

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université ABDELHAMID IBN BADIS MOSTAGANEM



Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département d'Agronomie

MEMOIRE DE MAGISTER

Option: Gestion Conservatoire des Eaux, des Sols et de l'Environnement

Présenté par :

MAAMAR KOUADRI Kaddour

Thème:

ETUDE DE L'EROSIVITE DES PLUIES ET DE L'ERODIBILITE DES SOLS DANS LE TELL ORANAIS

Soutenu devant le jury composé de:

Mr : LARID Mohamed	M. C. "A"	Président	Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem
Mr : MEDERBAL Khalladi	Professeur	Examineur	Université de Mascara
Mr : DJALEM Mohamed	M. C. "B"	Examineur	Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem
Mr : KOURI Lakhdar	Professeur	Promoteur	Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem

Thème réalisé au Laboratoire Biodiversité et Conservation des Eaux et des Sols
Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem

Année Universitaire 2011/2012

Dédicaces

Je dédie ce travail à :



La mémoire de mon père



Ma très chère mère pour leurs sacrifices et leur encouragement durant

toute ma vie.



Ma femme et mes enfants Hadil, Islam et Sidra.



Toute ma grande famille



Les étudiants de ma promotion de post graduation de l'Université de

Mostaganem.



Mes collègues de la station de Baraki

kaddour

Remerciements

Je tiens à remercier au terme de mon présent travail, tous ceux qui ont coopéré de près ou de loin dans la réalisation de ce mémoire.

Mes remerciements les plus sincères vont tout particulièrement à Monsieur **KOURI Lakhdar**, Professeur à l'Universitaire de Mostaganem qui à bien voulu assurer mon encadrement, c'est un très grand honneur pour moi qu'il ait accepté d'être mon directeur de mémoire. Je lui dois une immense reconnaissance et un très grand respect.

Je remercie Monsieur **LARID Mohamed**, Maître de conférences classe A à l'Université de Mostaganem de m'avoir fait l'honneur de présider le jury de soutenance.

Mes vives gratitude vont aussi à Monsieur **MEDERBAL Khalladi**, Professeur à l'Université de Mascara et à Monsieur **DJALEM Mohamed** Maître de conférences à l'Université de Mostaganem qui ont bien voulu examiner ce travail.

Mr. **HIMRANE Hocine** Chargé de recherche à l'INRF/Bainem pour l'aide dans le traitement statistique.

Mes vifs remerciements vont à Mr. **CHEBOUTI Yahia** de l'INRF/Baraki pour les orientations et les encouragements apportés pour la réalisation de ce mémoire.

Mes remerciements vont également à Mr. **MANSOURI Rachid** Maître de conférences à l'Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie, pour m'avoir aidé dans l'élaboration des différentes cartes d'érosivité.

Mes vifs remerciements vont à Mr. **DJADOUN Amar** Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de la Terre et Aménagement du Territoire de l'USTHB, pour m'avoir autorisé à faire les analyses minéralogiques des échantillons d'argile.

L'ensemble du personnel du laboratoire de mécanique des sols de la Faculté de Génie Civile de l'USTHB qui m'ont apporté leur soutien et leur aide dans les travaux d'analyses mécaniques des échantillons.

Mes remerciements les plus chaleureux vont à mes collègues de l'Institut National de la Recherche Forestière (INRF).

Introduction générale.....	01
PREMIERE PARTIE :	
Aperçu bibliographique, analyse des Caractères physiques du milieu et étude climatique	
CHAPITRE I: Aperçu bibliographique	
1- Définition de l'érosion.....	04
1.1- Etude de l'érosivité de pluies.....	05
1.1.1- Intensité de pluie	05
1.1.2- Hauteur de pluie	07
1.1.3- Durée des pluies	07
1.1.4- Fréquence des pluies	07
1.2- Les différentes formes de manifestation de la désagrégation.....	07
1.2.1- La désagrégation mécanique	08
1.2.2- Le processus d'éclatement	09
1.2.3- La micro-fissuration	09
1.2.4- La dispersion	10
1.3 - Mécanisme de l'érosion hydrique	10
1.3.1- Le Détachement des particules de sol	10
1.3.2- Ruissellement	10
1.3.3. - Sédimentation	13
1.4- Formes d'érosion	13
1.4.1 - L'érosion en nappe	13
1.4.2-- L'érosion linéaire	13
1.4.2.1- L'érosion en rigoles	14
1.4.2.2- L'érosion en ravines	14
1.4.2.3.- L'érosion en ravins	14
1.4.2.4 - Le ravinement généralisé ou badlands	15
1.4.2.5 - Les formes de ravins	15
a/- Les ravines en « V »	15
b/- Les ravines en « U »	15
c/- Les ravines en « tunnels »	15
d/- Les ravines en relation avec les glissements de terrains	17
e/- Les ravines régressives	17
1.5- Erodibilité des sols	17
1.5.1- Indice d'érodibilité des sols (K) de Weschmeier (1978)	18
1.5.2. - Paramètres d'érodibilité des sols	21
1.5.2.1- Les propriétés physico-chimiques.....	21
a/- La perméabilité	21
b/- La stabilité structurale	22
c/- La granulométrie.....	22
d/- La nature minéralogique	23
e/- La matière organique	23
f/- Les oxydes et hydroxydes de Fer	24
g/- Le calcaire (CaCo ₃	25
h/- Aptitude à la fissuration	25
i/- la battance	25
1.5.2.2- les propriétés mécaniques	26
a/- Limites d'Atterberg.....	26
a.1/- Limite de liquidité WL	27

a.2/- Limites de plasticité WP	27
b/- Résistance au cisaillement	28
b.1/- Essai de cisaillement rectiligne	28
CHAPITRE II: Caractères physiques du milieu	
2.1. Situation géographique du Tell oranais.....	30
2.2- Caractères généraux du Tell oranais.....	30
2.2.1- Géomorphologie	30
2.2.1.1- Altitude	30
2.2.1.2- Expositions.....	32
2.2.1.2- Dépressions.....	33
a/- La Sebkha d'Oran	33
2.2.2- Géologie	33
2.2.3- Hydrographie	37
2.2.3.1- Cours d'eau	37
2.2.4 – Pédologie.....	38
a/- Les sols calcaires.....	38
b/- Sols bruns calcaires	38
c/- Sols calciques	38
d/- Sols humifères	38
e/- Sols alluviaux.....	38
f/- Sols à croûte calcaire	38
g/- Les sols gypseux	38
i/- les sols à sesquioxyde de fer	39
k/- Sols peu évolués	39
l/- Les vertisols.....	39
m/- les sols d'alluvions anciennes et récentes.....	39
2.2.5. Occupation des sols	39
a/- Couverts végétaux permanents.....	40
a1/ - Groupements des dunes maritimes.....	40
c/- Végétation steppique	40
d/ - Les cultures pérennes et les reboisements	41
e/- Les cultures annuelles.....	41
2.2.6 - Les terrains nus.....	41
CHAPITRE III : Etude climatique	
3.1- Le climat.....	42
3.2- analyse du climat.....	42
3.2.1- Précipitations	42
3.2.1.1- Précipitations annuelles.....	43
3.2.1.2- Précipitations mensuelles	44
3.2.1.3- Précipitation saisonnière	45
3.2.1.4- Précipitation torrentielles	46
3.2.2-Températures	46
3.2.3- Humidité relative	48
3.2.4- Le vent	49
3.2.5- Synthèse bioclimatique	51
3.2.5.1- Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gausson (1953).....	51
3.2.5.2- Climagramme d'Emberger (1955).....	51
3.2.5.3- Critère de Giacobbe (1958).....	53

DEUXIEME PARTIE :

Analyse de l'Erosivité des Pluies et de l'Erodibilité des sols dans le Tell oranais

CHAPITRE IV : Méthodologie du travail

4- Démarche méthodologique	55
4-1- Les critères de choix de ces zones.....	55
4.2- Documents consultés	56
4.3- Détermination des risques d'érosivité de pluies.....	56
4.3.1- Calcul des indices d'érosivité des pluies.....	57
4.3.1.1- Indice de Fournier	57
4.3.1.2- Indice de Deffontaines.....	57
4.3.1.3- Indice de Fournier modifié par Arnoldus	57
4.3.1.4- Formules utilisées pour le calcul de l'indice d'érosivité de Wischmeier R.....	58
4.3.1.4.1- Formule Rango-Arnoldus	58
4.3.1.4.2- Méthode de Roose (1981)	58
4.4- Cartographie des indices d'érosivités des pluies.....	59
4.5- Détermination d'érodibilité des sols	60
4.5.1- Etapes de détermination de l'érodibilité des sols	60
4.5.2- Caractérisations des échantillons étudiés	60
a/- Les analyses physiques	61
a-1/- La granulométrie	61
a-2/- Test de perméabilité	61
a-3/- Le triangle textural	61
a-4/- Aptitude à la fissuration et à la battance	61
a-5/- Formule d'indice d'instabilité structurale	61
a-6/- Indice d'érodibilité des sols (K).....	62
b/- Les analyses chimiques.....	62
b-1 /- Carbone	62
b-2 /- L'azote total.....	62
b-3 /- pH	62
b-4 /- Calcaire total	62
b-5 /- Les bases échangeables	62
b-6 /- La capacité d'échange cationique	62
b-7 /- Conductivité électrique	63
b-8 /- Analyse minéralogique des argiles.....	63
c /- Les analyses mécaniques	63
c-1 /- détermination de la limite de liquidité.....	63
c-2 /- Détermination de la limite de plasticité.....	64
c-3 /- Calcul de l'Indice de plasticité (Ip %)	65
c-4 /- La résistance au cisaillement.....	66
4.5.3- Traitement statistique des résultats	68
4.5.4- Démarche d'analyse.....	68

CHAPITRE V : Résultats et Discussions

5.1- Résultats.....	69
5.1.1- Calcul des indices d'érosivité.....	69
5.1.1.1- Indice de Fournier	69
5.1.1.2- Indice d'Arnoldus	69
5.1.1.3- Indice mensuel de Deffontaines	70
5.1.1.4- Indice saisonnier de Deffontaines.....	71
5.1.1.5- Indice de Rango-Arnoldus.....	71
5.1.1.6- Indice de Roose.....	72

5.1.2- Corrélation entre les Indices d'Agressivité climatique	72
5.1.3- Cartographie de l'indice d'érosivité de pluies.....	74
5.1.3.1- Carte de pluviométrie du Tell oranais.....	75
5.1.3.2- Carte d'érosivité de Fournier du Tell oranais.....	75
5.1.3.3- Carte d'érosivité d'Arnoldus du Tell oranais.....	76
5.1.3.4- Carte d'érosivité de Rango-Arnoldus du Tell oranais.....	77
5.1.3.5- Carte d'érosivité de Roose du le Tell oranais	77
5.1.3.6- Erosivité mensuelles de Deffontaines du le Tell oranais.....	78
5.1.3.6.1-Carte d'Erosivité de Janvier.....	78
5.1.3.6.2- Carte d'Erosivité de Février.....	78
5.1.3.6.3- Carte d'Erosivité de Mars.....	79
5.1.3.6.4- Carte d'Erosivité d'Avril.....	79
5.1.3.6.5- Carte d'Erosivité de Mai.....	79
5.1.3.6.6- Carte d'Erosivité d'Août.....	79
5.1.3.6.7- Carte d'Erosivité d'Octobre.....	79
5.1.3.6.8- Carte d'Erosivité de Novembre	79
5.1.3.6.9- Carte d'Erosivité de Décembre.....	79
5.1.3.7- Erosivité saisonnières de Deffontaines du Tell oranais.....	80
5.1.3.7.1- Carte d'Automne du Tell oranais	80
5.1.3.7.2- Carte de l'Hiver du Tell oranais.....	81
5.1.3.7.3- Carte de Printemps du Tell oranais	82
5.1.3.7.4- Carte d'Été du Tell oranais	82
Conclusion.....	83
5.1.4- Erodibilité des sols et des marnes	84
5.1.4.1- Analyse physico-chimique.....	84
a-1 /- Carbonate de Calcium CaCO ₃	85
a-2 /- Bases échangeables, capacité d'échange cationique et taux de saturation.....	85
a-3 /- Texture	87
a-4 /- battance.....	87
a-5 /- Stabilité structurale.....	88
a-6 /- Aptitude à la fissuration	88
a-7 /- Indice d'érobilité	89
a-8 /- Analyse minéralogique	90
5.1.4.2- Analyse mécanique des échantillons.....	95
b-1 /- Limite d'Atterberg.....	95
b-2 /- Cisaillement.....	96
5.1.4.3- Résultats d'analyses statistiques et interprétations.....	96
c-1 /- liaison entre l'érodibilité et les variables.....	96
c-2 /- Les valeurs propres.....	96
c-3 /- Inertie totale	96
c-4 / - Interprétations des axes factoriels (Variables explicatives).....	97
c-4-1 /- Axe factoriel F1	97
c-4-2 /- Axe factoriel F2.....	97
c-4-3/ - Axe factoriel F3.....	98
c-5/ - Interprétations des axes factoriels (les échantillons).....	99
c-5-1/-Axe factoriel axe 1	99
5.2- Discussions.....	101
5.2.1- l'érosivité de pluies.....	101
5.2.1.1- Indice de Fournier	101
5.2.1.2- Indice d'Arnoldus	101
5.2.1.3- Indice de Rango-Arnoldus.....	101

5.2.1.4- Comparaison de l'indice (R2) calculé par la formule de Roose et R de Wischmeier appliqué en Afrique du Nord	102
5.2.2- Comparaison des résultats d'érodibilité des sols et des marnes.....	104
5.2.2.1- Indice d'Instabilité structurale	104
5.2.2.2- Minéralogie des argiles	104
5.2.2.3- Limite de liquidité et cisaillement.....	105
5.2.2.4- l'indice d'érodibilité des sols.....	105
Conclusion	106
Références bibliographiques	109
Annexes	116

Liste des Figures

Fig. 1: Effet de gouttes de pluies (effet de splash)	06
Fig. 2: Vitesse d'écoulement limité à partir de laquelle l'érosion apparaît	11
Fig. 3: Les trois théories qui expliquent la naissance du ruissellement cité par Roose (1994).....	12
Fig. 4: Mécanismes de l'érosion hydrique (Roose.1994).	13
Fig. 5: Flancs de ravine en «V» sur matériaux homogènes d'après Roose et al 2000	15
Fig. 6: Ravine en«U» sur matériau hétérogène (Roose et al 2000)	16
Fig. 7: Ravine en tunnel sur argile gonflante, gypses et matière solubles (Roose et al, 2000)	16
Fig. 8: Nomogramme permettant une évaluation rapide du facteur K d'érodibilité des sols	19
Fig. 9: Turbidigramme de Dumas, (1985)	20
Fig. 10: Erodibilité des sols en fonction du pourcentage de Cailloux et du taux de matière organique.....	20
Fig. 11: Variation de la consistance d'un sol selon la teneur en eau.....	28
Fig. 12: Localisation géographique du Tell oranais.....	31
Fig. 13: Principales unités morphologiques du Tell oranais.....	32
Fig. 14: Substrat géologique de la plaine du bas Chélif	34
Fig. 15: Carte de type de marnes de la partie occidentale du bassin versant d'oued Mina.....	35
Fig. 16: Réseau hydraulique du Tell oranais.....	36
Fig. 17: Précipitation moyenne annuelle des stations du Tell oranais (1995-2004).....	43
Fig. 18: Carte pluviométrique du Tell oranais (Moyenne de la période (1986/2005).....	44
Fig. 19: Précipitation moyenne saisonnière des stations du Tell oranais.....	45
Fig. 20: la température moyenne mensuelle des stations du Tell oranais.....	47
Fig. 21: Humidité moyenne saisonnière exprimé en % des stations du Tell oranais.....	49
Fig. 22: Moyenne mensuelle de vitesse de vent moyen exprimé en (m/s) (1995-2004).....	49
Fig. 23: Rose des vents annuels des différentes stations du Tell oranais.....	50
Fig. 24: Diagramme Ombrothermique de la Station de Mostaganem (1995-2004).....	51
Fig. 25: Climagramme d'Emberger (1955).....	52
Fig. 26: Détermination de la limite de liquidité.....	65
Fig. 27: Détermination de la limite de plasticité.....	65
Fig. 28: La contrainte de cisaillement est celle donnée par la rupture.....	67
Fig. 29: Détermination graphique de la cohésion et l'angle de frottement	67
Fig. 30: Répartition temporelle de l'érosivité de pluies selon Deffontaines.....	70
Fig. 31: Répartition de l'érosivité des pluies selon Deffontaines	71
Fig. 32: Répartition d'érosivité des pluies selon les différents indices dans les stations du Tell oranais.....	72
Fig. 33: Coefficient de détermination entre l'Indice d'Arnoldus et l'Indice de Fournier.....	73
Fig. 34: Coefficient de détermination entre l'Indice de Rango-Arnoldus et l'Indice d'Arnoldus	73
Fig. 35: Coefficient de détermination entre l'Indice de Roose et l'Indice de Rango-Arnoldus	74
Fig. 36: Carte de répartition de la pluviosité dans le Tell oranais	75
Fig. 37: Carte de répartition de l'Indice de Fournier dans le Tell oranais.....	76
Fig. 38: Carte de répartition de l'Indice d'Arnoldus dans le Tell oranais.....	76
Fig. 39: Carte de répartition de l'Indice de Rango-Arnoldus dans le Tell oranais.....	77
Fig. 40: Carte de répartition de l'Indice de Roose (1981) dans le Tell oranais.....	78
Fig. 41: Carte de répartition de l'érosivité en Automne selon Deffontaines dans le Tell oranais.....	81
Fig. 42: Carte de répartition de l'érosivité en Hiver selon Deffontaines dans le Tell oranais.....	81
Fig. 43: Carte de répartition de l'érosivité en Printemps selon Deffontaines dans le Tell oranais.....	82
Fig. 44: Carte de répartition de l'érosivité en Eté selon Deffontaines dans le Tell oranais.....	83
Fig. 45: Echelle de salure en fonction de la conductivité de l'extrait aqueux au 1/5: relation de Richards in Aubert (1978).....	85
Fig. 46: Classification des types de Marnes et de sols dans les zones d'étude du point de vue de la texture d'après le Soil Survey Manual (1951).....	87
Fig. 47: Classes de sensibilité à la battance d'après Ludwig (1992).....	87

Fig. 48: Classification des types de marnes et de sols dans la zone des marnes tertiaires du point de vue de la stabilité structurale.....	88
Fig. 49: Classification des types de marnes et de sols dans les zones d'étude du point de vue des aptitudes à la fissuration.....	89
Fig. 50: Diagramme DRX des minéraux argileux qui composent l'échantillon n°1.....	92
Fig. 51: Diagramme DRX des Minéraux argileux qui composent l'échantillon n°2.....	93
Fig. 52: Diagramme DRX des minéraux argileux qui composent de l'échantillon n°3.....	94
Fig. 53: Position des échantillons dans l'Abaque de Casagrande.....	95
Fig. 54-a: Répartition des ensembles variables explicatives suivant l'axe 1 et 2.....	98
Fig. 54-b: Répartition des ensembles variables explicatives suivant l'axe 1 et 3.....	98
Fig.55: Répartition des ensembles échantillons suivant l'axe 1 et 2.....	99
Fig. 56: Carte Isoerodent des bassins versants d'Isser et de Côtier algérois (R de Rango-Arnoldus....	102

Liste des tableaux

Tableau n° I: Principales caractéristiques des différents mécanismes de désagrégation	08
Tableau n° II: Classe d'interprétation de la perméabilité	18
Tableau n° III: Grille d'interprétation de facteur d'érodibilité (K).	18
Tableau n° IV: Exemple d'interaction : texture-matière organique sur la stabilité structurale	24
Tableau n° V: classification des sols selon l'indice de plasticité	27
Tableau n° VI: Transport des sédiments de quelques Oueds dans le Tell oranais.....	37
Tableau n° VII: La pluviosité moyenne mensuelle des stations du Tell oranais (exprimé en mm).....	45
Tableau n° VIII: Classification des stations du Tell oranais selon Debrach (1953).....	47
Tableau n° IX: Humidité relative minimale, maximale et moyenne exprimé en % des stations du Tell oranais.....	48
Tableau n° X: Les seuils de caractérisation de l'aridité du climat par Giacobbe.....	53
Tableau n° XI: Valeurs d'arido-humidité saisonnier.....	54
Tableau n° XII: Coordonnées géographiques de quelques stations pluviométriques du Tell oranais...	55
Tableau n° XIII: localisation géographique des échantillons dans nos zones tests.....	56
Tableau n° XIV: Valeurs de l'Indice de Fournier, d'Arnoldus (1980), de Rango-Arnoldus (1987) et de Roose (1981)	69
Tableau n° XV: La grille d'interprétation de l'Indice d'Arnoldus selon Nahal, (1984).....	69
Tableau n° XVI: Valeurs mensuelles de Deffontaines des stations du Tell oranais (1995-2004).....	70
Tableau n° XVII: Valeurs saisonnières de Deffontaines des stations du Tell oranais (1995-2004).....	71
Tableau n° XVIII: Résultats d'analytique granulométrique et chimique des échantillons	86
Tableau n° XIX-a: Résultats d'analytique granulométrique et physique et le comportement des échantillons.....	86
Tableau n° XIX-b: Résultats d'analytique physique et le comportement de nos échantillons.....	90
Tableau n° XX: Résultats d'analytique minéralogique de nos échantillons.....	90
Tableau n° XXI: Pourcentage d'inertie extrait par les trois premiers facteurs (valeurs propres).....	97
Tableau n° XXII: Indice R (usa) dans différentes régions du globe (d'après Roose, 1981).....	103

Liste des photos

Photo 1: Préparation le mélange pour déterminer la limite de liquidité et plasticité.....	64
Photo 2: Remplissage de la coupelle par le mélange.....	64
Photo 3: Roulage des boulettes pour former des fuseaux de 3 mm.....	65
Photo 4: Appareillage spécifique de cisaillement.....	67
Photo 5: Echantillon à cisailier est placé à l'intérieure des deux demi-boite.....	67
Photo 6: Processus de fissuration des marnes vert clair-jaunâtre dans la zone test.....	89

Liste des annexes

Annexe 1	Pages
Description des échantillons dans les zones tests.....	116
Fig. 1-1: Diagramme Ombrothermique de la Station de Ghazaouet (1995-2004).....	118
Fig.1-2 : Diagramme Ombrothermique de la Station de Maghnia (1995-2004).....	118
Fig. 1-3: Diagramme Ombrothermique de la Station de Tiaret (1995-2004).....	118
Fig. 1-4: Diagramme Ombrothermique de la Station de Tlemcen (1995-2004).....	118
Fig. 1-6: Diagramme Ombrothermique de la Station de Saida (1995-2004).....	118
Fig. 1-7: Diagramme Ombrothermique de la Station de Mascara (1995-2004).....	118
Fig. 1-8: Diagramme Ombrothermique de la Station de Sidi Bel Abbes (1995-2004).....	118
Fig. 1-9: Diagramme Ombrothermique de la Station d'El Aricha (1995-2004).....	118
Annexe 2	
Fig. 2-1: Carte de répartition de l'érosivité en Janvier selon Deffontaines dans le Tell oranais.....	119
Fig. 2-2: Carte de répartition de l'érosivité en Février selon Deffontaines dans le Tell oranais.....	119
Fig. 2-3: Carte de répartition de l'érosivité en Mars selon Deffontaines dans le Tell oranais.....	119
Fig. 2-4: Carte de répartition de l'érosivité en Avril selon Deffontaines dans le Tell oranais.....	119
Fig. 2-5: Carte de répartition de l'érosivité en Mai selon Deffontaines dans le Tell oranais.....	119
Fig. 2-6: Carte de répartition de l'érosivité en Août selon Deffontaines dans le Tell ornais.....	119
Fig. 2-7: Carte de répartition de l'érosivité en Octobre selon Deffontaines dans le Tell oranais.....	120
Fig. 2-8: Carte de répartition de l'érosivité en Novembre selon Deffontaines dans le Tell oranais...	120
Fig. 2-9: Carte de répartition de l'érosivité en Décembre selon Deffontaines dans le Tell oranais...	120
Annexe 3	
Fig. 3-1: limite d'Atterberg de marnes vert clairs (éch 1).....	121
Fig. 3-2: Limite d'Atterberg de marnes bleues (éch 2).....	121
Fig. 3-3: limite d'Atterberg de marnes jaunaitre-vert clairs (éch 3).....	122
Fig. 3-4: Limite d'Atterberg de marnes grises (éch 4).....	122
Fig. 3-5: Limite d'Atterberg de marnes brunes (éch 5)	123
Fig. 3-6: Limite d'Atterberg de marnes vert clairs (éch 6).....	123
Fig. 3-7: Limite d'Atterberg de marnes bleues compactes (éch 7).....	124
Fig. 3-8: Limite d'Atterberg de sol isohumique à caractère vertique (éch 8).....	124
Fig. 3-9: Limite d'Atterberg de sol calcimagnésique carbonaté brun calcaire (éch 9).....	125
Fig. 3-10: Limite d'Atterberg de sol peu évolué non climatique d'apport alluvial (éch 10).....	125
Fig. 3-11: Limite d'Atterberg de sol isohumique gris noirci vertique (éch 11).....	126
Fig. 3-12: Essai de cisaillement rectiligne d'éch 4.....	126
Fig. 3-13: Essai de cisaillement rectiligne d'éch 5.....	127
Fig. 3-14: Essai de cisaillement rectiligne d'éch 6.....	127
Fig. 3-15: Essai de cisaillement rectiligne d'éch 7.....	128
Fig. 3-16: Essai de cisaillement rectiligne d'éch 8.....	128
Fig. 3-17: Essai de cisaillement rectiligne d'Ech 9.....	129
Fig. 3-18: Essai de cisaillement rectiligne d'Ech 10.....	129
Fig. 3-19: Essai de cisaillement rectiligne d'Ech 11.....	130
Annexe 4	
Tableau n° IV-1: Précipitation moyenne saisonnière des stations du Tell oranais	131
Tableau n° IV-2: Fréquence en (%) des classes de hauteurs de pluies dans les stations du Tell oranais.....	131
Tableau n° IV-3: Température minimale, maximale et moyenne des stations du Tell oranais.....	132

Liste des abréviations

Ech. : Echantillon

Ech. 1: Marnes vert-clair

Ech. 2: Marnes bleues

Ech. 3: Marnes jaunâtre-vert-clair

Ech. 4: Marnes grises

Ech. 5: Marnes brunes

Ech. 6: Marnes vert-clair

Ech. 7: Marnes bleue compactes

Ech. 8: Sol isohumique à caractère vertique sur marne

Ech. 9: Sol calcimagnésique carbonaté brun calcaire sur marne

Ech. 10: Sol peu évolué non climatique d'apport alluvial sur marne

Ech. 11: Sol isohumique gris noirci vertique sur marne

Ps : Période sèche

Ph : Période humide

T : Température moyenne annuelle exprimé en (°C)

M : moyenne des maximums du mois le plus chaud (°C)

m : moyenne des minimums du mois le plus froid (°C)

P : Pluviosité moyenne annuelle exprimé en (mm)

Tex : Texture

SB : Sensibilité à la battance

RB : Risque de battance

AF : Aptitude à la fissuration

DgP: Degré de plasticité

IP: Indice de plasticité

Str: Structure

Cu: Cohésion

SStr: Stabilité structurale

CSStr: Classe de stabilité structurale

Erd: Erodibilité

Per: Permeabilité

R1: Indice de Rango-Arnoldus (1987)

R2: Indice de Roose (1981)

mmhos: millimhos

meq: miliéquivalent

C.E.C: capacité d'échange cationique

Moy : moyennement

Fort: Fortement

INTRODUCTION

Introduction

L'érosion des sols se développe lorsque les eaux de pluie, ne pouvant plus s'infiltrer dans le sol, le ruisselle sur la parcelle en emportant les particules de terre. Ce refus du sol d'absorber les eaux en excédent apparaît soit lorsque l'intensité des pluies est supérieure à l'infiltrabilité de la surface du sol, soit lorsque la pluie arrive sur une surface partiellement ou totalement saturée par une nappe d'eau (ruissellement par saturation). Ces deux types de ruissellement apparaissent généralement dans des milieux très différents, parfois l'on observe une combinaison des deux (Le Bissonais et *al.*, 2002). Une fois le ruissellement déclenché sur la parcelle, l'érosion peut prendre différentes formes qui se combinent dans le temps et dans l'espace : l'érosion diffuse ou en rigoles parallèles et l'érosion linéaire ou concentrée dans le talweg.

Comme le suggèrent ces définitions, les processus érosifs dépendent d'une multiplicité de facteurs interagissant entre eux, et sont de ce fait complexes à modéliser. Les facteurs de l'érosion devant être pris en compte pour étudier les phénomènes érosifs font maintenant l'objet d'un consensus et regroupent le sol, l'occupation du sol, la topographie et le climat.

Les gouttes de pluie sont un des facteurs principaux qui peuvent briser les agrégats et disperser les particules de sol. Cette dispersion se produit à la surface du sol, lorsque la force de cisaillement du ruissellement devient supérieure à la résistance au détachement du sol. Les particules les plus fines, comme les sables fins, limons, argiles et la matière organique, sont facilement emportées sous l'effet des gouttes et par le ruissellement. Cette dégradation de la surface du sol est d'autant plus importante que les pluies sont agressives, battant ainsi le sol et déclenchant de forts ruissellements responsables de l'érosion en nappe et sur les versants l'érosion en ravine qui atteint plusieurs tonnes par hectare et par an.

L'Algérie subit depuis plusieurs décennies de graves problèmes d'érosion des sols. A l'échelle des grands bassins versants du Tell oranais, où une grande partie des terrains est constituée essentiellement des marnes (Benchetrit, 1972), l'activité des ravinements est intense, favorisé par le climat. En effet, celui-ci se caractérise par l'agressivité des précipitations de type torrentielles et irrégulières. L'effet de ces pluies accentue la fragilité d'un milieu déjà malmené par une pression démographique croissante et une forte charge animale. Ceci a pour conséquence, la dégradation accélérée des sols avec l'apparition et l'extension des différentes formes d'érosion hydrique provoquant des forts débits de pointe, chassant une grande quantité de sédiments dans les oueds et les retenues (Roose et *al.*, 2000).

Face au problème de l'érosion l'Algérie a entamé depuis les années 1940, des travaux de défense et restauration des sols sur tout le territoire national. Les techniques appliquées étaient largement inspirées des travaux de conservation des sols lancés aux Etats-Unis d'Amérique dans les années

1930. Ces efforts ont été abandonnés dans les années 1970. Les méthodes exigeaient des investissements importants en moyens humains et matériels et ne tenaient pas compte des priorités des paysans.

Plusieurs travaux ont été réalisés en Algérie pour étudier le phénomène érosif, parmi ces travaux on cite ceux de Gréco (1966) et de Benchetrit (1972).

En 1985 l'Institut national de la recherche forestière en collaboration avec l'Office de la recherche scientifique et technique outre-mer ont développé une nouvelle stratégie, il s'agit de la gestion conservatoire de l'eau et de la fertilité des sols. Cette stratégie place sa priorité dans l'amélioration de la production de la biomasse des terres cultivées par l'augmentation de la fertilité et par l'amélioration de l'infiltration et en conséquence la réduction des risques érosifs. Elle s'attache à définir au mieux la gestion des eaux pluviales, du couvert végétal, de la gestion des résidus organiques végétaux et animaux et de gestion des éléments nutritifs des sols.

Mazour (2004) et Roose et *al.* (2000) ont mesuré dans les montagnes méditerranéennes du Tell occidental, des pertes en terre par érosion en nappe variant de 0,1 à 20 t/ha/an alors que l'ablation par ravinement est de l'ordre de 90 à 300 t/ha/an. En 1987, Kadik estimé que la durée d'exploitation des barrages était limitée à 30 ans. Kouri (1993) et Remini (2000) estiment quant à eux que le potentiel hydraulique perd annuellement 30 millions de m³. En conséquence, environ 6 millions d'hectares sont exposés aujourd'hui à une érosion active ; en moyenne 120 millions de tonnes de sédiments sont emportés annuellement par les eaux vers la mer (Heddadj, 1997).

La protection des bassins versants localisés dans les zones marneuses de l'Ouest Algérien qui s'ensavent à un rythme rapide, est une préoccupation majeure du point de vue économique et écologique pour l'Algérie (Kouri, 2010). De ce fait, connaître les principaux facteurs de ce phénomène s'impose, pour mettre en place des mesures préventives afin de protéger les sols contre l'érosion hydrique, dans l'Ouest algérien (Ramdani, 1993).

La possibilité d'une cartographie de l'aléa est donc en fonction d'une part de l'existence de données spatialisées décrivant ces facteurs, et d'autre part de l'existence de modèles opérationnels capables de décrire les processus et d'évaluer l'intensité de l'érosion (Wischmeier et Smith, 1978)

Dans ce cadre notre contribution vise à trouver des réponses sur les risques provoqués par l'érosivité des pluies et son impact sur le comportement des substrats envers ce facteur.

Le mémoire comprend deux volets:

Le premier volet portera sur les risques d'érosivité des pluies, et le second portera sur la connaissance des indicateurs d'érodibilité des marnes et des sols dans le Tell oranais. A cet effet, notre étude s'organise en cinq chapitres :

Chapitre I :

Il s'avère impératif de connaître les causes, le déroulement et les conséquences des processus d'érosion hydrique. C'est pourquoi ce chapitre concernera une recherche bibliographique. Celle-ci nous permettra de donner les définitions des différents phénomènes de l'agressivité climatique ainsi qu'appréhender le risque érosif et présenter les bases théoriques qui déterminent les indicateurs de l'érodibilité des sols.

Chapitre II

Dans ce chapitre sont présentés les caractéristiques géologiques, géographiques, hydrographiques, des formations superficielles des sols et du couvert végétal.

Chapitre III

Dans ce chapitre sera abordé le climat général de la région d'étude, l'étude des pluies et les caractéristiques générales du climat dans le Tell oranais. Une analyse particulière sera consacrée à l'agressivité climatique dans la région.

Les chapitres IV et V, présenteront la méthodologie suivie pour ce travail de recherche, les résultats et ainsi que les discussions, notamment les cartes d'érosivité des pluies et les variations spatio-temporelles de l'érosivité. Dans ces chapitres on retrouvera l'interprétation des résultats d'analyses physico-chimiques et mécaniques des échantillons de marnes et de sols pour l'étude de l'érodibilité

PREMIERE PARTIE

Aperçu bibliographique, analyse des caractères physiques du milieu et étude climatique

CHAPITRE I

APERCU BIBLIOGRAPHIQUE

1- Définition de l'érosion

Les sols forment l'épiderme de notre planète et constituent le support des activités humaines, notamment l'agriculture. Un sol naturel est une formation de surface à structure meuble et d'épaisseur variable résultant de la transformation de la roche mère. Nous pouvons aussi nous tenir à cette définition simplifiée de Greco (1966), selon laquelle : l'érosion est l'usure de la partie superficielle de l'écorce terrestre ; l'eau et le vent sont les principaux agents.

Le mot érosion désigne l'action par laquelle divers éléments constituant les horizons superficiels de la couverture pédologique sont enlevés par la pluie, les glaciers, le vent. D'après Roose et *al.* (1998), l'érosion est un processus complexe vieux comme le monde : il concerne l'arrachement, le transfert, et la sédimentation de particules par l'eau, le vent ou la gravité. Depuis l'origine de la terre, l'érosion façonne les reliefs et construit les plaines, lesquelles nourrissent la majorité des populations du monde.

La dégradation des sols est la diminution de la capacité de production du sol. Certes l'érosion et la dégradation des sols sont deux processus qui sont couplés, mais la dégradation du sol a un sens plus large: elle inclut la pollution, la salinisation, l'épuisement des nutriments du sol, l'érosion des sols...etc. La dégradation des sols est souvent une étape avant que l'érosion ne s'installe de façon évidente, car il n'est pas nécessaire que le sol soit enlevé pour que sa production baisse (Topper et *al.*, 1985).

La pluie est le facteur causal de l'érosion hydrique, l'ampleur du phénomène érosif varie selon l'intensité, la hauteur et la fréquence des pluies. Dans le Tell oranais, les pluies torrentielles ($P \geq 20$ mm/24h) très fréquentes, sont irrégulières aussi bien dans l'espace que dans le temps et très fréquentes engendrant des crues fortes, rapides et chargées. Les répercussions sont donc directes tant à l'amont par des pertes de sol et des ravinements, qu'à l'aval, par des déterrages de stations, des inondations etc.

Ces averses de fortes intensités sont fréquentes en Automne (Arabi et Roose, 1989) au moment où la couverture végétale est absente. Les conséquences de ces fortes intensités des pluies, déclenchent le phénomène de transport et dépôt des sédiments détachés, soit sous l'impact des gouttes de pluie, soit par le ruissellement qui exerce une contrainte de cisaillement. Cette érosion qui pose par la suite de graves problèmes socio-économiques, poussant ainsi la population à l'exode rural, en réduisant la surface agricole utile et en alluvionnant les oueds et les retenues collinaires (Kouri, 1993).

1.1- Etude de l'érosivité de pluies

L'érosivité est un indicateur de l'agressivité climatique. Au cours d'un évènement pluvieux, l'énergie cinétique ainsi que la quantité de mouvement dissipée lors de l'impact de gouttes, permettent le détachement des particules et leur déplacement par rejaillissement (Ellison, 1944).

Bien que l'érosion hydrique soit tributaire de plusieurs facteurs, nul n'ignore le grand rôle de l'agressivité climatique dans le déclenchement du phénomène de l'érosion et du ruissellement. Les pluies par l'intermédiaire de leurs caractéristiques : hauteur, intensité et énergie cinétique des gouttes, présentent une certaine capacité érosive qui peut être évaluée.

L'action érosive de l'eau sur le sol se déroule en deux étapes distinctes :

- l'une consiste à détacher les particules de sol, par l'attaque des gouttes de pluie (effet splash) ; l'autre consiste à les transporter, c'est le ruissellement. La pluie tombant sur un sol produit un transport solide précédé d'un ruissellement qui dépend de l'énergie et de l'intensité de la pluie (Boiffin, 1984).

Plusieurs paramètres interviennent dans l'action érosive des pluies, parmi lesquels on cite l'intensité, la hauteur, l'énergie cinétique, la taille et la vitesse des gouttes de pluie, la durée et la fréquence des pluies.

1.1.1- Intensité de pluie

Wischmeier et Smith (1962) ont constaté que les fortes intensités provoquent une forte perte en terre. Ceci a été aussi constaté avec de faibles intensités mais d'une durée assez longue sur des sols instables et nus. Ces fortes intensités entraînent la conjonction des phénomènes d'engorgement et de battance qui aboutissent à la formation de croûte ou pellicules très peu perméables. Le ruissellement dépend essentiellement de la lame précipitée, de son intensité, de l'humidité préalable du sol et de l'état de surface.

L'énergie des gouttes qui déclenche le processus de destruction des agrégats du sol (figure n°1) sur les versants de pente faible à moyenne, tandis que le ruissellement assure le transport des particules détachées.

L'énergie cinétique est égale au demi-produit de sa masse par le carré de sa vitesse :

$$E_c = \frac{1}{2} M V^2$$

M : est la masse de la goutte et V sa vitesse de chute.

E_c : est l'énergie cinétique en joule (si m est en kg et V en m/s). Les problèmes posés par le ruissellement et l'érosion sont nombreux et variés. Selon Roose (1984), trois hypothèses sont posées quant au ruissellement et à son origine:

- le ruissellement se développe lorsque l'intensité de la pluie dépasse la capacité d'infiltration de la surface du sol, c'est-à-dire lorsque l'état de la surface du sol se dégrade:
- le ruissellement ne se déclenche que par saturation de l'horizon supérieur
- le ruissellement dépend de la contribution d'une partie du bassin.

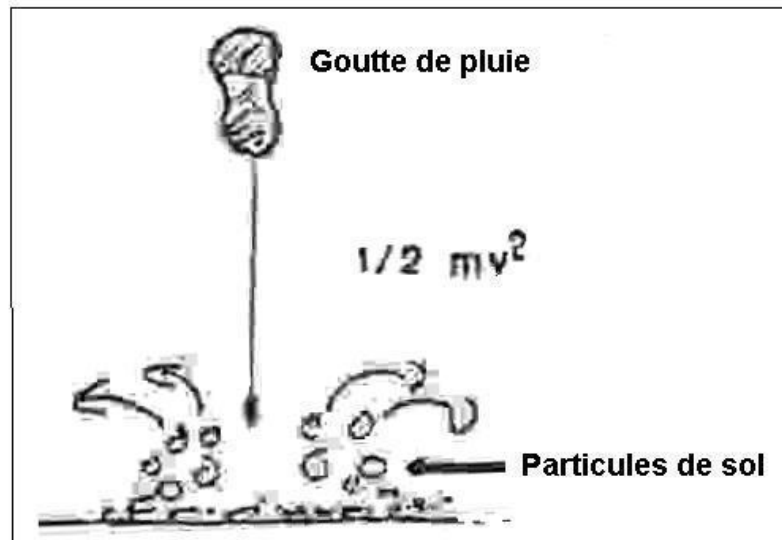


Fig. 1: Effet de gouttes de pluies (effet de splash)

Les travaux de Wischmeier et Smith (1965) montrent que l'impact de la goutte de pluie est l'agent majeur qui cause l'érosion, le détachement du sol est en fonction de diamètre, de la vitesse et de l'intensité de la pluie. Relient le diamètre de la goutte à l'intensité de la pluie avec la relation suivante :

$$D_{50} = 2,23 I^{0,182}$$

D_{50} : représente le diamètre médian des gouttes en mm

I : représente l'intensité de la pluie en inches / h

Le rejaillissement peut projeter les particules du sol jusqu'à 60 cm verticalement et 1,5 m horizontalement et la masse de sol détachée D_p , peut être quantifiée expérimentalement, par la relation (Poesen, 1984):

$$D_p = a. Ecb$$

D_p : est la masse détachée.

Les coefficients a et b dépendent essentiellement de la texture et de la structure du sol.

L'érosion par rejaillissement conduit à la fermeture de la surface du sol et la réduction de son infiltrabilité en formant une croûte de battance d'une épaisseur de un à deux centimètres ; la rugosité de la surface du sol disparaît, elle devient lisse et perd sa perméabilité, il y a donc ruissellement.

1.1.2- Hauteur de pluie

La hauteur de pluie peut être un bon estimateur de l'érosivité du sol par la pluie (Roose,1981). On pourrait croire à l'existence d'une relation entre la hauteur de pluie et le ruissellement mais dans la réalité les phénomènes sont complexes. La relation entre la hauteur de la pluie et le ruissellement peut être élargie à une relation entre la hauteur de la pluie et le transport solide.

1.1.3- Durée des pluies

La durée de la pluie a une influence sur le taux de saturation de l'horizon superficiel du sol. Les pluies durables provoquent la saturation du sol en eau, l'infiltration diminue et il y a donc ruissellement à la surface.

Laouina (1998), note que ce sont les périodes pluvieuses durables avec des événements de forte intensité répétitifs qui occasionnent la dégradation la plus forte, avec le passage du ruissellement aréolaire au ruissellement en griffes et en rigoles. Les pluies intenses et brèves, ne permettent qu'une dégradation modérée.

1.1.4- Fréquence des pluies

Elle caractérise la répartition d'une pluie dans le temps. La fréquence $f = 1/T$, dont T est le nombre d'années de la période de retour. Elle est utilisée dans l'établissement des courbes Intensité- durée- Fréquence qui matérialisent la notion de risque climatique, utilisée dans différentes spécialités (hydrologie, génie rural...)

Les averses sont plus dangereuses quand elles se suivent à intervalles rapprochés ; le sol est saturé par la première pluie, l'eau n'a pas le temps de s'évaporer ou de s'infiltrer et lorsque tombe l'averse suivante, elle ruisselle entièrement et provoque presque toujours une érosion importante (Goujon et *al.*, 1968)

Les risques d'apparition du ruissellement peuvent être variables pour un même sol en fonction de son état hydrique initial. La sensibilité d'un sol à l'érosion n'est pas un caractère permanent. Elle dépend de l'interaction entre le climat, l'état initial et la nature du sol.

1.2- Les différentes formes de manifestation de la désagrégation

La désagrégation par l'eau résulte des différents mécanismes physico-chimiques et peut affecter différents niveaux de la structure depuis les interactions entre les particules d'argiles jusqu'aux mottes de terre (Le Bissonais et Le Souder, 1995).

Les travaux de Boiffin (1984 et 1985), sur l'étude expérimentale du comportement des sols argileux s'attaquaient à l'analyse du processus de changement morphologique et de la dégradation des couches superficielles des sols dans les conditions du climat naturel. Il a montré que la première phase peut être variable avec le temps. La surface du sol commence par être motteuse, et graduellement couverte par une croûte structurale compacte et épaisse de quelques

mm qui réduit sa perméabilité. La deuxième phase est la formation d'une croûte à partir de dépôt (croûte de sédimentation). Mais avant d'être arrachées sous l'effet des gouttes de pluie ou de ruissellement, les particules terreuses doivent être mobilisées et certains mécanismes doivent, au préalable, provoquer leur disjonction. De nombreux travaux ont montré que c'est au cours de l'humectation des agrégats qu'intervient cette phase initiale de désagrégation. Boiffin (1984) et Le Bissonnais (1988) ont montré que quatre principaux mécanismes (tableau n° I) concourent à la destruction des agrégats: L'éclatement total, c'est à dire la désagrégation par compression de l'air piégé lors de l'humectation, la désagrégation mécanique sans éclatement à l'état saturé sous l'impact des gouttes de pluies, la micro-fissuration par gonflement différentiel, et la dispersion physico-chimique.

Tableau n° I: Principales caractéristiques des différents mécanismes de désagrégation

mécanismes	Eclatement	Désagrégation mécanique	Désagrégation par gonflement différentiel	Dispersion physico-chimique
Nature des forces en jeu	Pression interne de l'air piégé lors de l'humectation	Impact des gouttes de pluie	Pression interne par gonflement différentiel de l'argile	Réduction des forces d'attraction entre les particules
Intensité de la désagrégation	Totale	Cumulative	Partielle	Totale
Propriétés du sol en jeu	Porosité, mouillabilité, cohésion interne	Cohésion humide (argile, M.O, oxydes)	Gonflement potentiel, cohésion d'humectation	Statut ionique, minéralogique de l'argile
Particules résultantes	Petits micro agrégats (<500µm)	Particules élémentaires et micro-agrégats	Macro et micro agrégats	Particules élémentaires

Source : Le Bissonnais et Le Souder (1995)

1.2.1- La désagrégation mécanique

La désagrégation est un aboutissement obligatoire du déséquilibre qui s'établit lors de l'affaiblissement des forces de liaison par rapport à une augmentation des forces de rupture dues au piégeage de l'air au sein de l'agrégat au cours de l'humectation (Emerson, 1954 ; Le Bissonnais, 1988). Mais aussi l'effet mécanique de la force d'impact des gouttes de pluies sur les particules du sol (Nearing et Bradford, 1985). Cette désagrégation se produit soit seule si les agrégats sont initialement saturés, soit en complément des autres mécanismes.

Les mécanismes majeurs de dégradation de la surface impliquent le choc des gouttes de pluies sur la surface du sol. En plus de la hauteur et de l'intensité des pluies. L'éclatement et la micro-fissuration sont essentiellement liés au volume d'eau mis en contact avec l'agrégat et à la vitesse

d'apport de cette eau, alors que l'usure mécanique dépend plus fortement des caractéristiques énergétiques des gouttes.

Il s'agit d'une sorte d'abrasion de la périphérie des agrégats sous l'action de l'impact des gouttes qui n'entraînent donc pas de rupture de l'agrégat lui-même mais plutôt des micro-ruptures individualisant des particules de taille < 100 μm situées à la surface de l'agrégat. Dans le cas des agrégats initialement secs, l'évolution est beaucoup plus lente et progressive (Le Bissonnais, 1988).

On note également que la désagrégation augmente avec l'agressivité pour les agrégats saturés, alors qu'elle reste voisine d'une même valeur pour les agrégats initialement secs.

1.2.2- Le processus d'éclatement

Lorsqu'un agrégat sec se trouve en présence d'une phase liquide (humectation brutale et totale), la succion capillaire attire avec force la phase liquide vers son centre. La pression de l'air ainsi emprisonné provoque l'éclatement de l'agrégat dès qu'elle excède sa résistance mécanique (Henin, 1938). Cette désagrégation a lieu lorsque la pression de l'air dépasse la résistance mécanique des assemblages des particules.

Des études détaillées et des expériences au laboratoire montrés (l'importance du mécanisme d'éclatement vis à vis de la dégradation structurale superficielle (Henin, 1938).

1.2.3- La micro-fissuration

Les phénomènes d'éclatement des agrégats et le choc des gouttes d'eau sur la surface sont largement responsables de la dégradation structurale superficielle.

Boiffin (1984) a observé que lors d'alternances hydriques (humectation-dessiccation), les agrégats de surface se fragmentent sur leur périphérie et entraînent l'individualisation des micro-agrégats. Ce processus est interprété comme étant la conséquence des phénomènes de gonflement - retrait, liés aux alternances hydriques (Monnier *et al.*, 1986).

Les risques de fissuration des agrégats sont liés au nombre et à l'amplitude des alternances hydriques, ainsi qu'à la cinétique de réhumectation (Le Bissonnais, 1990) ;

La teneur en argile augmente les risques de fissuration, à cause de l'augmentation du gonflement potentiel lors de l'humectation même brutale.

Les agrégats riches en smectites (plus de 50% d'argile gonflante), subissent une fissuration. Le mécanisme qui se manifeste même sous vide à la différence des sols limoneux, ne peut pas être imputé au piégeage de l'air mais au gonflement des matériaux (Monnier, 1965). Or celui-ci ne concerne pas simultanément l'ensemble de l'agrégat. Cette hétérogénéité du gonflement entraîne des tensions susceptibles de provoquer localement la rupture des liaisons entre particules et donne des fissures. Pour les agrégats limoneux, moins sensibles aux phénomènes de retrait-gonflement, la fragmentation par fissuration reste partielle (Le Bissonnais et Arrouays, 1997)

1.2.4- La dispersion

L'humectation réduit les forces de liaison des particules. Les actions mécaniques exercées sur les particules argileuses provoquent la rupture de leurs forces de liaison qui s'atténuent sous l'effet du gonflement (Emerson, 1967).

Dans le cas d'un agrégat de sols sableux, ce mécanisme peut aller jusqu'à l'effondrement complet de sa structure. Il s'agit alors d'une dispersion grossière pour les sols argileux, surtout s'ils sont riches en sodium. L'humectation entraîne fréquemment une forme analogue de désagrégation. L'agrégat, en se délitant, cède de l'argile (dispersion argileuse) (Casenave et Valentin, 1989).

Cette argile mobilisée peut très facilement migrer dans l'eau d'infiltration couvrant la périphérie des agrégats ou se déposer sur la surface du sol pour former la croûte de surface. Cette boue devient assez fluide pour s'écouler vers le bas et contribuer ainsi au colmatage des interstices entre agrégats (Valentin, 1981 ; Le Bissonnais et Singer, 1992).

1.3 - Mécanisme de l'érosion hydrique

L'action érosive de l'eau sur le sol se déroule en trois phases distinctes :

1.3.1- Le Détachement des particules de sol

Lorsque l'intensité devient plus grande, il y a destruction de la structure sous l'effet des gouttes de pluies qui provoquent un rebondissement de la terre lors de l'impact avec le substrat (l'effet splash). Cette phase s'accompagne d'un colmatage de la porosité entraînant la formation d'une pellicule de battance en surface. Les croûtes sont la principale cause de la diminution de l'infiltrabilité de la surface du sol et augmentent, par conséquent, les risques de ruissellement et d'érosion (Boiffin, 1985).

1.3.2- Ruissellement

Consiste à transporter les particules de sols en son sein et dans sa propre direction, c'est l'écoulement de l'eau gravité à la surface du sol, suivant la pente du terrain. C'est aussi l'écoulement dans les micro-réseaux hydrographiques, des eaux météoriques qui ont échappé à l'infiltration, à l'évaporation et au stockage superficiel.

Le ruissellement apparaît dès que l'intensité d'une pluie devient supérieure à la vitesse d'infiltration du sol (figure n° 3). Il commence généralement selon Chebbani et *al.* (1999) après 22 mm de pluie si le sol est sec ou après 4 mm si le sol est humide, encroûté ou compact.

Les risques d'apparition du ruissellement peuvent être variables pour un même sol en fonction de son état hydrique initial. La sensibilité d'un sol à l'érosion n'est pas un caractère permanent. Elle dépend de l'interaction entre le climat, l'état initiale et la nature du sol (figure n° 2).

Le ruissellement peut être diffus " en nappe". Il entraîne les particules fines détachées des agrégats, alors que les particules grossières restent sur place, concentré "ruissellement en griffes et rigoles dans les zones à circulation préférentielle de l'eau liées au micro-relief.

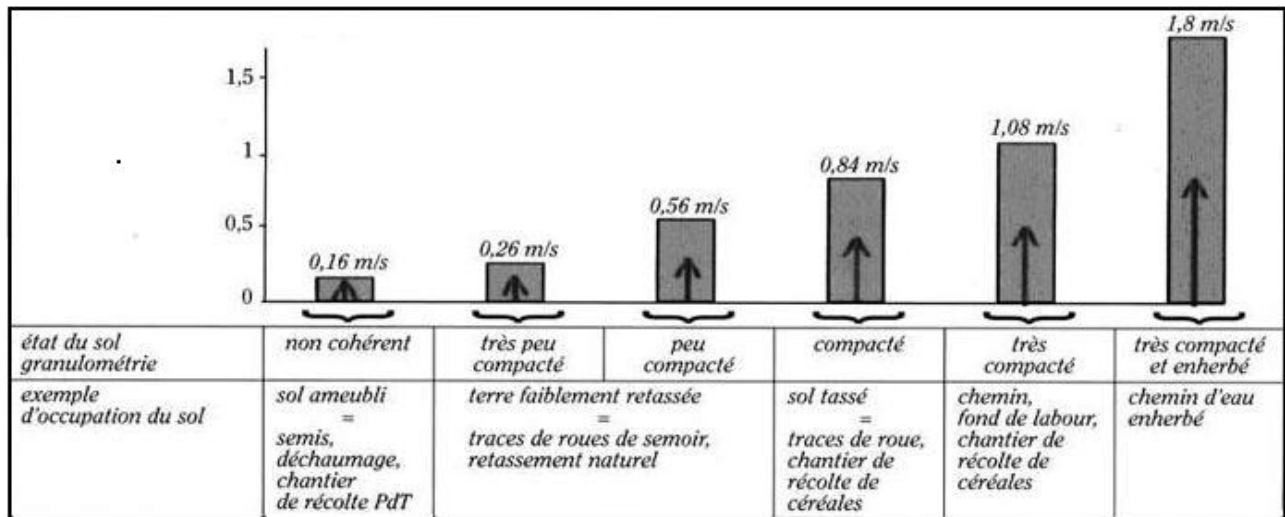


Fig. 2: Vitesse d'écoulement limitée à partir de laquelle l'érosion apparaît

Chebbani et *al.* (1999), notent que le ruissellement peut être à l'origine d'une érosion spectaculaire qui se traduit par le creusement de chenaux, de forme et de tailles diverses et s'accompagne de la mise en place de dépôts d'étendue et d'épaisseur très variables.

Le taux de ruissellement sur une parcelle est donné par le rapport entre la lame d'eau ruisselée et la lame d'eau précipitée, ce taux peut être mesuré en moyenne sur l'année (k_{ram}) ou après une averse exceptionnelle donnée, là il s'agit d'un coefficient de ruissellement maximum k_{rmax} . Il est bien évident que l'énergie du ruissellement est inférieure à celle de la pluie sur pentes modérées ; mais lorsque la déclivité du site augmente, il y a diminution de la rugosité de la surface et le ruissellement acquiert une force abrasive qui lui confère une énergie excédant celle des précipitations.

Selon Heusch (1970) le ruissellement est en fonction de la somme des énergies érosives dont l'énergie des eaux ruisselantes est la principale composante. Le ruissellement serait dans ce cas, la cause principale de l'érosion.

Lorsque la longueur de la pente ne permet pas au ruissellement de prendre de la vitesse, celui-ci reste diffus avec un potentiel d'arrachement et de transport très limité : il s'agit d'érosion en nappe.

Si par contre la longueur de la pente est assez suffisante pour donner de la vitesse au ruissellement, celui-ci acquiert un pouvoir considérable d'arrachement et de transport lui permettant d'inciser le sol : il s'agit d'érosion linéaire.

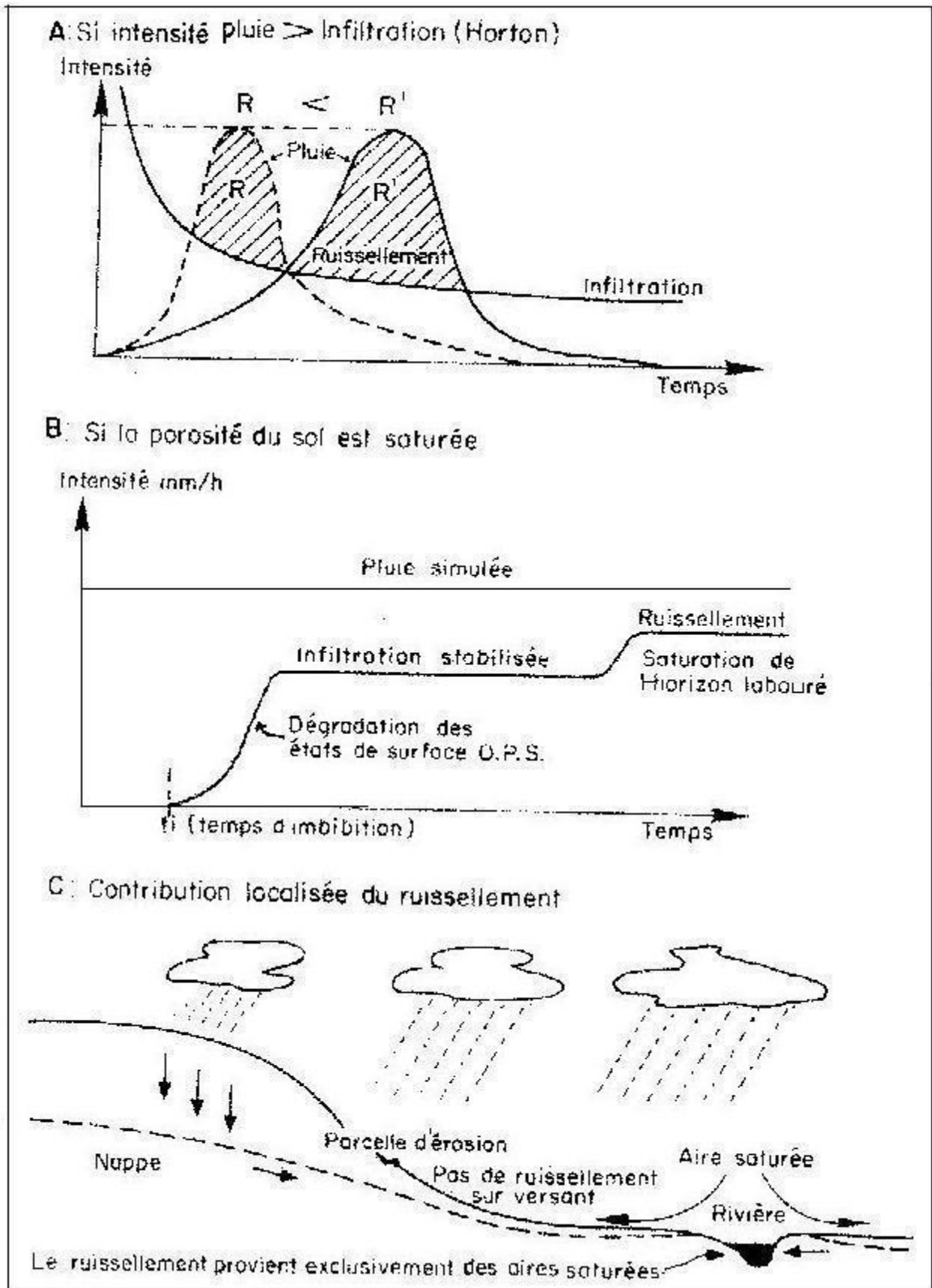


Fig. 3: Les trois théories qui expliquent la naissance du ruissellement cité par Roose (1994).

