	0.22
Coefficient d'acuité (Kurtosis K_G)	1.91	1.93	0.73	0.66	0.75	0.98	1.05	1.09	0.78	1.02	0.99	0.77
Analyse descriptive												
La moyenne (Mean Mz)	fine	fine	fine	fine	fine	fine	fine	fine	me- dium	me- dium	fine	me- dium
Indice de classement (Sorting σ)	WS	PS	MS	MS	MS	MWS	MS	MS	PS	MWS	WS	MS
Coefficient d'asymétrie (Skewness Ski)	FS	VCS	S	S	FS	FS	CS	FS	VCS	VCS	FS	FS
Coefficient d'acuité (Kurtosis K_G)	VLK	VLK	PK	VPK	PK	MK	MK	MK	PK	MK	MK	PK

Tableau 18b

Analyse statistique descriptive des paramètres granulométriques calculées (Folk et Ward, 1957)

Description statistique de type de dépôts	H M 3025	H M 3026	H M 3027	H M 3028	Toug 3029	Toug 3030	Toug 3031	Toug 3032	Toug 3033	Toug 3034	Toug 3035	Toug 3036
Paramètres calculés												
La moyenne (Mean Mz)	2.24	1.93	2.32	2.24	2.01	2.04	2.52	2.78	2.57	2.72	2.31	2.59
Indice de classement (Sorting σ)	0.76	1.29	1.02	0.73	0.99	1.07	0.38	0.48	0.42	0.46	0.78	0.45
Coefficient d'asymétrie (Skewness Ski)	-0.06	-0.35	-0.50	0.05	-0.18	-0.09	0.23	-0.04	0.22	0.02	0.04	0.25
Coefficient d'acuité (Kurtosis K_G)	1.17	0.64	1.40	0.74	0.71	0.65	0.87	0.88	0.88	0.83	1.26	0.90
Analyse descriptive												
La moyenne (Mean Mz)	fine	me- dium	fine	fine	fine	fine	fine	fine	fine	fine	fine	Fine
Indice de classement (Sorting σ)	MS	PS	PS	MS	MS	PS	WS	WS	WS	WS	MS	WS
Coefficient d'asymétrie (Skewness Ski)	S	VCS	VCS	S	CS	S	FS	S	FS	S	S	FS
Coefficient d'acuité (Kurtosis K_G)	LK	VPK	LK	PK	PK	VPK	PK	PK	PK	PK	LK	MK
	Toug 3037	Taïb 3038	Taïb 3039	Taïb 3040	Taïb 3041	Taïb 3042	Taïb 3043	Souf 3044	Souf 3045	Souf 3046	Souf 3047	Souf 3048
Paramètres calculés												
La moyenne (Mean Mz)	2.30	2.31	2.18	2.38	2.42	2.31	2.34	2.56	2.46	2.73	2.39	2.73
Indice de classement (Sorting σ)	0.79	0.38	0.66	0.31	0.42	0.48	0.29	0.36	0.36	0.31	0.35	0.50
Coefficient d'asymétrie (Skewness Ski)	0.00	0.20	0.00	0.37	0.15	0.14	0.36	0.17	0.31	0.18	0.46	0.04
Coefficient d'acuité (Kurtosis K_G)	1.17	1.60	2.02	0.98	1.35	1.86	0.99	0.99	0.90	0.84	1.07	0.84
Analyse descriptive												
La moyenne (Mean Mz)	fine	fine	fine	fine	fine	fine	fine	fine	fine	fine	fine	Fine
Indice de classement (Sorting σ)	MS	WS	MWS	VWS	WS	WS	VWS	WS	WS	VWS	WS	MWS
Coefficient d'asymétrie (Skewness Ski)	S	FS	S	VFS	FS	FS	VFS	FS	VFS	FS	VFS	S
Coefficient d'acuité (Kurtosis K_G)	LK	VLK	VLK	MK	LK	VLK	MK	MK	MK	PK	MK	PK

Ogla = Ouargla ; HM = Hassi-Messaoud ; Toug = Touggourt ; Taïb = Taïbet ; Souf = Oued Souf.

Echelle pour la moyenne, l'indice de classement (Sorting), le coefficient d'asymétrie (Skewness) et le coefficient d'acuité (Kurtosis) en échelle phi Ø.

Fine = sables fins (2.00-3.00) ; medium = sables moyens (1.00-2.00) ; WS = sables bien classés (0.35-0.50) ; VWS = sables très bien classés (< 0.35) ; MWS = sables assez bien classés (0.50-0.70) ; MS = sables moyennement classés (0.70-1.00) ; PS = sables mal classés (1.00-2.00) ; FS = courbe asymétrique vers les fins (+0.1 to + 0.3) ; VFS = courbe très asymétrique vers les fins (+ 0.3 to + 1.00) ; S = symétrie granulométrique de l'échantillon (-0.10 to + 0.10) ; CS = courbe asymétrique vers les grossiers (-0.30 to -0.10) ; VCS = courbe très asymétrique vers les grossiers (-1.00 to -0.30) ; PK = courbe platykurtique (0.67-0.90) ; VPK = courbe très platykurtique (< 0.67) ; MK = courbe mésokurtique (0.90-1.11) ; LK = courbe leptokurtique (1.11-1.50) ; VLK = courbe très leptokurtique (1.50-3.00).

Tableau 19. Séparation par tri sous loupe binoculaire (fraction de 160-80 μ m), le nombre de grains par échantillon 200g.

échantillons		Fraction de 160-80 μ m	
		Le nombre des grains des minéraux transparents	Le nombre des grains des minéraux opaques
Ougla	Ogla 30 01	83	117
	Ogla 30 02	56	144
	Ogla 30 03	77	123
	Ogla 30 04	101	99
	Ogla 30 05	83	117
	Ogla 30 06	36	164
	Ogla 30 07	91	109
	Ogla 30 08	72	128
	Ogla 30 09	66	134
	Ogla 30 10	10	125
Hassi Messaoud	Hassi 30 11	45	155
	Hassi 30 12	66	134
	Hassi 30 13	60	140
	Hassi 30 14	100	99
	Hassi 30 15	29	171
	Hassi 30 16	-	-
	Hassi 30 17	78	122
	Hassi 30 18	143	57
	Hassi 30 19	83	117
	Hassi 30 20	92	108
	Hassi 30 21	127	73
	Hassi 30 22	111	89
	Hassi 30 23	108	92
	Hassi 30 24	45	155
	Hassi 30 25	56	146
	Hassi 30 26	44	156
	Hassi 30 27	136	64
	Hassi 30 28	66	134
Tougourt	Toug 30. 29	48	152
	Toug 30. 30	95	105
	Toug 30. 31	65	135
	Toug 30. 32	37	163
	Toug 30. 33	44	156
	Toug 30. 34	66	134
	Toug 30. 35	32	168
	Toug 30. 36	13	187
	Toug 30. 37	21	179
Taibet	Taib. 30 38	35	165
	Taib. 30 39	28	172
	Taib. 30 40	37	163
	Taib. 30 41	49	151
	Taib. 30 42	34	166
	Taib. 30 43	26	174
Souf	Souf 39 44	32	168
	Souf 39 45	102	98
	Souf 39 46	78	122
	Souf 39 47	56	144
	Souf 39 48	45	155

Tableau 20 : les cortèges minéralogiques lourds des différents échantillons traités (fraction de 160 - 80 µm). ANA : anatase ; AND : anadalousite ; AUG : augite ; DIS : disthène ; EPI : épidotes ; GRE : grenat ; HOR : hornblende ; RUT : rutile ; SIL : sillimanite ; SPH : sphène ; STA : staurotite ; TOU : tourmaline ; ILM : ilménite ; LEU : leucoxène ; HEM : hématite ; MAG : magnetite.

	Echantillon	ANA	AND	AUG	DIS	EPI	GRE	HOR	RUT	SIL	SPH	STA	TOU	ILM	LEU	HEM	MAG
Ouargla	Ogla 30 01						3						5			68	100
	Ogla 30 02						12					5				80	90
	Ogla 30 03						3.2			1		5		1		70	88
	Ogla 30 04			1			2			2	3	1		2		80	90
	Ogla 30 05						4			1	1					74	99
	Ogla 30 06						9									87	74
	Ogla 30 07						6							5		68	75
	Ogla 30 08													2		90	65
	Ogla 30 09			5						3				2		95	71
	Ogla 30 10									5						87	66
Hassi Messaoud	Hassi 30 11									5						73	79
	Hassi 30 12						1			2	3		1			54	104
	Hassi 30 13						1			2	3					44	76
	Hassi 30 14						1				2					46	54
	Hassi 30 15						1				1					74	65
	Hassi 30 16															52	62
	Hassi 30 17			2												53	48
	Hassi 30 18													1		54	26
	Hassi 30 19									1						34	26
	Hassi 30 20									2						21	28
	Hassi 30 21															21	47
	Hassi 30 22			5												21	53
	Hassi 30 23			5												16	23
	Hassi 30 24			1			6							2		22	25
	Hassi 30 25			2			1							1		28	10
	Hassi 30 26						1			1				1		14	30
	Hassi 30 27						1						5			14	70
	Hassi 30 28						3									20	37
Tougourt	Toug 30 29						6			2						20	104
	Toug 30 30						1			2						66	98

	Toug 30 31						2			2						56	89
	Toug 30 32															18	103
	Toug 30 33						2						1			24	97
	Toug 30 34						1						1			25	86
	Toug 30 35													1		21	96
	Toug 30 36													2		12	50
	Toug 30 37			2												33	76
Taïbet	Taïb 30 38															63	88
	Taïb 30 39			1												62	67
	Taïb 30 40									1						51	59
	Taïb 30 41									2						44	82
	Taïb 30 42															14	48
	Taïb 30 43															19	14
Souf	Souf 39 44															22	34
	Souf 39 45						1			1						15	40
	Souf 39 46			1			2			1				1		23	39
	Souf 39 47			1			1									19	35
	Souf 39 48			1			2									16	31

Échantillon : Oglà 30 01
Date : le 22/ 09/ 2013

Granulométrie de la fraction sableuse

Masse totale sèche $M1_{(g)} = 200 \text{ g}$

Masse sèche après lavage $M2_{(g)} = 198,50 \text{ g}$

GRANULOMETRIE DES SABLES				
Mailles en (mm)	Refus séparés en g	Refus cumulés (Rn) en g	Pourcentage Refus cumulés en % $r = 100(Rn/M1)$	Pourcentage Tamisats cumulés en % $100 - r$
1,6	0,00	0,00	0,00	100
1,25	0,00	0,00	0,00	100
1	0,00	0,00	0,00	100
0,8	0,00	0,00	0,00	100
0,63	0,00	0,00	0,00	100
0,5	0,01	0,01	0,00	99,99
0,4	0,04	0,05	0,02	99,97
0,315	0,22	0,27	0,13	99,86
0,2	41,97	42,24	21,12	78,87
0,16	79,02	121,26	60,63	39,36
0,125	53,40	174,66	87,33	12,66
0,1	20,07	194,73	97,33	2,66
0,08	2,56	197,29	98,64	1,35
0,05	0,96	198,25	99,12	0,87
Fond étanche	0,02	198,27	99,13	0,87

Paramètres graphique	En μm
Premier quartile Q1	39.36
Médiane Q2	78.87
Troisième quartile Q3	99.86
Mode	79.01
Centile supérieur	99.86

Paramètres calculés	En μm	En phi
La Moyenne M_Z	131.69	2.58
Sorting (σ)	1.27	0.35
Skewness SKi	-0.13	0.13
Kurtosis K_G	0.98	0.98

On a : $S = R_n + P$

S : Représente la masse totale de l'échantillon tamisé. **R_n** : Masse de refus cumulés sur le dernier tamis. **P** : Masse de tamisats sur le dernier tamis.

La perte = $((M_2 - S)/ M_2)$. 100 : cette différence présente la valeur équivalente aux pertes et imprécisions de mesures liées à la manipulation. La perte éventuelle de matériaux pendant l'opération de tamisage ne doit pas excéder plus de 2 % du poids total de l'échantillon de départ.

$S = R_n + P = 198,27 + 0,02 = 198,30\text{g}$

La perte = $((M_2 - S)/M_2)$. 100 = $((198,50 - 198,30)/198,50)$.100 = **0,8% < 2 %**. Alors le résultat de tamisage est acceptable.

Échantillon : Ogla 30 02
Date : le 22/ 09/ 2013

Granulométrie de la fraction sableuse

Masse totale sèche $M1_{(g)} = 200 \text{ g}$

Masse sèche après lavage $M2_{(g)} = 196.60 \text{ g}$

GRANULOMETRIE DES SABLES				
Mailles en (mm)	Refus séparés en g	Refus cumulés (Rn) en g	Pourcentage Refus cumulés en % $r = 100(Rn/M1)$	Pourcentage Tamisats cumulés en % $100 - r$
1,6	0,00	0,00	0,00	100
1,25	0,00	0,00	0,00	100
1	0,00	0,00	0,00	100
0,8	0,01	0,01	0,00	99,99
0,63	0,01	0,02	0,01	99,98
0,5	0,10	0,12	0,06	99,94
0,4	0,56	0,68	0,34	99,65
0,315	1,97	2,65	1,32	98,67
0,2	64,91	67,56	33,78	66,21
0,16	49,19	116,75	58,37	41,62
0,125	43,34	160,09	80,04	19,95
0,1	27,60	187,69	93,84	6,15
0,08	5,77	193,46	96,73	3,26
0,05	2,76	196,22	98,11	1,88
Fond étanche	0,09	196,31	98,16	1,84

Paramètres graphique	En μm
Premier quartile Q1	41.62
Médiane Q2	66.21
Troisième quartile Q3	98.86
Mode	79.01
Centile supérieur	99.86

Paramètres calculés	En μm	En phi
La Moyenne M_z	127.57	2.57
Sorting (σ)	1.33	0.42
Skewness SK_i	-0.20	0.20
Kurtosis K_G	0.78	0.78

On a : $S = R_n + P$

S : Représente la masse totale de l'échantillon tamisé. **R_n** : Masse de refus cumulés sur le dernier tamis. **P** : Masse de tamisats sur le dernier tamis.

La perte = $((M_2 - S)/ M_2)$. 100 : cette différence présente la valeur équivalente aux pertes et imprécisions de mesures liées à la manipulation. La perte éventuelle de matériaux pendant l'opération de tamisage ne doit pas excéder plus de 2 % du poids total de l'échantillon de départ.

$S = R_n + P = 196,31 + 0,09 = 196,40\text{g}$

La perte = $((M_2 - S)/M_2) \cdot 100 = ((196,60 - 196,40)/196,60) \cdot 100 = 0,1 \% < 2 \%$. Alors le résultat de tamisage est acceptable.

Echantillon : Oglà 30 03
Date : le 22/ 09/ 2013

Granulométrie de la fraction sableuse

Masse totale sèche $M1_{(g)} = 200 \text{ g}$

Masse sèche après lavage $M2_{(g)} = 198.61 \text{ g}$

GRANULOMETRIE DES SABLES				
Mailles en (mm)	Refus séparés en g	Refus cumulés (Rn) en g	Pourcentage Refus cumulés en % $r = 100(Rn/M1)$	Pourcentage Tamisats cumulés en % $100 - r$
1,6	0,00	0,00	0,00	100
1,25	0,00	0,00	0,00	100
1	0,00	0,00	0,00	100
0,8	0,00	0,00	0,00	100
0,63	0,01	0,01	0,00	100
0,5	0,13	0,14	0,07	99,93
0,4	0,93	1,07	0,53	99,46
0,315	3,55	4,62	2,31	97,68
0,2	84,16	88,78	44,39	55,60
0,16	58,20	146,98	73,49	26,50
0,125	32,87	179,85	89,92	10,07
0,1	14,93	194,78	97,39	2,61
0,08	2,48	197,26	98,63	1,36
0,05	1,13	198,39	99,19	0,80
Fond étanche	0,07	198,46	99,24	0,76

Paramètres graphique	En μm
Premier quartile Q1	26.5
Médiane Q2	55.6
Troisième quartile Q3	97.68
Mode	84.15
Centile supérieur	97.68

Paramètres calculés	En μm	En phi
La Moyenne M_z	163.04	2.44
Sorting (σ)	1.28	0.36
Skewness SK_i	-0.32	0.32
Kurtosis K_G	0.97	0.97

On a : $S = R_n + P$

S : Représente la masse totale de l'échantillon tamisé. R_n : Masse de refus cumulés sur le dernier tamis. P : Masse de tamisats sur le dernier tamis.

