

UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR  
FACUTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES



ECOLE DOCTORALE 'SCIENCES DE LA VIE, DE LA SANTE ET DE  
L'ENVIRONNEMENT (ED-SEV)

Année : 2016 N° d'ordre : 202

THESE DE DOCTORAT

Spécialité : PRODUCTION ET PROTECTION DES VEGETAUX

Présentée par Amsatou THIAM

***Structure et fonctionnement des tannes du Sine Saloum (Sénégal), dans  
une perspective de mise en valeur pour un développement durable.***

Devant le Jury composé de :

Président Aliou GUISSÉ

Professeur titulaire, UCAD.

Rapporteurs : Bienvenu SAMBOU  
Mame Samba MBAYE  
Samba Arouna Ndiaye SAMBA

Maître de conférences, UCAD.  
Maître de conférences, UCAD.  
Maître de conférences, UT.

Examineur : Diégane DIOUF

Maître de conférences, UCAD.

Directeur de thèse Kandioura NOBA  
Co-directeur de thèse Jean Pierre NDIAYE

Professeur titulaire, UCAD.  
Directeur de Recherches, l'ISRA.

## DEDICACES

*Je rends grâce à l'Alpha et l'Oméga*

*Je dédie ce travail à :*

*Feu mon père El hadji Daouda THIAM*

*Feue ma mère Aissane Djiguène SALLA*

*Feu mon frère et ami Masseck THIAM*

*Feu Ndéné DIOUF*

*Mon épouse Aminata DENG*

*Je dis : non! Rien de rien. Non! Je ne regrette rien! A toi, qui  
a su me comprendre et me soutenir, pour votre persévérante attente  
durant mes longues et répétitives absences*

*Mes enfants Ndeye Diogaye et Aminata THIAM*

*Mes frères et sœurs*

*Mes amis Tanor Ndao Moussa Sall*

*Mes amis d'enfance*

*Ce travail est le vôtre.*

## REMERCIEMENTS

A l'occasion de la présentation de ce mémoire je voudrais exprimer ma reconnaissance et mes remerciements les plus sincères aux personnes qui m'ont apporté leur concours et leur soutien lors de la réalisation de ce travail.

Mes remerciements s'adressent aux personnels Administratifs, Techniques et Scientifiques de l'Université Cheick Anta Diop d'avoir bien voulu m'accorder l'autorisation de soutenir cette thèse.

Mes remerciements vont également aux personnes qui me font l'honneur de faire partie du jury pour juger ce travail.

Je remercie le Professeur Aliou GUISSSE d'avoir bien voulu présider cette thèse.

Je remercie vivement Pr Kandoura NOBA du Département de Biologie Végétale de l'Université de Cheick Anta Diop qui m'a donné l'opportunité de m'inscrire à cette formation doctorale : Production et Protection des Végétaux dont il est le responsable et d'avoir accepté d'être le Directeur de cette thèse. Son humanisme m'inspire énormément.

Mes sincères remerciements vont également à : Jean Pierre NDIAYE Directeur de Recherches de l'ISRA d'avoir accepté la codirection de ce travail et de l'appui morale et scientifique, qu'il a bien voulu m'apporter au courant de son séjour à l'ISRA en tant que Directeur Scientifique ; au Maître de Conférence à l'Université de Thiès Samba Arouna Ndiaye SAMBA qui sans ses conseils et son appui incessant, ce travail ne verrait le jour, je le remercie encore.

Je remercie Monsieur Mame Samba Mbaye Maître de Conférence, Chef de Département de Biologie Végétale de l'Université Cheick Anta Diop d'avoir accepté de faire partie du jury de cette thèse ; à travers sa personne, j'adresse également mes remerciements à toute l'équipe de Chercheurs, de Stagiaires et de Doctorant du Département de Biologie Végétale.

Je remercie Monsieur Bienvenu SAMBOU Maître de Conférence, Directeur de l'ISE d'avoir participé à ce jury en qualité de rapporteur.

Je remercie Monsieur Diégane DIOUF d'avoir bien voulu accepter de faire partie de ce jury en qualité d'examineur, et surtout de ces conseils dans les moments les plus difficiles de l'élaboration de ce mémoire.

La réalisation d'une partie de ce travail n'a été possible grâce à un environnement scientifique et moral dont j'ai pu bénéficier à L'ISRA

## Table des matières

|                                                                                            |      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| DESIGNS .....                                                                              | II   |
| Liste des illustrations .....                                                              | VIII |
| SIGLES ET ABREVIATIONS .....                                                               | XV   |
| RESUME .....                                                                               | XVI  |
| ABSTRACT .....                                                                             | XVII |
| INTRODUCTION GENERALE.....                                                                 | 1    |
| CHAPITRE I : Synthèse bibliographique.....                                                 | 5    |
| 1-1 : Analyse du domaine des tannes .....                                                  | 6    |
| 1-1-1 Le modèle des marais tempérés .....                                                  | 7    |
| 1-1-2 Essai de superposition de la Slikke et du Schorre aux vasières et aux tannes .....   | 7    |
| 1-2 : Genèse des tannes.....                                                               | 8    |
| 1-2-1. Le facteur anthropique .....                                                        | 8    |
| 1-2-2. Facteur climatique .....                                                            | 8    |
| 1-2-3. Le facteur sédimentologie.....                                                      | 9    |
| 1-2-4. Le facteur hydrologique .....                                                       | 10   |
| 1-2-5. Le facteur pédologique .....                                                        | 10   |
| 1-3 Typologie des tannes .....                                                             | 11   |
| 1-3-1 : Physionomie des tannes.....                                                        | 11   |
| 1-3-2. Les types de tannes .....                                                           | 13   |
| 1-4. Les processus de mise en place des principales contraintes observées au niveau des .. | 15   |
| tannes. (Salinité et Acidité) .....                                                        | 15   |
| 1-4-1. Les modes de salinisations actuelles ou récentes .....                              | 15   |
| 1-5-2 : Processus d'acidification .....                                                    | 16   |
| CHAPITRE II Identification et caractérisation des différents sites d'étude.....            | 18   |
| Introduction .....                                                                         | 19   |
| 2-1 Méthodologie. ....                                                                     | 20   |
| 2-1-1 Site d'étude .....                                                                   | 20   |
| 2-1-2 Méthodes.....                                                                        | 24   |
| 2-2 Résultats.....                                                                         | 27   |
| 2-2-1 Variabilité pluviométrique dans le secteur d'étude.....                              | 27   |
| 2-2-2 Distribution des tannes en fonction des unités géomorphologiques dans les            |      |
| différentes zones d'études .....                                                           | 28   |
| 2-2-3 Identification de la végétation au niveau des différentes unités géomorphologiques   |      |
| des sites expérimentaux .....                                                              | 33   |
| 2-2-4 Caractérisation des phénomènes de salinisation, d'alcalinisation et d'acidification  |      |
| dans les différentes unités géomorphologiques. ....                                        | 34   |
| 2-2-5 Elaboration des différents types de cartes.....                                      | 50   |
| 2-2-6 Caractérisation de la conductivité électrique en fonction de la profondeur et de la  |      |
| saison.....                                                                                | 57   |

|                                                                                                                                                                                                                                                          |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 2-2-7 Caractérisation des phénomènes d'acidification en fonction des différentes unités géomorphologiques.....                                                                                                                                           | 59  |
| 2-2-8 Caractérisation du potentiel hydrogène en fonction de la saison. ....                                                                                                                                                                              | 72  |
| 2-3 Discussion .....                                                                                                                                                                                                                                     | 74  |
| 2-4 Conclusion .....                                                                                                                                                                                                                                     | 75  |
| CHAPITRE III : Etudes des eaux des nappes et du sol dans les sites expérimentaux .....                                                                                                                                                                   | 77  |
| Introduction .....                                                                                                                                                                                                                                       | 78  |
| 3-1 Matériel et méthodes .....                                                                                                                                                                                                                           | 78  |
| 3-2 Résultats.....                                                                                                                                                                                                                                       | 79  |
| 3-2-1 Etude de l'évolution des cations, anions et des caractères des nappes en périodes sèches et humides (Stations expérimentales de Ndiaffate et Ngane) .....                                                                                          | 79  |
| 3-2-2 Etude de la conductivité électrique (Ce dS/m), du potentiel hydrogène (pH) et des hauteurs des nappes dans les stations expérimentales. ....                                                                                                       | 95  |
| 3-2-3 Etude de la variabilité de la teneur en eau, de la conductivité électrique et du pH en fonction de la profondeur et des différentes unités géomorphologiques. ....                                                                                 | 124 |
| 3-3 Discussions.....                                                                                                                                                                                                                                     | 129 |
| 3-4. Conclusion .....                                                                                                                                                                                                                                    | 130 |
| CHAPITRE IV : Etude des relevés de végétation au Sud et au Nord du Fleuve Saloum sur sols salés dans des secteurs aménagés et non aménagés et de l'évolution des paramètres de contraintes par rapport à l'introduction quelques espèces exotiques. .... | 132 |
| Introduction .....                                                                                                                                                                                                                                       | 133 |
| 4-1 Matériel et méthode.....                                                                                                                                                                                                                             | 133 |
| 4-2 Résultats.....                                                                                                                                                                                                                                       | 134 |
| 4-2-1 Etude de la végétation en fonction des unités géomorphologiques.....                                                                                                                                                                               | 134 |
| 4-2-2 Distribution aires espèces à travers les différentes grappes au Sud et au Nord du Fleuve Saloum. ....                                                                                                                                              | 140 |
| 4-2-3 Etude comparative des différentes grappes en fonction des différentes unités géomorphologiques au Sud et au Nord du fleuve Saloum. ....                                                                                                            | 143 |
| 4-2-4 Etude de la distribution des espèces en fonction de la texture du sol, du pH, de la conductivité électrique et de l'humidité du sol. ....                                                                                                          | 145 |
| 4-2-5 Etude des fréquences et des contributions spécifiques au Sud et au Nord du fleuve Saloum .....                                                                                                                                                     | 151 |
| 4-2-6-Distribution du nombre de genres et d'espèces par rapport aux familles. ....                                                                                                                                                                       | 155 |
| 4-2-7 Effets de l'aménagement sur la diversité biologique de la végétation des sols salés. ....                                                                                                                                                          | 157 |
| 4-2-8 Etude du comportement du <i>Tamarix aphylla</i> en fonction des différents traitements et du gradient de pente au niveau des stations expérimentales. ....                                                                                         | 163 |
| 4-2-9. Etude de l'effet arbre sur l'évolution des paramètres de contraintes en 2000 dans une parcelle aménagée. ....                                                                                                                                     | 168 |
| 4-3 Discussions.....                                                                                                                                                                                                                                     | 180 |
| 4-4 Conclusion .....                                                                                                                                                                                                                                     | 184 |
| Conclusion générale, perspectives et recommandations .....                                                                                                                                                                                               | 187 |

|                                  |     |
|----------------------------------|-----|
| REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES..... | 192 |
| Annexes .....                    | A   |

# Liste des illustrations

## Liste des figures

|                                                                                                                                                                                                                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure 1: Carte de répartition des sols salés dans les différents domaines côtiers, fluvio-marins fluviaux du Sénégal. (Source : INP, 2008) .....                                                                                                                   | 22 |
| Figure 2: Photographie aérienne du domaine fluvio-marin du Sine Saloum. (Source : Google Earth adopté A. Thiam). .....                                                                                                                                              | 22 |
| Figure 3 : Dispositif expérimental (Ndiaffate). .....                                                                                                                                                                                                               | 25 |
| Figure 4 : Dispositif expérimental (Ngane). .....                                                                                                                                                                                                                   | 25 |
| Figure 5: Variation de l'indice pluviométrique (IPS) et de la température au cours de la période de 1985 à 2005. ....                                                                                                                                               | 27 |
| Figure 6 : Transect Loul –Sessène .....                                                                                                                                                                                                                             | 29 |
| Figure 7 Transect Ngane. ....                                                                                                                                                                                                                                       | 30 |
| Figure 8 : Transect Fimela-Simal. ....                                                                                                                                                                                                                              | 31 |
| Figure 9: Transect Djilôr. ....                                                                                                                                                                                                                                     | 32 |
| Figure 10 : Transect Ndiaffate. ....                                                                                                                                                                                                                                | 32 |
| Figure 11: Evolution de la salinité en fonction de la profondeur et de l'altitude au niveau de la terrasse moyenne (Ndiaffate). A : Profondeur de 0-45 cm; B : Profondeur de 45-100 cm; C : Profondeur de 100-280 cm; D : Profondeur de 280-nappe. ....             | 35 |
| Figure 12: Evolution du pourcentage des cations en fonction de la profondeur dans la terrasse moyenne (Ndiaffate). A : Profondeur de 0-45 cm; B : Profondeur de 45-150 cm; C : Profondeur de 150-280 cm; D : Profondeur de 280-nappe. ....                          | 36 |
| Figure 13 : Evolution du SAR, de l'ESP et du SSP en fonction de la profondeur de la profondeur dans la terrasse moyenne (Ndiaffate). A : Profondeur de 0-45 cm ; B : Profondeur de 45-150 cm ; C : Profondeur de 150-280 cm ; D : Profondeur de 280-nappe. ....     | 36 |
| Figure 14 : Evolution du CE (dS/m), du $Cl/SO_4^{2-}$ et du $(Na/T)*100$ en fonction de la profondeur dans la terrasse moyenne (Ndiaffate). A : Profondeur de 0-45 cm. B : Profondeur de 45-150 cm. C : Profondeur de 150-280 cm. D : profondeur de 280-nappe. .... | 37 |
| Figure 15 : Evolution de la salinité en fonction de la profondeur et de l'altitude au niveau de la terrasse moyenne (Ngane). ....                                                                                                                                   | 38 |
| Figure 16 : Evolution du pourcentage des cations en fonction de la profondeur dans la terrasse moyenne (Ngane) .....                                                                                                                                                | 39 |
| Figure 17 : Evolution du SAR, du ESP et du SSP en fonction de la profondeur dans la terrasse moyenne (Ngane) .....                                                                                                                                                  | 39 |
| Figure 18 : Evolution du CE (dS/m), du $Cl/SO_4^{2-}$ et du $(Na/T)*100$ en fonction de la profondeur dans la terrasse moyenne (Ngane). ....                                                                                                                        | 40 |
| Figure 19 : Evolution de la salinité en fonction de la profondeur et de l'altitude au niveau de la terrasse basse non inondable (Ndiaffate). A : Profondeur 0-45 cm. B : Profondeur 45-150 cm. C : Profondeur 150-280 cm. D : Profondeur 280-nappe. ....            | 42 |
| Figure 20 : Evolution des pourcentages des cations au niveau de la terrasse basse non inondable (Ndiaffate). A : Profondeur 0-45 cm. B : Profondeur 45-150 cm. C : Profondeur 150-280 cm. D : Profondeur 280-nappe .....                                            | 42 |
| Figure 21 : Evolution du SAR, SSP et ESP dans la terrasse basse non inondable (Ndiaffate) A : Profondeur 0-45 cm. B : Profondeur 45-150 cm. C : Profondeur 150-280 cm. D : Profondeur 280-nappe .....                                                               | 43 |
| Figure 22 : Evolution du CE (dS/m), $Cl/SO_4$ et du $Na/T$ dans la terrasse basse non inondable A : Profondeur 0-45 cm. B : Profondeur 45-150 cm. C : Profondeur 150-280 cm. D : Profondeur 280-nappe .....                                                         | 43 |
| Figure 23 : Evolution de la salinité en fonction de la profondeur des nappes et de l'altitude dans la terrasse basse non inondable. ....                                                                                                                            | 44 |
| Figure 24 : Evolution du pourcentage des cations en fonction de la profondeur dans la terrasse basse non inondable. ....                                                                                                                                            | 45 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figure 25 : Evolution du SAR, ESP et SSP% en fonction de la profondeur dans la terrasse basse non inondable (Station de Ngane).....                                                                                                                                        | 45  |
| Figure 26 : Evolution du CE (dS/m), Cl/SO <sub>4</sub> et du (Na/T)*100 en fonction de la profondeur dans la terrasse basse non inondable. ....                                                                                                                            | 46  |
| Figure 27 : Evolution de la salinité en fonction de la profondeur des nappes et de l'altitude de la terrasse basse inondable. Station de Ngane.....                                                                                                                        | 48  |
| Figure 28 : Evolution du pourcentage des cations en fonction de profondeur dans la terrasse basse inondable Station de Ngane .....                                                                                                                                         | 49  |
| Figure 29 : Evolution du SAR, ESP et SSP en fonction de la profondeur dans la terrasse basse inondable (Station de Ngane).....                                                                                                                                             | 49  |
| Figure 30 : Evolution du CE (dS/m), du Cl/SO <sub>4</sub> et du (Na/T)*100 en fonction de la profondeur dans la terrasse basse inondable Station de Ngane .....                                                                                                            | 50  |
| Figure 31 : Carte des textures des sols le long de la topo séquence. (Station de Ndiaffate) ....                                                                                                                                                                           | 51  |
| Figure 32 : Carte des indices de drainage le long de la topo séquence (Station de Ndiaffate).                                                                                                                                                                              | 52  |
| Figure 33 : Carte des types de sols le long de la topo-séquence (Station de Ndiaffate) (classification Russe Ivanova & Rsnov).....                                                                                                                                         | 54  |
| Figure 34 : Carte des textures des sols le long du topo séquence. (Station de Ngane) .....                                                                                                                                                                                 | 55  |
| Figure 35 : Carte des indices de drainage le long de la topo séquence. (Station de Ngane) ....                                                                                                                                                                             | 56  |
| Figure 36 : Carte des types de sols le long de la topo séquence. (Station de Ngane) .....                                                                                                                                                                                  | 57  |
| Figure 37 : Carte de la variabilité de la conductivité électrique en fonction de la profondeur en fin de saison des pluies. ....                                                                                                                                           | 58  |
| Figure 38 : Carte de la variabilité de la conductivité électrique en fonction de la profondeur en milieu de saison sèche. ....                                                                                                                                             | 59  |
| Figure 39 : Evolution du pH et du TAE en fonction de la profondeur des nappes et de l'altitude dans les différentes tranches de prospection au niveau de la terrasse moyenne. Station de Ndiaffate (A = 0-45 cm ; B= 45-150 cm ; C = 150-280 et D = 280-nappe) .....       | 64  |
| Figure 40 : Evolution du pH et du TAE en fonction de la profondeur des nappes et de l'altitude dans les différentes tranches de prospection au niveau de la terrasse moyenne. Station de Ngane .....                                                                       | 65  |
| Figure 41: Evolution du pH et du TAE en fonction de la profondeur des nappes et de l'altitude au niveau des différentes tranches de prospection de la terrasse basse non inondable. Station de Ndiaffate (A = 0-45 cm ; B= 45-150 cm ; C = 150-280 et D = 280-nappe) ..... | 68  |
| Figure 42 : Evolution du pH et du TAE en fonction de la profondeur des nappes et de l'altitude dans les différentes tranches de prospection au niveau de la terrasse basse non inondable. Station de Ngane. ....                                                           | 70  |
| Figure 43 : Evolution du pH et du TAE en fonction de la profondeur des nappes et de l'altitude dans les différentes tranches de prospection au niveau de la terrasse basse inondable. Station de Ngane .....                                                               | 72  |
| Figure 44 : Carte de la variabilité du pH en fonction de la profondeur en fin de saison des pluies.....                                                                                                                                                                    | 72  |
| Figure 45 : Carte de la variabilité du pH en fonction de la profondeur en milieu de saison sèche. ....                                                                                                                                                                     | 73  |
| Figure 46 : Evolution de l'indice standardisé des hauteurs des nappes, de la conductivité électrique et du pH dans la terrasse haute durant les périodes sèches de l'étude. (a1= station de Ndiaffate ; a2 = station de Ngane) .....                                       | 95  |
| Figure 47 : Evolution des variables hauteurs, conductivité électrique et pH par le test de Pettitt des eaux des nappes de la terrasse haute (a3 = station de Ndiaffate ; a4 = station de Ngane) .                                                                          | 96  |
| Figure 48 : Evolution de l'indice standardisé des hauteurs des nappes, de la conductivité électrique et du pH dans la terrasse haute durant les périodes humides de l'étude. (a5= station de Ndiaffate ; a6 = station de Ngane).....                                       | 99  |
| Figure 49 : Evolution des variables hauteur, conductivité électrique et pH par le test de Pettitt des eaux des nappes de la terrasse haute en périodes humides. (a7 = station de Ndiaffate ; a8 station de Ngane).....                                                     | 100 |