1.3.3- Sédimentation

La sédimentation se produit lorsque le courant n'est plus capable de maintenir les particules en suspension et résulte d'un ralentissement de la vitesse d'écoulement dont les causes peuvent être multiples : La terre déplacée par érosion diffuse ou concentrée peut se déposer à la faveur d'un obstacle, d'un changement d'état de surface ou de végétation, ou encore d'une diminution de la pente qui réduit la compétence du ruissellement (figure n° 4).

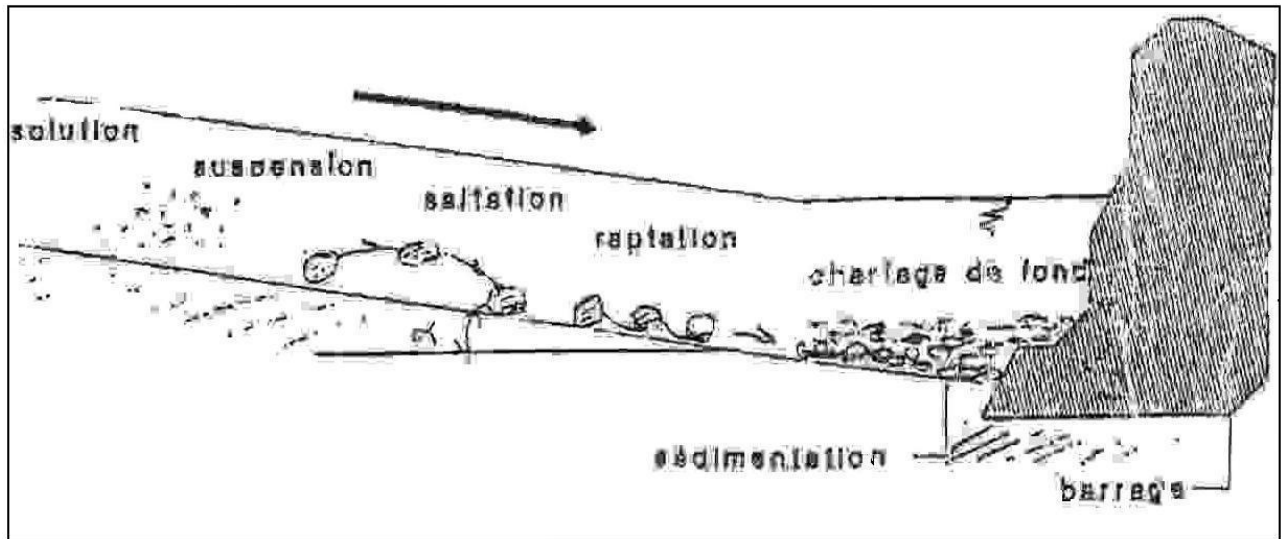


Fig.4: Mécanismes de l'érosion hydrique (Roose, 1994).

1.4 - Formes d'érosion

1.4.1 - L'érosion en nappe

Elle caractérise les surfaces relativement planes où la pente est uniforme (Topper et *al.*, 1985). C'est une forme d'érosion très difficile à déceler sur le terrain, méritant par là les qualificatifs de dangereux, pernicieux et imperceptible. Les seuls signes visibles annonciateurs d'une érosion en nappe, sont des changements de couleurs qui affectent la surface du sol. Ce sont des teintes de plus en plus claires observables sur sol nu fraîchement labouré.

L'érosion en nappe attaque principalement les horizons superficiels, en général les plus riches non seulement en éléments nutritifs mais aussi en matières organiques. Ce qui entraîne un appauvrissement de ces couches en substances fertilisantes et en particules fines, la conséquence est une topographie constituée uniquement de cailloutis.

1.4.2-- L'érosion linéaire

L'érosion linéaire apparaît lorsque le ruissellement en nappe s'organise, l'eau se concentre d'abord dans les surfaces déprimées du terrain, empruntant des lignes de moindre résistance pour descendre le long des pentes. L'écoulement superficiel chemine dans de petites rigoles ou filets qui entaillent le sol en profondeur.

Les particules fines libérées sous l'effet des gouttes de pluies ou par le cheminement de l'eau dans les rigoles, sont transportées par le ruissellement. Dans les endroits où l'eau se collecte, son action érosive est plus intense ; elle va creuser et élargir les rigoles et progressivement va entailler le sous sol et former des ravines de plusieurs mètres de profondeur.

L'érosion linéaire par énergie du ruissellement apparaît sous diverses formes : rigoles, ravines ; ravins et badlands ou ravinement généralisé.

Les rigoles et les ravines peuvent être effacées par les techniques culturales ; mais lorsqu'aucun frein n'a été mis pour stopper leur progression ; elles évolueront en ravins, dans ce cas les pratiques aratoires sont inefficaces. Seuls des moyens lourds techniquement et financièrement peuvent y remédier.

1.4.2.1 - L'érosion en rigoles

C'est une érosion débutante qui se manifeste par des incisions (rigoles) élémentaires, temporaires, le plus souvent non hiérarchisées qui apparaissent durant une averse à la suite d'une concentration locale de l'eau, canalisée par le micro-modèle préexistant, des arbustes ou les touffes de végétation ou les façons culturales (labour ou billons dans le sens de la pente. . .).

1.4.2.2- L'érosion en ravines

Tout comme les rigoles, les ravines sont des dépressions où se concentrent des filets d'eau, elles sont en général de dimensions supérieures.

L'entaille des ravineaux créée peu atteindre 2 m de profondeur, la largeur varie entre 5 et 10 m avec parfois formation de mini thalweg de 1 à 2 m environ. Ces cicatrices laissées sur le sol se rencontrent dans les régions du globe où les précipitations se manifestent sous forme d'averses violentes et brèves. L'ampleur est portée à son maximum si les formations rocheuses sont imperméables.

1.4.2.3- L'érosion en ravins

Le plus souvent, l'érosion en ravins apparaît lorsque les précédents s'exaspèrent et que les entailles s'approfondissent considérablement par érosion régressive (du bas vers le haut de la pente). Mais il n'est pas rare de voir les ravins s'installer de prime. Les dimensions d'un ravin peuvent être impressionnantes :

- *la profondeur généralement excède les 10 m*
- *la largeur entre 10 et 20 m*
- *la longueur, au delà des 200 m*

En Algérie le ravinement mobilise chaque année 90 à 300 tonnes de terres par hectare (Chebbani et Belaidi, 1997).

1.4.2.4 - Le ravinement généralisé ou badlands

C'est un réseau de ravins et ravines reliés les unes aux autres par des crêtes, aux versants généralement dénudés provoquant un affleurement de la roche mère. C'est le stade irréversible de l'érosion.

Cet aspect de l'érosion hydrique peut transformer le paysage « en badlands » c'est-à-dire des terres inaccessibles à toutes formes d'exploitation.

1.4.2.5 - Les formes de ravins

Il est bien vrai que les ravins peuvent avoir des origines assez variées, mais tous nécessitent une concentration en eau, une alimentation forte pendant une durée assez longue et une organisation du sol qui ne présente pas d'horizons de blocage pour creuser le sol.

Cinq types de ravines ont été observés en relation avec leur fonctionnement et la cohésion du manteau pédologique ou lithologique dans le Nord-Ouest du Tell algérien et en particulier dans les monts de Beni-chougrane (Roose et *al.*, 2000).

a/- Les ravines en « V » forment sur des substrats homogènes et tendres comme les vertisols, les argilites, les marnes et les schistes (figure n° 5).

b/ - Les ravines en « U » forment sur des sols hétérogènes comme des sols à croûtes calcaires (figure n° 6)

c/-Les ravines en « tunnels » forment sur les sols à argiles gonflantes et les marnes contenant des sels solubles (gypses) (figure n°7)

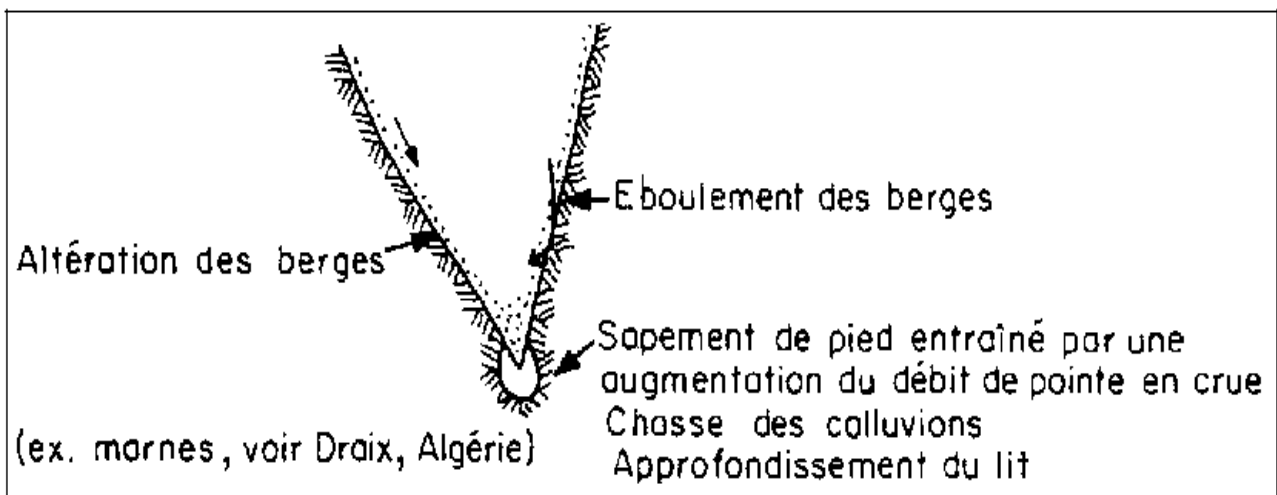


Fig. 5: Flancs de ravin en «V» sur matériaux homogènes (Roose et al 2000)

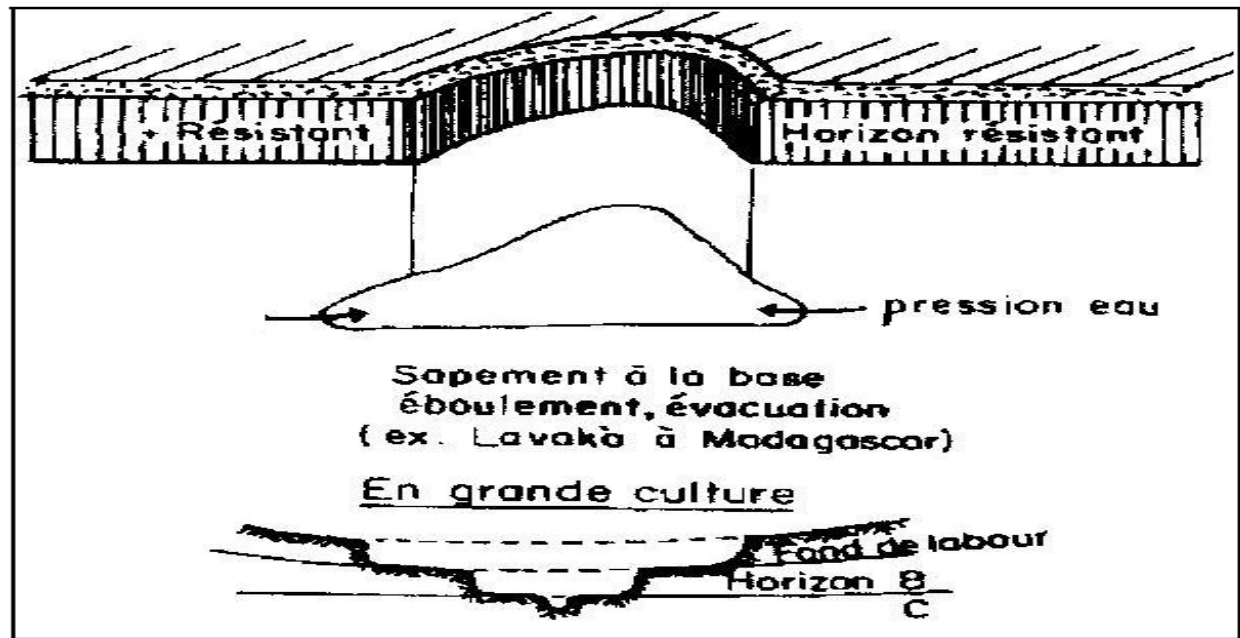


Fig. 6: Ravine en«U» sur matériau hétérogène (Roose et al 2000)

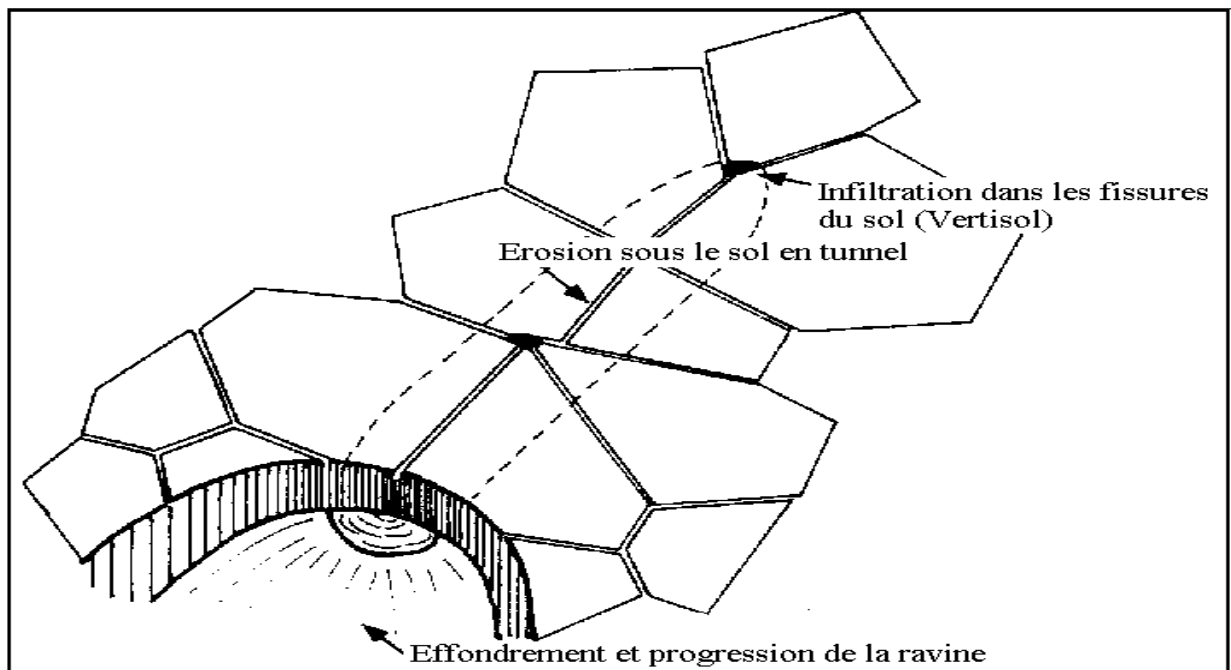


Fig. 7: Ravine en tunnel sur argile gonflante, gypses et matière solubles (Roose et al, 2000)

d/- Les ravines en relation avec les glissements de terrain

Ce phénomène se produit lorsqu'un terrain dénudé en pente repose sur une couche imperméable. Il se rencontre dans les paysages à pentes convexes du Maghreb au delà de 45 à 60% de pente (Roose et *al.*, 2000).

Les mouvements de masse dérivent de remaniements profonds qui naissent après une pluie prolongée, qui prennent ensuite de multiples aspects et se soldent par des glissements de terrains de

diverses formes dévastatrices d'habitats et de cultures (Bellatrèche, 1986), Les phénomènes de mouvement de masse sont très nombreux et difficiles à classer (Roose, 1994).

e/- les ravines régressives

Il s'agit d'éboulements rocheux, de sapements de berges ou d'effondrements de versants qui entraînent des glissements localisés. Ceux-ci sont très fréquents en tête de ravine. Ils entraînent l'éboulement de la partie supérieure des lèvres d'une ravine vers le sommet de la colline par érosion régressive.

1.5- Erodibilité des sols

L'érodibilité des sols autrement dit leur sensibilité intrinsèque aux processus d'érosion, résulte à la fois de leur capacité à absorber les précipitations sans produire de ruissellement et de la résistance qu'ils offrent aux agents de détachement, soit l'impact des gouttes de pluie et les forces de cisaillement exercées par l'écoulement superficiel.

L'érodibilité dépend ainsi d'une part du mode d'organisation des particules constitutives du sol (structure, capacité d'infiltration) et d'autre part de l'intensité des forces qui lient ces éléments entre eux (stabilité structurale et/ou cohésion). Ces deux aspects sont cependant étroitement liés : une faible stabilité structurale peut par exemple être cause d'une rapide dégradation de la capacité d'infiltration lors d'une averse.

La structure ainsi que la stabilité, sont grandement conditionnées par la texture du sol, la teneur en matière organique et la présence de diverses substances chimiques. Les propriétés colloïdales de la matière organique, tout comme celles des minéraux argileux, contribuent grandement à la formation d'agrégats stables.

Dans la relation croûte de surface-érosion, la stabilité des agrégats est certainement un très bon indicateur de l'érodibilité des sols. Ce facteur mesure la susceptibilité des sols à la désagrégation, qui est le même processus responsable de la formation des croûtes de surface cependant, l'importance de l'érosion n'est pas contrôlée quand le processus de désagrégation prend place, la grandeur de détachement des particules déterminent deux propriétés physiques de la croûte d'infiltration et la transportabilité des particules (Le Bissonnais et *al.*, 1993).

1.5.1- Indice d'érodibilité des sols (K) de Weschmeier (1978)

Dans l'équation de perte du sol USLE ($A = R.K.C.S.C.P$), l'érodibilité des sols est égale à la perte de sol par unité de l'indice d'érosivité des pluies supérieures ou égales à 12,7mm par des mesures effectuées dans une parcelle unitaire (longueur de 22,3 m et une pente de 9 %), sous jachère nue et travaillée de haut en bas. Dans ce cas $K = A / EI 30$. Si la pente est différente $K = A / EI 30.S$ avec $S = \% \text{ pente}$.

L'indice de l'érodibilité des sols est un paramètre très important qui permet de prévoir la sensibilité des sols à l'érosion à partir des caractères intrinsèques du sol (texture, matière organique, structure, perméabilité) (Wischmeier et *al.*, 1971).

Dans le calcul du facteur K de l'équation universelle de pertes de sol, Wischmeier et Smith (1978) tiennent compte de la teneur en limon et en sable très fin (0,002 - 0,1 mm), la teneur en sable (0,1 - 2 mm), en matière organique (Figure n° 8), ainsi que de la structure de la couche de surface et de la perméabilité du profil. Cette équation est utilisée ici pour générer les cinq classes de vulnérabilité à l'érodibilité:

$$100K = 2,1.M^{1,14} \cdot 10^{-4} (12-a) + 3,25 (b-2) + 2,5 (c-3)$$

Où

M est calculé par la formule $M = (\% \text{ sable fin} + \text{limon}) \cdot (100 - \% \text{ argile})$,

a est le pourcentage de matière organique,

b est le code de la perméabilité : 1) rapide, 2) modérée à rapide, 3) modérée, 4) modérée à lente, 5) lente et 6) très lente.

c est le code de la structure : 1) très structuré ou particulière, 2) assez structuré, 3) peu structuré et 4) massif (Adapté de Drolet et *al.*, 1989)

Tableau n° II : Classe d'interprétation de la perméabilité

Code	Classe	Valeur
1	Rapide	> 60 mm/ h
2	modérée à rapide	20 – 60 mm/ h
3	modérée	5 – 20 mm/ h
4	modérée à lente	2 - 5 mm/ h
5	Lente	1 - 2 mm/ h
6	très lente	< 1 mm/ h

Tableau n° III: Grille d'interprétation de facteur d'érodibilité (K).

Classes d'érodibilité	Sol très peu érodable	Sol faiblement érodable	Sol moyennement érodable	Sol fortement érodable	Sol très fortement érodable
Valeurs de K	$K \leq 0,05$	$0,05 < K \leq 0,1$	$0,1 < K \leq 0,2$	$0,2 < K \leq 0,4$	$K > 0,4$

Suivant l'importance de l'énergie cinétique et les caractéristiques du sol (granulométrie, structure, densité, teneur en eau) on pourra assister :

- ✓ A l'éclatement de la goutte d'eau sur le sol sous forme de gouttelettes plus petites qui rebondissent.
- ✓ A un détachement partiel ou total des particules du sol à l'endroit de l'impact et à la projection de ces particules à une certaine distance de l'impact, soit à l'intérieur des gouttelettes, soit de façon séparée.

✓ A un certain compactage du sol superficiel au moins en dessous de la pellicule superficielle remaniée.

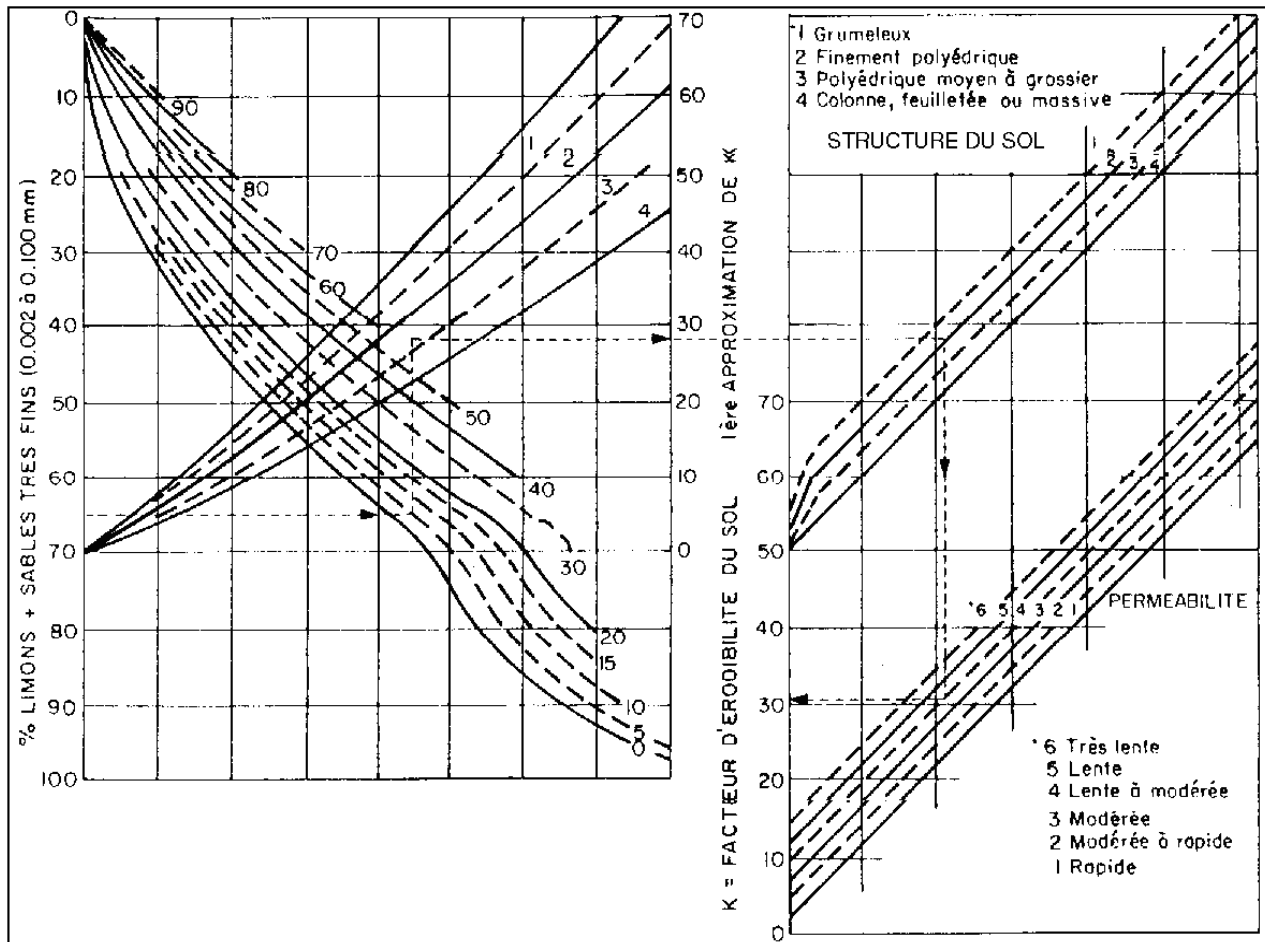


Fig. 8: Nomogramme permettant une évaluation rapide du facteur K d'érodibilité des sols (D'après Wischmeier et al., 1971).

Selon la texture et la composition physico-chimique des sols, l'action de la battance peut détruire complètement la structure initiale du sol. Il peut ainsi se former des « croûtes de battance » qui rendent le sol beaucoup moins perméable, ce qui accroît le ruissellement et l'érosion.

L'impact des gouttes d'eau change suivant l'importance de la lame d'eau déjà sur le sol. A une faible lame d'eau, les gouttes d'eau engendrent une turbulence (figure n°9) qui accroît le détachement des particules, plus la hauteur de la lame d'eau augmente plus l'impact des gouttes va diminuer.

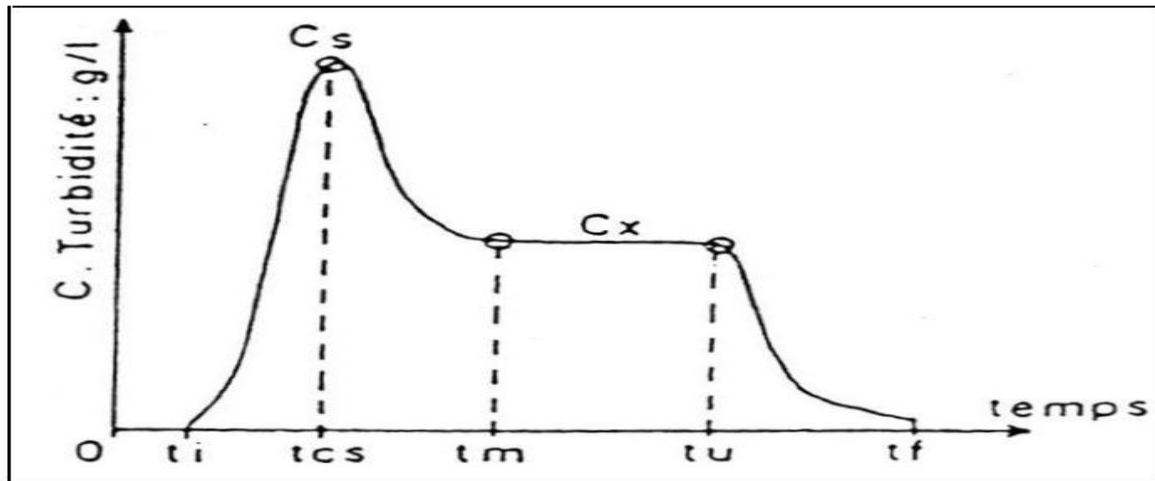


Fig. 9: Turbidigramme de Dumas (1965)

Dumas (1965) a montré que l'érodibilité des sols est fonction du taux de cailloux, du taux de matières organiques, et de l'humidité équivalente du sol, laquelle est fonction de la texture (figure n° 5). Sur cette figure et dans le cas des sols calcaires méditerranéens, on peut constater que l'augmentation de 1 % du taux de matière organique ne réduit l'érodibilité du sol que de 5 %. Par contre, la présence de 10 % de cailloux dans l'horizon de surface va réduire l'érodibilité du sol de plus de 15 %. Au-delà de 40 % de cailloux, la réduction de l'érodibilité du sol diminue. Dans les paysages le pourcentage de cailloux est donc un signe d'une bonne résistance à l'érosion de ces sols (figure n° 10).

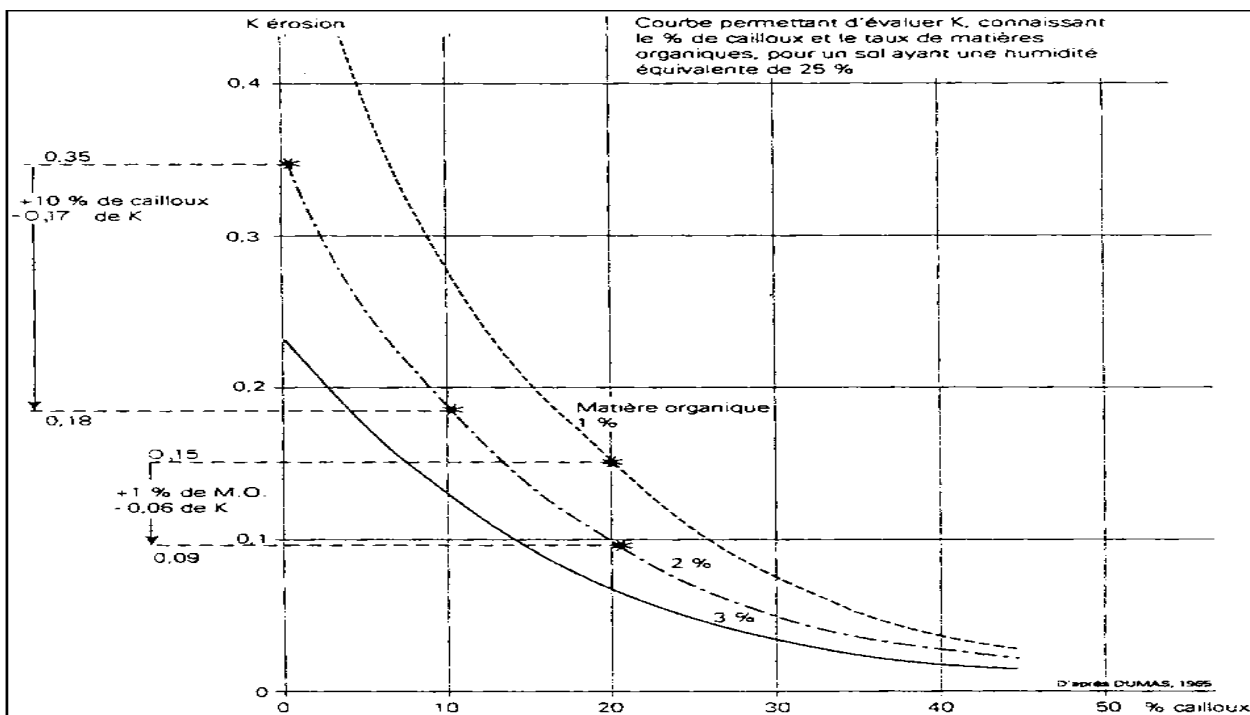


Fig. 10: Erodibilité des sols en fonction du pourcentage de Cailloux et du taux de matière organique.

La présence de fragments de roches dans l'horizon superficiel constitue un bouclier protecteur contre l'action érosive des gouttes de pluies et du ruissellement. C'est ce qui explique la modestie de l'érosion en nappe dans les paysages calcaires méditerranéens (Kouri et *al.*, 1997). Cependant si le sol est encroûté, la couverture caillouteuse peut être à l'origine d'énormes pertes de sols par le cisaillement qu'elle crée (Roose, 1994).

1.5.2. - Paramètres d'érodibilité des sols

L'érodibilité des sols dépend de plusieurs facteurs, ces derniers font intervenir trois grands groupes de paramètres :

- Paramètres structuraux : perméabilité, agrégation en mottes, fissures, porosité, compacité, teneurs en eau.
- Paramètres texturaux : granulométrie, plasticité
- Paramètres physico-chimiques : Taux d'argile, minéralogie du sol.

1.5.2.1- Les propriétés physico-chimiques

a/ - La perméabilité

C'est la quantité maximum d'eau qui s'infiltré dans le sol au temps « t ». Elle dépend des constituants et de l'arrangement de la porosité du sol. Elle varie dans le temps en fonction de l'état de saturation du sol (Le Bissonais et *al.*, 2002).

Plus la texture est particulière, plus le sol est poreux et plus la perméabilité est élevée. Le ruissellement peut être très abondant lorsque le sol est imperméable et compacté. Ces sols sont très menacés par l'érosion hydrique.

A chaque instant, la surface du sol présente une certaine infiltrabilité définie comme étant le flux maximum qu'elle peut absorber lorsqu'elle est maintenue en contact avec l'eau à la pression atmosphérique. Cette infiltrabilité est déterminée, au moins en partie, par la porosité de l'horizon supérieur. En effet, l'intensité limite d'infiltration et croît linéairement avec le volume occupé par l'air (Casenave et Valentin, 1989). Les travaux de Casenave et Collinet (1988) montrent l'influence prépondérante des organisations internes de la couverture pédologique sur l'infiltrabilité.

L'évolution de la surface du sol rend compte de la diminution de l'intensité de l'infiltration. Avant l'apparition du ruissellement, la croûte structurale se met en place, La phase de diminution rapide de l'infiltrabilité du sol correspond à la transformation de croûte structurale en croûte d'érosion. Enfin, lorsque la croûte d'érosion est bien individualisée, l'intensité d'infiltration se stabilise (Poss et *al.*, 1989).

b/- La stabilité structurale

C'est l'aptitude de la structure à résister à la désagrégation lors de l'impact des gouttes de pluies sur le sol, qui exprimé par l'indice d'instabilité structurale de Henin et Monnier (1956). Cet indice a permis la mise en évidence du rôle de la pédogenèse sur la sensibilité à la désagrégation. Elle découle, en effet, de la granulométrie, de la minéralogie des argiles et de leur garniture cationique. Les sols à texture limoneuse sont instables, mais les sols argileux sont les plus stables. La présence d'argile a une influence négative sur la résistance des agrégats du fait de leurs propriétés de gonflements à l'eau.

$$IS = \frac{A + LF}{\left(\frac{\sum A_{gi}}{3}\right) - 0,9s_g}$$

IS : Indice d'instabilité structurale

A+LF : Fraction fine (Argile + limon fin), diamètre < 0,02 mm

A_{gi} : taux d'agrégats stable < 2000 μ, obtenus après différents prétraitements.

S_g : Pourcentage de sable grossier > 200 μ.

Les valeurs d'Is sont habituellement indiquées en notion logarithmique, Monnier et Stengel (1982) se sont basés sur cet indice en donnant les qualifications des sols suivants :

Qualification du sol	Valeurs I ₀ (I ₀ = Log ₁₀ Is)
Très stable	< 1
Stable	1,0 à 1,3
Stabilité médiocre	1,3 à 1,7
Instable	1,7 à 2,0
Très instable	> 2

c/- La granulométrie

La granulométrie est la composition d'un sol en sables, limons et argiles exprimée en pourcentage. Les sols limoneux ou limono-sableux sont très sensibles à l'érosion (Bou kheir et *al.*, 2001).

Les sols à texture plus grossière présentent une bonne résistance à l'agressivité pluviale, mais leurs horizons sableux pauvres en matière organique, se tassent et la puissance du ruissellement est comparable à celle des sols argileux (Roose, 1993).

De part ce qui a précédé, il ressort clairement que les sols sensibles sont ceux qui ont une forte teneur en limons ou de sables fins et ceux contenant peu de matière organique.

Selon Monnier et Stengel (1982) l'effet de la texture sur le régime d'infiltrabilité se traduit par l'effet de la composition granulométrique, de la répartition des classes de tailles et les arrangements des constituants. Cette caractéristique de constitution est essentielle puisqu'elle détermine en grande partie le régime de circulation et de rétention en eau et de la cohésion à l'étal humide (Le Bissonais, 1988).

d/- La nature minéralogique

La nature minéralogique des constituants et en particulier la phase argileuse détermine le potentiel de gonflement (Monnier et Stengel, 1982).

Les argiles gonflantes présentent une plus forte sensibilité à la dispersion par liquéfaction et fissuration que les argiles peu gonflantes.

La résistance du sol croit avec l'augmentation de sa cohésion à l'état humide, sa teneur en argile et sa compacité (Lyle et Smerdon, 1959).

Parmi les éléments qui assurent la stabilité des agrégats citons le Fer (Farres et *al.*, 1985). Le calcium sous forme de carbonates est moins efficace que le gypse. Quant au magnésium, son action s'avère néfaste lorsqu'il excède 50 % des bases totales (Collinet, 1988). En Algérie, les sols riches en argiles saturées en calcium résistent à la battance, mais restent très sensibles au ravinement (Morsli, 1996).

Des teneurs en sodium échangeable supérieure à 15-20 % facilitent la dispersion des argiles et donc la formation des croûtes de surface.

Des études sous pluies simulées ont montré une forte réduction du taux d'infiltration final jusqu'à des valeurs inférieures à 1mm/h, due à l'augmentation du taux de sodium dans le sol.

La stabilité des agrégats du sol, dépend du type d'argile et sa saturation en calcium. La montmorillonite qui forme des agrégats très stables, résiste plus que la kaolinite (Morgan, 1986 in Bou kheir et *al.*, 2001).

De nombreux travaux ont montré que la conductivité hydraulique est influencée par la concentration saline et le taux de sodium échangeable, l'intensité de leur variation dépend de la nature de la fraction argileuse du sol (Mcneal, 1968 ; Quirck, Rwanika, 1991 in Saidi, 1993).

e/- La matière organique

La matière organique forme avec l'argile le complexe argilo-humique, sous forme de ciment qui favorise l'agrégation des particules entre elles, donc la matière organique augmente la stabilité structurale dans le sol, dans ce cas le sol résiste mieux contre l'érosion. Comme agent hydrophobe, la matière organique agit essentiellement sur la mouillabilité du sol et diminue les risques d'éclatement lors de l'humectation (Le Bissonnais et *al.*, 1993).elle freine le développement de croûtes de battance et améliore la résistance au détachement par l'effet splash (Roose, 1994)

Les matières organiques ont une influence positive sur la stabilité structurale. Cette influence est liée à la fois à la quantité, à la nature et à la localisation des matières organiques à la périphérie des agrégats (Monnier, 1965 ; Monnier et Stengel, 1982).

L'effet de la matière organique sur la stabilité structurale ne devient sensible que pour des teneurs très élevées (3 à 4%) très supérieures aux teneurs habituelles de (1,5 à 1,8%). En fait, un engrais vert

n'est utile que si le développement végétal est assez rapide pour protéger la surface du sol avant que la croûte sédimentaire ne soit généralisée et que la rugosité ait disparue (tableau n° IV).

Tableau n° IV: Exemple d'interaction : texture-matière organique sur la stabilité structurale.

Sol	Teneur en argile (%)	Teneur seuil MO (%)	Stabilité d'origine texturale	Stabilité en présence de matière organique			
				1% MO	2% MO	3%MO	4% MO
SL	8	1,05	Passable	Stable	Très stable	Très stable	Très stable
L	15	1,75	Très instable	Très stable	Très stable	instable	Passable
L.A	25	1,75	Instable	Instable	Passable	passable	Passable
A.A	50	3,5	Stable	Stable	Stable	Stable	Très stable

Monnier et Stengel (1982).

La diminution du taux de matière organique lors de la mise en culture, qui entraîne une baisse de la stabilité structurale des agrégats, provoque une modification de l'organisation du système poral des horizons superficiels et l'apparition des pellicules à la surface du sol sous l'effet de l'impact des gouttes de pluie (Poss et *al.*, 1989).

Selon Bou kheir et *al.* (2001), les sols méditerranéens contiennent peu de matière organique du fait de l'instabilité du climat ; Ce qui traduit leur grande susceptibilité à l'érosion.

A partir de ce tableau, on remarque que les textures argileuses sont les plus stables et que cette stabilité augmente avec la teneur en matière organique; les textures limoneuses sont les plus susceptibles à la désagrégation, il ressort aussi que leur correction nécessite de grandes quantités de matière organique. Les textures sablo-limoneuses retrouvent une bonne stabilité structurale quand la matière organique augmente.

f/- Les oxydes et hydroxydes de Fer

Plusieurs travaux ont trouvé une corrélation positive entre les sesquioxydes et la stabilité structurale des sols (Trott et Singer, 1983, cité par Le Bissonnais et Le Souder, 1995).

Ces oxydes et hydroxydes peuvent agir comme flocculants en établissant des ponts entre argiles et polymères ou comme ciment après avoir précipité sous forme de gel sur les surfaces des argiles. La cohésion qui en résulte augmente la résistance à l'éclatement et à la désagrégation mécanique. Leur effet dépend du pH des sols et il peut induire dans certains cas des agrégats très résistants et des sols très peu érodibles (Le Bissonnais et Le Souder, 1995).

g/- Le calcaire (CaCo3)

L'effet du CaCo3 sur la stabilité structurale et l'infiltration ou l'érosion n'est pas bien étudié (Le Bissonnais et *al.*, 1993), n'ont observé aucun effet du CaCo3 sur le taux d'infiltration sous pluies simulées. Cependant, Merzouk et Black (1991) ont trouvé que le CaCo3 est un meilleur paramètre de l'érodibilité des sols. Cependant, l'effet dépend probablement de la distribution de la taille de ses particules ainsi que de la présence d'argile (Le Bissonnais et *al.*, 1993).

h/- Aptitude à la fissuration

Cette propriété exprime l'aptitude intrinsèque d'un matériau à se fragmenter sous l'effet des alternances humectation dessiccation (Monnier et Stengel, 1982).

i/- la battance

C'est la dégradation de la structure du sol liée à l'action des gouttes de pluies, la surface passe d'un état fragmentaire, poreux et meuble à un état compact. La battance traduit la sensibilité des sols à la fermeture de la porosité, formant une croûte superficielle qui colmate la surface du sol et réduit l'infiltration des précipitations

La formation d'une croûte superficielle est le résultat de la dégradation de la surface du sol. Une telle dégradation de la surface se produit sous l'action battante des gouttes de pluie ou par suite de la liquéfaction ou de la dégradation du matériau lors du mouillage. Elle est exprimée par l'Indice de battance de Boiffin (1984).

$$IF = \frac{1,5 \text{ Limons fins} + 0,75 \text{ Limons grossiers}}{\text{Argile} + 10 \text{ Taux de matière organique}} - C$$

Si PH > 7, C = 0,2

Si PH < 7, C = 0

La battance se traduit par le colmatage, souvent visible à l'œil nu, de la porosité de la partie superficielle du sol, qui s'oppose à l'infiltration de l'eau, à la circulation de l'air, et favorise l'érosion hydrique. La stagnation anormale d'eau, la présence d'une fine croûte sont des indices de battance. En plus, ce phénomène freine l'alimentation en eau et la respiration du sol, au détriment de leur vie biologique et de leur productivité. Elle augmente et contrarie la levée des plantules après la germination.

L'étude de la formation des croûtes de battance a été abordée par différentes méthodes sous pluie naturelle ou simulée. Ces études avaient pour but de décrire les déterminismes et les mécanismes de la formation des croûtes de battance sous l'impact des gouttes d'eau et de les relier aux processus d'érosion. Sur le terrain, Boiffin (1984) a mis au point une méthode originale d'observation de la surface du sol. Des méthodes indirectes visant à déterminer certaines des propriétés des croûtes de battance, comme la mesure de la résistance mécanique du sol ou bien la mesure d'infiltration de

l'eau dans le sol, sont aussi employées. Cette dernière méthode (mesure de l'infiltration) consiste à évaluer au cours d'une pluie d'une intensité fixe, l'infiltrabilité d'un sol. Cette infiltrabilité diminue au fur et à mesure des pluies jusqu'à atteindre une valeur constante à cause de la dégradation de la surface du sol.

Une estimation du risque de battance (R) peut être obtenue en considérant le rapport donné par Rémy et Marin-Lafleche (1974) :

Risque de battance (R) : $R > 2$: sol très battant, R entre 1,8 et 2 : sol battant

R entre 1,6 et 1,8: sol assez battant, R entre 1,4 et 1,6 : sol peu battant et $R < 1,4$: sol non battant

1.5.2.2- les propriétés mécaniques

a/- Limites d'Atterberg

Cette méthode est applicable pour les sols cohérents à grains fins tels que les argiles.

Atterberg a pratiqué cette technique pour déterminer les états de consistance d'un sol, le domaine d'application pour classer les sols et étudier le compactage.

En mécanique des sols on appelle cohésion l'aptitude que possède un sol à maintenir ses grains reliés les uns aux autres. Les sols doués de cohésion sont appelés sols cohérents. Les sols qui n'ont pas de cohésion (ou qui ont très peu de cohésion) sont appelés grenus ou pulvérulents. Le sable est un exemple de sol pulvérulent, l'argile est un exemple de sol cohérent.

Le comportement des sols pulvérulents est quasi-indépendant de leur teneur en eau. Par contre lorsque le sol est cohérent, la teneur en eau joue un rôle fondamental dans le comportement de ce sol. Les sols cohérents forment des pâtes dans lesquelles les grains sont reliés les uns aux autres par les forces de cohésion dues à la présence de l'eau absorbée. Pour ces sols, en fonction de l'abondance de l'eau le sol aura une consistance liquide lorsqu'il contient beaucoup d'eau, il aura la consistance pâte à des teneurs en eau modérées et prendra la consistance solide à faible présence d'eau.

A l'état liquide, les grains du sol sont indépendants et ne se touchent pas. Leurs mouvements relatifs sont très aisés.

A l'état plastique, les grains se sont rapprochés et ont mis en commun leur eau absorbée qui agit comme un sachet en plastique dans lequel les grains peuvent se mouvoir sans s'écarter.

A l'état solide les grains sont maintenus serrés par une grande force de cohésion en chassant l'eau absorbée.

Par humification (augmentation de la teneur en eau) ou par séchage (diminution de la teneur en eau) le sol cohérent passera d'un état de consistance à un autre de manière progressive.

Néanmoins Atterberg, a défini en 1911, des teneurs en eau limites qui séparent le passage du sol d'un état de consistance à un autre. Ces teneurs en eau sont appelées limites de consistance ou limites d'Atterberg.

La consistance d'un sol varie de façon continue selon la teneur en eau, le sol passe successivement de l'état solide à l'état plastique puis à l'état liquide (Figure n° 11).

Grâce à l'appareil de Casagrande ; permet de mesurer de la limite de liquidité.

a.1/- Limite de liquidité W_L

Définit la teneur en eau limite qui sépare le passage du sol de la consistance plastique à la consistance liquide.

a.2/- Limites de plasticité W_P

Définit la teneur en eau limite qui sépare le passage du sol de la consistance plastique à l'état solide friable. Ces teneurs en eau limites sont déterminées expérimentalement sur la fraction du sol qui passe au tamis 0,4 mm: On exprime l'étendue du domaine de plasticité ; l'étendue des teneurs en eau pour lesquelles le sol garde une consistance plastique par un paramètre ; l'indice de plasticité qu'on note I_p , est défini comme la différence entre la limite de liquidité et la limite de plasticité.

Tableau n° V: classification des sols selon l'indice de plasticité.

Indice de plasticité	Degré de plasticité
$0 < I_p < 5$	Non plastique (l'essai perd sa signification dans cette zone de valeurs)
$5 < I_p < 15$	Moyennement plastique
$15 < I_p < 40$	Plastique
$I_p > 40$	Très plastique

L'Indice de plasticité selon la texture des sols :

Argile $I_p > 30$

Argile limoneuse $20 < I_p > 30$

Limon $10 < I_p > 20$

Sable argileux $5 < I_p > 20$

Sable limoneux $5 < I_p > 15$

Plus l'indice de plasticité est élevé plus le sol est sensible aux effets de gonflement par l'humification (ou de retrait par dessiccation)

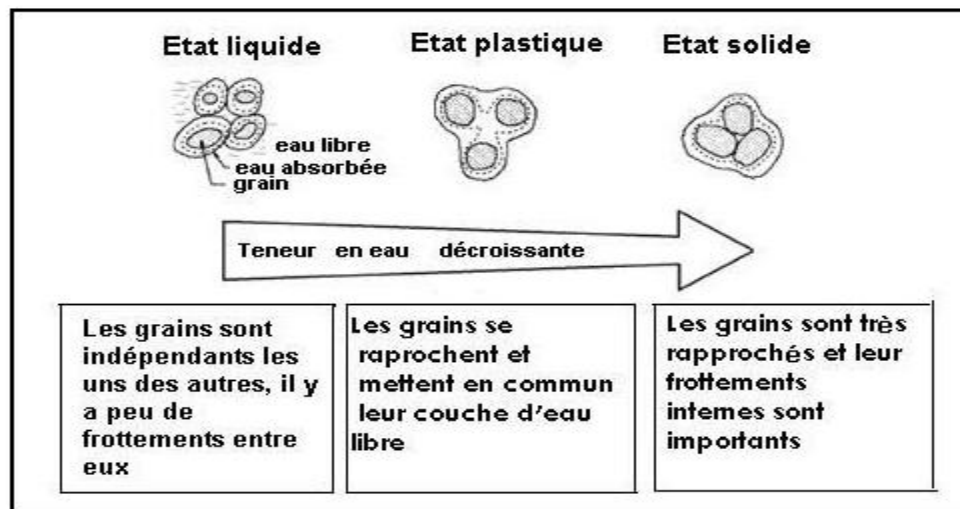


Fig. 11: Variation de la consistance d'un sol selon la teneur en eau.

b/ - Résistance au cisaillement

Dans un massif de sol, les déformations résultent principalement d'un glissement des particules, mais ce mécanisme est différent suivant qu'il s'agit d'un matériau cohérent ou pulvérulent. Une faible cohésion du sol induisant une forte susceptibilité au détachement et au mouvement de masse peut être à l'origine d'une forte érodibilité.

Par définition, la résistance au cisaillement d'un sol est la contrainte de cisaillement dans le plan de rupture, au moment de la rupture.

L'essai de cisaillement à la boîte est destiné à évaluer les caractéristiques mécaniques d'un sol (naturel reconstitué ou artificiel), c'est-à-dire la cohésion (C) et l'angle de frottement interne (φ), dont la dimension maximale des grains est définie par la dimension de la boîte

- $d_{\max} \leq 5$ mm dans le cas de la boîte de 60 mm de côté,
- $d_{\max} \leq 8$ mm dans le cas de la boîte de 100 mm de côté.

b.1/- Essai de cisaillement rectiligne

L'appareillage est constitué de deux demi-boîtes métalliques rigides de section (S) circulaire (cisaillement annulaire) ou carré pouvant glisser l'une par rapport à l'autre selon un plan horizontal. La demi-boîte inférieure est entraînée par un chariot à vitesse constante, la demi-boîte supérieure est reliée à un bâti fixe par l'intermédiaire d'un anneau dynamométrique.

Un échantillon de sol est placé à l'intérieur des deux demi-boîtes, entre deux pierres poreuses permettant éventuellement un drainage, et est soumis à une force normale (N) de compression verticale à l'aide d'un système de bras de levier, qui transmet l'effort exercé par des charges placées sur le plateau, l'échantillon se trouve cisailé suivant un plan imposé horizontal par une force de cisaillement (T). L'effort de cisaillement T est lu sur l'anneau dynamométrique.

On notera que l'on a affaire à une sollicitation mixte :

- On impose une contrainte normale à l'échantillon (N),
- On impose également une vitesse de cisaillement dite vitesse de déformation.

Deux comparateurs pour mesure les déformations verticales (Δh) et horizontales (Δl) de l'échantillon, qui permet ainsi de mesurer les variations de volume de l'échantillon.

Dans le plan de cisaillement imposé (annulaire ou rectiligne) les contraintes sont données par

Contrainte normale (constante) : $\sigma = N/S$

Contrainte tangentielle (variable de zéro à la valeur de rupture) : $\tau = T/S$

Pour une valeur fixe de la contrainte normale et de la vitesse de cisaillement, on enregistre une variation de (τ) en fonction de la déformation ($\Delta l/l$) au cours du cisaillement. Deux types de courbes peuvent être observés suivant la nature et la compacité initiale du sol (courbe représentant un pic ou courbe sans pic)

La contrainte de cisaillement est celle donnée par rupture.

La détermination de contrainte σ et τ lors de la rupture permet de préciser un point de courbe intrinsèque du sol étudié. On répétant l'essai 3 et 4 fois (on faisant varier la contrainte normale de compression σ) on obtient la courbe intrinsèque d'équation :

$$\tau = C + \sigma \cdot \text{tg}(\varphi) \text{ loi de Coulomb.}$$

CHAPITRE II

CARACTERES PHYSIQUES DU MILIEU

2.1. Situation géographique du Tell oranais

Le Tell oranais est un grand ensemble du Tell occidental (figure n°12). Il est situé dans la partie occidentale de l'Algérie. Il est limité au Nord par la Mer Méditerranéenne, à l'Est par les Monts du Dahra et le massif de l'Ouarsenis, au Sud par la limite septentrionale des Hauts plateaux et à l'Ouest par la frontière Algéro-Marocaine.

2.2- Caractères généraux du Tell oranais

2.2.1- Géomorphologie

Le Tell oranais est appuyé sur les massifs occidentaux de l'Atlas tellien, au Sud-Ouest les monts de Tlemcen qui atteignent 1800 m, à l'Est les contreforts précédant l'Ouarsenis. L'Oranie nord-occidentale est constituée par une série de plateaux peu élevés. Ces plateaux de Tlemcen, Sidi Bel-Abbès et Mascara, sont coupés par les vallées de la Tafna et de l'Isser, du Sig, de l'Habra, de la Mina, se prolongent jusqu'à la Méditerranée par des plaines littorales ou sub-littorales d'importance inégale, Ce sont la plaine étroite de Maghnia, la plaine d'Oran et de la Mléta, en partie occupée par le lac salé de la grande Sebkhia, la plaine de Mohammadia (anciennement Perrégaux), celle de Relizane et du Bas-Chélif. Un cordon de basses montagnes, entr'ouvert seulement à Oran et à la Macta, sépare ces plaines du littoral. Ce cordon est constitué des massifs des Traras, du Murdjadjo, le chaînon de Bel Hacel, extrémité sud-occidentale du Dahra (Aubert et Monjauze, 1946).

2.2.1.1- Altitudes

Le Tell oranais est constitué d'unités topographiques hétérogènes :

Les reliefs des chaînes littorales du secteur d'Oran présentent des altitudes qui varient de 150 à 616 m comme le djebel Kahar (Montagne des lions).

Le massif de Djebel Murdjadjo (624 m) se trouve à l'ouest d'Oran et le Djebel Douze se situe entre Oran et Arzew. A l'Est, le puissant massif des Traras, Djebel Filhaousen à 1136 m, les monts de Tessala atteignant 1051 m.

Les monts des Beni Chougrane culminent à 910 m d'altitude, couvrent une superficie de 330 000 ha, traversent aussi les wilayates de Mascara (60 %), de Sidi Bel Abbés (20 %) et de Relizane(20 %),. En ce qui concerne les monts de Frenda, de Saida, de Dhaya et de Tlemcen se trouvent dans le même transect Est-Ouest (Tinthoin, 1948).

2.2.1.2- Expositions

Conjuguée à une altitude importante du point de vue impact sur les précipitations et la brise marine, l'exposition a un effet sur les conditions écologiques du Tell oranais. Le versant sud souffre d'une sécheresse prolongée et de sols relativement dégradés.

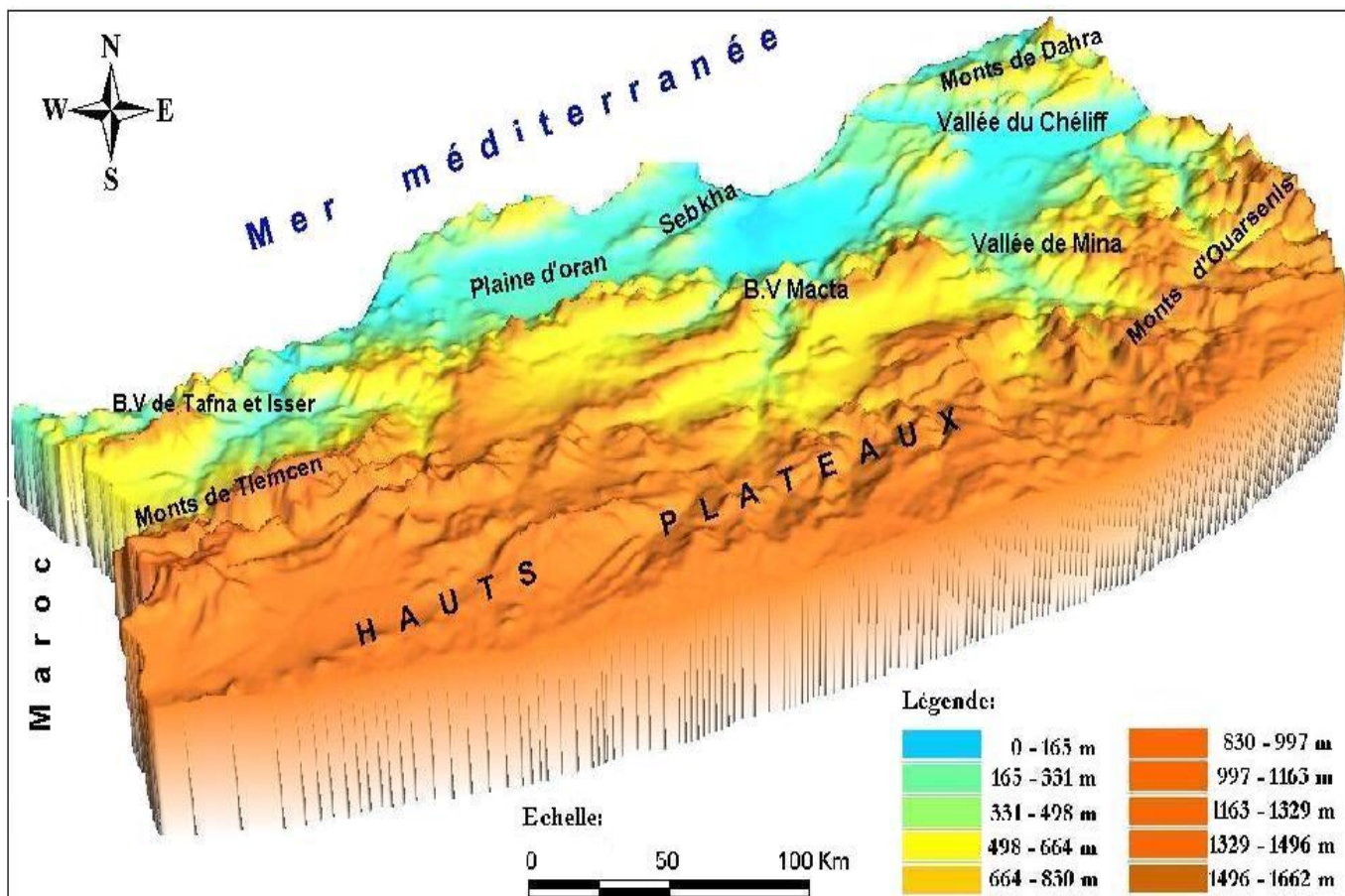


Fig. 13: Principales unités morphologiques du Tell oranais

En effet, Le versant nord bénéficie de conditions climatiques et édaphiques plus clémentes, une brise marine avec ses effets adoucissants en été, une faible évaporation, des sols relativement équilibrés et une pluviométrie intéressante.