La perte = $((M_2 - S) / M_2) \cdot 100$: cette différence présente la valeur équivalente aux pertes et imprécisions de mesures liées à la manipulation. La perte éventuelle de matériaux pendant l'opération de tamisage ne doit pas excéder plus de 2 % du poids total de l'échantillon de départ.

$S = R_n + P = 198,46 + 0,07 = 198,54\text{g}$

La perte = $((M_2 - S) / M_2) \cdot 100 = ((198,61 - 198,54) / 198,61) \cdot 100 = 0,06 \% < 2 \%$. Alors le résultat de tamisage est acceptable.

Echantillon : Ogla 30 04
Date : le 22/ 09/ 2013

Granulométrie de la fraction sableuse

Masse totale sèche $M1_{(g)} = 200 \text{ g}$

Masse sèche après lavage $M2_{(g)} = 198.89 \text{ g}$

GRANULOMETRIE DES SABLES				
Mailles en (mm)	Refus séparés en g	Refus cumulés (Rn) en g	Pourcentage Refus cumulés en % $r = 100(Rn/M1)$	Pourcentage Tamisats cumulés en % $100 - r$
1,6	2,48	2,48	1,24	98,75
1,25	4,60	7,08	3,54	96,45
1	4,33	11,41	5,70	94,29
0,8	3,43	14,84	7,42	92,57
0,63	3,65	18,49	9,24	90,75
0,5	4,08	22,57	11,28	88,71
0,4	5,26	27,83	13,91	86,08
0,315	7,20	35,03	17,51	82,48
0,2	35,82	70,85	35,42	64,57
0,16	20,52	91,37	45,68	54,32
0,125	26,19	117,56	58,78	41,22
0,1	50,85	168,41	84,20	15,79
0,08	14,37	182,8	91,4	8,6
0,05	10,98	193,78	96,89	3,11
Fond étanche	2,09	195,87	97,93	2,07

Paramètres graphique	En μm
Premier quartile Q1	41.22
Médiane Q2	54.32
Troisième quartile Q3	82.48
Mode	50.84
Centile supérieur	94.29

Paramètres calculés	En μm	En phi
La Moyenne M_z	108.44	2.50
Sorting (σ)	2.12	1.08
Skewness SK_i	0.36	-0.36
Kurtosis K_G	1.62	1.62

On a : $S = R_n + P$

S : Représente la masse totale de l'échantillon tamisé. **R_n** : Masse de refus cumulés sur le dernier tamis. **P** : Masse de tamisats sur le dernier tamis.

La perte = $((M_2 - S)/ M_2) \cdot 100$: cette différence présente la valeur équivalente aux pertes et imprécisions de mesures liées à la manipulation. La perte éventuelle de matériaux pendant l'opération de tamisage ne doit pas excéder plus de 2 % du poids total de l'échantillon de départ.

$S = R_n + P = 195,87 + 2,09 = 197,96\text{g}$

La perte = $((M_2 - S)/M_2) \cdot 100 = ((198,89 - 197,96)/198,89) \cdot 100 = 0,9 \% < 2 \%$. Alors le résultat de tamisage est acceptable.

Echantillon : Ogla 30 05
Date : le 23/ 09/ 2013

Granulométrie de la fraction sableuse

Masse totale sèche $M1_{(g)} = 200 \text{ g}$

Masse sèche après lavage $M2_{(g)} = 197.75 \text{ g}$

GRANULOMETRIE DES SABLES				
Mailles en (mm)	Refus séparés en g	Refus cumulés (Rn) en g	Pourcentage Refus cumulés en % $r = 100(Rn/M1)$	Pourcentage Tamisats cumulés en % $100 - r$
1,6	0,00	0,00	0,00	100
1,25	0,01	0,01	0,00	99,99
1	0,02	0,03	0,01	99,98
0,8	0,03	0,06	0,03	99,96
0,63	0,14	0,20	0,10	99,89
0,5	0,71	0,91	0,45	99,54
0,4	3,00	3,91	1,95	98,04
0,315	10,55	14,46	7,23	92,77
0,2	88,15	102,61	51,30	48,69
0,16	40,94	143,55	71,77	28,22
0,125	26,44	169,99	84,99	15,00
0,1	17,42	187,41	93,70	6,29
0,08	5,61	193,02	96,51	3,49
0,05	3,83	196,85	98,42	1,57
Fond étanche	0,41	197,26	98,63	1,37

Paramètres graphique	En μm
Premier quartile Q1	28.22
Médiane Q2	92.77
Troisième quartile Q3	92.77
Mode	88.15
Centile supérieur	98.04

Paramètres calculés	En μm	En phi
La Moyenne M_Z	163.21	2.43
Sorting (σ)	1.40	0.49
Skewness SKi	-0.28	0.28
Kurtosis K_G	1.28	1.28

On a : $S = R_n + P$

S : Représente la masse totale de l'échantillon tamisé. **R_n** : Masse de refus cumulés sur le dernier tamis. **P** : Masse de tamisats sur le dernier tamis.

La perte = $((M_2 - S)/ M_2) \cdot 100$: cette différence présente la valeur équivalente aux pertes et imprécisions de mesures liées à la manipulation. La perte éventuelle de matériaux pendant l'opération de tamisage ne doit pas excéder plus de 2 % du poids total de l'échantillon de départ.

$S = R_n + P = 197,26 + 0,41 = 197,67\text{g}$

La perte = $((M_2 - S)/M_2) \cdot 100 = ((197,75 - 197,67)/197,75) \cdot 100 = 0,03 \% < 2 \%$. Alors le résultat de tamisage est acceptable.

Echantillon : Oglà 30 06
Date : le 23/ 09/ 2013

Granulométrie de la fraction sableuse

Masse totale sèche $M1_{(g)} = 200 \text{ g}$

Masse sèche après lavage $M2_{(g)} = 198.14 \text{ g}$

GRANULOMETRIE DES SABLES				
Mailles en (mm)	Refus séparés en g	Refus cumulés (Rn) en g	Pourcentage Refus cumulés en % $r = 100(Rn/M1)$	Pourcentage Tamisats cumulés en % $100 - r$
1,6	0,00	0,00	0,00	100
1,25	0,03	0,03	0,01	99,98
1	0,10	0,13	0,06	99,93
0,8	0,17	0,30	0,15	99,84
0,63	0,65	0,95	0,47	99,52
0,5	4,37	5,32	2,66	97,33
0,4	14,83	20,15	10,07	89,92
0,315	22,48	42,63	21,31	78,68
0,2	70,08	112,71	56,35	43,64
0,16	26,01	138,72	69,36	30,63
0,125	21,87	160,59	80,29	19,70
0,1	20,89	181,48	90,74	9,25
0,08	6,57	188,05	94,02	5,97
0,05	7,13	195,18	97,59	2,40
Fond étanche	1,08	196,26	98,14	1,86

Paramètres graphique	En μm
Premier quartile Q1	30.63
Médiane Q2	78.68
Troisième quartile Q3	78.68
Mode	70.08
Centile supérieur	97.33

Paramètres calculés	En μm	En phi
La Moyenne M_Z	177.15	2.27
Sorting (σ)	1.70	0.76
Skewness SKi	-0.04	0.04
Kurtosis K_G	1.34	1.34

On a : $S = R_n + P$

S : Représente la masse totale de l'échantillon tamisé. R_n : Masse de refus cumulés sur le dernier tamis. P : Masse de tamisats sur le dernier tamis.

La perte = $((M_2 - S) / M_2) \cdot 100$: cette différence présente la valeur équivalente aux pertes et imprécisions de mesures liées à la manipulation. La perte éventuelle de matériaux pendant l'opération de tamisage ne doit pas excéder plus de 2 % du poids total de l'échantillon de départ.

$S = R_n + P = 196,26 + 1,08 = 198,09 \text{ g}$

La perte = $((M_2 - S) / M_2) \cdot 100 = ((198,14 - 198,09) / 198,14) \cdot 100 = 0,04 \% < 2 \%$. Alors le résultat de tamisage est acceptable.

Echantillon : Ogla 30 07
Date : le 23/ 09/ 2013

Granulométrie de la fraction sableuse

Masse sèche après lavage M_2 (g) = 197.98 g

Masse totale sèche M_1 (g) = 200 g

GRANULOMETRIE DES SABLES				
Mailles en (mm)	Refus séparés en g	Refus cumulés (Rn) en g	Pourcentage Refus cumulés en % $r = 100(R_n/M_1)$	Pourcentage Tamisats cumulés en % $100 - r$
1,6	0,00	0,00	0,00	100
1,25	0,00	0,00	0,00	100
1	0,00	0,00	0,00	100
0,8	0,01	0,01	0,00	99,99
0,63	0,13	0,14	0,07	99,92
0,5	2,24	2,38	1,19	98,80
0,4	8,75	11,13	5,56	94,43
0,315	10,06	21,19	10,59	89,41
0,2	35,97	57,16	28,58	71,41
0,16	32,34	89,50	44,75	55,25
0,125	42,44	131,94	65,97	34,02
0,1	47,24	179,18	89,59	10,40
0,08	11,07	190,25	95,12	4,87
0,05	6,43	196,68	98,34	1,65
Fond étanche	0,17	196,85	98,44	1,56

Paramètres graphique	En μm
Premier quartile Q1	34.02
Médiane Q2	55.25
Troisième quartile Q3	89.91
Mode	47.23
Centile supérieur	94.43

Paramètres calculés	En μm	En phi
La Moyenne M_z	99.99	2.68
Sorting (σ)	1.54	0.62
Skewness SK_i	0.18	-0.18
Kurtosis K_G	1.08	1.08

On a : $S = R_n + P$

S : Représente la masse totale de l'échantillon tamisé. R_n : Masse de refus cumulés sur le dernier tamis. P : Masse de tamisats sur le dernier tamis.

La perte = $((M_2 - S)/M_2) \cdot 100$: cette différence présente la valeur équivalente aux pertes et imprécisions de mesures liées à la manipulation. La perte éventuelle de matériaux pendant l'opération de tamisage ne doit pas excéder plus de 2 % du poids total de l'échantillon de départ.

$S = R_n + P = 196,85 + 0,17 = 197,04$ g

La perte = $((M_2 - S)/M_2) \cdot 100 = ((197,98 - 197,04)/197,98) \cdot 100 = 0,4 \% < 2 \%$. Alors le résultat de tamisage est acceptable.

Echantillon : Oglia 30 08
Date : le 27/ 09/ 2013

Granulométrie de la fraction sableuse

Masse totale sèche $M1_{(g)} = 200 \text{ g}$

Masse sèche après lavage $M2_{(g)} = 198.23$

GRANULOMETRIE DES SABLES				
Mailles en (mm)	Refus séparés en g	Refus cumulés (Rn) en g	Pourcentage Refus cumulés en % $r = 100(Rn/M1)$	Pourcentage Tamisats cumulés en % $100 - r$
1,6	0,11	0,11	0,05	99,94
1,25	0,24	0,35	0,17	99,82
1	0,32	0,67	0,33	99,66
0,8	0,33	1,00	0,50	99,49
0,63	0,83	1,83	0,91	99,08
0,5	3,39	5,22	2,61	97,38
0,4	8,79	14,01	7,00	92,99
0,315	14,26	28,27	14,13	85,86
0,2	52,89	81,16	40,58	59,41
0,16	28,28	109,44	54,72	45,27
0,125	29,20	138,64	69,32	30,68
0,1	31,54	170,18	85,09	14,90
0,08	9,83	180,01	90,00	9,99
0,05	13,80	193,81	96,90	3,09
Fond étanche	2,11	195,92	97,96	2,04

Paramètres graphique	En μm
Premier quartile Q1	30.68
Médiane Q2	59.41
Troisième quartile Q3	85.86
Mode	52.88
Centile supérieur	97.38

Paramètres calculés	En μm	En phi
La Moyenne M_z	114.32	2.59
Sorting (σ)	1.69	0.76
Skewness SK_i	-0.15	0.15
Kurtosis K_G	1.26	1.26

On a : $S = R_n + P$

S : Représente la masse totale de l'échantillon tamisé. **R_n** : Masse de refus cumulés sur le dernier tamis. **P** : Masse de tamisats sur le dernier tamis.

La perte = $((M_2 - S)/ M_2)$. 100 : cette différence présente la valeur équivalente aux pertes et imprécisions de mesures liées à la manipulation. La perte éventuelle de matériaux pendant l'opération de tamisage ne doit pas excéder plus de 2 % du poids total de l'échantillon de départ.

$S = R_n + P = 195,92 + 2,11 = 198,02 \text{ g}$

La perte = $((M_2 - S)/M_2) \cdot 100 = ((198,23 - 198,02)/198,23) \cdot 100 = 0,1 \% < 2 \%$. Alors le résultat de tamisage est acceptable.

Echantillon : Ogla 30 09
Date : le 08/ 10/ 2013

Granulométrie de la fraction sableuse

Masse totale sèche $M1_{(g)} = 200 \text{ g}$

Masse sèche après lavage $M2_{(g)} = 198.93$

GRANULOMETRIE DES SABLES				
Mailles en (mm)	Refus séparés en g	Refus cumulés (Rn) en g	Pourcentage Refus cumulés en % $r = 100(Rn/M1)$	Pourcentage Tamisats cumulés en % $100 - r$
1,6	0,00	0,00	0,00	100
1,25	0,00	0,00	0,00	100
1	0,00	0,00	0,00	100
0,8	0,00	0,00	0,00	100
0,63	0,00	0,00	0,00	100
0,5	0,08	0,08	0,04	99,95
0,4	0,71	0,79	0,39	99,60
0,315	6,65	7,44	3,72	96,27
0,2	90,55	97,99	48,99	51,00
0,16	36,79	134,78	67,39	32,61
0,125	27,65	162,43	81,21	18,78
0,1	24,29	186,72	93,36	6,63
0,08	6,38	193,10	96,55	3,44
0,05	4,50	197,60	98,80	1,19
Fond étanche	0,21	197,81	98,91	1,09

Paramètres graphique	En μm
Premier quartile Q1	32.61
Médiane Q2	51
Troisième quartile Q3	96.27
Mode	90.55
Centile supérieur	96.27

Paramètres calculés	En μm	En phi
La Moyenne M_z	148.36	2.48
Sorting (σ)	1.36	0.44
Skewness SK_i	-0.51	0.51
Kurtosis K_G	0.84	0.84

On a : $S = R_n + P$

S : Représente la masse totale de l'échantillon tamisé. R_n : Masse de refus cumulés sur le dernier tamis. P : Masse de tamisats sur le dernier tamis.

La perte = $((M_2 - S)/ M_2) \cdot 100$: cette différence présente la valeur équivalente aux pertes et imprécisions de mesures liées à la manipulation. La perte éventuelle de matériaux pendant l'opération de tamisage ne doit pas excéder plus de 2 % du poids total de l'échantillon de départ.

$S = R_n + P = 197,81 + 0,21 = 198,02 \text{ g}$

La perte = $((M_2 - S)/M_2) \cdot 100 = ((198,93 - 198,02)/198,93) \cdot 100 = 0,45 \% < 2 \%$. Alors le résultat de tamisage est acceptable.

Echantillon : Oglà 30 10
Date : le 08/ 10/ 2013

Granulométrie de la fraction sableuse

Masse totale sèche **M1_(g) = 200 g**

Masse sèche après lavage **M2_(g) = 199.90 g**

GRANULOMETRIE DES SABLES				
Mailles en (mm)	Refus séparés en g	Refus cumulés (Rn) en g	Pourcentage Refus cumulés en % $r = 100(Rn/M1)$	Pourcentage Tamisats cumulés en % $100 - r$
1,6	0,43	0,43	0,21	99,78
1,25	0,48	0,91	0,45	99,54
1	0,37	1,28	0,64	99,35
0,8	0,37	1,65	0,82	99,17
0,63	0,70	2,35	1,17	98,82
0,5	2,10	4,45	2,22	97,77
0,4	5,21	9,66	4,83	95,16
0,315	9,46	19,12	9,56	90,43
0,2	45,29	64,41	32,20	67,79
0,16	33,64	98,05	49,02	50,97
0,125	33,34	131,39	65,69	34,30
0,1	36,17	167,56	83,78	16,21
0,08	12,41	179,97	89,98	10,01
0,05	13,17	193,14	96,57	3,43
Fond étanche	3,35	196,49	98,24	1,76

Paramètres graphique	En μm
Premier quartile Q1	34.3
Médiane Q2	50.97
Troisième quartile Q3	90.43
Mode	45.29
Centile supérieur	95.16

Paramètres calculés	En μm	En phi
La Moyenne M _Z	100.17	2.67
Sorting (σ)	1.66	0.73
Skewness SK _i	-0.07	0.07
Kurtosis K _G	1.24	1.24

On a : **S = R_n + P**

S : Représente la masse totale de l'échantillon tamisé. **R_n** : Masse de refus cumulés sur le dernier tamis. **P** : Masse de tamisats sur le dernier tamis.