|                                                                                                                                                                                                                                                     |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figure 50 : Evolution de l'indice standardisé des hauteurs des nappes, de la conductivité électrique et du pH dans la terrasse moyenne durant les périodes sèches de l'étude. (a1= station de Ndiaffate ; a2 = station de Ngane).....               | 103 |
| Figure 51 : Evolution des variables hauteur, conductivité électrique et pH par le test de Pettitt des eaux des nappes de la terrasse moyenne en périodes sèches. (a3 = station de Ndiaffate ; a4 = station de Ngane).....                           | 103 |
| Figure 52 : Evolution de l'indice standardisé des hauteurs des nappes, de la conductivité électrique et du pH dans la terrasse moyenne durant les périodes humides de l'étude. (a5= station de Ndiaffate ; a6 = station de Ngane).....              | 106 |
| Figure 53 : Evolution des variables hauteur, conductivité électrique et pH par le test de Pettitt des eaux des nappes de la terrasse moyenne en périodes humides. (a7 = station de Ndiaffate ; a8 = station de Ngane) .....                         | 107 |
| Figure 54 : Evolution de l'indice standardisé des hauteurs des nappes, de la conductivité électrique et du pH dans la terrasse basse non inondable durant les périodes sèches de l'étude. (a1= station de Ndiaffate ; a2 = station de Ngane).....   | 110 |
| Figure 55 : Evolution des variables hauteur, conductivité électrique et pH par le test de Pettitt des eaux des nappes de la terrasse non inondable en périodes sèches. (a3 = station de Ndiaffate ; a4 = station de Ngane) .....                    | 110 |
| Figure 56 : Evolution de l'indice standardisé des hauteurs des nappes, de la conductivité électrique et du pH dans la terrasse basse non inondable durant les périodes humides de l'étude. (a5= station de Ndiaffate ; a6 = station de Ngane) ..... | 114 |
| Figure 57 : Evolution des variables hauteur, conductivité électrique et pH par le test de Pettitt des eaux des nappes de la terrasse non inondable en périodes humides. (a7 = station de Ndiaffate ; a8 = station de Ngane) .....                   | 114 |
| Figure 58 : Evolution de l'indice standardisé des hauteurs des nappes, de la conductivité électrique et du pH dans la terrasse basse inondable durant les périodes sèches de l'étude. (a1= station de Ndiaffate ; a2 = station de Ngane).....       | 117 |
| Figure 59 : Evolution des variables hauteur, conductivité électrique et pH par le test de Pettitt des eaux des nappes de la terrasse non inondable en périodes humides. (a3 = station de Ndiaffate ; a4 = station de Ngane) .....                   | 118 |
| Figure 60 : Evolution de l'indice standardisé des hauteurs des nappes, de la conductivité électrique et du pH dans la terrasse basse inondable durant les périodes sèches de l'étude. (a5= station de Ndiaffate ; a6 = station de Ngane. ....       | 120 |
| Figure 61 : Evolution des variables hauteur, conductivité électrique et pH par le test de Pettitt des eaux des nappes de la terrasse non inondable en périodes humides. (a7 = station de Ndiaffate ; a8 = station de Ngane) .....                   | 121 |
| Figure 62 : Evolution de la teneur en eau, de la conductivité et du pH en fonction de la profondeur, du type de terrasse en période sèche 98 dans les stations expérimentales (a1 = station de Ndiaffate ; a2 = station de Ngane).....              | 124 |
| Figure 63 Evolution de la teneur en eau, de la conductivité et du pH en fonction de la profondeur, du type de terrasse en période sèche 99 dans les stations expérimentales (b1 = station de Ndiaffate ; b2 = station de Ngane) .....               | 125 |
| Figure 64 : Evolution de la teneur en eau, de la conductivité et du pH en fonction de la profondeur, du type de terrasse en périodes humides 98 dans les stations expérimentales (C1 = station de Ndiaffate ; C2 = station de Ngane).....           | 127 |
| Figure 65 : Evolution de la teneur en eau, de la conductivité et du pH en fonction de la profondeur, du type de terrasse en périodes humides 99 dans les stations expérimentales (D1 = station de Ndiaffate ; D2 = station de Ngane) .....          | 128 |
| Figure 66 : Distribution aire /espèces dans les différentes grappes (Ndiaffate) .....                                                                                                                                                               | 141 |
| Figure 67 : Distribution aire /espèces dans les différentes grappes (Ngane).....                                                                                                                                                                    | 142 |
| Figure 68 : Distribution du pourcentage du nombre de familles par rapport au nombre de grappes (Sud du Fleuve Saloum) .....                                                                                                                         | 144 |

|                                                                                                                                                                       |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figure 69 : Distribution du pourcentage du nombre de familles par rapport au nombre de grappes (Nord du Fleuve Saloum).....                                           | 145 |
| Figure 70 : Distribution des espèces en fonction des textures des sols, des pH, des Ce (dS/m) et des humidités des sols (Sud du Fleuve Saloum) .....                  | 148 |
| Figure 71 : Distribution des espèces en fonction des textures, des conductivités électriques (CE, dS/m), des pH et des taux d'humidité (Ngane).....                   | 151 |
| Figure 72 : Distribution du nombre de genres et du nombre d'espèces en fonction des familles (Sud du Fleuve Saloum) .....                                             | 155 |
| Figure 73 : Distribution du nombre de genres et du nombre d'espèces en fonction des familles (Nord du Fleuve Saloum) .....                                            | 156 |
| Figure 74 : Distribution du nombre de genres et du nombre d'espèces en fonction des familles dans la parcelle aménagée (Sud du Fleuve Saloum) .....                   | 158 |
| Figure 75 : Distribution du nombre de genres et du nombre d'espèces en fonction des familles dans la parcelle non aménagée (Sud du Fleuve Saloum) .....               | 159 |
| Figure 76 : Comparaison en termes de nombre de familles, nombre de genres et nombre d'espèces entre parcelle aménagée et non aménagée (Sud du Fleuve Saloum).....     | 160 |
| Figure 77 : Distribution du nombre de genres et du nombre d'espèces en fonction des familles dans la parcelle aménagée (Nord du Fleuve Saloum) .....                  | 160 |
| Figure 78 : Distribution du nombre de genres et du nombre d'espèces en fonction des familles dans la parcelle non aménagée (Nord du Fleuve Saloum).....               | 161 |
| Figure 79 : Comparaison en termes de nombres de familles, de genres et d'espèces entre la parcelle aménagée et la parcelle non aménagée (Nord du Fleuve Saloum) ..... | 162 |
| Figure 80 : Dispositif expérimental avec les différents types de traitements (Station de Ndiaffate) .....                                                             | 163 |
| Figure 81 : Dispositif expérimental avec les différents types de traitements (Station de Ngane) .....                                                                 | 164 |
| Figure 82 : Evolution du taux de survie en fonction des traitements et des blocs. (Station de Ndiaffate) .....                                                        | 165 |
| Figure 83 : Evolution du taux de survie en fonction des traitements et des blocs. (Station de Ngane).....                                                             | 166 |
| Figure 84 : Dispositif expérimental (1985) de l'introduction, de certaines espèces sur sols sulfatés acides salés (Annexe XV) .....                                   | 168 |
| Figure 85 : Evolution du dispositif de l'essai de l'introduction de certaines espèces sur sols sulfatés acides salés de 1985 à 2000 (Annexe XVI) .....                | 172 |
| Figure 86 : Comparaison des paramètres de CE et pH dans les différentes parcelles en fonction de la profondeur entre 1985 et 2000 .....                               | 176 |
| Figure 87 : Etude de l'évolution des paramètres chimiques dans les différentes parcelles avec arbres de 1985 à 2000 .....                                             | 177 |
| Figure 88 : Etude de l'évolution des paramètres chimiques entre parcelle avec arbres et zones témoins.....                                                            | 179 |

## Liste des Tableaux

|                                                                                                                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tableau 1 : Dénomination attribuées aux tannes en fonction des spécialités .....                                                                               | 6  |
| Tableau 2 : Essai de superposition de la Slikke et du Schorre aux vasières et aux tannes. ....                                                                 | 7  |
| Tableau 3 : Pourcentage des tannes observées sur les différentes unités géomorphologiques le long des transects en fonction de la pente et de la hauteur. .... | 28 |
| Tableau 4 : Pourcentage des tannes observées sur les différentes unités géomorphologiques le long des transects en fonction de la pente et de la hauteur. .... | 30 |
| Tableau 5 : Pourcentage des tannes observées sur les différentes unités géomorphologiques le long des transects en fonction de la pente et de la hauteur. .... | 31 |
| Tableau 6 : Liste des espèces et des familles dans la terrasse moyenne (Ndiaffate). Annexe II. ....                                                            | 33 |

|                                                                                                                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tableau 7 : Liste des espèces et des familles dans la terrasse moyenne (Ngane). Annexe II ..                                                                                                 | 33 |
| Tableau 8 : Liste des espèces et des familles dans la terrasse basse non inondable (NdiAffate).                                                                                              |    |
| Annexe III. ....                                                                                                                                                                             | 33 |
| Tableau 9 : Liste des espèces et des familles dans la terrasse basse non inondable (Ngane).                                                                                                  |    |
| Annexe III. ....                                                                                                                                                                             | 33 |
| Tableau 10 : Liste des espèces et des familles dans la terrasse basse inondable (Ngane).                                                                                                     |    |
| Annexe IV. ....                                                                                                                                                                              | 34 |
| Tableau 11 : Moyennes des valeurs de CE (dS/m) en fonction des distances, des profondeurs de nappe et des altitudes. (NdiAffate) .....                                                       | 46 |
| Tableau 12 : Valeurs du SSP et %SSP (NdiAffate). ....                                                                                                                                        | 47 |
| Tableau 13 : Valeurs du CE (dS/m), du $Cl^-/SO_4^{2-}$ et du Na/T. (NdiAffate) .....                                                                                                         | 47 |
| Tableau 14 : Bilan ioniques mensuels en méq/litre durant les périodes de l'étude (Stations de NdiAffate et Ngane). Annexe V. ....                                                            | 79 |
| Tableau 15 : Pourcentages cationiques et anioniques par rapport à la somme des cations (Stations de NdiAffate et Ngane) Annexe VI .....                                                      | 79 |
| Tableau 16 : Evolution du SAR et du ESP% au niveau des nappes des terrasses hautes en périodes sèches (Stations de NdiAffate et Ngane). ....                                                 | 80 |
| Tableau 17 : Evolution du SAR et de l'ESP% au niveau des nappes des terrasses hautes en périodes humides. (Stations NdiAffate et Ngane). ....                                                | 81 |
| Tableau 18 : Comparaison des caractéristiques chimiques de la nappe de la terrasse haute en périodes sèches par rapport à ceux du cours d'eau Wélor (NdiAffate). ....                        | 82 |
| Tableau 19 : Comparaison des caractéristiques chimiques de la nappe de la terrasse haute en périodes sèches par rapport à ceux du cours d'eau Ngane (Ngane). ....                            | 82 |
| Tableau 20 : Comparaison des caractéristiques chimiques de la nappe de la terrasse haute en périodes humides par rapport à ceux du cours d'eau Wélor (NdiAffate). ....                       | 83 |
| Tableau 21 : Comparaison des caractéristiques chimiques de la nappe de la terrasse haute en périodes humides par rapport à ceux du cours d'eau Ngane (Ngane). ....                           | 83 |
| Tableau 22 : Bilans ioniques mensuels cationiques et anioniques en méq/litre durant les périodes de l'étude dans la terrasse moyenne. (Stations de NdiAffate et Ngane). Annexe VII. ....     | 84 |
| Tableau 23 : Bilans ioniques mensuels des pourcentages cationiques et anioniques durant les périodes de l'étude dans la terrasse moyenne (Stations de NdiAffate et Ngane). Annexe VIII. .... | 84 |
| Tableau 24 : Evolution du SAR et de l'ESP% au niveau des nappes des terrasses moyennes en périodes sèches (Stations de NdiAffate et Ngane). ....                                             | 85 |
| Tableau 25 : Evolution du SAR et de l'ESP% au niveau des nappes des terrasses moyennes en périodes humides. (Stations de NdiAffate et Ngane). ....                                           | 85 |
| Tableau 26 : Comparaison des caractéristiques chimiques de la nappe de la terrasse moyenne en périodes sèches par rapport à ceux du cours d'eau Wélor (NdiAffate). ....                      | 86 |
| Tableau 27 : Comparaison des caractéristiques chimiques de la nappe de la terrasse moyenne en périodes sèches par rapport à ceux du cours d'eau Ngane. (Ngane). ....                         | 86 |
| Tableau 28 : Comparaison des caractéristiques chimiques de la nappe de la terrasse moyenne en périodes humides par rapport à ceux du cours d'eau Wélor (NdiAffate). ....                     | 87 |
| Tableau 29 : Comparaison des caractéristiques chimiques de la nappe de la terrasse moyenne en périodes humides par rapport à ceux du cours d'eau Ngane (Ngane). ....                         | 87 |
| Tableau 30 : Bilans ioniques mensuels en méq/litre durant les périodes de l'étude. (Stations de NdiAffate et Ngane). Annexe IX. ....                                                         | 88 |
| Tableau 31 : Pourcentages cationiques et anioniques par rapport à la somme des cations et anions (Stations de NdiAffate et Ngane). Annexe X. ....                                            | 88 |
| Tableau 32 : Evolution du SAR et de l'ESP% au niveau des nappes des terrasses basses non inondables en périodes sèches (Stations de NdiAffate et Ngane). ....                                | 88 |
| Tableau 33 : Evolution du SAR et de l'ESP% au niveau des nappes des terrasses basses non inondables en périodes humides (Stations de NdiAffate et Ngane). ....                               | 89 |
| Tableau 34 : Comparaison des caractéristiques chimiques de la nappe de la terrasse basse non inondable en périodes sèches par rapport à ceux du cours d'eau Wélor (NdiAffate). ....          | 90 |