Le Tell oranais est caractérisé par un certain nombre de versants de forme concavo-convexe (figure n°13). Selon Halitim (1988) et Benchetrit (1972) le Tell oranais est partagé en plusieurs unités géomorphologiques qui va du Nord vers le Sud:

- Le Sahel avec des altitudes varient de 300 à 500 m
- Les basses plaines caractérisées par des altitudes varient de 40 à 100 m
- L'Atlas plissé: de 600 à 1000 m.
- Les Hautes plaines Telliennes : de 600 à 1000 m
- L'Atlas tabulaire : de 900 à 1843 m.
- Les Hauts plateaux: 1000 à 1616 m.

2.2.1.3- Dépressions

a - Sebkha d'Oran

Elle est située à quelques kilomètres de la mer (figure n° 16). Elle a la forme d'une lentille allongée d'environ 45 km de long sur une largeur maximale de 12 km. C'est une dépression fermée, limitée au Nord par le massif du Murdjadjo dont l'altitude maximale est de 589 m, au Sud par le massif de Tessala dont l'altitude maximale est de 1061 m. Elle est constituée d'un terrain halomorphe, formé d'alluvions récentes (lagune sub-fossile), alimentée par les eaux de ruissellement du bassin hydrographique et une nappe phréatique salée, peu profonde, dont le niveau fluctue au cours des saisons. Les bordures de cette Sebkha, sont formées de limons argilo-sableux ou de marnes rouges dessinant souvent un décrochement brusque de la ligne de pente des terrains récents sur les rives même du lac. Ils reposent sur des terrains miocènes marneux ou calcaires karstiques.

La sebkha est formée par une mince pellicule d'eau dépourvue de végétation à l'intérieur. Autour de la sebkha subsiste une végétation halophile composée de *Sueada* sp de *Juncus* sp et de petites touffes de *Chamaerops humilis* et de quelques rares spécimens de *Tamarix*. Les terres avoisinant la grande Sebkha sont utilisées par l'agriculture. Les bassins versants sont occupés par des forêts de pin d'Alep, d'Eucalyptus, de chêne liège et de Thuya.

2.2.2- Géologie

La géologie et la lithologie constituent une donnée importante pour la connaissance du milieu. Il nous a paru utile d'indiquer la part attribuée aux différentes formations géologiques comme source de matériau alluvionnaire et comme roche mère.

Le Tell oranais présente une grande hétérogénéité dans le secteur Nord, Contrairement au secteur sud beaucoup plus homogène. Au Nord, on rencontre des grès pliocènes assez résistants, alors qu'au Sud des calcaires dolomitiques durs du Jurassique supérieur. La majorité des sols se sont formés sur les schistes marneux du Crétacé supérieur, des marnes éocènes et miocènes, du calcaire tendre à Lithothamnium et des sables pliocènes ou quaternaires, tous sédiments aisément affouillables par les eaux s'ils sont en pente et dans tous les cas cédant facilement aux influences éoliennes (Aubert et Monjauze, 1946).

Le Tell oranais est caractérisé par une topographie assez simple et régulièrement ordonnée, s'organisent de part et d'autre d'une ligne qui forme une sorte de dorsale :

La série de chaînons de l'Atlas Tellien ;

La série des basses plaines : de M'leta à l'Ouest et de Habra à l'Est ;

La série des hautes plaines : de Sidi Bel-Abbès à l'Ouest et ceux de Ghriss à l'Est (Benchetrit, 1972).

Dans le secteur littoral, le Dahra occidental s'étend de l'embouchure du Chélif au cap de Ténès, structurellement le Dahra est un terrain post nappe constitué par la Néogène marin du bassin du Chélif (Anderson, 1936 in Benchetrit, 1972).

Le Bas Chélif est une plaine d'alluvions quaternaire. Elle est ceinturée par les piémonts du Dahra au nord et de l'Ouarsenis au sud de l'âge Miocène et Pliocène (tertiaire), qui lui fournissent un matériau pour l'érosion. Le lit de l'oued Cheliff qui traverse la plaine du bas Cheliff, constitue le fond du bassin d'accumulation. Les alluvions sont constituées essentiellement par des matériaux récents originaires des bassins versants du Cheliff, dominés par des schistes et des marnes du Miocène, souvent riches en sels (figure n° 14).

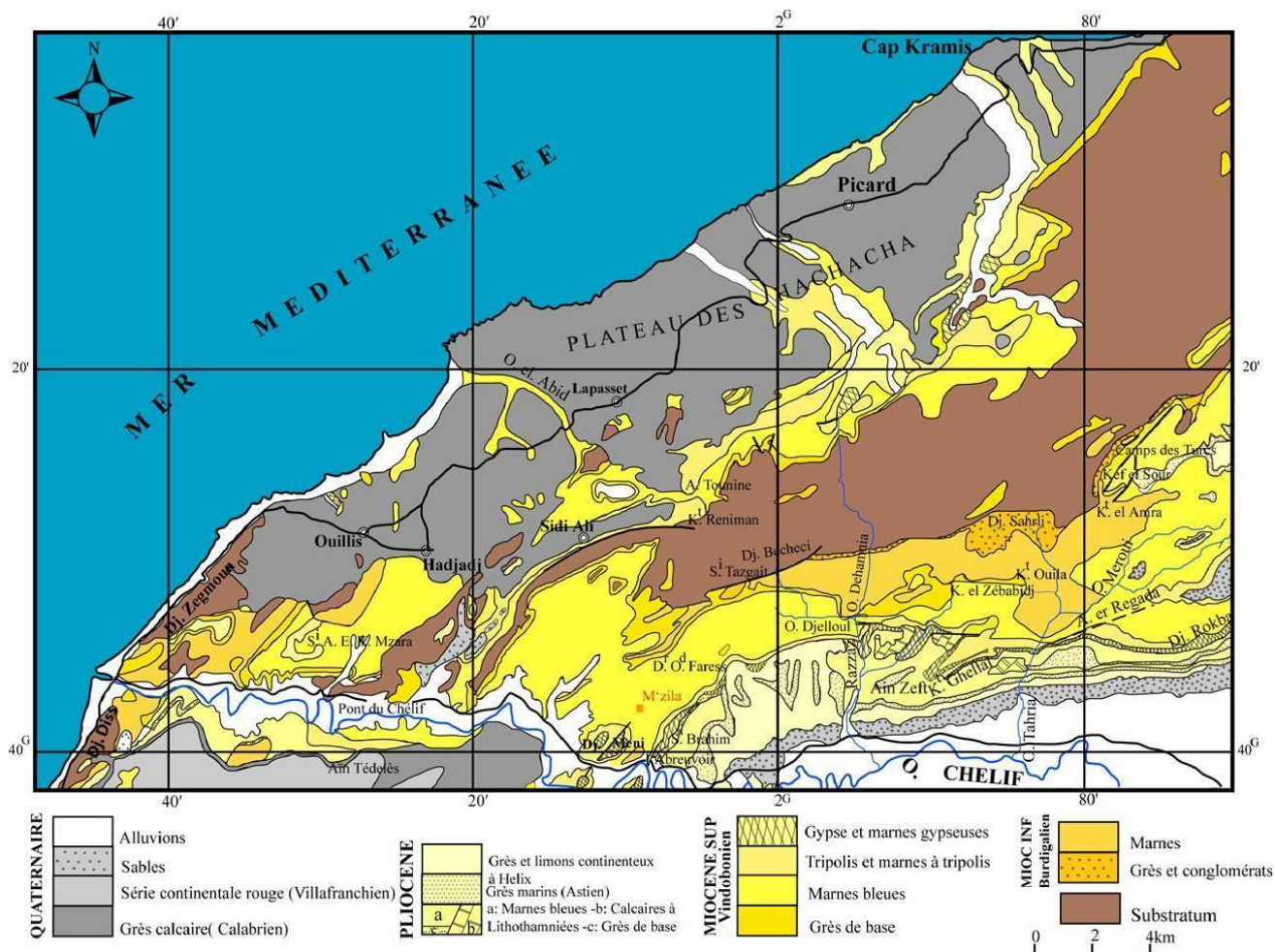


Fig. 14: Substrat géologique de la plaine du bas Chélif (Bachouche, 2010)

Des chaînes littorales du secteur d'Oran, s'élèvent surtout du Jurassique et du Crétacé avec schistes, quartzites et calcaires néocomiens.

Dans le massif des Traras, se trouvent des schistes broussailleux et les monts de Tessala sont constitués de l'éocène nummulitique avec des tâches du crétacé supérieur. Les formations géologiques prédominantes de Tessala sont les marnes, les argiles et les grès tendres du Néogène sur les marnes et les calcaires marneux du Paléogène et du Crétacé, ces formations sont diversifiées et chaque unité topographique est caractérisée par des formations d'âge et de structures différentes (Dellaoui, 1952).

Le bassin versant d'Isser est constitué de trois grands ensembles lithologiques : les formations du quaternaire, les formations du plio-quaternaire comme les formations plio-villafranchiennes, les alluvions pliocène et le tertiaire, le miocène moyen est constitué essentiellement par une épaisse série d'argiles marneuses grises ou bleutées dont la masse devient ocres par altération (Chebbani et Belaidi, 1997). Les monts de Tlemcen relèvent essentiellement du jurassique supérieur ou moyen et les monts de Beni Chougrane présentent des couches argilo-marneuses de calcaire miocène au centre et une longue bande de crétacé inférieur et du nummilitique fortement redressés, culminant au nord (Djebel chareb-Rih), (Morsli, 1996).

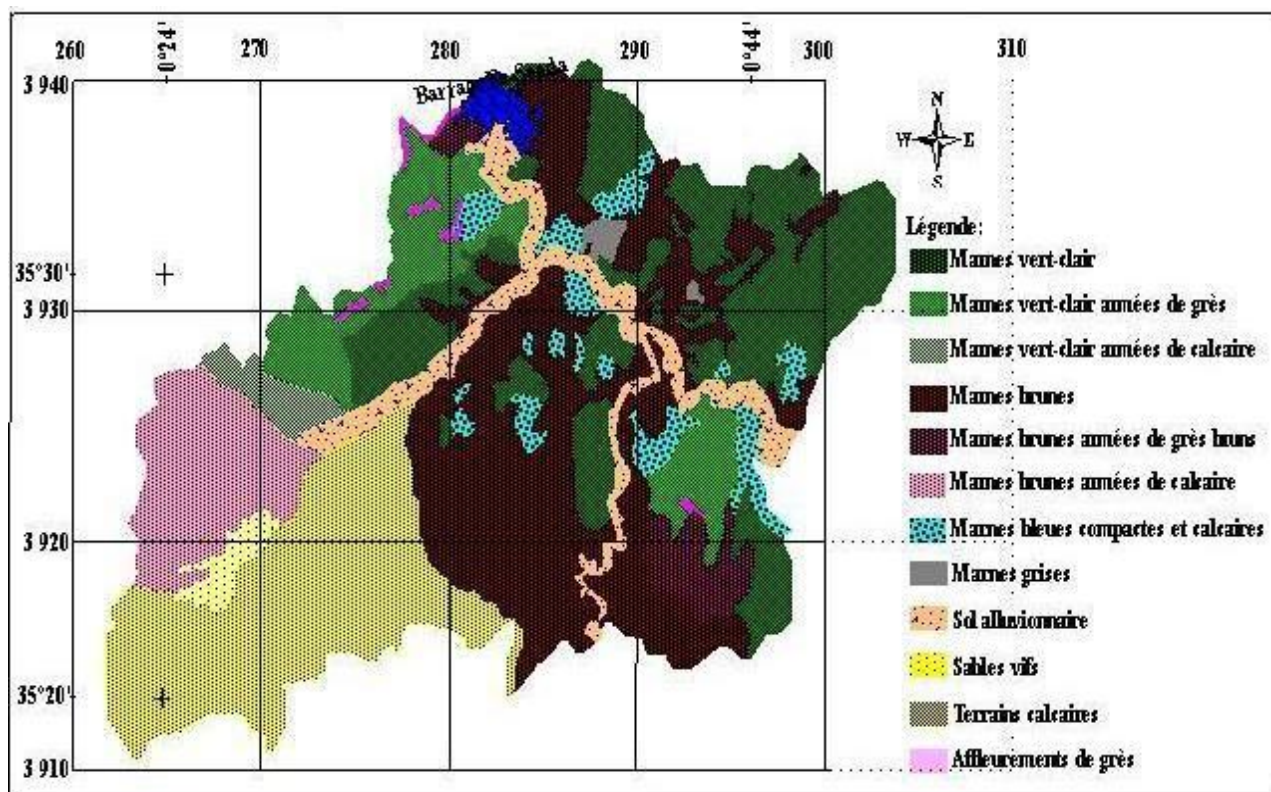


Fig. 15: Carte des types de marnes de la partie occidentale du bassin versant d'oued Mina (Kouri, 1993)

Les monts de Dhaya sont dominés par le crétacé inférieur avec de grès –calcaires néocomiens.

Les monts de Saida, Tlemcen et Dhayas constituent ce que l'on appelle l'Atlas tabulaire, ce dernier sépare les hautes plaines steppiques par les hautes plaines telliennes (Alcaraz, 1982).

Cette grande diversité sur le plan géologique joue un rôle capital dans la détermination et l'explication du processus d'érosion (figure n° 15).

2.2.3. - Hydrographie

C'est l'ensemble des rivières et autres cours d'eau permanents ou temporaires ainsi que les lacs et les réservoirs existants dans la région.

Un bassin versant est une zone dans laquelle toutes les eaux s'écoulent vers une même voie de drainage ou nappe, réunies par le système de rigoles, de fossés, de canaux et de nappes, les ressources en eaux superficielles sont constituées par les cours d'eau et les accumulations, ces eaux déversent dans un cours d'eau dans les retenues collinaires ou dans la mer (Topper et al., 1985).

2.2.3.1. - Cours d'eau

Le versant du Tell n'a pas de fleuves proprement dits, mais des cours d'eau torrentiels démesurément grossis en hiver et plus ou moins à sec en été. Ces cours d'eau ont une pente extraordinaire, Ils traversent les différentes arêtes longitudinales du Tell dans des gorges étroites et profondes où ils bondissent de cascade en cascade et où il est souvent facile, par des barrages, de retenir leurs eaux. Ces cours d'eau s'appellent des oueds.

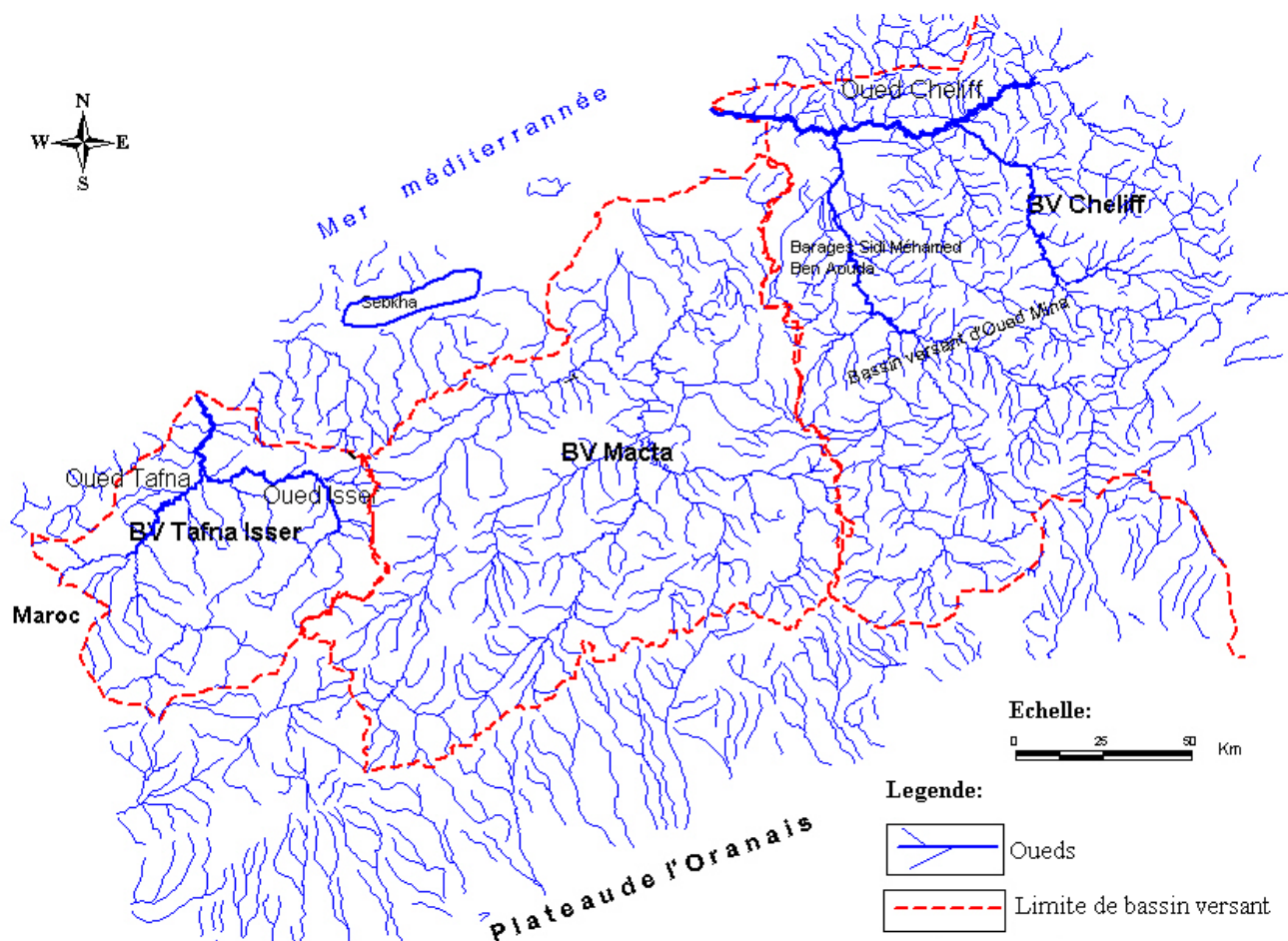


Fig. 16: Réseau hydrographique du Tell oranais

Le réseau hydrographique très dense et mal maîtrisé constitue une menace potentielle sur la région notamment en matière de transport de sédiments, d'envasement des barrages et d'inondation des zones en aval

Les principaux cours d'eau du Tell sont, en allant du Sud au Nord (figure n°16): la Tafna, grossie de l'Isser occidental; le Rio Salado, au Sud-Ouest de la sebkha d'Oran; la Macta qui naît d'un marais où viennent se joindre le Sig et l'Habra ou oued-el-Hammam, et a son embouchure au fond de la baie d'Arzew.

Tableau n° VI: Transport des sédiments de quelques Oueds dans le Tell oranais.

Références Auteurs	Oueds	Stations	Superficies (km ²)	Pluie mm/an	Ecoulement (mm/an)	Concentration (g/l)	Erosion T/m ³ /an	Lithologie Dominante
Thevenin	Cheliff	Ghrib	2000	-	-	20,0	1500	Marne
Demmak	Cheliff	Ghrib	2000	-	-	-	1700	Marne
Tixeront	Cheliff	Ghrib	22300	381	6,2	30,3	188	Marne
Licitri	Cheliff	Ghrib	23300	345	6,4	26,6	170	Marne
Thevenin	Fergoug	Barrage	-	-	23	1,6	37	-
Demmak	Hammam	Zit Emba	485	594	74113	2,7	197	Grés
Tixeront	Hammam	3 Rivières	7605	-	19	1,4	26	Cal, Grés
Licitri	Hammam	3 Rivières	7600	445	19	1,4	26	Cal, Grés
Tixeront	Hammam	B. Hanifa	7854	418	18	5,0	89	Cal, Grés
Licitri	Hammam	B. Hanifa	7850	445	18	9,4	174	Cal, Grés
Tixeront	Meffrouche	Tlemcen	90	675	218	0,1	25	Calcaire
Licitri	Mekerra	Chanzi	1850	394	13	2,3	30	Calcaire
Licitri	Mekerra	S.B-Abbés	3050	493	10	1,2	12	Marno.cal
Tixeront	Mina	Bakhada	1300	483	52	2,7	139	Calcaire
Licitri	Mina	Bakhada	1300	500	55	5,6	310	Calcaire
Tixeront	Mina	A.Amara	5460	-	37	4,0	149	Calcaire
Licitri	Mina	A.Amara	5460	435	37	4,1	150	Calcaire
Tixeront	Tafna	B.Bahdel	1016	542	78	3,4	264	Calcaire
Licitri	Tafna	B.Bahdel	1016	555	75	3,5	260	Calcaire
Tixeront	Tafna	B.Rhara	4400	486	31	3,6	113	Calcaire
Tixeront	Tafna	R. du chat	6900	-	41	3,5	145	Calcaire
Licitri	Tafna	R. du chat	6900	496	40	3,6	145	Calcaire
Tixeront	Yesser	Remchi	1860	499	59	-	-	Calcaire
Licitri	Yesser	Remchi	1860	544	85	6,2	520	Calcaire
Demmak	Yesser	Remchi	1935	486	59	2,0	116	Calcaire

Demmak, (1982)

D'après Demmak (1982), sur une superficie de 2000 km², avec une précipitation ne dépassant pas 400 mm, la quantité de sédiments des sols marneux transportés par les écoulements d'oued Chélif vers le barrage de Ghrib est de 1700 T/m³/an, par contre sur une superficie de 1300 km², avec une précipitation de 483 mm, la quantité de sédiments des sols calcaires transporté par les écoulements d'oued Mina vers le barrage de Bakhada est de 139 T/m³/an, dans ce cas, l'érosion hydrique cause plus de dégâts dans les zones marneuses que dans les zones calcaires.

Le tableau n° VI, montre que l'érosion hydrique dans le Tell oranais est plus active dans les substrats marneux que dans les substrats calcaires, les sédiments transportés sont très élevés sur sol marneux, malgré la faible quantité de pluie. Alors que dans le substrat calcaire sur une superficie beaucoup plus large avec des précipitations très importantes, le transport solide reste faible.

2.2.4 - Pédologie

L'interdépendance du climat et de la géologie de la région du Tell oranais a favorisé l'apparition de sols diversifiés.

Les types de sols d'Algérie sont multiples et variés. Certains travaux menés par Halitim (1988) ont permis de déterminer les différents types de sols, leurs caractéristiques essentiels et de situer leur importance dans la zone algérienne méditerranéenne.

Les principales unités pédologiques caractérisant les sols du Tell oranais sont décrits ci-dessous:

a - Sols calcaires

Ce sont des sols très répandus dans la région, on les trouve dans deux oueds : Tafna et Mouilah, dans les Monts de Traras et sur les piedmonts Nord des monts de Tlemcen, dans Beni-Chougrane et les hauts plateaux.

b - Sols bruns calcaires

Ce type de sol se rencontre sur un substratum formé de marne, marne calcaire et marne argileuse. Ils sont dominants dans les bassins d'oued Mina (figure n°14) et les Monts de Tessala est surtout les rendzines qui caractérisent aussi les monts de Beni Chougrane (Morsli, 1996).

c - Sols calciques

Ces sols sont localisés le long de la vallée de l'oued Mouilah et celle de la Tafna. Ils se sont formés aux dépens des sédiments caillouteux des montagnes voisines.

d - Sols humifères

Ce type de sol se développe surtout sur la rive droite de l'oued Mouilah.

e - Sols alluviaux

Ce sont des sols généralement calcaires et lourds qui constituent les terrasses modernes et récentes des oueds.

f - Sols à croûte calcaire

Ils s'observent fréquemment dans les Hauts plateaux, les vastes surfaces encroûtées du quaternaire ancien et moyen attestent de l'extension considérable des sols à croûte calcaire sur des matériaux très divers : alluvions, colluvions de piedmont, calcaire lacustre, argiles sableux rouges du tertiaire continental, etc. Les croûtes sont d'autant plus épaisses et consolidées qu'elles se trouvent sur des surfaces plus anciennes et en zones plus arides.

g - Sols gypseux

Ils se trouvent dans les zones salées, il s'agit essentiellement des sols calcimagnésiques à encroûtement gypseux de surface très classique dans les zones arides en particulier les sols halomorphes (sols salsodiques).

h- Sols à sesquioxyde de fer

Ce sont des sols rouges ou bruns rouges, leur texture est en générale équilibrée et leur structure grumeleuse. Ces sols sont occupés par une grande partie de céréales, fourrages, ils peuvent représentés une grande valeur agricole.

i - Sols peu évolués

Ce sont des sols lessivés, dégradés par l'érosion hydrique, on les rencontre généralement sur des grès tendres et friables, ils occupent souvent le haut des versant sur grès. L'horizon de surface est limono-sableux, tandis qu'en profondeur, la texture est sableuse et moins riche en éléments nutritifs.

j - Vertisols

Ce sont des sols formés sur marnes de couleur noirâtre ou brun foncé, leur texture est limono argileuse et la structure est généralement grumeleuse. Les sols vertiques sont très peu perméables, une fois le profil humecté et les argiles gonflées (Roose, 1993).

k - Sols d'alluvions anciennes et récentes

Ce sont des limons plus ou moins caillouteux en profondeur et d'apports sableux et limoneux enrichis en sable. On trouve ce type de sol dans le plateau de Mostaganem (Smahi, 2001).

2.2.5. Occupation des sols

Le couvert végétal du Tell oranais, offre une série d'aspects originaux en rapport étroit avec les conditions du climat, du sol et du relief. Ces formations végétales constituent un élément important du milieu physique, d'ailleurs elle n'est que le reflet de la qualité du sol et bien sur du climat (Benabdelli, 1996). Cette végétation est actuellement très dégradées vu les changements climatiques comme la sécheresse combiné par l'action anthropozoïque.

La végétation du Tell oranais est représentée par les séries de trois essences arborescentes principales qui sont le Thuya, le Genévrier rouge et le chêne liège.

La pression anthropozoïque ouvre les formations précitées et permettent aux formations dégradées de s'imposer et d'imprimer leur physionomie à tout le paysage végétal. La transition est aussi perturbée par les reboisements massifs de pin d'Alep qui occupent une surface non négligeable dans l'aire du genévrier et du Thuya.

La modification régressive du tapis végétal dans cette région de l'Algérie laisse toujours des terres soumises aux problèmes d'érosion favorisé par la sécheresse. Sur des versants tourmentés et des pentes assez raides se trouvent ainsi réunies les conditions les plus propices au jeu de l'érosion.

La flore en Afrique du nord est très proche de celle du domaine méditerranéen d'Europe. Un recensement des espèces principales et subordonnées, en reprenant les termes de Boudy (1948), en Oranie donne la liste suivante :

Espèces arborées : *Pinus halepensis*, *Quercus suber*, *Quercus faginea*, *Pinus pinaster*, *Quercus coccifera* et *Tetraclinis articulata*.

Espèces arbustives : *Juniperus oxycedrus*, *Laurus nobilis*, *Prunus avium*, *Arbutus unedo*, *Erica arborea*, *Phyllyrea angustifolia*, *Olea europea*, *Rhus pentaphylla*, *Pistacia lentiscos*, *Pistacia therebentus* et *Ilex aquifolium*.

a- Couverts végétaux permanents

La végétation est constituée essentiellement de matorral arboré qui occupe surtout les terrains impropres à l'agriculture (sols dégradés, croûte calcaire).

Une strate arbustive caractérisée par une gamme variée d'espèces offrant un large spectre d'adaptation aux conditions du milieu et occupant le sous étage de la strate arborescente notamment: *Pistacia lentiscus*, *Quercus coccifera*, *Juniperus phoenicea*, *Olea europea*, *Ceratonia siliqua*, *Ficus carica* et *Atriplex halimus*.

a1 - Groupements des dunes maritimes

Dans le littoral méditerranéen, on trouve des formations de genévrier oxycèdre et genévrier rouge, ces espèces restent liées aux substrats sableux des dunes.

Au niveau des côtes, la végétation se répartit sur deux types de milieu:

les plages et les cordons dunaires occupés par des groupements psammohalophiles ;

- Dans les zones les plus stabilisées apparaît *Retama monosperma* qui prépare l'implantation des espèces arborescentes. On peut ainsi observer de très beaux peuplements de *Retama* près de la plage de Mostaganem et d'oued Sidi Abdellah de Ghazaouet (Alcaraz, 1977). On retrouve aussi trois espèces psammo-halophiles endémiques du littoral oranais : *Anthémis chysanta*, *Ononis antenata* et *Corynephorus articulatus*.

La végétation non halophile s'installe juste après la ceinture de végétation psammo-halophile. Elle est souvent dominée par les espèces arborescentes. Le thuya étant l'espèce la plus répandue. Il peut se mélanger à d'autres essences grâce à sa capacité de s'accommoder à différents substrats.

b – Végétation steppique

Les steppes constituent une vaste étendue couverte d'une végétation basse et très ouverte on distingue : *Stipa tenacissima*, *Lygeum spartum*, *Artemesia herba alba*, *Heliantemum hirtum*, *Stipa parviflora* et *Artrophytum scoparium*, etc. ces espèces apparaissent surtout dans les hauts plateaux steppiques, tels que Tiaret, Saida et El Aricha.

c - Les cultures pérennes et les reboisements

Avec les travaux de valorisation des terres est surtout celles des montagnes dans le Tell oranais la population trouve un gain d'intérêt pour l'arboriculture fruitière et les plantations viticoles et rustiques tels que l'olivier, l'amandier, le figuier et le vignoble.

Le pin d'Alep est le plus présent mais il est beaucoup plus artificiel. Ces reboisements, s'ils réussissent relativement bien, ne sont suivis d'aucune sylviculture. On note aussi la plantation d'arbustes fourragers tels que la luzerne, les Atriplex et le Pistachier dans les hauts plateaux.

d - Les cultures annuelles

Sur l'ensemble de la région du Tell oranais, la céréaliculture extensive est la culture la plus pratiquée. C'est une agriculture extensive et semi intensive de céréales et de culture annuelle quelque fois comme cultures intercalaires dans les parcelles d'arbres fruitiers, par ordre d'importance on distingue les petits pois, les pois chiches, les fèves, l'oignon et la pomme de terre. Elles occupent les dépressions et les zones de plaines, mais aussi fortement présentent dans les collines et sur les piémonts des versants.

2.2.6 - Les terrains nus

Il s'agit des terres entièrement dénudées et non cultivées. Ces terres existent un peu partout dans la région du Tell oranais, à cause du degré de manifestation de l'érosion hydrique (phénomène de ravinement) où les terres qui font l'objet de litige familial, les zones ensablées et les zones caillouteuses. Du fait de l'absence d'un couvert végétal permanent, au lieu de stagner et de s'infiltrer, les eaux se sont mises à ruisseler et à entraîner avec elles la terre et ses fertilisants naturels, en particulier le limon, l'argile et les matières organiques qui sont également des liants des sols fragiles (Mazour et Roose, 2002).

CHAPITRE III

ETUDE CLIMATIQUE

3.1- Le climat

Le climat est l'ensemble des phénomènes météorologiques (les températures, les précipitations, la pression atmosphérique, les vents, l'évapotranspiration, l'humidité ...etc.) qui caractérisent l'état moyen de l'atmosphère et son évolution en un lieu donné. Il est déterminé par la situation géographique et par la circulation atmosphérique. Le climat est un facteur du milieu naturel qui détermine le potentiel agricole d'une région. Par ces composantes, il influe sur le développement des plantes, la formation et l'évolution des sols. Son action est souvent défavorable dans la mesure où il peut être à l'origine de la dégradation du milieu.

Le Tell oranais est soumis à un climat du type méditerranéen caractérisé par des pluies concentrées durant la période froide de l'année. La sécheresse coïncide avec les mois chaud, c'est pourquoi on le qualifie de climat xérothermique (Greco, 1966). La hauteur des pluies augmente de l'Ouest à l'Est et diminue du Nord au Sud. L'hiver est très pluvieux et froid : les pluies tombent durant la période allant du mois d'Octobre au mois de Mai. De Juin à Octobre il ne tombe que quelques rares et courtes averses. Par contre, l'Eté est sec avec de fortes chaleurs surtout lorsque le sirocco souffle. Le vent qui domine en hiver est celui du Nord-Ouest; en Eté, la direction des courants aériens est fortement variable. C'est dans cette saison que le sirocco, vent du Sud-Est, fait sentir sa pernicieuse influence. En Eté des rosées abondantes suppléent à l'absence des pluies. La neige est rare et presque inconnue sur le littoral.

3.2- analyse du climat

L'originalité du climat de l'Ouest Algérien réside essentiellement plus dans la répartition des précipitations dans le temps et dans l'espace, ainsi qu'aux variations des températures. Les pluies sont caractérisées par une irrégularité spatio-temporelle nettement observée. Elle s'exprime par des oscillations d'une année à l'autre et d'une station à l'autre.

L'irrégularité qui caractérise les pluies nous a amené à collecter un maximum de données sur les quantités de pluies dans différentes stations et sur plusieurs années dans notre région d'étude.

En effet, nous avons rassemblé les totaux moyens annuels de pluie, de 11 stations pluviométriques pour une période de 10 ans.

3.2.1- Précipitations

La pluie est l'élément causal de l'érosion, il intervient dans les processus érosifs par son intensité, sa fréquence et sa hauteur. Djebaili (1978) définit la pluviosité comme étant le facteur primordial qui permet de déterminer le type de climat. En effet, celle-ci conditionne le maintien et la répartition du tapis végétal d'une part, et la dégradation du milieu naturel par le phénomène d'érosion d'autre part. Le Tell oranais est marquée par des conditions climatiques contraignantes ou les pluies saisonnières sont très contrastées et irrégulières. Les pluies agressives exceptionnelles qui s'abattent

sur la région en déclenchant le ravinement et le glissement de terrains, charrient d'énormes quantités de sédiments vers les réservoirs d'eau (Roose, 2004).

L'analyse des précipitations est réalisée à travers l'étude du régime annuel, mensuel, saisonnier et torrentiel.

3.2.1.1- Précipitations annuelles

La pluviosité moyenne annuelle des stations du Tell oranais varie entre 410.8 mm pour Mostaganem et un peu plus de 231 mm pour Relizane et El Aricha (figure n°17).

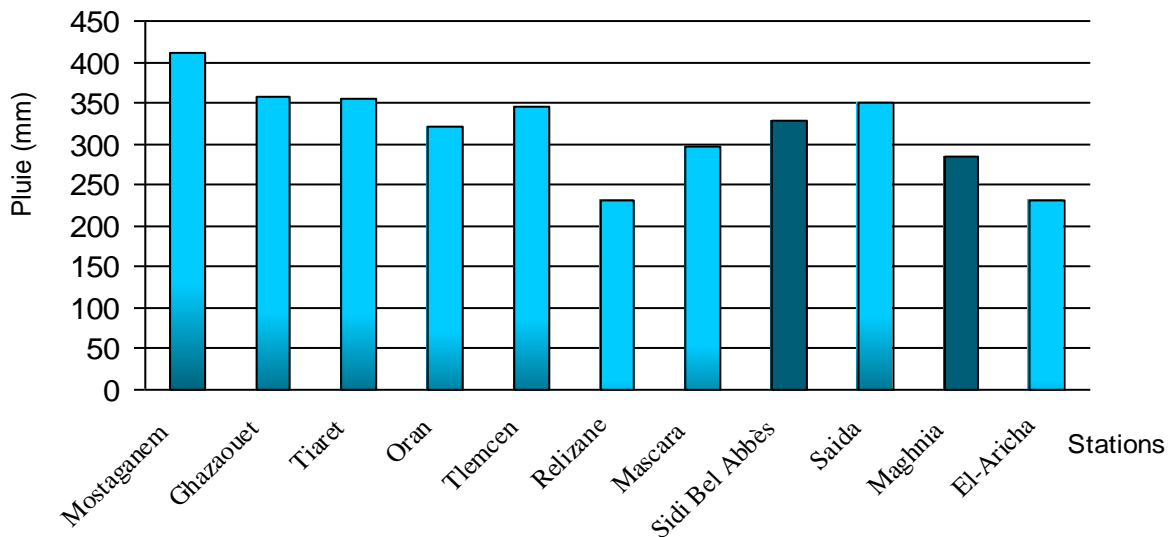


Fig. 17: Précipitation moyenne annuelle des stations du Tell Oranais (1995-2004)

Ces variations de précipitations sont dues au positionnement géographique des stations et l'éloignement par rapport à la mer. Nous remarquons aussi, que la région de l'Ouest algérien reçoit moins de pluies à cause de la péninsule ibérique et du Rif Marocain qui les mettent en position d'abri pluviométrique. Cette figure montre bien les tendances pluviométriques de la région étudiée. Elle illustre bien l'influence de trois facteurs sur la répartition spatiale des précipitations à savoir: l'altitude, la longitude et la latitude. Les pluies croissent du sud au nord et de l'ouest à l'est. L'augmentation des pluies proche du littoral, est liée aux masses d'air humide venues du nord (nord-ouest, nord et nord-est). Sur le nord-Est de la région étudiée, les pluies dépassent les 400 mm. Ces pluies diminuent fortement vers le sud où on enregistre des pluies de l'ordre de 231mm dont le rapport est de l'ordre de 2 fois. La figure n° 18 montre bien la répartition spatiale de la pluviométrie dans le Tell oranais. On constate une certaine augmentation des pluies sur l'Ouest du Dahra, les massifs d'Ouarsenis, les monts de Tiaret et les monts de Tlemcen.

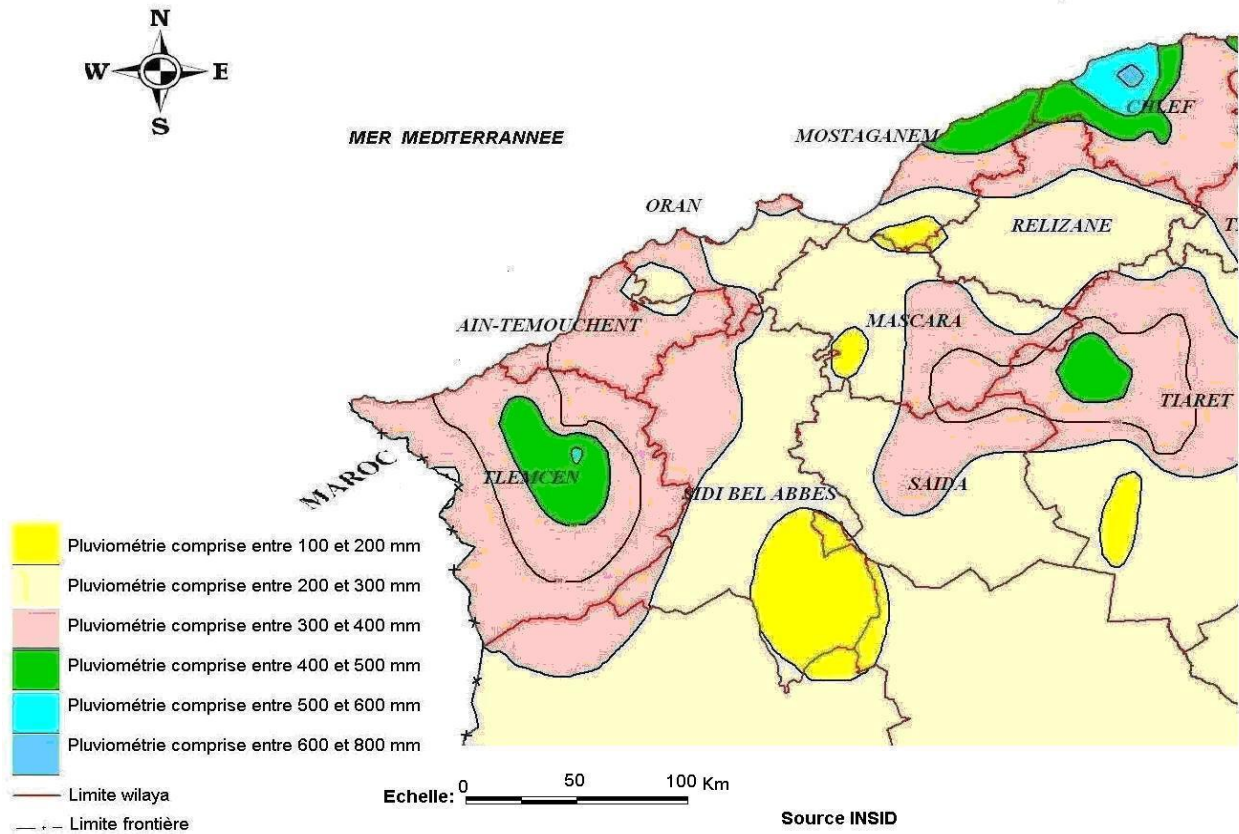


Fig. 18: Carte pluviométrique du Tell oranais (Moyenne de la période 1986/2005)

Les pluies annuelles augmentent du sud au nord et de l’ouest à l’est. La partie littorale et les sommets qui lui sont proches reçoivent les pluies les plus importantes. Les régions intérieures reçoivent moins de pluie du fait de l’appauvrissement des masses nuageuses de leurs humidités au fur et à mesure qu’elles se dirigent vers l’intérieur.

3.2.1.2- Précipitations mensuelles

Les précipitations moyennes mensuelles des stations du Tell oranais sont concentrées durant la période allant de Septembre à Mai. La quantité de pluies est particulièrement élevée durant les mois de Novembre à Mars. En été (Juin, Juillet et Août) la pluviométrie est très faible (tableau n° VII).

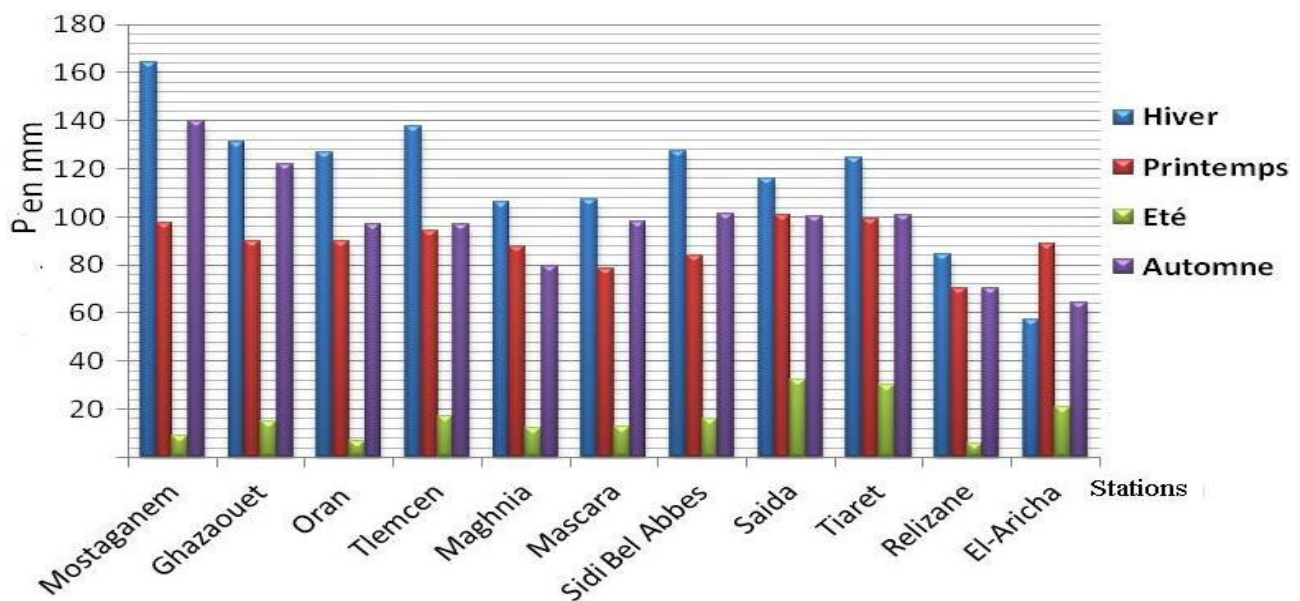
Tableau n° VII: La pluviosité moyenne mensuelle des stations du Tell oranais (Exprimé en mm).

Stations	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juit	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Moy
Mostaganem	55,2	49,0	30,7	41,4	26,4	2,4	1,7	4,8	27,0	33,7	79,2	60,3	410,8
Ghazaouet	44,3	48,6	39,7	28,3	21,7	3,4	6,0	5,5	13,1	31,0	77,6	38,1	357,3
Oran	38,2	47,8	40,7	24,9	24,3	3,1	0,6	2,8	13,1	25,7	58,1	40,8	320,4
Tlemcen	49,8	41,4	44,2	26,2	24,0	2,2	8,0	6,7	15,2	27,6	53,9	46,3	345,5
Maghnia	38,9	34,5	41,2	24,1	22,3	2,8	1,6	7,7	15,7	24,5	39,1	33,0	285,4
Mascara	31,0	31,0	23,3	27,8	27,2	2,9	1,0	8,6	17,8	28,6	51,5	45,3	296,0
Sidi BelAbbes	47,0	40,7	32,4	29,3	22,4	7,9	2,8	5,2	22,8	25,3	53,3	39,8	328,9
Saida	37,8	38,1	33,4	35,0	32,6	13,1	6,1	12,9	22,1	37,9	40,4	40,3	349,7
Tiaret	42,1	34,3	24,0	45,0	30,0	9,8	4,1	16,0	29,3	31,3	40,1	48,3	354,3
Relizane	29	28,5	24,2	26,6	19,6	2	1,9	2	15,8	20	34,7	26,7	231,2
El-Aricha	25,2	18,5	39,77	29,1	20,02	6,6	3,8	10,4	22,6	19,8	21,9	13,6	231,3

ONM (1995-2004)

3.2.1.3- Précipitations saisonnières

On observe une concentration des averses sur une durée assez courte de l'année. Le tableau n° VI-1 en annexe 4, indique non seulement un régime à deux saisons très contrastées mais, la position des minima est également typique de la variété continentale du climat méditerranéen. Le régime saisonnier nous renseigne sur la hauteur des pluies en chaque saison, il consiste à regrouper les mois de l'année qui se ressemblent le plus, du point de vue précipitation et température. Ensuite, on procède à un arrangement des saisons par ordre décroissant de pluviométrie, ce qui a permis d'obtenir deux saisons: une saison hivernale qui commence en octobre et prend fin en avril et une saison estivale qui s'étale de mai à septembre.

**Fig. 19:** Précipitation moyenne saisonnière des stations du Tell oranais

La répartition saisonnière est marquée par la prédominance des pluies d'hiver, d'automne et de printemps (figure n° 19). Le régime saisonnier de précipitations des stations Ghazaout, Mostaganem, Tlemcen, Mascara, Sidi Bel Abbes, Tiaret, Oran et Relizane sont de type HAPE. Pour les stations Maghnia et Saida, le régime est de type HPAE. Concernant la station d'El Aricha il est de type PAHE (tableau n° IV-1 en annexe 4).

3.2.1.4- Précipitations torrentielles

Les précipitations torrentielles supérieures à 20 mm/ 24 h varient entre 1,95 % pour Maghnia et 10,99 % pour Ghazaouet. Ces précipitations torrentielles sont concentrées dans les tranches 20-30 mm et 30-40 mm (tableau n° VI-2 en annexe 4).

Les précipitations torrentielles surviennent pendant les mois de forte pluviosité de mois de Novembre à Mai, mais elles peuvent survenir pendant d'autres mois, notamment en Octobre et Août. Ces pluies sont concentrées en un nombre restreint de jours. La moitié des précipitations annuelles tombe en 25 à 30 jours de pluies pendant les mois de Novembre, Décembre, Janvier et Février. Ces pluies ne durent jamais plus de quelques jours et constituent donc presque toutes les pluies torrentielles dont l'intensité dépasse 30 mm en 24 heures ou 20 mm en 2 heures (Benchetrit, 1972). L'exemple de ces zones sont très dégradés et sont l'un des meilleurs exemples du Tell oranais tant pour la diversité des problèmes d'érosion du sol que pour la préservation et la valorisation des terres des bassins versants (Morsli et *al.*, 2005),

Les diverses études réalisées par Kouri (1993) et Gomer (1992) sur le processus de ravinement dans le bassin versant d'oued Mina et Touaïbia (2000), sur le transport des débits liquides et solides dans le même bassin, ont démontrés que toutes les pluies journalières supérieure à 20 mm sont des pluies torrentielles et auraient provoqué un ruissellement qui transporte les éléments des sols en suspension vers les retenues collinaires. Ces pertes en sol peuvent atteindre environ 21.49 tonnes/ha/an (Gommer, 1992 et Kouri, 1993)

3.2.2-Températures

La température est le second facteur constitutif du climat, par leurs écarts thermiques provoquent la désagrégation des roches ayant pour conséquence le développement des sols. Elle augmente l'évaporation dans les sols et agit négativement sur le développement des plantes par la forte transpiration.

Le tableau n° IV-3 en annexe 4) représente les températures mensuelles minimales (m), les maximales (M) et leurs moyennes $(M+m/2)$ exprimées en °C, pour la période allant de 1995 à 2004.

M : la moyenne des maximums du mois le plus chaud

m : la moyenne des minimums du mois le plus froid

$M+m/2$: Les températures moyennes

La moyenne des maximums du mois le plus chaud (M) du Tell oranais, varie entre 29.8 °C en Août pour la station de Ghazaouet et 35.7 °C en juillet pour la station de Saida.

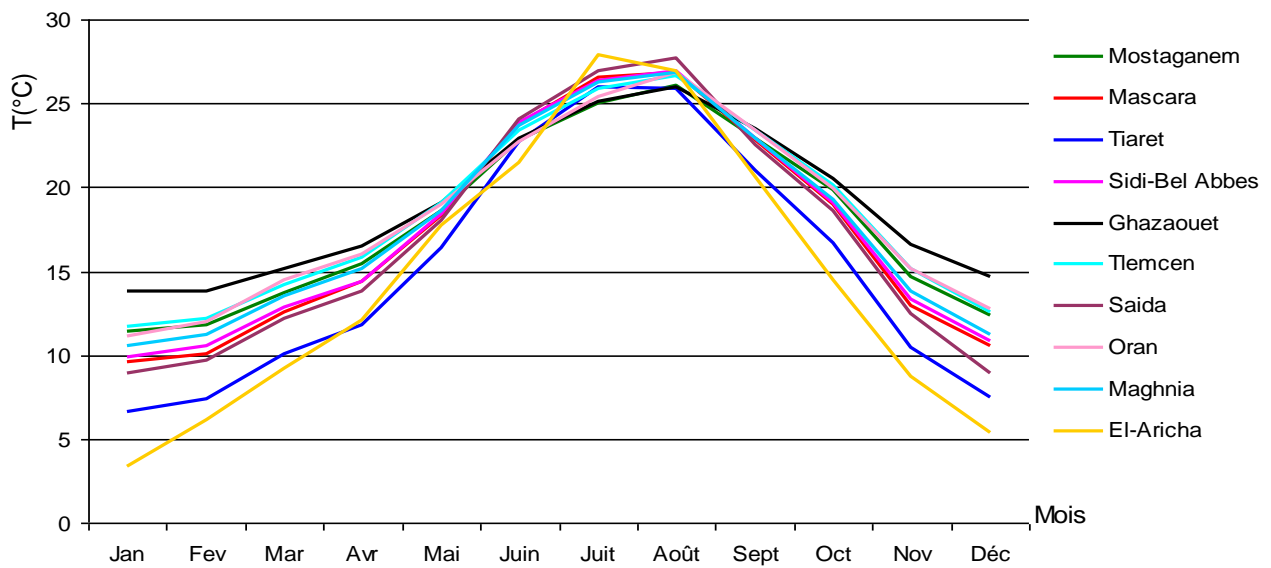


Fig. 20: la température moyenne mensuelle des stations du Tell oranais

Les valeurs de la température minimale (m) se situent au mois de janvier qui correspond au du mois le plus froid avec -2,2°C pour la station d'El Aricha.

La température moyenne mensuelle du Tell oranais varie entre 3,4 °C (janvier) et atteint 27,9 °C pour la station d'El Aricha (figure n° 20).

Tableau n° VIII: Classification des stations du Tell oranais

Stations	M	m	D (M-m)
Ghazaouet	29,8	9,1	20,7
Mostaganem	31,6	6,2	25,4
Tlemcen	33	6,1	26,9
Maghnia	34,6	4,3	30,3
Mascara	35,1	3,3	31,8
Sidi Bel Abbes	34,7	4	30,7
Saida	35,5	3,4	32,1
Tiaret	34,8	1,4	33,4
Oran	32,78	5,31	27,47
El-Aricha	32,72	-2,2	34,92

Debrach (1953)

M : Température maximum ; m : Température minimum et D : Différence

D'après Debrach (1953), la grande différence entre la température moyenne en été et celle de l'hiver montre l'importance de chaleur estivale, est divisé le climat en 4 types :

Climat insulaire $M-m < 15 \text{ °C}$

Climat littoral $15 \text{ °C} < M-m < 23 \text{ °C}$

Climat semi-continental $25\text{ °C} < M-m < 35\text{ °C}$

Climat continental $M-m > 35\text{ °C}$

D'après le tableau n° VIII, les stations du Tell oranais appartiennent au type de climat semi continental, sauf la station de Ghazaouet qui est de type de climat littoral.

3.2.3- Humidité relative

Il s'agit là du pourcentage d'humidité, ou de vapeur d'eau, contenu dans l'air par rapport à la quantité maximum que peut contenir cet air avant de se condenser, c'est-à-dire avant de se transformer en gouttelettes d'eau. L'humidité est liée inversement à la température de l'air autrement dit elle est maximale pendant les mois les plus froids d'hiver et est minimale pendant les mois d'été

Le tableau n° IX, montre que l'humidité est élevée pendant les mois de décembre et janvier (atteint 80 % pour la station de Tiaret) et est minimale baisse jusqu'à 24 % au mois de juillet pour la station d'El Aricha. Ce qui augmente l'évapotranspiration. L'humidité agit comme un facteur de compensation quand les pluies sont absentes. On remarque que l'humidité moyenne annuelle des stations du Tell oranais est variée entre 47 % pour la station d'El Aricha et atteint 73 % pour la station de Mostaganem

L'humidité relative joue un rôle important en matière d'apport de vapeur d'eau pour le sol et la végétation. Elle atténue l'effet des fortes températures et peut combler en partie le déficit hydrique accusé, et ceci après les pertes considérables d'eau dues à l'évapotranspiration.

L'humidité est généralement plus élevée en hiver qu'en été (figure n°21). Ceci est dû à l'effet de la température qui est plus élevée en été qu'en hiver, ce qui suppose que le climat du Tell oranais est un peu modéré par l'humidité de l'air

Tableau n° IX: Humidité relative moyenne exprimé en % des stations du Tell oranais

Stations	Humidité	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Jllet	Août	Sep	Oct	Nov	Dec	Année
Mostaganem	H moy	78	78	74	70	71	68	69	69	72	75	78	77	73
Mascara	H moy	74	72	69	65	62	52	46	49	58	64	73	76	63
Tiaret	H moy	80	75	68	67	62	45	38	42	55	62	74	80	62
Ghazaouet	H moy	70	72	73	69	65	71	69	71	72	74	65	70	70
Tlemcen	H moy	75	75	73	68	66	61	59	62	67	72	74	75	69
Saida	H moy	70	66	62	61	58	46	41	43	55	60	67	70	58
Maghnia	H moy	72	71	70	65	62	53	50	53	62	68	73	73	64
El Aricha	H moy	69	58	50	48	41	31	24	27	40	49	62	70	47

ONM 1995-2004

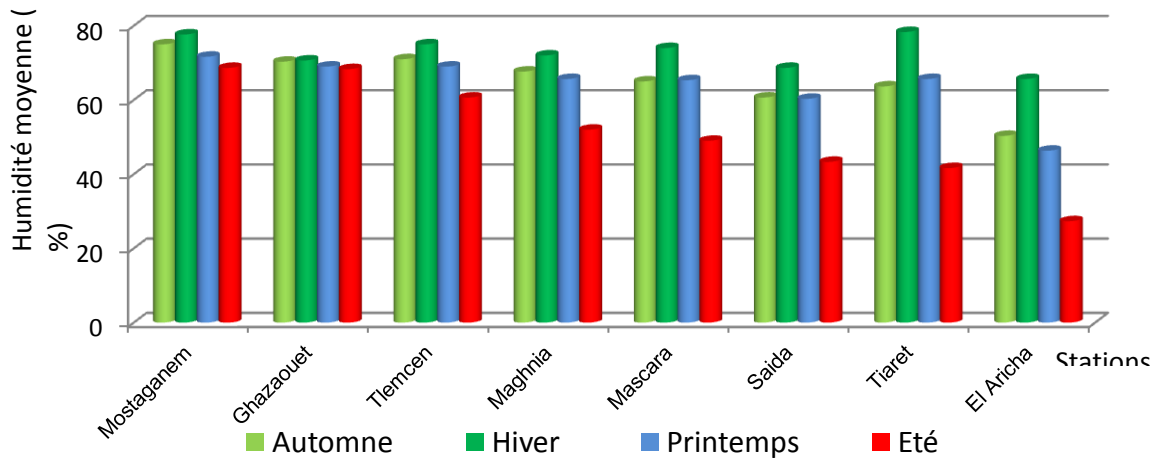


Fig. 21: Humidité moyenne saisonnière exprimé en % des stations du Tell oranais

3.2.4- Le vent

D’après Seltzer (1946), le vent est considéré comme l’élément le plus caractéristique du climat méditerranéen, il contribue à la dégradation des sols et augmentation du stress hydrique des végétaux. Il est caractérisé par sa direction, sa force et sa fréquence.

La vitesse moyenne des vents dans le Tell oranais varie d’une zone à d’autre, dans les stations Mostaganem, Mascara, Sidi Bel Abbas, Ghazaouet et Tlemcen ne dépasse pas 3 m/s, alors que dans les stations Maghnia, Saïda et Tiaret est varié de 4 à 9 m/s (figure n° 22).

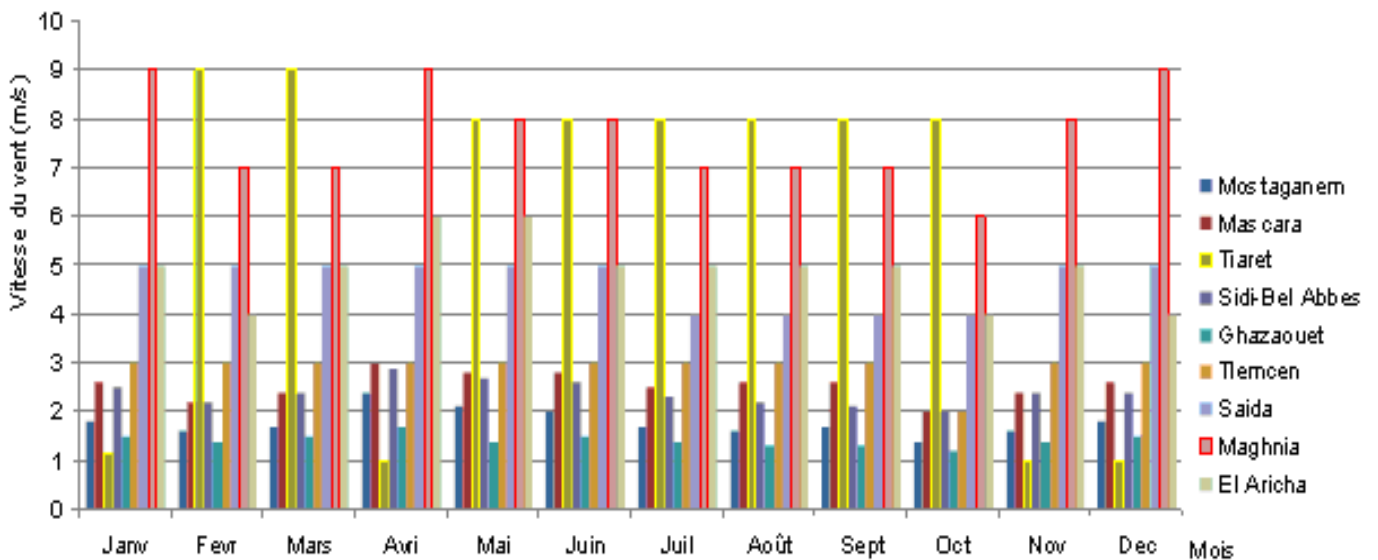


Fig. 22: Moyenne mensuelle de vitesse de vent moyen (m/s), (1995-2004)

Le vent moyen souffle durant toute l’année mais il souffle fréquemment dans des directions instables (figure n° 23) et à différentes intensités en fonction des saisons. Les vents du secteur Ouest et Sud-ouest sont dominants tout au long de l’année (Belgat, 1984). En hiver les vents d’Ouest et Nord-ouest secs et froid qui dominant. Mais en Eté, les vents d’Est qui soufflent le plus. Les vents humides qui viennent de coté de la mer touchent surtout les stations du littoral (Mostaganem, Oran, Beni Saf et

Ghazaouet). Les vents chauds et secs soufflent soit directement du Sud, Sud-est ou l'Est qui touchent la région du Tell oranais.