La perte = ((M₂ – S)/ M₂). 100 : cette différence présente la valeur équivalente aux pertes et imprécisions de mesures liées à la manipulation. La perte éventuelle de matériaux pendant l'opération de tamisage ne doit pas excéder plus de 2 % du poids total de l'échantillon de départ.

$S = R_n + P = 196,49 + 3,35 = 199,84 \text{ g}$

La perte = $((M_2 - S)/M_2) \cdot 100 = ((199,90 - 199,84)/199,90) \cdot 100 = 0,03 \% < 2 \%$. Alors le résultat de tamisage est acceptable.

Echantillon : Hassi 30 11
Date : le 29/ 09/ 2013

Granulométrie de la fraction sableuse

Masse sèche après lavage M_2 (g) = 199.23 g

Masse totale sèche M_1 (g) = 200 g

GRANULOMETRIE DES SABLES				
Mailles en (mm)	Refus séparés en g	Refus cumulés (Rn) en g	Pourcentage Refus cumulés en % $r = 100(R_n/M_1)$	Pourcentage Tamisats cumulés en % $100 - r$
1,6	0,00	0,00	0,00	100
1,25	0,01	0,01	0,00	99,99
1	0,07	0,08	0,04	99,95
0,8	0,06	0,14	0,07	99,92
0,63	0,14	0,28	0,14	99,85
0,5	1,69	1,97	0,98	99,01
0,4	16,29	18,26	9,13	90,86
0,315	43,51	61,77	30,88	69,11
0,2	77,76	139,53	69,76	30,23
0,16	13,81	153,34	76,67	23,32
0,125	13,35	166,69	83,34	16,65
0,1	21,47	188,16	94,08	5,91
0,08	6,13	194,29	97,14	2,85
0,05	4,51	198,80	99,40	0,60
Fond étanche	0,18	198,98	99,49	0,51

Paramètres graphique	En μm
Premier quartile Q1	30.23
Médiane Q2	69.11
Troisième quartile Q3	90.86
Mode	77.76
Centile supérieur	99.01

Paramètres calculés	En μm	En phi
La Moyenne M_Z	200.61	2.19
Sorting (σ)	1.65	0.72
Skewness SKi	-0.08	0.08
Kurtosis K_G	0.92	0.92

On a : $S = R_n + P$

S : Représente la masse totale de l'échantillon tamisé. R_n : Masse de refus cumulés sur le dernier tamis. P : Masse de tamisats sur le dernier tamis.

La perte = $((M_2 - S)/ M_2) \cdot 100$: cette différence présente la valeur équivalente aux pertes et imprécisions de mesures liées à la manipulation. La perte éventuelle de matériaux pendant l'opération de tamisage ne doit pas excéder plus de 2 % du poids total de l'échantillon de départ.

$S = R_n + P = 198,98 + 0,18 = 199,16$ g

La perte = $((M_2 - S)/M_2) \cdot 100 = ((199,23 - 199,16)/199,23) \cdot 100 = 0,03 \% < 2 \%$. Alors le résultat de tamisage est acceptable.

Echantillon : Hassi 30 12
Date : le 29/ 09/ 2013

Granulométrie de la fraction sableuse

Masse totale sèche **M1_(g) = 200 g**

Masse sèche après lavage **M2_(g) = 199.35**

GRANULOMETRIE DES SABLES				
Mailles en (mm)	Refus séparés en g	Refus cumulés (Rn) en g	Pourcentage Refus cumulés en % $r = 100(Rn/M1)$	Pourcentage Tamisats cumulés en % $100 - r$
1,6	0,00	0,00	0,00	100
1,25	0,00	0,00	0,00	100
1	0,14	0,14	0,07	99,92
0,8	1,01	1,15	0,57	99,42
0,63	6,67	7,82	3,91	96,08
0,5	18,62	26,44	13,22	86,77
0,4	37,79	64,23	32,11	67,88
0,315	39,71	103,94	51,97	48,03
0,2	59,39	163,33	81,66	18,33
0,16	11,10	174,43	87,21	12,78
0,125	8,21	182,64	91,32	8,67
0,1	10,05	192,69	96,34	3,65
0,08	3,82	196,51	98,25	1,74
0,05	2,35	198,86	99,43	0,56
Fond étanche	0,15	199,01	99,51	0,49

Paramètres graphique	En μm
Premier quartile Q1	48.03
Médiane Q2	67.88
Troisième quartile Q3	86.77
Mode	59.39
Centile supérieur	96.08

Paramètres calculés	En μm	En phi
La Moyenne M _Z	470.38	1.70
Sorting (σ)	1.65	0.72
Skewness SKi	-0.21	0.21
Kurtosis K _G	0.97	0.97

On a : **S = R_n + P**

S : Représente la masse totale de l'échantillon tamisé. **R_n** : Masse de refus cumulés sur le dernier tamis. **P** : Masse de tamisats sur le dernier tamis.

La perte = ((M₂ - S)/ M₂). 100 : cette différence présente la valeur équivalente aux pertes et imprécisions de mesures liées à la manipulation. La perte éventuelle de matériaux pendant l'opération de tamisage ne doit pas excéder plus de 2 % du poids total de l'échantillon de départ.

$S = R_n + P = 199,01 + 0,15 = 199,16 \text{ g}$

La perte = $((M_2 - S)/M_2) \cdot 100 = ((199,35 - 199,16)/199,35) \cdot 100 = 0,09 \% < 2 \%$. Alors le résultat de tamisage est acceptable.

Echantillon : Hassi 30 13
Date : le 29/ 09/ 2013

Granulométrie de la fraction sableuse

Masse totale sèche $M1_{(g)} = 200 \text{ g}$

Masse sèche après lavage $M2_{(g)} = 199.19 \text{ g}$

GRANULOMETRIE DES SABLES				
Mailles en (mm)	Refus séparés en g	Refus cumulés (Rn) en g	Pourcentage Refus cumulés en % $r = 100(Rn/M1)$	Pourcentage Tamisats cumulés en % $100 - r$
1,6	0,00	0,00	0,00	100
1,25	0,00	0,00	0,00	100
1	0,00	0,00	0,00	100
0,8	0,00	0,00	0,00	100
0,63	0,00	0,00	0,00	100
0,5	0,08	0,08	0,04	99,95
0,4	0,77	0,85	0,42	99,57
0,315	14,28	15,13	7,56	92,43
0,2	124,93	140,06	70,03	29,96
0,16	22,39	162,45	81,22	18,77
0,125	15,19	177,64	88,82	11,17
0,1	15,33	192,97	96,48	3,51
0,08	4,14	197,11	98,55	1,44
0,05	1,58	198,69	99,34	0,65
Fond étanche	0,02	198,71	99,36	0,64

Paramètres graphique	En μm
Premier quartile Q1	29.96
Médiane Q2	92.43
Troisième quartile Q3	92.43
Mode	124.93

Paramètres calculés	En μm	En phi
La Moyenne M_Z	199.62	2.33
Sorting (σ)	1.35	0.43
Skewness SK_i	-0.35	0.35
Kurtosis K_G	1.91	1.91

On a : $S = R_n + P$

S : Représente la masse totale de l'échantillon tamisé. **R_n** : Masse de refus cumulés sur le dernier tamis. **P** : Masse de tamisats sur le dernier tamis.

La perte = $((M_2 - S)/ M_2)$. 100 : cette différence présente la valeur équivalente aux pertes et imprécisions de mesures liées à la manipulation. La perte éventuelle de matériaux pendant l'opération de tamisage ne doit pas excéder plus de 2 % du poids total de l'échantillon de départ.

$S = R_n + P = 198,71 + 0,02 = 198,74 \text{ g}$

La perte = $((M_2 - S)/M_2) \cdot 100 = ((199,19 - 198,74)/199,19) \cdot 100 = 0,2 \% < 2 \%$. Alors le résultat de tamisage est acceptable.

Echantillon : Hassi 30 14
Date : le 30/ 09/ 2013

Granulométrie de la fraction sableuse

Masse sèche après lavage $M2_{(g)} = 198.97 \text{ g}$

Masse totale sèche $M1_{(g)} = 200 \text{ g}$

GRANULOMETRIE DES SABLES				
Mailles en (mm)	Refus séparés en g	Refus cumulés (Rn) en g	Pourcentage Refus cumulés en % $r = 100(Rn/M1)$	Pourcentage Tamisats cumulés en % $100 - r$
1,6	6,41	6,41	3,20	96,79
1,25	7,94	14,35	7,17	92,82
1	7,35	21,70	10,85	89,14
0,8	3,53	25,23	12,61	87,38
0,63	2,10	27,33	13,66	86,33
0,5	2,22	29,55	14,77	85,22
0,4	2,93	32,48	16,24	83,76
0,315	4,02	36,50	18,25	81,74
0,2	14,58	51,08	25,54	74,46
0,16	9,11	60,19	30,09	69,90
0,125	22,17	82,36	41,18	58,81
0,1	77,90	160,26	80,13	19,86
0,08	18,37	178,63	89,31	10,68
0,05	16,75	195,38	97,69	2,30
Fond étanche	0,68	196,06	99,04	0,96

Paramètres graphique	En μm
Premier quartile Q1	58.81
Médiane Q2	58.81
Troisième quartile Q3	74.46
Mode	77.9
Centile supérieur	96.79

Paramètres calculés	En μm	En phi
La Moyenne M_z	85.83	2.55
Sorting (σ)	2.39	1.25
Skewness SKi	0.61	-0.61
Kurtosis K_G	1.93	1.93

On a : $S = R_n + P$

S : Représente la masse totale de l'échantillon tamisé. **R_n** : Masse de refus cumulés sur le dernier tamis. **P** : Masse de tamisats sur le dernier tamis.

La perte = $((M_2 - S)/ M_2)$. **100** : cette différence présente la valeur équivalente aux pertes et imprécisions de mesures liées à la manipulation. La perte éventuelle de matériaux pendant l'opération de tamisage ne doit pas excéder plus de 2 % du poids total de l'échantillon de départ.

$S = R_n + P = 196,06 + 0,68 = 196,75 \text{ g}$

La perte = $((M_2 - S)/M_2) \cdot 100 = ((198,97 - 196,75)/198,97) \cdot 100 = 0,1 \% < 2 \%$. Alors le résultat de tamisage est acceptable.

Echantillon : Hassi 30 15
Date : le 30/ 09/ 2013

Granulométrie de la fraction sableuse

Masse totale sèche **M1_(g) = 200 g**

Masse sèche après lavage **M2_(g) = 199.40 g**

GRANULOMETRIE DES SABLES				
Mailles en (mm)	Refus séparés en g	Refus cumulés (Rn) en g	Pourcentage Refus cumulés en % $r = 100(R_n/M_1)$	Pourcentage Tamisats cumulés en % $100 - r$
1,6	0,00	0,00	0,00	100
1,25	0,00	0,00	0,00	100
1	0,00	0,00	0,00	100
0,8	0,01	0,01	0,00	99,99
0,63	0,33	0,34	0,17	99,82
0,5	2,90	3,24	1,62	98,38
0,4	15,99	19,23	9,61	90,38
0,315	33,09	52,32	26,16	73,83
0,2	60,48	112,80	56,40	43,59
0,16	15,89	128,69	64,34	35,65
0,125	19,78	148,47	74,23	25,76
0,1	34,33	182,80	91,40	8,59
0,08	7,79	190,59	95,29	4,70
0,05	7,53	198,12	99,06	0,93
Fond étanche	0,54	198,66	99,34	0,66

Paramètres graphique	En μm
Premier quartile Q1	25.76
Médiane Q2	73.83
Troisième quartile Q3	90.38
Mode	60.48
Centile supérieur	98.38

Paramètres calculés	En μm	En phi
La Moyenne M_Z	166.64	2.29
Sorting (σ)	1.73	0.79
Skewness SKi	-0.07	0.07
Kurtosis K_G	0.73	0.73

On a : **S = R_n + P**

S : Représente la masse totale de l'échantillon tamisé. **R_n** : Masse de refus cumulés sur le dernier tamis. **P** : Masse de tamisats sur le dernier tamis.

La perte = ((M₂ – S)/ M₂). 100 : cette différence présente la valeur équivalente aux pertes et imprécisions de mesures liées à la manipulation. La perte éventuelle de matériaux pendant l'opération de tamisage ne doit pas excéder plus de 2 % du poids total de l'échantillon de départ.

$S = R_n + P = 198,66 + 0,54 = 199,20 \text{ g}$

La perte = $((M_2 - S)/M_2) \cdot 100 = ((199,40 - 199,20)/199,40) \cdot 100 = 0,09 \% < 2 \%$. Alors le résultat de tamisage est acceptable.

Echantillon : Hassi 30 16
Date : le 01/ 10/ 2013

Granulométrie de la fraction sableuse

Masse totale sèche $M1_{(g)} = 200 \text{ g}$

Masse sèche après lavage $M2_{(g)} = 199.72 \text{ g}$

GRANULOMETRIE DES SABLES				
Mailles en (mm)	Refus séparés en g	Refus cumulés (Rn) en g	Pourcentage Refus cumulés en % $r = 100(Rn/M1)$	Pourcentage Tamisats cumulés en % $100 - r$
1,6	0,00	0,00	0,00	100
1,25	0,00	0,00	0,00	100
1	0,01	0,01	0,00	99,99
0,8	0,22	0,23	0,11	99,88
0,63	2,83	3,06	1,53	98,46
0,5	16,71	19,77	9,88	90,11
0,4	30,22	49,99	24,99	75,00
0,315	22,56	72,55	36,27	63,72
0,2	36,20	108,75	54,37	45,62
0,16	15,71	124,46	62,23	37,77
0,125	23,35	147,81	73,90	26,09
0,1	34,85	182,66	91,33	8,66
0,08	8,70	191,36	95,68	4,31
0,05	7,22	198,58	99,29	0,70
Fond étanche	0,49	199,07	99,54	0,46

Paramètres graphique	En μm
Premier quartile Q1	26.09
Médiane Q2	63.72
Troisième quartile Q3	75
Mode	36.19

Paramètres calculés	En μm	En phi
La Moyenne M_z	180.04	2.18
Sorting (σ)	1.90	0.93
Skewness SKi	0.06	-0.06
Kurtosis K_G	0.66	0.66

On a : $S = R_n + P$

S : Représente la masse totale de l'échantillon tamisé. **R_n** : Masse de refus cumulés sur le dernier tamis. **P** : Masse de tamisats sur le dernier tamis.

La perte = $((M_2 - S)/ M_2) \cdot 100$: cette différence présente la valeur équivalente aux pertes et imprécisions de mesures liées à la manipulation. La perte éventuelle de matériaux pendant l'opération de tamisage ne doit pas excéder plus de 2 % du poids total de l'échantillon de départ.

$S = R_n + P = 199,07 + 0,49 = 199,56 \text{ g}$

La perte = $((M_2 - S)/M_2) \cdot 100 = ((199,72 - 199,56)/199,72) \cdot 100 = 0,08 \% < 2 \%$. Alors le résultat de tamisage est acceptable.

Echantillon : Hassi 30 17
Date : le 01/ 10/ 2013

Granulométrie de la fraction sableuse

Masse totale sèche $M1_{(g)} = 200 \text{ g}$

Masse sèche après lavage $M2_{(g)} = 199.9$

GRANULOMETRIE DES SABLES				
Mailles en (mm)	Refus séparés en g	Refus cumulés (Rn) en g	Pourcentage Refus cumulés en % $r = 100(Rn/M1)$	Pourcentage Tamisats cumulés en % $100 - r$
1,6	0,00	0,00	0,00	100
1,25	0,00	0,00	0,00	100
1	0,00	0,00	0,00	100
0,8	0,00	0,00	0,00	100
0,63	0,04	0,04	0,02	99,97
0,5	1,25	1,29	0,64	99,35
0,4	24,15	25,44	12,72	87,27
0,315	48,13	73,57	36,78	63,21
0,2	36,46	110,03	55,01	44,98
0,16	10,52	120,55	60,27	39,72
0,125	13,98	134,53	67,26	32,73
0,1	38,59	173,12	86,56	13,43
0,08	10,33	183,45	91,72	8,27
0,05	13,42	196,87	98,43	1,56
Fond étanche	1,44	198,31	99,15	0,85

Paramètres graphique	En μm
Premier quartile Q1	32.73
Médiane Q2	63.21
Troisième quartile Q3	87.27
Mode	48.13
Centile supérieur	99.35

Paramètres calculés	En μm	En phi
La Moyenne M_z	161.88	2.28
Sorting (σ)	1.90	0.92
Skewness SK_i	-017	0.17
Kurtosis K_G	0.75	0.75

On a : $S = R_n + P$

S : Représente la masse totale de l'échantillon tamisé. **R_n** : Masse de refus cumulés sur le dernier tamis. **P** : Masse de tamisats sur le dernier tamis.