|                                                                                                                                                                                                              |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tableau 35 : Comparaison des caractéristiques chimiques de la nappe de la terrasse basse non inondable en périodes sèches par rapport à ceux du cours d'eau Ngane (Ngane).....                               | 90  |
| Tableau 36 : Comparaison des caractéristiques chimiques de la nappe de la terrasse basse non inondable en périodes humides par rapport à ceux du cours d'eau Wélor (Ndiaffate).....                          | 90  |
| Tableau 37 : Comparaison des caractéristiques chimiques de la nappe de la terrasse basse non inondable en périodes humides par rapport à ceux du cours d'eau Ngane (Ngane).....                              | 91  |
| Tableau 38 : Bilans ioniques mensuels en méq/litre durant les périodes de l'étude. Terrasse basse inondable. (Stations de Ndiaffate et Ngane). Annexe XI.....                                                | 91  |
| Tableau 39 : Pourcentages cationiques et anioniques par rapport à la somme des cations et des anions durant les périodes de l'étude. Terrasse basse inondable (Stations Ndiaffate et Ngane). Annexe XII..... | 91  |
| Tableau 40 : Evolution du SAR et de l'ESP% au niveau des nappes des terrasses basses inondables en périodes sèches (Stations Ndiaffate et Ngane).....                                                        | 92  |
| Tableau 41 : Evolution du SAR et de l'ESP% au niveau des nappes des terrasses basses inondables en périodes humides (Station de Ndiaffate et Ngane). ....                                                    | 92  |
| Tableau 42 : Comparaison des caractéristiques chimiques de la nappe de la terrasse basse inondable en périodes sèches par rapport à ceux du cours d'eau Wélor (Ndiaffate).....                               | 93  |
| Tableau 43 : Comparaison des caractéristiques chimiques de la nappe de la terrasse basse inondable en périodes sèches par rapport à ceux du cours d'eau Ngane (Ngane).....                                   | 93  |
| Tableau 44 : Comparaison des caractéristiques chimiques de la nappe de la terrasse basse inondable en périodes humides par rapport à ceux du cours d'eau Wélor (Ndiaffate).....                              | 94  |
| Tableau 45 : Comparaison des caractéristiques chimiques de la nappe de la terrasse basse inondable en périodes humides par rapport à ceux du cours d'eau Ngane (Ngane).....                                  | 94  |
| Tableau 46 : Répartition par famille des espèces rencontrées sur des dunes localisées au Sud du Fleuve Saloum. ....                                                                                          | 139 |
| Tableau 47 : Répartition par famille des espèces rencontrées sur des dunes localisées au Nord du Fleuve Saloum. ....                                                                                         | 140 |
| Tableau 48 : Comparaison des différents types de relevés de végétation dans le Sud du Fleuve Saloum. ....                                                                                                    | 143 |
| Tableau 49 : Comparaison des différents types de relevés de végétation dans le Sud du Fleuve Saloum. ....                                                                                                    | 144 |
| Tableau 50 : Fréquence et contributions spécifiques des différentes espèces dans le secteur de Ndiaffate. (Annexe XIII) .....                                                                                | 151 |
| Tableau 51 : Fréquence et contribution spécifiques des différentes espèces dans le secteur de Ngane. (Annexe XIV).....                                                                                       | 153 |
| Tableau 52 : Croissance en hauteur du Tamarix aphylla var erectus entre 2000 et 2007 dans le dispositif expérimental. (Site Ndiaffate).....                                                                  | 166 |
| Tableau 53 : Croissance en hauteur du Tamarix aphylla var erectus entre 2000 et 2007 dans le dispositif expérimental. (Site Ngane). ....                                                                     | 167 |
| Tableau 54 : Paramètres chimiques par bloc en fonction de la profondeur de la parcelle I. ..                                                                                                                 | 169 |
| Tableau 55 : Paramètres chimiques par bloc en fonction de la profondeur de la parcelle II. ..                                                                                                                | 169 |
| Tableau 56 : Paramètres chimiques par bloc en fonction de la profondeur de la parcelle III. ..                                                                                                               | 170 |
| Tableau 57 : Paramètres chimiques par bloc en fonction de la profondeur de la parcelle IV. ....                                                                                                              | 171 |
| Tableau 58 : Paramètres chimiques par bloc en fonction de la profondeur de la parcelle 87.                                                                                                                   | 172 |
| Tableau 59 : Paramètres chimiques CE et pH des zones avec présence d'arbres dans les différentes parcelles. (Annexe XVII). ....                                                                              | 176 |

## Liste des photos

|                                                    |    |
|----------------------------------------------------|----|
| Photo 1 (annexe 1) : Tannes aspects statiques.     | 12 |
| Photo 2 (annexe 1) : Tannes aspects dynamiques.    | 12 |
| Photo 3 (annexe 1) : Tannes Vasière.               | 12 |
| Photo 4 (annexe 1) : Tannes nues.                  | 13 |
| Photo 5 (annexe 1) : Tannes herbues.               | 13 |
| Photo 6 (annexe 1) : Tannes localement arbustives. | 14 |
| Photo 7 (annexe 1) : Tannes localement arborées.   | 14 |

## Liste des équations.

|                                                                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Équation 1: Equation de Van breemen. ....                                                                            | 16 |
| Équation 2 : Equation Nordstrom.....                                                                                 | 17 |
| Équation 3 : Equation de la formation de la jarosite. ....                                                           | 17 |
| Équation 4 : Equation de la formation de la natrojarosite. ....                                                      | 17 |
| Équation 5 : Formule du « Sodium - adsorption Ratio ».....                                                           | 26 |
| Équation 6 : La formule empirique de Richards lie le SAR à l'ESP.....                                                | 26 |
| Équation 7 : Equation pour la classification des sols salins halomorphes.....                                        | 26 |
| Équation 8 : Formule de la détermination de la sodicité d'un échantillon .....                                       | 26 |
| Équation 9 : Formule de la détermination du type de salinisation .....                                               | 26 |
| Équation 10 : Formule d'approche de la détermination de l'acidité totale.....                                        | 26 |
| Équation 11 : Formule de la détermination du taux d'acidité d'échange (TAE) proposée par<br>Espiau et Peyronel ..... | 27 |

## SIGLES ET ABREVIATIONS

|                                      |                                                                                                                  |
|--------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>UCAD</b> =                        | Université de Cheikh Anta Diop                                                                                   |
| <b>IT</b> =                          | Université de Thiès                                                                                              |
| <b>ISRA</b> =                        | Institut Sénégalais de Recherches Agricoles                                                                      |
| <b>CNRA</b> =                        | Centre National de Recherches Agricoles.                                                                         |
| <b>SAR</b> =                         | Sodium Adsorption Ratio                                                                                          |
| <b>ESP</b> =                         | Pourcentage de Sodium Echangeable                                                                                |
| <b>SSP</b> =                         | Pourcentage de Sodium Soluble                                                                                    |
| <b>pH</b> =                          | Potentiel hydrogène                                                                                              |
| <b>CE (dS/m)</b> =                   | Conductivité électrique                                                                                          |
| <b>T = CEC= Teff</b> =               | Capacité d'Echange Cationique                                                                                    |
| <b>S</b> =                           | Somme des bases                                                                                                  |
| <b>TAE</b> =                         | Taux d'Acidité Echangeable                                                                                       |
| <b>ICES</b> = $X_i - X_m / \sigma$ = | Indice de la conductivité électrique standardisé                                                                 |
| <b><math>X_i</math> (dS/m)</b> =     | Valeur de la conductivité électrique pour une station donnée                                                     |
| <b><math>X_m</math> (dS/m)</b> =     | Moyenne saisonnière des valeurs de la conductivité électrique de la station sur la période référence considérée. |
| <b><math>\sigma_i</math></b> =       | Ecart-type des valeurs de la conductivité électrique sur la période référence considérée                         |

## RESUME

Le bassin du Sine Saloum, un secteur très peuplé avec une densité de 86 habitants au Km<sup>2</sup> contre 50 sur le plan national. Les activités sont la pêche dans le domaine estuarien, l'agriculture et l'élevage dans le domaine des tannes. La tannification ainsi que la surexploitation des terres disponibles mettent en danger la production du Bassin Arachidier. Dans la situation actuelle du pays, ces tannes caractérisées par la sursalure et l'acidification ne pouvant être laissées à l'abandon. Dans nos travaux de recherche nous avons adopté une approche plus globale en s'appuyant à la fois sur la géomorphologie, la pédologie, l'hydrologie et la botanique pour étudier la structure et le fonctionnement des tannes du Sine Saloum dans une perspective de mise en valeur pour un développement durable.

L'objectif général de ce travail est de contribuer à la mise en valeur des tannes pour un développement durable et comme objectif spécifique de déterminer les conditions de réintégration des tannes dans les systèmes de production. Pour y arriver il y a un certain nombre d'activités à réaliser : faire le diagnostic de ces milieux ; suivre l'évolution des paramètres de contraintes (salinité et acidité) au niveau du sol et des eaux (surface, nappes et sols); étudier les groupements végétaux en fonction des propriétés physiques des sols et l'impact de l'effet arbre dans l'aménagement de ces milieux.

Dans le milieu d'étude, les tannes sont très représentées au niveau de la terrasse moyenne avec une salinisation chloruro-sulfatée ( $\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$  inférieure à 3). Le taux d'acidité échangeable diminue de la surface à la nappe par contre l'acidité totale augmente de la surface à la nappe.

Dans la station de Ndiaffate situé au Sud du fleuve Saloum les eaux des nappes et du cours d'eau Vélor présentent le même type de comportement durant les périodes sèches et humides : chloruro-sodico-magnésien contrairement à celles de la station de Ngane localisée au Nord du fleuve Saloum où l'on note une différence comportement entre les périodes, chloruro-sodico-magnésien en périodes sèches et chloruro-magnésien en périodes humides. La détection des périodes de ruptures lors de l'analyse des séries chronologiques, identique entre les deux séries et les différents types de terrasses ont été mises en évidence du début novembre à mi-novembre et de la mi-juin à fin juin pour les périodes sèches. En périodes humides, ces ruptures sont enregistrées en mi-juillet et mi-septembre.

La connaissance du mode de regroupement de la végétation en fonction des paramètres de contraintes (salinité et acidité) et de la texture des sols a permis d'avoir des informations sur le choix du type d'aménagement à savoir les dispositifs biomécaniques et hydro agricoles et d'autre part, elle aiderait sur la caractérisation de ces milieux par la réduction des coûts d'analyses des échantillons de sols. Dans le cadre de la récupération de ces milieux par reboisement la densité de plantation 4x3m et 4x4m est préconisée pour les milieux légèrement salins et 4X5 m pour les milieux moyennement salins.

**Mots clés :** Structure, fonctionnement, tannes, Sine Saloum, salinité, acidité, Ndiaffate, Ngane.

## ABSTRACT

The Sine Saloum basin is a very populated area with a density of 86 inhabitants by  $\text{km}^2$  against 50 nationwide. The activities consist of fishing in the estuarine side, farming and cattle breeding in the tannes. The tannifications as well as the overexploitation of available lands are negatively affecting production in the peanut Basin. Currently those tannes characterized by oversalination and acidification can't be ignored. In our present research project we have opted for a more global approach based on geomorphology, pedology hydrology and botanique in order to study the structure and functioning of the Sine Saloum tans in the aim of using them for a sustainable development. The general objective of this study is to contribute to the valuable use of the tans for a sustainable developement and as specific objective to determine how to reintegrate the tannes in the production systems. To achieve that some activities must be carried out : diagnosing the sites ;monitoring the evolution of the constraints parameters (salinity, and acidity)in the soil and waters ( surface acquifers and soils); study the type of plants according to the soils physical properties and the impact of trees effects ii the development of these areas. In the area where the research is conducted the rise a lot of tannes at the level of the average terrace with a chloruro-sulfated salinization ( $\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$  less than 3). The acidity rate liable to changes lowers from the acquifer whereas the total acidity increases from the surface to the acquifer. In the Ndiaffate station located in the south of Saloum River the underground and the Velor stream waters show the same patterns in dry and wet periods: chloruro-sodico-magnesian contrary to the ones of the Ngane station located in the North of Saloum River where there is a difference in the patterns accordind to the periods, chloruro-sodico magnesian in dry periods and chloruro-magnesian in wet periods. The presence of breaking points while analysing the chronologic series, similar between the two series and the different types of terrace have been hightlihted from early in November to mid November and from mid june to the end of june in dry periods In wet periods those breaking points are recorded in mid-July and in mid-September. Understanding the way the flora is grouped depending on the constraints parametres ( salinity and acidity) and the soils textures has provided information on the type of works to be chosen that is the biomecaniques and hydro agricultural schemes ; They would also help in the characterisation of these areas by reducing the soils sample analyses costs irecovering these areas through reforestation. The density in planting 4X3m and 4X4m is recommended for slightly salty areas 4X5m for fairly salty areas.

**Mots clés :** Structure, functioning, tannes, Sine Saloum, salinity, acidity, Ndiaffate, Ngane.

## **INTRODUCTION GENERALE.**

A l'arrière des mangroves s'étendent de vastes surfaces de sols généralement nus, appelées « tannes ». Le mot Wolof (ethnie sénégalaise) de tanne tend à s'imposer pour se différencier des autres milieux littoraux tels que la vase nue de mangrove, la zone salée intermédiaire, les solontchak, les souillères, etc. L'existence des tannes sur la plupart des littoraux à mangroves a été mise en évidence depuis quelques années. Berthois et Guilcher (1956) décrivent ceux de la plaine d'Ambilobe et Battistini (1961) ceux du delta de Sambirano à Madagascar. Au même moment Fosberg (1961) signalait ceux du Queensland en Australie, des embouchures du Rio Villanueva (Nicaragua) et du Rio Guayas (Equateur). On a pu croire que le phénomène était circonscrit aux régions tropicales à climat contrasté. Or on trouve des tannes sur les littoraux équatoriaux en Nouvelle - Guinée (Guilcher 1955) et au Gabon (Lebigre et Marius, 1984.)

Les tannes se rattachent au grand ensemble des milieux sursalés (sebkhas, salures, lagunes des littoraux arides) mais ils s'individualisent par leur lien avec la mangrove : les tannes se développent aux dépens de cette dernière dans la partie supérieure de l'estran soumise aux hautes marées de vives eaux et aux marées exceptionnelles. D'après certains travaux effectués au Gabon et ceux réalisés au Sénégal (Marius, 1984) les tannes sont un élément fondamental de la dynamique littorale.

Dans le bassin du Sine Saloum, les déficits pluviométriques et l'intense évaporation provoquée par les températures élevées accélèrent les processus d'extension des tannes aux dépens des terres de culture, de la mangrove et de la végétation.

Le bassin du Sine - Saloum est très peuplé avec une densité de 86 habitants au km<sup>2</sup> contre 50 sur le plan national. Ici toutes ces zones sont occupées mêmes les îles situées à l'intérieur de l'estuaire. Les activités sont la pêche dans le domaine estuarien, l'agriculture et l'élevage dans le domaine des tannes. Sur le plan agricole, certaines cultures traditionnelles pratiquées dans la zone de la mangrove telles que le riz, ont fortement régressé ou disparu totalement de la plupart des terrasses basses. Cette culture de riz est strictement limitée au niveau des dépressions et cuvettes (Massibot & al, 1946, Charreau, 1963.)

La sursalure et l'acidification qui caractérisent les tannes ont entraîné la disparition de 70% des forêts *Wachellia* et environ 30 à 40% des forêts de *Combretum glutinosum*. Cependant dans le bassin du fleuve Casamance, 70 à 80% de la superficie occupée par la mangrove s'est transformée en tannes sursalés entre 1969 et 1980 dans les marigots de Kamobeul, Guidel, et Baïla (Marius, 1985.) La même tendance a été observée dans la vallée

de Koubalan, où la superficie de la mangrove n'était plus que de 16% en 1985, contre 34% en 1969 (Boivin *et al.* 1984)

La pêche qui constitue l'activité principale des populations des îles a fortement diminué à cause de la disparition des poissons à la suite de la sursalure des cours d'eau dont les conductivités électriques sont 2 à 3 fois supérieures à celles de l'eau de mer.

Sur le plan de l'élevage, le domaine des tannes constitue des terrains de parcours. Le bétail y séjourne pendant l'hivernage, au moment où les terres du plateau sont occupées par les cultures. Ce surpâturage provoque une surexploitation des faibles potentialités de ces sols et leur érosion, entraînant la régression de l'élevage dans ces secteurs.

Au niveau du bassin du Sine Saloum les problèmes qui sévissent sont les suivants :

- l'épuisement des terres du Bassin Arachidier, dû à la culture intensive de l'arachide, s'est aggravé au cours des 20 dernières années à la suite, d'une part, du déficit pluviométrique et, d'autre part, du déplacement des populations du Nord du Sénégal vers le Sine - Saloum, chassées de leur milieu par la sécheresse; il en résulte une surexploitation des terres disponibles et une pression qui mettent en danger la production du Bassin Arachidier.

- le problème des alternances d'apports d'eaux douces et d'eaux salées (remontée de la marée), est l'un des plus importants de notre recherche. En effet les apports d'eaux douces provenant des précipitations (3 à 4 mois) et des écoulements fluviaux sont faibles par rapport aux apports des eaux salées (remontées de la marée.). L'apport des eaux salées conjugué avec la forte évaporation durant la période sèche (8 à 9 mois) intensifie la salinisation des terres soumises au phénomène de marée. Ce phénomène s'aggrave car les nappes phréatiques du plateau se sont abaissées et le gradient de pression actuel permet aux nappes salées du domaine fluviomarin de s'écouler vers le plateau. La diversité des relations entre cours d'eau et les nappes résulte de la combinaison de nombreux facteurs qui conditionnent leur existence.