Les vents sont de direction W-NW en hiver alors que les vents d'Est, responsables de fortes précipitations sont rares en cette saison. Les vents du nord-est sont fréquents en été. Ils génèrent des pluies faibles (Meddi, 2009).

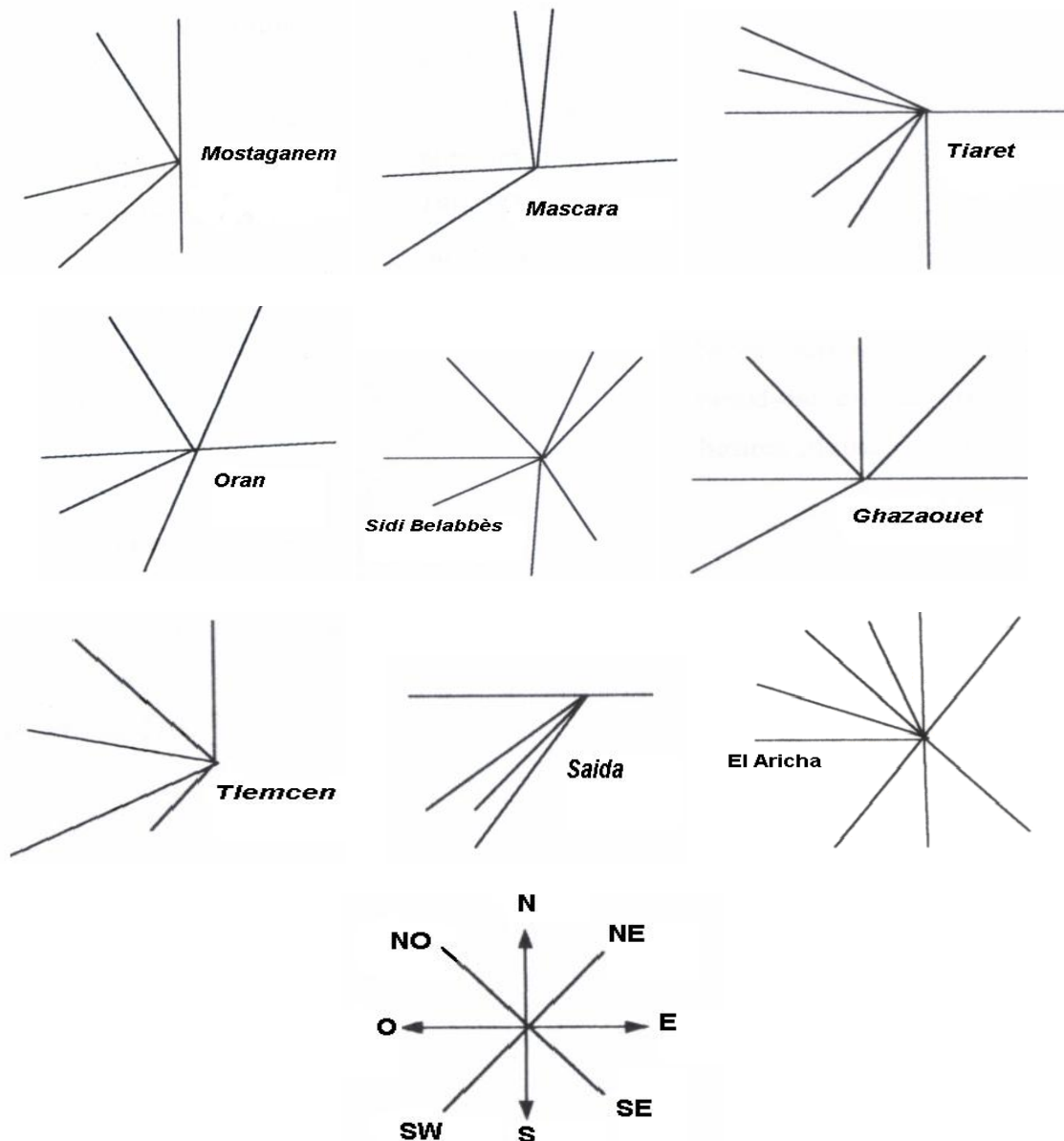


Fig. 23: Rose des vents annuels des différentes stations du Tell oranais.

Le sirocco est un vent chaud et sec qui souffle du côté sud chargé de poussières prenant naissance au sahara. Il est très fréquent en Eté.

La région du Tell oranais n'échappe pas au sirocco en Eté pratiquement. C'est un vent très dessèchent provoquant de fortes évaporation et exposant le sol à une grande érosion éolienne par l'apparition de crevasses dans les zones les plus sensibles (zones marneuses).

3.2.5- Synthèse bioclimatique

3.2.5.1- Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gaussen (1953)

Le diagramme met en évidence la période de sécheresse et son intensité dans une région donnée. Bagnouls et Gaussen (1954) considèrent qu'un mois est sec lorsque le total des précipitations moyennes exprimé en (mm) est inférieur ou égal au double de la température moyenne en degré Celsius ($P \leq 2T$). Ces auteurs préconisent pour la détermination de la période sèche de tracer un diagramme sur lequel la température est portée à une double échelle de celle des précipitations. La durée de cette période sèche ressort matérialisé par la surface de croisement où la courbe thermique passe au dessus de la courbe pluviométrique (figure n°24).

La période sèche des stations Ghazaouet, Maghnia, Tiaret, Mascara et Sidi-Bel-abbès (figures n° (1-1), (1-2), (1-3), (1-4), (1-7) et (1-8) en annexe1), s'étale sur une période de 6 mois (Avril à Octobre). Pour El Aricha, la période sèche s'étale sur une période proche de 7 mois (Avril à fin d'Octobre).

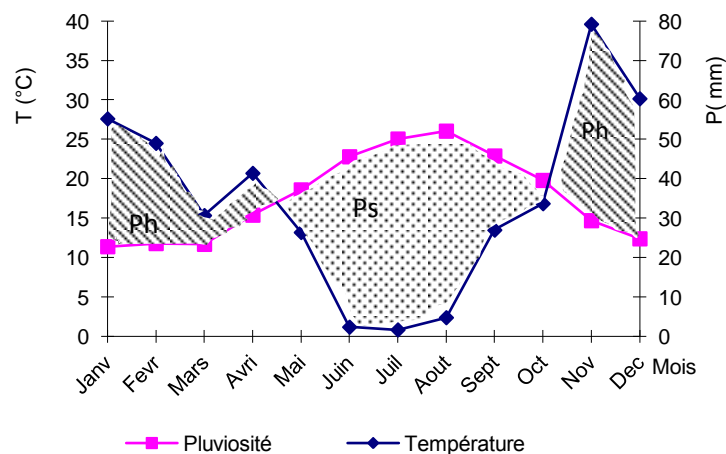


Fig. 24: Diagramme Ombrothermique de la station de Mostaganem (1995-2004)

3.2.5.2- Climagramme d'Emberger (1955)

Emberger a cherché une expression synthétique du climat méditerranéen capable de rendre compte de la sécheresse, le quotient pluviothermique d'Emberger (Q_2), qui a une valeur écologique différente suivant les températures minimales qui y interviennent.

Il est utilisé en climat méditerranéen pour la délimitation des aires occupées par divers ensembles de végétation. Il prend en considération les précipitations annuelles et l'écart thermique entre le maximum et le minimum des températures au court de l'année.

$$Q_2 = \frac{2000 P}{M^2 - m^2}$$

Q_2 : Le quotient pluviothermique d'Emberger

P° : Pluviosité moyenne annuelle en mm

M : Moyenne des températures maximales du mois le plus chaud en degré kelvin

m : moyenne des températures minimales du mois le plus froid en degré kelvin

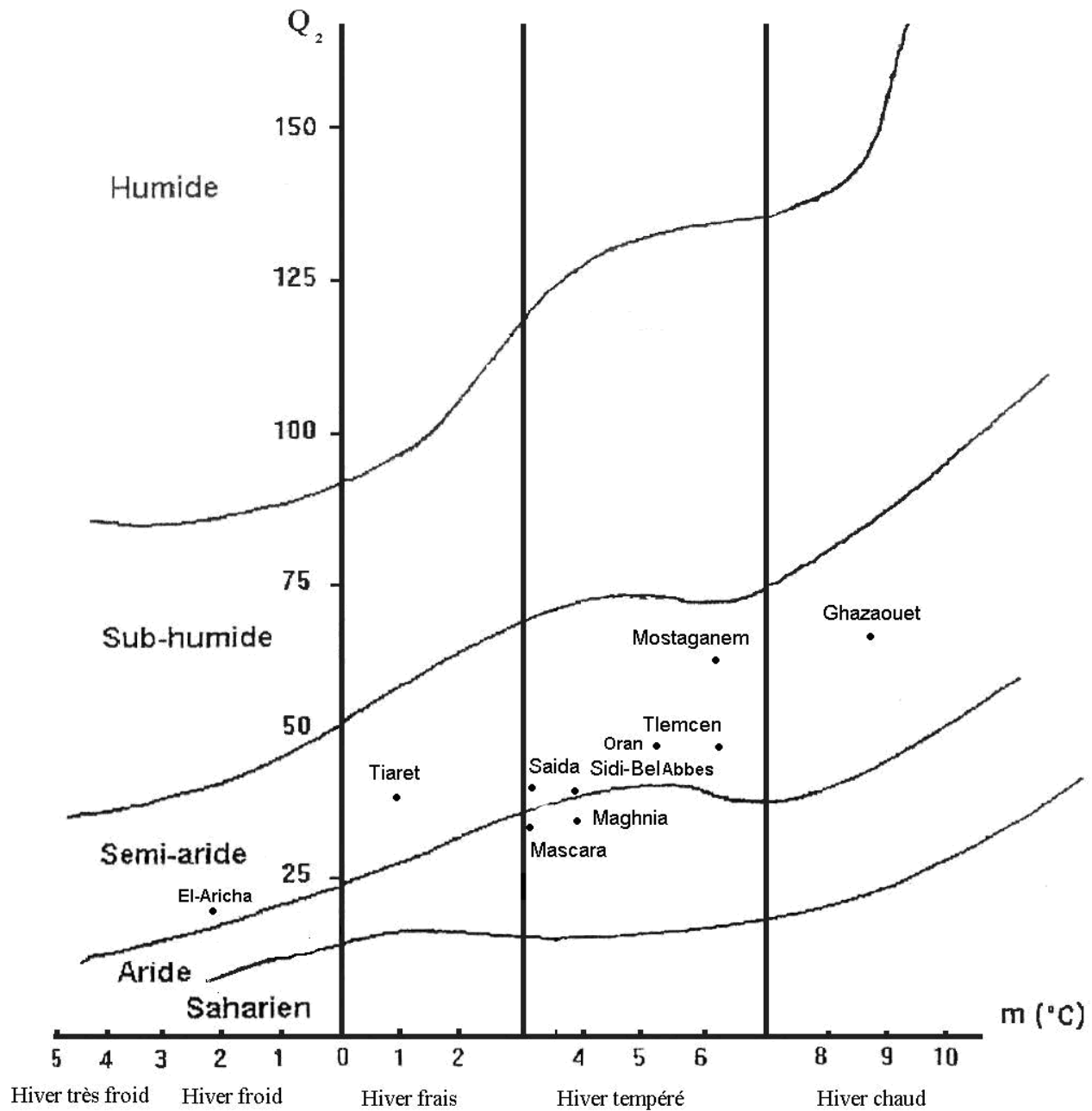


Fig. 25: Climagramme d'Emberger (1955)

Les valeurs de Q_2 des stations du Tell oranais sont présentées au climagramme d'Emberger (figure n°25), qui comporte en ordonnée les valeurs de Q_2 caractérisant le degré d'humidité global du climat et en abscisse la température minimal m du mois le plus froid.

Le quotient pluviothermique d'Emberger des stations du Tell oranais varie de 20,56 pour El Arricha à 59,02 pour Ghazaouet. Cette différenciation est due aux facteurs climatiques (quantité de

précipitation et la température et ces derniers sont variés avec la situation géographique des stations du Tell oranais.

Selon le climagramme d'Emberger, la plus part des stations du Tell oranais appartiennent à l'étage bioclimatiques semi aride à d'hiver frais (Tiaret), chaud (Ghazaouet) et tempéré pour les autres stations (Mostaganem, Tlemcen, Oran, Saida et Sidi Bel Abbès). Pour l'étage aride tempéré, on trouve les stations Mascara et Maghnia (figure n° 25).

3.2.5.3- Critère de Giacobbe (1958)

L'indice d'Arido-humidité de Giacobbe exprimé par la formule suivante :

$$I = \frac{100 P}{M (A)}$$

P : Précipitation totale durant la période considérée (mensuelle, saisonnière, annuelle)

M : Température maximale du mois le plus chaud

A : Amplitude thermique moyenne (M-m)

Cet indice caractérise le degré d'aridité du climat, qui influe sur le déficit hydrique des sols par conséquent, sur l'activité biologique de la végétation qui diminue.

Tableau n° X: Les seuils de caractérisation de l'aridité du climat par Giacobbe.

Type d'aridité	Mensuel	Régime saisonnier
Très aride		1
Aride	1	1- 4
Semi aride	1-7	4 - 20
Sub-humide	7-17	20-50
Humide	17 et plus	Plus de 50

L'indice d'arido-humidité saisonnier de Giacobbe (tableau n° XI) montre que les stations du Tell oranais, en Automne sont caractérisées par deux types de climat ; climat semi aride qui englobe El Aricha, Maghnia et Mascara et climat subhumide qui englobe Mostaganem, Tiaret, Sidi Bel Abbès, Ghazaouet, Tlemcen et Saida. Pour la saison d'Hiver on trouve que la station d'El Aricha qui appartient au climat semi aride alors que les autres stations sont de climat sub-humide.

Au Printemps on a quatre stations qui font parti au climat semi aride à savoir Mascara, Sidi Bel Abbès, Maghnia et El Aricha, les autres stations sont de type climat sub-humide.

Tableau n° XI: Valeurs de l'indice d'arido-humidité saisonnier.

Stations	Automne	Hiver	Printemps	Eté
Mostaganem	40,80	47,98	28,43	2,60
Mascara	19,67	21,56	15,73	2,51
Tiaret	21,33	26,70	20,98	6,33
Sidi-Bel-Abbès	21,23	26,70	17,61	3,32
Ghazaouet	44,82	48,25	33,04	5,48
Tlemcen	24,05	34,20	23,48	4,20
Saida	20,04	23,19	20,16	6,40
Maghnia	16,31	21,88	18,01	2,48
El-Aricha	15,63	13,93	21,60	5,06

En Eté, Mostaganem, Mascara, Sidi Bel Abbès et Maghnia sont caractérisées par un climat aride par contre les stations Tiaret, Ghazaouet, Tlemcen et El Aricha ont un type de climat semi aride. La station de Maghnia a un climat sub-humide en hiver seulement.

D'après ces résultats on peut conclure que le Tell oranais présente trois catégories de climat au cours de l'année : aride, semi aride et sub-humide.

DEUXIEME PARTIE

Analyse de l'érosivité des Pluies et de l'érodibilité des sols dans le Tell oranais

CHAPITRE IV

METHODOLOGIE DE TRAVAIL

4- Démarche méthodologique

La démarche méthodologique adoptée s'appuie sur le recueil, le traitement et l'analyse spatiale des données concernant deux aspects :

Le premier aspect concerne la détermination et la cartographie des risques d'érosivité des pluies en se basant sur les indices d'érosivité des pluies à travers un échantillon de onze stations représentées de l'ensemble du Tell oranais.

Le choix des stations a été fait de telle façon à couvrir les différents étages bioclimatiques et selon la disponibilité des données pluviométriques au niveau de l'Office Nationale de Météorologie (O.N.M). Les stations sélectionnées (tableau n° XII) possèdent une série de mesures suffisantes pour mener à bien cette étude.

Tableau n° XII: Localisation des quelques stations pluviométriques

Stations	Altitude (m)	Longitude	Latitude
Mostaganem	137	00° 07' E	35° 53' N
Mascara	420	00° 08' E	35° 24' N
Tiaret	977	01° 28' E	35° 21' N
Sidi Bel-Abbès	475	00° 37' W	35° 12' N
Ghazaouet	4	01° 52' W	35° 06' N
Tlemcen	1038	01° 18' W	34° 53' N
Saida	750	00° 09' E	34° 52' N
Maghnia	427	01° 47' W	34° 49' N
Oran	90	00° 36' W	35° 38' N
Relizane	102	00° 32' E	35° 44' N
El-Aricha	1250	01° 25' W	34° 14' N

(O.N.M., 1995-2004)

Le deuxième aspect traite et analyse les indicateurs d'érodibilité des sols (Battance, stabilité structurale, limites d'Atterberg et résistance au cisaillement) à l'échelle de trois (03) zones test. Ces dernières sont caractérisées par des substrats très sensibles à l'érosion hydrique.

L'embouchure du Chéouli, le bassin versant d'oued Mina et le bassin versant d'Isser ont été retenus pour l'étude (tableau n° XIII). Chaque dernière correspond de trois à quatre types d'échantillons.

L'analyse spatiale et temporelle nous permet d'établir les propriétés d'intervention en matière de conservation des sols menacés par l'érosion hydrique.

4-1- Les critères de choix de ces zones

Une prédominance des terrains prédisposés à une dégradation qui se caractérise par une lithologie des plus fragiles soit par des roches tendres sensibles à l'érosion et un couvert végétal dégradé.

Ces terrains marneux très sensibles à l'agressivité climatique et à l'érosion hydrique fournissent annuellement une quantité importante de sédiments vers les retenus collinaires

Tableau n° XIII: localisation géographique des échantillons dans les zones tests

Zones	Echantillons	Altitude (m)	Longitude	Latitude
Embouchure du Chélif	Echantillon n° 1	16 - 50	0° 08' 54" E	36° 02' 01" N
	Echantillon n° 2		0° 08' 55" E	36° 02' 02" N
	Echantillon n° 3		0° 08' 55" E	36° 02' 03" N
Bassin versant d'oued Mina	Echantillon n° 4	175 - 300	0° 39' 39" E	35° 31' 07" N
	Echantillon n° 5		0° 38' 14" E	35° 32' 43" N
	Echantillon n° 6		0° 39' 59" E	35° 32' 34" N
	Echantillon n° 7		0° 35' 30" E	35° 31' 32" N
Bassin versant d'Isser	Echantillon n° 8	450-680	1° 00' 49" W	35° 01' 23" N
	Echantillon n° 9		1° 01' 41" W	35° 00' 47" N
	Echantillon n° 10		1° 03' 09" W	35° 01' 23" N
	Echantillon n° 11		1° 02' 15" W	35° 01' 09" N

4.2- Documents consultés

Les cartes topographiques, géologiques, d'occupation des sols et climatiques à l'échelle du 1/25.000, 1/50.000 et 1/200.000, photos aériennes au 1/20.000 et une recherche bibliographique, nous à permis de bien caractériser le cadre physique de notre région d'étude. Les sorties sur le terrain montrent que la dégradation des sols par l'agressivité des pluies ne cesse de s'accroître d'année en année. L'ampleur de la dégradation des sols nécessite un diagnostic et une étude approfondie des zones touchés.

4.3- Détermination des risques d'érosivité de pluies

Pour comprendre le degré d'agressivité des pluies dans le Tell oranais, nous avons fait appel à plusieurs Indices comme celui de Fournier (1960), d'Arnoldus (1980), de Rango et Arnoldus (1987), de Deffontaines (1968) et le facteur d'agressivité des pluies R de Wischmeier et Smith (1978) calculé par deux formules alternatives à savoir l'Indice de Rango et Arnoldus (1987) et l'indice de Roose (1981).

Vu la difficulté d'obtenir des données climatiques, notamment celles des précipitations journalières. En effet, on n'a pas pu obtenir les données journalières sur une longue période (plus de 10 ans pour toutes les stations). Pour mieux traiter l'érosivité des pluies et la répartition spatiale des pluies maximales journalières, nous avons utilisé une série de données de précipitations moyennes d'une période de 10 ans pour calculer les indices de Fournier, de Rango et Arnoldus et les données journalières de pluies afin de calculer l'Indice de Deffontaines.

Concernant l'Indice d'agressivité climatique R, nous avons utilisé une formule alternative pour calculer cet indice à partir de la précipitation moyenne annuelle. Afin de caractériser les risques provoqués par l'érosivité des pluies dans les sols fragiles et d'analyser spatialement et temporellement

les risques érosifs des pluies. Cette démarche nous permet d'établir les priorités d'intervention en matière de conservation des sols.

4.3.1- Calcul les indices d'érosivité des pluies

4.3.1.1- Indice de Fournier

Cet indice permet de caractériser de manière relative le caractère érosif de régimes climatiques dans leur ensemble. Cette formule s'exprime par le rapport du carré de la pluviométrie moyenne p_i du mois le plus arrosé, à la pluviosité moyenne annuelle.

Cet indice présente une bonne corrélation avec l'érosion annuelle moyenne des grands bassins fluviaux du globe.

$$I_f = \frac{P_i^2}{P}$$

P_i : Pluie moyenne du mois le plus pluvieux (mm)

P : Pluie moyenne annuelle (mm)

4.3.1.2- Indice de Deffontaines

Cet Indice est utilisé à l'échelle mensuelle pour classer les mois de l'année selon les risques d'érosion.

$$I_d = N \cdot C$$

N : C'est la somme des jours de pluie torrentielles (≥ 20 mm / 24 h)

C : Le pourcentage (%) de pluies mensuelles tombées sous forme torrentielle

Remarque:

D'après les travaux de Arabi et Roose (1989) et de Kouri (1993) en Algérie, les pluies journalières supérieures à ou égale 20 mm par 24 heures, provoquant des ruissellements et des transports solides sont des pluies torrentielles.

4.3.1.3- Indice de Fournier modifié par Arnoldus

Une forme modifiée de cet indice, consistant à effectuer la somme des indices de Fournier pour les douze mois de l'année, a été proposée par Arnoldus.

La formule de cet indice est le rapport entre la somme carrée de la pluviosité moyenne mensuelle de chaque mois de l'année à la pluviosité moyenne annuelle.

Arnoldus (1980) a travaillé aussi au Maroc et a établi la relation suivante :

$$I_A = \sum_{i=1}^{12} (P_i^2 / P)$$

P_i : Pluie moyenne de chaque mois (mm)

P : Pluviosité moyenne annuelle (mm).

Cet indice modifié présente une meilleure corrélation avec l'indice d'érosivité de Wischmeier et Smith.

4.3.1.4- Formules utilisées pour le calcul de l'indice d'érosivité de Wischmeier R

A fin de faciliter la compréhension, nous avons choisi la notation indicielle R1 et R2 que chaque indice correspond à la formule utilisée.

4.3.1.4.1-Formule Rango-Arnoldus

Rango a modifié la formule d'Arnoldus (1980). La formule de Rango-Arnoldus a été appliquée dans le Rif central Marocain.

$$\text{Log R} = 1,74 \log \sum_{i=1}^{12} (P_i^2 / P) + 1,29 \dots\dots\dots R1$$

R : agressivité climatique en Méga joules.mm /hectare.heure.

Pour nos stations, nous avons opté pour l'utilisation de la formule de Rango et Arnoldus pour le calcul du facteur d'agressivité climatique. Ceci pour plusieurs raisons :

- les résultats encourageants obtenus par les auteurs précités ;
- la diversité des milieux marocains où cette formule a été appliquée ;
- La formule tient compte des caractéristiques du climat du Nord de l'Afrique ;

La majorité des auteurs qui ont utilisé le modèle de Wischmeier et Smith pour la quantification de l'érosion au Maroc, ont adopté, pour le calcul du facteur de l'agressivité climatique R, l'équation de Rango-Arnoldus. Citons entre autres Benmoussa et al. (1993), Daghmoumi (1994), Diallo (2000); Al Karkouri (2003) et Sadiki (2005) dans le Rif central du Maroc.

4.3.1.4.2- Méthode de Roose (1981)

D'après la recherche bibliographique, on a conclu qu'il existe une relation, plus ou moins étroite signalée par plusieurs auteurs, entre le module pluviométrique annuel et l'indice d'agressivité R. Cette méthode permettant d'évaluer l'indice climatique R, mais présentent des seuils de difficulté plus ou moins variable en fonction des données disponibles nécessaires à leur application.

La durée relativement limitée de la période de mesure (pour ce type d'étude) et surtout la variabilité inter-annuelle de l'érosivité, nous conduisons à émettre des réserves quand à la fiabilité de l'indice R annuel moyen calculé ici. Il est toutefois possible de tester la cohérence des résultats obtenus en faisant référence aux estimations et mesures faites sur de longues périodes, à l'échelle de l'Afrique occidentale et centrale.

Les travaux de Roose sur une durée de plus de 20 années de mesures ont abouti à la proposition de relations empiriques simples, liant l'indice R annuel moyen (Ram) à la hauteur de pluie annuelle moyenne (Ham) mesurée sur la même période. Ces relations permettent d'estimer la variabilité inter-annuelle de l'érosivité.

La formule de Roose est : **R2 ann = R / P. PannR2**

P : Pluviosité moyenne annuelle (mm).

R : Facteur d'érosivité de Wischmeier

R2 : Indice d'érosivité moyen annuel.

Cette méthode a été utilisée aussi par D'Ortoli et Maurer (2000) aux philippines pour estimer R à partir du cumul annuel des précipitations par une formule empirique sur 41 stations météorologiques où : $R = -10.551 + 10.259 x + 0.214 x^2$ (x: cumul annuel des pluies en centimètres).

Le rapport Rusa/hauteur des pluies est de l'ordre de 0,10 à 0,12 dans le Nord ouest algérien (Morsli et al., 2004).

Selon Mazour (1992), le rapport Rusa/hauteur des pluies est de l'ordre de 0,10 à 0,14 dans le bassin versant de l'Isser (Tlemcen).

Dans le bassin versant de Mina, Touaibia et al. (2000) ont déterminé aussi un indice R de Wischemeier. La relation entre la lame d'eau précipitée et l'indice d'érosivité obtenue été la suivante:
 $R = 0,03 P^{1,288}$

Mazour et Zekri (2003), le rapport Rusa/hauteur des pluies est de l'ordre de 0,08 à 0,15 dans le bassin versant de Tafna, alors ce rapport varie de 0,4 à 0,6 en Afrique de l'ouest et de 0,20 à 0,30 dans les montagnes de l'Afrique centrale (Arabi et Roose, 1992).

Les stations ayant servi comme référence couvrent les différentes zones orographiques et pluviométriques présentes dans le Tell oranais. Les indices R calculés dans ces stations permettent de définir une relation spécifique, reliant la quantité des pluies annuelles avec l'agressivité climatique

4.4- Cartographie des indices d'érosivités des pluies

A partir des formules des auteurs cités précédemment, nous avons calculé les Indices d'érosivité des pluies, pour chaque station et nous avons récapitulé les résultats obtenus sous formes de cartes isoérodes.

Dans ce travail, nous avons utilisé un outil de cartographie ; le Surfer qui nous a permis de faire une interpolation linéaire entre les différentes stations étudiées.

Le logiciel Surfer, crée par la société Américaine Golden Softwar. En introduisant les coordonnées géographiques (Latitude et Longitude), ainsi que la valeur des Indices de chaque station pluviométrique dans la table de données « Worksheet », ce logiciel permet de localiser les différentes stations dans l'espace et de dessiner automatiquement les courbes d'égales valeurs des indices.

4.5- Détermination de l'érodibilité des sols

L'érodibilité des sols est la mesure quantitative et qualitative de la susceptibilité des sols à l'érosion par l'eau et le vent (El Swaify et Roose, 1988).

Il y a 3 approches pour déterminer l'érodibilité des sols :

La première approche, est coûteuse et demande beaucoup de temps, mais souhaitable, sur de longues période de mesures de la perte du sol et représente la variabilité naturelle du site d'exploitation (Boiffin, 1984) ou des mesures pendant de longues années sur des parcelles d'érosion standardisées (El Swaify et Roose, 1988).

La deuxième approche, consomme moins de temps mais utilise des caractéristiques contestables de la pluviométrie mais encore coûteuse, est basée sur la perte du sol mesuré sans pluies simulée (Meyer et Me Cune, 1958).

La troisième approche, la plus simple est basée sur des équations utilisant des propriétés des sols déterminées au laboratoire (Wischmeier et Mannering, 1969). Nous avons adopté cette dernière approche pour arriver à établir une typologie entre les propriétés du sol et l'érodibilité afin de répondre à notre problématique.

4.5.1- Etapes de détermination de l'érodibilité des sols

La démarche suivie pour déterminer l'érodibilité des sols dans le Tell oranais comprend les étapes suivantes:

Etape 1: Choix de zones tests représentatives des lithologies marneuses dominantes dans le Tell oranais

Etape 2 : La prise des échantillons dans des différentes formations lithologiques

Etape 3 : l'analyse physique, chimique et mécanique des échantillons de sols et de marnes au laboratoire.

Etape 4 : Analyse et interprétation des résultats.

4.5.2- Caractérisation des échantillons étudiés

Pour évaluer la résistance d'un sol à l'érosivité des pluies, les principales propriétés pédologiques qu'il convient de prendre en considération sont la granulométrie, la perméabilité, la texture, la structure, la nature minéralogique des argiles, le potentiel de retrait-gonflement, la battance, la résistance au cisaillement, la limite de liquidité et de plasticité, la stabilité structurale et l'érodibilité

L'échantillonnage a été réalisé afin de couvrir une gamme de trois zones tests (11 échantillons). Ils ont été prélevés dans différents substrats localisés dans l'Embouchure du Chélif, le Bassin versant d'oued Mina et le Bassin versant d'oued Isser.

Nous avons pris 3 à 4 échantillons pour chaque zone choisie. Les échantillons sont prélevés à la surface du sol sous forme de mottes. Avant chaque série de détermination, les échantillons ont été fragmentés à la main en mottes de quelques centimètres. Après séchage à l'air libre; pendant quelques jours, les échantillons sont broyés et tamisés à 2 mm, pour séparer les éléments grossiers de la terre fine.

a /- Les analyses physiques

a-1/- Granulométrie

Les caractères des échantillons portent sur l'analyse granulométrique effectuée par la méthode internationale à la pipette de Robinson. L'analyse granulométrique a pour but de quantifier pondéralement en pourcentage les particules du sol (sables, limons et argiles), et de définir la texture du sol.

a-2 /- Test de perméabilité

C'est la vitesse d'écoulement de l'eau dans le sol, déterminée par le perméamètre à charge constante

a-3 /- Le triangle textural

Est utilisé pour déterminer et classer la texture de nos échantillons.

a-4 /- Aptitude à la fissuration et à la battance

Utilisation des triangles texturales pour:

la classification des types de Marnes et de sols dans les zones d'étude du point de vue de la texture d'après le Soil Survey Manual (1951).

les classes de sensibilité à la battance des types de Marnes et de sols d'après Ludwig (1992)

la classification des types de marnes et de sols dans les zones d'étude du point de vue de la stabilité structurale et du point de vue des aptitudes à la fissuration d'après Monnier et Stengel (1982).

La battance est exprimée par l'Indice de battance de Boiffin (1984).

$$I = \frac{1,5 \text{ Limons fins} + 0,75 \text{ Limons grossiers}}{\text{Argile} + 10 \text{ Taux de matière organique}} - C$$

Si $pH > 7$, la valeur de C (carbone) = 0,2;

Si $pH < 7$, la valeur de C (carbone) = 0.

a -5 /- Formule d'indice d'instabilité structurale

$$IS = \frac{A + LF}{\left(\frac{\sum Agi}{3}\right) - 0,9sg}$$

IS : Indice d'instabilité structurale ;

A+LF : Fraction fine (Argile + limon fin), diamètre < 0,02 mm ;

Agi : taux d'agrégats stable < 200 μ, obtenus après différents prétraitements ;

Sg : Pourcentage de sable grossier > 200 μ ;

a-6 /- Indice d'érodibilité des sols (K).

$$100K = 2,1.M1,14. 10^{-4} (12-a) + 3,25 (b-2) + 2,5 (c-3)$$

Où

M : calculé par la formule $M = (\% \text{ sable fin} + \text{limon}). (100 - \% \text{ argile})$,

a : pourcentage de matière organique,

b : code de la perméabilité ;

1 : rapide; 2 : modérée à rapide; 3 : modérée; 4 : modérée à lente; 5 : lente et 6 : très lente.

c : code de la structure ;

1 : très structuré ou particulière ; 2 : assez structuré ; 3 : peu structuré et 4 : massif.

b /- Les analyses chimiques

b-1 /- Carbone

Le carbone de la matière organique est oxydé par bichromate de potassium en présence d'acide sulfurique. En connaissant la quantité de bichromate nécessaire pour cette oxydation, on peut calculer le pourcentage de carbone organique et d'humus dans le sol

(Le rapport % humus / % CO_x = 1.724).

b-2 /- Azote total

Méthode de Kjeldahl est applicable pour le dosage de l'azote.

b-3 /- pH

Le principe consiste à mesurer la force électromotrice d'une solution aqueuse du sol (Rapport Eau/sol) est égale à 2.5 à l'aide d'un Ph-mètre

b-4 /- Calcaire total

Fondé sur la réaction caractérisée du carbonate de calcium (CaCO₃) avec l'acide Chlorhydrique (HCl), le dosage du calcaire total est réalisé à l'aide du Calcimètre de Bernard. Cette technique permet de déterminer la quantité du CaCO₃ comprise dans un échantillon du sol.

b-5 /- Les basses échangeables

La méthode de percolation : Na⁺ et K⁺ par spectrophotométrie à émission, Ca⁺⁺ et Mg⁺⁺ par absorption atomique

b-6 /- La capacité d'échange cationique

On appelle capacité d'échange Cationique (ou T pour capacité totale) d'un horizon ou d'un échantillon, la quantité de cations que celui-ci peut retenir sur son complexe absorbant à un pH donné. Ces cations sont les suivants : $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^{+} + \text{Na}^{+} + \text{Al}^{3++} + \text{H}^{+}$.

On appelle également bases échangeables les cations : Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} , Na^{+} , leur somme est S. La valeur de S/T donne le taux de saturation du complexe argilo-humique.

b-7/- Conductivité électrique

La mesure de la conductivité électromagnétique (C.E.M) des sols est une méthode qui petit à petit s'est imposée pour la mesure de la salinité des sols (en millisiemens par centimètre (mS/cm) à l'aide d'un conductivimètre.

b-8 /- Analyse minéralogique des argiles

Diffractométrie des Rayons X (DRX) : Les matières argileuses sont caractérisées par la présence d'une proportion de particules fines dont la taille supérieure est généralement fixée à 2 μm . Cette fraction est constituée par les minéraux argileux, on y trouve aussi des éléments dont les plus fréquents sont la silice, les silicates non phylliteux, les oxydes, les hydroxydes cristallisés ou amorphes et les carbonates.

La DRX constitue une des techniques les plus utiles et les plus répandues pour l'identification des minéraux argileux. Tout corps cristallisé peut être analysé par DRX ; un faisceau de rayons X est diffracté sur un réseau de plans cristallins.

c /- Les analyses mécaniques

c-1 /- détermination de la limite de liquidité

La limite de liquidité est déterminée en utilisant l'appareil de Casagrande (figure n° 26). Avant de démarrer l'essai on réalise les préparations suivantes (photos n° 1 et 2):

Nettoyer le socle et la coupelle avec un chiffon propre, marquer du point de contact de la coupelle avec le socle

Régulariser la hauteur de chute de la coupelle à l'aide de la vis de réglage. Pour ce faire, on fait passer entre la coupelle et le socle, au point de contact à 2 cm.

Remplissage de la coupelle au $\frac{1}{4}$ avec le mélange sol-eau distillée en utilisant la spatule. Nivelage de la surface soigneusement pour obtenir une épaisseur maximum de 10 mm et une surface parallèle à la surface du socle lorsque la coupelle est en contact avec ce dernier. On réalise une rainure centrale qui partage le sol en deux avec l'outil à rainurer tenu perpendiculairement à la surface de la coupelle. à l'aide de la manivelle, on imprime à la coupelle une série de chocs réguliers, à raison de 2 chocs par seconde. On note le nombre de chocs qui correspond à la fermeture des lèvres de la rainure sur une longueur de 13 mm. On utilise l'extrémité non biseautée de l'outil à rainurer pour vérifier. La première fermeture doit se faire entre 30 et 40 chocs. Si l'échantillon est sec, la fermeture se fera pour un

nombre de chocs plus élevé, on ajoute un peu d'eau à l'échantillon et on malaxe vigoureusement et on reprendre l'opération de 1-3. On prendre à l'aide de spatule environ 10g de mélange à l'endroit où les lèvres se sont refermées dans une tare et mettre dans l'étuve à 105 °C.

Pour mesurer de sa teneur en eau. On ajoute un peu d'eau au mélange (1 à 2 cc) et on mélange jusqu'à obtenir une pâte homogène. On répète les étapes précédentes avec le sillon devant se refermer entre 20 et 30 chocs et on répète ces étapes pour 10 à 20 chocs.

Exploitation des résultats

On trace sur un formulaire les points expérimentaux et on joint ces points par une droite. La valeur de la limite de liquidité est la teneur en eau qui correspond à la fermeture des lèvres de la rainure à 25 coups.

$$WL \% = \frac{(\text{Poids Tare} + \text{Sol humide}) - (\text{Poids Tare} + \text{Sol après l'étuvage})}{(\text{Poids Tare} + \text{Sol après étuvage}) - (\text{Poids Tare})} \times 100$$

On tire la valeur de WL correspondant à 25 coups.

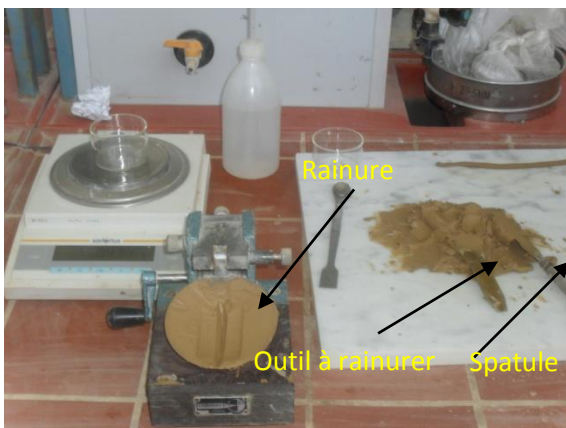


Photo 1: Préparation du mélange pour déterminer la limite de liquidité et plasticité



Photo 2: Remplissage de la coupelle par le mélange de sol

c-2 /- Détermination de la limite de plasticité

Pour la limite de plasticité on devra sécher un échantillon de mélange réservée à la détermination de la limite de plasticité au démarrage de la manipulation, on le roulant entre les pommes des mains, puis on fermera de cette manière des fuseaux qu'on mincira progressivement. Lorsque le fuseau se brisera en petit morceaux de 1 à 2 cm au moment où son diamètre est de 3 mm, on pourra dire que le sol atteint sa limite de plasticité (figure n° 27 et photo n° 3). Enfin on place les 3

morceaux obtenus de chaque rouleau brisé, dans une tare et mis dans l'étuve à 105°C pour déterminer leur teneur en eau.

La limite de plasticité (WP) sera la moyenne des teneurs en eau de ces 3 échantillons (petit morceaux).

$$WP = \frac{\sum Wp}{3}$$

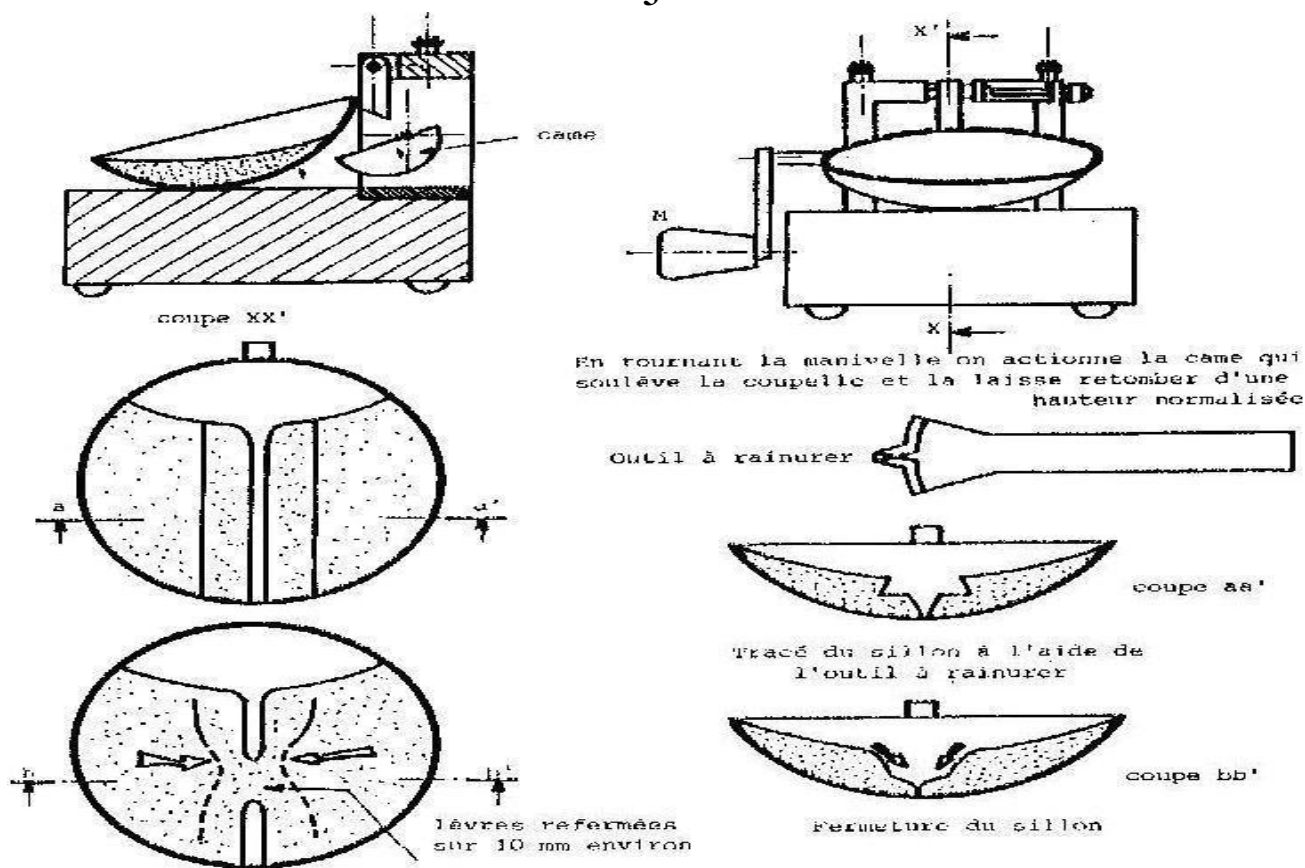


Fig. 26 : Détermination de la limite de liquidité.



Photo 3 : Roulage des boulettes pour

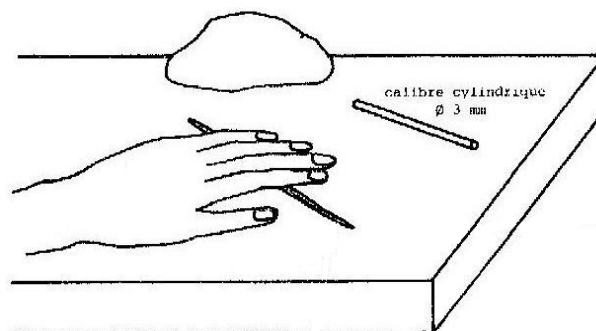


Fig. 27 : Détermination de la limite de

c-3 /- Calcule de l'Indice de plasticité (Ip %)

C'est la différence entre la limite de liquidité et la limite de plasticité, on mesure l'étendue du domaine de plasticité du sol.

$$I_p = W_L - W_P$$

IP : Indice de plasticité, WL : Limite de liquidité et WP : Limite de plasticité

c-4 /- La résistance au cisaillement

Essai de cisaillement à la boîte, il s'agit de déterminer les caractéristiques mécaniques d'un sol en procédant au cisaillement rectiligne d'un échantillon sous charge constante.

L'essai de cisaillement permet de tracer la courbe intrinsèque du sol étudié et de déterminer son angle de frottement interne ϕ et sa cohésion C.

Ces valeurs servent entre autre à déterminer la contrainte admissible par le sol dans le cas de ruissellements superficiels et la poussée du sol.

L'essai de cisaillement constitue le test idéal pour étudier un échantillon de sol soumis à deux forces semblables à celles de l'état naturel, un effort latéral (ruissellement de l'eau) sur un sol soumis à une pression verticale (matériaux submergés par l'eau d'écoulement).

On réalise notre essai à la boîte de Casagrande (photos n° 4 et 5) par un essai non consolidé non drainé : c'est un essai rapide, le plus couramment utilisé pour l'étude des sols (C_u, ϕ_u).

L'échantillon est placé dans la boîte de Casagrande, il est soumis à une contrainte normale et cisailé à vitesse contrôlée de l'ordre de 1 mm / minute; on note pour une contrainte normale donnée, l'effort de cisaillement en fonction du déplacement.

Pour chaque essai, on trace les courbes $\tau = f(\Delta l)$, (figure n° 28), en déduit des valeurs des courbes qui tracent les contraintes de cisaillement à la rupture (τ_r), on trace la courbe intrinsèque $\tau_r = f(\sigma)$, en déduit les caractéristiques de rupture du sol C et ϕ (cohésion et angle de frottement), (figure n° 29).

Les résultats sont tracés point par point pour obtenir dans le premier cas une courbe de cisaillement-déformation et dans le deuxième cas une courbe intrinsèque (une droite qui passe par l'origine).

La formule est donnée par la loi de Coulomb:

$$r = C + \sigma \operatorname{Tg}(\Phi)$$

Où :

r : Tension tangentielle

σ : Tension normale

C : Cohésion ayant les dimensions d'une contrainte.

Φ : Angle de frottement interne.

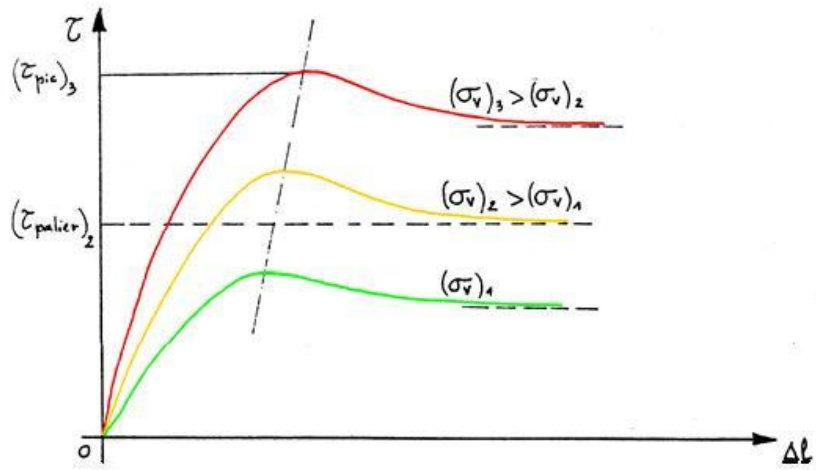


Fig. 28 : La contrainte de cisaillement est celle donnée par la rupture

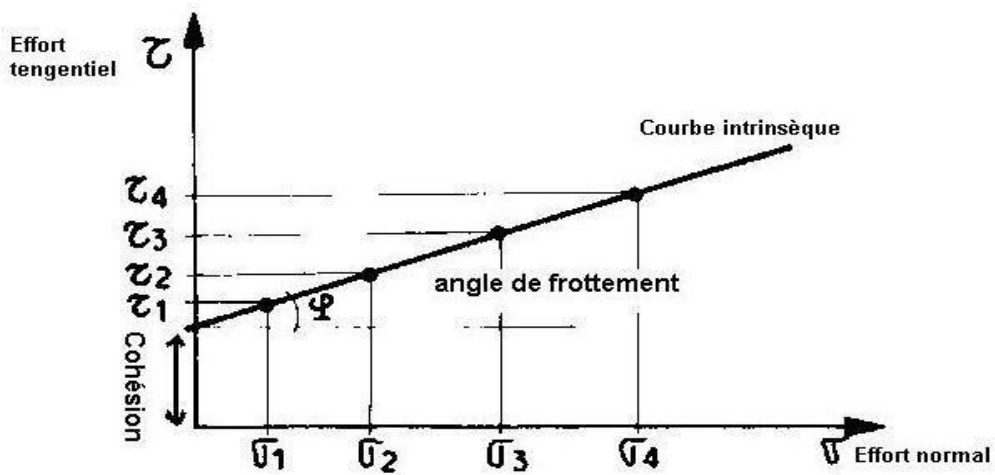


Fig. 29 : Détermination graphique de la cohésion et l'angle de frottement



Photo 4 : Appareillage spécifique de cisaillement



Photo 5 : Echantillon à cisailier placé à l'intérieur des deux demi-bottes

4.5.3- Traitement statistique des résultats

Pour éclairer les résultats d'analyse granulométrique, chimique et mécanique obtenus et tenter d'expliquer directement la sensibilité de nos échantillons par l'érosion pluviale, nous avons jugé utile d'effectuer une analyse factorielle des correspondances (AFC), cette technique de traitement des données relative aux processus d'érosion identifiés a été retenue pour les raisons suivantes :

Elle permet le traitement symétrique aussi bien du nuage des variables que celui des échantillons

Elle établit un bilan des liaisons entre les variables du milieu explicatives et la dégradation du substrat.

L'ensemble des données comporte 11 variables actives et une variable supplémentaire (classe d'érodibilité). Le but recherché du traitement était de :

Mettre en lumière les variables explicatives (texture, structure, perméabilité, battance, plasticité, stabilité structurale, cohésion, aptitude à la fissuration) et les individus ;

Découvrir les inter-relations entre les différentes variables et l'érodibilité.

4.5.4- Démarche d'analyse

L'introduction des données brutes se fait sous forme numérique dans un tableau prêt à être analysé. Nous avons retenu dans chaque variable un nombre de classes significatives pour faciliter l'interprétation des résultats, ainsi pour éviter de perdre beaucoup d'informations.

Elle consiste d'abord à résoudre le problème d'hétérogénéité des données formant le tableau initial, en précisant au logiciel qu'il s'agit des données qualitatives ou quantitatives.

Les modalités des variables qualitatives et quantitatives sont codées de (1) jusqu'à (n) selon les observations retenues.

On a attribué à chaque modalité un libelle (abréviation) pour faciliter sa détection sur le graphique.

CHAPITRE V

RESULTATS ET DISCUSSIONS

5.1 Résultats

5.1.1 Calcul des indices d'érosivité

Les indices de Fournier, d'Arnoldus, de Rango-Arnoldus, de Deffontaines et R de Wischmeier ont été calculés pour onze (11) stations pluviométriques représentant le Tell oranais.

Tableau n° XIV: Valeurs de l'Indice de Fournier, d'Arnoldus, de Rango-Arnoldus et de Roose.

Stations	Altitude (m)	P° (mm)	IF	IA	R1 (R-A)	R2 (Roose)
Mostaganem	137	410,8	15,27	50,23	70,09	49,30
Ghazaouet	4	357,3	16,85	44,38	63,82	42,88
Oran	90	320,4	7,15	39,05	57,95	38,45
Tlemcen	246	345,5	8,41	39,26	58,18	41,50
Relizane	145	231,2	5,21	25,56	42,07	27,75
Maghnia	427	285,4	5,95	31,58	49,36	34,25
Mascara	474	296,0	8,96	33,45	51,54	35,50
Sidi Bel Abbès	475	328,9	8,64	36,36	54,99	39,47
Saida	750	349,7	4,67	33,86	52,02	41,97
Tiaret	977	354,3	6,58	35,56	53,98	42,50
El-Aricha	1250	231,3	6,84	23,95	40,05	27,76

Période 1995-2004

5.1.1.1- Indice de Fournier

Le tableau n° XIV montre que les valeurs de l'indice de Fournier varient de 4,67 (Saida) à 16,85 (Ghazaouet). Les stations de Ghazaouet et Mostaganem présentent des valeurs doubles (15,27 et 16,85) par rapport aux autres stations du Tell oranais.

Les valeurs les plus faibles sont enregistrées au niveau de la station de Relizane et Maghnia respectivement 5,21 et 5,95. D'après la grille d'interprétation proposée par Brahim (1984), nos stations présentent un indice modéré avec un risque d'érosivité moyen.

5.1.1.2- Indice d'Arnoldus

Selon la grille d'interprétation de l'indice d'Arnoldus (tableau n° XV) le risque d'érosivité des pluies est faible ($IA < 50$) pour l'ensemble des stations du Tell oranais à l'exception de la station de Mostaganem qui présente un risque moyen.

Tableau n° XV: La grille d'interprétation de l'Indice d'Arnoldus selon Nahal, (1984).

Indice d'Arnoldus (Ia)	Erosivité des Pluies (Risques sur le sol)
$Ia < 50$	Risque faible
$50 \leq Ia < 500$	Risque moyen
$500 \leq Ia < 1000$	Risque élevé
$Ia \geq 1000$	Risque très élevé

5.1.1.3- Indice mensuel de Deffontaines

Les résultats (figure n° 30) semblent indiquer des valeurs légèrement supérieures pour les mois d'automne et d'hiver pour toutes les stations. Par contre, les mois d'été sont nettement en retrait, de façon qu'on ne puisse pas parler d'une menace érosive supérieure pour les orages d'été (tableau n° XVI).

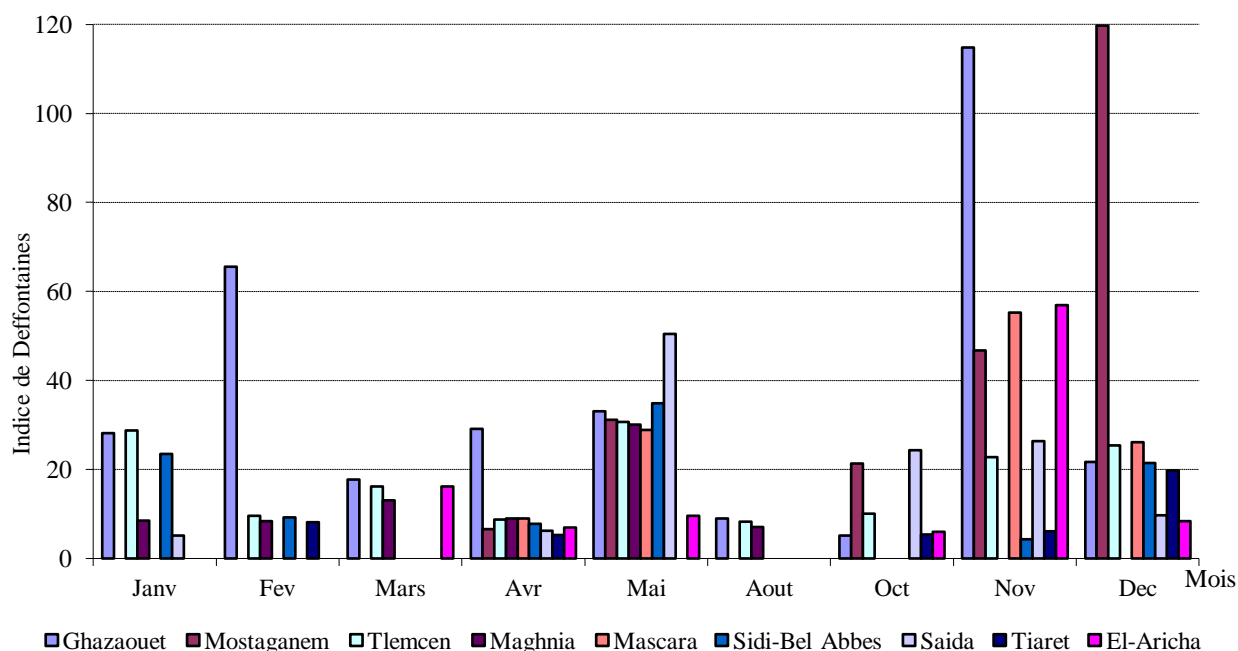


Fig. 30 : Répartition temporelle de l'érosivité de pluies selon Deffontaines

L'agressivité des pluies dans le Tell oranais sont très dangereuses en automne. En effet, elle est plus susceptible de produire des processus morphogéniques qui apparaissent au début de la campagne agricole durant la période des labours, particulièrement au mois d'octobre, novembre et décembre, car le sol n'est pas couvert.

Tableau n° XVI: Valeurs mensuelles de Deffontaines des stations du Tell oranais.

Stations	Janv	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juit	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
Ghazaouet	28,11	66	18	29,1	33	0	0	19	0	5,1	115	22
Mostaganem	0	0	0	7	30	0	0	0	0	21,2	47	120
Tlemcen	29	10	16,1	9	31	0	0	17	0	10	23	25,5
Maghnia	8,5	8,5	13	9	30,1	0	0	15	0	0	0	0
Mascara	0	0	0	9	29	0	0	0	0	0	55,2	26
Sidi-Bel Abbas	23,5	9,2	0	8	35	0	0	0	0	0	4,2	21,5
Saida	5,0	0	0	6,1	50,5	0	0	0	0	24,2	26,2	10
Tiaret	0	8	0	5,2	0	0	0	0	0	5,5	6,1	20
El-Aricha	0	0	16,2	7	10	0	0	0	0	6	57	8,5

Période 1995-2004

5.1.1.4- Indice saisonnier de Deffontaines

L'érosivité des pluies dans le Tell oranais varie d'une saison à d'autre et d'une station à l'autre. En effet, l'érosivité est élevée en automne, en hiver et au printemps alors qu'elle est faible en été (figure n° 30, figure n° 31). Pour les stations de Ghazaouet, Tlemcen et Maghnia, on a enregistré une érosivité très élevée durant les trois saisons de l'année (automne, hiver et printemps). Dans les autres stations, l'érosivité change d'une saison à l'autre mais reste toujours faible durant la saison d'été (tableau n° XVII).

Tableau n° XVII: Valeurs saisonnières de Deffontaines des stations du Tell oranais.