La perte = $((M_2 - S)/ M_2) \cdot 100$: cette différence présente la valeur équivalente aux pertes et imprécisions de mesures liées à la manipulation. La perte éventuelle de matériaux pendant l'opération de tamisage ne doit pas excéder plus de 2 % du poids total de l'échantillon de départ.

$S = R_n + P = 198,31 + 1,44 = 199,75 \text{ g}$

La perte = $((M_2 - S)/M_2) \cdot 100 = ((199,90 - 199,75)/199,90) \cdot 100 = 0,07 \% < 2 \%$. Alors le résultat de tamisage est acceptable.

Echantillon : Hassi 30 18
Date : le 01/ 10/ 2013

Granulométrie de la fraction sableuse

Masse totale sèche $M1_{(g)} = 200 \text{ g}$

Masse sèche après lavage $M2_{(g)} = 199.62 \text{ g}$

GRANULOMETRIE DES SABLES				
Mailles en (mm)	Refus séparés en g	Refus cumulés (Rn) en g	Pourcentage Refus cumulés en % $r = 100(Rn/M1)$	Pourcentage Tamisats cumulés en % $100 - r$
1,6	0,00	0,00	0,00	100
1,25	0,00	0,00	0,00	100
1	0,01	0,01	0,00	99,99
0,8	0,11	0,12	0,06	99,93
0,63	0,74	0,86	0,43	99,56
0,5	2,76	3,62	1,81	98,18
0,4	8,89	12,51	6,25	93,74
0,315	17,51	30,02	15,01	84,99
0,2	67,58	97,60	48,80	51,19
0,16	20,63	118,23	59,11	40,88
0,125	20,72	138,95	69,47	30,52
0,1	41,84	180,79	90,39	9,60
0,08	9,85	190,64	95,32	4,68
0,05	7,80	198,44	99,22	0,77
Fond étanche	0,40	198,84	99,42	0,58

Paramètres graphique	En μm
Premier quartile Q1	30.52
Médiane Q2	51.19
Troisième quartile Q3	84.99
Mode	67.58

Paramètres calculés	En μm	En phi
La Moyenne M_z	132.68	2.52
Sorting (σ)	1.57	0.65
Skewness SK_i	-0.24	0.24
Kurtosis K_G	0.98	0.98

On a : $S = R_n + P$

S : Représente la masse totale de l'échantillon tamisé. **R_n** : Masse de refus cumulés sur le dernier tamis. **P** : Masse de tamisats sur le dernier tamis.

La perte = $((M_2 - S)/M_2) \cdot 100$: cette différence présente la valeur équivalente aux pertes et imprécisions de mesures liées à la manipulation. La perte éventuelle de matériaux pendant l'opération de tamisage ne doit pas excéder plus de 2 % du poids total de l'échantillon de départ.

$S = R_n + P = 198,84 + 0,40 = 199,24 \text{ g}$

La perte = $((M_2 - S)/M_2) \cdot 100 = ((199,62 - 199,24)/199,62) \cdot 100 = 0,18 \% < 2 \%$. Alors le résultat de tamisage est acceptable.

Échantillon : Hassi 30 19
Date : le 01/ 10/ 2013

Granulométrie de la fraction sableuse

Masse totale sèche **M1_(g) = 200 g**

Masse sèche après lavage **M2_(g) = 199.42**

GRANULOMETRIE DES SABLES				
Mailles en (mm)	Refus séparés en g	Refus cumulés (Rn) en g	Pourcentage Refus cumulés en % $r = 100(Rn/M1)$	Pourcentage Tamisats cumulés en % $100 - r$
1,6	0,00	0,00	0,00	100
1,25	0,05	0,05	0,02	99,97
1	0,63	0,68	0,34	99,65
0,8	3,78	4,46	2,23	97,76
0,63	9,07	13,53	6,76	93,23
0,5	10,06	23,59	11,79	88,20
0,4	15,76	39,35	19,67	80,32
0,315	21,82	61,17	30,58	69,41
0,2	71,03	132,20	66,10	33,89
0,16	23,04	155,24	77,62	22,37
0,125	17,77	173,01	86,50	13,49
0,1	18,01	191,02	95,51	4,48
0,08	4,44	195,46	97,73	2,27
0,05	3,45	198,91	99,45	0,54
Fond étanche	0,17	199,08	99,54	0,46

Paramètres graphique	En μm
Premier quartile Q1	33.89
Médiane Q2	69.41
Troisième quartile Q3	80.32
Mode	71.03
Centile supérieur	97.76

Paramètres calculés	En μm	En phi
La Moyenne M _Z	229.14	2.07
Sorting (σ)	1.79	0.84
Skewness SK _i	0.18	-0.18
Kurtosis K _G	1.05	1.05

On a : **S = R_n + P**

S : Représente la masse totale de l'échantillon tamisé. **R_n** : Masse de refus cumulés sur le dernier tamis. **P** : Masse de tamisats sur le dernier tamis.

La perte = ((M₂ – S)/ M₂). 100 : cette différence présente la valeur équivalente aux pertes et imprécisions de mesures liées à la manipulation. La perte éventuelle de matériaux pendant l'opération de tamisage ne doit pas excéder plus de 2 % du poids total de l'échantillon de départ.

$S = R_n + P = 199,08 + 0,17 = 199,26 \text{ g}$

La perte = $((M_2 - S)/M_2) \cdot 100 = ((199,42 - 199,26)/199,42) \cdot 100 = 0,07 \% < 2 \%$. Alors le résultat de tamisage est acceptable.

Echantillon : Hassi 30 20
Date : le 01/ 10/ 2013

Granulométrie de la fraction sableuse

Masse totale sèche $M1_{(g)} = 200 \text{ g}$

Masse sèche après lavage $M2_{(g)} = 199.72 \text{ g}$

GRANULOMETRIE DES SABLES				
Mailles en (mm)	Refus séparés en g	Refus cumulés (Rn) en g	Pourcentage Refus cumulés en % $r = 100(Rn/M1)$	Pourcentage Tamisats cumulés en % $100 - r$
1,6	0,00	0,00	0,00	100
1,25	0,00	0,00	0,00	100
1	0,00	0,00	0,00	100
0,8	0,00	0,00	0,00	100
0,63	0,06	0,06	0,03	99,96
0,5	0,80	0,86	0,43	99,56
0,4	10,72	11,58	5,79	94,20
0,315	35,88	47,46	23,73	76,26
0,2	73,38	120,84	60,42	39,57
0,16	11,96	132,80	66,40	33,59
0,125	11,46	144,26	72,13	27,86
0,1	32,28	176,54	88,27	11,73
0,08	10,78	187,32	93,66	6,33
0,05	11,69	199,01	99,50	0,49
Fond étanche	0,26	199,27	99,63	0,37

Paramètres graphique	En μm
Premier quartile Q1	27.86
Médiane Q2	76.26
Troisième quartile Q3	76.26
Mode	73.37
Centile supérieur	99.56

Paramètres calculés	En μm	En phi
La Moyenne M_z	160.06	2.32
Sorting (σ)	1.8	0.84
Skewness SK_i	-0.24	0.24
Kurtosis K_G	1.09	1.09

On a : $S = R_n + P$

S : Représente la masse totale de l'échantillon tamisé. **R_n** : Masse de refus cumulés sur le dernier tamis. **P** : Masse de tamisats sur le dernier tamis.

La perte = $((M_2 - S) / M_2) \cdot 100$: cette différence présente la valeur équivalente aux pertes et imprécisions de mesures liées à la manipulation. La perte éventuelle de matériaux pendant l'opération de tamisage ne doit pas excéder plus de 2 % du poids total de l'échantillon de départ.

$$S = R_n + P = 199,27 + 0,26 = 199,54 \text{ g}$$

La perte = $((M_2 - S) / M_2) \cdot 100 = ((199,72 - 199,54) / 199,72) \cdot 100 = 0,08 \% < 2 \%$. Alors le résultat de tamisage est acceptable.

Echantillon : Hassi 30 21
Date : le 02/ 10/ 2013

Granulométrie de la fraction sableuse

Masse totale sèche $M1_{(g)} = 200 \text{ g}$

Masse sèche après lavage $M2_{(g)} = 199.92 \text{ g}$

GRANULOMETRIE DES SABLES				
Mailles en (mm)	Refus séparés en g	Refus cumulés (Rn) en g	Pourcentage Refus cumulés en % $r = 100(Rn/M1)$	Pourcentage Tamisats cumulés en % $100 - r$
1,6	4,67	4,67	2,33	97,66
1,25	5,69	10,36	5,18	94,81
1	8,61	18,97	9,48	90,51
0,8	15,94	34,91	17,45	82,54
0,63	11,45	46,36	23,18	76,81
0,5	7,69	54,05	27,02	72,97
0,4	5,68	59,73	29,86	70,13
0,315	5,63	65,36	32,68	67,32
0,2	24,39	89,75	44,87	55,12
0,16	21,65	111,40	55,70	44,30
0,125	29,34	140,74	70,37	29,63
0,1	36,63	177,37	88,68	11,31
0,08	11,27	188,64	94,32	5,67
0,05	8,97	197,61	98,80	1,19
Fond étanche	1,11	198,72	99,36	0,64

Paramètres graphique	En μm
Premier quartile Q1	29.63
Médiane Q2	55.12
Troisième quartile Q3	76.81
Mode	36.63
Centile supérieur	94.81

Paramètres calculés	En μm	En phi
La Moyenne M_z	181.82	1.98
Sorting (σ)	2.64	1.40
Skewness SK_i	0.39	-0.39
Kurtosis K_G	0.78	0.78

On a : $S = R_n + P$

S : Représente la masse totale de l'échantillon tamisé. **R_n** : Masse de refus cumulés sur le dernier tamis. **P** : Masse de tamisats sur le dernier tamis.

La perte = $((M_2 - S)/ M_2) \cdot 100$: cette différence présente la valeur équivalente aux pertes et imprécisions de mesures liées à la manipulation. La perte éventuelle de matériaux pendant l'opération de tamisage ne doit pas excéder plus de 2 % du poids total de l'échantillon de départ.

$S = R_n + P = 198,72 + 1,11 = 199,83 \text{ g}$

La perte = $((M_2 - S)/M_2) \cdot 100 = ((199,92 - 199,83)/199,92) \cdot 100 = 0,04 \% < 2 \%$. Alors le résultat de tamisage est acceptable.

Échantillon : Hassi 30 22
Date : le 02/ 10/ 2013

Granulométrie de la fraction sableuse

Masse sèche après lavage M_2 (g) = 199.31 g

Masse totale sèche M_1 (g) = 200 g

GRANULOMETRIE DES SABLES				
Mailles en (mm)	Refus séparés en g	Refus cumulés (Rn) en g	Pourcentage Refus cumulés en % $r = 100(R_n/M_1)$	Pourcentage Tamisats cumulés en % $100 - r$
1,6	0,00	0,00	0,00	100
1,25	0,00	0,00	0,00	100
1	0,00	0,00	0,00	100
0,8	0,00	0,00	0,00	100
0,63	0,18	0,18	0,09	99,91
0,5	4,35	4,53	2,26	97,73
0,4	19,01	23,54	11,77	88,22
0,315	42,65	66,19	33,09	66,90
0,2	101,98	168,17	84,08	15,91
0,16	14,20	182,37	91,18	8,81
0,125	8,77	191,14	95,57	4,42
0,1	6,30	197,44	98,72	1,28
0,08	1,15	198,59	99,29	0,70
0,05	0,29	198,88	99,44	0,56
Fond étanche	0,02	198,90	99,45	0,55

Paramètres graphique	En μm
Premier quartile Q1	66.9
Médiane Q2	66.9
Troisième quartile Q3	88.22
Mode	101.97
Centile supérieur	97.73

Paramètres calculés	En μm	En phi
La Moyenne M_z	338.09	1.93
Sorting (σ)	1.42	0.50
Skewness SK_i	0.32	-0.32
Kurtosis K_G	1.02	1.02

On a : $S = R_n + P$

S : Représente la masse totale de l'échantillon tamisé. **R_n** : Masse de refus cumulés sur le dernier tamis. **P** : Masse de tamisats sur le dernier tamis.

La perte = $((M_2 - S)/ M_2)$. 100 : cette différence présente la valeur équivalente aux pertes et imprécisions de mesures liées à la manipulation. La perte éventuelle de matériaux pendant l'opération de tamisage ne doit pas excéder plus de 2 % du poids total de l'échantillon de départ.

$S = R_n + P = 198,90 + 0,02 = 198,93$ g

La perte = $((M_2 - S)/M_2) \cdot 100 = ((199,31 - 198,93)/199,31) \cdot 100 = 0,19 \% < 2 \%$. Alors le résultat de tamisage est acceptable.

Échantillon : Hassi 30 23
Date : le 02/ 10/ 2013

Granulométrie de la fraction sableuse

Masse sèche après lavage $M2_{(g)} = 199.63 \text{ g}$

Masse totale sèche $M1_{(g)} = 200 \text{ g}$

GRANULOMETRIE DES SABLES				
Mailles en (mm)	Refus séparés en g	Refus cumulés (Rn) en g	Pourcentage Refus cumulés en % $r = 100(Rn/M1)$	Pourcentage Tamisats cumulés en % $100 - r$
1,6	0,00	0,00	0,00	100
1,25	0,00	0,00	0,00	100
1	0,00	0,00	0,00	100
0,8	0,00	0,00	0,00	100
0,63	0,00	0,00	0,00	100
0,5	0,05	0,05	0,02	99,97
0,4	0,23	0,28	0,14	99,85
0,315	3,04	3,32	1,66	98,34
0,2	96,08	99,40	49,70	50,29
0,16	50,40	149,80	74,90	25,09
0,125	27,75	177,55	88,77	11,22
0,1	18,95	196,50	98,25	1,74
0,08	2,40	198,90	99,45	0,54
0,05	0,51	199,41	99,70	0,29
Fond étanche	0,01	199,42	99,71	0,29

Paramètres graphique	En μm
Premier quartile Q1	25.09
Médiane Q2	50.29
Troisième quartile Q3	98.34
Mode	96.08
Centile supérieur	98.34

Paramètres calculés	En μm	En phi
La Moyenne M_z	168.19	2.43
Sorting (σ)	1.29	0.37
Skewness SK_i	-0.45	0.45
Kurtosis K_G	0.99	0.99

On a : $S = R_n + P$

S : Représente la masse totale de l'échantillon tamisé. **R_n** : Masse de refus cumulés sur le dernier tamis. **P** : Masse de tamisats sur le dernier tamis.

La perte = $((M_2 - S)/M_2)$. 100 : cette différence présente la valeur équivalente aux pertes et imprécisions de mesures liées à la manipulation. La perte éventuelle de matériaux pendant l'opération de tamisage ne doit pas excéder plus de 2 % du poids total de l'échantillon de départ.

$S = R_n + P = 199,42 + 0,01 = 199,43 \text{ g}$

La perte = $((M_2 - S)/M_2) \cdot 100 = ((199,63 - 199,43)/199,63) \cdot 100 = 0,09 \% < 2 \%$. Alors le résultat de tamisage est acceptable.

Échantillon : Hassi 30 24
Date : le 02/ 10/ 2013

Granulométrie de la fraction sableuse

Masse totale sèche $M1_{(g)} = 200 \text{ g}$

Masse sèche après lavage $M2_{(g)} = 199.27 \text{ g}$

GRANULOMETRIE DES SABLES				
Mailles en (mm)	Refus séparés en g	Refus cumulés (Rn) en g	Pourcentage Refus cumulés en % $r = 100(Rn/M1)$	Pourcentage Tamisats cumulés en % $100 - r$
1,6	0,00	0,00	0,00	100
1,25	0,01	0,01	0,00	99,99
1	0,14	0,15	0,07	99,92
0,8	1,62	1,77	0,88	99,11
0,63	10,51	12,28	6,14	93,85
0,5	29,51	41,79	20,89	79,10
0,4	32,79	74,58	37,29	62,70
0,315	25,19	99,77	49,88	50,11
0,2	40,43	140,20	70,10	29,89
0,16	14,54	154,74	77,37	22,63
0,125	15,75	170,49	85,24	14,75
0,1	19,72	190,21	95,10	4,89
0,08	4,81	195,02	97,51	2,48
0,05	3,67	198,69	99,34	0,65
Fond étanche	0,16	198,85	99,42	0,58

Paramètres graphique	En μm
Premier quartile Q1	29.89
Médiane Q2	50.11
Troisième quartile Q3	79.1
Mode	40.43
Centile supérieur	99.11

Paramètres calculés	En μm	En phi
La Moyenne M_z	339.72	1.82
Sorting (σ)	1.89	0.91
Skewness SKi	-0.22	0.22
Kurtosis K_G	0.77	0.77

On a : $S = R_n + P$

S : Représente la masse totale de l'échantillon tamisé. **R_n** : Masse de refus cumulés sur le dernier tamis. **P** : Masse de tamisats sur le dernier tamis.