- la sécheresse est également responsable de l'accroissement de la salinité des tannes. Or dans la situation actuelle du pays, ces milieux ne pouvant être laissés à l'abandon, tout doit être fait pour régénérer leurs aptitudes culturelles et les réintégrer dans le système productif national. La récupération de ces terres exige non seulement de diminuer leur teneur en sel mais également de les soustraire aux apports par la marée. Le choix de notre recherche est guidé par la situation actuelle et ses conséquences environnementales et socio-économiques.

La sécheresse des 20 dernières années a engendré au niveau physiologique et écologique des conséquences dramatiques tant dans le domaine estuarien que dans le domaine des tannes. Ces faits se traduisent par la mortalité des populations de palétuviers. Parallèlement les surfaces des tannes ont considérablement augmenté au détriment des unités

précédentes, mais aussi des rizières douces. La progression du front de salure a atteint le plateau continental.

Jusqu'ici ces milieux restent encore très mal connus. En effet les nombreuses études menées dans ces secteurs se sont focalisées sur la mangrove. Seuls quelques rares travaux de recherches ont porté sur les tannes à savoir ceux de Marius (1985), Niang (1985), Sadio (1986), Thiam (1986), Boivin et Zante (1987).

Cette méconnaissance des tannes leur a valu plusieurs dénominations selon des approches disciplinaires : zone de vasière sans végétation, plaine à Sira-Sira (heake) ou vase nue de mangrove, sols salés ou solontchacks, sansouire, zones d'évaporites ou souillères.

Dans nos recherches nous avons adopté une approche plus globale en nous appuyant à la fois sur la géomorphologie, la pédologie, l'hydrologie et la botanique pour étudier la structure et le fonctionnement des tannes du Sine Saloum dans une perspective de mise en valeur pour un développement durable.

Cette étude a comme objectif général de contribuer à la mise en valeur des tannes pour un développement durable. L'objectif spécifique de cette étude est de déterminer les conditions de réintégration des tannes dans les systèmes de production. Pour y arriver il y a un certain nombre d'activités à réaliser :

- faire le diagnostic de ces milieux ;
- suivre l'évolution des paramètres de contraintes (salinité et acidité) au niveau du sol et des eaux (surface, nappes et sols) ;
- étudier les groupements végétaux en fonction des propriétés physiques des sols ;
- étudier l'impact de l'effet arbre dans l'aménagement de ces milieux.

L'étude est structurée en quatre chapitres :

- le premier chapitre est consacré à la revue bibliographique ;
- le second chapitre intéresse l'identification et la caractérisation des différents sites d'étude ;
- le troisième étudie les eaux des nappes et du sol ;
- le quatrième étudie les relevés de végétation au Sud et au Nord du Fleuve Saloum sur sols salés dans des secteurs aménagés et non aménagés et de l'évolution des paramètres de contraintes par rapport à l'introduction de quelques espèces exotiques.

## **CHAPITRE I : Synthèse bibliographique**

La complexité et le déficit d'information sur ces milieux justifient cette recherche bibliographique qui prend en compte beaucoup d'aspects pour expliquer le terme « tannes » et les processus de leur mise en place. De nombreuses dénominations en fonction des disciplines ont été utilisées pour qualifier ces milieux. Les premières études ont tenté de les expliquer en se basant sur le modèle des marais tempérés par une superposition de la slikke aux vasières et du schorre aux tannes. De nombreuses hypothèses ont été formulées pour essayer d'expliquer la mise en place et la formation des tannes, par les facteurs anthropiques, climatiques, sédimentologiques, hydrologiques et pédologiques. Les formes changeantes dans le temps et dans l'espace de ces milieux expliquent les études axées sur la physionomie et les types de tannes.

Différentes approches ont été utilisées pour étudier ces milieux : phytoécologique, morpho-pédologique et intégrative.

### **1-1 : Analyse du domaine des tannes**

Les tannes (mot Wolof, ethnie sénégalaise) sont considérées comme des surfaces nues dépourvues de végétation ou colonisées parfois par des espèces arborées, arbustives ou herbacées annuelles ou vivaces plus ou moins tolérantes à la salinité. Elles posent un certain nombre de problèmes mal résolus sur leur genèse, leur morphologie et sur leurs dénominations qui prêtent souvent à confusion (tableau 1). En général ces distinctions sont basées sur des séquences végétales qui sont souvent en relation avec les caractères physico-chimiques des sols.

Tableau 1 : Dénominations attribuées aux tannes en fonction des spécialités

| AUTEURS    |      | SPECIALITE     | DENOMINATION                     |
|------------|------|----------------|----------------------------------|
| Battistini | 1960 | Géographie     | Zone de vasière sans végétation. |
| Derijard   | 1963 | Biologie       | Sols salés.                      |
| Durand     | 1965 | Pédologie      | Sols nus.                        |
| Trouchaud  | 1965 | Géographie     | Plaine à Sira-Sira ou heake.     |
| Hervieu    | 1968 | Sédimentologie | Zone salée intermédiaire.        |
| Bigot      | 1971 | Botanique      | Sansouire.                       |
| Kiener     | 1972 | Biologie       | Solontchak.                      |
| Weiss      | 1972 | Botanique      | Zones d'évaporites.              |
| Salomon    | 1979 | Géographie     | Vase nue de mangrove.            |
| Thomasson  | 1981 | Botanique      | Souillères.                      |

Les premières recherches effectuées se sont basées sur les modèles des marais tempérés pour expliquer ces milieux tout en s'appuyant sur des séquences végétales ou pédologiques. Cette superposition rend encore plus complexe leur dénomination ainsi que leur genèse.

### 1-1-1 Le modèle des marais tempérés

Depuis longtemps de nombreux auteurs ont essayé de décrire le modèle des marais tempérés en se basant d'une part sur le mode de recouvrement par la marée (Massart, 1907; Jacquet, 1949) et plus récemment sur des critères hydrologiques, botaniques, sédimentologies ou pédologiques Verger (1968), d'autre part, pour distinguer la slikke et le schorre.

Verger (1968) définit la slikke et le schorre à partir des trois critères : pédologiques ou sédimentologies, hydrologiques et botaniques. Avec le critère pédologique ou sédimentologie, la slikke est définie comme étant la zone constituée par des sédiments fins comprenant au moins 50% de vase sans évolution pédologique. L'utilisation du critère hydrographique caractérise la slikke comme étant une zone intertidale dont sa limite supérieure n'est pas atteinte par l'eau. Quant aux critères botaniques cette partie supérieure de la slikke peut posséder une végétation assez fournie.

Avec le critère sédimentologie ou pédologique le sol du schorre est composé de matériel fin souvent lité ou stratifié, granulé plus ferme que celui de la slikke. Cependant le critère hydrographique le définit comme une zone inondable pendant les vives eaux ou pendant les tempêtes. Quant aux critères botaniques, cette zone présente une végétation halophile dense en dehors des marées et des chenaux.

### 1-1-2 Essai de superposition de la Slikke et du Schorre aux vasières et aux tannes

Tableau 2 : Essai de superposition de la Slikke et du Schorre aux vasières et aux tannes.

|                                           | Slikke                                                                     | Vasières                                                                                                                                 | Schorre                                                                                           | Tanne                                                                                                  |
|-------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Critères hydrographiques                  | Zone intertidale mais n'atteignant pas la limite supérieure                | Partie inférieure : (vasière récente) intertidale entre BMVE et PMME.<br>Partie supérieure : (vasière ancienne) entre PMM et grande PMME | Zone inondable pendant les vives eaux ou pendant les tempêtes.                                    | Zone entre PMM et PMGVE où la marée n'intervient pas mais la nappe phréatique, inondée par les pluies. |
| Critères botaniques                       | Peut posséder une végétation assez fournie dans la partie supérieure.      | La mangrove occupe les deux parties vues ci-dessus.                                                                                      | Végétation halophile dense en dehors des marées et des chenaux                                    | Absence de végétation par définition.                                                                  |
| Critères sédimentologies ou pédologiques. | Sédiments fins comprenant au moins 50% de vase sans évolution pédologique. | Vase plus ou moins sableuse. Sols peu évolués potentiellement sulfatés acides.                                                           | Sol composé de matériel fin souvent lité ou stratifié, granulé plus ferme que celui de la slikke. | Sable fin, limoneux, rangé dans le groupe des solontchaks (sulfaté acide)                              |

BMVE = Basse marée de vive eau ; PMME = Période de marée de morte eau ; PMGVE = Période de grande marée de vive eau

Le découpage des marais tempérés par Verger (1968) avec les mêmes critères quelque fois, a été appliqué aux marais tropicaux tout en cherchant la correspondance de la slikke à la vasière et du schorre à la tanne. L'analyse du tableau 2 ci-dessus met en évidence les principales différences empêchant la superposition de ces deux modèles.

Nous constatons que le schorre n'est atteint que pendant les marées de vives eaux et les tempêtes, alors que la tanne, peut être submergée ou non par les marées. Cette dynamique tidale peut induire des similitudes ; cependant, ce ne sont pas les mêmes types de marées qui les submergent. Sur les terrasses inondables, on rencontre les tannes vasières souvent assimilées à la slikke ; cependant, les particularités locales empêchent cette superposition. En revanche sur les terrasses moyennes, les terrasses hautes, le glacis de raccordement, dans les dépressions et sur les dunes, on retrouve des tannes d'aspects très variés et pourtant ces unités ne sont pas recouvertes par les marées basses ou hautes. Ainsi un autre aspect dynamique entre en jeu : la remontée des eaux de la nappe par capillarité. Ces nappes semblent être commandées par le rythme des marées.

## **1-2 : Genèse des tannes**

De nombreuses hypothèses ont été émises pour tenter de définir et d'expliquer l'existence des tannes soit par l'impact de l'homme sur le milieu, soit par les effets climatiques (vent, sécheresse), soit par la sédimentologie, soit par l'hydrologie.

Les tannes présentent une dimension géographique considérable car on les rencontre au Sénégal, en Gambie, en Guinée, au Gabon, au Sierra Léone, à Madagascar, sur la façade Atlantique Américaine (au Costa Rica, à la Jamaïque, à Puerto Rico), en Inde, en Nouvelle Guinée, Nouvelle Calédonie, Nouvelle Zélande, en Australie et sur la Côte Pacifique (Pérou, Equateur, Honduras et Salvador).

### **1-2-1. Le facteur anthropique**

Gachet (1959) montre qu'à Madagascar les rapports forestiers de 1919 déplorent la formation des clairières au sein de la mangrove à la suite de l'exploitation abusive des essences les plus riches en tanins. Mais il note en même temps que ce phénomène est de courte durée. Gledhill (1963) estime qu'une partie des tannes de Sierra Léone est liée aux défrichements effectués pour l'aménagement des pêcheries au moins sur les sols les plus salés. Paradis (1979) fait un lien entre les nombreuses tannes de l'Afrique de l'Ouest, du Sénégal au Bénin, et l'extraction traditionnelle du sel (défrichement des palétuviers suivi de l'ablation par raclage de la partie superficielle du sol). A Madagascar, il semble plus exact d'affirmer que la destruction ou l'exploitation des palétuviers a précipité le processus de l'extension des tannes.

### **1-2-2. Facteur climatique**

Certains facteurs climatiques comme le vent et la sécheresse sont pris en compte dans la genèse des tannes par certains auteurs.

### **\* Vents**

Certains auteurs comme Gledhill (1963) et Spenceley (1976) insistent sur l'action des vents et des cyclones tropicaux. Ces derniers, agents d'érosion, de transport et d'accumulation exhausent la surface du sol, ce qui a pour conséquence la mort des palétuviers.

### **\* Sécheresse**

Des chercheurs comme Guilcher (1956), Baltzer et Lafond (1971) et Sneedaker (1978) ont mis l'accent sur les effets d'une sécheresse prolongée dans le processus de la tannification, tout en mettant en relief l'impact d'une forte évaporation qui est à l'origine de la dessiccation intense du sol. Cela a pour conséquence sur les secteurs touchés par les marées d'élever la salinité de l'eau interstitielle à des taux supérieurs à ceux de la mer et de créer soit une pellicule superficielle de sel à la surface du sol craquelé, soit de cristaux de sel dans le profil du sol.

Dans le Bassin du Sine Saloum, cette sécheresse caractérisée par un déficit pluviométrique est l'un des facteurs permettant de mettre en évidence l'existence des tannes ainsi que leur extension par des processus géochimiques qui sont : la salure et l'acidification.

### **1-2-3. Le facteur sédimentologie**

C'est sur le facteur sédimentologie qu'insiste Hervieu (1968) pour expliquer les tannes : « le changement dans la sédimentation n'est pas suffisant pour expliquer la disparition des palétuviers mais une progression du remblaiement de la mangrove vers l'aval qui cause l'émersion de plus en plus prolongée de ces zones ». Cependant, l'élévation du niveau du sol des mangroves résulte à la fois de l'accumulation de dépôts marins et terrigènes (poussières et sables d'origine éolienne, alluvions et parfois colluvions) notamment à la base des terrasses (Lebigre, 1983). Cette élévation est à l'origine de deux phénomènes :

- d'une part, la diminution ou la disparition du mouvement quotidien du flux et du reflux de la marée sur le milieu, alors la mangrove n'étant plus touchée par les hautes mers de vives eaux, il découle un assèchement du sol superficiellement en dehors des périodes de pluies.

- d'autre part par l'asphyxie des racines des palétuviers ; inversement avec ce que Lebigre (1983) a observé près de Tuléar des *Avicennia officinalis* qui maintenus ou reproduits dans ces secteurs complètement envahis par des dunes littorales.

En d'autres termes, ce sont les phénomènes de compactage du sol et de salure qui sont les véritables instigateurs de la mort des palétuviers.

#### **1-2-4. Le facteur hydrologique**

Certains auteurs comme Forsberg (1961) ont mis en évidence une corrélation entre forts marnages et tannes. Cependant, on observe des tannes de grandes dimensions à faible amplitude de marées : c'est le cas du delta de l'Artibonite en Haïti.

Parmi les anciennes hypothèses sur la genèse des tannes, celle imputant la mort des arbres de la mangrove aux apports d'eau douce durant les périodes d'immersion ne tient plus. L'eau douce, ne provoque pas la mort des arbres (palétuviers) mais engendre la concurrence des plantes mieux adaptées. Au pire, (inondation par l'eau douce), la forêt marécageuse se substitue à la mangrove.

La salure de la nappe phréatique est un facteur essentiel comme l'attestent les travaux de Marius (1984) au Sénégal. Ces travaux mettent en évidence une rupture entre la salinité de la nappe de la mangrove et celle de la nappe de tanne.

« La nappe de la mangrove suit les variations saisonnières de la salinité de l'estuaire ou du fleuve; en revanche, la salinité de la nappe de la tanne est élevée. En outre, son déplacement se fait verticalement et non horizontalement » (Marius, 1984).

Nous nous sommes posé les questions suivantes :

- quelles sont les relations entre la nappe des tannes et les cours d'eau saumâtres ?
- si ces relations existent, le battement de la nappe et sa salinité, sont-ils fonction des marées ?
- existe-t-il des déplacements horizontaux, selon les époques de l'année ?
- les tannes, seraient-elles les conséquences d'une modification de la nature de la nappe liée à la pédogenèse ?

Il nous semble intéressant d'étudier certains facteurs hydro-topographiques qui, d'après Diaw (1983) conditionnent probablement leur genèse et leur morphologie.

#### **1-2-5. Le facteur pédologique**

Le processus initial de la maturation des dépôts (ripenning) est d'ordre physique et biochimique. Il a fait l'objet de nombreux travaux parmi lesquels ceux de Vieillefon (1977) et Marius (1984), mettent en évidence, le rôle fondamental du soufre et de ses composés. Cependant, Hervieu (1968), souligne qu'à Madagascar, les sols sont rarement sulfatés acides contrairement à ceux du Sénégal ou du Gabon. Il en serait ainsi pour toutes les mangroves où les *Rhizophora* sont absents ou rares.

Durant (1964) a constaté que les sols portant des *Avicennia* posent moins de problèmes d'aménagement que ceux portant des *Rhizophora*. Ces derniers en effet, entrent dans le groupe des sols sulfatés acides qui sont fréquents au Sénégal et au Gabon.

L'acidification de ces sols est liée au comportement du soufre et de ses composés. Cependant, la matière organique présente est constituée particulièrement de radicelles qui forment une tourbe, stimulant la sulfato-réduction bactérienne en milieu anaérobie, si le milieu est riche en fer, de la pyrite, un sulfure de fer se forme. L'oxydation de la pyrite, corrélée à la déshydratation du sédiment conduit à la formation d'un sulfate basique de fer, la jarosite, d'oxyde et d'hydroxydes ferriques, de gypse, et parfois d'alun (cas des sols alunés du delta du Mékong). Cependant, dans la zone sahélienne, le phénomène est lié à l'activité des Thiobacilles, correspondant aux périodes de sécheresse et de marées de mortes eaux (Lebigre, 1983). Une forte acidification du milieu est observée suite au dessèchement du sol ou par une poldérisation mal conduite

Dans le bassin du Sine - Saloum (Sénégal), les différents épisodes morpho - climatiques qui se sont succédés au cours du quaternaire ont entraîné plusieurs phases de mise en place des matériaux de ces sols. Cependant, on note loin à l'intérieur des terres la présence de tannes, témoins de l'extension de la transgression Nouackchottienne. La salinité, affectant les sols et les nappes est essentiellement marine ; elle résulte de l'une des différentes phases cliniques durant le quaternaire.