Stations	Hiver	Printemps	Eté	Automne
Ghazaouet	106,42	81,77	12,61	99,91
Mostaganem	63	23,80	0	95,84
Tlemcen	62,45	52,97	10,24	30,64
Maghnia	11,62	49,37	8,14	0
Mascara	11,71	30,35	0	30,90
Sidi-Bel Abbès	53,32	28,28	0	2,35
Saida	11,13	43,48	0	43,46
Tiaret	21,64	2,24	0	9,46
El Aricha	3,98	30,79	0	50

Période 1995-2004

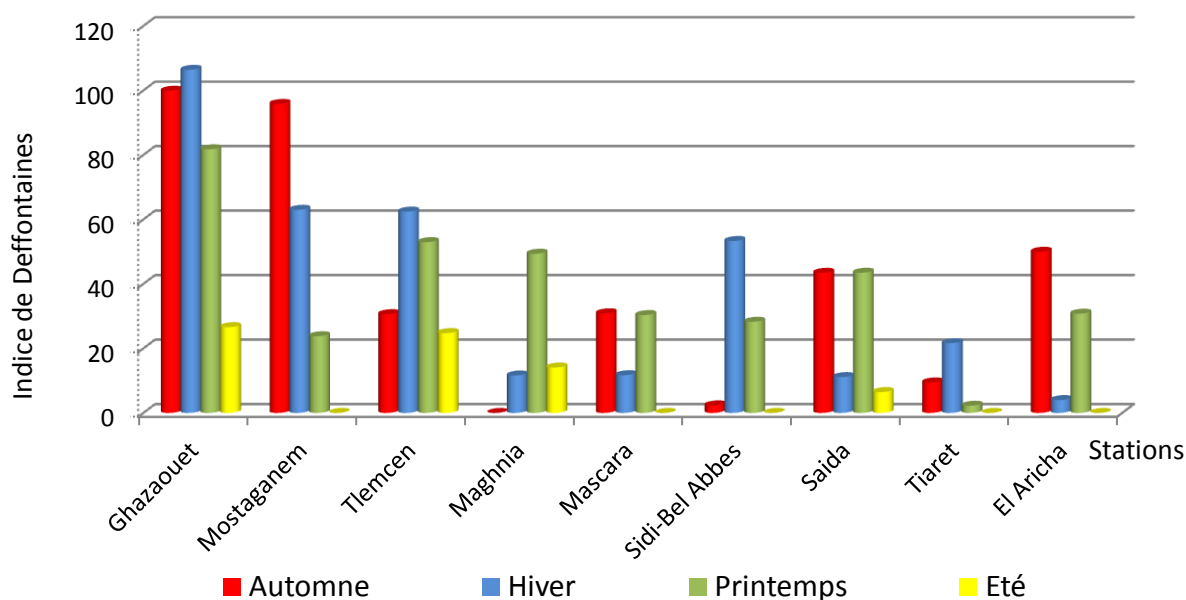


Fig. 31: Répartition de l'érosivité saisonnière selon Deffontaines

5.1.1.5- Indice de Rango-Arnoldus

L'indice de Rango-Arnoldus des stations du Tell oranais varie de 40,05 pour la station d'El-Aricha et 70,09 pour la station de Mostaganem (tableau n° XIV).

5.1.1.6- Indice de Roose

Les valeurs de l'indice d'érosion R annuel selon la formule de Roose varient entre 27,75 pour la station de Relizane et 49,30 pour la station de Mostaganem (tableau n° XIV). Si l'on examine la quantité d'eau précipitée dans chaque station pluviométrique, une nette répartition spatiale apparaît. En effet, la station pluviométrique de Mostaganem enregistre 410,8 mm alors que la station de Relizane n'enregistre que 231,2 mm.

On remarque que l'érosivité des pluies dans le Tell oranais est élevée pour l'indice de Rango-Arnoldus et moyenne pour les indices de Roose et Arnoldus mais elle est faible pour l'indice de Fournier.

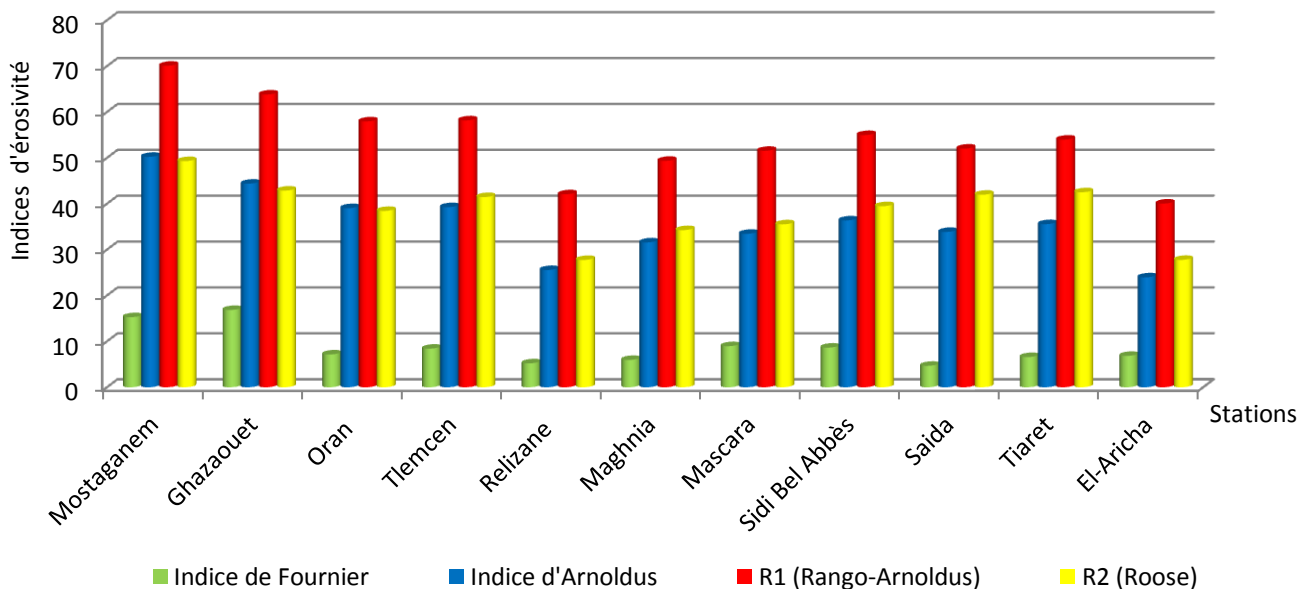


Fig. 32: Répartition de l'érosivité des pluies selon les différents indices dans les stations du Tell

5.1.2- Corrélation entre les Indices d'Agressivité climatique

Les figures 33, 34 et 35 mettent en évidence les relations entre les indices d'érosivité des pluies (Fournier, Arnoldus, Rango-Arnoldus et Roose), il ressort que :

- La régression entre l'indice d'Arnoldus et l'indice de Fournier donne un coefficient de corrélation linéaire significatif au seuil de 5 % ($r^2 = 0,732$).

L'équation de régression s'écrit comme suit :

$$IA = 1,6925 IF + 20,633$$

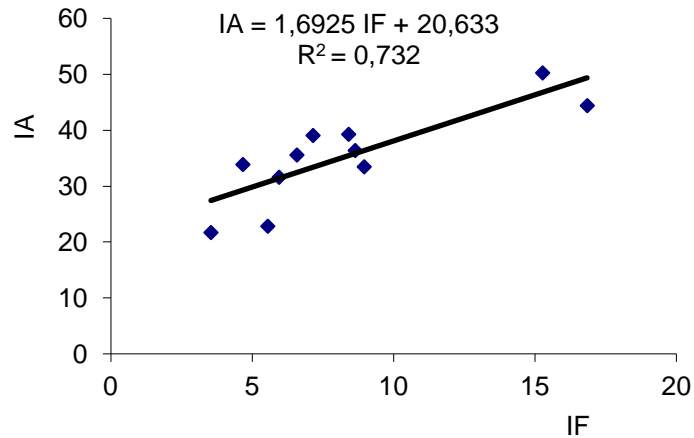


Fig. 33: Coefficient de détermination entre l'Indice d'Arnoldus et l'Indice de Fournier.

- La figure n° 34 montre que tous les points (valeurs de l'indice calculé) sont très proches de la droite de régression. La corrélation entre l'Indice d'Arnoldus et de Rango-Arnoldus est hautement significative ($R^2 = 0,9963 > 0,65$ au seuil de 5 % et 1 %)

L'équation de régression s'écrit alors comme suit :

$$R1 = 1,0415 IA + 17,244$$

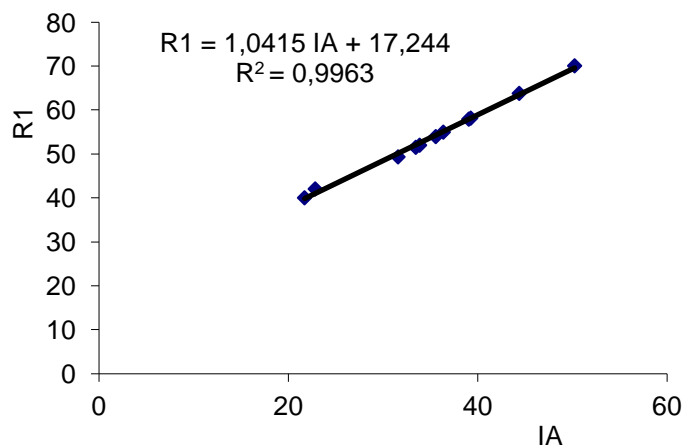


Fig. 34: Coefficient de détermination entre l'Indice d'Arnoldus et l'Indice de Rango-

- La figure n° 35 montre que tous les points sont proches de la droite de régression. R^2 est élevé (0,8329) donc la corrélation entre l'indice d'Arnoldus et l'indice de Roose est significative.

L'équation de régression s'écrit ;

$$R2 = 0,7495 R1$$

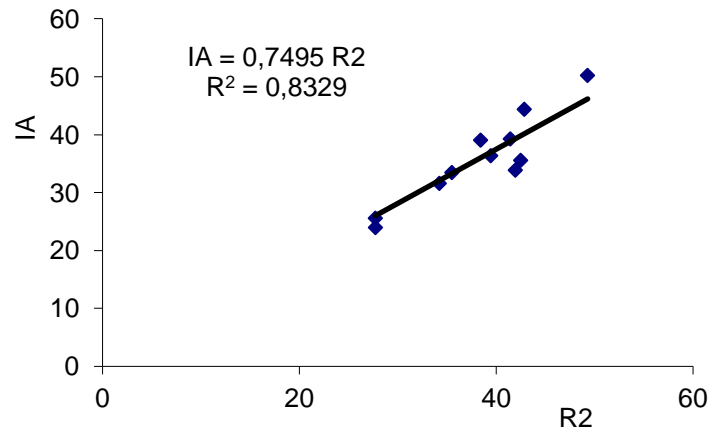


Fig. 35 : Coefficient de détermination entre l'Indice d'Arnoldus et l'indice de Roose

Selon ces résultats, les quatre indices semblent les meilleurs indicateurs de l'érosivité des pluies dans la région d'étude.

5.1.3- Cartographie de l'érosivité de pluies du Tell oranais

Au moyen de logiciel Surfer, nous avons élaboré une carte de répartition de la pluie moyenne annuelle (figure n° 36) et les cartes de répartition des cinq indices caractérisant l'érosivité des pluies (Fournier (IF), Arnoldus (IA), Deffontaines (ID) et Wischmeier calculé par la formule de Rango-Arnoldus et Roose (R_1 et R_2), sur toute l'étendue de la région du Tell oranais. Les figures n° 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43 et 44 représentent respectivement les cartes isoérodents correspondants aux cinq indices d'érosivité calculés précédemment.

Les cartes élaborées sont :

a/- Carte pluviométrique

b/- Carte d'érosivité des pluies de Fournier

c/- Carte d'érosivité de pluies d'Arnoldus

d/- Carte d'érosivité de pluies de Rango-Arnoldus

e/- Carte d'érosivité de pluies de Roose (1981).

f- Cartes d'érosivité de pluies mensuelles et saisonnières de Deffontaines

f.1/- Carte de Janvier, Février, Mars, Avril, Mai, Août, Octobre, Novembre et Décembre.

f.2/- Carte d'Automne, de d'Hiver, de Printemps et d'Eté.

5.1.3.1- Carte de pluviométrie du Tell oranais

La pluviométrie moyenne annuelle varie entre 200 mm et 420 mm. Cette dernière augmente du Sud vers le Nord et de l'Ouest vers l'Est. La pluviosité la plus élevée (supérieure à 400 mm) est enregistrée à la station de Mostaganem.

La figure n°36 montre que la pluviométrie moyenne annuelle varie de 200 à 420 mm. Cette dernière diminue à mesure que l'on s'éloigne du littoral à cause de l'appauvrissement progressif de l'atmosphère en vapeur d'eau, lors du passage des courants aériens qui abandonnent leurs pluies en franchissant les chaînes montagneuses.

On observe que la zone qui reçoit les précipitations de 300 à 350 mm est très vaste.

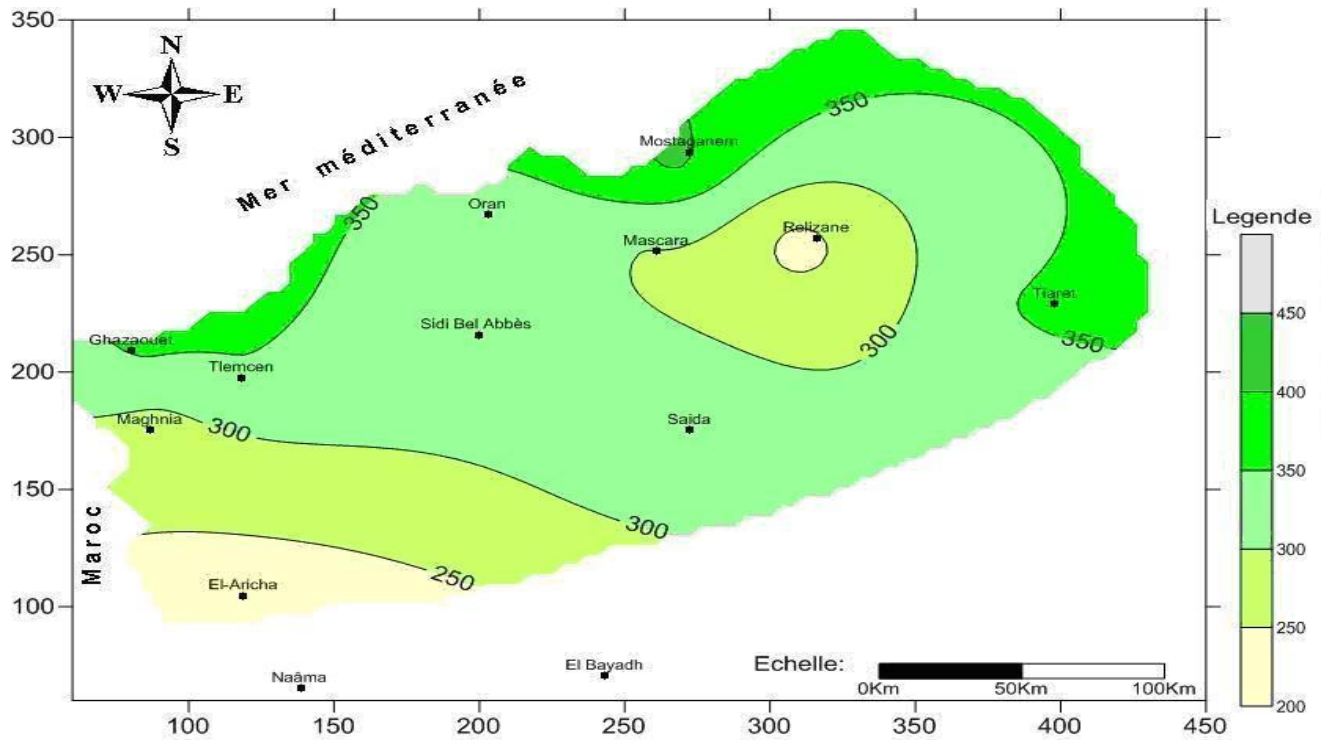


Fig. 36 : Carte de répartition de la pluviosité dans le Tell oranais

5.1.3.2- Carte d'érosivité du Tell oranais selon l'indice de Fournier

Selon la carte de l'indice de Fournier (figure n° 37), les courbes d'isoérosivité augmentent du sud vers le nord. En effet, l'indice prend en considération la quantité de pluie moyenne du mois le plus pluvieux de l'année en rapport avec la quantité de pluie tombée durant toute l'année. Les stations de Ghazaouet et Mostaganem enregistrent une agressivité élevée de [10-20]. Neuf stations appartiennent à la classe [0-10] de faible érosivité.

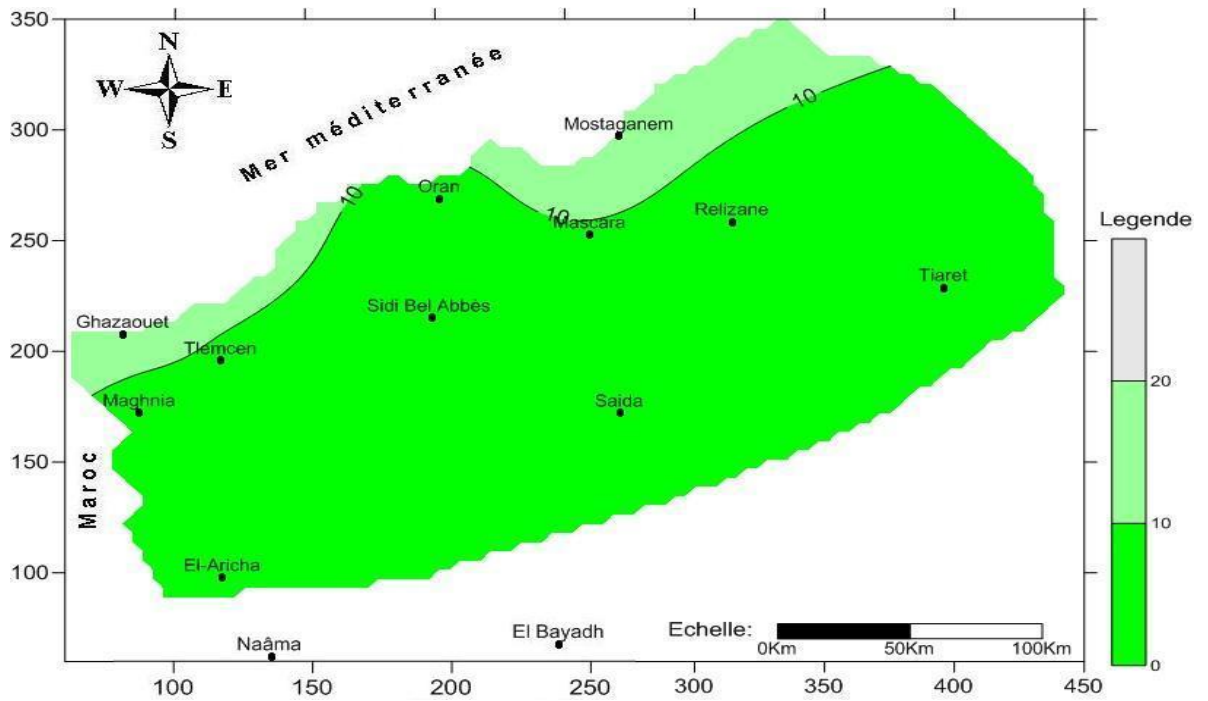


Fig. 37 : Carte de répartition de l'Indice de Fournier dans le Tell oranais

5.1.3.3- Carte d'érosivité du Tell oranais selon l'indice d'Arnoldus

La carte de l'Indice de Fournier modifié par Arnoldus (figure n° 38), montre aussi que les stations de Mostaganem et de Ghazaouet enregistrent une érosivité des pluies relativement élevée avec des valeurs comprises entre [40 et 50]. Les stations de Relizane et El Aricha sont caractérisées par une érosivité de [20-30].

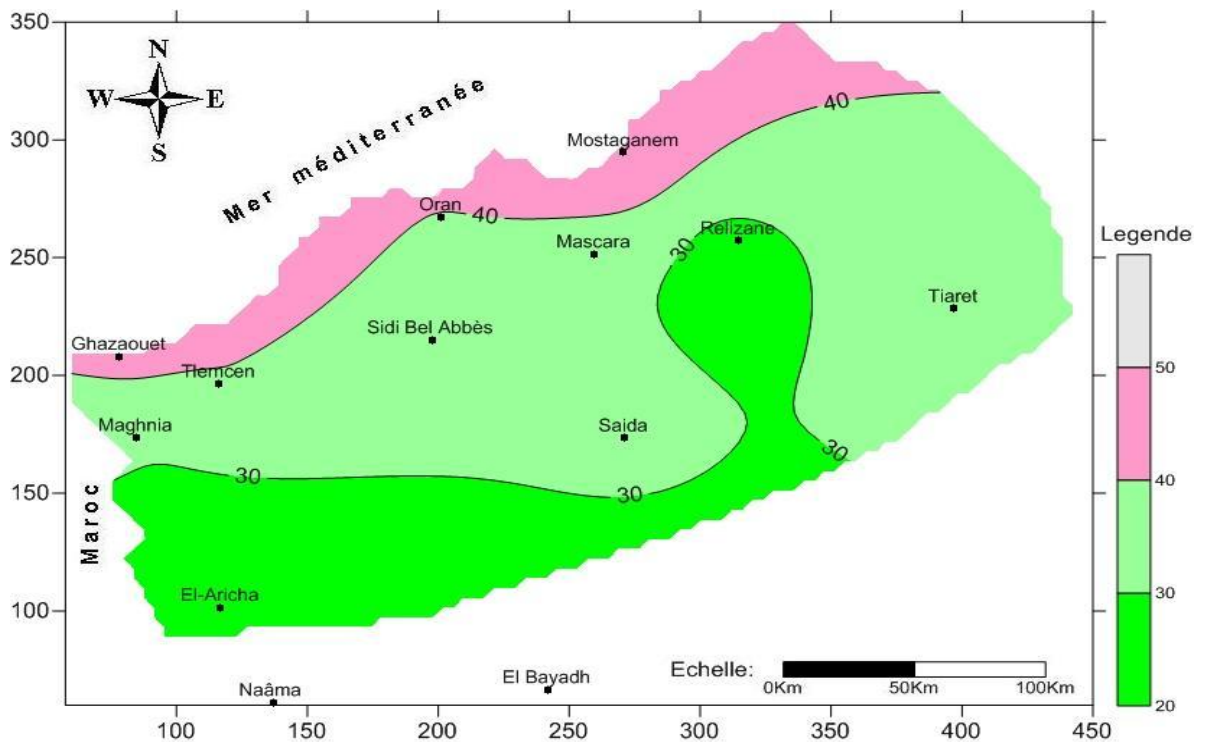


Fig. 38: Carte de répartition de l'Indice d'Arnoldus dans le Tell oranais

Selon Nahal (1984), Le résultat montre que le risque d'érosivité des pluies dans le Tell oranais est faible et augmente du Sud vers le Nord.

5.3.3.4- Carte d'érosivité du Tell oranais selon l'indice de Rango-Arnoldus

La carte de répartition spatiale de l'indice d'érosivité des pluies de Rango-Arnoldus (figure n° 39) montre une érosivité forte [60-70] pour les stations de Ghazaouet et Mostaganem ; la classe de [50-60] occupe une superficie importante et englobe six stations (Tlemcen, Oran, Mascara, Saida, Sidi Bel Abbès et Tiaret). Maghnia et Relizane et El Aricha appartiennent à la classe [40-50].

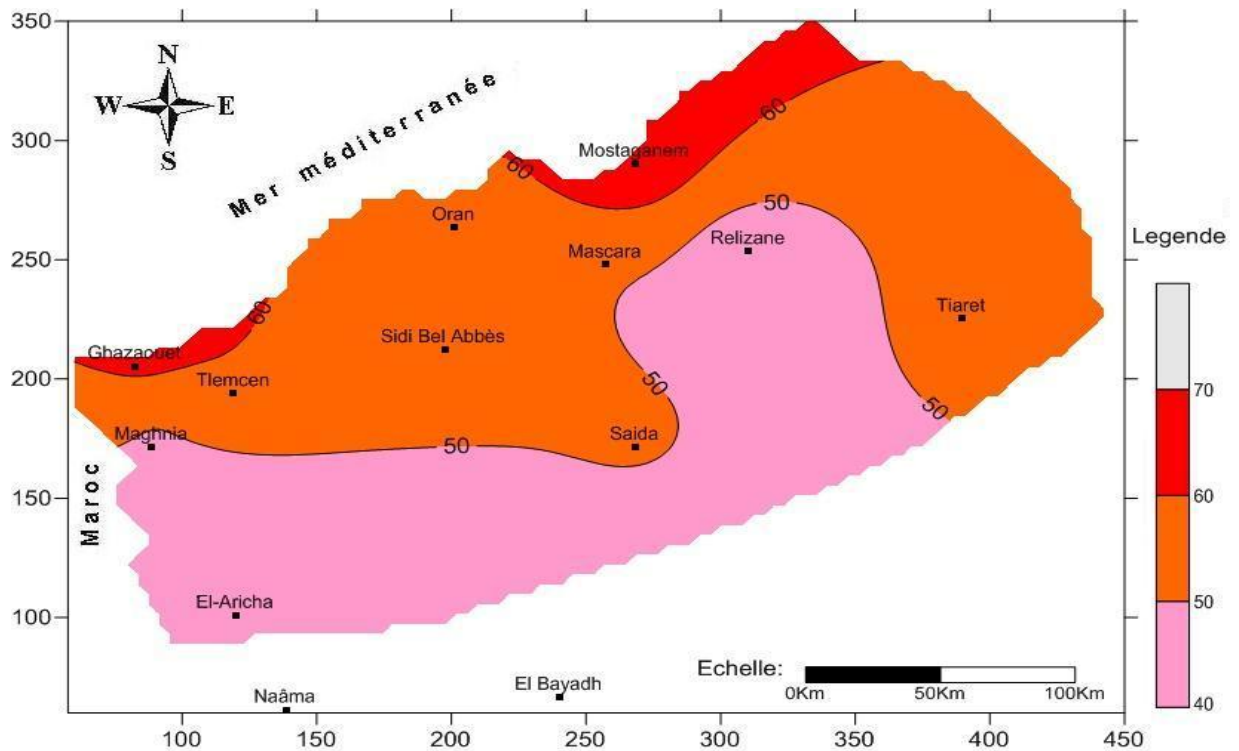


Fig. 39: Carte de répartition de l'érosivité de pluie de Rango-Arnoldus dans le Tell oranais

5.1.3.5- Carte d'érosivité du Tell oranais selon l'indice de Roose

La carte élaborée au moyen de la formule de Roose (figure n° 40), montre que le secteur du littoral et la partie orientale de la région d'étude présentent une érosivité relativement élevée.

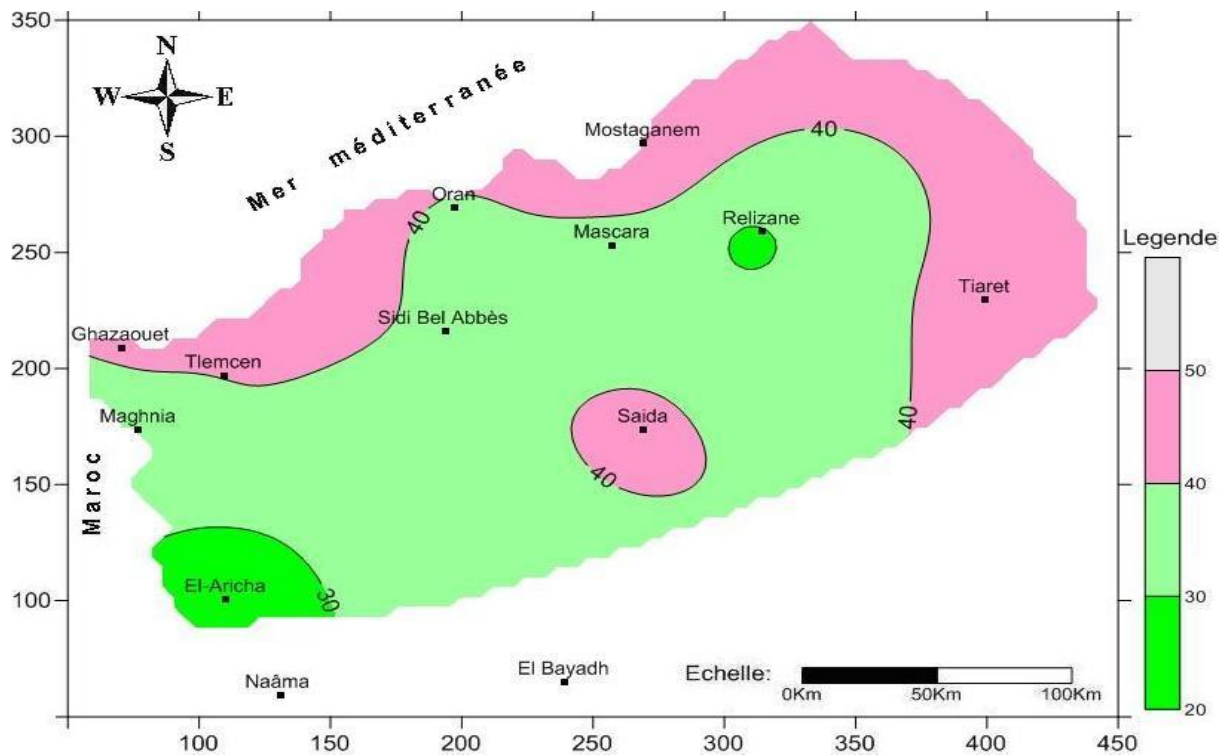


Fig. 40 : Carte de répartition d'érosivité de pluies selon Roose (1981) dans le Tell oranais.

Concernant les valeurs des quatre indices calculés précédemment, ils sont bien illustrés sur les cartes iso-érodents.

Les cartes montrant 37, 38, 39 et 40 montrent que les zones où l'érosivité des pluies est importante sont le littoral et Nord-Est.

5.1.3.6- Erosivité mensuelles selon l'indice de Deffontaines du Tell oranais

5.1.3.6.1- Carte d'Erosivité de Janvier

La carte du mois de Janvier (figure n° 1-2 en annexe 2) montre que l'agressivité des pluies dominante est faible [0-10] pour les stations Mostaganem, Mascara, Saida, Maghnia, Tiaret et El Aricha. Pour les stations Ghazaouet, Tlemcen et Sidi Bel Abbès l'agressivité des pluies est de l'ordre de [20-30].

5.1.3.6.2- Carte d'Erosivité de Février

La carte du mois de Février (figure n° 2-2 en annexe 2) montre que la station de Ghazaouet est marquée par une érosivité élevée [60-70], alors que les autres stations du Tell oranais sont caractérisées par une érosivité faible de la classe [0-10].

5.1.3.6.3- Carte d'Erosivité de Mars

La figure n° 2-3 (annexe 2) montre que les stations du Tell oranais représentent deux classes d'érosivité : classe [0-10] pour cinq stations (Mostaganem, Mascara, Sidi Bel Abbès, Saida et Tiaret), et classe [10-20] pour les autres stations (El Aricha, Maghnia, Tlemcen et Ghazaouet).

L'érosivité des pluies durant ce mois est relativement faible pour l'ensemble des stations.

5.1.3.6.4- Carte d'Erosivité d'Avril

La figure n° 2-4 (annexe 2) donne une interprétation de la répartition de l'érosivité durant le mois d'Avril, on trouve une similitude avec le mois de Février sauf que le risque d'érosivité à la station de Ghazaouet est de [20-30] mais en Février, la station de Ghazaouet est de [60-70].

5.1.3.6.5- Carte d'Erosivité de Mai

La carte réalisée pour le mois de Mai (figure n° 2-5 en annexe 2), indique que ce mois est plus menacé par l'érosivité par rapport aux mois précédents surtout dans la partie centre et nord-ouest du Tell oranais.

5.1.3.6.6- Carte d'Erosivité d'Août

Le mois d'Août (figure n° 2-6 en annexe 2) est caractérisé par une érosivité de [10 à 20] dans la partie Nord-ouest de la zone (Tlemcen, Ghazaouet et Maghnia). Dans les autres secteurs l'érosivité des pluies est faible de [0-10].

5.1.3.6.7- Carte d'Erosivité d'Octobre

La figure n° 2-7 (annexe 2) montre que l'agressivité des pluies est forte à Mostaganem et Saida (classe [20-30]) alors dans les autres stations est dominées par la classe de faible érosivité [0-10].

5.1.3.6.8- Carte d'Erosivité de Novembre

La figure n° 2-8 (annexe 2) montre que l'érosivité est importante dans la station de Ghazaouet, Mascara et El Aricha (classe [50-120]). On a enregistré aussi une érosivité élevée pour la station de Mostaganem (classe [30-50]). Les stations de Maghnia, Sidi Bel Abbès et Tiaret ont une faible érosivité (classe [0-10]).

5.1.3.6.9- Carte d'Erosivité de Décembre

La figure n° 2-9 (annexe 2) montre que le degré d'érosivité des pluies est plus élevé pour la station de Mostaganem (classe [100-120]). Les stations de Ghazaouet, Tlemcen, Sidi Bel Abbès, Mascara et Tiaret sont représentées par la classe [10-30]. La classe de risque faible [0-10] caractérise les stations de Maghnia, Saida et El Aricha.

Durant ce mois l'érosivité des pluies augmente du Sud-ouest vers le Nord-est du Tell oranais. Ce qui présente une tendance particulière notamment pour la région de Mostaganem, le danger d'érosion est élevé durant cette période, en raison de l'absence de couverture végétale dans les terrains cultivés du plateau de Mostaganem.

D'après ces résultats, on peut dire que l'érosivité des pluies de classe [0-10] est dominante dans le Tell oranais durant les mois de Janvier, Février, Mars, Avril, Août et Octobre.

L'activité agressive des pluies enregistrées dans le Nord-ouest du Tell oranais durant les mois de Janvier, Février et Avril mais faible dans le sud et Nord-Est (figures 2-1, 2-2, 2-4 et 2-6 annexe 2).

D'après les figures n° 2-5, 2-8 et 2-9 (annexe 2) représentant successivement les mois de Mai, Novembre et Décembre, on observe une érosivité élevée sur l'ensemble de la région, en effet alors que la classe d'érosivité [0-10] présente une superficie très minime.

5.1.3.7- Erosivité saisonnières du Tell oranais selon l'indice de Deffontaines

Concernant la répartition saisonnière de l'érosivité au niveau du Tell oranais, les cartes d'iso-érosivité basées sur l'indice de Deffontaines (figures n° 41, 42, 43 et 44), montrent une variation remarquable de l'érosivité d'une saison à l'autre.

5.1.3.7.1-Carte d'érosivité des pluies en Automne

La figure n°41, montre que l'érosivité des pluies en Automne est élevée dans les stations de Mostaganem et Ghazaouet (classe 90-120), trois stations (Mascara, Saida et El Aricha) appartiennent à la classe [30-60]. Dans la classe [0-30], on trouve les stations Maghnia, Sidi Bel Abbès et Tiaret.

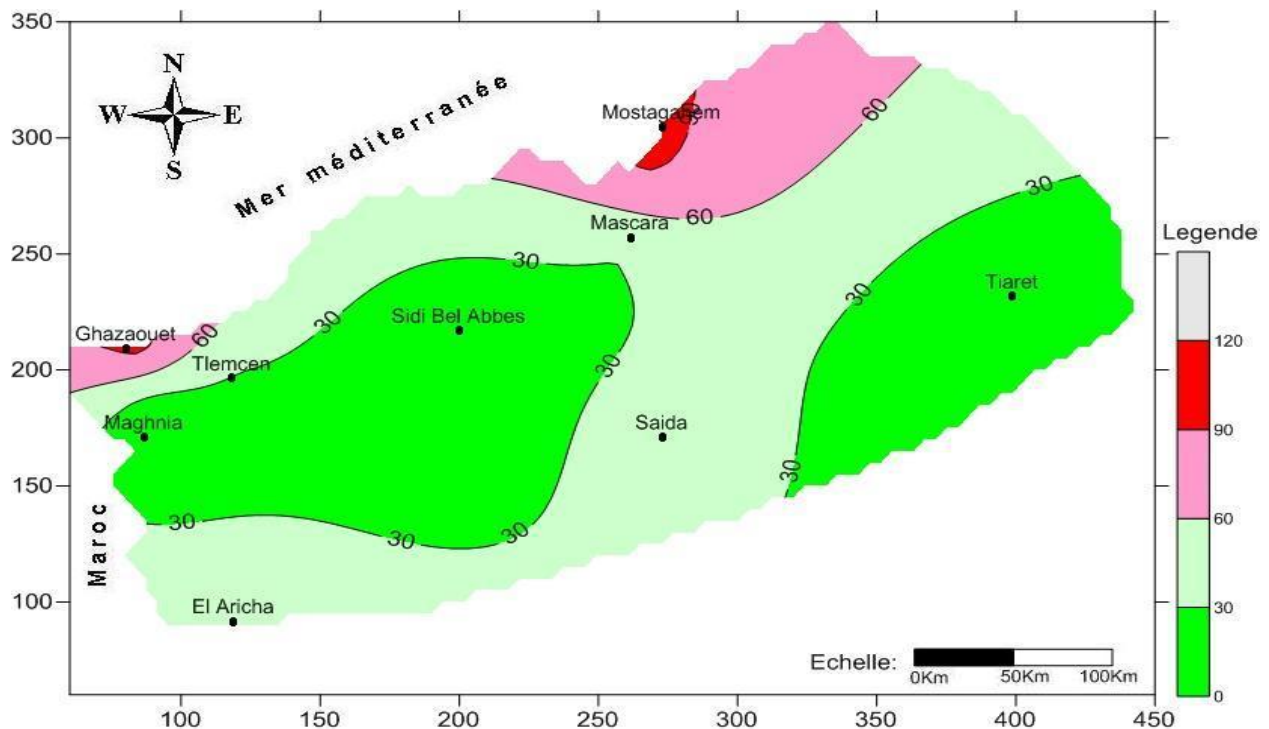


Fig. 41: Carte de répartition de l'érosivité en Automne selon Deffontaines dans le Tell Oranais

5.1.3.7.2- Carte d'érosivité des pluies en Hiver

La carte d'érosivité des pluies en hiver (figure n° 42) montre les mêmes tendances observées en automne à savoir :

- Forte érosivité dans les secteurs de Mostaganem et Ghazaouet
- Moyenne à faible pour les autres secteurs.

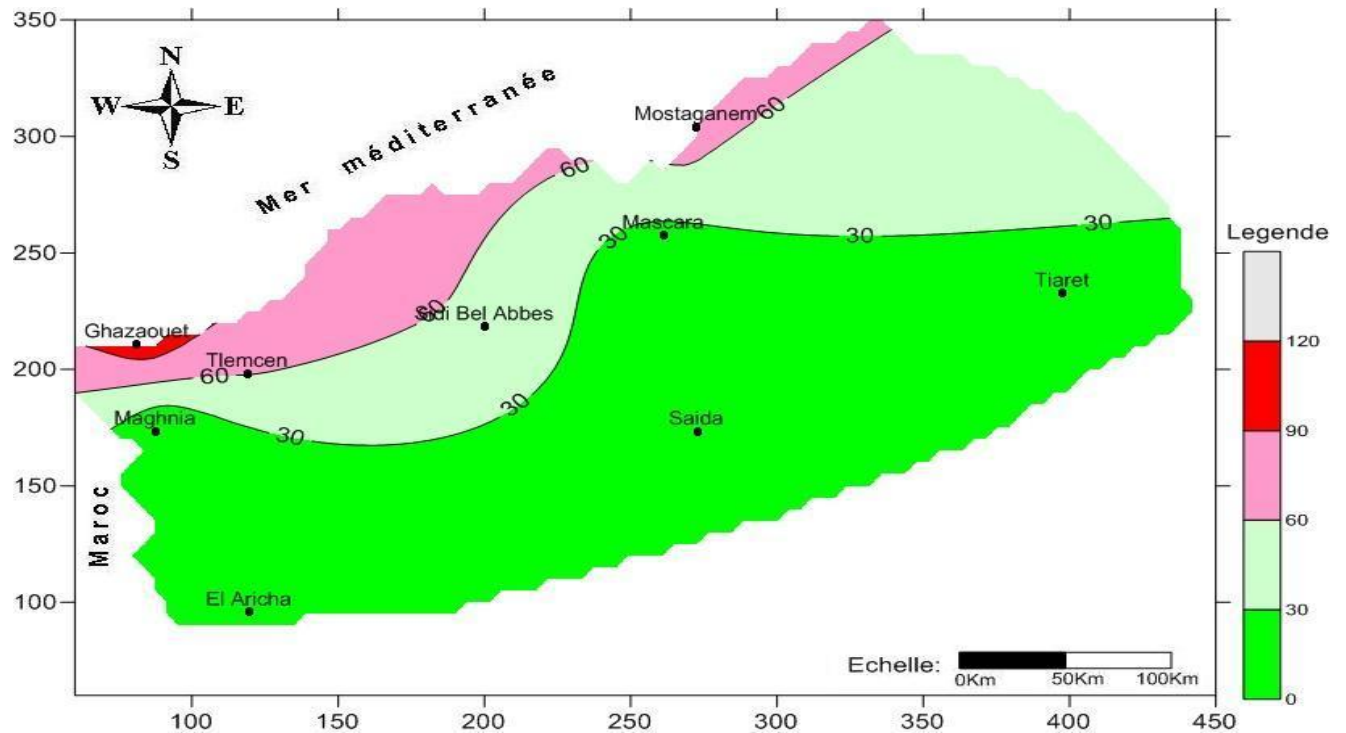


Fig. 42 : Carte de répartition de l'érosivité en Hiver selon Deffontaines dans le Tell Oranais

5.1.3.7.3- Carte d'érosivité des pluies au Printemps

Au Printemps (figure n° 43), l'érosivité est élevée (classe [60-90]) pour la station de Ghazaouet. Les stations de Tlemcen, Magnia, Mascara, El Aricha et Saida appartiennent à la classe [30-60] et les stations de Sidi Bel Abbès, Tiaret et Mostaganem à la classe [0-30].

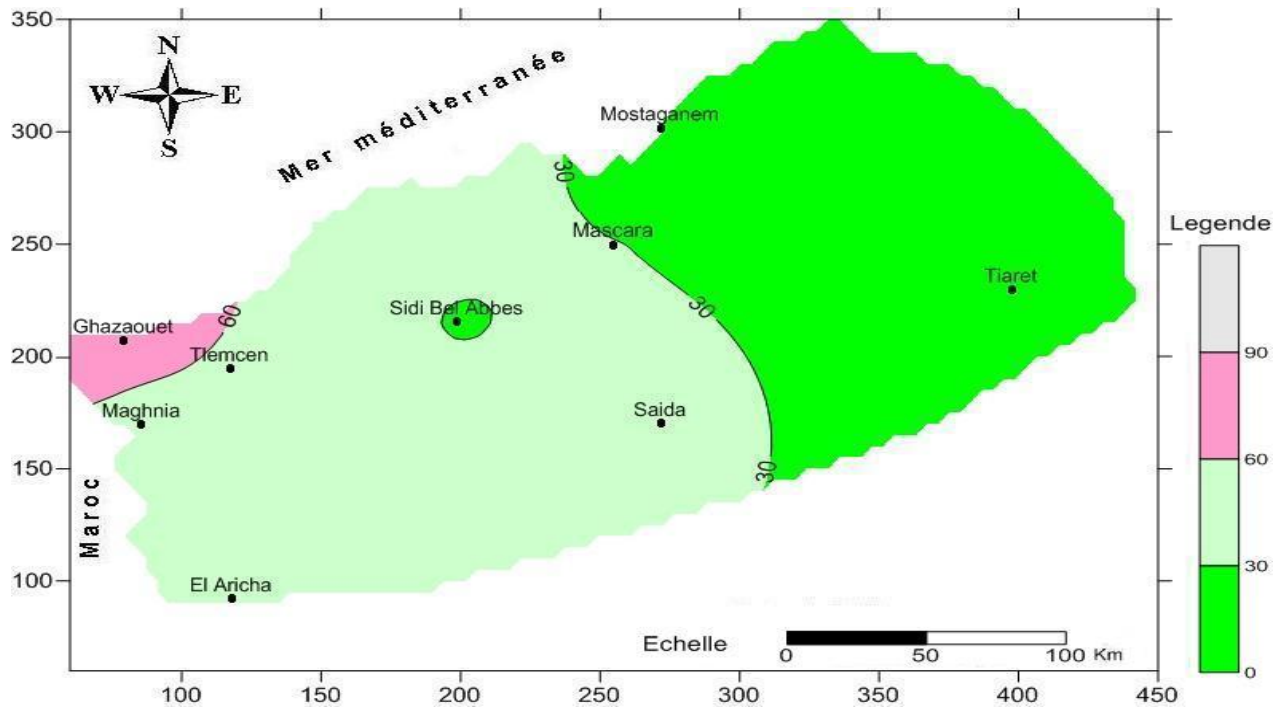


Fig. 43 : Carte de répartition de l'érosivité en Printemps selon Deffontaines dans le Tell Oranais

5.1.3.7.4- Carte d'érosivité des pluies en Eté

En Eté (figure n° 44), on a enregistré une érosivité faible pour toutes les stations du Tell oranais, [classe 0-30]. Cette dernière est dominante dans notre région d'étude vu les caractéristiques du climat méditerranéen (précipitation rare en été).

Les cartes saisonnières du Tell oranais (figures n° 54, 55, 56 et 57), nous renseignent que les pluies sont plus agressives en automne et en hiver. Durant ces périodes, l'érosivité des pluies augmente du sud vers le nord du Tell oranais.

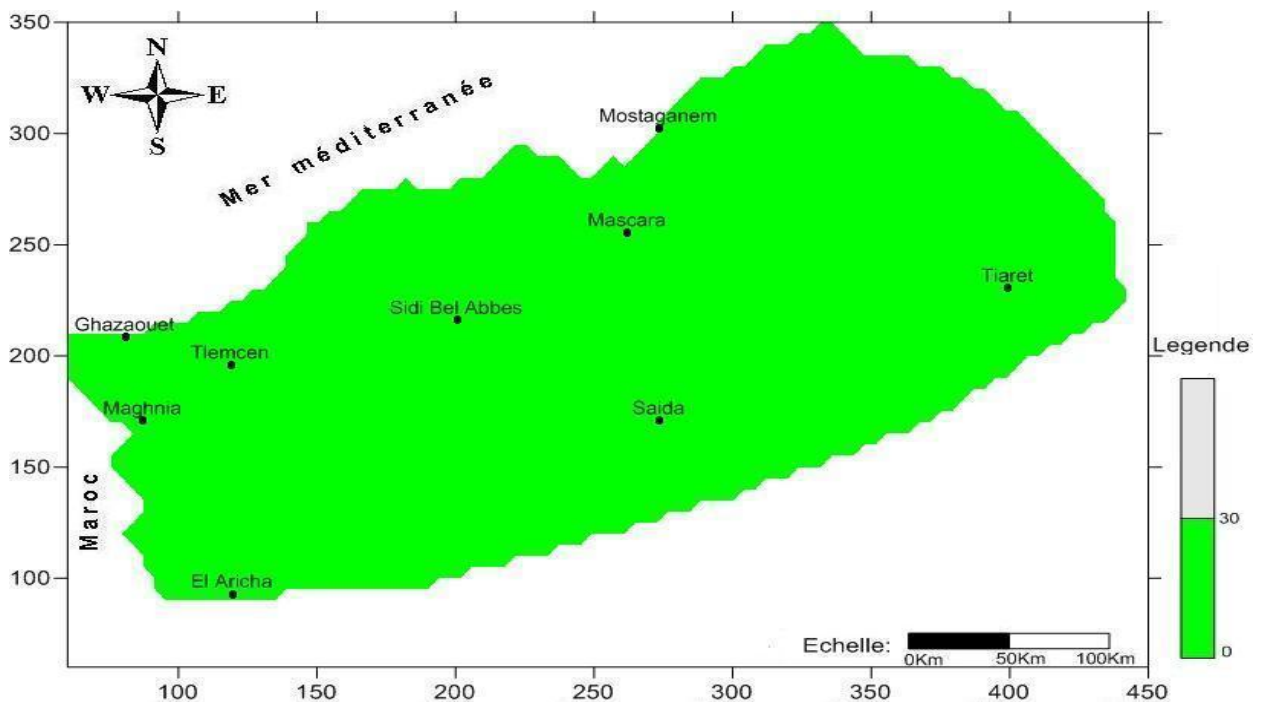


Fig. 44 : Carte de répartition de l'érosivité en Eté selon Deffontaines dans le Tell Oranais

Conclusion

On remarque que l'érosivité des pluies se manifeste durant neuf mois de l'année (annexe 2). Les mois de juin, juillet et septembre ont des précipitations non torrentielles ($P^{\circ} < 20$ mm/24 h).

Dans le Tell oranais, l'érosivité forte coïncide généralement avec les mois les plus pluvieux (figures n° 2-1, 2-5, 2-8 et 2-9 annexe 2). Par contre, les mois qui coïncident avec la sécheresse subissent aussi une érosivité grâce à des événements pluvieux torrentiels (voir figure n° 2-6 en annexe 2).

La répartition mensuelle des précipitations, montre un net contraste pluviométrique qui confirme l'irrégularité des précipitations dans le Nord-Ouest Algérien.

Les cartes d'érosivité mensuelles réalisées ont montré une variation du degré d'érosivité entre les différents mois de l'année. Ces variations semblent importantes dans le secteur littoral du Tell oranais. Pour mieux connaître l'érosivité, on s'est intéressé aux cartes saisonnières (Automne, Hiver, Printemps et Eté), ce qui nous a permis d'étudier en plus l'érosivité des pluies dans le temps et dans l'espace.

L'établissement des cartes de répartition du facteur d'agressivité climatique, nous a permis de connaître la répartition spatiale et temporelle d'érosivité des pluies dans le Tell oranais.

La coïncidence de la répartition des isohyètes de l'indice d'érosivité et des pluies semble indiquer des liaisons très étroites entre l'agressivité des pluies et les régimes pluviométriques dans la région d'étude.

5.1.4- Erodibilité des sols et des marnes

5.1.4.1- Analyse physico-chimique

L'analyse granulométrique des échantillons (tableau n° XVIII), montre que les argiles sont dominantes avec 13,3 % à 37 % pour la zone de l'Embouchure de Cheliff, la fraction argileuse varie de 34 % à 51 % dans le bassin versant de l'oued Mina et de 14,7 à 48 % dans le bassin versant de l'Isser (Tlemcen). On remarque aussi que les échantillons prélevés au niveau du bassin versant de l'Isser ont une grande proportion d'argiles par rapport aux autres zones d'échantillonnage.

Les échantillons de l'Embouchure de Cheliff sont caractérisés par une proportion élevée de limon grossier avec 27,7 % à 40,2 % et une faible proportion de limons fins avec 6,7 % à 17,2 %. Pour les autres échantillons, les proportions des limons grossiers sont faibles avec 1,9 % à 3 % pour les échantillons du bassin versant de Mina et 8 % à 19,5 % pour les échantillons de bassin versant de l'Isser ; les limons fins sont élevés avec 19,9 % à 42,6 % pour le bassin versant de Mina et de 18,6 % à 37,7 % pour le bassin versant de l'Isser.

Les échantillons de l'Embouchure du Chéiff sont dominés par la proportion des sables grossiers, on a enregistré une valeur de 47,2 % pour l'échantillon 2. Alors que les autres échantillons des deux zones test sont dominés par la proportion élevée de sables fins. Les échantillons de 3 zones tests présentent un pH basique variant entre 7,1 et 8,6.

La matière organique est élevée pour les échantillons d'Embouchure du Chéiff (4,12 % à 5,31 %), elle est moyenne pour le bassin versant de Mina (2,10 % à 3 %) et faible pour le bassin versant de l'Isser (0,76 % à 2,12 %).

La proportion de l'azote est faible pour les échantillons des zones d'Embouchure de Cheliff et bassin versant de Mina (0,03 % à 0,11 %), élevée pour le bassin versant de l'Isser (0,12 à 0,13 %).

La conductivité électrique varie de 0,7 à 1,3 mmhos pour les échantillons 1, 2 et 3 (embouchure du Chéiff) et entre 1,21 à 3,06 mmhos pour les échantillons 4, 5, 6 et 7 (bassin versant d'oued Mina). Les échantillons 8, 9, 10 et 11 (bassin versant de l'Isser) sont caractérisés par une conductivité électrique qui varie de 0,17 à 0,31 mmhos.

On observe une conductivité électrique élevée dans l'échantillon 6 (Marne vert clair) par rapport aux autres échantillons.

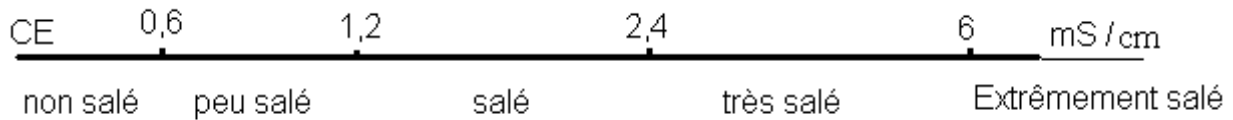


Fig. 45 : Echelle de salure en fonction de la conductivité de l'extrait aqueux au 1/5: relation de Richards in Aubert (1978)

L'échelle de salure (figure n° 45) montre que:

- Les échantillons 1, 2 et 3 (embouchure du Chéiff) sont peu salés
- Les échantillons 4, 5, 6 et 7 (bassin versant d'oued Mina) sont salés
- Les échantillons 8, 9, 10 et 11 (bassin versant de l'Isser) sont non salés.

a-1 / - Carbonate de Calcium CaCO₃

D'après le tableau n° XVIII, Nous enregistrons un faible taux de calcaire dans l'échantillon 2 (marnes bleues) avec 3,24 %, de 14 % pour l'échantillon 3 (marnes jaunâtre vert clair) et l'échantillon 1 (marnes vert clair) avec 16,21 %, ces 3 échantillons concerne l'Embouchure du Chéiff. La valeur la plus élevée (40 %) est enregistré dans l'échantillon 7 (marnes bleues compacts) du bassin versant de Mina. Cette forte teneur se trouve liée à la nature de la roche mère qui est souvent calcaire.

Les échantillons du bassin versant de l'Isser ont un taux de calcaire proche de celui observé à l'embouchure de Chéiff, ce taux varie de 19,32 % à 24,91 %. Dans le bassin versant de la Mina le

taux varie selon le type de marne. Il est faible dans les marnes grises et il est élevé dans les autres types de marnes.

a-2 /- Bases échangeables, capacité d'échange cationique et taux de saturation

Les cations dans nos échantillons (tableau n° XVIII) sont caractérisés par une faible quantité de Sodium (Na^+) avec 0,14 méq /100g à 3,07 méq /100 g, sauf l'échantillon 6 (Marnes vert clair) qui a une quantité de 8,32 méq /100g. Les autres éléments minéraux comme d'ions de Magnésium varient de 2,14 méq /100g à 6,41 méq /100g.

Le Calcium est faible dans l'échantillon 6 avec 8,84 méq /100g à une valeur importante de 23,21 méq /100g dans l'échantillon 5 (marnes brunes). On ne trouve pas une différence importante de Potassium entre nos échantillons et varie de 0,72 à 1,73 méq /100g.

La somme (S) des cations est variable de 17,32 méq / 100 g à 30,65 méq / 100 g. le taux de saturation varie de 98,06 à 100 %.

Tableau n° XVIII: Résultats d'analytique granulométrique et chimique des échantillons

Ech	Granulométrie (%)					Analyses biochimiques (%)				pH	C.E mmhos/ 25°	CaCO3	Bases échangeables meq /100 g				C.E.C méq /100 g et taux de saturation %		
	A 0 - 2μ	L.F 2 - 20μ	L.G 20-50μ	S.F 50 -100μ	S.G 100- 2000μ	C.O	M.O	N	C/N				Ca++	Mg++	K+	Na+	S	T	V
Ech.1	37	17,2	40,2	1,8	3,6	2,39	4,12	0,07	34,14	7,8	0,7	16,21	13,30	3,23	1,35	0,48	18,36	18,36	100
Ech.2	13,3	6,7	27,7	4,9	47,2	3,08	5,31	0,04	77	7,9	1,3	3,24	9,5	2,41	0,98	2,56	15,45	15,45	100
Ech.3	32,7	13,4	36,9	8,1	8,7	2,57	4,43	0,03	85,6	8,2	1,3	14	12,16	2,14	1,73	3,07	19,10	19,10	100
Ech.4	37,2	35,2	2,3	18,9	5,1	1,33	2,30	0,09	14,77	7,1	2,01	9,7	11,41	3,61	1,42	0,24	16,68	16,68	100
Ech.5	45,1	42,6	1,9	3,4	6,4	1,74	3,00	0,05	34,8	7,6	-	25,94	23,21	5,93	0,92	0,59	30,65	30,65	100
Ech.6	34	33	4,4	19,9	8,9	1,22	2,10	0,08	15,25	7,8	3,06	31,17	8,84	6,41	0,82	8,32	24,39	24,39	100
Ech.7	51	19,9	3,0	10,0	15,9	1,57	2,70	0,11	14,27	7,5	1,21	40,33	26,80		1,32	0,12	28,24	28,29	99,82
Ech.8	45,6	18,6	15,2	15,1	3,6	0,44	0,76	0,13	8,3	8,3	0,22	24,91	12,6	3,48	1,05	0,19	17,32	17,25	100
Ech.9	48,0	22,7	8	19,8	1,4	0,77	1,32	0,12	6,41	8,6	0,29	23,55	14,6	3,36	1,00	0,15	19,11	19,19	99,54
Ech.10	14,7	37,7	19,5	24,0	4,0	1,23	2,12	0,12	10,08	8,3	0,17	23,40	14,00	4,32	0,72	0,14	19,18	19,54	98,15
Ech.11	46,1	20,1	16,8	13,5	3,5	0,74	1,28	0,13	5,6	8,6	0,31	19,32	14,6	3,72	1,54	0,59	20,05	20,45	98,06

Tableau n° XIX-a : Résultats d'analytique granulométrique et physique et le comportement des échantillons

Ech	texture	Structure	IF	Risque de Battance	Sensibilité à la Battance	Perméabilité (mm/h)	Limite d'Atterberg		
							L.L %	L.P %	I.P %
Ech.1	Limono- argileuse	Polyédrique	0,51	Non battant	Risque faible	Lente	48,10	21,98	26,12
Ech.2	Limono- sableuse	Grumeleuse	0,26	Non battant	Risque élevé	Modérée	40,10	23,57	16,53
Ech.3	Limono- argileuse	Polyédrique	0,42	Non battant	Risque faible	Modérée à lente	39,00	20,72	18,28
Ech.4	Limono-argileuse	Fin à moy grumeleuse	0,71	Non battant	Risque faible	Modérée	30,31	20,90	09,51
Ech.5	Argilo-limoneuse	Sub-polyédrique	0,71	Non battant	Risque faible	Lente	46,26	26,30	19,96
Ech.6	Limono-argileuse	Fin à moy grumeleuse	0,76	Non battant	Risque faible	Modérée	36,46	25,27	11,19
Ech.7	Argileuse	Polyédrique à prismatique	0,21	Non battant	Risque faible	Modérée à lente	48,99	29,13	19,86
Ech.8	Argilo-limoneuse	Grumeleuse	0,54	Non battant	Risque faible	Modérée à lente	51,59	32,05	19,54
Ech.9	Argilo-limoneuse	Polyédrique sub-angulaire	0,45	Non battant	Risque faible	Modérée à lente	48,20	23,07	25,13
Ech.10	Limoneuse	Polyédrique	1,78	Assez battant	Risque élevé	Modérée à lente	37,47	19,76	17,71
Ech.11	Argilo-limoneuse	Grumeleuse	0,53	Non battant	Risque faible	Modérée à lente	47,05	22,60	24,45

a-3 /- Texture

Le tableau n° (XIX-a) montre que les échantillons d'Embouchure de Chélif sont de texture limono-argileuse à limono-sableuse, les échantillons de bassin versant de Mina sont du type de texture limono-argileuse et argilo-limoneuse à argileuse, la texture des échantillons de bassin versant d'Isser sont du type argilo-limoneuse à limoneuse (figure n° 46).