La perte = ((M₂ – S)/ M₂). 100 : cette différence présente la valeur équivalente aux pertes et imprécisions de mesures liées à la manipulation. La perte éventuelle de matériaux pendant l'opération de tamisage ne doit pas excéder plus de 2 % du poids total de l'échantillon de départ.

$S = R_n + P = 198,85 + 0,16 = 199,01 \text{ g}$

La perte = $((M_2 - S)/M_2) \cdot 100 = ((199,27 - 199,01)/199,27) \cdot 100 = 0,12 \% < 2 \%$. Alors le résultat de tamisage est acceptable.

Échantillon : Hassi 30 25
Date : le 03/ 10/ 2013

Granulométrie de la fraction sableuse

Masse sèche après lavage M_2 (g) = 199.09 g

Masse totale sèche M_1 (g) = 200 g

GRANULOMETRIE DES SABLES				
Mailles en (mm)	Refus séparés en g	Refus cumulés (Rn) en g	Pourcentage Refus cumulés en % $r = 100(R_n/M_1)$	Pourcentage Tamisats cumulés en % $100 - r$
1,6	0,00	0,00	0,00	100
1,25	0,00	0,00	0,00	100
1	0,03	0,03	0,01	99,98
0,8	0,17	0,20	0,10	99,90
0,63	1,25	1,45	0,72	99,27
0,5	6,81	8,26	4,13	95,87
0,4	19,29	27,55	13,77	86,22
0,315	20,35	47,90	23,95	76,04
0,2	60,45	108,35	54,17	45,82
0,16	27,93	136,28	68,14	31,85
0,125	25,92	162,20	81,10	18,89
0,1	26,00	188,20	94,10	5,89
0,08	6,04	194,24	97,12	2,87
0,05	4,30	198,54	99,27	0,72
Fond étanche	0,08	198,62	99,31	0,69

Paramètres graphique	En μm
Premier quartile Q1	31.85
Médiane Q2	76.04
Troisième quartile Q3	76.04
Mode	60.45
Centile supérieur	95.87

Paramètres calculés	En μm	En phi
La Moyenne M_z	180.01	2.24
Sorting (σ)	1.70	0.76
Skewness SKi	0.06	-0.06
Kurtosis K_G	1.17	1.17

On a : $S = R_n + P$

S : Représente la masse totale de l'échantillon tamisé. **R_n** : Masse de refus cumulés sur le dernier tamis. **P** : Masse de tamisats sur le dernier tamis.

La perte = ((M₂ – S)/ M₂). 100 : cette différence présente la valeur équivalente aux pertes et imprécisions de mesures liées à la manipulation. La perte éventuelle de matériaux pendant l'opération de tamisage ne doit pas excéder plus de 2 % du poids total de l'échantillon de départ.

$S = R_n + P = 198,62 + 0,08 = 198,70$ g

La perte = ((M₂ – S)/M₂). 100 = ((199,09 – 198,70)/199,09).100 = **0,19 % < 2 %**. Alors le résultat de tamisage est acceptable.

Échantillon : Hassi 30 26
Date : le 03/ 10/ 2013

Granulométrie de la fraction sableuse

Masse sèche après lavage M_2 (g) = 199.87 g

Masse totale sèche $M_{1(g)}$ = 200 g

GRANULOMETRIE DES SABLES				
Mailles en (mm)	Refus séparés en g	Refus cumulés (Rn) en g	Pourcentage Refus cumulés en % $r = 100(Rn/M_1)$	Pourcentage Tamisats cumulés en % $100 - r$
1,6	2,67	2,67	1,33	98,66
1,25	4,73	7,40	3,70	96,29
1	7,62	15,02	7,51	92,48
0,8	17,12	32,14	16,07	83,93
0,63	20,06	52,20	26,10	73,89
0,5	13,78	65,98	32,99	67,00
0,4	8,96	74,94	37,47	62,52
0,315	6,97	81,91	40,95	59,04
0,2	18,98	100,89	50,44	49,55
0,16	10,01	110,90	55,45	44,54
0,125	32,18	143,08	71,54	28,46
0,1	40,59	183,67	91,83	8,16
0,08	6,35	190,02	95,01	4,98
0,05	7,26	197,28	98,64	1,35
Fond étanche	1,21	198,49	99,24	0,76

Paramètres graphique	En μm
Premier quartile Q1	28.46
Médiane Q2	49.55
Troisième quartile Q3	73.89
Mode	40.59
Centile supérieur	96.29

Paramètres calculés	En μm	En phi
La Moyenne M_z	208.10	1.93
Sorting (σ)	2.44	1.29
Skewness SKi	0.35	-0.35
Kurtosis K_G	0.64	0.64

On a : $S = R_n + P$

S : Représente la masse totale de l'échantillon tamisé. **R_n** : Masse de refus cumulés sur le dernier tamis. **P** : Masse de tamisats sur le dernier tamis.

La perte = ((M₂ – S)/ M₂). 100 : cette différence présente la valeur équivalente aux pertes et imprécisions de mesures liées à la manipulation. La perte éventuelle de matériaux pendant l'opération de tamisage ne doit pas excéder plus de 2 % du poids total de l'échantillon de départ.

$S = R_n + P = 198,49 + 1,21 = 199,71$ g

La perte = $((M_2 - S)/M_2) \cdot 100 = ((199,87 - 199,71)/199,87) \cdot 100 = 0,07\% < 2\%$. Alors le résultat de tamisage est acceptable.

Échantillon : Hassi 30 27
Date : le 03/ 10/ 2013

Granulométrie de la fraction sableuse

Masse sèche après lavage $M2_{(g)} = 199.81 \text{ g}$

Masse totale sèche $M1_{(g)} = 200 \text{ g}$

GRANULOMETRIE DES SABLES				
Mailles en (mm)	Refus séparés en g	Refus cumulés (Rn) en g	Pourcentage Refus cumulés en % $r = 100(Rn/M1)$	Pourcentage Tamisats cumulés en % $100 - r$
1,6	0,22	0,22	0,11	99,88
1,25	1,11	1,33	0,66	99,33
1	5,07	6,40	3,20	96,79
0,8	11,99	18,39	9,19	90,80
0,63	7,70	26,09	13,04	86,95
0,5	3,91	30,00	15,00	85,00
0,4	4,93	34,93	17,46	82,53
0,315	7,12	42,05	21,02	78,97
0,2	29,87	71,92	35,96	64,03
0,16	25,35	97,27	48,63	51,36
0,125	43,26	140,53	70,26	29,73
0,1	45,40	185,93	92,96	7,03
0,08	7,55	193,48	96,74	3,25
0,05	5,14	198,62	99,31	0,69
Fond étanche	0,48	199,10	99,55	0,45

Paramètres graphique	En μm
Premier quartile Q1	29.73
Médiane Q2	51.36
Troisième quartile Q3	78.97
Mode	45.4
Centile supérieur	96.79

Paramètres calculés	En μm	En phi
La Moyenne M_z	133.61	2.32
Sorting (σ)	2.03	1.02
Skewness SKi	0.50	-0.50
Kurtosis K_G	1.40	1.40

On a : $S = R_n + P$

S : Représente la masse totale de l'échantillon tamisé. **R_n** : Masse de refus cumulés sur le dernier tamis. **P** : Masse de tamisats sur le dernier tamis.

La perte = $((M_2 - S)/ M_2) \cdot 100$: cette différence présente la valeur équivalente aux pertes et imprécisions de mesures liées à la manipulation. La perte éventuelle de matériaux pendant l'opération de tamisage ne doit pas excéder plus de 2 % du poids total de l'échantillon de départ.

$S = R_n + P = 199,10 + 0,48 = 199,59 \text{ g}$

La perte = $((M_2 - S)/M_2) \cdot 100 = ((199,81 - 199,59)/199,81) \cdot 100 = 0,11 \% < 2 \%$. Alors le résultat de tamisage est acceptable.

Échantillon : Hassi 30 28
Date : le 06/ 10/ 2013

Granulométrie de la fraction sableuse

Masse sèche après lavage M_2 (g) = 199.26 g

Masse totale sèche $M_{1(g)}$ = 200 g

GRANULOMETRIE DES SABLES				
Mailles en (mm)	Refus séparés en g	Refus cumulés (Rn) en g	Pourcentage Refus cumulés en % $r = 100(Rn/M_1)$	Pourcentage Tamisats cumulés en % $100 - r$
1,6	0,00	0,00	0,00	100
1,25	0,00	0,00	0,00	100
1	0,00	0,00	0,00	100
0,8	0,02	0,02	0,01	99,98
0,63	0,14	0,16	0,08	99,91
0,5	1,57	1,73	0,86	99,13
0,4	15,93	17,66	8,83	91,16
0,315	39,67	57,33	28,66	71,33
0,2	65,30	122,63	61,315	38,68
0,16	17,04	139,67	69,83	30,16
0,125	19,37	159,04	79,52	20,47
0,1	28,45	187,49	93,74	6,25
0,08	5,43	192,92	96,46	3,53
0,05	4,48	197,40	98,70	1,29
Fond étanche	0,22	197,62	98,81	1,19

Paramètres graphique	En μm
Premier quartile Q1	30.16
Médiane Q2	71.33
Troisième quartile Q3	91.16
Mode	65.3
Centile supérieur	99.13

Paramètres calculés	En μm	En phi
La Moyenne M_z	183.97	2.24
Sorting (σ)	1.66	0.73
Skewness SKi	-0.05	0.05
Kurtosis K_G	0.74	0.74

On a : $S = R_n + P$

S : Représente la masse totale de l'échantillon tamisé. **R_n** : Masse de refus cumulés sur le dernier tamis. **P** : Masse de tamisats sur le dernier tamis.

La perte = $((M_2 - S)/ M_2) \cdot 100$: cette différence présente la valeur équivalente aux pertes et imprécisions de mesures liées à la manipulation. La perte éventuelle de matériaux pendant l'opération de tamisage ne doit pas excéder plus de 2 % du poids total de l'échantillon de départ.

$S = R_n + P = 197,62 + 0,22 = 197,84$ g

La perte = $((M_2 - S)/M_2) \cdot 100 = ((199,26 - 197,84)/199,26) \cdot 100 = 0,7 \% < 2 \%$. Alors le résultat de tamisage est acceptable.

Échantillon : Toug 30 29
Date : le 17/ 10/ 2013

Granulométrie de la fraction sableuse

Masse totale sèche $M1_{(g)} = 200 \text{ g}$

Masse sèche après lavage $M2_{(g)} = 196,68 \text{ g}$

GRANULOMETRIE DES SABLES				
Mailles en (mm)	Refus séparés en g	Refus cumulés (Rn) en g	Pourcentage Refus cumulés en % $r = 100(Rn/M1)$	Pourcentage Tamisats cumulés en % $100 - r$
1,6	0,00	0,00	0,00	100
1,25	0,00	0,00	0,00	100
1	0,22	0,22	0,11	99,89
0,8	2,66	2,88	1,44	98,55
0,63	15,46	18,34	9,17	90,83
0,5	24,88	43,22	21,61	78,38
0,4	18,84	62,06	31,03	68,96
0,315	14,12	76,18	38,09	61,90
0,2	40,06	116,24	58,12	41,87
0,16	21,62	137,86	68,93	31,07
0,125	23,78	161,64	80,82	19,17
0,1	22,03	183,67	91,83	8,16
0,08	7,59	191,26	95,63	4,36
0,05	4,08	195,34	97,67	2,33
Fond étanche	0,44	195,78	97,89	2,11

Paramètres graphique	En μm
Premier quartile Q1	31.07
Médiane Q2	61,9
Troisième quartile Q3	78.38
Mode	40.06
Centile supérieur	98.55

Paramètres calculés	En μm	En phi
La Moyenne M_z	221.61	2.01
Sorting (σ)	1.99	0.99
Skewness SK_i	0.18	-0.18
Kurtosis K_G	0.71	0.71

On a : $S = R_n + P$

S : Représente la masse totale de l'échantillon tamisé. **R_n** : Masse de refus cumulés sur le dernier tamis. **P** : Masse de tamisats sur le dernier tamis.

La perte = $((M_2 - S) / M_2) \cdot 100$: cette différence présente la valeur équivalente aux pertes et imprécisions de mesures liées à la manipulation. La perte éventuelle de matériaux pendant l'opération de tamisage ne doit pas excéder plus de 2 % du poids total de l'échantillon de départ.

$S = R_n + P = 195,78 + 0,44 = 196,22 \text{ g}$

La perte = $((M_2 - S) / M_2) \cdot 100 = ((196,68 - 196,22) / 196,68) \cdot 100 = 0,23 \% < 2 \%$. Alors le résultat de tamisage est acceptable.

Échantillon : Toug 30 30
Date : le 20/ 10/ 2013

Granulométrie de la fraction sableuse

Masse sèche après lavage $M2_{(g)} = 198,10 \text{ g}$

Masse totale sèche $M1_{(g)} = 200 \text{ g}$

GRANULOMETRIE DES SABLES				
Mailles en (mm)	Refus séparés en g	Refus cumulés (Rn) en g	Pourcentage Refus cumulés en % $r = 100(Rn/M1)$	Pourcentage Tamisats cumulés en % $100 - r$
1,6	0,00	0,00	0,00	100
1,25	0,03	0,03	0,01	99,98
1	0,23	0,26	0,13	99,86
0,8	2,31	2,57	1,28	98,71
0,63	15,42	17,99	8,99	91,00
0,5	31,21	49,20	24,60	75,40
0,4	22,43	71,63	35,81	64,18
0,315	13,74	85,37	42,68	57,31
0,2	26,82	112,19	56,09	43,90
0,16	15,03	127,22	63,61	36,38
0,125	21,41	148,63	74,31	25,68
0,1	26,48	175,11	87,55	12,44
0,08	10,77	185,88	92,94	7,06
0,05	8,21	194,09	97,04	2,95
Fond étanche	1,49	195,58	97,79	2,21

Paramètres graphique	En μm
Premier quartile Q1	25.68
Médiane Q2	57.31
Troisième quartile Q3	75.4
Mode	31.2
Centile supérieur	98.71

Paramètres calculés	En μm	En phi
La Moyenne M_z	204.89	2.04
Sorting (σ)	2.10	1.07
Skewness SK_i	0.09	-0.09
Kurtosis K_G	0.65	0.65

On a : $S = R_n + P$

S : Représente la masse totale de l'échantillon tamisé. **R_n** : Masse de refus cumulés sur le dernier tamis. **P** : Masse de tamisats sur le dernier tamis.

La perte = $((M_2 - S)/ M_2) \cdot 100$: cette différence présente la valeur équivalente aux pertes et imprécisions de mesures liées à la manipulation. La perte éventuelle de matériaux pendant l'opération de tamisage ne doit pas excéder plus de 2 % du poids total de l'échantillon de départ.

$S = R_n + P = 195,58 + 1,49 = 197,07 \text{ g}$

La perte = $((M_2 - S)/M_2) \cdot 100 = ((198,10 - 197,07/198,10) \cdot 100 = 0,52 \% < 2 \%$. Alors le résultat de tamisage est acceptable.