A propos des sols, les sels sont dissous dans la solution interstitielle, soit accumulés sous forme de cristaux quand le sol est sec ; en revanche, pour la nappe ils sont dissous en solution. Cependant, il est probable que la salinité des sols soit déterminée par celle de la nappe.

Au terme de cette revue de la genèse des tannes, elles peuvent être définies comme des milieux salés, liés ou non à la mangrove, présentant des aspects variés, pouvant être submergés ou non par les marées, et les effets conjugués des différents facteurs cumulés de la sédimentation, de la pédogenèse et de la modification des nappes, leur confèrent des caractères sulfatés acides durant les périodes de sécheresse exceptionnelle.

### **1-3 Typologie des tannes**

#### **1-3-1 : Physionomie des tannes**

Les tannes peuvent être de formes variables dans le temps et dans l'espace, avec des positions différentes les unes des autres. Sur les différentes unités géomorphologiques (domaine des tannes) de la région du Sine Saloum, on trouve plusieurs variétés de tannes à structures différentes (Sadio, 1986), parfois sur la même unité géomorphologique, comme sur la terrasse moyenne qui regroupe à la fois des tannes nues, des tannes herbacées, des tannes arbustives et des tannes localement arbustives.

Lors des trente dernières années, deux types ont été reconnus, la tanne nue et la tanne herbue qui peut être subdivisée en trois (Marius, 1972 ; 1974) : la tanne inondée, la tanne vive et la tanne herbacée. Ces différentes physionomies des tannes laissent entrevoir des formes dynamiques commanditées par des processus à la fois biochimiques et physiques.

Cette opposition principale physionomiste, basée sur la description des états de surface, ne doit pas être considérée comme fondamentale pour la différenciation d'une même forme. Cette forme sous l'interaction des différents facteurs peut revêtir des aspects statiques ou dynamiques.

**\* *Les aspects statiques.***

Il n'existe pas une zonation typique tanne-mangrove. A partir des transects effectués dans le secteur du Sine - Saloum par Diop (1978), Sadio (1986) et Thiam (1997) dans le secteur de Fatick et de Guissam, nous constatons l'existence de différents types de formes et les micromorphologies qui leur sont associées.

Le micro modelé qui rompt parfois sa monotonie est la conséquence de certains facteurs agents. Cependant, la limite maximale des marées peut marquer la zone de transition entre la vasière à mangrove et la tanne. Ce contact peut se faire sans rupture de pente. Par contre les contacts avec la terre ferme semblent être assez variables : les lambeaux dunaires, d'anciennes rizières, des micro dépressions où stagnent des eaux de pluie pendant l'hivernage, le liséré sableux actuel et les micro dunes ou pseudo lunettes faisant obstacle aux submersions par les marées. Ces différents contacts combinés aux différents facteurs confèrent aux tannes des formes statiques. Photo A. Annexe 1

**\* *Les aspects dynamiques.***

Ces formes changeantes résultent des conséquences des interactions des différents facteurs et posent un certain nombre de problèmes pour la définition des tannes. Entre une période sèche et une période humide, ces unités peuvent être couvertes ou dépourvues de végétation. La contamination de la nappe phréatique par les marées, combinée avec les processus d'évaporation, provoque une sélection du couvert végétal, qui est un indicateur de la répartition spatiale de la salinité tant en surface qu'en profondeur.

Si la tanne butte contre un talus ou la base d'une dune, la présence d'eau qui peut être liée (ruissellement, sourcins) permet aux arbres de s'installer (tannes arbustives). Le vent, en édifiant d'une manière éparse des pseudos lunettes ou des micros dunes qui sont colonisées par la végétation, crée alors des tannes localement arbustives. Photo B. Annexe 1

### 1-3-2. Les types de tannes

#### A) *Les tannes vasières*

Ces tannes sont d'anciennes vasières qui ne sont pas inondées en permanence car étant un peu plus surélevées que les vasières à mangroves du fait des dépôts de sédiments. On peut les retrouver au niveau de la terrasse basse ou sur les autres types de terrasses. Les sols sont sulfatés acides à jarosite salés sur les 50 - 70 premiers centimètres et potentiellement sulfatés acides en profondeur (Sadio, 1986). Cependant, il serait judicieux de distinguer :

- ceux de la terrasse basse où l'on note la présence d'une végétation herbacée : *Blutaparon vermiculare* et *Sesuvium portulacastrum* et,
- ceux que l'on rencontre au niveau des autres types de terrasses où la végétation est absente ; en générale ces derniers bordent les chenaux des marées et des marigots devenus totalement dénudés et juxtaposent les tannes nues (Daffé et Sadio, 1986).

Dans ces types de tannes, la salinisation des sols par inondation des cours d'eau sursalés est le processus le plus important. Cette forme de salinisation est contrôlée par l'altimétrie et la pente. Photo C. Annexe 1

#### B). *Les tannes nues*

Ces tannes sont de vastes étendues caractérisées par la présence de cristaux de sel en surface. Certains auteurs utilisent le terme de tanne vive. Cette concentration de sel en surface donne naissance à des efflorescences salines dont l'aspect varie en fonction de plusieurs paramètres du milieu qui caractérisent ces tannes à savoir :

- le type de marée et l'altimétrie, ce qui permet de faire la distinction entre la tanne nue inondable et la tanne nue non inondable ;

la proximité ou non de la nappe phréatique salée, ce qui détermine la forme de la salinisation (par inondation, par remontée capillaire ou par la combinaison des deux). Nous notons que cette combinaison est temporelle et alternée. Cependant, l'état de surface de ces étendues est très variable du point de vue micro modelé donnant naissance à certaines structures de ces tannes. L'aspect de ce micro modelé a permis de faire la distinction entre les tannes nues à efflorescences salines, les tannes nues à moquette poudreuse, les tannes nues à pelures (coupelles ou assiette) et les tannes nues à fentes de retraits. Tous ces aspects des états de surfaces dépendent de la nature du substrat ainsi que du mode de salinisation. Cependant, la modification du micro modelé de la tanne nue peut être accentuée en dehors des actions physico - chimiques par les actions des êtres vivants, par le piétinement de l'homme et du bétail, par les crabes qui créent une bioturbation qui contribue à l'ameublement du sol avec de petits bosses signalant l'entrée des terriers. Photo D. Annexe I

### **C). Les tannes herbues**

Au niveau des terrasses moyennes et basses, on rencontre des étendues salées colonisées par une végétation herbacée et/ou graminéenne, appelées tannes herbues. Cette dénomination de tanne herbue a été utilisée pour la première fois par Charreau et Bonfils (1963) qui l'assimilaient à un sol moyennement salé de type solontchack en opposition avec la tanne vive qu'ils qualifiaient de sol fortement salé de type hypersolontchack.

A la suite de ces auteurs, des géomorphologues et pédologues ont décrit la tanne herbue comme isolée de toute influence de la marée. « Pour cette raison, cette formation herbacée doit être classée comme une forme supra tidale à la différence de la tanne nue qui, avec ses différents aspects de surface, reste fondamentalement un ensemble tidal ». Certains auteurs se proposent de l'appeler pelouse supra tidale ce que nous appelons tanne herbue. L'apparition de *Blutaparon vermiculare* et *sesuvium portulacastrum* marque une certaine transition entre la tanne nue et la tanne herbue. Etant donné que l'action éolienne est très présente dans ce milieu, la salinisation éolienne, conjuguée avec la salinisation par remontée capillaire, sont les processus de cette dégradation. Photo E. Annexe 1

### **D). Les Tannes herbues localement arbustives**

Ce sont des zones salées avec présence ou absence d'efflorescence saline en surface où l'on note la présence d'une végétation herbacée et arbustive ; cette dernière occupe 20 à 30% de la surface couverte par la végétation. Les sols sont de type sulfatés acides salés. Cet état de dégradation est moins prononcé par rapport à la tanne herbue ; les types de sols sont cependant les mêmes mais ils sont plus évolués que ceux des tannes herbues. Ici la salinisation est d'origine éolienne et/ou remontée capillaire. Cette salinisation par capillarité est d'autant plus prononcée que la nappe est proche de la surface du sol. Photo F (voir annexe 1)

### **E). Les tannes arbustives localement arborées**

Ces tannes sont rencontrées au niveau des terrasses hautes et le glacis de raccordement. Sur les terrasses hautes, nous notons une végétation forestière arbustive à arborescente de *Wachellia seyal* mélangée à *Wachellia nilotica*, *Acacia macrostachya*, *Balanites aegyptiaca* et *Combretum glutinosum* sur des sols sulfatés acides salés évolués.

Sur la partie amont du glacis de raccords on rencontre *Wachellia seyal*, *Balanites aegyptiaca*, *Lannea acida*, *Sclerocarya birrea*, *Parkia biglobosa*. Sur la partie avale, on retrouve *Combretum glutinosum* mélangé à *Piliostigma reticulatum*, *Guiera senegalensis* et *Spermacoce verticillata*. Les sols sont de types sulfatés acides salés sur la partie amont et sulfatés acides hydromorphes salés dans la partie avale. Photo 7. Annexe 1

#### **1-4. Les processus de mise en place des principales contraintes observées au niveau des tannes. (Salinité et Acidité)**

##### **1-4-1. Les modes de salinisations actuelles ou récentes**

La salure des terres peut avoir trois origines distinctes. Elle peut être provoquée par le contact de la mer (salure d'origine marine). Elle peut provenir de couches sédimentaires salifères (salure d'origine continentale ou géologique). Elle peut se rattacher à certaines manifestations généralement posthumes, du volcanisme (salure d'origine volcanique). Dans le cadre de notre étude, nous nous sommes intéressés au mode de salure d'origine marine qui affecte les sols du bassin fluviomarin de la région du Sine Saloum. Cette forme de salure peut se présenter sous quatre formes :

##### ***Salinisation provoquée par un recouvrement de l'eau de mer***

Ce premier type consiste en une submersion des terrains par la mer au cours des tempêtes, de marées exceptionnelles, de raz de marée, ou à l'occasion de la rupture de digues de protection. Dans notre secteur d'étude, cette forme de salinisation est très importante car elle entraîne l'augmentation des sels dans le sol. Ce processus est courant sur les terrasses basses, les anciens chenaux des marées et les terrasses basses inondables. Ce processus est d'une dimension importante à cause des nombreuses ramifications du réseau hydrographique, surtout de la faible altitude de ces unités par rapport au cours d'eau. Les inondations successives traduisent les apports de sels qui se cristallisent sous l'effet de l'évaporation durant la période sèche à la surface du sol en formant des couches épaisses à structure poudreuse de type « moquette » (Marius, 1985). Cette structure poudreuse est l'une des caractéristiques des tannes nues que l'on rencontre au niveau des terrasses basses et moyennes.

##### ***Salinisation par contamination des nappes phréatiques par l'eau de mer***

Le second type de ce processus de salinisation marine est déclenché par les infiltrations de la mer dans une nappe phréatique littorale, constituée originellement par les eaux douces : celles-ci deviennent plus ou moins salées ou saumâtres, et la contamination des terres s'opère soit naturellement à la suite d'une remontée du niveau de la nappe, soit par l'intervention de l'homme, qui procède à des pompages inconsidérés dans la nappe et à des irrigations au moyen d'eau salée.

De nombreux travaux relatent ce processus dynamique de la salinité du sol par remontée capillaire (Cheverry, 1974 ; Bresler, 1981). D'après Bolt (1978) et Bresler et al. (1982), la grande mobilité de l'ion  $\text{Cl}^-$  et de  $\text{Na}^+$  explique les fortes concentrations des sels que l'on remarque à la surface des sols.

### ***Salinisation provoquée par transport et dépôts des embruns marins***

Le troisième type de processus de salinisation marine est l'apport de sel par les embruns que le vent rabat sur la terre ou sur la végétation. Ces apports produisent des accumulations capables d'être nuisibles aux cultures quand le phénomène rencontre des conditions favorables.

### ***Salinisation provoquée par la genèse des dépôts littoraux***

Le quatrième type de processus de salinisation marine se développe au cours de la genèse des dépôts littoraux. Les vases marines qui se fixent et s'accumulent sur certaines côtes (slikke et schorre) sont imprégnées de salant marin et les sols qui en dérivent sont donc salés congénitalement ; il en est de même des dépôts d'estuaires, car la floculation des sédiments fins (argiles, limons) apportés par les cours d'eau, est provoquée par les électrolytes contenus dans l'eau de mer, et ceux-ci restent fixés sur les particules floculées.

## **1-5-2 : Processus d'acidification**

### ***A) Origine du soufre et formation de la pyrite***

Dans toutes les zones côtières où l'on trouve des sols sulfatés acides, l'origine du soufre contenu dans ces sols est essentiellement marine (Pons, 1964 ; Van Breemen, 1976). Au Sénégal dans le domaine fluviomarin, la provenance du soufre résulterait des périodes de transgressions nouackottiennes et des inondations par les marées.

La formation de la pyrite nécessite les conditions suivantes : apport de sulfates solubles ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) par la mer, un environnement réducteur (bactéries et matière organique), et temporairement des conditions oxydatives (présence de composés mobiles de fer.) (Van Breemen, 1976).

Dans ces conditions, en présence de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  comme principale source de fer, les réactions chimiques aboutissant à la formation de la pyrite peuvent se résumer par l'équation suivante (Van Breemen, 1988):

Equation 1: Equation de Van breemen.

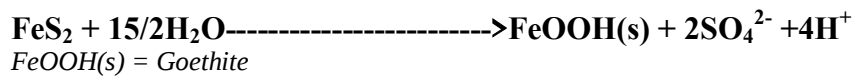


Avec  $\text{CH}_2\text{O}$  = [matière organique].

$\text{FeS}_2$  = [pyrite].

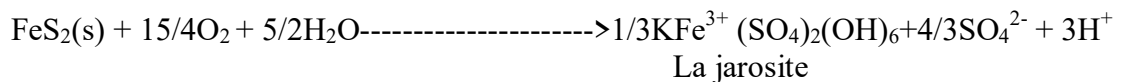
Lorsque le milieu devient oxydant c'est à dire plus drainé, le sédiment pyriteux formé en contact avec l'oxygène de l'air par baisse des nappes phréatiques liée à la sécheresse, le sulfure de fer est alors directement oxydé en Goethite  $\text{FeOOH(s)}$  (oxyhydroxydes ferriques) par voie biochimique avec production d'acidité, selon un ensemble de réactions très complexes dont la stœchiométrie de l'équation globale d'après Nordstrom s'écrit :

Equation 2 : Equation Nordstrom



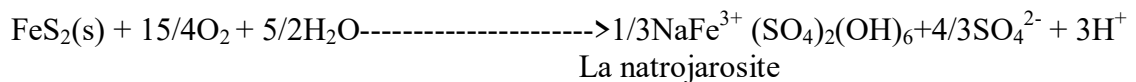
Lorsque l'oxydation de la pyrite provoquée par l'abaissement des nappes se poursuit, la présence des minéraux ( $\text{K}^+$  et  $\text{Na}^+$ ) fournis par le sol conduit à la formation de la jarosite ou de la natrojarosite d'après les équations suivantes :

Équation 3 : Equation de la formation de la jarosite.



En remplaçant  $\text{K}^+$  par  $\text{Na}^+$  on obtient la natorjarosite

Équation 4 : Equation de la formation de la natrojarosite.



### ***B) Essai d'interprétation de l'acidité actuelle des sols et des solutions***

Les ions  $\text{H}^+$  produits à partir de l'équation de NORDSTROM vont remplacer les bases échangeables fixées sur les argiles. Ces bases étaient essentiellement  $\text{Na}^+$  et  $\text{Mg}^{2+}$  (Sayles et Mangelsdorf (1977)).

Les argiles protonnées sont très instables (Low, 1955 ; Laudelot et Eeckman, 1958). Le réseau argileux libère des ions  $\text{Al}^{3+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$  qui passent en solution lors de l'attaque du proton  $\text{H}^+$  et de la  $\text{SiO}_2$  qui peut précipiter en fossilisant d'anciennes racines (Van Breemen, 1976). Deux voies d'évolution sont alors possibles selon les conditions du milieu :

Première Voie : En condition humides (hivernage).

L'attaque ménagée des argiles permettant une légère remontée du pH, la jarosite devient instable vis-à-vis de la Goethite. Des protons supplémentaires  $\text{H}^+$ , puis  $\text{Al}^{3+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$ , sont libérés dans le milieu.

Seconde voie : En conditions sèches.

Les sulfates sont maintenus dans la solution du sol, et à la faveur des remontées capillaires il y a concentration de sulfates en surface. Cette concentration de sulfates se présente sous forme d'encroûtements blanc pulvérulent. Certains chercheurs tels que Lebrusq, (1980) ont pu identifier certaines sulfates telles que : l'Alunite, la Tamarugite, la Pickéringite, l'Hexahydrate, l'Halotrichite la Rozénite.

## **CHAPITRE II Identification et caractérisation des différents sites d'étude.**

## Introduction

L'objectif de cette seconde partie de l'étude est de faire un choix rationnel des sites d'étude. Pour ce faire deux activités sont réalisées : identifier les sites et caractériser les sites.

Ces activités se déroulent comme suit par une présentation du milieu physique, suivie d'une étude de distribution des tannes à travers les différentes unités géomorphologiques à partir de laquelle les sites les plus représentatifs seront retenus comme sites d'expérimentation. Ces sites feront l'objet d'une caractérisation morpho-pédologique.