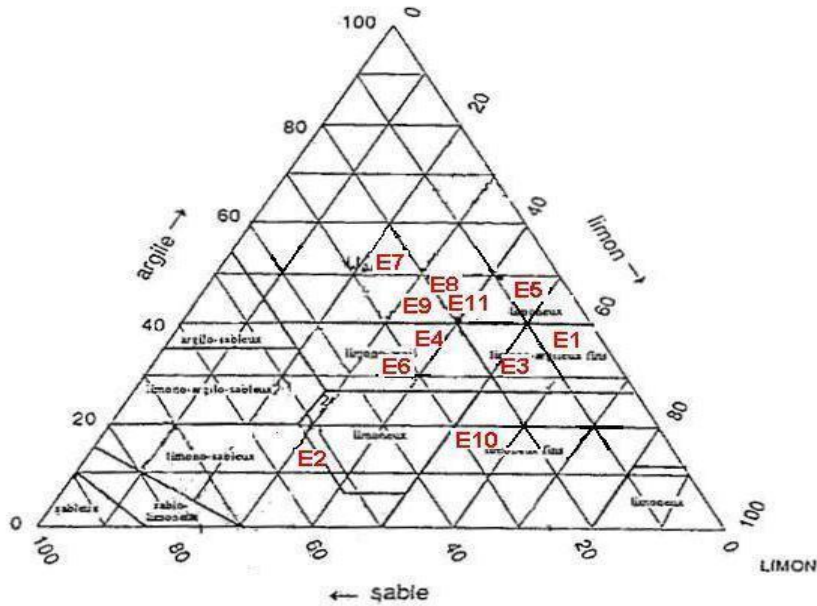


Fig. 46 : Classification des types de Marnes et de sols dans les zones d'étude du point de vue de la texture d'après le Soil Survey Manual (1951).

a-4 /- Battance

L'ensemble des échantillons ont un risque de battance faible, sauf les échantillons 2 et 10 qui présentent un risque élevé de battance (figure n° 47).

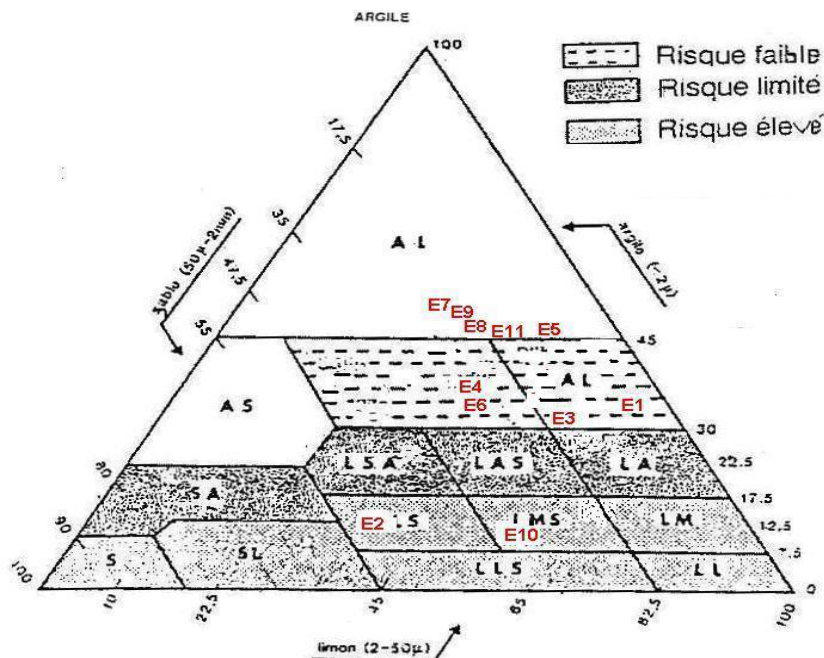


Fig. 47 : Classes de sensibilité à la battance d'après Ludwig (1992)

a-5 /- Stabilité structurale

Selon le triangle textural (figure n°48), les échantillons stables sont (7, 8, 9 et 11). Les échantillons de stabilité moyenne sont (1, 4 et 5). Les échantillons 2 et 10 sont très instables.

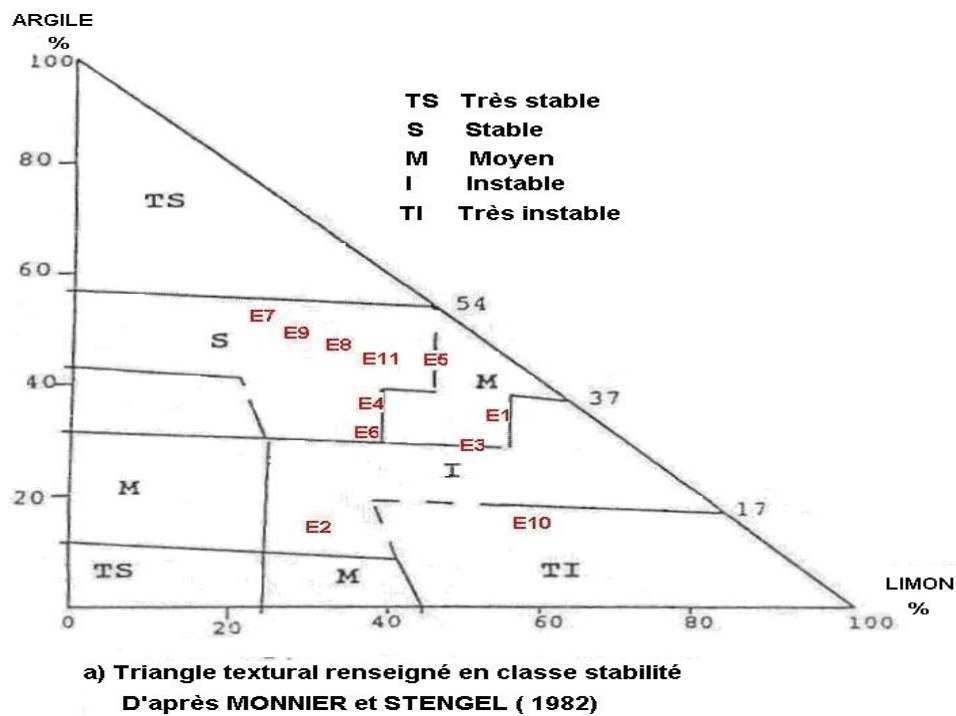


Fig. 48 : Classification des types de marnes et de sols dans la zone des marnes tertiaires du point de vue de la stabilité structurale

a-6 /- Aptitude à la fissuration

Cette propriété exprime l'aptitude intrinsèque d'un matériau à se fragmenter sous l'effet des alternances humectation-dessiccation.

Le résultat est présent sous la forme d'un triangle textural renseigné en classes d'aptitude à la fissuration (figure n° 49). Il en ressort que cette dernière est :

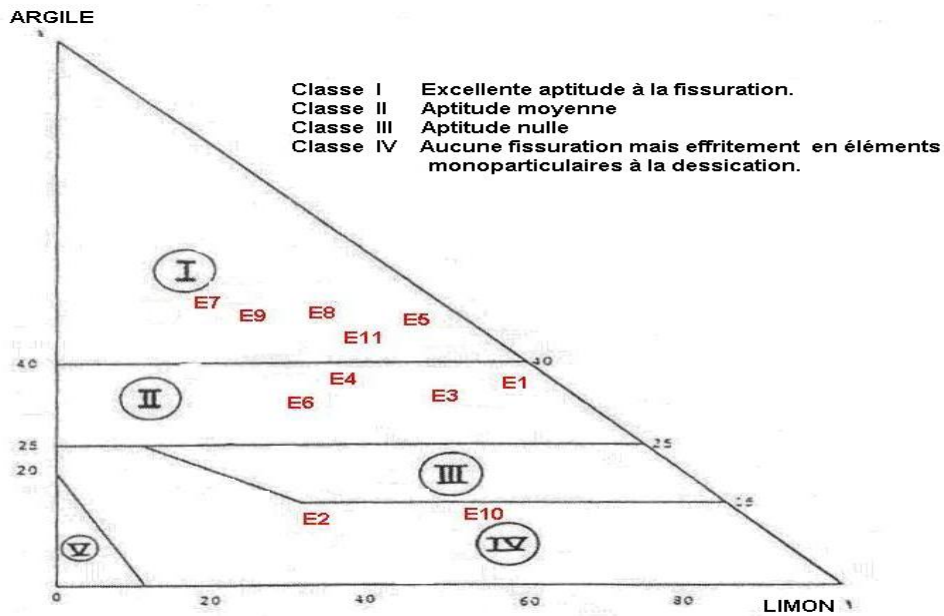
Excellente pour les marnes brunes (éch.5) et bleues compactes (éch. 7)

Moyenne pour les marnes vert-clair (éch.1) et grises (éch.4)

Nulle pour les marnes bleues (éch.2)

les sols isohumiques à caractère vertique (éch. 8) et les sols calcimagnésiques carbonatés bruns calcaires (éch. 9) sont une excellente aptitude à la fissuration, à l'inverse les sols peu évolués d'apport alluvial (échan. 10) ne sont pas sensibles à la fissuration.

Dans les formations sensibles à la fissuration, des fentes se développent durant la période de sécheresse. A la période pluvieuse l'eau s'engouffre dans les fentes jusqu'au niveau imperméable. Un drainage oblique s'établit jusqu'en bas de pente et permet le départ des ravinements (photo n° 6)



b) Triangle textural renseigné en classes d'aptitude s à la fissuration
D'après MONNIER et STENGEL (1982)

Fig. 49 : Classification des types de marnes et de sols dans les zones d'étude du point de vue des aptitudes à la fissuration

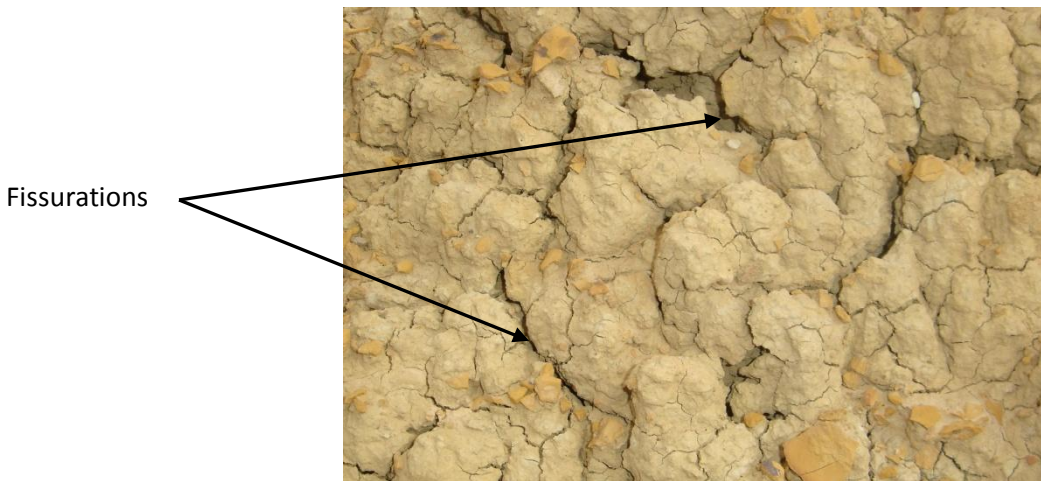


Photo 6 : Processus de fissuration des marnes vert clair-jaunâtre dans la zone test

a-7/- Indice d'érodibilité

Les valeurs de l'indice d'érodibilité des échantillons varient de 0,14 pour les marnes bleues compactes à 0,56 pour les sols peu évolués non climatiques d'apport alluvial (tableau n° XIX-b).

Selon ces résultats, on remarque que l'érodibilité est faible sur le substrat marneux, alors qu'elle est élevée sur les sols cultivés.

L'indice d'érodibilité qui n'est pas une valeur stationnaire, il évolue en fonction du temps et du type de sol. L'érodibilité n'est donc pas entièrement dépendante des propriétés intrinsèques du sol mais aussi des effets variés des techniques culturales : ceci justifie la tentative de Elwell (1978), de grouper sous un

même indice d'érodibilité les interactions entre les propriétés intrinsèques du sol et leur évolution sous l'influence des techniques culturales.

Tableau n° XIX-b: Résultats d'analytique physique et le comportement des échantillons

Echantillons	Degré de plasticité	Cisaillement		Stabilité structurale Log10 Is	Classe de stabilité structurale	Aptitude à la fissuration	Erodibilité	Classe d'érodibilité
		Cu (bars)	σ (°)					
Ech.1	Plastique	0,34	36,86	1,4	Moyenne	Moyenne	0,21	Marne fort. érodible
Ech.2	plastique	0,30	41,66	2,1	Très Instable	Nulle	0,31	Marne très fort. érodible
Ech.3	Plastique	0,35	32,82	1,8	Instable	Moyenne	0,23	Marne fort. érodible
Ech.4	Moy. plastique	0,33	40,89	1,7	Moyenne	Moyenne	0,21	Marne fort. érodible
Ech.5	Plastique	0,52	31,59	1,6	Moyenne	Excellente	0,26	Marne fort. érodible
Ech.6	Moy. plastique	0,45	41,27	1,9	Instable	Moyenne	0,24	Marne fort. érodible
Ech.7	Plastique	0,50	21,55	1,02	Stable	Excellente	0,14	Marnes moy. érodible
Ech.8	Plastique	0,32	35,94	1,10	Stable	Excellente	0,22	Sol fort. érodible
Ech.9	Plastique	0,56	22,04	1,07	Stable	Excellente	0,19	Sol moy. érodible
Ech.10	Plastique	0,31	32,64	2,12	Très instable	Nulle	0,56	Sol très fort. érodible
Ech.11	Plastique	0,40	25,17	1,15	Stable	Excellente	0,22	Sol fort. érodible

a-8 /- Analyse minéralogique

L'analyse minéralogique des argiles des horizons superficiels dans chaque échantillon aux rayons X, (figures n° 50, 51, 52 et tableau n° XX) montre que les argiles des marnes vert clair (éch.1, figure n° 50), nous indique que l'illite, trioctahedral sont dominants avec une proportion de 18,57 %. La kaolinite et la montmorillonite sont représentées par des proportions respectives de 17,67 % et de 13,10 %.

Les minéraux argileux dans les marnes bleues (éch. 2, figure n° 51) sont dominés par la montmorillonite avec 11,91 %. La teneur en kaolinite est de 10,29 %. L'illite, trioctahedral de l'ordre 10,12 %. L'échantillon des marnes jaunâtre-vert-clair (échantillon n° 3, figure n° 52) est représenté par la Montmorillonite avec 19,76 %, en deuxième position la kaolinite avec 17,86 % et en troisième position on trouve l'illite, trioctahedral avec 16,79 %. Les marnes bleues (éch. 2) et vert clair jaunâtre (éch. 3) contiennent une proportion dominante de montmorillonite.

Tableau n° XX: Résultats d'analyse minéralogique des échantillons

Echantillons	Minéraux argileux (%)				
	Illite	Chlorite	Kaolinite	Montmorillonite	Interstratifiés (Illite-Montmorillonite)
Ech. 1	18,57	-	17,67	13,10	-
Ech. 2	10,12	-	10,29	11,91	-
Ech. 3	16,79	-	17,86	19,76	-
Ech. 4	35	25	10	-	30
Ech. 5	30	15	10	-	45
Ech. 6	traces	traces	15	-	85
Ech. 7	35	30	10	-	25
Ech. 8	30	-	5	-	65
Ech. 9	20	-	Trace	-	80
Ech. 10	20	-	5	-	75
Ech. 11	20	-	10	-	70

Ces minéraux argileux favorisent l'absorption de l'eau et le gonflement ce qui favorise l'altération suite à l'alternance des phases d'humectation et de dessiccation.

Les échantillons du bassin versant de Mina sont dominés par des produits de transformation d'illites et des chlorites dégradés sous forme des interstratifiés. Ces dernières sont particulièrement abondantes dans les marnes vert-claires avec 85 % et dans les marnes brunes avec 45 %. Ils peuvent être considérés comme des édifices proches des smectites gonflantes. Pour les marnes grises et marnes bleues compactes (éch. 4 et 7), l'illite est d'ordre 35 % et le Chlorite est de 25 % à 30 %.

Dans les marnes vert-claires (éch. 6), on trouve des traces de l'illite et de la chlorite. La teneur de kaolinite, pour tous les échantillons de la Mina est faible.

Selon ces résultats, on remarque que les marnes grises et bleues compactes sont mieux résistantes à l'érodibilité grâce à par la proportion élevée de leur illite et la faible proportion des interstratifiés. Par contre les marnes vert-clair et brunes sont menacées par l'érodibilité à cause de la dégradation de ses minéraux argileux.

Les échantillons prélevés dans le bassin versant d'Isser sont riches en minéraux argileux interstratifiés (illite-montmorillonite) avec un taux en moyenne de 70 %, les illites sont de l'ordre de 20 % à 30 % et une teneur faible en kaolinite (5 % à 10 %). Parfois on trouve cette kaolinite sous forme de traces avec une proportion élevée des interstratifiés (80 %), c'est le cas des sols calcimagnésiques carbonatés brun calcaires sur marne (éch. 9, tableau n° XX). Ces sols sont riches en argiles très mal cristallisées et gonflantes, sensibles aux phénomènes gonflement-retrait et favorisant l'apparition de fentes de retrait dans la plupart des sols de la zone.

Selon ces résultats, on trouve que l'illite et la kaolinite sont présentes dans tous les échantillons (tableau n° XX), mais l'illite en proportion élevée que la kaolinite. Le chlorite est présent dans les échantillons de bassin versant de Mina et absente dans les échantillons d'Embouchure de Cheliff et dans le bassin versant d'Isser. La montmorillonite est présente dans les échantillons de l'Embouchure de Cheliff, et sous formes interstratifiés dans ceux de la Mina et de l'Iser.

Ech 1

D5MEAS - Program:DJARGP.DQL D5ME

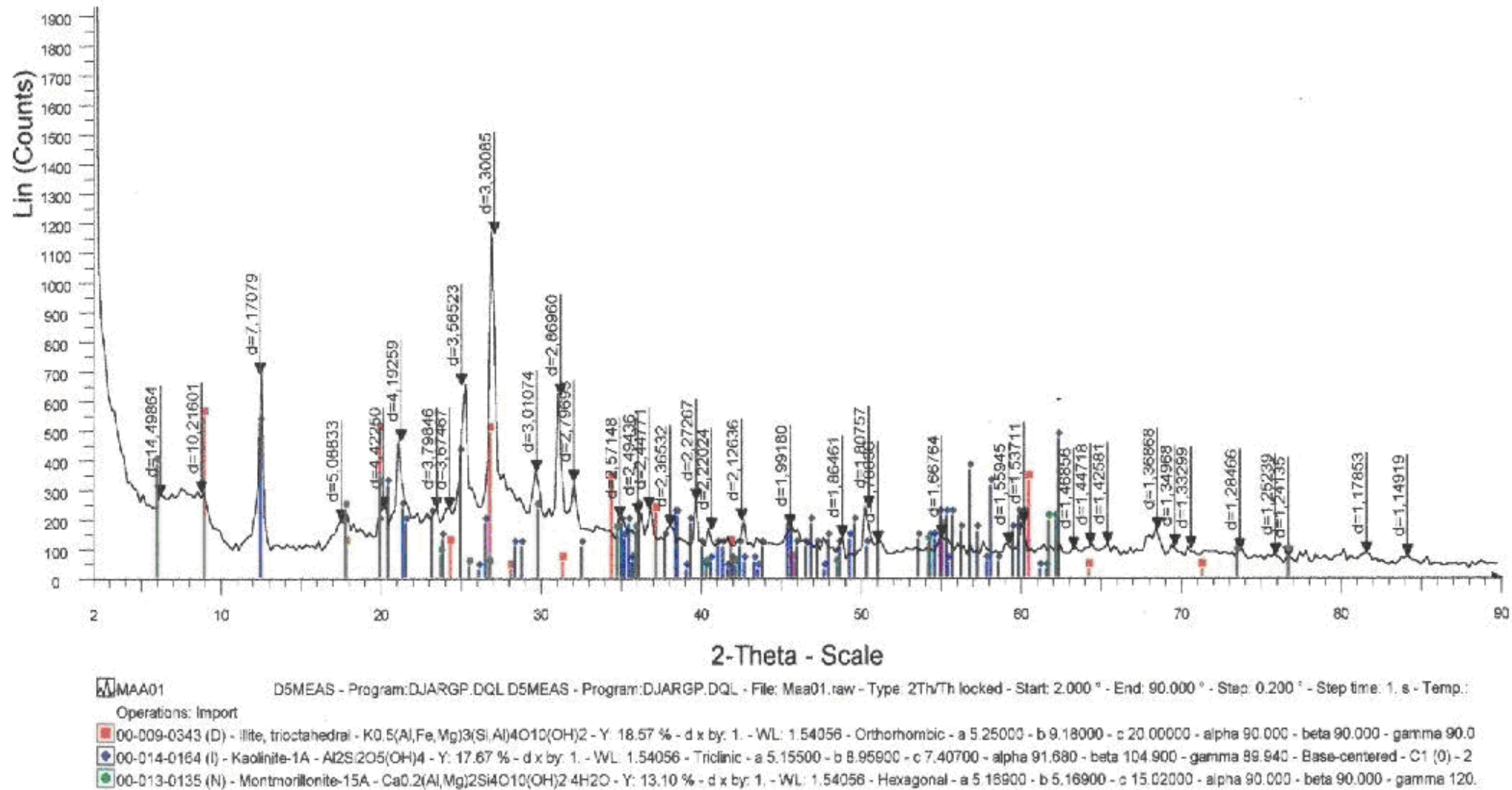
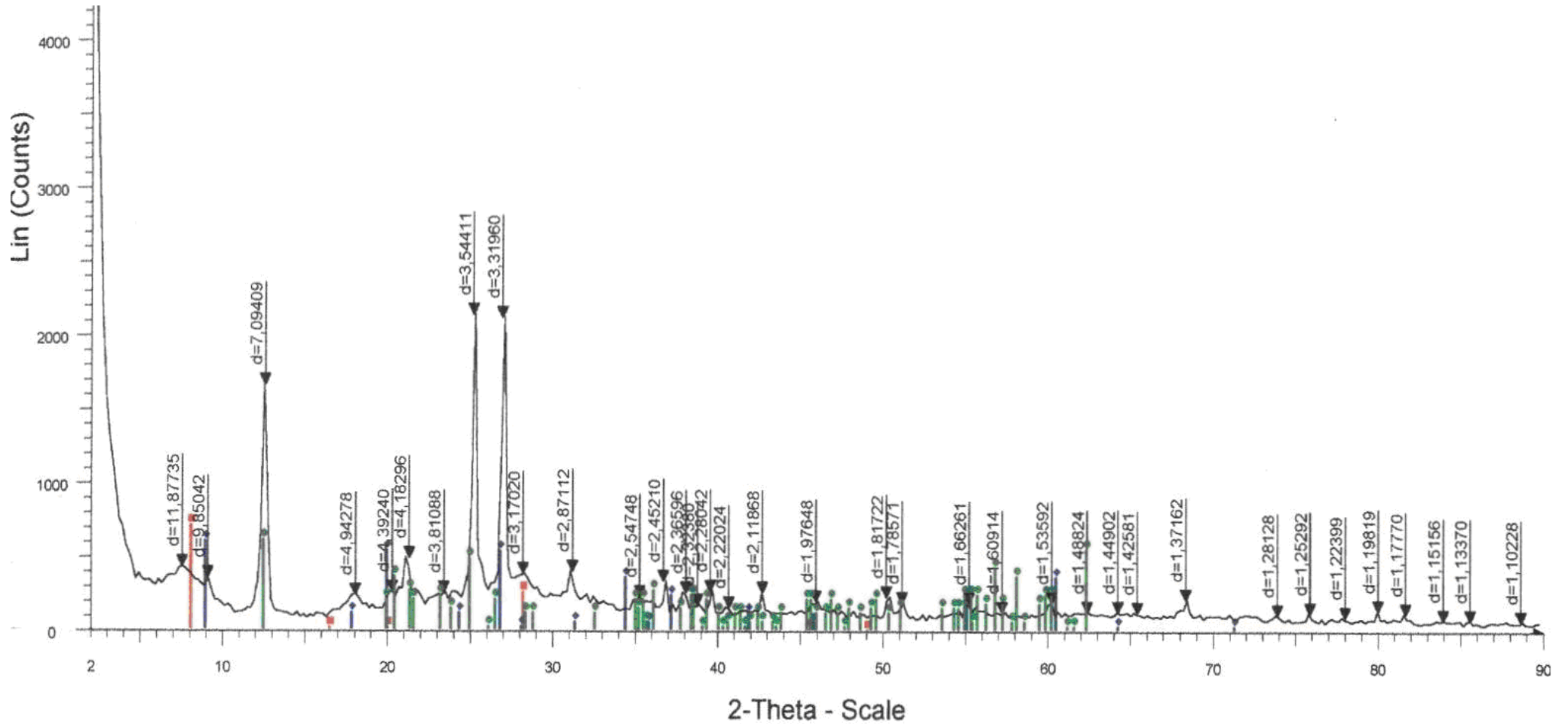


Fig. 50: Diagramme DRX des Minéraux argileux qui composent l'échantillon n°1

D5MEAS - Program:DJARGP.DQL D5ME

Ech 2



MAA02 D5MEAS - Program:DJARGP.DQL D5MEAS - Program:DJARGP.DQL - File: Maa02.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 2.000 ° - End: 90.000 ° - Step: 0.200 ° - Step time: 1. s - Temp.:
 Operations: Import
 00-011-0303 (D) - Montmorillonite - (Al(OH)₂)_{0.33}Al₂(Si_{3.67}Al_{0.33}O₁₀)(OH)₂ - Y: 11.91 % - d x by: 1. - WL: 1.54056 - I/c PDF 1. - S-Q 36.9 % -
 00-009-0343 (D) - Illite, trioctahedral - K_{0.5}(Al,Fe,Mg)₃(Si,Al)₄O₁₀(OH)₂ - Y: 10.12 % - d x by: 1. - WL: 1.54056 - Orthorhombic - a 5.25000 - b 9.18000 - c 20.00000 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.0
 00-014-0164 (I) - Kaolinite-1A - Al₂Si₂O₅(OH)₄ - Y: 10.29 % - d x by: 1. - WL: 1.54056 - Triclinic - a 5.15500 - b 8.95900 - c 7.40700 - alpha 91.680 - beta 104.900 - gamma 89.940 - Base-centered - C1 (0) - 2

Fig. 51: Diagramme DRX des Minéraux argileux qui composent l'échantillon n°2

D5MEAS - Program:DJARGP.DQL D5ME

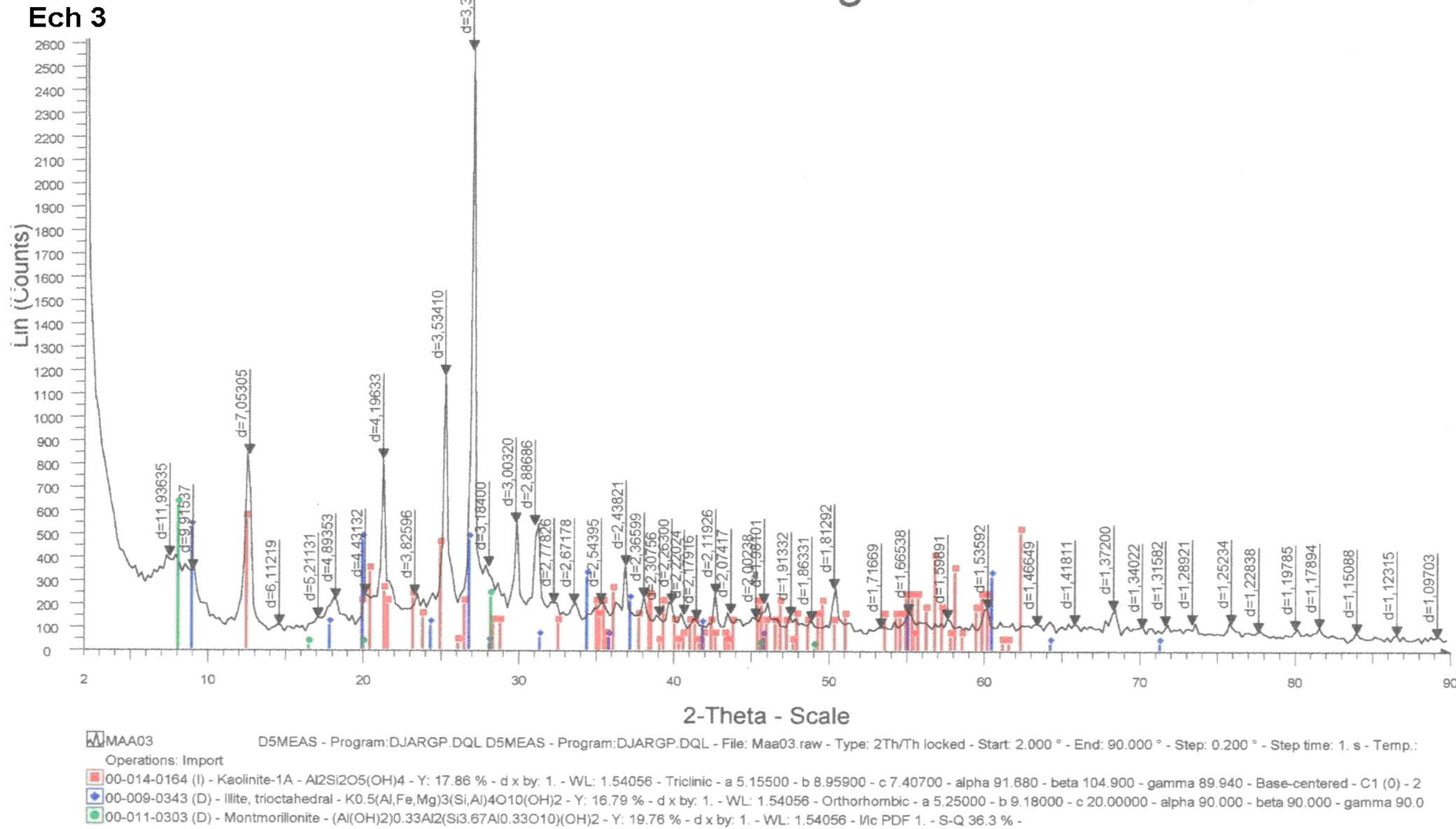


Fig. 52: Diagramme DRX des minéraux argileux qui composent de l'échantillon n°3

5.1.4.2- Analyses mécaniques des échantillons

b-1/- Limite d’Atterberg

Le tableau n° XIX-a, représente les résultats obtenus pour la limite de liquidité (WL), la limite de plasticité (WP) et l’indice de plasticité (IP).

La limite de liquidité des échantillons varie entre 30,31 % et 51,59 %. La limite de plasticité varie de 19,76 % à 32,05 %. L’Indice de plasticité varie de 09,41 % à 26,12 % (figures n° (3-1), (3-2), (3-3), (3-4), (3-5), (3-6), (3-7), (3-8), (3-9), (3-10) et (3-11) annexe 3) .

L’abaque de plasticité de Casagrande (figure n°53) met en valeur la limite de liquidité WL en fonction de l’indice de plasticité IP, il apparaît que les échantillons se situent dans le domaine des limons peu plastiques, argiles moyennement plastiques et des sols organiques très plastiques

L’échantillon n° 4 fait parti des limons peu plastiques, les échantillons 1, 2, 3, 5, 6, 7, 9, 10 et 11 appartiennent aux argiles moyennement plastiques et l’échantillon n° 8 appartient aux sols organiques très plastiques.

Seed et al. (1962), proposent une classification du potentiel de gonflement du substrat en fonction de l’indice de plasticité. L’indice de plasticité de l’échantillon n° 4 est inférieur à 10 donc son potentiel de gonflement est faible. Les échantillons 2, 3, 5, 6, 7, 8 et 10 ont un indice de plasticité compris entre 10 et 20, donc leur potentiel de gonflement est moyen. Les échantillons 1, 9 et 11 ont un indice de plasticité compris entre 20 et 35 et donc un potentiel de gonflement élevé.

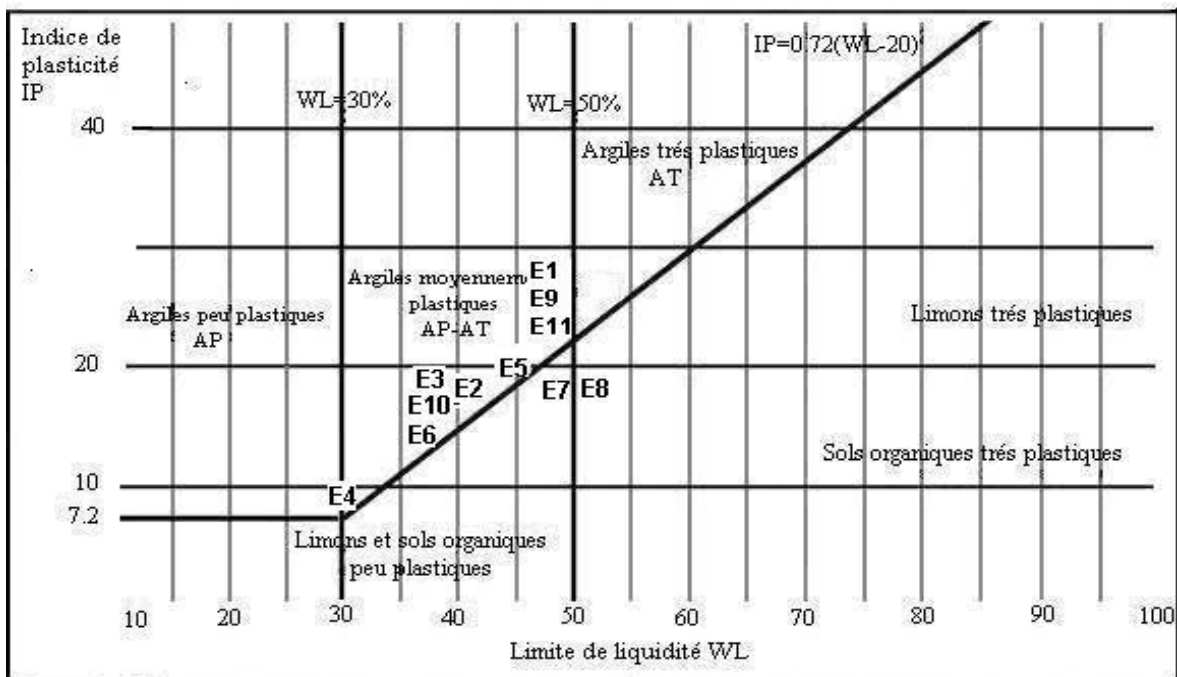


Fig. 53 : Position des échantillons dans l’Abaque de Casagrande

b-2/- Cisaillement

Nos échantillons sont soumis aux forces de cisaillement à la boîte de Casagrande. La droite de Culomb est $r = C + \sigma \operatorname{Tg}(\Phi)$, sous forme $y = ax + b$; nous avons obtenu les résultats suivants : la courbe intrinsèque est une droite qui ne passe pas par son l'origine. La cohésion (C_u) des échantillons (tableau n° XIX-b) varie de 0,30 bars pour l'échantillon 2 à texture limono-sableuse et l'échantillon 10 à texture limoneuse à 0,56 bars pour l'échantillon 9 à texture argilo-limoneuse.

Six échantillons (1, 2, 3, 4, 8 et 10) ont une cohésion variant de 0,30 bars à 0,35 bars et ils sont caractérisés par une texture limoneuse à limono-argileuse. Cet intervalle donne une cohésion faible entre les particules de substrat à cause de l'élévation de la proportion de limon et l'abaissement de la proportion d'argile. La faible cohésion ne permet pas au sol de résister aux forces de ruissellement.

Les cinq autres échantillons (5, 6, 7, 9 et 11) ont une cohésion comprise entre 0,40 bars à 0,56 bars, de texture argilo-limoneuse à argileuse, la proportion élevée d'argile augmente des actions de contact des liaisons physiques entre les particules, ce qui leur permet de mieux résister à l'érosion hydrique.

Concernant l'angle de frottement interne (Φ), il varie de $21,55^\circ$ pour l'échantillon n° 7 à $41,66^\circ$ pour l'échantillon n° 2.

L'angle de frottement diminue lorsque la cohésion augmente (figures n° (3-12), (3-13), (3-14), (3-14), (3-15), (3-16), (3-17), (3-18) et (3-19) annexe 3).

5.1.4.3- Résultats d'analyses statistiques et interprétations

c-1 /- liaison entre l'érodibilité et les variables explicatives

Les variables explicatives :

La texture, la stabilité structurale, les structures, l'aptitude à la fissuration, la sensibilité à la battance et la perméabilité sont choisies comme variables explicatives.

L'érodibilité des sols est une variable supplémentaire.

c-2 /- Les valeurs propres

Elles permettent de juger numériquement l'intérêt d'un facteur, ainsi lorsqu'un facteur est associé à une valeur qui voisine 1, il exprime une forte liaison entre les lignes et les colonnes, en revanche lorsque la valeur propre est faible, elle correspond à une liaison faible.

Le pourcentage d'inertie extrait par les trois facteurs est de 79,28 % dont près de 50 % pour le premier axe factoriel, ce qui explique une bonne corrélation entre les variables explicatives et l'érodibilité.

c-3 /- Inertie totale

1^{ère} colonne : valeurs propres (variance sur les axes principaux)

2^{ème} colonne : contribution à l'inertie totale (pourcentages expliqués par les axes principaux)

3 ème colonne : contribution cumulée a l'inertie totale (pourcentages cumulés expliqués par les axes principaux)

Tableau n° XXI: Pourcentage d'inertie extrait par les trois premiers facteurs (valeurs propres)

Axes factoriels	Valeurs propres %	% expliqués (Inertie)	Cumulés %
Axe 1 (F1)	5,85	48,72	48,72
Axe 2 (F2)	2,22	18,52	67,23
Axe 3 (F3)	1,45	12,04	79,28

Dans le tableau n° XXI, les valeurs propres montrent une décroissance remarquable et irrégulière entre les trois valeurs. Les valeurs élevées correspondent aux éléments les plus importants pour la construction de l'axe factoriel, tandis que la contribution relative faible exprime la part prise par un facteur dans l'explication de la dispersion d'un élément, les fortes valeurs permettent donc de mettre en évidence les éléments qui sont les caractéristiques exclusives de l'axe factoriel.

c-4 /- Interprétation des axes factoriels

c-4-1 /- Axe factoriel F1 (figure n° 54-a)

Les contributions absolues indiquent l'importance de quatre variables dont l'ordre d'intervention est :

La stabilité structurale (SSTr = 14,84 %), la texture (Tex = 14,82 %), la sensibilité à la battance (SB = 10,70 %) et l'aptitude à la fissuration (AF = 10,35 %).

En tenant compte des contributions relatives, nous obtenons les oppositions suivantes entre les modalités

Coté positif (axe factoriel F1*F2)

On trouve un groupement de stabilité structurale (SSTr), classe de stabilité structurale (CSSTr) et la cohésion (Cu).

Coté négatif (axe factoriel F1*F2)

Texture (Tex), risque de battance (RB), sensibilité à la battance (SB), aptitude à la fissuration (AF).

On trouve qu'il y a une liaison entre la stabilité structurale du substrat et la battance, si la stabilité structurale augmente, le risque de battance va diminuer et l'inverse. La mesure de la stabilité structurale devrait donc pouvoir permettre une évaluation rapide de la sensibilité des sols à la battance.

c-4-2 /- Axe factoriel F2 (figure n° 54-a)

Trois variables caractérisent cet axe avec ces quatre composantes et leurs contributions :

Le degré de plasticité (DgP = 33,38 %), le risque de battance ((RB = 14,69 %), l'indice de plasticité (IP = 14,83 %) et la perméabilité (Per = 17,17 %).

Coté positif (axe factoriel F2*F1)

Nous avons trois variables degré de plasticité (DgP), l'indice de plasticité (Ip) et risque de battance (RB).

Coté négatif (axe factoriel F2*F1)

On trouve sur l'axe 2, la perméabilité (Per).

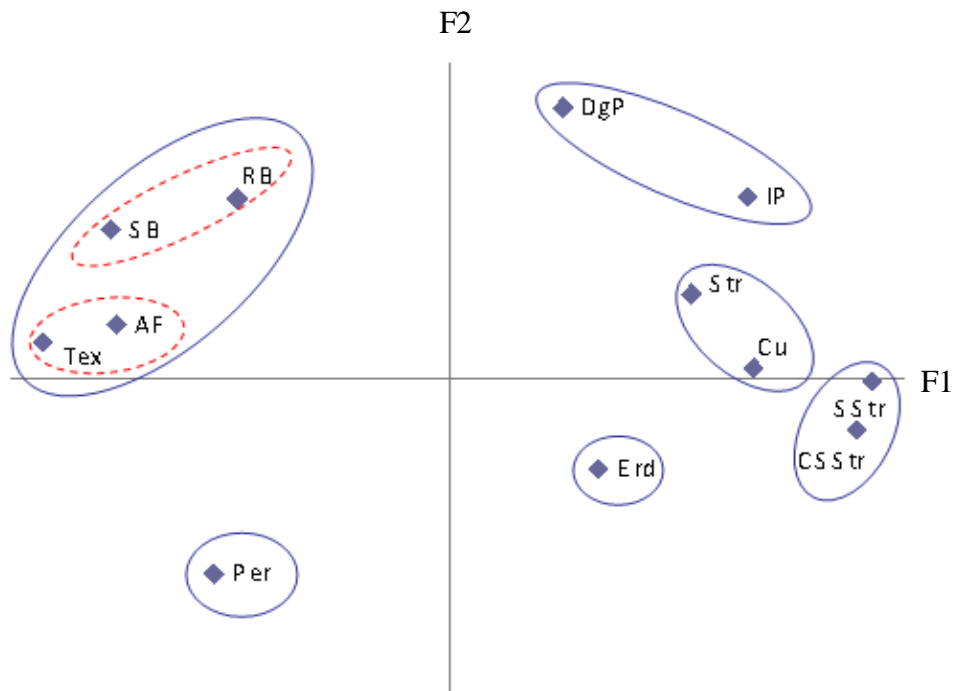


Fig. 54-a : Répartition des ensembles des variables explicatives suivant l’axe 1 et 2

c-4-3 /- Axe factoriel F3 (figure n° 54-b)

Nous avons trois variables caractérisent cet axe :

Structure (S Tr = 25,27 %), cohésion (Cu = 20,40 %) et classe d’érodibilité (Erd = 18,20 %).

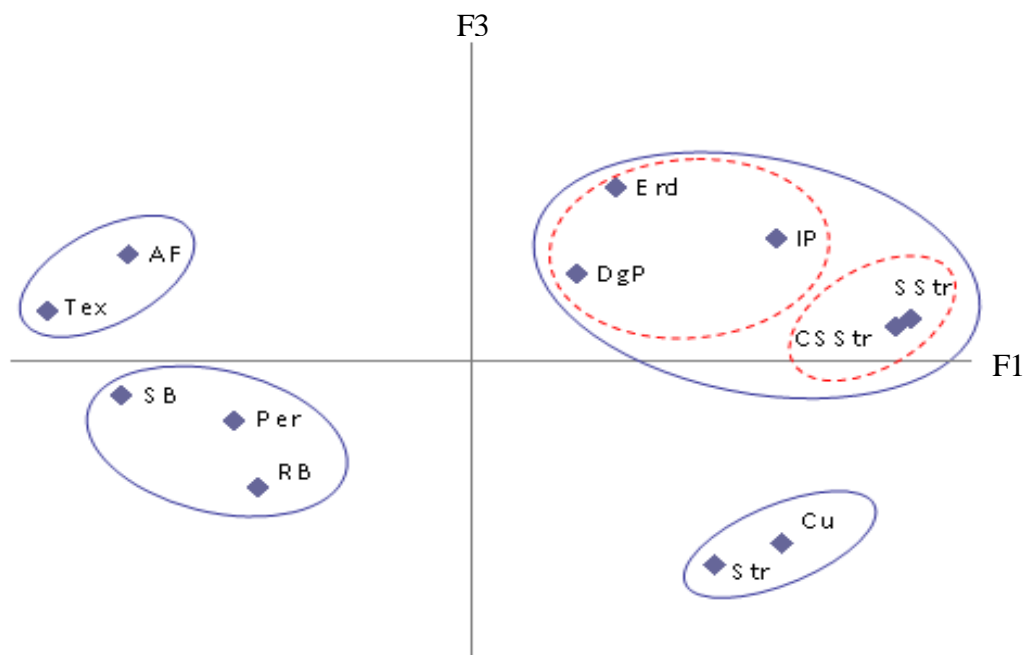


Fig. 54-b : Répartition des ensembles variables explicatives suivant l’axe 1 et 3

Coté positif (Axe factoriel F1*F3)

Structure (STr) et la cohésion (Cu)

Coté négatif (Axe factoriel F1*F3)

Classe d'érodibilité

c-5/ - Interprétations des axes factoriels : Distribution des échantillons analysés.

c-5-1/- Axe factoriel axe 1 (voir figure 55)

Les résultats de la distribution des individus sur le plan de projection (axe1- axe2) issu de l'AFC en relation avec la contribution des variables étudiées nous a permis de faire les regroupements (figure n° 55)

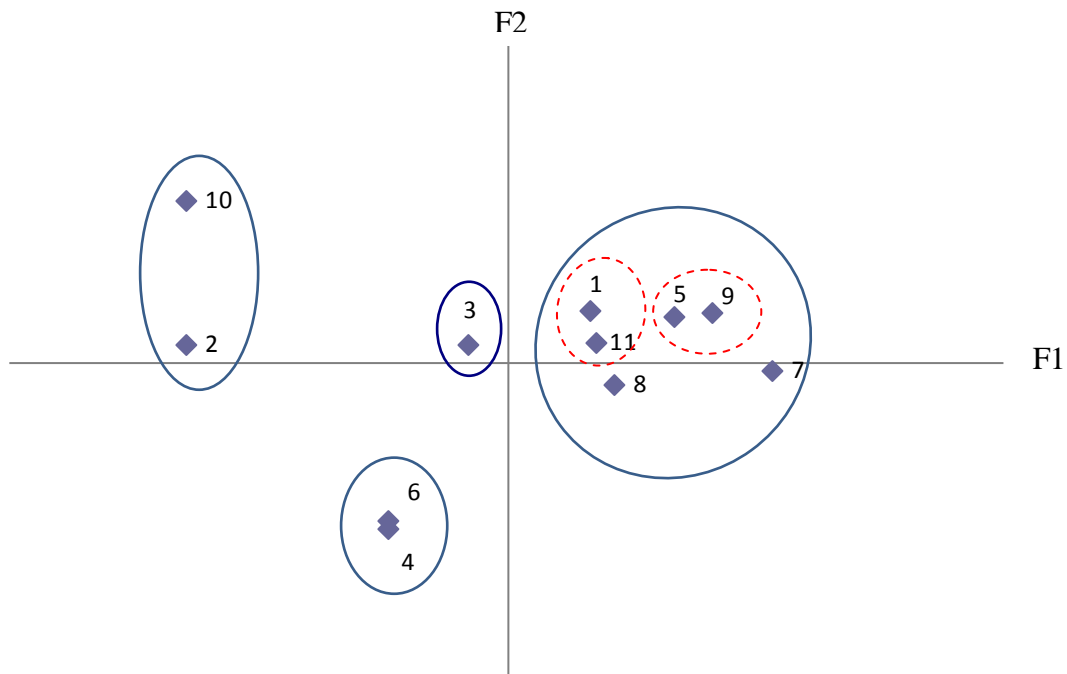


Fig. 55 : Répartition des ensembles échantillons suivant l'axe 1 et 2

Sur le coté positif (Axe factoriel F1*F2)

Ce groupe englobe six échantillons (1, 5, 7, 8, 9 et 11). Il est caractérisé par un risque faible de battance, la texture est limono-argileuse, argilo-limoneuse et argileuse; la perméabilité est lente à modérée, le degré de plasticité varie entre moyennement plastique à plastique et la cohésion entre les particules du substrat est élevée. Ce dernier résiste mieux aux forces provoquées par le ruissellement.

La stabilité structurale de ce lot d'échantillons est moyenne à stable avec une aptitude à la fissuration moyenne à excellente. L'érodibilité varie entre moyennement à fortement érodible.

Parmi ces échantillons, nous signalons que les marnes bleues compactes (éch. 7) sont les plus résistantes à l'érodibilité, ceci est due aux taux élevés de carbonate de calcium (40,33 %) qui remonte le pH et améliore la structure, sa texture argileuse et sa structure stable et riche en cations de Ca^{++} et Mg^{++} (26,80 méq /100 g). Les argiles ont une charge électrostatique négative et les cations en solution ont une charge

électrostatique positive, l'attraction entre argiles et cations permet aux argiles de former des agrégats par des ponts cationiques. Le taux de sodium faible (0,12 %) favorise la stabilité.

La proportion des minéraux argileux constituant ce type de marnes est à dominance d'illite (35 %). Les ions K^+ se trouvent très proches des points de substitution, solidement insérés entre les feuillets d'argiles, ils empêchent le gonflement de ce type d'argile. Le taux de chlorite est de 35 %. La proportion des interstratifiés (25 %) renseigne sur une faible dégradation des feuillets d'argiles.

Sur le coté négatif (Axe factoriel F1*F2)

On trouve un groupe de deux échantillons (2 et 10). Ces derniers sont caractérisés par une texture limoneuse à limono-sableuse et très peu d'argiles, une faible cohésion, une faible stabilité structurale. Les marnes bleues et le sol peu évolué d'apport alluvial (éch. 2 et éch. 10) ont tendance à former une croûte de battance en surface. La sensibilité à l'érosion des sols résulte essentiellement de la désagrégation des mottes de terre et du détachement de particules sous l'action des pluies. Ils en résultent la formation d'une couche dense et peu poreuse qui limite l'infiltration (la perméabilité est modérée à lente). Le degré de plasticité est élevé. L'aptitude à la fissuration est nulle et la cohésion faible. Le taux de calcaire est faible par rapport aux autres échantillons.

L'analyse minéralogique montre la prédominance de montmorillonite (11,91 %), avec la prédominance de kaolinite (10,29 %) et de l'illite (10,12 %) pour les marnes bleues (éch. 2), alors pour les sols peu évolué d'apport alluvial (éch. 10) dominé par les interstratifiés (illite-montmorillonite 75 %) et 20 % d'illite et des traces de Kaolinite. Ces deux types de substrat sont riches en argiles gonflantes, sensibles aux phénomènes gonflement-retrait (cycle humectation-dessiccation) se traduisant par l'apparition de fentes de retrait.

Les échantillons 4 et 6 (marnes grises et vert clair) sont proches. Ces deux types de marnes ont les mêmes caractéristiques: texture limono-argileuse, structure grumeleuse instable, perméabilité modérée, battance faible et plasticité moyenne.

Les éléments minéraux dominants dans les marnes vert clair sont les interstratifiés (85 %). Ces derniers représentent les produits de transformation des illites et des chlorites, considérés comme des édifices proches des smectites gonflantes favorables aux processus d'altération (Kouri et al., 2003). Dans les marnes grises on note une prédominance de l'illite (35 %) et de la Chlorite de (25 %).

5.2- Discussions des résultats

5.2.1- L'érosivité des pluies

5.2.1.1- Indice de Fournier

L'Indice de Fournier du Tell oranais varie de 4,67 à 16,85. Ces résultats sont conformes à :

Ceux du bassin de l'Isser où l'indice varie de 4,6 à 13,5 (Malkia, 1985).

Ceux du bassin du Chélif avec des valeurs variant entre 3,26 et 28,15 (Himrane, 1990).

Les valeurs de l'indice de Fournier calculées pour le Tell oranais sont inférieures à celles trouvées par Heusch (1970) dans le Rif Marocain (IF = 25 pour une pluviométrie de 863 mm).

5.2.1.2- Indice d'Arnoldus

Pour l'indice de Fournier modifié par Arnoldus, les valeurs sont comprises entre 23,95 et 50,23. Ces derniers sont semblables à ceux obtenu par (Hamli, 1992) dans le bassin de l'Isser qui sont de 26 à 62,6 et à ceux obtenus dans le bassin versant du Chélif avec des valeurs de 13,8 à 87,32 (Himrane, 1990).

Les résultats obtenus par Maaliou (2010), au niveau de 35 stations aux bassins versants de l'Isser et des côtières algéroises varient de 28,87 MJ.mm/ha.h.an pour la station d'El Omaria à 113,40 MJ.mm/ha.h.an pour la station de Yakourene avec une tranche pluviométrique varie de 416 mm à 1061 mm. Ces résultats confirment que l'érosivité des pluies augmente de l'Ouest vers l'Est du pays.

5.2.1.3- Indice de Rango-Arnoldus

L'indice de Rango-Arnoldus dans le Tell oranais varie de 40,05 à 70,09. Ces valeurs sont comparables avec les celles calculées dans le Rif oriental au Maroc dans les 8 stations dans le bassin versant de l'Oued Boussouab, (Sadiki, 2005), note 31,2 à Anguied au Sud-Est du bassin à environ 60 au Nord-Ouest avec une tranche de pluie qui varie entre 124,5 à 351 mm pour la période allant de 1970 à 1999 et aux résultats trouvés oscille entre 43 à 87,56 dans le bassin versant de l'oued Leben au Maroc (Rahhou, 1999).

Si on compare les valeurs de l'indice d'érosivité de Rango-Arnoldus avec les valeurs d'érosivité de l'Europe centrale on remarque que le Tell oranais ne se distingue pas, non plus, par des précipitations particulièrement érosives, comme on le pense parfois, mais qu'il a des valeurs plutôt modérées. Auerswald et Eicher (1992), indique pour la Bavière a un facteur R moyen annuel de 71 N/h.a, la fourchette pour divers petits Bassins-versants allant de 55 N/h.a à 118 N/h.a.

Sur le plan spatial, la figure n° 56 met une évidence une augmentation de l'érosivité des pluies du Sud vers le Nord et de l'Ouest vers l'Est dans des bassins versants côtiers algéroises.

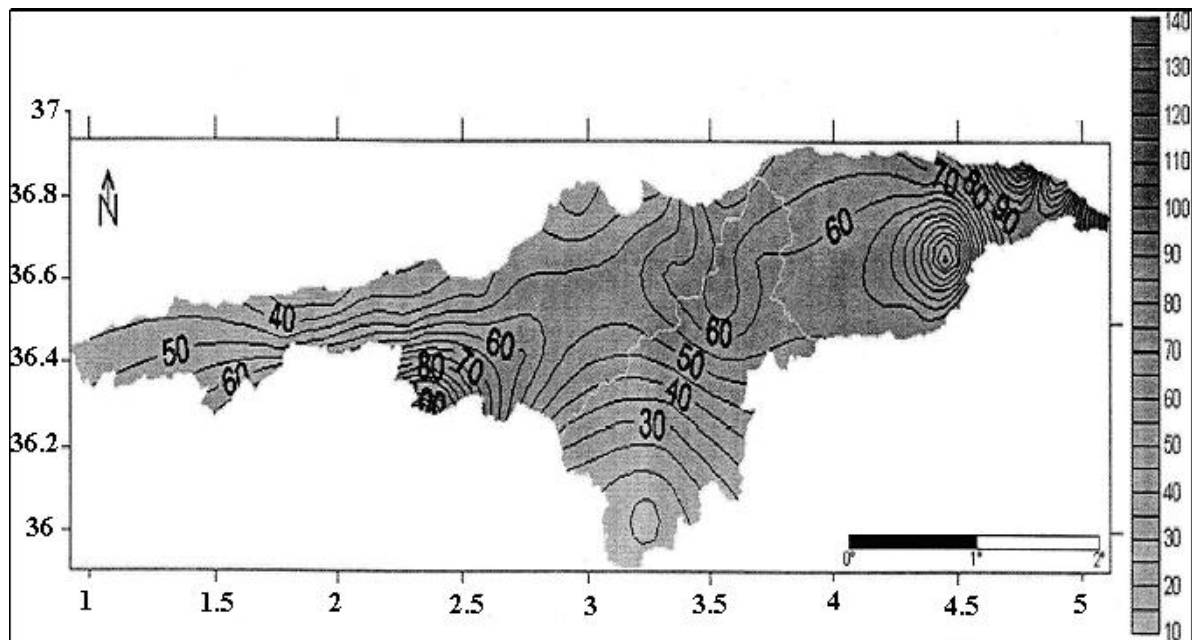


Fig. 56 : Carte Isoerodent des bassins versants Isser et Côtier algérois (R de Rango-Arnoldus exprimé en MJ.mm/ha.h.an) source Maaliou (2010).

5.2.1.4- Comparaison des l'indice (R2) de Roose et R de Wischmeier calculés en Afrique du Nord

Les valeurs moyennes l'indice R2 de Roose (1981), varient de 27,75 pour Relizane à 49,30 pour Mostaganem pour une pluviométrie moyenne annuelle qui varie de 231,29 à 410,8 mm.

Dans l'Est Algérien, pour les stations de Biskra, Batna, Constantine et Skikda (Sarrab, 1982) a trouvé les valeurs suivantes de R : 27,50; 38,6; 42,1 et 57,2 sur une période allant de 1970 à 1980, pour une pluviométrie annuelle qui varie de 156 à 830 mm.

Dans le bassin de l'Isser, Malkia (1985) a trouvé les valeurs suivantes de R : Souagui (18,17), Dechmia (32,30) et Mahterre (66,97), la pluviométrie dans ce bassin varie entre 230 mm et 538 mm

Dans le bassin versant du Chélif, Himrane (1990) a trouvé un indice R variant de 11,43 à 73,44 sur une période de 10 ans (1978 à 1988) pour une pluviométrie de 100 à 750 mm.

Gomer (1990), dans le Bassin Versant de l'oued Mina a calculé le facteur R de Wischmeier et Smith (1978) pour 09 stations pluviométriques (Ain Hamara, El Hachem, Frenda, Louhou Parat, Mendès, Sidi Benaouda, Tircine, Takhmaret et Tiaret GRHA) sur une période allant de 1970 à 1991 et a obtenu des valeurs de R comprise entre 39 et 105 N/h.a.

Selon le même auteur, le facteur R pour l'année hydrologique 1989/1990 dans le bassin versant d'oued Mina, à travers 09 pluviographes varie entre 18,96 MJ.mm/ha.h.an et 99,65 MJ.mm/ha.h.an avec une valeur moyenne d'environ 36,89 MJ.mm/ha.h.an.

Dans les parcelles expérimentales d'érosion dans le bassin versant de l'Isser (Tlemcen), Mazour (1992) a calculé un indice d'érosivité R de Wischmeier en examinant les pluviogrammes des épisodes pluvieuses, il note 39,5 pour la station de Madjoudj, 36,1 pour les stations de Sidi Mohamed Cherif et Heriz et 80 pour

celle de Gourari, sur une durée de 1989 à 1991. Les pluies moyennes annuelles sont respectivement 386 mm, 321 mm et 555 mm.

Chebbani (1996) a constaté dans la station de Heriz, une érosivité de la précipitation (pour une pluviométrie supérieure à 12 mm) généralement faible à moyenne ($R = 15,70$) sur une période allant de 1979 à 1993, avec une pluviosité moyenne annuelle est de 303 mm, sauf pour l'année 1993 ($R = 61,38$) avec une pluviométrie est de 196 mm.

Dans la Tafna (Tlemcen), Zekri (2003), a calculé l'indice d'agressivité de pluie de Wischmeier par la formule de Roose (1981) pour 37 stations sur une période allant de 1991 à 2001 et a trouvé un indice d'agressivité climatique qui varie de 21,93 pour H. Boughrara et 99,96 pour Hafir avec une pluviométrie variant de 274 à 666 mm. Selon Morsli et al. (2004), l'indice Rusa de l'agressivité des pluies oscille entre 30 et 100 en moyenne dans le Nord-Ouest Algérien.