Échantillon : Toug 30 31
Date : le 20/ 10/ 2013

Granulométrie de la fraction sableuse

Masse totale sèche $M1_{(g)} = 200 \text{ g}$

Masse sèche après lavage $M2_{(g)} = 194.83 \text{ g}$

GRANULOMETRIE DES SABLES				
Mailles en (mm)	Refus séparés en g	Refus cumulés (Rn) en g	Pourcentage Refus cumulés en % $r = 100(Rn/M1)$	Pourcentage Tamisats cumulés en % $100 - r$
1,6	0,00	0,00	0,00	100
1,25	0,00	0,00	0,00	100
1	0,00	0,00	0,00	100
0,8	0,00	0,00	0,00	100
0,63	0,03	0,03	0,01	99,98
0,5	0,03	0,06	0,03	99,97
0,4	0,10	0,16	0,08	99,92
0,315	1,16	1,32	0,66	99,34
0,2	67,42	68,74	34,37	65,62
0,16	60,44	129,18	64,59	35,40
0,125	40,03	169,21	84,60	15,39
0,1	19,62	188,83	94,41	5,58
0,08	4,26	193,09	96,54	3,45
0,05	1,36	194,45	97,22	2,77
Fond étanche	0,08	194,53	97,26	2,74

Paramètres graphique	En μm
Premier quartile Q1	35.4
Médiane Q2	65.62
Troisième quartile Q3	99.34
Mode	67.42
Centile supérieur	99.34

Paramètres calculés	En μm	En phi
La Moyenne M_z	142.16	2.52
Sorting (σ)	1.30	0.38
Skewness SK_i	-0.23	0.23
Kurtosis K_G	0.87	0.87

On a : $S = R_n + P$

S : Représente la masse totale de l'échantillon tamisé. **R_n** : Masse de refus cumulés sur le dernier tamis. **P** : Masse de tamisats sur le dernier tamis.

La perte = $((M_2 - S)/ M_2) \cdot 100$: cette différence présente la valeur équivalente aux pertes et imprécisions de mesures liées à la manipulation. La perte éventuelle de matériaux pendant l'opération de tamisage ne doit pas excéder plus de 2 % du poids total de l'échantillon de départ.

$S = R_n + P = 194,53 + 0,08 = 194,61 \text{ g}$

La perte = $((M_2 - S)/M_2) \cdot 100 = ((194,83 - 194,61)/194,83) \cdot 100 = 0,11 \% < 2 \%$. Alors le résultat de tamisage est acceptable.

Échantillon : Toug 30 32
Date : le 21/ 10/ 2013

Granulométrie de la fraction sableuse

Masse totale sèche $M1_{(g)} = 200 \text{ g}$

Masse sèche après lavage $M2_{(g)} = 196.98 \text{ g}$

GRANULOMETRIE DES SABLES				
Mailles en (mm)	Refus séparés en g	Refus cumulés (Rn) en g	Pourcentage Refus cumulés en % $r = 100(Rn/M1)$	Pourcentage Tamisats cumulés en % $100 - r$
1,6	0,00	0,00	0,00	100
1,25	0,00	0,00	0,00	100
1	0,00	0,00	0,00	100
0,8	0,00	0,00	0,00	100
0,63	0,02	0,02	0,01	99,98
0,5	0,06	0,08	0,04	99,96
0,4	0,39	0,47	0,23	99,76
0,315	1,58	2,05	1,02	98,97
0,2	34,63	36,68	18,34	81,65
0,16	34,51	71,19	35,59	64,40
0,125	53,12	124,31	62,15	37,84
0,1	48,39	172,70	86,35	13,64
0,08	15,18	187,88	93,94	6,05
0,05	7,70	195,58	97,79	2,21
Fond étanche	0,34	195,92	97,96	2,04

Paramètres graphique	En μm
Premier quartile Q1	37.84
Médiane Q2	64.4
Troisième quartile Q3	81.65
Mode	53.12
Centile supérieur	98.97

Paramètres calculés	En μm	En phi
La Moyenne M_z	86.76	2.78
Sorting (σ)	1.39	0.48
Skewness SK_i	0.04	-0.04
Kurtosis K_G	0.88	0.88

On a : $S = R_n + P$

S : Représente la masse totale de l'échantillon tamisé. **R_n** : Masse de refus cumulés sur le dernier tamis. **P** : Masse de tamisats sur le dernier tamis.

La perte = $((M_2 - S)/ M_2) \cdot 100$: cette différence présente la valeur équivalente aux pertes et imprécisions de mesures liées à la manipulation. La perte éventuelle de matériaux pendant l'opération de tamisage ne doit pas excéder plus de 2 % du poids total de l'échantillon de départ.

$S = R_n + P = 195,92 + 0,34 = 196,26 \text{ g}$

La perte = $((M_2 - S)/M_2) \cdot 100 = ((196,98 - 196,26)/196,98) \cdot 100 = 0,36 \% < 2 \%$. Alors le résultat de tamisage est acceptable.

Échantillon : Toug 30 33
Date : le 21/ 10/ 2013

Granulométrie de la fraction sableuse

Masse sèche après lavage M_2 (g) = 195.66 g

Masse totale sèche M_1 (g) = 200 g

GRANULOMETRIE DES SABLES				
Mailles en (mm)	Refus séparés en g	Refus cumulés (Rn) en g	Pourcentage Refus cumulés en % $r = 100(Rn/M_1)$	Pourcentage Tamisats cumulés en % $100 - r$
1,6	0,00	0,00	0,00	100
1,25	0,00	0,00	0,00	100
1	0,00	0,00	0,00	100
0,8	0,00	0,00	0,00	100
0,63	0,02	0,02	0,01	99,98
0,5	0,07	0,09	0,04	99,95
0,4	0,34	0,43	0,21	99,78
0,315	1,56	1,99	0,99	99,00
0,2	59,25	61,24	30,62	69,38
0,16	56,71	117,95	58,97	41,02
0,125	41,89	159,84	79,92	20,07
0,1	23,42	183,26	91,63	8,36
0,08	7,00	190,26	95,13	4,86
0,05	4,00	194,26	97,13	2,86
Fond étanche	0,26	194,52	97,26	2,74

Paramètres graphique	En μm
Premier quartile Q1	41.02
Médiane Q2	69.38
Troisième quartile Q3	99
Mode	59.24
Centile supérieur	99

Paramètres calculés	En μm	En phi
La Moyenne M_z	127.37	2.57
Sorting (σ)	1.34	0.42
Skewness SK_i	-0.22	0.22
Kurtosis K_G	0.88	0.88

On a : $S = R_n + P$

S : Représente la masse totale de l'échantillon tamisé. **R_n** : Masse de refus cumulés sur le dernier tamis. **P** : Masse de tamisats sur le dernier tamis.

La perte = $((M_2 - S)/ M_2) \cdot 100$: cette différence présente la valeur équivalente aux pertes et imprécisions de mesures liées à la manipulation. La perte éventuelle de matériaux pendant l'opération de tamisage ne doit pas excéder plus de 2 % du poids total de l'échantillon de départ.

$S = R_n + P = 194,52 + 0,26 = 194,79$ g

La perte = $((M_2 - S)/M_2) \cdot 100 = ((195,66 - 194,79)/195,66) \cdot 100 = 0,44 \% < 2 \%$. Alors le résultat de tamisage est acceptable.

Échantillon : Toug 30 34
Date : le 21/ 10/ 2013

Granulométrie de la fraction sableuse

Masse totale sèche $M1_{(g)} = 200 \text{ g}$

Masse sèche après lavage $M2_{(g)} = 195.89 \text{ g}$

GRANULOMETRIE DES SABLES				
Mailles en (mm)	Refus séparés en g	Refus cumulés (Rn) en g	Pourcentage Refus cumulés en % $r = 100(Rn/M1)$	Pourcentage Tamisats cumulés en % $100 - r$
1,6	0,00	0,00	0,00	100
1,25	0,00	0,00	0,00	100
1	0,00	0,00	0,00	100
0,8	0,00	0,00	0,00	100
0,63	0,01	0,01	0,00	99,99
0,5	0,03	0,04	0,02	99,97
0,4	0,13	0,17	0,08	99,91
0,315	0,91	1,08	0,54	99,45
0,2	41,70	42,78	21,39	78,60
0,16	41,10	83,88	41,94	58,05
0,125	52,56	136,44	68,22	31,76
0,1	42,33	178,77	89,38	10,61
0,08	11,74	190,51	95,25	4,74
0,05	4,84	195,35	97,67	2,32
Fond étanche	0,21	195,56	97,78	2,22

Paramètres graphique	En μm
Premier quartile Q1	31.76
Médiane Q2	58.05
Troisième quartile Q3	78.6
Mode	52.56
Centile supérieur	99.45

Paramètres calculés	En μm	En phi
La Moyenne M_z	96.57	2.72
Sorting (σ)	1.37	0.46
Skewness SKi	-0.02	0.02
Kurtosis K_G	0.83	0.83

On a : $S = R_n + P$

S : Représente la masse totale de l'échantillon tamisé. **R_n** : Masse de refus cumulés sur le dernier tamis. **P** : Masse de tamisats sur le dernier tamis.

La perte = $((M_2 - S) / M_2) \cdot 100$: cette différence présente la valeur équivalente aux pertes et imprécisions de mesures liées à la manipulation. La perte éventuelle de matériaux pendant l'opération de tamisage ne doit pas excéder plus de 2 % du poids total de l'échantillon de départ.

$S = R_n + P = 195,56 + 0,21 = 195,77 \text{ g}$

La perte = $((M_2 - S) / M_2) \cdot 100 = ((195,89 - 195,77) / 195,89) \cdot 100 = 0,05 \% < 2 \%$. Alors le résultat de tamisage est acceptable.

Échantillon : Toug 30 35
Date : le 22/ 10/ 2013

Granulométrie de la fraction sableuse

Masse sèche après lavage M_2 (g) = 194.88 g

Masse totale sèche $M_{1(g)}$ = 200 g

GRANULOMETRIE DES SABLES				
Mailles en (mm)	Refus séparés en g	Refus cumulés (Rn) en g	Pourcentage Refus cumulés en % $r = 100(Rn/M_1)$	Pourcentage Tamisats cumulés en % $100 - r$
1,6	0,00	0,00	0,00	100
1,25	0,00	0,00	0,00	100
1	0,04	0,04	0,02	99,97
0,8	0,14	0,18	0,09	99,90
0,63	0,89	1,07	0,53	99,46
0,5	6,37	7,44	3,72	96,28
0,4	13,78	21,22	10,61	89,38
0,315	16,12	37,34	18,67	81,32
0,2	67,85	105,19	52,59	47,40
0,16	26,23	131,42	65,71	34,28
0,125	21,52	152,94	76,47	23,52
0,1	22,59	175,53	87,76	12,23
0,08	10,61	186,14	93,07	6,92
0,05	7,39	193,53	96,76	3,23
Fond étanche	0,45	193,98	96,99	3,01

Paramètres graphique	En μm
Premier quartile Q1	34.28
Médiane Q2	81.32
Troisième quartile Q3	81.32
Mode	67.84
Centile supérieur	96.28

Paramètres calculés	En μm	En phi
La Moyenne M_z	163.31	2.31
Sorting (σ)	1.72	0.78
Skewness SKi	-0.04	0.04
Kurtosis K_G	1.26	1.26

On a : $S = R_n + P$

S : Représente la masse totale de l'échantillon tamisé. **R_n** : Masse de refus cumulés sur le dernier tamis. **P** : Masse de tamisats sur le dernier tamis.

La perte = $((M_2 - S)/ M_2) \cdot 100$: cette différence présente la valeur équivalente aux pertes et imprécisions de mesures liées à la manipulation. La perte éventuelle de matériaux pendant l'opération de tamisage ne doit pas excéder plus de 2 % du poids total de l'échantillon de départ.

$S = R_n + P = 193,98 + 0,45 = 194,43$ g

La perte = $((M_2 - S)/M_2) \cdot 100 = ((194,88 - 194,43)/194,88) \cdot 100 = 0,22 \% < 2 \%$. Alors le résultat de tamisage est acceptable.

Échantillon : Toug 30 36

Date : le 28/ 10/ 2013

Granulométrie de la fraction sableuse

Masse sèche après lavage M_2 (g) = 193.73 g

Masse totale sèche $M_{1(g)} = 200$ g

GRANULOMETRIE DES SABLES				
Mailles en (mm)	Refus séparés en g	Refus cumulés (Rn) en g	Pourcentage Refus cumulés en % $r = 100(R_n/M_1)$	Pourcentage Tamisats cumulés en % $100 - r$
1,6	0,00	0,00	0,00	100
1,25	0,00	0,00	0,00	100
1	0,06	0,06	0,03	99,96
0,8	0,05	0,11	0,05	99,94
0,63	0,11	0,22	0,11	99,88
0,5	0,18	0,40	0,20	99,79
0,4	0,51	0,91	0,45	99,54
0,315	2,00	2,91	1,45	98,54
0,2	58,11	61,02	30,51	69,48
0,16	54,68	115,70	57,85	42,14
0,125	39,54	155,24	77,62	22,37
0,1	23,28	178,52	89,26	10,73
0,08	9,04	187,56	93,78	6,21
0,05	4,33	191,89	95,94	4,05
Fond étanche	0,84	192,73	96,36	3,63

Paramètres graphique	En μm
Premier quartile Q1	42.14
Médiane Q2	69.48
Troisième quartile Q3	98.54
Mode	58.11
Centile supérieur	98.54

Paramètres calculés	En μm	En phi
La Moyenne M_z	123.42	2.59
Sorting (σ)	1.36	0.45
Skewness SK_i	-0.25	0.25
Kurtosis K_G	0.90	0.90

On a : $S = R_n + P$

S : Représente la masse totale de l'échantillon tamisé. **R_n** : Masse de refus cumulés sur le dernier tamis. **P** : Masse de tamisats sur le dernier tamis.

La perte = $((M_2 - S)/M_2) \cdot 100$: cette différence présente la valeur équivalente aux pertes et imprécisions de mesures liées à la manipulation. La perte éventuelle de matériaux pendant l'opération de tamisage ne doit pas excéder plus de 2 % du poids total de l'échantillon de départ.

$S = R_n + P = 192,73 + 0,84 = 193,58$ g

La perte = $((M_2 - S)/M_2) \cdot 100 = ((193,73 - 193,58)/193,73) \cdot 100 = 0,08 \% < 2 \%$. Alors le résultat de tamisage est acceptable.

Échantillon : Toug 30 37
Date : le 28/ 10/ 2013

Granulométrie de la fraction sableuse

Masse totale sèche $M1_{(g)} = 200 \text{ g}$

Masse sèche après lavage $M2_{(g)} = 196.92 \text{ g}$

GRANULOMETRIE DES SABLES				
Mailles en (mm)	Refus séparés en g	Refus cumulés (Rn) en g	Pourcentage Refus cumulés en % $r = 100(Rn/M1)$	Pourcentage Tamisats cumulés en % $100 - r$
1,6	0,00	0,00	0,00	100
1,25	0,00	0,00	0,00	100
1	0,00	0,00	0,00	100
0,8	0,08	0,08	0,04	99,95
0,63	0,81	0,89	0,44	99,55
0,5	4,94	5,83	2,91	97,08
0,4	15,93	21,76	10,88	89,11
0,315	21,89	43,65	21,82	78,17
0,2	56,03	99,68	49,84	50,16
0,16	26,12	125,80	62,90	37,09
0,125	28,30	154,10	77,05	22,94
0,1	24,33	178,43	89,21	10,78
0,08	8,17	186,60	93,30	6,69
0,05	7,41	194,01	97,00	2,99
Fond étanche	0,83	194,84	97,42	2,58

Paramètres graphique	En μm
Premier quartile Q1	37.09
Médiane Q2	50.16
Troisième quartile Q3	78.17
Mode	56.02
Centile supérieur	97.08

Paramètres calculés	En μm	En phi
La Moyenne M_Z	164.52	2.30
Sorting (σ)	1.73	0.79
Skewness SKi	0.00	0.00
Kurtosis K_G	1.17	1.17

On a : $S = R_n + P$

S : Représente la masse totale de l'échantillon tamisé. **R_n** : Masse de refus cumulés sur le dernier tamis. **P** : Masse de tamisats sur le dernier tamis.

La perte = $((M_2 - S)/ M_2)$. 100 : cette différence présente la valeur équivalente aux pertes et imprécisions de mesures liées à la manipulation. La perte éventuelle de matériaux pendant l'opération de tamisage ne doit pas excéder plus de 2 % du poids total de l'échantillon de départ.

$S = R_n + P = 194,84 + 0,83 = 195,67 \text{ g}$

La perte = $((M_2 - S)/M_2) \cdot 100 = ((196,92 - 195,67/196,92) \cdot 100 = 0,63 \% < 2 \%$. Alors le résultat de tamisage est acceptable.