L'étude du milieu physique qui prend en compte le système estuarien. Ce système est constitué par deux domaines à savoir le domaine estuarien (Chamley, 1988) et le domaine des tannes. (Sadio, 1986) La caractérisation du domaine des tannes par le climat a permis l'identification de trois zones : une zone peu arrosée, une zone moyennement arrosée et une zone plus arrosée (Sadio, 1986). Dans le domaine des tannes existent des différences entre les tannes vasières, les terrasses basses inondables, les terrasses non inondables, les terrasses moyennes, les terrasses hautes, le glacis de raccordement, les dépressions et les dunes. La caractérisation par les types de sols du système estuarien met en évidence deux types d'entités : les sols de types minéraux bruts des cordons littoraux et les sols de types sulfatés acides (salés ou hydro morphes salés) (Thiam, 1986) ; (Diop, 1975). Le recensement typologique des tannes ainsi que leur mode de distribution et de succession à travers les différentes unités géomorphologiques des différents transects, ont permis l'identification de deux sites expérimentaux pour la collecte de données et de suivi de certains paramètres physico-chimiques.

Dans la caractérisation des sites expérimentaux, la variabilité de la végétation (Fosberg, 1961) ; (Diallo, 2009) par le nombre d'espèces et de familles est l'un des indicateurs du gradient topographique et est fonction des phénomènes de salinisation, d'alcalinisation et de la texture de ces sols (Davis, Waskom et Bauder, 2006). La caractérisation des profils pédologiques est effectuée suivant les transects (Diaw, 1983 ; Boivin, 1984) sur les différentes unités géomorphologiques (terrasses). La description et l'analyse physico-chimique des échantillons de sols ont permis la mise en évidence des types de sols à partir de la classification russe (Damour, 1973), les salinisations sodiques favorables aux phénomènes d'alcalinisation (Rashidi, 2009), (Barbiero, 1990) et les phénomènes d'acidification par l'importance du degré d'oxydation de la pyrite le long du profil pédologique par la présence de concrétions de colorations claires au sein du profil. (Milieu

oxydé). En revanche la diminution de l'acidité dans le milieu est caractérisée par des concrétions de colorations sombres. (Milieu réduit).

## **2-1 Méthodologie.**

### **2-1-1 Site d'étude**

#### **A) Géologie / Histoire géomorphologie**

Au quaternaire récent, les différents épisodes géologiques engendrés par l'alternance de périodes humides et sèches ont profondément façonné le milieu. Le réseau du Sine Saloum se serait mis en place pendant la période humide ayant succédé à l'Ogolien entre 13 000 et 8 000 BP (Michel, 1973). Au cours de cette période, l'estuaire actuel recevait les épandages des fleuves du Sine, du Saloum et de Khombole (Diop, 1978 et 1988).

Cependant le façonnement de l'ancien delta et du domaine des tannes reste attribuable à la transgression Nouakchottienne (Flandrien) qui a démarré la période humide la plus longue et dont le maximum se situerait d'après Michel (1973) vers 550 ans BP. Ces différents épisodes climatiques ont abouti à la formation d'unités géomorphologiques très distinctes qui s'intègrent dans les deux grands ensembles à savoir le domaine estuarien et le domaine des tannes.

#### **A1) Constitution des unités géomorphologiques dans le domaine estuarien.**

Le domaine estuarien est constitué de trois unités géomorphologiques :

- les cordons littoraux, orientés NS (Diop, 1978), issus de la période de la grande dérive littorale, qui se sont formés le long de la côte ;
- les tannes vasières à mangroves, dépôts argileux plus ou moins sableux ceinturant les cours d'eau dans la zone intertidale (Cook et al. 1977), régulièrement recouvertes par les eaux des marées ;
- les tannes vasières, anciennes vasières à mangroves, qui ne sont plus inondées en permanence et qui correspondent aux parties tidales et supra tidales.

#### **A2) Constitution des unités géomorphologiques dans le domaine des tannes.**

Le domaine des tannes est constitué de différentes unités géomorphologiques:

- les tannes vasières, identiques à celles que l'on observe dans le domaine estuarien, qui bordent les chenaux des marées et les marigots (Daffé et Sadio, 1988).
- les terrasses basses inondables, zones plus exondées que les tannes vasières avec une topographie légèrement surélevée. Dans cette unité géomorphologie on note la présence de tannes nues à inflorescences salines (Sadio, 1986) ;

- les terrasses moyennes, unités plus élevées que les terrasses basses inondables, caractérisées par une topographie plane plus ou moins inclinée dans le sens du cours d'eau. On y rencontre de nombreuses tannes, à savoir les tannes à végétation herbacée, les tannes à végétation herbacée localement arbustives, les tannes localement couvertes ;
- les terrasses hautes, unités caractérisées par une topographie plus élevée que les autres, souvent entourées par les chenaux des marées ;
- le glacis de raccordement, unité géomorphologique qui présente une inclinaison orientée du plateau vers le cours d'eau. Il est situé en bordure du plateau continental et assure le passage entre le plateau et les terrasses ;
- les dépressions, rencontrées à l'intérieur de ces différentes unités géomorphologiques, se remplissent d'eau pendant les périodes hivernales ;
- les dunes, caractérisées par leur topographie plus élevée que celles des terrasses moyennes, à l'intérieur desquelles on rencontre des micro-dunes sableuses.

## **B) Milieu physique**

### **B1) Position géographique du système estuarien.**

Ce secteur comprend deux parties distinctes caractérisées par le climat, le régime hydrologique et l'importance des tannes. Nous distinguons :

- Le domaine estuarien caractérisé par la présence de nombreuses îles formées de nombreuses ramifications des chenaux des marées et par des vasières à mangroves ; il est situé entre 13° 35' et 14° 08' latitude nord, c'est-à-dire entre la mer et la ligne Fimela-Foundiougne-Sokone. Ce domaine ne répond plus à la définition d'un vrai delta (Chamley, 1988) car depuis l'installation de la sécheresse les apports fluviaux sont devenus très faibles par rapport à l'influence marine. La superficie totale est de 250 000 ha environ, répartie entre les régions de Fatick et de Kaolack.
- Le domaine des tannes qui est compris entre 14° 08' et 14° 20' latitude nord ; il s'étend plus au nord jusqu'à 14° 30' latitude nord dans les zones de Diakhao et Gossas où les sols sont seulement salés (Sadio, 1986.). Ce domaine fait plus des 2/3 de la superficie totale du bassin.

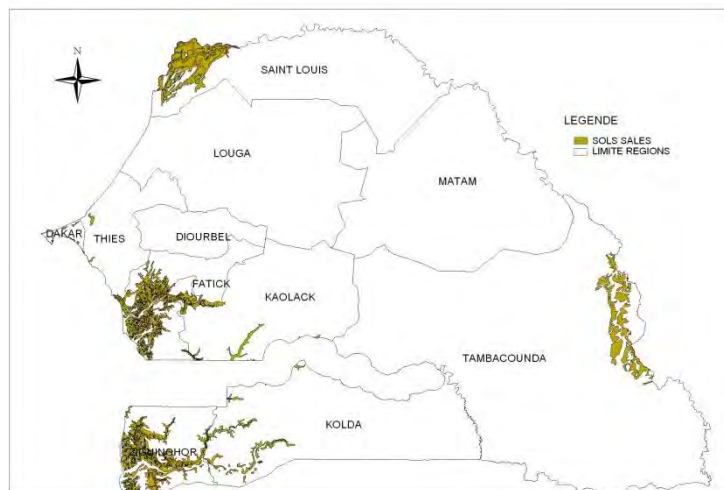


Figure 1: Carte de répartition des sols salés dans les différents domaines côtiers, fluvio-marins fluviaux du Sénégal. (Source : INP, 2008)



Figure 2: Photographie aérienne du domaine fluvio-marin du Sine Saloum. (Source : Google Earth adopté A. Thiam).

## B2) Le climat.

Le climat appartient au domaine Sahélo - sénégalais (Leroux, 1990). C'est une variante du domaine Soudano - sahélien (Aubréville, 1950). Dans la région du Sine Saloum, la présence des vents secs (harmattan) prédomine. Ces vents soufflent d'octobre à juin avec une vitesse de 2 à 5 m/s. Ce domaine est caractérisé par des températures moyennes mensuelles comprises entre 26 et 31 °C. Dans le secteur d'étude, la tendance de la courbe moyenne des températures est à la hausse avec une moyenne interannuelle de 27,5 °C. Les précipitations qui ont varié de 600 à 900 mm/an (1931 - 1960) ne sont plus que de l'ordre de 400 à 600 mm/an (Leborgne 1988).

## B3) La végétation.

Dans ce système estuarien composé par le domaine estuarien proprement dit et le domaine des tannes, la distribution de la végétation suit les différentes unités

géomorphologiques. Le domaine estuarien est constitué par les cordons littoraux, les vasières à mangroves et les tannes vasières, les espèces végétales rencontrées sont les suivantes :

- *Alternanthera maritima*, *Cyperus maritimus*, *Ipomea pescapraea*, *Scaevola plumieri* (Diop, 1978 cité par Sadio, 1986) au niveau des cordons littoraux ;
- *Avicennia africana*, *Rhizophora mangle* et *Rhizophora racemosa* dans les vasières à mangroves;
- *Blutaparon vermiculare* et *Sesuvium portulacastrum* sur les tannes vasières.

Dans le domaine des tannes constitué par les tannes vasières, les terrasses basses inondables, les terrasses moyennes, les terrasses hautes, le glacis de raccordement, les dépressions et les dunes, la végétation est composée de :

- *Spermacoce verticillata* qui est souvent associé aux graminées (*Andropogon gayanus*, *Ctenium elegans*, *Eragrostis ssp.*, ...) au niveau de la terrasse moyenne;
- *Wachellia seyal*, en mélange avec *Wachellia nilotica*, *Acacia macrostachya* et *Adansonia digitata* et *Balanites aegyptiaca* sur les terrasses hautes;
- *Combretum glutinosum* en peuplements peu denses souvent mélangé à *Piliostigma reticulatum* ou *Guiera senegalensis* et *Spermacoce verticillata* au niveau du glacis de raccordement;
- *Wachellia seyal*, *Balanites aegyptiaca*, *Lanea acida*, *Parkia biglobosa*, *Sclerocarya birrea*, des espèces forestières arbustives et arborescentes rencontrées en amont du glacis (Sadio, 1986). La végétation herbacée est constituée *Adropogon ssp.*, *Cenchrus biflorus*, *Cassia obtusifolia*.

A l'intérieur des dépressions on rencontre pendant l'hivernage *Cyperus ssp.*, *Mitragyna inermis*, *Spermacoce verticillata* et *Tamarix senegalensis*. Sur les dunes prospèrent *Adropogon ssp.*, *Cenchrus biflorus*, *Ctenium elegans*, *Combretum micranthum*, *Guiera senegalensis*, et *Piliostigma reticulatum*.

#### **B4) Les types de sols.**

Dans le domaine estuarien les principaux sols rencontrés sont les sols minéraux bruts localisés au niveau des cordons littoraux. Sur les tannes vasières, les sols sont de types sulfatés acides à jarosite au niveau des 70 premiers centimètres et potentiellement acides en profondeur (Sadio, 1986).

Dans le domaine des tannes, les sols des tannes vasières sont identiques à ceux observés sur les tannes vasières du domaine estuarien c'est-à-dire des sols de types sulfatés acides à jarosite en surface et potentiellement sulfatés acides en profondeur.

Sur les terrasses basses inondables les sols sont identiques à ceux des tannes vasières avec la seule différence qu'ils sont plus évolués. Les sols rencontrés sur les terrasses moyennes sont de types sulfatés acides salés ou sulfatés acides hydromorphes salés.

Sur les tannes à végétation herbacée localement arbustive, les sols rencontrés sont identiques à ceux des tannes à végétation herbacée. Cependant sur les tannes localement couvertes, les sols sont sulfatés salés moins évolués que ceux des unités précédentes. Au niveau des tannes nues, les sols sont acides salés non évolués.

Sur La terrasse haute, les sols sont salés sulfatés alcalins et sulfatés acides peu salés évolués (Sadio, 1986). Sur le glacis de raccordement, les sols sont sulfatés acides évolués peu salés et sulfatés acides hydromorphes salés. Enfin sur les dunes, les sols sont généralement de types ferrugineux tropicaux hydromorphes à pseudogley acides en surface et sulfatés acides hydromorphes salés.

### **2-1-2 Méthodes**

Dans le cadre de cette étude de la distribution des tannes au niveau des différentes unités géomorphologique, la méthode adoptée est celle des transects. Cinq transects ont été choisis et répartis de la manière suivante : les transects de Ngane et Loul-Sessène dans la zone peu arrosée qui est caractérisée par une pluviométrie de 546,83 mm; le transect de Fimela situé dans la zone moyennement arrosée avec une pluviométrie de 622,25mm et les transects Djolôr et Ndiaffate localisés dans la zone plus arrosée dont la pluviométrie est de 668,84mm.

Ces différents transects présentent des particularités selon leur position par rapport au Fleuve Saloum ainsi que leur proximité par rapport au bras de mer. Les transects Fimela, Ngane et Loul Sessène sont situés au Nord du fleuve Saloum, cependant le transect de fimela est plus proche du bras de mer que les autres sites. Les transects de Djilôr et Ndiaffate sont situés au Sud du fleuve Saloum.

Les superficies des dispositifs expérimentaux sont de 9,9 hectares pour celui dans la zone arrosée (Ndiaffate) et 2 hectares pour la zone peu arrosée (Ngane). Pour le site de Ndiaffate, cette superficie est divisée en cinq blocs de 1,2 hectare et chaque bloc est subdivisé en quatre parcelles de 0,4 hectare. La placette élémentaire est composée de cinq (5) parties dont une centrale de 1000 m<sup>2</sup> (20 m x 50 m) et quatre latéraux de 750 m<sup>2</sup> (15 m x 50 m). (Figure 9)

Pour le site de Ngane cette superficie de 2 ha est subdivisée en trois blocs de 0,66 ha. Chaque bloc comporte 4 parcelles de 0,17 ha. La parcelle élémentaire est subdivisée en 5 parties, une partie centrale de 540m<sup>2</sup> (30 m X 18 m), deux parties latérales de 153 m<sup>2</sup> (8,5 m X 18 m) et deux parties latérales de 255 m<sup>2</sup> (30 m X 8,5 m). (Figure 10)

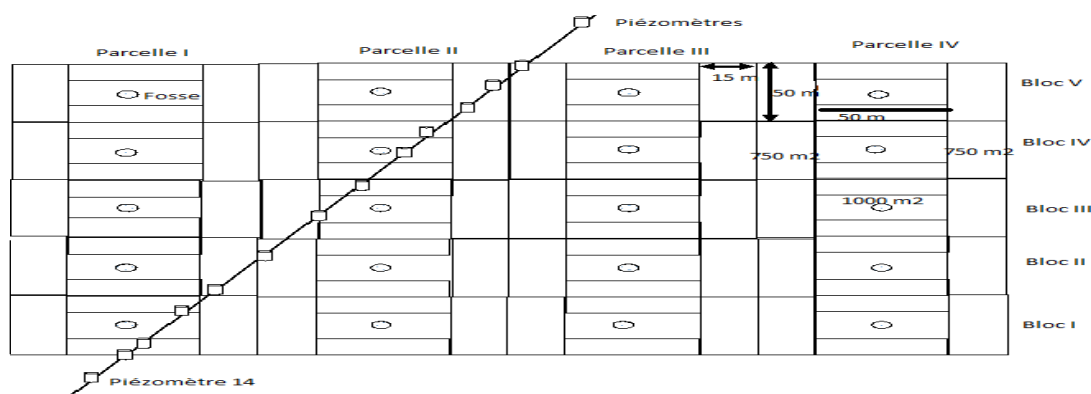


Figure 3 : Dispositif expérimental (Ndiaffate).

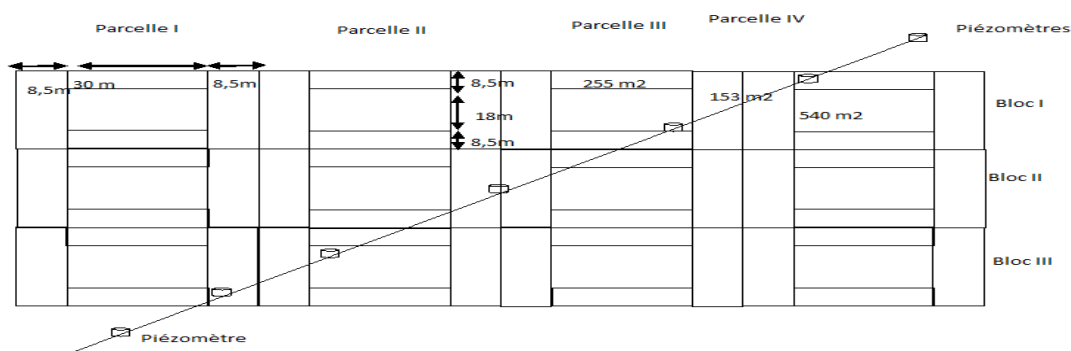


Figure 4 : Dispositif expérimental (Ngane).

Au niveau de ces sites expérimentaux (Ndiaffate et Ngane), un système de récupération des sols salés a été mis en place. Ce système est une combinaison de méthodes physiques et biologiques. La méthode physique est constituée de systèmes de diguettes pour la récupération de l'eau pluviale pour dessaler le sol par lessivage vertical. La méthode biologique est constituée par la mise en place d'espèces arborées et herbacées pour tester leur comportement vis-à-vis des sols sulfatés acides salés. Ces espèces sont les suivantes : *Atriplex lentiformis*, *Distchlis spicata*, *Eucalyptus camadulensis*, *Parkinsonia articulata*, *Prosopis juliflora* et *Tamarix aphylla var erectus*, et.