Au bassin versant du Jannet (Tunisie), Ben Cheikha et Gueddari (2008) ont calculé l'indice d'érosivité moyenne annuelle est de l'ordre de $R = 112$ t/ha/heure, pour la période d'étude allant de 1994 à 2003 avec une précipitation annuelle $P = 429$ mm.

Au Maroc, selon Heush (1970), l'indice de Wischmeier est de 64 t/m/ha pour une pluviométrie de 850 mm.

Les données sont rassemblées dans le tableau n° XXII et donnent des points de comparaison avec les indices R mesurés dans différentes régions du globe :

Tableau n° XXII: Indice R (usa) dans différentes régions du globe

Régions ou pays de mesure	Rusa annuel moyen
Etats-Unis	50 à 550
Zone méditerranéenne	50 à 350
Zone tropicale sèche	200 à 600
Zone subéquatoriale	500 à 1400
Côte d'Ivoire Abidjan	1260
Azagué	885
Divo	840
Bouaké	520
Konbogo	720

Source ; Roose (1981)

L'indice d'agressivité varie selon le cumul pluviométrique enregistré. Il progresse lorsque des cumuls pluviométriques annuels sont très importants et régresse lorsque des cumuls pluviométriques annuels diminuent. La répartition de R à travers le Tell oranais, semble coïncider assez bien avec celles du module pluviométrique annuel.

On peut dire qu'après la comparaison avec ces résultats que les valeurs de l'indice R d'érosivité des pluies pour le Tell oranais sont conformes aux résultats déjà trouvés en Algérie, en Tunisie et au Maroc pour un même intervalle pluviométrique, mais elles sont faibles (27,75 à 49,30) par rapport a celles mesurées dans

d'autres régions du globe. A titre d'exemple, l'indice R dans la zone équatoriale d'Afrique, peut atteindre 200 à 250 T.m/ha (Babau, 1983). Au Sud de l'Afrique occidentale l'indice peut dépasser 300 en 24 heures et 2000 dans l'année entre Abidjan et Conakry. Il varie de 80 à 600 au Burundi et d'environ 300 à 700 au Rwanda, avec une moyenne nationale de 400.

5.2.2- Comparaison des résultats d'érodibilité des sols et des marnes

5.2.2.1- Indice d'Instabilité structurale

L'indice de stabilité structurale des échantillons varie de 1,02 pour l'échantillon 7 à 2,12 pour l'échantillon 10. Selon les résultats de Morsli et al. (2005) dans l'Ouest Algérien, l'indice de stabilité structurale (I_s) montre que les sols bruns vertiques de texture argileuse sur marnes sont très fréquents dans cette région, sont les plus résistants ($I_s < 1$) et les moins érodibles ($0,14 \leq K \leq 0,19$). Ils présentent une bonne stabilité structurale et la perméabilité est très élevée. Les sols limoneux avec un taux élevé en limon, en sable fins et avec peu de matière organique dans l'horizon de surface apparaissent les plus sensibles ($I_s > 1,2$) avec un indice d'érodibilité compris entre 0,15 et 0,25.

5.2.2.2- Minéralogie des argiles

D'après Bachouche (2010), le résultat d'analyse des minéraux argileux des marnes bleues du bassin du bas Chélif est représenté par la montmorillonite avec une faible quantité de kaolinite, ce résultat conforme à celui de l'échantillon 2 (marnes bleues).

Une des propriétés les plus remarquables des montmorillonites est leur capacité de gonflement résultant de la présence d'eau dans l'espace se trouvant entre les feuillets. Une montmorillonite dispersée dans l'eau donne très facilement une suspension colloïdale stable.

Ces caractéristiques proviennent de l'agencement de ses feuillets dans un contexte de pH adéquat (présence d'ion calcium qui pontent les feuillets entre eux). En agriculture, ces caractéristiques sont appréciées par l'augmentation en réserves utiles qu'elles apportent aux sols cultivés.

L'empilement des feuillets est désordonné; chaque feuillet est tourné dans son plan par rapport au précédent. Les substitutions d'atomes sont importantes. Ce désordre et la faible charge des feuillets facilitent leur écartement et l'adsorption des molécules variées (eau, cations, molécules organiques) au niveau de l'espace interfoliaire qui s'écarte ($d = 18 \text{ \AA}$).

Les smectites, ou montmorillonites, sont généralement calciques, plus rarement sodiques. Elles sont formées dans les sols mal drainés plutôt alcalins. Les feuillets de smectites peuvent s'intercaler régulièrement ou irrégulièrement avec d'autres feuillets argileux, souvent illitiques. L'ensemble forme des interstratifiés.

Les minéraux argileux et surtout l'illite sont très sensibles aux variations climatiques et constituent un excellent indicateur de l'évolution des sols. Ils peuvent permettre de déceler l'origine et l'homogénéité d'un matériau. Leur degré d'évolution est un des caractères essentiels des sols fersiallitiques.

Dans les échantillons de bassin versant d'Isser, les minéraux de type chlorite ont disparu, l'illite et la kaolinite se maintiennent mais en quantité relativement plus faible, tandis que la montmorillonite domine nettement. Dans un sol brun isohumique, sous 350 mm de précipitations, de la montmorillonite en forte dominance (65 à 80 %) apparaît dans des substrats de croûte calcaire.

L'illite se transforme en édifices gonflants et en montmorillonite dans les sols sur calcaire soumis à des pluviosités moyennes annuelles inférieures à 1000 mm.

Selon Tardy (1969), La transformation de l'illite en direction de la montmorillonite se réalise par un mécanisme qui consisterait en un lessivage progressif des ions alcalins et alcalino-terreux et un enrichissement relatif du feuillet en silicium.

5.2.2.3- Limite de liquidité et cisaillement

Les échantillons analysés présentent une proportion élevée d'argile cohérente, ce qui favorise l'absorption de grandes quantités d'eau. Nous pouvons dire que les sols cohérents passent d'un état de consistance à un autre de manière progressive en jouant sur la teneur en eau. Plus la teneur en eau est grande, plus le nombre de coups (chocs) est petit. Les limites d'Atterberg permettent de classer les marnes selon leur sensibilité à l'érosion en masse.

Avenard (1962), explique l'intérêt des limites d'Atterberg pour un sol dont les limites de liquidité et de plasticité sont faibles et facilement affecté par la solifluxion à la moindre pluie, ainsi que la connaissance de ces limites permet d'expliquer de nombreux glissements ou même de les prévoir.

5.2.2.4- l'indice d'érodibilité des sols

L'indice d'érodibilité des échantillons varie entre 0,14 et 0,56. La valeur minimale (0,14) pour les marnes bleues compacts (éch. 7) s'explique par leur grande stabilité structurale et leur teneur moyenne en calcaire. Alors que la valeur maximale (0,56) pour le sol peu évolué d'apport alluvial (éch. 10) sensible liée à sa texture limoneuse.

Morsli et al. (2005) ont montré que l'indice d'érodibilité des sols limoneux en particulier sont moyennement sensibles à très sensibles (0,26 à 0,48) dans l'Ouest Algérien.

L'indice d'érodibilité est assez variable dans le temps en fonction des saisons mais également en fonction de l'évolution des matières organiques, des propriétés physiques et des techniques culturales (Roose et Sarraïlh, 1989).

Devant une telle variabilité de l'indice K, il faut suivre l'érodibilité sur plusieurs années sous différentes pratiques culturales et le type de climat, ce qui détermine en partie le mode d'altération et de pédogenèse.

CONCLUSION

Conclusion

Le climat du Tell oranais est méditerranéen caractérisé par :

- Une pluviométrie faible et irrégulière avec 411 mm à Mostaganem et 231 mm à El Aricha ;
- Une concentration de pluies pendant la période froide (automne et hiver) ;
- Une période sèche assez longue (Avril à Octobre).

Des températures fortes en saison estivale et basses en saison hivernale (la moyenne des maximums du mois le plus chaud (M) est de 35,7 °C. en juillet pour la station de Saida et la température minimale (m) du Mois le plus froid est de -2,2° C en Janvier pour la station d'El Aricha.

- L'indice d'érosivité climatique est un outil précieux pour la prévision de l'érosion potentielle d'une région. La connaissance de la distribution de cet indice au cours de l'année présente un très grand intérêt, car elle permet de distinguer les périodes durant lesquelles les pertes en terre sont les plus élevées et aussi d'orienter les pratiques agricoles et améliorer la conception des ces travaux de conservation des sols en vue de limiter l'érosion. Il nous permet également d'approfondir notre compréhension en matière de transport des sédiments.

- A travers les calculs d'indices d'érosivité des pluies, nous pouvons dire que les risques d'érosion dans le Tell oranais sont bien réels et une première approche par évaluation d'agressivité climatique de l'érosion, nous amène aux conclusions suivantes:

- Les indices d'érosivité les plus élevés correspondent aux pluviométries élevées. Les stations du littoral sont caractérisées par une forte précipitation reflétant une forte valeur des indices d'érosivité.

-Les valeurs indiquent que les stations présentent des risques d'érosivité moyenne pour Fournier et faible à moyenne pour Arnoldus et Roose et forte pour Rango-Arnoldus et Deffontaines.

- L'indice de Deffontaines semble être meilleur indice, car il permet de caractériser le risque d'érosion pendant les différents mois et saisons de l'année.

- Les valeurs obtenues montrent que l'agressivité des pluies dans notre région d'étude est très élevée durant les saisons d'Hiver et d'Automne. Les risques érosifs à la fin du Printemps sont moindres, compte tenu du développement de la végétation à ce stade, mais ils subissent beaucoup plus d'érosion pendant la saison d'Automne, là où le couvert végétal est absent.

- On observe une variation temporelle du risque, ce dernier est élevé en Automne et en Hiver. Sur le plan spatial, on observe une forte érosivité dans la zone littorale; cette érosivité augmente généralement du Sud vers le Nord et de l'Ouest vers l'Est.

- L'élaboration des cartes d'iso-érosivité des pluies donnent des informations intéressantes concernant les risques érosifs soit sur le plan spatial ou temporel.

Nous signalons que le facteur de l'érosivité des pluies n'est pas à lui seul déterminant des phénomènes érosifs dans le Tell oranais, mais conjugué avec des autres facteurs intrinsèques du substrat qui caractérise le milieu.

- L'analyse factorielle des correspondances (AFC) des échantillons a mis en évidence les liens entre les variables explicatives et les indicateurs d'érodibilité.

Les relations entre la forte érodibilité des marnes ou des sols semblent toujours liées aux textures limoneuses à limono-sableuses. Ces dernières sont caractérisées par une cohésion faible entre les particules du sol, une forte instabilité structurale et un risque élevé de battance. Les formations d'aptitude moyenne à la fissuration et moyennement plastique jouent un rôle important dans les processus d'érosion en masse. La proportion élevée d'interstratifiés (montmorillonite) favorise le gonflement et donc à l'altération suites aux alternances des phases d'humectation et de dessiccation.

Les marnes bleues compactes et sol calcimagnésique carbonaté brun calcaire sont moyennement érodibles.

Les marnes jaunâtre-vert-clair, vert clair (Embouchure du Chéouli), grises, brunes, vert-clair (bassin versant d'oued Mina), les sols isohumiques gris noirci vertique et les sols isohumiques à caractère vertique, sont fortement érodibles.

Les marnes bleues et les sols peu évolués d'apport alluvial sont très érodibles.

- L'indice d'érodibilité évolue au cours du temps en fonction de l'humidité du sol, de sa rugosité, du couvert végétal, de la pente et des matières organiques, donc l'érodibilité est un processus très complexe et variable dans le temps et dans l'espace en fonction des propriétés intrinsèques du sol mais aussi des techniques culturales qui modifient les états de la surface du sol.

- Les cartes de risque d'érosivité des pluies et les classements du substrat selon le degré d'érodibilité constituent un support d'aide à la décision qui va contribuer à l'utilisation rationnelle des terres. Considérée comme un élément clefs du diagnostic de l'érosion hydrique et permet toutefois une orientation des propositions techniques à venir pour la meilleure gestion à long terme des sols et de leur fertilité dans le Tell oranais.

- La mise à jour de la base de données permettra un suivi et une surveillance des zones à risque. Il serait souhaitable que la région d'étude soit renforcée en nombre de stations pluviométriques car cela contribuerait à la fiabilisation des résultats. Une étude approfondie de l'érodibilité des sols et de l'érosivité des pluies à travers des mesures régulières de terrain contribuerait aussi à un meilleur suivi de l'érosion des sols dans la région.

- Il faut noter que malgré les faibles valeurs des indices d'érosivité des pluies ($I \leq 100$), dans l'Ouest algérien, l'activité de l'érosion est toujours intense comme en témoignent les paysages

très dégradés, les versants ravinés et les inondations répétées. Cette situation paradoxale semble indiquer que les séries de pluies saturantes et la faible épaisseur du sol sont à l'origine de ces phénomènes plus que l'érosivité des pluies orageuses, limitées dans l'espace.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ALCARAZ C., 1977-** Contribution à l'étude de la végétation dunaire du littoral oranais (ouest algérien) CR Acad. Sc. Série. D. 375 p.
- ALCARAZ C., 1982-** La végétation de l'ouest algérien. Thèse Doct. Es-sci. Univ. Perpignan, 45 p + annexes
- AL KARKOURI J., 2003-** Dégradation du milieu naturel dans le bassin de Beni Boufrah (Rif central-Maroc): analyse des facteurs et des processus, essai de quantification et modélisation spatiale. Thèse Doc. Etat, Univ. Mohamed V, Faculté des Lettres, Rabat, 392 p.
- ARABI M et ROOSE E., 1989-** Influence de quatre systèmes de production en zone méditerranéenne en moyenne montagne en Algérie. Bull. Réseau Erosion, n° 9, 39-51.
- ARABI M. and ROOSE E., 1992-** Water and soil fertility management (GCES). A new strategy to fight erosion in Algerian mountains. In: 7th ISCO Conference Proc. Sydney, 3,3 : 341-347.
- ARNOLDUS H.M.J., 1980-** Methodology used to determine the maximum average soil loss due to sheet and rill erosion in Morocco. Bull. FAO, n°34, 39-48
- ATTERBERG., 1911-** The Dynamic properties of Soils. In: Soils Physics. John Wiley and Sons, Inc, New York, 74-129
- AUBERT G. et MONJAUZE A., 1946-** Observations sur quelques sols de l'Oranie Nord Occidentale - Influence du déboisement, de l'Erosion, sur leur évolution. Compte-rendu sommaire des Séances de la Société de Biogéographie, tome 23, no 199, 44-51.
- AUBERT G., 1978** – Méthodes d'analyses du sol. 2ème Edition. C.N.D.P. Marseille. 199p.
- AUERSWALD K. and EICHER A., 1992-** Comparison of German and Swiss Rainfall Simulators - Accuracy of Measurement and Effect of Rainfall Sequence on Runoff and Soil Loss Rates. Z. Pflanzenernähr. Bodenk., 191-195.
- AVENARD J.M., 1962-** La solifluxion ou quelques méthodes de mécanique des sols appliquées aux problèmes géomorphologiques des versants. Centre de Documentation Universitaire, Paris 164 p.
- BABAU M.C., 1983-** La pluie et son agressivité en tant que facteur de l'érosion. World Climate Programme Séries, Rapport PCM-41, OMM.
- BACHOUCHE S., 2010-** Etude géologique des bentonites de M'zila (Mostaganem). NW Algérien. Mémoire de Magister. USTHB, 113 p.
- BAGNOULS S.F. et GAUSSEN H., 1953-** Saison sèche et indice xérothermique. Bull. Soc. Hist. Nat., Vol 8, 193-239.
- BELGAT S., 1984-** Etude édaphique en vue de l'aménagement du cordon dunaire du littoral de la région de Mostaganem (Algérie). Thèse de Doct-Ing. Univ. Aix Marseille III. 213 p
- BELLATRECHE M., 1986-** Erosion et perspectives de conservation des sols dans les bassins sédimentaires de Médéa et Beni Slimane. Thèse de Doctorat USTHB, Alger. 238-264.
- BENABDELLI K., 1996-** Aspects physionomico-structuraux et dynamique des écosystèmes forestiers faces à la pression anthropozoogène dans les monts de Tlemcen et les Monts de Dhaya. Algérie occidentale. Doct. Es-sci. Univ. Djilali Liabes de Sidi Bel Abbés. 356 p + annexes.
- BEN CHEIKHA L et GUEDDARI M., 2008-** Le bassin versant du Jannet (Tunisie): évaluation des risques d'érosion hydrique. Faculté des Sciences de Tunis. UR Géochimie et Géologie de l'Environnement. M@ppemonde N° 90 (2-2008). 15 p.

- BENCHETRIT M., 1972-** L'érosion actuelle et ses conséquences sur l'aménagement en Algérie. Ed. Presses universitaires de France, Paris, 216 p.
- BENMOUSSA M., ELYAMANI M. et SAIDI., 1993-** Application de l'équation universelle de perte en sol au bassin versant de l'oued Tasrafet. Géo-Observer, Rabat, 3, 59-70.
- BOIFFIN J., 1984-** La dégradation structurale des couches superficielles du sol sous l'action des pluies. Thèse Doc Ing. I.N.A.P.G, Paris, 320 p.
- BOIFFIN J., 1985-** Stages and times dependancy of soil crusting in situ. Inter .Sym. on the assessment of soil surfacesealing and crusting.
- BOUDY P., 1948-** Économie forestière nord-africaine. T.1: Milieu physique et milieu humain.
- BOU KHEIR R., GIRARD M.C., KHAWLIE M. et ABDALLAH C., 2001-** Apport de la télédétection pour la modélisation de l'érosion hydrique des sols dans la région côtière du Liban. Télédétection, Vol. 2, n° 2, contemporary publishing international. 79-90.
- CASENAVE A. et COLLINET C., 1988-** Les états de surface de la zone Sahélienne ORSTOM, Paris, 202 p.
- CASENAVE A. et VALENTIN C., 1989-** Les états de surface de la zone sahéenne. Influence sur l'infiltrabilité. Ed. Orstom, Coll. Didactiques, Paris. 227 p.
- CHEBBANI R., 1996-** Etude à différentes échelles des risques d'érosion dans le bassin versant de l'Isser (Tlemcen). Mém. Mag., I.N.A., 135 p.
- CHEBBANI R., DJILLI K. et ROOSE E., 1999-** Etude à différentes échelles des risques d'érosion dans le bassin versant de l'Isser. Bull. Réseau – Erosion n°17, Ed. IRD (ex. Orstom), Montpellier, 85-95.
- CHEBBANI R. et BELAIDI S., 1997-** Etude de la dynamique du ravinement suivi expérimental de 2 couples de ravines près de Tlemcen (réseau érosion n° 17: 152-160.
- COLLINET J., 1988-** Etude expérimentale de l'érosion hydrique des sols représentatifs de l'Afrique de l'Ouest, présentation des sites expérimentaux. Méthodes et identification des processus élémentaires .Analyse et comparaison des régimes de ruissellement .Cah. ORSTOM, ser.Pédol. 24, n° 3 : 235-254.
- DAGHMOUMI R., 1994-** Apport de la géologie et du SIG à l'étude des bassins versants de l'Aoudour (Rif central). Thèse 3^{ème} cycle, Univ. Mohammed V, Fac. Sci. Rabat, 162 p.
- DEBRACH J. 1953-** Note sur les climats du Maroc occidental. Maroc méridional; 32 : 1122-34.
- DEFFONTAINES J.P. et DE MONTARD F., 1968-** Essai d'appréciation du danger d'érosion dans les vergers de forte pente en moyen Vivarais. Annales agronomiques 19(3), 349-363.
- DELLAOUI A., 1952-** Géologie des monts de Tessala Alger 1952. Monographies régionales, 1^{ème} série : Algerie n° 24, 1-18.
- DEMMAK A., 1982-** Contribution à l'étude de l'érosion et les transports solides en Algérie septentrionale .Thèse de Doct.-Ing., Université P.M.Curie, Paris 6, 323 p.
- DIALLO A., 2000-** Intégration du modèle USLE dans un SIG pour la cartographie de l'érosion hydrique dans le bassin versant de Beni Boufrah (Rif central), mémoire de troisième cycle, ENFI, Salé, 90 p.
- DJEBAILI S., 1978** – Recherche phytoécologiques et phytosociologiques sur la végétation des hautes plaines steppiques et de l'Atlas Saharien Algérien. Thèse. Doct. Univ. Languedoc. Montpellier. 229 p + annexes.

- DUMAS J., 1965-** Relation entre l'érodibilité des sols et leurs caractéristiques analytiques. Cah. ORSTOM Pedol. 3(4), 307-333.
- EL SWAIFY S A. and ROOSE E., 1988-** Analysis of erodibility of two soils tropical soils using a process model. Soil. Sci. Soc. Am. J., 52 : 781-787.
- ELLISON W.D., 1944-** Studies of raindrop erosion. Agric. Eng. 25, 131-181.
- ELWELL H.A., 1978-** Soil Loss Estimation: Compiled Works of the Rhodesian Multi-disciplinary Team on Soil Loss Estimation. Inst. Agric. Engng, Salisbury (Harare), Zimbabwe
- EMBERGER L., 1955-** Une classification biogéographique des climats. Rec. Trav. Lab. Bot. Géol. Zool. Univ. Montpellier, série Bot., n°7, 3-43.
- EMERSON W.W., 1954-** the determination of the stability of the soil crumbs. Physics department Rothamsted experimental station : 223-236.
- EMERSON W.W., 1967-** A classification of soil aggregates based on their coherence. Water Aust. J. Soil Res., 5: 47-57.
- FARRES P.J. and COUSEN M., 1985-** An improved method of aggregate stability measurement. Earth Surface Processes and Landform, vol. 10, 321-329
- FOURNIER F., 1960-** Climat et érosion : la relation entre l'érosion du sol par l'eau et les précipitations atmosphériques. Presses universitaires de France. Paris, 201 p.
- GIACOBBE A., 1958-** Recherche ecologique sull'aridità nei paesi del Mediterraneo occidentale. Webbia 14, 1: 81-159.
- GOMER D., 1990-** Projet pilote d'aménagement intégré du bassin versant de l'oued Mina. Programme hydrométrique. Séminaire d'évaluation Sidi M'hamed. Benaouda, septembre 1990. 207 p + annexes.
- GOMER D., 1992-** Ecoulement et érosion dans des bassins versants à sols marneux sous climat semi aride méditerranéen. GTZ - ANRH 1992 ; 207 p.
- GOUJON P., BAILLY C., DE VERGNETTE J., BENOIT DE COIGNAC G. et ROCHE P., 1968-** Conservation des sols en Afrique et à Madagascar. Bois et Forêts des tropiques, 118: 3-17; 119: 17-26; 120: 27-38; 121: 19-31
- GRECO J., 1966 -** L'érosion - la défense et la restauration des sols - le reboisement en Algérie. Ed. M.A.R.A., Alger, 393 p.
- HALITIM A., 1988-** Sols des régions arides d'Algérie. OPU. Alger. 384 p.
- HAMLI M., 1992-** Etude de l'agressivité climatique de quelques stations du bassin de l'Isser. Thèse d'ingénieur INA Alger. 70 p.
- HEDDADJ D., 1997-** La lutte contre l'érosion en Algérie. Bull. Réseau – Erosion n° 17, Ed. IRD (ex. Orstom), Montpellier, 168- 175.
- HENIN S., 1938-** Etude physico-chimique de la stabilité structurale des terres. Thèse, Imprim. Nat., Paris, 70 p.
- HENIN S. et MONNIER G., 1956-** Evaluation de la stabilité de la structure du sol. C.R. Viè congrès Int. Sci. du sol. Paris, Vol B : 49-52.
- HEUSCH B., 1970-** L'érosion hydrique dans le bassin de Sebou : une approche quantitative. Revue Géogr. du Maroc., 15, 109-128.
- HIMRANE H., 1990-** Caractérisation de l'agressivité climatique du Bassin versant du Chéouli. Essai de cartographie du risque potentiel d'érosion pluviale dans le sous-Bassin d'oued Sly. Mémoire d'Ingénieur INA, Alger 89 p.

- KOURI L., 1993-** L'érosion hydrique des sols dans le bassin versant de l'oued Mina. Etude des processus et type de fonctionnement des ravins dans la zone des marnes tertiaires. Thèse de doctorat, Université Louis Pasteur, Strasbourg, France.
- KOURI L., VOGT H. et GOMER D., 1997-** Analyse des processus d'érosion linéaire en terrain marneux, bassin versant de l'oued Mina, Tell oranais, Algérie, Bull. Réseau Erosion n°17, 64-73.
- KOURI L. et GOMER D., 2010-** Analyse des processus de ravinement et détermination de la sensibilité des terrains marneux dans le Tell oranais Algérie. Revue science et changements planétaires sécheresse 2010. 28 p.
- LAOUINA A., 1998-** Dégradation des terres dans la région méditerranéenne du Maghreb. Bull. Réseau érosion n° 18, Ed. IRD (Ex. Orstom), Montpellier, 33-53.
- LE BISSONNAIS Y., 1988-** Analyse des mécanismes de mobilisation et de déplacement des particules à la surface du sol sous l'action des pluies. Thèse Dot. Univ. Orléans. Ardon, 196 p.
- LE BISSONNAIS Y., 1990-** Experimental study and modeling of soil surface crusting processes. In: Catena supplement soil Erosion – Experiments and models, pp. 13-28.
- LE BISSONNAIS Y. and SINGER M.J., 1992-** Seal formation, runoff and interrill erosion from 17 California soils. Soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 56 : 1898-1903.
- LE BISSONNAIS Y., SINGER M.J. and BRADFORD J.M., 1993-** Assessment of soil erodibility : the relation ship between soil properties, erosion processes and susceptibility to erosion. Farmland erosion: In temp.planis Environmentand Hills, 87-96
- LE BISSONNAIS Y. et LE SOUDER C., 1995-** Mesurer la stabilité structurale des sols pour évaluer leur sensibilité à la battance et à l'érosion. Etude et gestion des sols 2-1 : 43-56.
- LE BISSONNAIS Y. and ARROUAYS D., 1997-** Aggregate stability and assessment of soil crutability and erodibility. II. Application to humic loamy soils with various organic carbon contents. Eur. J. Soil. Sci, 48: 39-48.
- LE BISSONNAIS Y., CHENU C., ARROUAYS D. et CEDRON O., 2002-** Mécanismes d'action des matières organiques sur la structure et l'érodibilité du sol. Colloque. International de Montpellier.53 p.
- LYLE W.M. et SMERDON E.T., 1959-** Relation of compaction and other properties, to erosion resistance of soils. Transaction of the Americain Soc. Of Agricultural Enginners 8(3). 419-422.
- MAALIOU A., 2010-** Contribution à l'étude de l'impact de l'érosivité des pluies sur le transport solide de quelques grands bassins versants. USTHB Thèse de Magister. 75 p + annexes
- MALKIA R., 1985-** Caractérisation de l'agressivité climatique pour quelques stations en Algérie. Thèse d'ingénieur INA Alger.
- MASSON J.M., 1971-** L'érosion des sols par l'eau en climat méditerranéen. Méthodes expérimentales pour l'étude des quantités érodées à l'échelle du champ. Montpellier : Université des Sciences et Technologies du Languedoc-Montpellier 2, thèse de doctorat, 213 p. + annexes.
- MAZOUR M., 1992-** Les facteurs de risque de l'érosion en nappe dans le bassin versant d'Isser, Tlemcen, Algérie. Bull. Réseau Erosion n° 12. 303-313.
- MAZOUR M. et ROOSE E., 2002-** Influence de la couverture végétale sur le ruissellement et l'érosion des sols sur parcelles d'érosion dans des bassins versants du Nord-ouest de l'Algérie .Bulletin Réseau Erosion, n°21, 320-330.

- MAZOUR M., 2004-** Etude des facteurs de risque du ruissellement et de l'érosion en nappe et conservation de l'eau et du sol dans le bassin versant de l'Isser –Tlemcen Algérie. Thèse de doctorat d'Etat en foresterie. 184 p.
- MEDDI H. et MEDDI M., 2009-** Variabilité des précipitations annuelles du Nord-Ouest de l'Algérie. *Sécheresse*, vol. 20, n° 1, 57-65.
- MERZOUK A. and BLACK G.R., 1991-** Indices for the estimation for intervill erodibility of marrocan soils. *Catena*, 18, 537-550.
- MEYER L.D. and MC CUNE D.L., 1958-** Rainfall simulation for runoff plots. *Agric. Eng.*, 39: 644-648.
- MONNIER G., 1965-** Action des matières organiques sur la stabilité structurale des sols. Thèse, Paris, 140 p.
- MONNIER J.L., 1973 :** Contribution a l'étude des dépôts quaternaires de la région de saint Briec. Stratigraphie et sédimentologie des limons, des plages et des sols anciens. trav. labo. Anthropologie. Rennes .1973, 260 p.
- MONNIER G. et STENGEL P., 1982-** La composition granulométrique des sols, un moyen de prévoir leur fertilité. *Bull. tech. D'inf. France*, 503-512.
- MONNIER G., BOIFFIN J. et POPYF., 1986-**Réflexions sur l'érosion hydrique en conditions climatiques et topographiques modérées : cas des systèmes de grande culture de l'Europe de l'Ouest. *Cah. ORSTOM Sér. Pédol*, Vol. XXII no 2 : 123-131.
- MORSLI B., 1996-** Caractérisation, distribution et susceptibilité à l'érosion des sols de montagne. Cas des Monts de Beni Chougrane-Mascara. Thèse de Magistère en Sciences agronomiques, INA d'Alger, 166 p.
- MORSLI B., HALITIM A. et ROOSE E., 2004-** Effet des systèmes de gestion sur le ruissellement, l'érosion et le stock de Carbone; du sol dans les monts de Beni-Chougrane (Algérie). *Bull Réseau Erosion, IRD France*, 23 : 416-430.
- MORSLI B., MAZOUR M., ARABI M. and ROOSE E., 2005-** Influences of land uses, soils and cultural practices on carbon eroded and carbon stocks in soils of Mediterranean mountains of northern Algeria. In "Soil erosion & carbon dynamics", ed, *Advances in Soil Sciences*, CRC publisher, Boca Raton, USA.
- NAHAL L. 1984-** Problèmes de désertification en région méditerranéenne. *Départ des Sci des sols. INRA Paris-Grignon*, 14: 71-103.
- NEARING M.A. and BRADFORD J. M., 1985-**Surface water drop splash detachment and mecanical properties of soil. *Soil Sci. Am. J.* : 547-548.
- ORTOLI N.A. et MAURER C., 2000-** Evaluation et localisation des risques d'érosion en zone agricole dans une réserve (Makiling Forest) aux Philippines. *Bull. Réseau – Erosion n° 20, Ed. IRD (ex. Orstom), Montpellier*, 357-370.
- POESEN J., 1984-** The influence of slope angle on infiltration rate and Hortonian overland flow volume. *Z. Geomorphol. N.F.* 49, 117–131.
- POSS R., PLEUVRET C. et SARAGONI H., 1989-** Influence des réorganisations superficielles sur l'infiltration dans les terres de Barre (Togo méridional). *Cah. ORSTOM., Ser. Pédol., XXV n° 4*, 405-415.
- RAHHOU M. 1999-** L'érosion dans le Prérif central, zone interfluviale Leben-Sebou-Ouergha, un prolongement de l'évolution naturel, une production sociale. Thèse d'Etat, Univ Mohammed V, Rabat.

- RAMDANI M., 1993-** Caractéristiquement lithologiques des bassins versants de barrages en liaison avec leur sensibilité à l'érosion .ANRH- Rapport interne. Alger.
- RANGO A. et ARNOLDUS H.M.J., 1987-** Aménagement des bassins versants. Cahiers techniques de la FAO.
- REMINE B., 2000-**L'envasement des barrages – quelques exemples algériens. Bull. Réseau – Erosion n° 20, Ed. IRD (ex. Orstom), Montpellier, pp 165 – 171.
- REMY J.C. et MARIN-LAFLECHE A., 1974-** L'analyse de terre: réalisation d'un programme d'interprétation automatique. Annales Agronomiques, 25, 607-632.
- RIVAZ MARTINEZ, S., 1974-** Cytiselia scopar 10 – Stiatiti. Ann. Inst. Bot. Cavanilles. 31 (I). 200 p
- ROOSE E., 1981-**Dynamique actuelle de sols ferrallitiques et ferrugineux tropicaux d'Afrique Occidentale. Étude expérimentale des transferts hydrologiques et biologiques de matières sous végétation naturelles ou cultivées. ORSTOM, Paris (France). Collection travaux et documents, n° 130, Thèse d'État Orléans. 569 p.
- ROOSE E., 1984-** Causes et facteurs de l'érosion hydrique sous climat tropical, conséquences pour les méthodes antiérosives. Machinisme Agric.Trop.87 : 4-18.
- ROOSE E. et SARRAILH J.M., 1989-** Erodibilité de quelques sols tropicaux Vingt années de mesure en parcelles d'érosion sous pluies naturelles. Cahier Orstom Pédologie, 25(1): 7-30.
- ROOSE E., 1993-** Water and soil fertility management – A new approach to fight erosion and improve land productivity, in Acceptance of soil and water conservation strategies and technologies. DISTL, Witzenhausen, RCA, 129-164
- ROOSE E., ARABI M., BRAHMIA R., MAZOUR M. et MORSLI B., 1993-** Erosion en nappe et ruissellement en montagne méditerranéenne algérienne .Réduction des risques érosifs et intensification sur la production agricole par la GCES : synthèse des campagnes 1984-1995 sur un réseau de 50 parcelles d'érosion .Cahiers ORSTOM, série pédologie, 28(2) : 289-308.
- ROOSE E., 1994-**Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES) Bull.Pédol. FAO, 70, 420 p.
- ROOSE E., DE NONI G. et LAMACHERE J.M., 1998-**L'érosion à l'O.R.S.T.O.M. – 40 ans de recherches multidisciplinaires. Bull. Réseau – Erosion n° 18, Ed. IRD (ex. Orstom), Montpellier, 54 - 66.
- ROOSE E., CHEBBANI R. et BOUROUGAA L., 2000-**Ravinement en Algérie – Typologie, facteurs de contrôle, quantification et réhabilitation. Bull. Réseau – Erosion n° 19, Ed. IRD (ex. Orstom), Montpellier, 122 – 136.
- ROOSE E., LAMACHERE J.M. et DE NONI G., 2000-**Les effets d'actions incitatives de lutte contre l'érosion en Afrique francophone et en Amérique latine. Bull. Réseau – Erosion n° 20, Ed. IRD (ex. Orstom), Montpellier, 460 - 476.
- ROOSE E., 2004-** Exemple de GCES en moyenne montagne méditerranéenne d'Algérie. Synthèse secheresse V (15) N° 1, 9, 18. 54-66.
- SADIKI A., 2005-** Estimation des taux d'érosion et de l'état de dégradation des sols dans le bassin versant de l'oued Boussouab, Maroc nord oriental : application du modèle empirique (USLE), de la technique du radio-isotope ¹³⁷Cs et de la susceptibilité magnétique. Thèse Doctorat d'Etat. Université Mohamed Premier, Oujda, 320 p.
- SAIDI D., 1993-** Etude expérimentale de la stabilité structurale des sols des plaines du Chélif. Thèse Magister INA d'El Harrach Alger, 138 p.

- SARRAB N., 1982-** Etude de l'agression des pluies sur le sol de quelques stations à l'Est algérien. Thèse de Magister I.S biologie Constantine.
- SEED, H. B., WOODWARD, R. J., Jr. and LUNDGREN R., 1962 -** Prediction of swelling potential for compacted clays: *J. ASCE, Soil Mechanics and Foundation Division*, Vol. 88, No. SM-3, Part I, 53-87.
- SELTZER P., 1946-** Le climat de l'Algérie. 218 p.
- SMAHI E.J., 2001-** Etude du phénomène d'ensablement sur le plateau de Mostaganem et propositions d'aménagement. Thèse de Magister en géographie physique. Université d'Oran Es-Senia. 164 p + cartes.
- TARDY Y., 1969 -** Géochimie des altérations. Etude des arènes et des eaux de quelques massifs cristallins d'Europe et d'Afrique. Thèse Sci. Strasbourg. Mim. Serv. Carte Géol. Als. Lorr., 31, 199 p.
- TINTHOIN R., 1948-** Les aspects physiques du Tell oranais. Ed. I. Fouque, Oran, 589 p + Annexes.
- TOPPER E., MOLIEN A. et KUYPERS H., 1985-** La défense des sols contre l'érosion sous les tropiques. Agrodok-series N° 11 .61p + annexes.
- TOUAIBIA B., 2000-** Erosion transport solide -envasement de barrages. Cas du bassin versant de l'oued Mina. Thèse de Doctorat d'Etat, INA, El-Harrach, Algérie
- VALENTIN C., 1981-** Organisations pelliculaires superficielles de quelques sols de région subdésertique. Thèse 3c cycle. Univ. Paris VII.
- VALENTIN C. et JANEAU J.L., 1989-** Les risques de dégradation de surface des sols en savane humide de Côte d'Ivoire. Cahier Orstom Pédologique, 251 : 41-52
- WISCHMEIER W.H. and SMITH D.D., 1962-** Rainfall erosion. *Advances in Agronomy* 14, 109-148
- WISCHMEIER W.H. and SMITH D.D., 1965-** Prediction rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains: a guide for selection of practices for soil and water conservation. U.S. Dept Agriculture. Agric. Handbook . 282 p.
- WISCHMEIER W.H. and MANNERING J.V., 1969-** Relation of soil properties to soil erodibility. *Soil Science society of America* 33, 131-137.
- WISCHMEIER W.H., JOHNSON C. B. and CROSS B.V., 1971-** Soil erodibility monograph for farm land and construction sites. *J. of soil and water*. Vol. 2, 265 p.
- WISCHMEIER W.H. and SMITH D.D., 1978-** Predicting rainfall erosion. A guide to conservation planning. USDA-ARS, Agriculture handbook, n°537, 58 p.
- ZEKRI N., 2003-** Analyse du facteur de l'agressivité climatique dans la Tafna, Nord ouest algérien. Thèse de magister, université de Tlemcen Algérie, 110 p.

ANNEXES

ANNEXE 1

Description des échantillons dans les zones test

Echantillon n° 1 (marnes vert-clairs)

Exposition : Ouest

Géomorphologie : Versant

Aspect de surface : marne effleurant

Erosion : Ravinements

Végétation : faible recouvrement

Roche mère : marne

Echantillon n° 2 (Marnes bleues)

Exposition : Nord-ouest

Géomorphologie : Versant

Aspect de surface : marne effleurant

Erosion : Ravines et ravins

Végétation : faible recouvrement e

Roche mère : marne

Echantillon n° 3 (marnes jaunâtre-vert-clairs)

Exposition : Nord-ouest

Géomorphologie : Versant

Aspect de surface : marne effleurant

Erosion : ravines et ravins

Végétation : faible recouvrement forestière

Roche mère : marne

Echantillon n° 4 (marnes grises)

Exposition : exposition sud

Géomorphologie : versant

Aspect de surface : marne effleurant

Erosion : la majorité des zones à lithologie marnes grises située dans une zone vénérable à l'érosion en nappe (risque considérable)

Végétation : nu

Roche mère : marne

Echantillon n° 5 (marnes brunes)

Exposition : est la majeure partie se trouve dans les versant à exposition est de l'oued Abed

Aspect de surface : marne effleurant

Erosion : nappe et ravine

Végétation : nu

Roche mère : marne

Echantillon n° 6 (marnes vert-clairs)

Exposition : sud à sud ouest

Geomorphologie : versant

Aspect de surface : marne effleurant

Erosion :

Végétation : nu

Roche mère : marne

Echantillon n° 7 (marnes bleues compactes)

Exposition : Nord

Géomorphologie : Versant

Erosion : en nappe et en ravine

Végétation : nu

Roche mère : marne

Echantillon n° 8 (Sol isohumique à caractère vertique)

Exposition : Nord

Géomorphologie : Versant

Aspect de surface : Cailloux, graviers calcaire (5 %) et fentes de retrait

Erosion : Ravine

Végétation : céréaliculture

Roche mère : marne

Description morphologique :

Horizon de 0 à 45 cm : texture argileuse, structure grumeleuse, peu de racines fines à grosses, vive effervescence à l'Hcl, graviers calcaires, présence de fentes de retrait, friable, poreux transition nette et régulière.

Echantillon n° 9 (Sol calcimagnésique carbonaté brun calcaire)

Exposition : Nord

Géomorphologie : versant 20 %

Aspect de surface : quelques galets arrondis (2 à 5 %), fentes de retrait

Erosion : nappes et rigoles

Végétation : céréale, reste de canopée

Roche mère : marne

Description morphologique :

Horizon de 0 à 45 cm : texture argileuse, structure polyédrique, débris organique, quelques racines, vive effervescence à l'Hcl, bonne activité biologique, calcaire sous forme diffuse, quelques cailloux présence de fentes de retraits, poreux, friables, transition nette.

Echantillon n° 10 (Sol peu évolué non climatique d'apport alluvial)

Exposition : Sud-Est

Géomorphologie : terrasse alluviale (2 – 5 %)

Aspect de surface : charge caillouteuse, reste de culture

Erosion : sapement des berges

Végétation : Maraîchage

Roche mère : marne

Description morphologique:

A de 0 – 20 cm : texture limoneuse, structure polyédrique, matière organique directement décelable, effervescence à l'Hcl présence de fente de retrait, calcaire sous forme diffuse, quelques racines, quelques éléments grossiers arrondis, peu compacte, peu poreux, transition nette.

Echantillon n° 11 (Sol isohumique gris noirci vertique)

Exposition : Nord

Géomorphologie : replat (aval du versant)

Aspect de surface : croûte structurale, fente de retrait, galet arrondis

Erosion : nappe

Végétation : sans végétation

Roche mère : marne

Description morphologique :

A de 0- 20 cm : texture argileuse, structure grenue, matière organique directement décelable, quelques racines très fines, vive effervescence à l'Hcl, présence de fentes de retrait très peu graveleux, poreux, friable, transition nette.

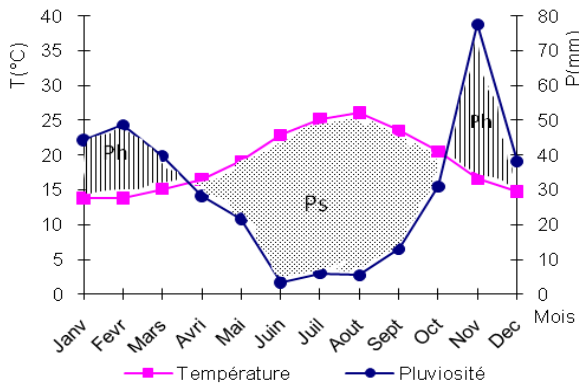


Fig. 1-1: Diagramme Ombrothermique de la Station de Ghazaouet (1995-2004)

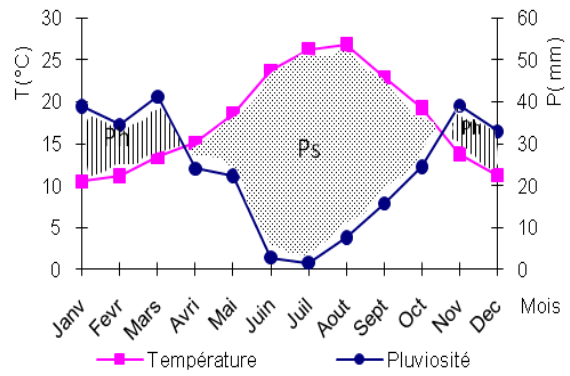


Fig.1-2 : Diagramme Ombrothermique de la Station de Maghnia (1995-2004)

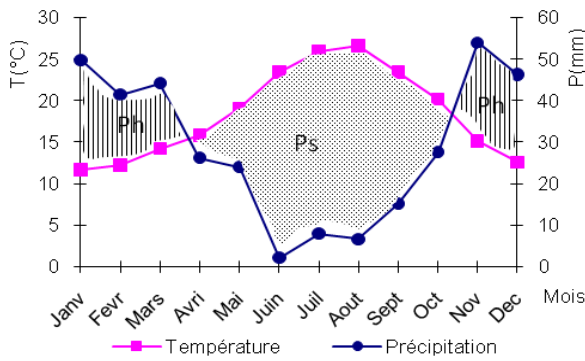


Fig. 1-3: Diagramme Ombrothermique de la Station de Tiaret (1995-2004)

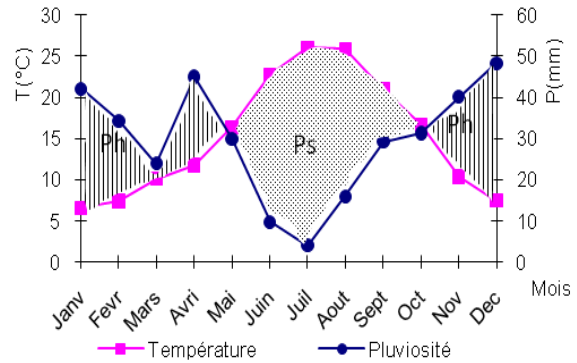


Fig. 1-4: Diagramme Ombrothermique de la Station de Tlemcen (1995-2004)

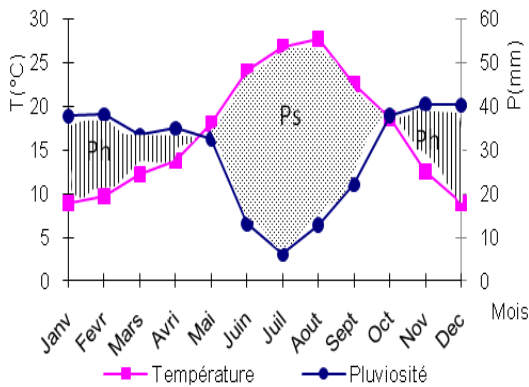


Fig. 1-6: Diagramme Ombrothermique de la Station de Saida (1995-2004)

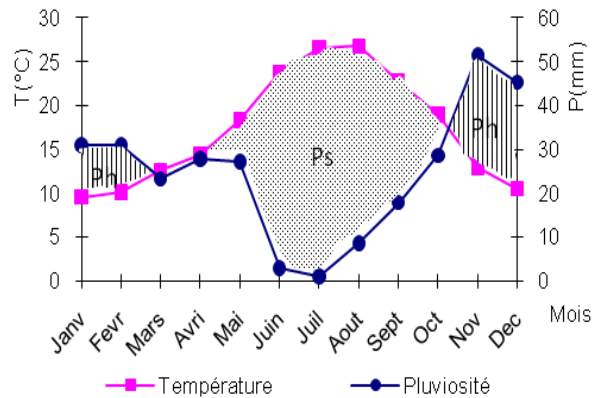


Fig. 1-7: Diagramme Ombrothermique de la Station de Mascara (1995-2004)

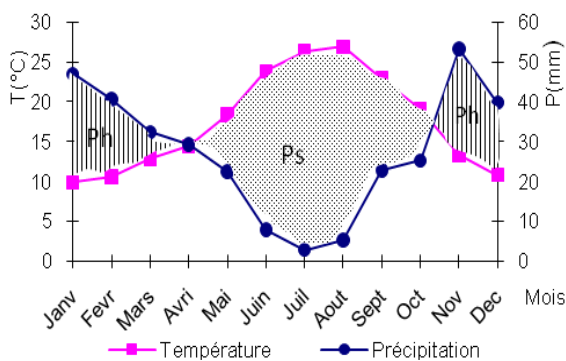


Fig. 1-8: Diagramme Ombrothermique de la Station de Sidi Bel Abbès (1995-2004)

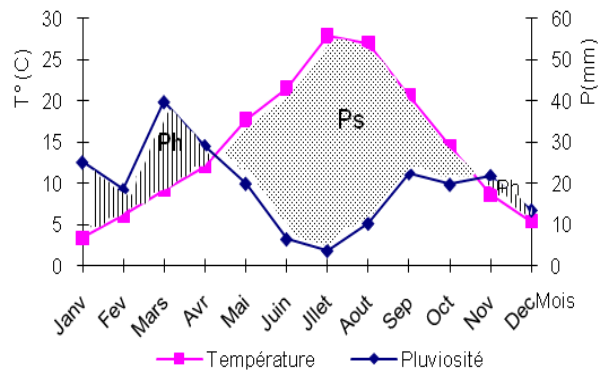


Fig. 1-9: Diagramme Ombrothermique de la Station d'El Aricha (1995-2004)

ANNEXE 2

Carte d'Erosivité mensuelles de Deffontaines du Tell oranais

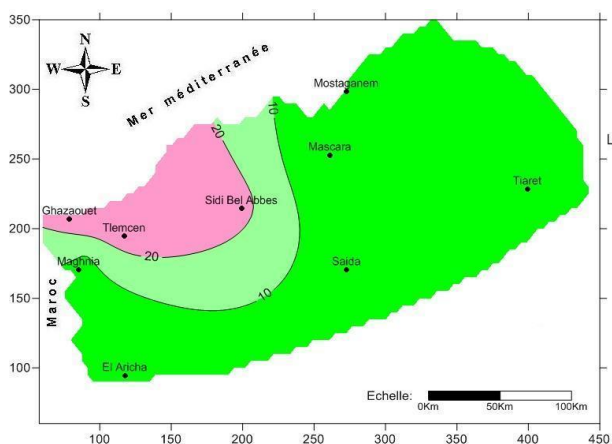


Fig. 2-1: Carte de répartition de l'érosivité en Janvier selon Deffontaines dans le Tell Oranais

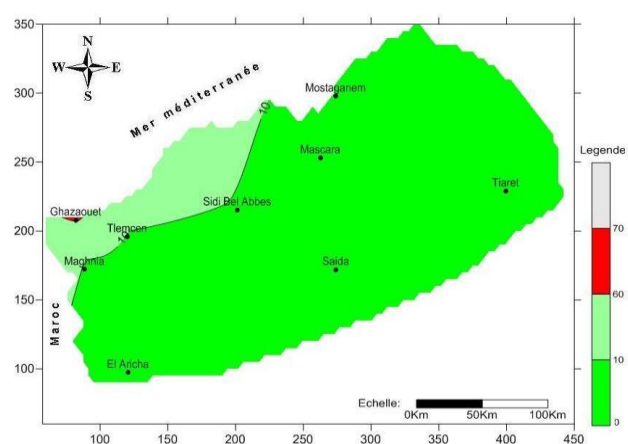


Fig. 2-2: Carte de répartition de l'érosivité en Février selon Deffontaines dans le Tell Oranais

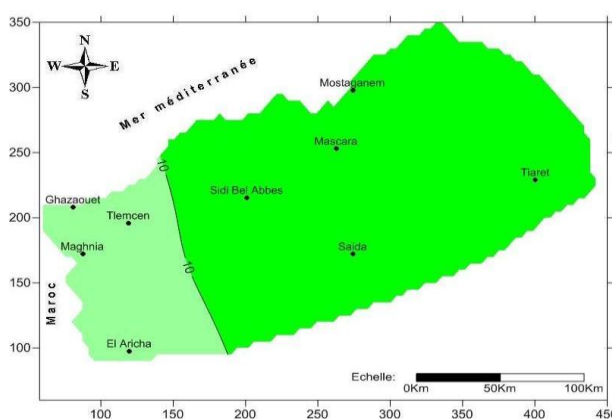


Fig. 2-3: Carte de répartition de l'érosivité en Mars selon Deffontaines dans le Tell Oranais

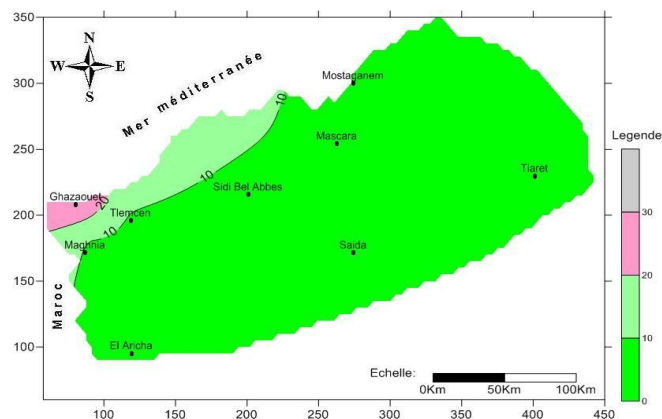


Fig. 2-4: Carte de répartition de l'érosivité en Avril selon Deffontaines dans le Tell Oranais

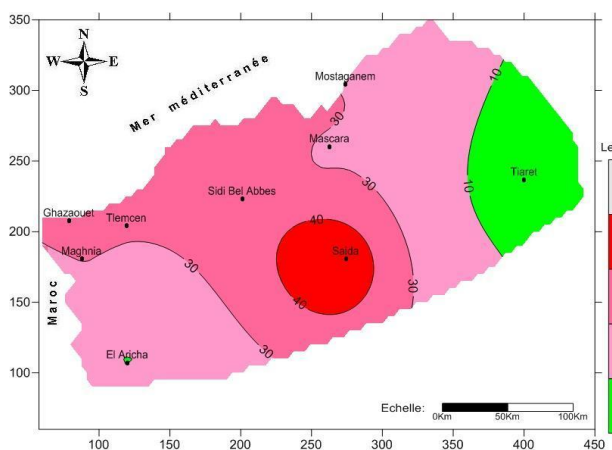


Fig. 2-5: Carte de répartition de l'érosivité en Mai selon Deffontaines dans le Tell Oranais

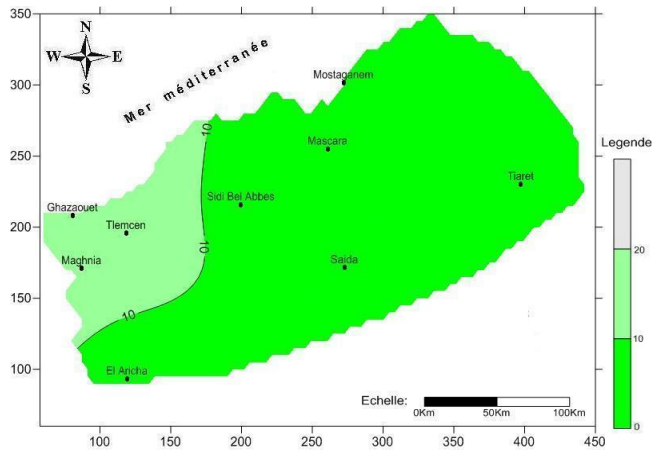


Fig. 2-6: Carte de répartition de l'érosivité en Août selon Deffontaines dans le Tell Oranais

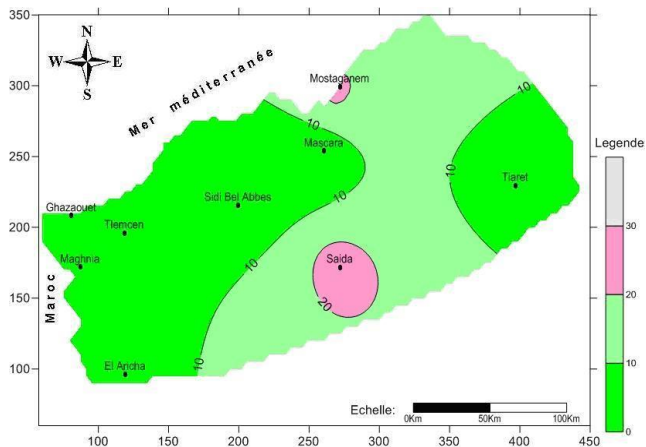


Fig. 2-7: Carte de répartition de l'érosivité en Octobre selon Deffontaines dans le Tell Oranais

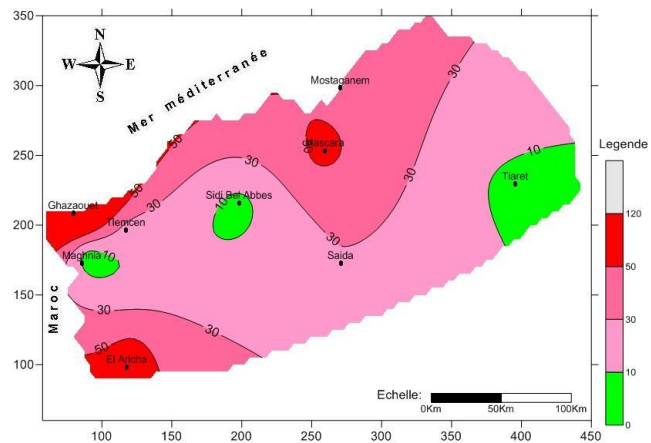


Fig. 2-8: Carte de répartition de l'érosivité en Novembre selon Deffontaines dans le Tell oranais

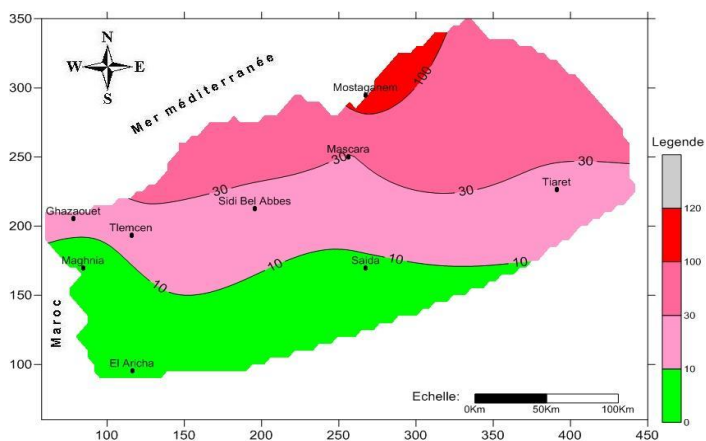


Fig. 2-9: Carte de répartition de l'érosivité en Décembre selon Deffontaines dans le Tell Oranais

ANNEXE 3

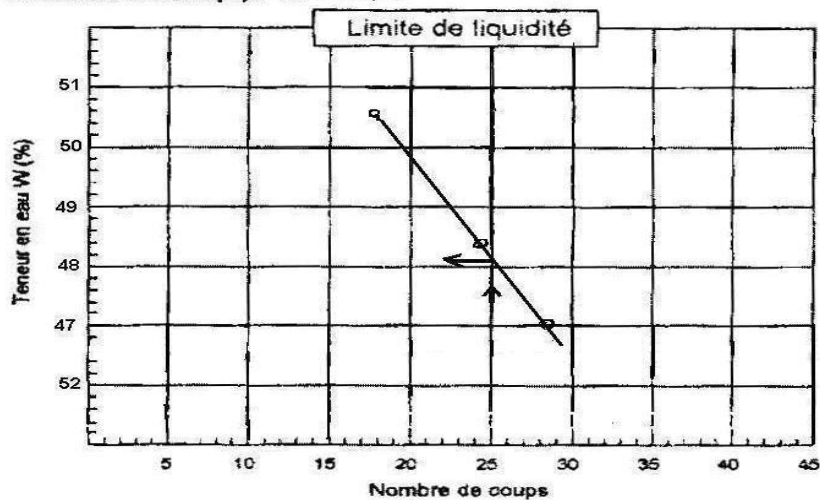
Limite d'Atterberg des échantillons des zones tests

Ech 1	Nombre de coups	18	24	28	Limite de plasticité		
	Teneur en eau (%)	51,69	48,40	46,88	21,13	21,84	22,97