Échantillon : Taïbet 30 38
Date : le 06/ 10/ 2013

Granulométrie de la fraction sableuse

Masse totale sèche $M1_{(g)} = 200 \text{ g}$

Masse sèche après lavage $M2_{(g)} = 199.29 \text{ g}$

GRANULOMETRIE DES SABLES				
Mailles en (mm)	Refus séparés en g	Refus cumulés (Rn) en g	Pourcentage Refus cumulés en % $r = 100(Rn/M1)$	Pourcentage Tamisats cumulés en % $100 - r$
1,6	0,00	0,00	0,00	100
1,25	0,00	0,00	0,00	100
1	0,00	0,00	0,00	100
0,8	0,00	0,00	0,00	100
0,63	0,02	0,02	0,01	99,99
0,5	0,32	0,34	0,17	99,82
0,4	2,57	2,91	1,45	98,54
0,315	12,07	14,98	7,49	92,50
0,2	110,61	125,59	62,79	37,20
0,16	42,33	167,92	83,96	16,03
0,125	18,80	186,72	93,36	6,63
0,1	7,88	194,60	97,30	2,69
0,08	2,20	196,80	98,40	1,60
0,05	2,01	198,81	99,40	0,59
Fond étanche	0,15	198,96	99,48	0,52

Paramètres graphique	En μm
Premier quartile Q1	37.2
Médiane Q2	92.5
Troisième quartile Q3	92.5
Mode	110.61
Centile supérieur	98.54

Paramètres calculés	En μm	En phi
La Moyenne M_z	210.97	2.31
Sorting (σ)	1.30	0.38
Skewness SK_i	-0.20	0.20
Kurtosis K_G	1.60	1.60

On a : $S = R_n + P$

S : Représente la masse totale de l'échantillon tamisé. **R_n** : Masse de refus cumulés sur le dernier tamis. **P** : Masse de tamisats sur le dernier tamis.

La perte = $((M_2 - S)/ M_2) \cdot 100$: cette différence présente la valeur équivalente aux pertes et imprécisions de mesures liées à la manipulation. La perte éventuelle de matériaux pendant l'opération de tamisage ne doit pas excéder plus de 2 % du poids total de l'échantillon de départ.

$S = R_n + P = 198,96 + 0,15 = 199,11 \text{ g}$

La perte = $((M_2 - S)/M_2) \cdot 100 = ((199,29 - 199,11/199,29) \cdot 100 = 0,09 \% < 2 \%$. Alors le résultat de tamisage est acceptable.

Échantillon : Taïbet 30 39
Date : le 06/ 10/ 2013

Granulométrie de la fraction sableuse

Masse sèche après lavage M_2 (g) = 199.72 g

Masse totale sèche M_1 (g) = 200 g

GRANULOMETRIE DES SABLES				
Mailles en (mm)	Refus séparés en g	Refus cumulés (Rn) en g	Pourcentage Refus cumulés en % $r = 100(R_n/M_1)$	Pourcentage Tamisats cumulés en % $100 - r$
1,6	0,00	0,00	0,00	100
1,25	0,00	0,00	0,00	100
1	0,00	0,00	0,00	100
0,8	0,07	0,07	0,03	99,96
0,63	0,61	0,68	0,34	99,65
0,5	4,61	5,29	2,64	97,35
0,4	13,52	18,81	9,40	90,59
0,315	18,52	37,33	18,66	81,33
0,2	93,00	130,33	65,16	34,83
0,16	32,98	163,31	81,65	18,34
0,125	17,11	180,42	90,21	9,78
0,1	9,43	189,85	94,92	5,07
0,08	3,63	193,48	96,74	3,25
0,05	4,74	198,22	99,11	0,88
Fond étanche	0,67	198,89	99,44	0,56

Paramètres graphique	En μm
Premier quartile Q1	81.34
Médiane Q2	81.33
Troisième quartile Q3	81.33
Mode	92.99
Centile supérieur	97.35

Paramètres calculés	En μm	En phi
La Moyenne M_z	218.06	2.18
Sorting (σ)	1.58	0.66
Skewness SK_i	0.00	0.00
Kurtosis K_G	2.02	2.02

On a : $S = R_n + P$

S : Représente la masse totale de l'échantillon tamisé. **R_n** : Masse de refus cumulés sur le dernier tamis. **P** : Masse de tamisats sur le dernier tamis.

La perte = ((M₂ – S)/ M₂). 100 : cette différence présente la valeur équivalente aux pertes et imprécisions de mesures liées à la manipulation. La perte éventuelle de matériaux pendant l'opération de tamisage ne doit pas excéder plus de 2 % du poids total de l'échantillon de départ.

$S = R_n + P = 198,89 + 0,67 = 199,57$ g

La perte = ((M₂ – S)/M₂). 100 = ((199,72 – 199,57/199,72).100 = **0,07 % < 2 %**. Alors le résultat de tamisage est acceptable.

Échantillon : Taïbet 30 40
Date : le 06/ 10/ 2013

Granulométrie de la fraction sableuse

Masse sèche après lavage $M2_{(g)} = 199.53 \text{ g}$

Masse totale sèche $M1_{(g)} = 200 \text{ g}$

GRANULOMETRIE DES SABLES				
Mailles en (mm)	Refus séparés en g	Refus cumulés (Rn) en g	Pourcentage Refus cumulés en % $r = 100(Rn/M1)$	Pourcentage Tamisats cumulés en % $100 - r$
1,6	0,00	0,00	0,00	100
1,25	0,00	0,00	0,00	100
1	0,00	0,00	0,00	100
0,8	0,00	0,00	0,00	100
0,63	0,00	0,00	0,00	100
0,5	0,04	0,04	0,02	99,97
0,4	0,11	0,15	0,07	99,92
0,315	1,57	1,72	0,86	99,13
0,2	98,21	99,93	49,96	50,03
0,16	59,55	159,48	79,74	20,26
0,125	27,86	187,34	93,67	6,33
0,1	9,69	197,03	98,51	1,48
0,08	1,51	198,54	99,27	0,72
0,05	0,74	199,28	99,64	0,35
Fond étanche	0,04	199,32	99,66	0,34

Paramètres graphique	En μm
Premier quartile Q1	50.03
Médiane Q2	50.03
Troisième quartile Q3	99.13
Mode	98.2
Centile supérieur	99.13

Paramètres calculés	En μm	En phi
La Moyenne M_z	183.74	2.38
Sorting (σ)	1.24	0.31
Skewness SK_i	-0.37	0.37
Kurtosis K_G	0.98	0.98

On a : $S = R_n + P$

S : Représente la masse totale de l'échantillon tamisé. **R_n** : Masse de refus cumulés sur le dernier tamis. **P** : Masse de tamisats sur le dernier tamis.

La perte = $((M_2 - S)/ M_2)$. 100 : cette différence présente la valeur équivalente aux pertes et imprécisions de mesures liées à la manipulation. La perte éventuelle de matériaux pendant l'opération de tamisage ne doit pas excéder plus de 2 % du poids total de l'échantillon de départ.

$S = R_n + P = 199,32 + 0,04 = 199,37 \text{ g}$

La perte = $((M_2 - S)/M_2) \cdot 100 = ((199,53 - 199,37)/199,53) \cdot 100 = 0,07 \% < 2 \%$. Alors le résultat de tamisage est acceptable.

Échantillon : Taïbet 30 41
Date : le 06/ 10/ 2013

Granulométrie de la fraction sableuse

Masse sèche après lavage M_2 (g) = 199.36 g

Masse totale sèche M_1 (g) = 200 g

GRANULOMETRIE DES SABLES				
Mailles en (mm)	Refus séparés en g	Refus cumulés (Rn) en g	Pourcentage Refus cumulés en % $r = 100(R_n/M_1)$	Pourcentage Tamisats cumulés en % $100 - r$
1,6	0,00	0,00	0,00	100
1,25	0,07	0,07	0,03	99,96
1	0,30	0,37	0,18	99,81
0,8	1,40	1,77	0,88	99,11
0,63	2,37	4,14	2,07	97,92
0,5	1,62	5,76	2,88	97,11
0,4	1,24	7,00	3,50	96,49
0,315	3,42	10,42	5,21	94,78
0,2	81,04	91,46	45,73	54,26
0,16	59,29	150,75	75,37	24,62
0,125	31,08	181,83	90,91	9,08
0,1	11,71	193,54	96,77	3,22
0,08	2,95	196,49	98,24	1,75
0,05	2,34	198,83	99,41	0,58
Fond étanche	0,20	199,03	99,51	0,49

Paramètres graphique	En μm
Premier quartile Q1	24.62
Médiane Q2	54.26
Troisième quartile Q3	94.78
Mode	81.04
Centile supérieur	94.78

Paramètres calculés	En μm	En phi
La Moyenne M_z	168.29	2.42
Sorting (σ)	1.34	0.42
Skewness SK_i	-0.15	0.15
Kurtosis K_G	1.35	1.35

On a : $S = R_n + P$

S : Représente la masse totale de l'échantillon tamisé. **R_n** : Masse de refus cumulés sur le dernier tamis. **P** : Masse de tamisats sur le dernier tamis.

La perte = $((M_2 - S)/ M_2) \cdot 100$: cette différence présente la valeur équivalente aux pertes et imprécisions de mesures liées à la manipulation. La perte éventuelle de matériaux pendant l'opération de tamisage ne doit pas excéder plus de 2 % du poids total de l'échantillon de départ.

$S = R_n + P = 199,03 + 0,20 = 199,23$ g

La perte = $((M_2 - S)/M_2) \cdot 100 = ((199,36 - 199,23)/199,36) \cdot 100 = 0,06 \% < 2 \%$. Alors le résultat de tamisage est acceptable.

Échantillon : Taïbet 30 42
Date : le 07/ 10/ 2013

Granulométrie de la fraction sableuse

Masse sèche après lavage $M2_{(g)} = 199.18 \text{ g}$

Masse totale sèche $M1_{(g)} = 200 \text{ g}$

GRANULOMETRIE DES SABLES				
Mailles en (mm)	Refus séparés en g	Refus cumulés (Rn) en g	Pourcentage Refus cumulés en % $r = 100(Rn/M1)$	Pourcentage Tamisats cumulés en % $100 - r$
1,6	0,00	0,00	0,00	100
1,25	0,00	0,00	0,00	100
1	0,06	0,06	0,03	99,97
0,8	0,71	0,77	0,38	99,61
0,63	2,03	2,80	1,40	98,60
0,5	3,19	5,99	2,99	97,00
0,4	8,41	14,40	7,20	92,79
0,315	15,21	29,61	14,80	85,19
0,2	96,70	126,31	63,15	36,84
0,16	37,85	164,16	82,08	17,91
0,125	19,21	183,37	91,68	8,31
0,1	9,34	192,71	96,35	3,64
0,08	2,90	195,61	97,80	2,19
0,05	2,81	198,42	99,21	0,79
Fond étanche	0,33	198,75	99,37	0,63

Paramètres graphique	En μm
Premier quartile Q1	36.84
Médiane Q2	85.19
Troisième quartile Q3	85.19
Mode	96.69
Centile supérieur	97

Paramètres calculés	En μm	En phi
La Moyenne M_z	206.61	2.31
Sorting (σ)	1.39	0.48
Skewness SKi	-0.14	0.14
Kurtosis K_G	1.86	1.86

On a : $S = R_n + P$

S : Représente la masse totale de l'échantillon tamisé. **R_n** : Masse de refus cumulés sur le dernier tamis. **P** : Masse de tamisats sur le dernier tamis.

La perte = $((M_2 - S)/M_2) \cdot 100$: cette différence présente la valeur équivalente aux pertes et imprécisions de mesures liées à la manipulation. La perte éventuelle de matériaux pendant l'opération de tamisage ne doit pas excéder plus de 2 % du poids total de l'échantillon de départ.

$S = R_n + P = 198,75 + 0,33 = 199,08 \text{ g}$

La perte = $((M_2 - S)/M_2) \cdot 100 = ((199,18 - 199,08/199,18) \cdot 100 = 0,04 \% < 2 \%$. Alors le résultat de tamisage est acceptable.

Échantillon : Taïbet 30 43

Date : le 07/ 10/ 2013

Granulométrie de la fraction sableuse

 Masse sèche après lavage M_2 (g) = 199.34 g

 Masse totale sèche M_1 (g) = 200 g

GRANULOMETRIE DES SABLES				
Mailles en (mm)	Refus séparés en g	Refus cumulés (Rn) en g	Pourcentage Refus cumulés en % $r = 100(Rn/M_1)$	Pourcentage Tamisats cumulés en % $100 - r$
1,6	0,00	0,00	0,00	100
1,25	0,00	0,00	0,00	100
1	0,00	0,00	0,00	100
0,8	0,00	0,00	0,00	100
0,63	0,00	0,00	0,00	100
0,5	0,03	0,03	0,01	99,98
0,4	0,29	0,32	0,16	99,83
0,315	3,06	3,38	1,69	98,31
0,2	106,73	110,11	55,05	44,94
0,16	56,46	166,57	83,28	16,71
0,125	22,58	189,15	94,57	5,42
0,1	7,81	196,96	98,48	1,51
0,08	1,41	198,37	99,18	0,81
0,05	0,64	199,01	99,50	0,49
Fond étanche	0,07	199,08	99,54	0,46

Paramètres graphique	En μm
Premier quartile Q1	44.94
Médiane Q2	98.31
Troisième quartile Q3	98.31
Mode	106.73
Centile supérieur	98.31

Paramètres calculés	En μm	En phi
La Moyenne M_z	200.59	2.34
Sorting (σ)	1.22	0.29
Skewness SK_i	-0.36	0.36
Kurtosis K_G	0.99	0.99

 On a : $S = R_n + P$

S : Représente la masse totale de l'échantillon tamisé. **R_n** : Masse de refus cumulés sur le dernier tamis. **P** : Masse de tamisats sur le dernier tamis.

La perte = $((M_2 - S)/ M_2) \cdot 100$: cette différence présente la valeur équivalente aux pertes et imprécisions de mesures liées à la manipulation. La perte éventuelle de matériaux pendant l'opération de tamisage ne doit pas excéder plus de 2 % du poids total de l'échantillon de départ.

$S = R_n + P = 199,08 + 0,07 = 199,15$ g

La perte = $((M_2 - S)/M_2) \cdot 100 = ((199,34 - 199,15)/199,34) \cdot 100 = 0,09 \% < 2 \%$. Alors le résultat de tamisage est acceptable.

Échantillon : Souf 39 44
Date : le 08/ 10/ 2013

Granulométrie de la fraction sableuse

Masse totale sèche $M1_{(g)} = 200 \text{ g}$

Masse sèche après lavage $M2_{(g)} = 199.20 \text{ g}$

GRANULOMETRIE DES SABLES				
Mailles en (mm)	Refus séparés en g	Refus cumulés (Rn) en g	Pourcentage Refus cumulés en % $r = 100(Rn/M1)$	Pourcentage Tamisats cumulés en % $100 - r$
1,6	0,00	0,00	0,00	100
1,25	0,00	0,00	0,00	100
1	0,00	0,00	0,00	100
0,8	0,00	0,00	0,00	100
0,63	0,00	0,00	0,00	100
0,5	0,01	0,01	0,00	99,99
0,4	0,03	0,04	0,02	99,97
0,315	0,17	0,21	0,10	99,89
0,2	47,54	47,75	23,87	76,12
0,16	77,89	125,64	62,82	37,17
0,125	47,16	172,80	86,40	13,6
0,1	20,35	193,15	96,57	3,42
0,08	3,53	196,68	98,34	1,66
0,05	2,10	198,78	99,39	0,60
Fond étanche	0,14	198,92	99,46	0,56

Paramètres graphique	En μm
Premier quartile Q1	37.17
Médiane Q2	76.12
Troisième quartile Q3	76.12
Mode	77.88
Centile supérieur	99.89

Paramètres calculés	En μm	En phi
La Moyenne M_z	133.17	2.56
Sorting (σ)	1.28	0.36
Skewness SKi	-0.17	0.17
Kurtosis K_G	0.99	0.99

On a : $S = R_n + P$

S : Représente la masse totale de l'échantillon tamisé. **R_n** : Masse de refus cumulés sur le dernier tamis. **P** : Masse de tamisats sur le dernier tamis.

La perte = $((M_2 - S)/ M_2)$. **100** : cette différence présente la valeur équivalente aux pertes et imprécisions de mesures liées à la manipulation. La perte éventuelle de matériaux pendant l'opération de tamisage ne doit pas excéder plus de 2 % du poids total de l'échantillon de départ.

$S = R_n + P = 198,92 + 0,14 = 199,06 \text{ g}$

La perte = $((M_2 - S)/M_2) \cdot 100 = ((199,20 - 199,06/199,20) \cdot 100 = 0,06 \% < 2 \%$. Alors le résultat de tamisage est acceptable.