Pour les données relatives à la caractérisation pédologique, quinze fosses pédologiques ont été creusées dans le but de couvrir totalement l'ensemble du dispositif expérimental. Ces fosses, localisées au centre de chaque bloc, ont fait l'objet de prélèvements d'échantillons aux profondeurs respectives de 5-15, 15-30, 30-60, 60-90, 90-120, 120-180 cm pour déterminer la conductivité électrique (CE, extrait 1/10) et le potentiel hydrogène (pH, extrait 1/2,5). Ces données ont été complétées par la description des carottes prises lors de l'installation du réseau de piézomètres (mois d'octobre et mars.) Les échantillons prélevés ont fait l'objet d'une caractérisation complète au CNRA de Bambey à savoir la granulométrie, les bases échangeables, le fer libre, le fer total, l'aluminium échangeable et l'acidité totale.

La granulométrie a été déterminée par la méthode dite « Pipette de Robinson » et a porté sur les cinq fractions (sables grossiers, sables fins, limons grossiers, limons fins et argiles). La conductivité électrique et le pH ont été mesurés à partir des extraits de solutions de rapports 1/10 pour le CE et 1/2,5 pour le pH. Les appareils utilisés ont été le conductimètre (Conductimètre portatif universel HI 8633) et le pH mètre (IQ150). Les sels solubles ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ) ont été dosés à partir des extraits dilués dans un rapport de 1/5 au niveau du spectrophotomètre d'absorption. L'aluminium et le fer total, déterminés par attaque triacide ( $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{HNO}_3 + \text{HCl}$ ) puis dosés dans la solution par calorimétrie au Technicon. Le fer libre, dosé après extraction par la méthode d'Endredy à l'aide du réactif de Tamm. Dans le cadre de la prévision des phénomènes de salinisation et d'alcalinisation, le coefficient ou taux d'absorption du sodium (SAR) ou « Sodium - adsorption Ratio » ainsi que le pourcentage de sodium échangeable de la solution du sol « ESP » ont été calculés à partir des formules suivantes

Équation 5 : Formule du « Sodium - adsorption Ratio »

$$\text{SAR} = \frac{\text{Na} + \sqrt{\frac{\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}}{2}}}{1}$$

Équation 6 : La formule empirique de Richards lie le SAR à l'ESP

$$\text{ESP} = \frac{100 * (-0,0126 + 0,01475 * \text{SAR})}{1 + (-0,0126 + 0,01475 * \text{SAR})}$$

Équation 7 : Equation pour la classification des sols salins halomorphes

$$(\text{Na}^+ + \text{K}^+) / (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$$

Les valeurs de ce rapport ont permis de faire une classification des sols salins halomorphes (extrait de la classification russe IVANOVA & RASNOV).

Équation 8 : Formule de la détermination de la sodicité d'un échantillon

$$(\text{Na}^+ / \text{T}) * 100$$

Équation 9 : Formule de la détermination du type de salinisation

$$\text{Cl}^- / \text{SO}_4^{2-}.$$

Équation 10 : Formule d'approche de la détermination de l'acidité totale

$$\text{Acidité totale} = \text{H}^+ + \text{Fe}^{3+} + \text{Al}^{3+}.$$

Nous pouvons remarquer aussi que la quantité d'acide contenue dans le sol dépend de l'importance et du degré d'oxydation de la pyrite

Quant à l'aluminium très abondant dans les sols, cet élément ne forme pas de produits colorés. Il est donc tout à fait invisible sur le terrain et seules les analyses permettront de connaître son abondance et ses différentes formes.

Équation 11 : Formule de la détermination du taux d'acidité d'échange (TAE) proposée par Espiau et Peyronel

$$TAE = \frac{(Al^{3+} + H^+)}{Teff} * 100 \text{ Avec } Teff = CEC = S + Al^{3+} + H^+$$

Au niveau de chaque unité géomorphologique pour l'ensemble des deux sites, des relevés de végétation par la méthode des quadrats (superficie 1 m<sup>2</sup>) ont été effectués

Cependant l'emplacement de chaque piézomètre est considéré comme étant un profil pédologique pour : étudier la variabilité spatiale de la salinité et de l'acidité, élaborer des cartes de texture du sol, d'indice de drainage du sol et du type de sol le long de la topo séquence.

## 2-2 Résultats.

### 2-2-1 Variabilité pluviométrique dans le secteur d'étude.

Le cumul annuel des précipitations de 1985 à 2005 montre une certaine variabilité zonale avec une moyenne, à l'échelle de la zone d'étude, de 596,8 mm.

L'indice régional standardisé (IPS) (Figure 3) caractérise une tendance globalement déficitaire (de 1985 à 2005). Cependant elle met en évidence deux périodes distinctes :

- une période sèche, de 1985 à 1998 ;
- une période humide de 1999 à 2005.

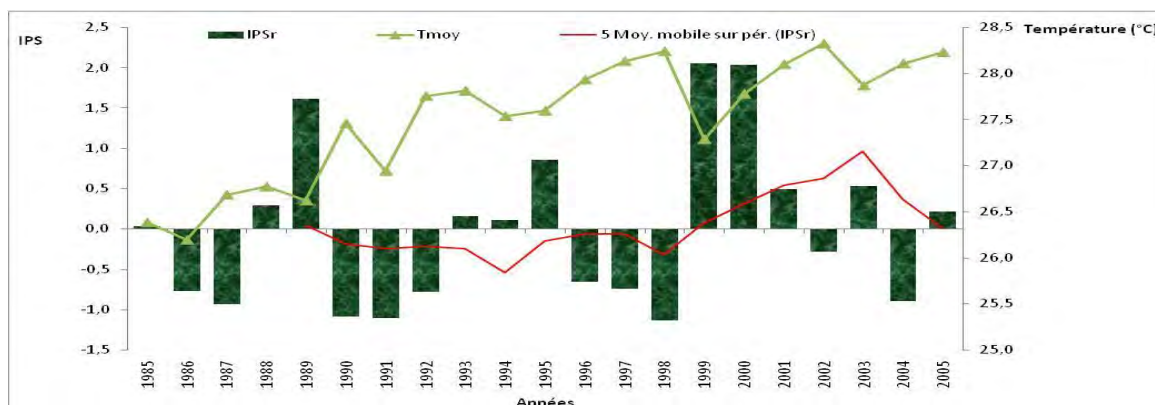


Figure 5: Variation de l'indice pluviométrique (IPS) et de la température au cours de la période de 1985 à 2005.

La zone peu arrosée comprend le secteur de Fatick entre 14° 20' et 14° 08' latitude nord. Les précipitations ont diminué entraînant une variabilité des moyennes des précipitations entre 1921 et 1985 Sadio (1986). Cette moyenne était de 728 mm pour la période 1921 - 1985. De 1985 à 2005, la moyenne a été de 546,83 mm (Thiam, 2008).

La zone moyennement arrosée comprend le secteur de Kaolack et le secteur nord de Foundiougne. Ils sont compris entre 14° 08' et 14° 03' latitude nord et caractérisés par des précipitations oscillant entre 1276 mm (1986) et 305 mm (1983) avec une moyenne de 741 mm (Sadio, 1986). De 1985 à 2005, cette pluviométrie a varié entre 431,22 mm (1998) et 888,15 mm (1999) avec une moyenne de 622,25 mm (Thiam, 2008).

La Zone la plus arrosée comprend le secteur sud de Foundiougne (au sud de la latitude 14° 03') caractérisé par des précipitations se situant entre 1427 et 308 mm au cours de la période 1921 - 1985 (Sadio, 1986) avec une moyenne de 877 mm. De 1931 à 1960, la moyenne des précipitations a été de 893 mm. Elle a diminué à 637 mm pour la période 1961 - 1985. De 1985 à 2005, la pluviométrie a oscillé entre 428,6 mm (1998) et 921,9 mm (2000) pour une moyenne de 668,4 mm (Thiam, 2008).

## **2-2-2 Distribution des tannes en fonction des unités géomorphologiques dans les différentes zones d'études**

### **A) La zone peu arrosée**

Tableau 3 : Pourcentage des tannes observées sur les différentes unités géomorphologiques le long des transects en fonction de la pente et de la hauteur.

| Transects    | Unités géomorphologiques | Pourcentage des tannes | Pente en % | Hauteurs moyenne (m) |
|--------------|--------------------------|------------------------|------------|----------------------|
| Loul-sessène | Terrasse haute           | 22                     | 1,46       | 5,9858               |
|              | Terrasse moyenne         | 33                     | -0,15      | 5,9645               |
|              | Terrasse basse           | 44                     | -0,083     | 5,956                |
| Ngane        | Terrasse haute           | 16,6                   | 3,9        | 9,957                |
|              | Terrasse moyenne         | 50                     | 3,9        | 9,930                |
|              | Terrasse basse           | 33                     | 3,9        | 9,930                |

Sur le transect de Ngane, 50% des tannes sont localisés au niveau de la terrasse moyenne pour une altitude moyenne de 9,330 mètres et une pente moyenne de 3.9% et 33% des tannes se trouvent au niveau de la terrasse basse pour une altitude moyenne 9,330 et une pente moyenne de 3,9%. Nous constatons une forte hétérogénéité de tannes qui est caractérisée par un pourcentage élevé de tannes au niveau de la terrasse moyenne par rapport aux autres.

En revanche sur celui de Loul sessène 33% de tannes se situent au niveau de la terrasse moyenne pour une altitude moyenne de 5,9645 mètres avec une pente moyenne de - 0,15% et 44% sur la terrasse basse pour une altitude moyenne de 5,956 avec une pente moyenne -0,083%. Ici la forte hétérogénéité des tannes est constatée au niveau de la terrasse basse.



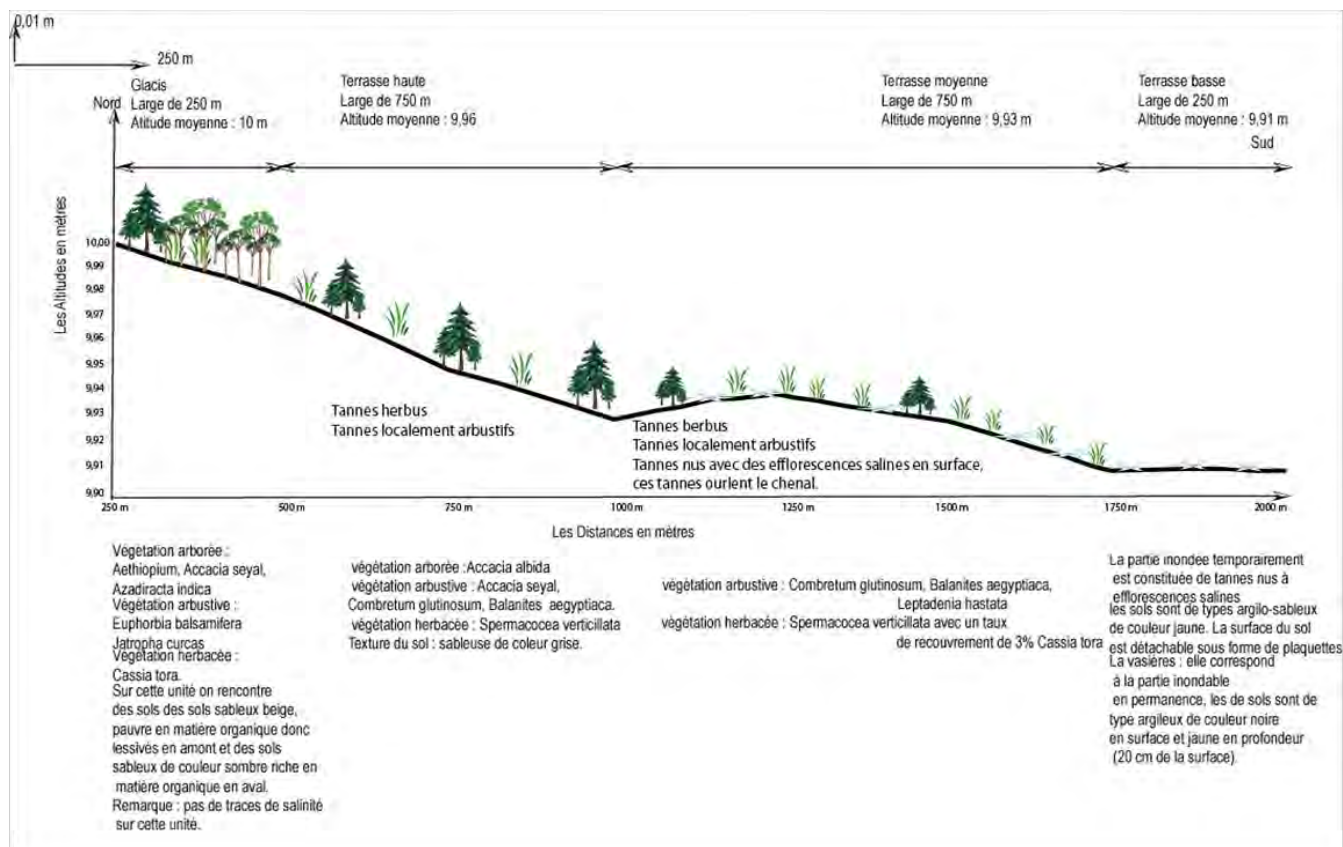


Figure 7 Transect Ngane.

## B) La zone moyennement arrosée

Tableau 4 : Pourcentage des tannes observées sur les différentes unités géomorphologiques le long des transects en fonction de la pente et de la hauteur.

| Transects      | Unités géomorphologiques | Pourcentage des tannes | Pente en % | Hauteur moyenne (m) |
|----------------|--------------------------|------------------------|------------|---------------------|
| Fimela-Simal   | Terrasse haute           |                        | 1,5        | 3,9949 m            |
|                | Terrasse moyenne         | 67                     | 1,5        | 3,9923 m            |
|                | Terrasse basse           | 33                     | 0,5        | 3,9906 m            |
| Simal-axe      | Terrasse haute           |                        | 1,55       | 3,9882m             |
|                | Terrasse moyenne         | 60                     | 0          | 3,9680 m            |
| Diofior Fimela | Terrasse basse           | 40                     | 1,5        | 3,95580 m           |

Au niveau du transect Fimela-Simal la différence altimétrique entre la terrasse moyenne et la basse terrasse est de l'ordre de 0.0017 mètre et 1% pour la pente ainsi la différence de pourcentage de tannes est de 44%

Pour le transect Simal - Diofior Fimela la différence d'altitude entre la terrasse moyenne et la terrasse basse est de 0,0122 mètre et -1.5% pour la pente, on observe une différence de pourcentage de tannes de 20%.

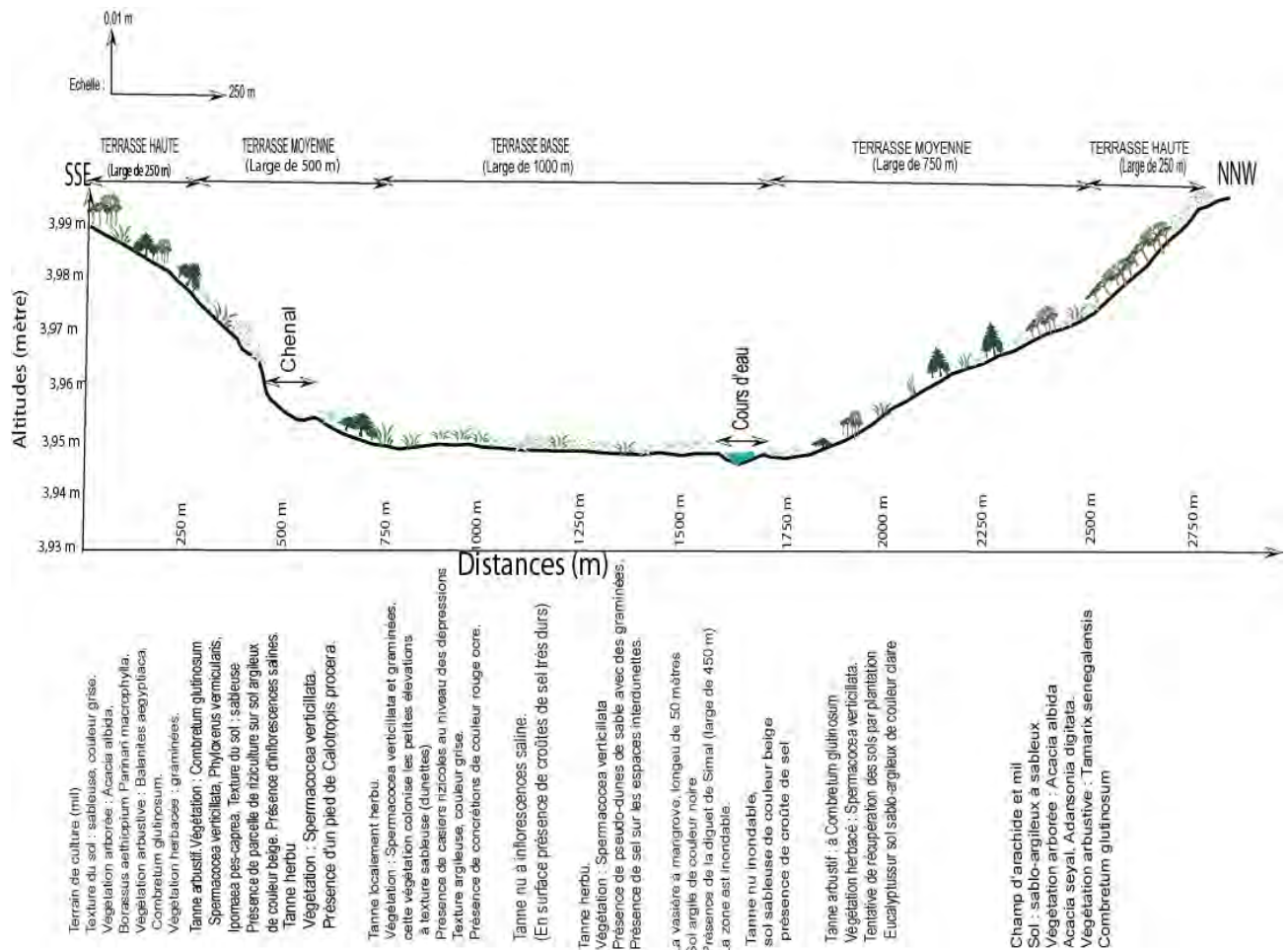


Figure 8 : Transect Fimela-Simal

### C) La zone la plus arrosée

Tableau 5 : Pourcentage des tannes observées sur les différentes unités géomorphologiques le long des transects en fonction de la pente et de la hauteur.

| transects | Unités géomorphologiques | Pourcentage des tannes | pente | Hauteur moyenne (m) |
|-----------|--------------------------|------------------------|-------|---------------------|
| Djilôr    | Terrasse haute           | 38                     | 3,7   | 9,448               |
|           | Terrasse moyenne         | 23                     | 3,7   | 9,451               |
|           | Terrasse basse           | 38                     | 3,7   | 9,445               |
| Ndiafatte | Terrasse haute           | 30                     | 2,4   | 5,9780              |
|           | Terrasse moyenne         | 40                     | 0     | 5,9656              |
|           | Terrasse basse           | 30                     | 1,15  | 5,9658              |

Pour le transect de Djilôr, les pourcentages de tannes les plus élevés sont rencontrés au niveau de la terrasse haute et moyenne, il est de l'ordre de 38% contrairement à la terrasse moyenne où l'on note 23% malgré l'uniformité de la pente. En revanche, la différence

d'altitude entre la terrasse haute et basse est 0.003 mètre. Sur ce transect, la terrasse moyenne est moins hétérogène en tannes par rapport à la terrasse haute et basse.