Limite de Liquidité (%): $WL = 48,10$

Limite de Plasticité (%): $WP = 21,98$

Indice de Plasticité (%): $IP = 26,12$



Limite de plasticité	
Ech N°	W (%)
1	21,13
2	21,84
3	22,97

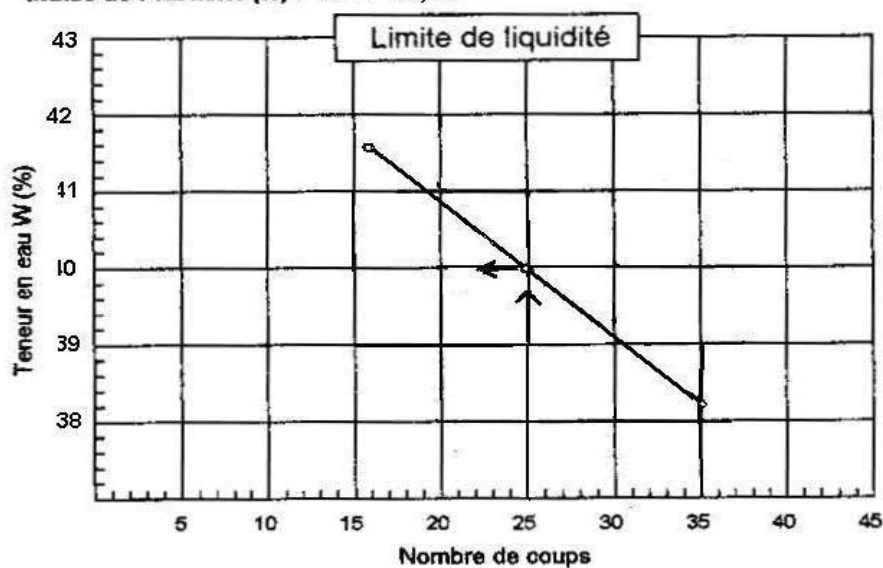
Fig. 3-1: limite d'Atterberg de marnes vert clairs (éch 1)

Ech 2	Nombre de coups	16	29	35	Limite de plasticité		
	Teneur en eau (%)	41,60	39,24	38,20	24,4	22,74	23,57

Limite de Liquidité (%): $WL = 40,10$

Limite de Plasticité (%): $WP = 23,57$

Indice de Plasticité (%): $IP = 16,53$



Limite de plasticité	
Ech N°	W (%)
1	24,4
2	22,74
3	23,57

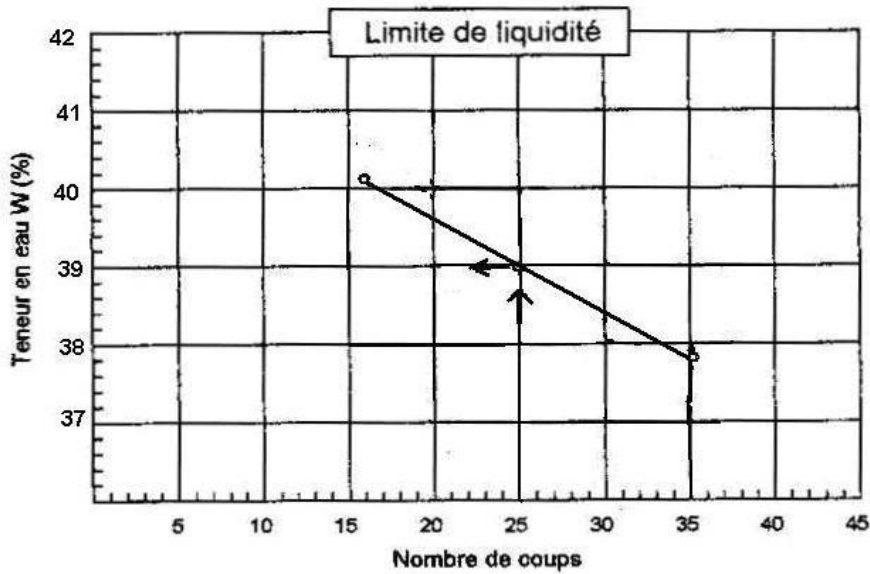
Fig. 3-2: Limite d'Atterberg de marnes bleues (éch 2)

Ech 3	Nombre de coups	16	27	35	Limite de plasticité		
	Teneur en eau (%)	40,10	38,93	37,80	20,99	21,02	20,15

Limite de Liquidité (%): $WL = 39,00$

Limite de Plasticité (%): $WP = 20,72$

Indice de Plasticité (%): $IP = 18,28$



Limite de plasticité	
Ech N°	W (%)
1	20,99
2	21,02
3	20,15

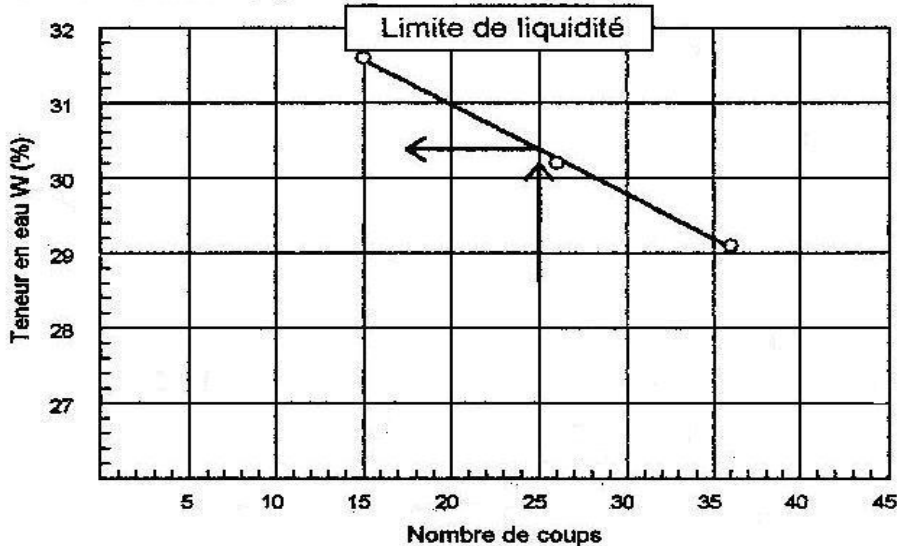
Fig. 3-3: limite d'Atterberg de marnes jaunaitre-vert clairs (éch 3)

Ech 4	Nombre de coups	15	26	36	Limite de plasticité		
	Teneur en eau (%)	31,6	30,2	29,1	20,9	21,0	20,7

Limite de Liquidité (%): $WL = 30,38$

Limite de Plasticité (%): $WP = 20,87$

Indice de Plasticité (%): $IP = 9,51$



Limite de plasticité	
Ech N°	W (%)
1	20,9
2	21
3	20,7

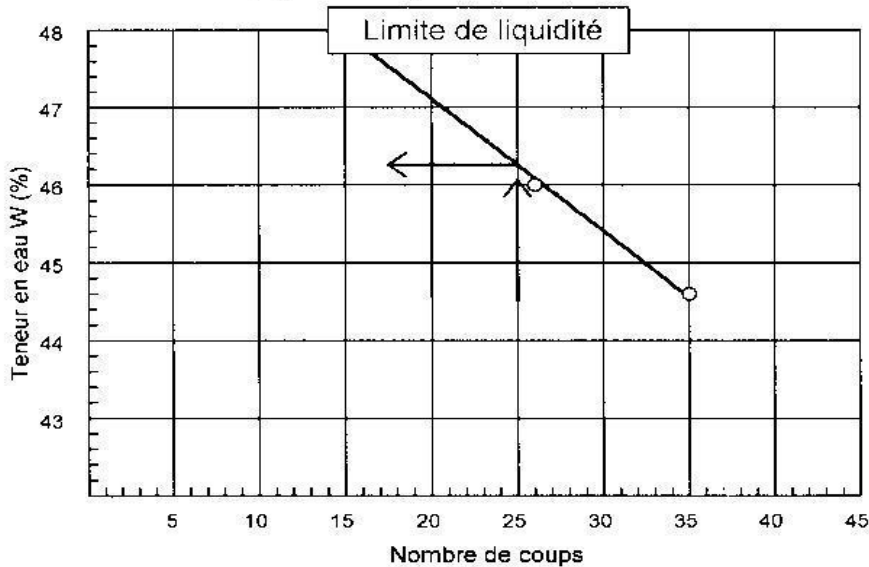
Fig. 3-4: Limite d'Atterberg de marnes grises (éch 4)

Ech 5	Nombre de coups	15	26	35	Limite de plasticité		
	Teneur en eau (%)	48,0	46,0	44,6	26,4	26,2	26,3

Limite de Liquidité (%) : $WL = 46,26$

Limite de Plasticité (%) : $WP = 26,30$

Indice de Plasticité (%) : $IP = 19,96$



Limite de plasticité	
Ech N°	W (%)
1	26,4
2	26,2
3	26,3

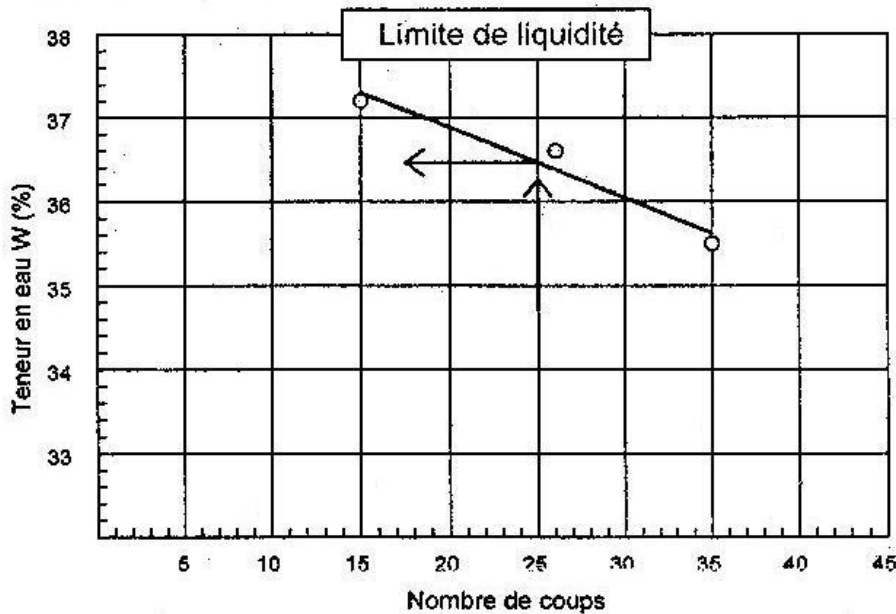
Fig. 3-5: Limite d'Atterberg de marnes brunes (éch 5)

Ech 6	Nombre de coups	15	26	35	Limite de plasticité		
	Teneur en eau (%)	37,2	36,6	35,5	25,5	25,5	25,1

Limite de Liquidité (%) : $WL = 36,46$

Limite de Plasticité (%) : $WP = 25,27$

Indice de Plasticité (%) : $IP = 11,19$



Limite de plasticité	
Ech N°	W (%)
1	25,2
2	25,5
3	25,1

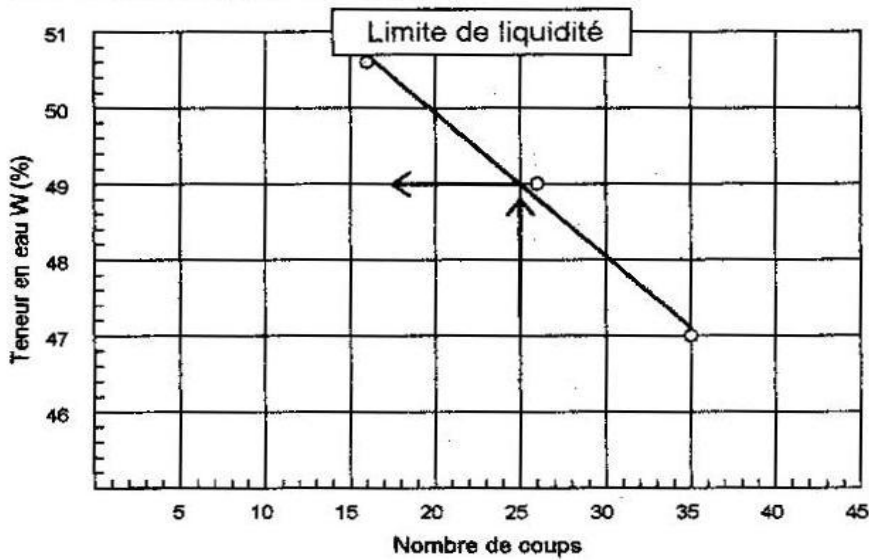
Fig. 3-6: Limite d'Atterberg de marnes vert clairs (éch 6)

Ech 7	Nombre de coups	16	26	35	Limite de plasticité		
	Teneur en eau (%)	50,6	49,0	47,0	29,4	28,9	29,1

Limite de Liquidité (%) : $WL = 48,99$

Limite de Plasticité (%) : $WP = 29,13$

Indice de Plasticité (%) : $IP = 19,86$



Limite de plasticité	
Ech N°	W (%)
1	29,4
2	28,9
3	29,1

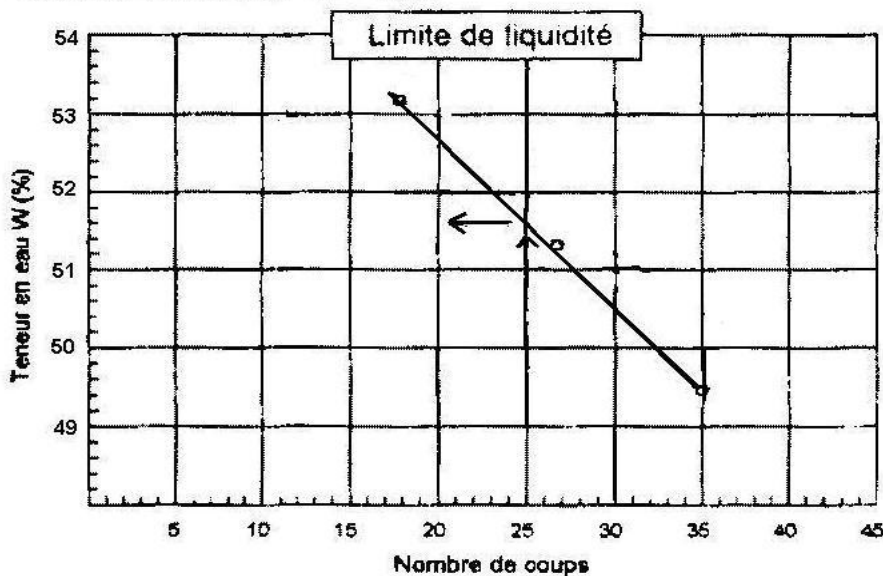
Fig. 3-7: Limite d'Atterberg de marnes bleues compactes (éch 7)

Ech 8	Nombre de coups	18	27	35	Limite de plasticité		
	Teneur en eau (%)	53,10	51,15	49,4	32	31,6	32,55

Limite de Liquidité (%) : $WL = 51,59$

Limite de Plasticité (%) : $WP = 32,05$

Indice de Plasticité (%) : $IP = 19,54$



Limite de plasticité	
Ech N°	W (%)
1	32
2	31,6
3	32,55

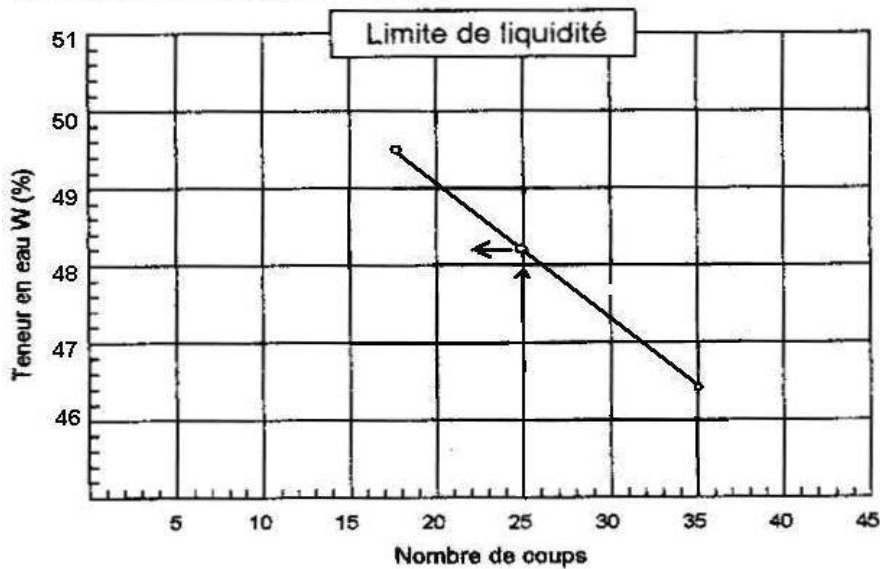
Fig. 3-8: Limite d'Atterberg de sol isohumique à caractère vertique (éch 8)

Ech 9	Nombre de coups	17	25	35	Limite de plasticité		
	Teneur en eau (%)	49,45	48,21	46,41	22,94	23,8	22,47

Limite de Liquidité (%) : $WL = 48,20$

Limite de Plasticité (%) : $WP = 23,07$

Indice de Plasticité (%) : $IP = 25,13$



Limite de plasticité	
Ech N°	W (%)
1	22,94
2	23,80
3	22,47

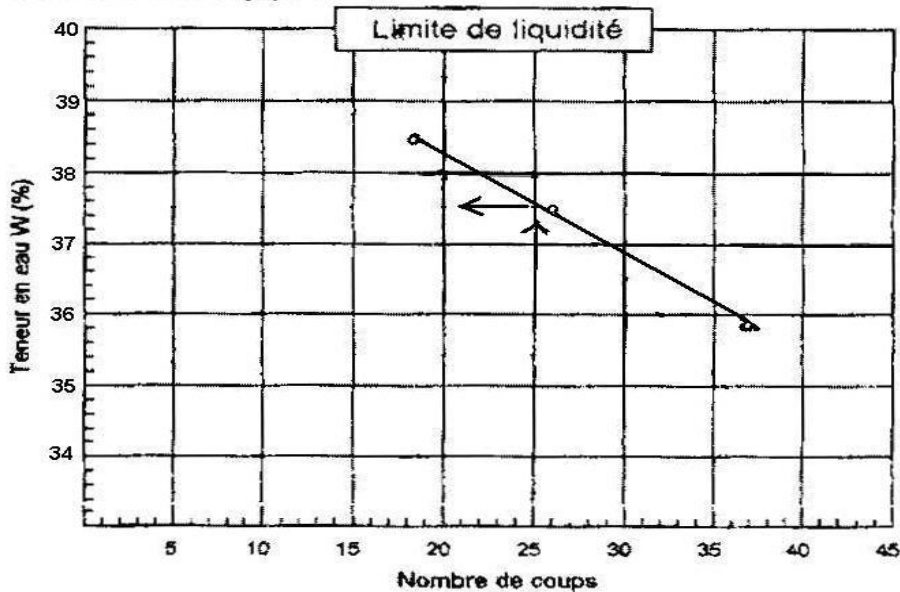
Fig. 3-9: Limite d'Atterberg de sol calcimagnésique carbonaté brun calcaire (éch 9)

Ech 10	Nombre de coups	18	26	37	Limite de plasticité		
	Teneur en eau (%)	38,41	37,42	35,80	20,22	18,67	20,39

Limite de Liquidité (%) : $WL = 37,47$

Limite de Plasticité (%) : $WP = 19,76$

Indice de Plasticité (%) : $IP = 17,71$



Limite de plasticité	
Ech N°	W (%)
1	20,22
2	18,67
3	20,39

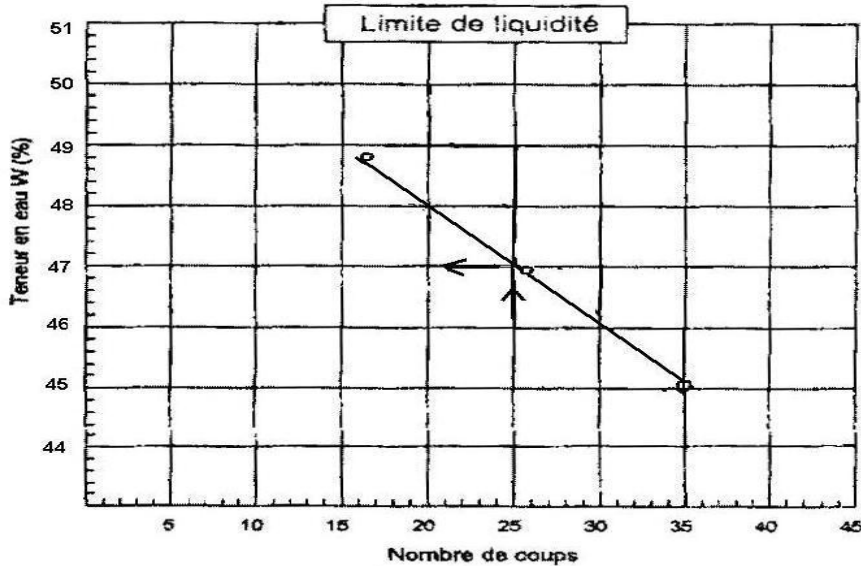
Fig. 3-10: Limite d'Atterberg de sol peu évolué non climatique d'apport alluvial (éch 10)

Ech 11	Nombre de coups	16	26	35	Limite de plasticité		
	Teneur en eau (%)	48,8	46,95	45,10	22,30	23,43	22,07

Limite de Liquidité (%): WL = 47,05

Limite de Plasticité (%): WP = 22,60

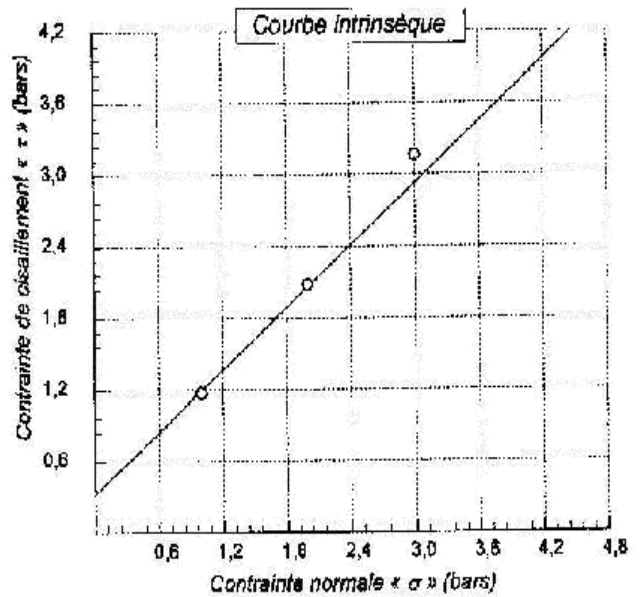
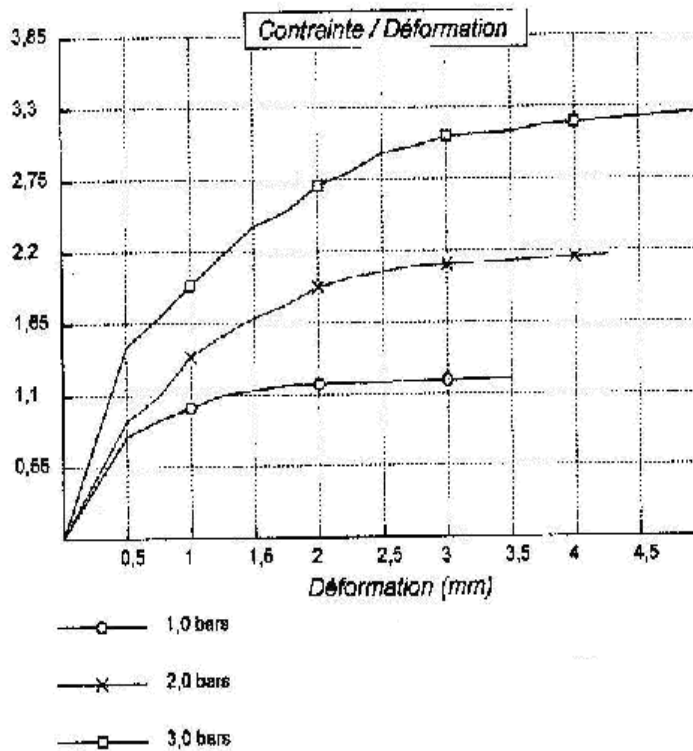
Indice de Plasticité (%): IP = 24,45



Limite de plasticité	
Ech N°	W (%)
1	22,30
2	23,43
3	22,07

Fig. 3-11: Limite d'Atterberg de sol isohumique gris noirci vertique (éch 11)

Essai de cisaillement rectiligne des échantillons de marnes et de sols



Cohésion = 0,33 bars	$\sigma_1 = 1,0 \text{ bars} \rightarrow \tau_1 = 1,17$
Frottement = 40,89 degrés	$\sigma_2 = 2,0 \text{ bars} \rightarrow \tau_2 = 2,08$
	$\sigma_3 = 3,0 \text{ bars} \rightarrow \tau_3 = 3,16$

Fig. 3-12: Essai de cisaillement rectiligne d'éch 4

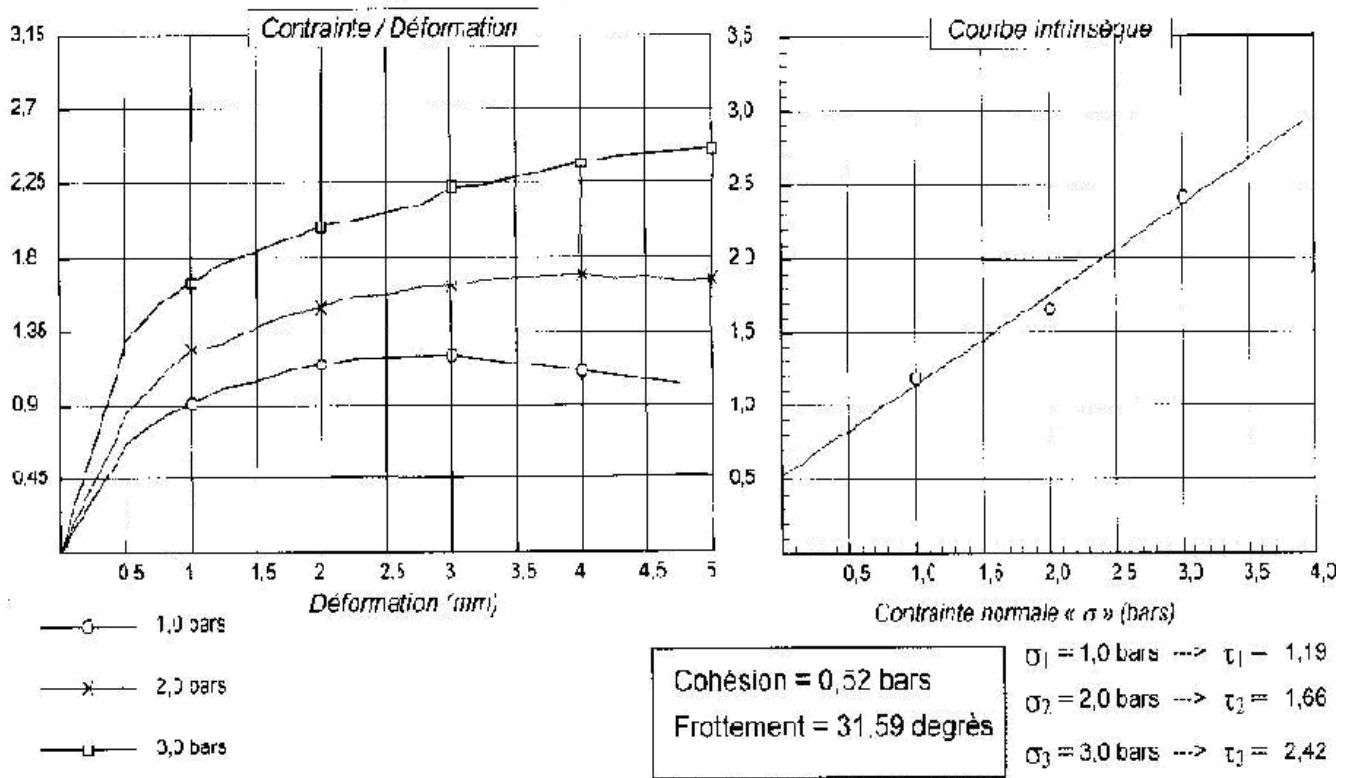


Fig. 3-13: Essai de cisaillement rectiligne d'éch 5

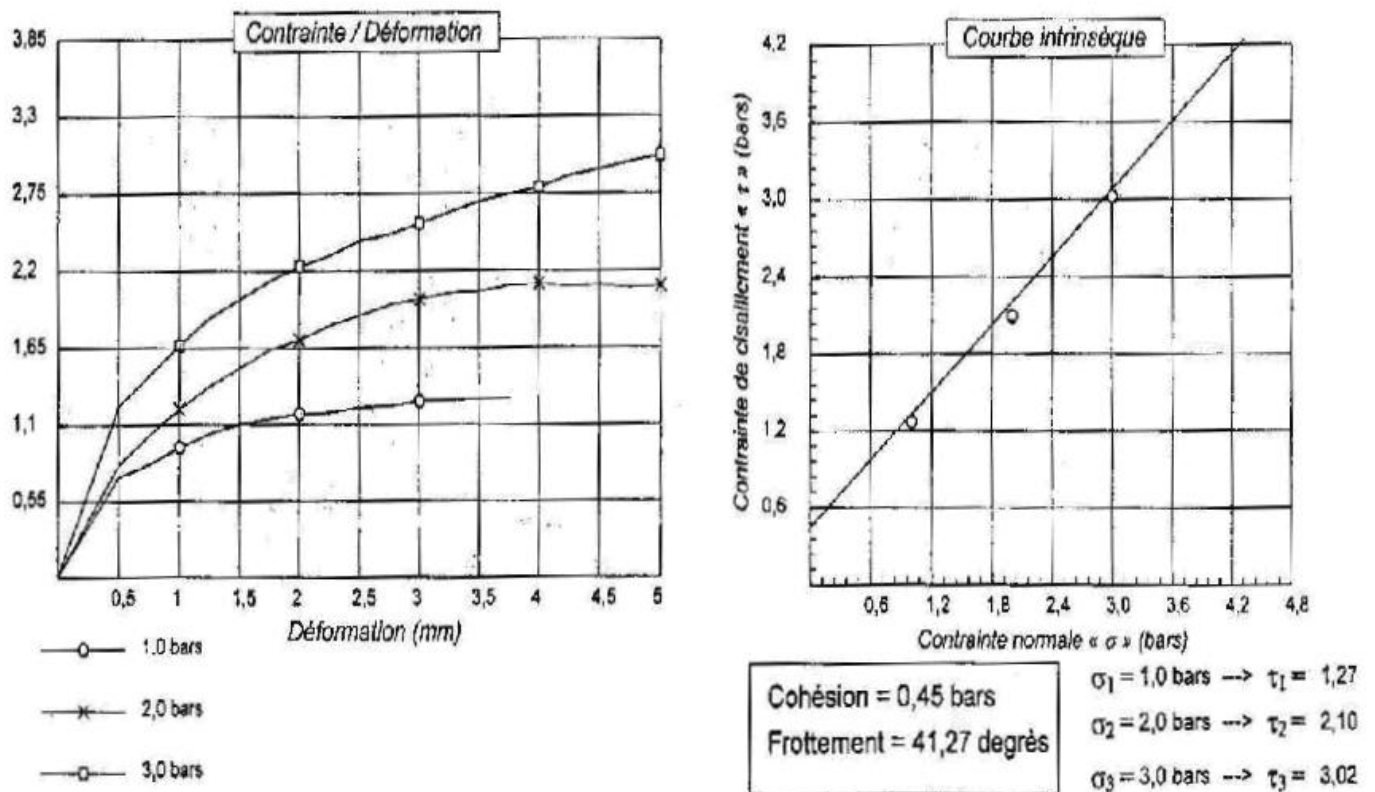
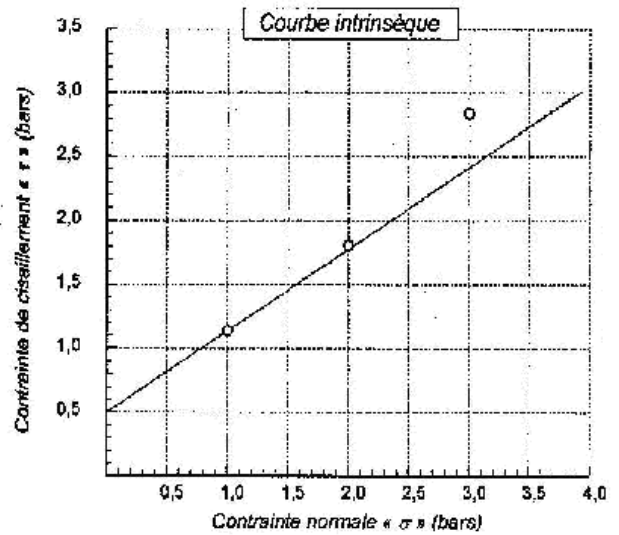
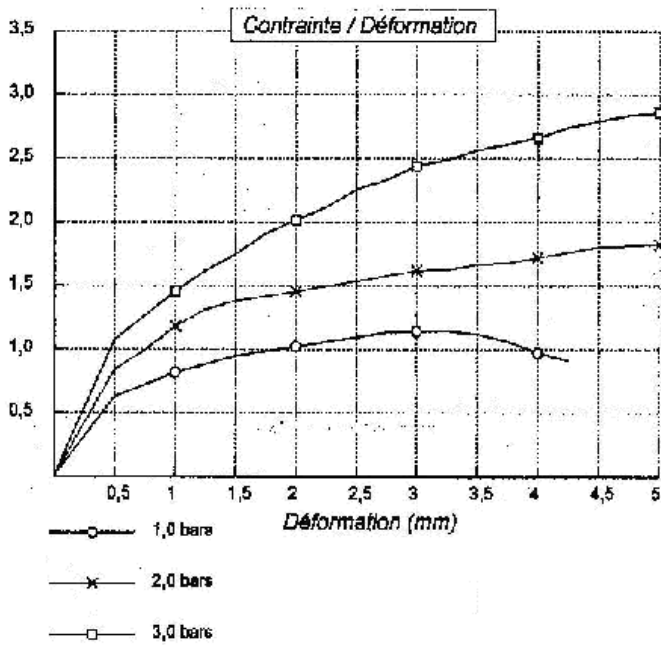


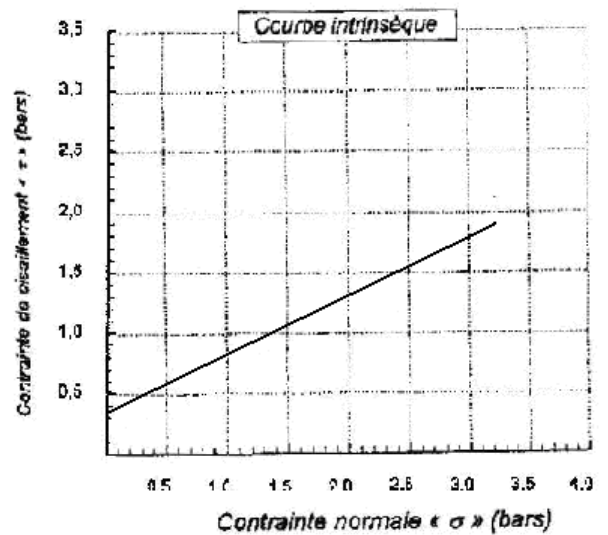
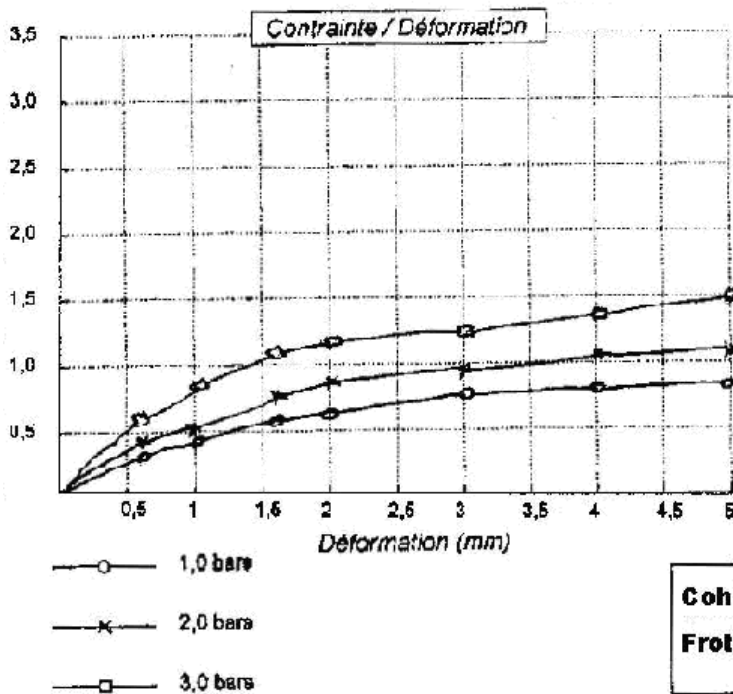
Fig. 3-14: Essai de cisaillement rectiligne d'éch 6



Cohésion = 0,50 bars
Frottement = 21,55 degrés

$\sigma_1 = 1,0 \text{ bars} \rightarrow \tau_1 = 1,14$
 $\sigma_2 = 2,0 \text{ bars} \rightarrow \tau_2 = 1,81$
 $\sigma_3 = 3,0 \text{ bars} \rightarrow \tau_3 = 2,84$

Fig. 3-15: Essai de cisaillement rectiligne d'éch 7



Cohésion = 0,32 bars
Frottement = 53,94 degrés

$\sigma_1 = 1,0 \text{ bars} \rightarrow \tau_1 = 0,65$
 $\sigma_2 = 2,0 \text{ bars} \rightarrow \tau_2 = 1,10$
 $\sigma_3 = 3,0 \text{ bars} \rightarrow \tau_3 = 1,55$

Fig. 3-16: Essai de cisaillement rectiligne d'Ech 8

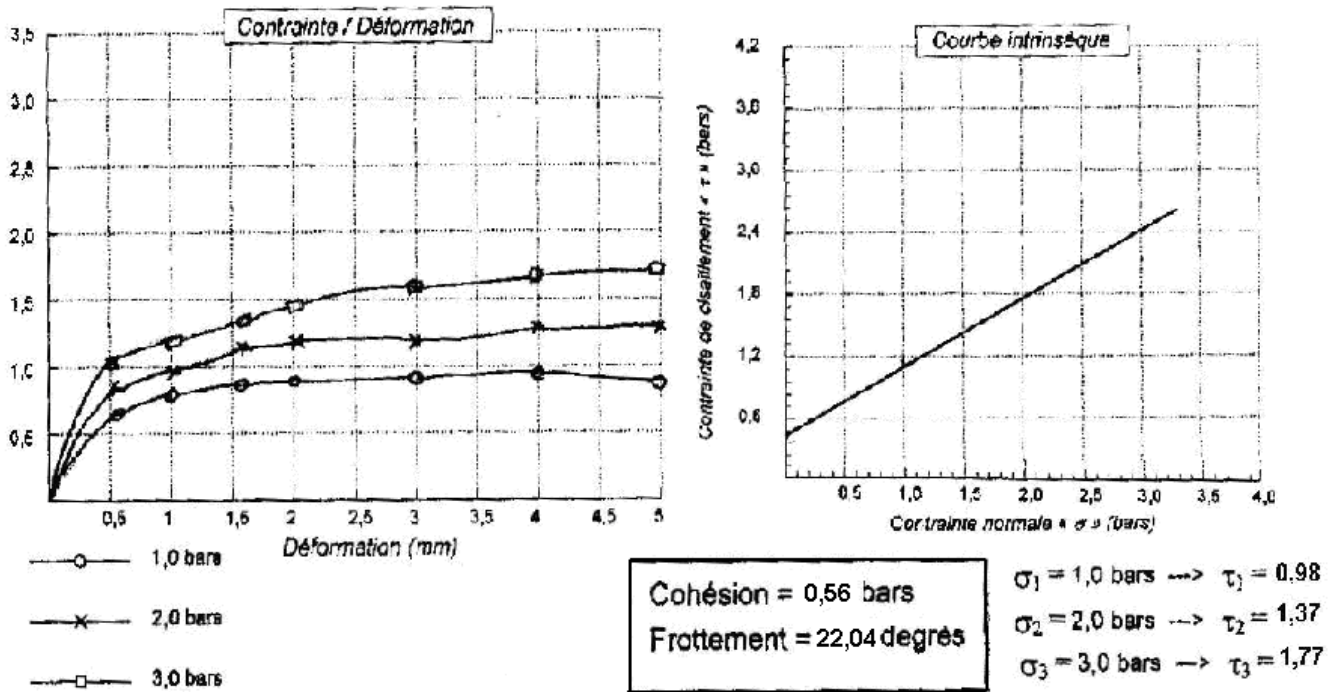


Fig. 3-17: Essai de cisaillement rectiligne d'Ech 9

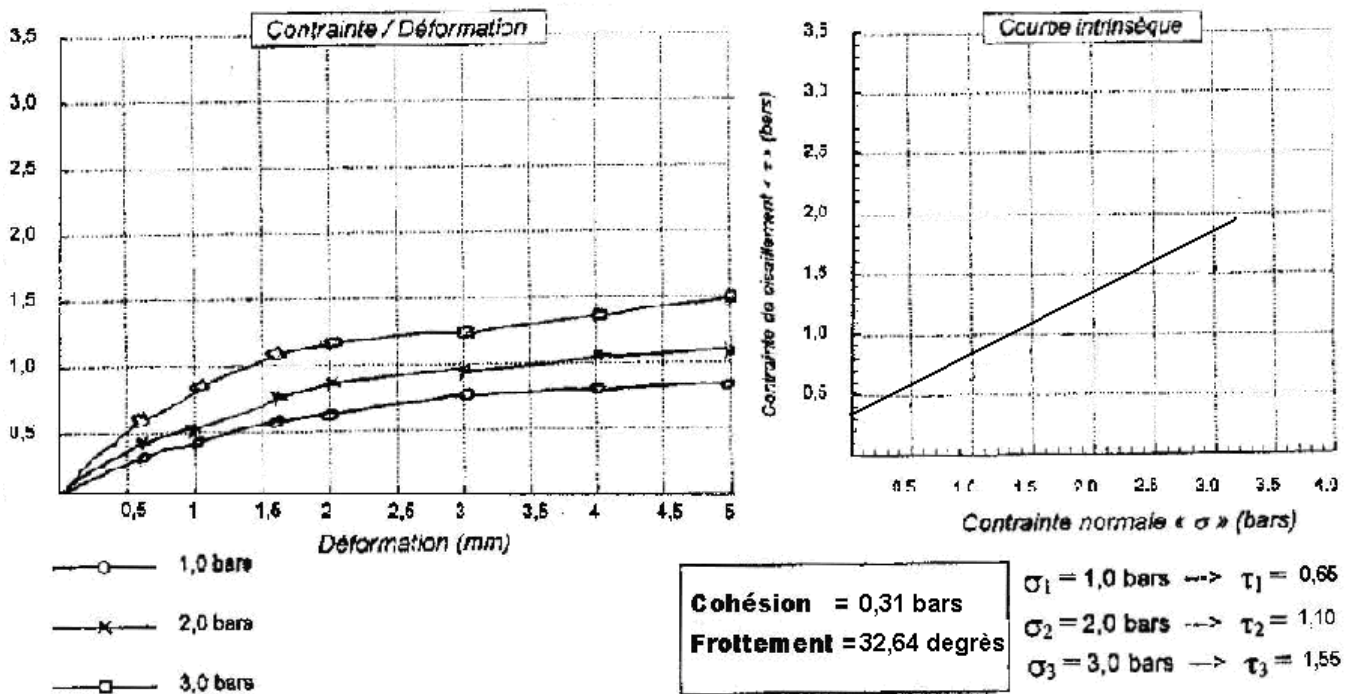


Fig. 3-18: Essai de cisaillement rectiligne d'Ech 10

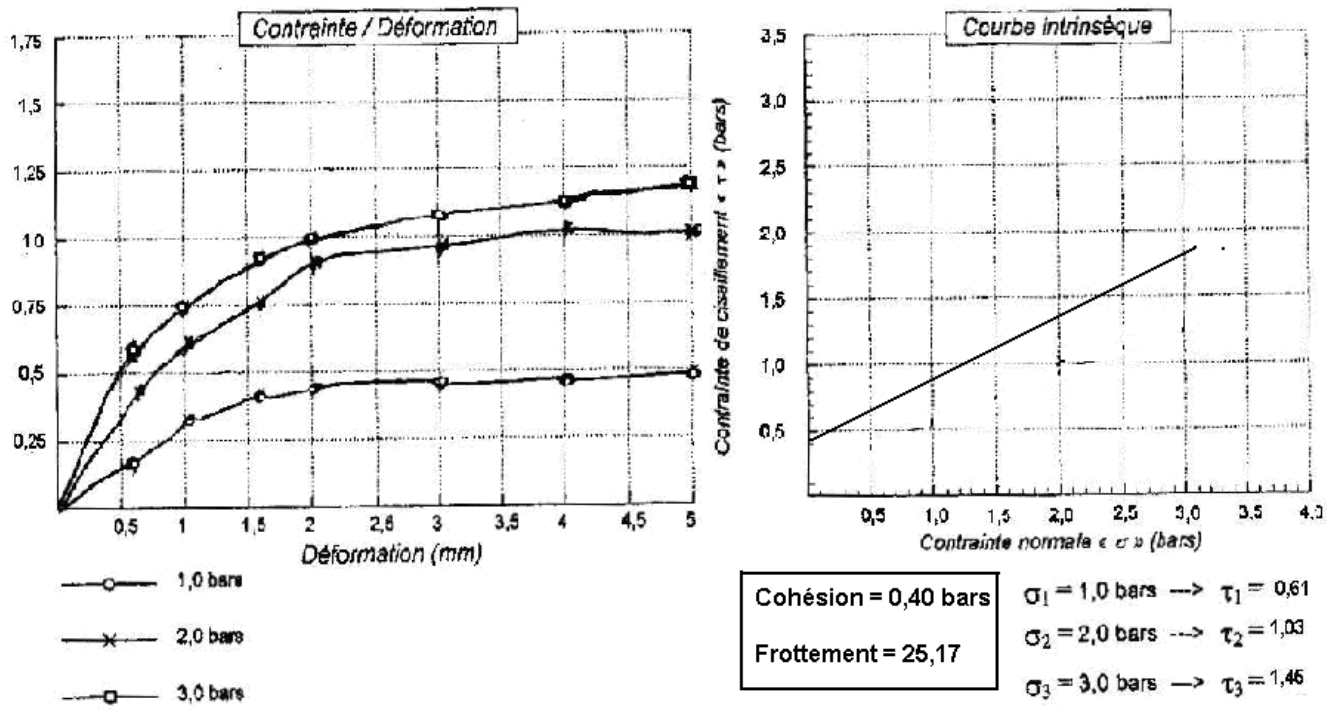


Fig. 3-19: Essai de cisaillement rectiligne d'Ech 11

ANNEXE 4

Tableau n° IV-1: Précipitation moyenne saisonnière (mm) des stations du Tell oranais.

Stations	Hiver	Printemps	Eté	Automne	Type de l'année
Ghazaouet	131	89,7	14,9	121,7	HAPE
Mostaganem	164,5	97,5	8,9	139,9	HAPE
Tlemcen	137,5	94,4	16,9	96,7	HAPE
Maghnia	106,4	87,6	12,1	79,3	HPAE
Mascara	107,3	78,3	12,5	97,9	HAPE
Sidi Bel Abbès	127,5	84,1	15,9	101,4	HAPE
Saida	116,2	101	32,1	100,4	HPAE
Tiaret	124,7	99	29,9	100,7	HAPE
Oran (Senia)	126,9	89,92	6,6	96,98	HAPE
Relizane	84,2	70,4	5,9	70,5	HAPE
El-Aricha	57,3	88,89	20,8	64,3	PAHE

Tableau n° IV-2: Fréquence en (%) des classes de hauteurs de pluies dans les stations du Tell oranais

Stations	Classes de Précipitations en mm						Précipitations torrentielles supérieures à 20 mm
	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	Plus de 50	
Ghazaouet	76,87	12,13	7,51	2,90	0	0,58	10,99
Mostaganem	82,32	11,11	4,54	1,51	0	1,01	7,06
Tlemcen	74,33	10,16	4,60	3,20	1,60	0	9,40
Maghnia	87,43	9,67	0,49	0,97	0	0,49	1,95
Mascara	87,32	8,92	1,87	1,40	0,47	0	3,74
Sidi Bel Abbès	87,38	8,56	3,60	0	0	0	3,60
Saida	88,01	7,87	2,62	0,74	0,74	0	4,10
Tiaret	91,09	7,26	1,98	00	0	0	1,98

Tableau n° IV-3: la température minimale, maximale et moyenne (°C) des stations du Tell oranais.

Stations		Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juît	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Moy
Mostaganem	m	6,4	6,2	7,7	9,6	13,3	17,1	19,3	20,5	17,6	14,4	9,8	7,6	12,45
	M	16,4	17,4	15,7	21,2	23,9	28,5	30,8	31,6	28,2	25,2	19,6	17,2	22,97
	T	11,4	11,8	11,7	15,4	18,6	22,8	25,05	26,05	22,9	19,8	14,7	12,4	17,71
Mascara	m	3,8	3,3	5,4	6,9	10,9	15,3	18,0	18,6	15,5	12,0	7,1	5,2	10,16
	M	15,3	16,9	19,8	21,8	25,8	32,3	35,1	35,0	30,1	25,9	18,8	15,8	24,38
	T	9,55	10,1	12,6	14,35	18,35	23,8	26,55	26,8	22,8	18,95	12,95	10,5	17,27
Tiaret	m	1,7	1,4	3,5	4,9	8,9	14,2	17,2	17,6	13,7	10,2	5,1	2,8	8,43
	M	11,5	13,5	16,7	18,7	23,9	31,3	34,8	34,1	28,3	23,2	15,7	12,2	21,99
	T	6,6	7,4	10,1	11,8	16,4	22,75	26	25,85	21	16,7	10,4	7,5	15,21
Sidi-Bel Abbès	m	4,1	4,0	5,9	7,3	11,3	15,9	18,4	19,1	15,8	12,2	7,5	5,3	10,56
	M	15,6	17,1	19,8	21,5	25,5	31,8	34,4	34,7	30,0	26,0	19,2	16,3	24,32
	T	9,85	10,5	12,85	14,4	18,4	23,85	26,4	26,9	22,9	19,1	13,35	10,8	17,44
Ghazaouet	m	9,1	9,3	10,7	12,1	15,2	19,2	21,4	22,3	19,4	16,3	12,3	10,2	14,79
	M	18,5	18,3	19,6	20,9	23,0	26,6	28,9	29,8	27,6	24,8	21,0	19,3	23,19
	T	13,8	13,8	15,1	16,5	19,1	22,9	25,15	26,0	23,5	20,5	16,6	14,7	18,99
Tlemcen	m	6,1	6,3	7,9	9,3	12,8	16,9	19,3	20,2	17,4	14,0	9,7	7,4	12,27
	M	17,3	18,2	20,5	22,3	25,3	30,0	32,6	33,0	29,5	26,3	20,6	17,8	24,45
	T	11,7	12,2	14,2	15,8	19,1	23,4	25,9	26,6	23,4	20,1	15,1	12,6	18,36
Saida	m	3,6	3,4	5,3	6,4	10,3	15,4	18,0	18,9	15,1	12,1	6,9	4,7	10
	M	14,2	16,0	19,2	21,2	25,7	32,7	35,7	35,5	30,0	25,2	18,1	14,9	24,03
	T	8,9	9,7	12,2	13,8	18,0	24,1	26,9	27,7	22,5	18,6	12,5	8,9	16,98
Oran	m	5,31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	M	-	-	-	-	-	-	-	32,7	-	-	-	-	-
	T	11,1	12,0	14,5	16,0	19,0	22,7	25,4	26,8	23,4	19,9	15,1	12,7	18,22
Maghnia	m	4,3	4,4	6,5	8,0	11,4	15,7	18,0	19,0	15,9	12,4	7,7	5,3	10,71
	M	16,7	18,0	20,5	22,2	25,8	31,7	34,5	34,6	29,9	26,2	19,9	17,2	24,76
	T	10,5	11,2	13,5	15,1	18,6	23,7	26,25	26,8	22,9	19,3	13,8	11,2	17,73
El-Aricha	m	-2,2	1,0	4,4	6,7	11,3	17,1	20,7	20,2	15,3	10,8	4,6	1,7	09,15
	M	7,9	11,5	20,3	24,4	28,4	30,3	31,9	32,7	28,3	26,9	18,0	10,5	21,71
	T	3,4	6,1	9,2	12,08	17,7	21,5	27,9	26,9	20,6	14,5	8,7	5,4	14,50

ONM 1995-2004

Résumé

Le Tell Oranais a été de tout temps menacé par des pluies irrégulières à caractère orageux, qui combinées à une déforestation importante provoquent une érosion sévère. Ces sols sont de plus en plus dégradés et les sédiments issus de cette érosion contribuent à l'envasement des barrages. Pour déterminer l'érosivité pluvieuse dans le temps et dans l'espace et l'érodibilité des sols, une approche méthodologique a été retenue avec un échantillonnage de 11 stations pluviométriques qui sont réparties sur l'ensemble du Tell oranais. Trois zones tests ont été choisies dans des sols argileux et marneux, pour identifier les zones à substrats sensibles à l'érosion hydrique.

Les valeurs de l'indice de Fournier varient de 5 pour la station de Saïda à 17 pour la station de Ghazaouet. Les valeurs de l'indice d'Arnoldus varient entre 24 pour la station d'El-Aricha et 50 pour la station de Mostaganem.

L'application de la formule alternative pour le calcul du facteur d'agressivité climatique a permis de caractériser les stations d'étude entre 40 pour El-Aricha et 70 pour Mostaganem selon Rango-Arnoldus et entre 28 pour Relizane et 49 pour Mostaganem selon Roose (1981).

L'élaboration des cartes d'érosivité des pluies par le biais du logiciel Surfer 9.0 en vue de prévoir et guider le repérage des zones d'interventions prioritaires pour la conservation des sols contre l'agressivité des pluies où le risque d'érosion est potentiellement élevé. Il en ressort sur le plan spatial, que l'érosivité des pluies croît du sud au nord du Tell oranais.

L'analyse au laboratoire des échantillons de sol et de marne a permis d'étudier la répartition des degrés de sensibilité des zones tests au risque d'érosion. Ce qui a permis de repérer des substrats les plus menacés par l'érosion hydrique.

L'analyse factorielle des correspondances (AFC) nous a permis de caractériser l'érodibilité des formations lithologiques et des sols.

- Les marnes bleues compactes et les sols calcimagnésiques bruns calcaires sont moyennement érodibles
- Les marnes vert-clair, jaunâtre-vert clair de l'embouchure du Chéouli, grises, brunes, vert clair (bassin versant d'oued Mina), sol isohumique à caractère vertique et sol isohumique gris noirci vertique sont fortement érodibles.
- Les marnes bleues et les sols peu évolués d'apport alluvial sont très fortement érodibles.

Cette étude constitue une étape préliminaire à tout aménagement de lutte antiérosive appropriée.

Mots clés :

Tell oranais, marne, pluie, érosivité, érodibilité.

Abstract:

The Tell of Oran has always been threatened by erratic rains in stormy character, which combined with deforestation important cause severe erosion. These soils are increasingly degraded and sediment from the erosion contribute to siltation of dams. To determine the rainfall erosivity in time and space and soil erodibility, a methodological approach was used with a sample of 11 rainfall stations that are located throughout the Tell Oran. Three test areas were chosen in clay and marl, to identify areas sensitive substrates to water erosion.

The index values range from 5 to Fournier for the station at 17 for Saida Station Ghazaouet. The index values range from 24 to Arnoldus for the station of El-Aricha and 50 for the station Mostaganem.

The application of the alternative formula for calculating the factor of aggression climate characterized the study sites from 40 to El-Aricha and 70 Mostaganem according Rango-Arnoldus and between 28 and 49 for Relizane and Mostaganem according Roose (1981).

The development cards rainfall erosivity through the Surfer 9.0 software to predict and guide the identification of areas of priority interventions for the conservation of soil against the aggressiveness of rainfall where the risk of erosion is potentially high. It appears spatially, the rainfall erosivity increases from south to north of the Tell of Oran.

Laboratory analysis of soil samples and marl was used to analyze the distribution of the sensitivity of the test areas at risk of erosion. This has led to the identification of substrates most at risk from water erosion.

The correspondence analysis (AFC) has helped us to characterize the sensitivity of samples to the erodibility of the substrate:

- The compact and blue marl soils are brown calcareous Calcimagnesian moderately erodible
- The light green marl, yellowish-green of the mouth of Cheliff, gray, brown, light green (Oued Mina watershed), soil isohumic nature and vertic vertic soil isohumic blackened gray are highly erodible.
- The blue marl soils and alluvial slightly evolved very erodible.

This study is a preliminary step to any development of appropriate erosion control.

Keywords:

the Tell of Oran, marl, rain, erosivity, erodibility.

ملخص:

التل ألوهرائي مهدد في كل الأوقات من الأمطار التي تتميز بالتساقطات الغير منتظمة مع تزايد القطع المفرط للغابات يؤدي إلى ارتفاع نشاط الحت. هذه الأراضي في تدهور مستمر و الترسبات الناتجة عنها تؤدي إلى امتلاء السدود بالأتربة مما يؤدي إلى نقص منسوب المياه في هذه السدود.

من اجل تحديد الحت التساقط في الزمان وفي المكان و هشاشة التربة . طريقة العمل حددت ب 11 محطة لقياس الأمطار الموزعة على التل الوهراني. مع اختيار 3 مناطق كتجارب التي تتميز بتربة طينية و طمية.

لتعريف وتحديد المناطق الحساسة للحت المائي أعطت النتائج المتحصل عليها باستعمال المعادلات لقياس الحت المائي كانت كمايلي:

الأرقام لفورني ما بين 5 لمحطة سعيدة إلى 17 الغزوات. أرقام ارنولديس تتراوح ما بين 24 بالعريشة إلى 50 بمحطة مستغانم. تطبيق معادلة رنكو-ارنولديس سمحت بتمييز محطات التل الوهراني ما بتن 40 بالعريشة إلى 70 بمستغانم. أما فيما يخص معادلة روز فهي تتراوح ما بين 28 بغليزان الى 49 بمستغانم.

إنشاء خرائط لخطر التساقطات باستعمال لوجسيال سارفر 9.0 سمحت بمعرفة التوقعات للمناطق الهشة التي لها الأولوية ا ل حمايتها من خطر التساقطات المطرية العنيفة.

تحليل عناصر التربة (للعينات) سمحت بمعرفة درجة الحساسية لهذه المناطق اتجاه الحت المائي. قمنا بالتحليل الاحصائي لمساعدتنا على معرفة حساسية هذه العينات اتجاه هشاشة التربة.

- الطمي الأزرق المتراص و التربة الكلسية-كربونية يتميزون بهشاشة متوسطة.

- الطمي الأخضر الفاتح ,المصفر-الأخضر الفاتح (مصب واد الشلف) , الطمي الأسمر , الرمادي و الأخضر الفاتح (منطقة واد مينة) و تربة شبه دبالية تتميز باللون الأخضر و تربة شبه دبالية سمراء مسودة خضراء (منطقة واد يسر) يتميزون بأكبر هشاشة.

- الطمي الأزرق و التربة الفقيرة الناتجة من الانجراف يتميزون بهشاشة جد كبرى.

هذه الدراسة تساهم في التعريف بخطر انجراف التربة عن طريق الحت المائي خصوصا في المناطق الحساسة و التي ستساعد في إعداد برامج الاستصلاح ضد الانجراف.

الكلمات المفتاحية:

التل الوهراني- طمي - تساقطات - هشاشة - الانجراف .