Échantillon : Souf 39 45
Date : le 09/ 10/ 2013

Granulométrie de la fraction sableuse

Masse totale sèche $M1_{(g)} = 200 \text{ g}$

Masse sèche après lavage $M2_{(g)} = 198.95 \text{ g}$

GRANULOMETRIE DES SABLES				
Mailles en (mm)	Refus séparés en g	Refus cumulés (Rn) en g	Pourcentage Refus cumulés en % $r = 100(Rn/M1)$	Pourcentage Tamisats cumulés en % $100 - r$
1,6	0,00	0,00	0,00	100
1,25	0,00	0,00	0,00	100
1	0,00	0,00	0,00	100
0,8	0,00	0,00	0,00	100
0,63	0,00	0,00	0,00	100
0,5	0,01	0,01	0,00	99,99
0,4	0,18	0,19	0,09	99,90
0,315	2,04	2,23	1,11	98,88
0,2	83,52	85,75	42,87	57,12
0,16	56,61	142,36	71,18	28,81
0,125	36,27	178,63	89,31	10,68
0,1	16,65	195,28	97,64	2,35
0,08	2,52	197,80	98,90	1,09
0,05	0,85	198,65	99,32	0,67
Fond étanche	0,03	198,68	99,34	0,66

Paramètres graphique	En μm
Premier quartile Q1	28.81
Médiane Q2	57.12
Troisième quartile Q3	98.88
Mode	83.52
Centile supérieur	98.88

Paramètres calculés	En μm	En phi
La Moyenne M_z	157.49	2.46
Sorting (σ)	1.29	0.36
Skewness SK_i	-0.31	0.31
Kurtosis K_G	0.90	0.90

On a : $S = R_n + P$

S : Représente la masse totale de l'échantillon tamisé. **R_n** : Masse de refus cumulés sur le dernier tamis. **P** : Masse de tamisats sur le dernier tamis.

La perte = $((M_2 - S) / M_2) \cdot 100$: cette différence présente la valeur équivalente aux pertes et imprécisions de mesures liées à la manipulation. La perte éventuelle de matériaux pendant l'opération de tamisage ne doit pas excéder plus de 2 % du poids total de l'échantillon de départ.

$S = R_n + P = 198,68 + 0,03 = 198,71 \text{ g}$

La perte = $((M_2 - S) / M_2) \cdot 100 = ((198,95 - 198,71 / 198,95) \cdot 100 = 0,12 \% < 2 \%$. Alors le résultat de tamisage est acceptable.

Échantillon : Souf 39 46
Date : le 09/ 10/ 2013

Granulométrie de la fraction sableuse

Masse sèche après lavage M_2 (g) = 199.27 g

Masse totale sèche M_1 (g) = 200 g

GRANULOMETRIE DES SABLES				
Mailles en (mm)	Refus séparés en g	Refus cumulés (Rn) en g	Pourcentage Refus cumulés en % $r = 100(Rn/M_1)$	Pourcentage Tamisats cumulés en % $100 - r$
1,6	0,00	0,00	0,00	100
1,25	0,00	0,00	0,00	100
1	0,00	0,00	0,00	100
0,8	0,00	0,00	0,00	100
0,63	0,00	0,00	0,00	100
0,5	0,00	0,00	0,00	100
0,4	0,00	0,00	0,00	100
0,315	0,02	0,02	0,01	99,98
0,2	9,10	9,12	4,56	95,43
0,16	79,86	88,98	44,49	55,50
0,125	68,91	157,89	78,94	21,05
0,1	34,82	192,71	96,35	3,64
0,08	4,62	197,33	98,66	1,33
0,05	1,55	198,88	99,44	0,55
Fond étanche	0,02	198,90	99,45	0,55

Paramètres graphique	En μm
Premier quartile Q1	55.5
Médiane Q2	55.5
Troisième quartile Q3	95.43
Mode	79.85
Centile supérieur	95.43

Paramètres calculés	En μm	En phi
La Moyenne M_z	103.99	2.73
Sorting (σ)	1.24	0.31
Skewness SK_i	-0.18	0.18
Kurtosis K_G	0.84	0.84

On a : $S = R_n + P$

S : Représente la masse totale de l'échantillon tamisé. **R_n** : Masse de refus cumulés sur le dernier tamis. **P** : Masse de tamisats sur le dernier tamis.

La perte = ((M₂ – S)/ M₂). 100 : cette différence présente la valeur équivalente aux pertes et imprécisions de mesures liées à la manipulation. La perte éventuelle de matériaux pendant l'opération de tamisage ne doit pas excéder plus de 2 % du poids total de l'échantillon de départ.

$S = R_n + P = 198,90 + 0,02 = 198,93$ g

La perte = ((M₂ – S)/M₂). 100 = ((199,27 – 198,93/199,27).100 = **0,17 % < 2 %**. Alors le résultat de tamisage est acceptable.

Échantillon : Souf 39 47
Date : le 10/ 10/ 2013

Granulométrie de la fraction sableuse

Masse totale sèche $M1_{(g)} = 200 \text{ g}$

Masse sèche après lavage $M2_{(g)} = 199.09 \text{ g}$

GRANULOMETRIE DES SABLES				
Mailles en (mm)	Refus séparés en g	Refus cumulés (Rn) en g	Pourcentage Refus cumulés en % $r = 100(Rn/M1)$	Pourcentage Tamisats cumulés en % $100 - r$
1,6	0,00	0,00	0,00	100
1,25	0,00	0,00	0,00	100
1	0,00	0,00	0,00	100
0,8	0,00	0,00	0,00	100
0,63	0,00	0,00	0,00	100
0,5	0,01	0,01	0,00	99,99
0,4	0,15	0,16	0,08	99,91
0,315	1,73	1,89	0,94	99,05
0,2	104,79	106,68	53,34	46,65
0,16	50,51	157,19	78,59	21,40
0,125	24,67	181,86	90,93	9,07
0,1	11,75	193,61	96,80	3,19
0,08	3,23	196,84	98,42	1,57
0,05	1,98	198,82	99,41	0,58
Fond étanche	0,11	198,93	99,46	0,53

Paramètres graphique	En μm
Premier quartile Q1	46.65
Médiane Q2	99.05
Troisième quartile Q3	99.05
Mode	104.79
Centile supérieur	99.05

Paramètres calculés	En μm	En phi
La Moyenne M_Z	181.48	2.39
Sorting (σ)	1.27	0.35
Skewness SK_i	-0.46	0.46
Kurtosis K_G	1.07	1.07

On a : $S = R_n + P$

S : Représente la masse totale de l'échantillon tamisé. **R_n** : Masse de refus cumulés sur le dernier tamis. **P** : Masse de tamisats sur le dernier tamis.

La perte = $((M_2 - S)/M_2)$. 100 : cette différence présente la valeur équivalente aux pertes et imprécisions de mesures liées à la manipulation. La perte éventuelle de matériaux pendant l'opération de tamisage ne doit pas excéder plus de 2 % du poids total de l'échantillon de départ.

$S = R_n + P = 198,93 + 0,11 = 199,05 \text{ g}$

La perte = $((M_2 - S)/M_2) \cdot 100 = ((199,09 - 199,05)/199,09) \cdot 100 = 0,02 \% < 2 \%$. Alors le résultat de tamisage est acceptable.

Échantillon : Souf 39 48

Date : le 10/ 10/ 2013

Granulométrie de la fraction sableuse

Masse sèche après lavage $M2_{(g)} = 199.38 \text{ g}$

Masse totale sèche $M1_{(g)} = 200 \text{ g}$

GRANULOMETRIE DES SABLES				
Mailles en (mm)	Refus séparés en g	Refus cumulés (Rn) en g	Pourcentage Refus cumulés en % $r = 100(Rn/M1)$	Pourcentage Tamisats cumulés en % $100 - r$
1,6	0,00	0,00	0,00	100
1,25	0,04	0,04	0,02	99,98
1	0,02	0,06	0,03	99,96
0,8	0,03	0,09	0,04	99,95
0,63	0,07	0,16	0,08	99,92
0,5	0,18	0,34	0,17	99,83
0,4	0,69	1,03	0,51	99,48
0,315	2,85	3,88	1,94	98,05
0,2	43,80	47,68	23,84	76,15
0,16	37,82	85,80	42,75	57,24
0,125	49,87	135,37	67,68	32,31
0,1	39,54	174,91	87,45	12,54
0,08	13,64	188,55	94,27	5,72
0,05	7,79	196,34	98,17	1,82
Fond étanche	1,18	197,52	98,76	1,24

Paramètres graphique	En μm
Premier quartile Q1	32.31
Médiane Q2	57.24
Troisième quartile Q3	76.15
Mode	49.87
Centile supérieur	98.05

Paramètres calculés	En μm	En phi
La Moyenne M_z	94.73	2.73
Sorting (σ)	1.41	0.5
Skewness SK_i	-0.04	0.04
Kurtosis K_G	0.84	0.84

On a : $S = R_n + P$

S : Représente la masse totale de l'échantillon tamisé. **R_n** : Masse de refus cumulés sur le dernier tamis. **P** : Masse de tamisats sur le dernier tamis.

La perte = $((M_2 - S)/M_2) \cdot 100$: cette différence présente la valeur équivalente aux pertes et imprécisions de mesures liées à la manipulation. La perte éventuelle de matériaux pendant l'opération de tamisage ne doit pas excéder plus de 2 % du poids total de l'échantillon de départ.

$S = R_n + P = 197,52 + 1,18 = 198,70 \text{ g}$

La perte = $((M_2 - S)/M_2) \cdot 100 = ((199,38 - 198,70)/199,38) \cdot 100 = 0,34 \% < 2 \%$. Alors le résultat de tamisage est acceptable.

ملخص : يشكل زحف الرمال على الطرق في المنخفض الصحراوي الجزائري أحد أهم العوائق بالنسبة للمسؤولي القطاع ومستعملي الطريق بالنظر لما يشكله من خطر حقيقي قد يتسبب في وقوع حوادث مرورية أو في غلق تام لهذه الطرقات وبالتالي شلل في حركة السير بهذه المحاور، ما يحتم على مصالح الإشغال العمومية في إطار عمليات الصيانة العادية ضرورة التدخل وبصورة مستمرة ويومية لإزاحة هذه الرمال المتراكمة على الطرق. هذه الوضعية فرضت نفسها على الخبراء من أجل البحث عن حلول جذرية على غرار استعمال آلات لتصدي لزحف الرمال أو على الأقل التقليل من الأضرار. من بين المكتسبات التقليدية، المعارف والخبرات المستعملة في ميدان المعالجة ضد زحف الرمال، اهتمنا بطريقة "الدراع".

الهدف من هذه الدراسة وهو تحسين، فهم وتجربة فاعلية هذه الطريقة الخاصة بمنطقة وادي سوف والمسماة "بالدراع" على نموذج فيزيائي مصغر ثم تطبيقها ميدانيا وبعده نماذج على نطاق واسع. التجارب تمت على نموذج مصغر يحتوي على قناة تسمح بمرور تيار مائي يقارب شدة الرياح مع احترام قواعد التقريب التيارات الهيدروليكي الترسيبي. متغيرات سلسلة التجارب الأولى بينت أن بإمكان الطريق الصحراوي وحده أن يلعب دور الحامل للحبيبات الرمل إذا كان لهذا الأخير منحدر ب 5/1 بدل 3/2. مختلف التجارب الأخرى مكنت من معرفة الأبعاد والإشكال الجيوميتري للدراع. القواطع أو المصدات الموضوعة ضد زحف الرمال والمستعملة من سالف الأزمنة تستحق التعميم سواء كانت بصيغتها الأولى مصدات رملية مغطاة بمواد صلبة وثقيلة الوزن أو بشكلها المخروطي.

الدراسة الحبيبية للرمل العرق الشرقي الكبير بينت أن رمال الكثبان الرملية هي رمال متجانسة، صغيرة الحجم وحيدة الترتيب ومتناظرة. أما بالنسبة للدراسة شكل الحبيبات (الدراسة المورفوسكوبية للكوارتز) بينت أن 30% من حبيبات الكوارتز محدبة ومضيئة مما يبين أن رمال العرق الشرق تطورت في وسط مائي نتيجة لتواجد عدة أودية في العصور الجيولوجية السابقة (وادي ابغرغر، وادي ربيع و وادي ميا...).

الكلمات المفتاحية : شبكة الطرق، زحف الرمال، الدراع، نموذج مصغر، المنخفض الصحراوي الجزائري، قناة بتيار.

Titre : Etude du rôle Draas dans l'évacuation des dunes menaçant les routes dans le Bas Sahara Algérien ; expérimentation sur modèles réduits.

Résumé : L'ensablement des réseaux routiers dans la région du Bas-Sahara Algérien constitue l'un des principaux problèmes pour les acteurs du secteur. Des engins sont déployés à chaque fois pour venir à bout de ce phénomène. Cette situation récurrente a incité les experts à chercher des moyens autres que les machines afin d'enrayer cette invasion dunaire ou du moins en limiter les dégâts. Parmi les acquis et l'expérience capitalisés dans le domaine de la lutte contre l'ensablement nous nous intéressons au concept "Drâas". L'objet de cette étude est l'optimisation en modèle réduit physique de ces ouvrages de protection particulière dit Drâas. Afin de mieux connaître le mécanisme de leurs fonctionnements et d'éviter tout dépôt près ou sur la chaussée dont les résultats seront extrapolés pour la réalisation des prototypes en grandeur nature. Les essais en modèle ont été effectués en canal à courant. Le principe de la modélisation du transport éolien en modèle consiste à simuler le vent par le courant liquide en respectant les lois de similitude hydrauliques et sédimentologiques. Les variantes de la première série de test ont montré que la route saharienne peut à elle seule jouer le rôle d'évacuateur de sable, si cette dernière présente une pente d'accotement de 1/5 dans un profil en remblai au lieu de 2/3. Les autres séries ont permis d'optimiser les dimensions géométriques des Drâas. Les murs anti-sables, certainement utilisés dans l'antiquité, mériteraient d'être généralisés, soit sous leur forme primitive de murs de sable recouverts par des matériaux grossiers, soit sous celle de cônes.

L'étude des paramètres de textures des sédiments est d'une utilité primordiale pour différencier divers environnements de dépôts et d'interprétation ainsi l'origine des anciens dépôts clastiques. Les paramètres utilisés pour décrire la distribution granulométrique des sables du Grand Erg Oriental sont la moyenne graphique (MZ), la déviation standard (SD), le coefficient d'asymétrie (Ski) et le coefficient d'acuité (KG). Le Skewness indique des sables positivement asymétriques vers les fins et une distribution mésokurtique à platykurtique pour la plupart des échantillons. La morphoscopie du quartz montre une prédominance des émoussés-luisants (au-dessus de 30 %) qui indique que les quartz ont évolué dans un milieu aquatique continentaux (ancien fleuves sahariens : Igharghar, Oued Righ et Oued M'ya).

Mots clés : Réseaux routiers, ensablement, Drâa, modèle réduit, Bas-Sahara Algérien, canal à courant.

Titer : Study of the role of the Draas in the evacuation of the dunes threatening roads in the Algerian Low- Sahara; experimentation on model reduces

Abstract : The stranding of the road networks in the area of the Algerian Low-Sahara constitutes one of the principal problems for the actors of the sector. Machines are deployed each time to come to end from this phenomenon. This recurring situation encouraged the experts to seek means other than the machines in order to stop this dune invasion or at least to limit the damage of them. Among the assets and the experiment capitalized in the field of the fight against the stranding we are interested in the concept "Drâas". The object of this study is optimization in model reduces physical these particular works of protection said Drâas, in order to better know the mechanism of their functioning and to avoid any deposit meadows or on the roadway whose results will be extrapolated for the realization of the prototypes in natural size. The tests in model were carried out in channel with current. The principle of the modeling of wind transport in model consists in simulating the wind by the liquid current by respecting the hydraulic and sedimentological laws of similarity. Variants of the first series of test showed that the Saharan road can alone play the role of spillway of sand, if the latter presents a slope of shoulder of 1/5 in a profile in elevation instead of 2/3. The other series allowed to optimize the geometrical dimensions of Drâas. The walls anti-sands, very certainly used in antiquity, would deserve to be generalized, either in their primitive form of sand walls covered by coarse materials, or under that of cones.

The study of textural parameters of the sediments is of paramount utility in differentiating various depositional environments and thereby interpreting the origin of ancient clastic deposits. The textural of the quartz grains of surface sediments samples data collected along the Great Oriental Erg of Algeria measured in terms of Mean (M_Z), Standard deviation (SD), Skewness (S_K) and Kurtosis (K_G) are widely used to reconstruct the depositional environments of sediments. Presence of more amounts of positively Skewed sediments infers that they were deposited under low energy conditions in the fluvial zone. The samples are Platykurtic to Mesokurtic in nature of distribution The surface texture is examined most precisely under binocular microscope observation; show a predominance of Smoothed-shiny grains. Suggesting the influence by the fossil wadis (wadi Igharghar, wadi Mya and Wadi Rhir).

Key words : Road networks, stranding, Draa, reduced model, the Low-Sahara Algerian, channel with current.