Pour le transect de Ndiatfatte le pourcentage de tannes le plus élevé est rencontré au niveau de la terrasse moyenne où il est de l'ordre de 40% avec une altitude moyenne de 5,9656 mètre et une pente moyenne nulle. Le même pourcentage de tannes 30% est retrouvé au niveau de la terrasse haute et basse avec une différence de 1,25% pour la pente et 0,0122 mètre pour l'altitude. La terrasse moyenne étant plus hétérogène en tannes par rapport à la terrasse haute et basse qui ont le même degré d'hétérogénéité.

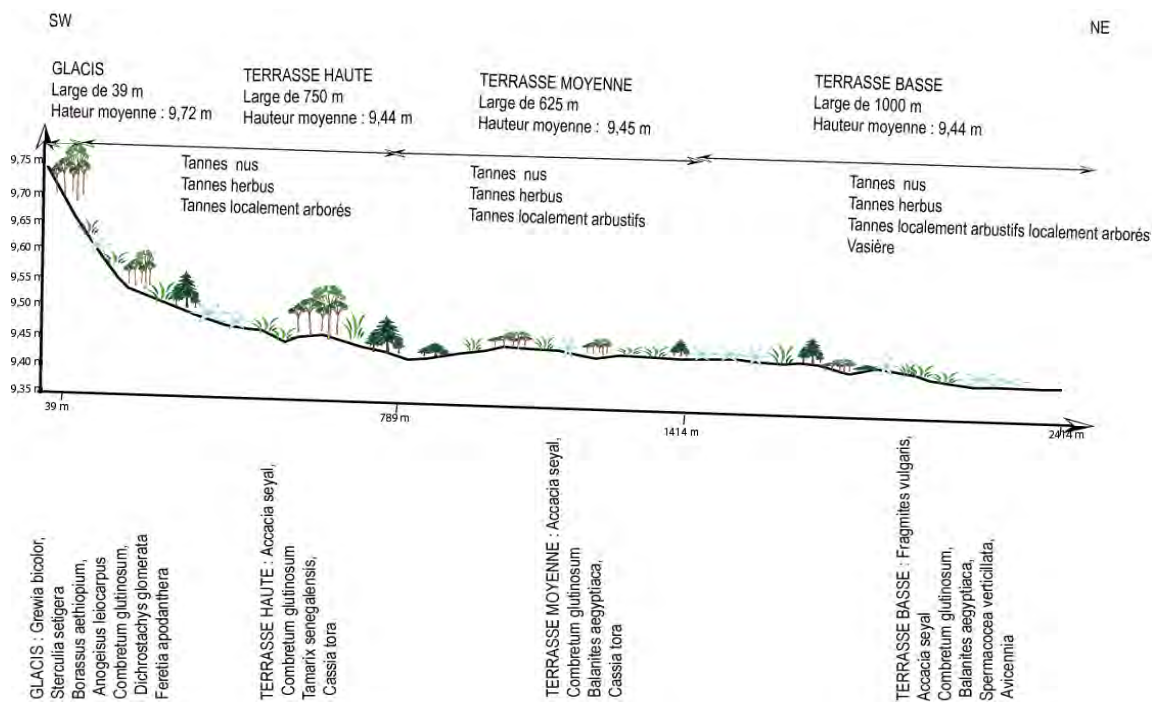


Figure 9: Transect Djilôr

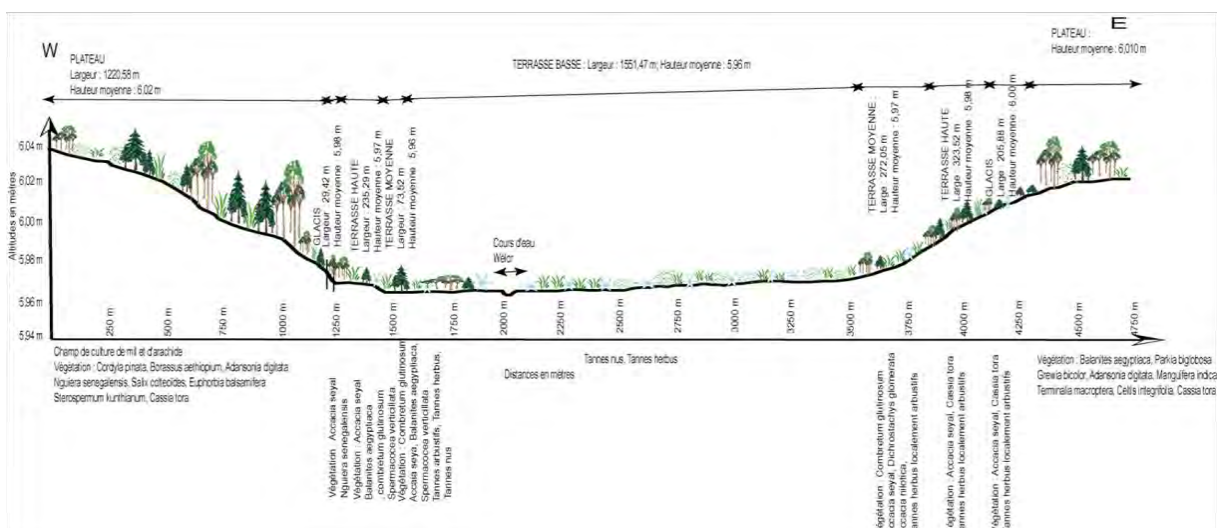


Figure 10 : Transect Ndiatfatte.

### **2-2-3 Identification de la végétation au niveau des différentes unités géomorphologiques des sites expérimentaux**

#### **A) Les terrasses moyennes**

La végétation rencontrée au niveau de la terrasse moyenne de la station de Ndiaffate est composée par les espèces suivantes. Dans ce relevé 27 espèces ont été recensées et réparties dans 13 familles (poacées représentent 25% des espèces recensées, césalpiniacées, rubiacées, asclépiadacées, astéracées, cypéracées, malvacées, mimosacées, amaryllidacées, fabacées, papilionacées, simarubacées tiliacées).

Tableau 6 : Liste des espèces et des familles dans la terrasse moyenne (Ndiaffate). Annexe II.

Cependant dans la station de Ngane 17 espèces ont été recensées et réparties dans 9 familles (poacées représentent 47%, les rubiacées les scrofulariacées, les amarantacées, les convolvulacées, les tiliacées, les césalpiniacées, les mimosacées, et la famille des balanitacées (simarubacées).

Tableau 7 : Liste des espèces et des familles dans la terrasse moyenne (Ngane). Annexe II

#### **B) Les terrasses basses non inondables**

Dans la station de Ndiaffate, la végétation rencontrée au niveau de cette terrasse non inondable est composée par les espèces suivantes voir tableau 8. Sur cette terrasse on y rencontre 19 espèces réparties dans 12 familles (la famille des poacées représente 31% des espèces recensées, cypéracées, asclépiadacées, amarantacées, astéracées, césalpiniacées, fabacée, malvacées, mimosacées, papilionacées, rubiacées et tiliacées.

Tableau 8 : Liste des espèces et des familles dans la terrasse basse non inondable (Ndiaffate). Annexe III.

En revanche dans la station de Ngane 11 espèces ont été recensées et réparties dans 7 familles (les poacées représentent 38% des espèces recensées), les fabacées, les rubiacées, les amaranthacées, les cypéracées et les asclépiadacées Les espèces ont été recensées et réparties dans 7 familles

Tableau 9 : Liste des espèces et des familles dans la terrasse basse non inondable (Ngane). Annexe III

#### **C) Les terrasses basses inondables**

Dans le site de Ndiaffate, aucune espèce n'a été recensée au niveau de la terrasse basse inondable. Contrairement à la station de Ngane où l'on note la présence de dunettes sur lesquelles 13 espèces ont été recensées et réparties dans 7 familles : les poacées, représentant 38% des espèces recensées, les amaranthacées, les cypéracées, les labiées, les rubiacées, les balanitacées et les tiliacées.

Tableau 10 : Liste des espèces et des familles dans la terrasse basse inondable (Ngane).  
Annexe IV.

## **2-2-4 Caractérisation des phénomènes de salinisation, d'alcalinisation et d'acidification dans les différentes unités géomorphologiques.**

### **A) Les Terrasses moyennes.**

Station de Ndiaffate

La tranche 0-45 cm

Dans cette tranche, le caractère légèrement salin peut s'expliquer par leur position topographique, la texture (limono- sableuse) et structure (Figure 11 A). Les histogrammes des pourcentages des cations présentent des allures très variables avec des tendances croissantes pour les cations  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  et décroissante pour  $\text{Mg}^{2+}$  et  $\text{K}^+$ . (Figure 12 A).

SAR, ESP et SSP présentent tous une tendance croissante du profil 1 au profil 5 pour les différentes tranches de profondeurs. Les faibles valeurs du SAR et l'ESP donnent des indications sur la composition cationique de la solution du sol et traduisent une salinisation sodique favorable aux phénomènes d'alcalinisation. (Figure 13 A).

Les valeurs observées du rapport  $\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$  sont inférieures à 3 pour l'ensemble des cinq points de sondage effectués au niveau de la terrasse pour une profondeur de 0-45 cm et indiquent une salinisation chloruro-sulfatée. (Figure 14 A)

La tranche 45-150 cm

Au niveau de cette tranche de profondeur on note une certaine variabilité de la salinité (Figure 11 B). Ainsi nous pouvons dire que l'augmentation de la salinité au niveau de la tranche 45 - 150 est provoqué par les effets conjugués de la durée mise par les eaux de drainage qui sont chargées de sels solubles, de composés organiques agressifs et mobiles et des phénomènes d'évaporation. Les histogrammes des pourcentages des cations présentent des allures très variables avec des tendances croissantes pour les cations  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  et  $\text{K}^+$  et décroissante pour le pour  $\text{Ca}^{2+}$ . (Figure 12 B). D'amont en aval, on observe une diminution des valeurs du SAR, du ESP et du SSP jusqu'au niveau du profil 3. Du profil 3 au profil 5, on assiste à une augmentation des valeurs du SAR, du ESP et du SSP. Les valeurs maximales sont enregistrées au niveau du profil 5 et les minima au niveau du profil 3. (Figure 13 B).

Le taux de sodicité ainsi que la conductivité électrique et le rapport  $\text{Cl}^- / \text{SO}_4^{2-}$  présentent une tendance croissante d'amont en aval et la salinisation observée est chloruro-sulfatée étant donné que les valeurs du rapport  $\text{Cl}^- / \text{SO}_4^{2-}$  sont inférieures à 3. (Figure 14 B)

La tranche 150-280 cm

La proximité des nappes joue un rôle assez déterminant sur la salinité des couches en profondeurs ainsi que la texture des couches. Les histogrammes des pourcentages des cations présentent les mêmes allures observées au niveau de la tranche sus-jacente (45-150 cm).

(Figure 12 C). Dans cette tranche de profondeur, le SAR et le ESP varient dans le même sens, cependant, le pourcentage de sodium soluble est très variable le long de la topo séquence. (Figure 13 C) Les valeurs du rapport Cl/SO<sub>4</sub> sur l'ensemble des profils de la tranche 150-280 restent toujours inférieures à trois indiquant alors une salinisation à tendance chloruro-sulfatée. Les faibles valeurs du taux de sodicité et de la conductivité électrique observées au niveau du profil 3 semblent être expliquées par son altitude. Le profil 3 se situe au niveau d'une dépression lieu, d'accumulation des eaux de ruissellement favorisant alors un lessivage vertical. (Figure 14 C)

#### La tranche 280-nappe

Dans cette tranche de profondeur, on assiste à une augmentation du caractère de salinité. Ainsi nous pouvons dire que l'augmentation de la salinité des couches profondes est commanditée par la proximité de la nappe (Figure 11 D). Les histogrammes des pourcentages des cations présentent des allures très variées avec des tendances croissantes pour les Na<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup> et K<sup>+</sup> et décroissante pour le cation Ca<sup>2+</sup>. (Figure 12 D). Les histogrammes du SAR, de l'ESP et du SSP ont la même allure avec une tendance croissante d'amont en aval (Figure 13 D) Les histogrammes de Ce, Cl-/SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> et du rapport (Na/T)\*100 présentent la même allure avec une tendance croissante d'amont en aval de la topo séquence (Figure 14 D). Plus qu'on se rapproche de la terrasse basse plus les valeurs du Ce deviennent très importantes ainsi que le taux de sodicité avec une salinisation chloruro-sulfatée.

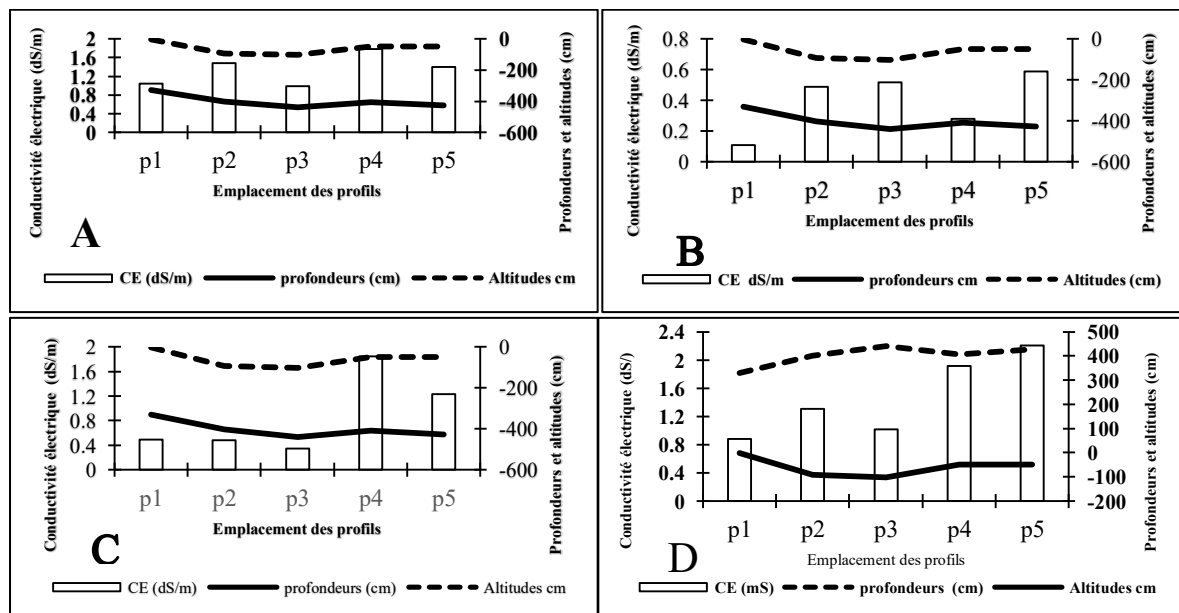


Figure 11: Evolution de la salinité en fonction de la profondeur et de l'altitude au niveau de la terrasse moyenne (Ndiaffate). A : Profondeur de 0-45 cm; B : Profondeur de 45-100 cm; C : Profondeur de 100-280 cm; D : Profondeur de 280-nappe.

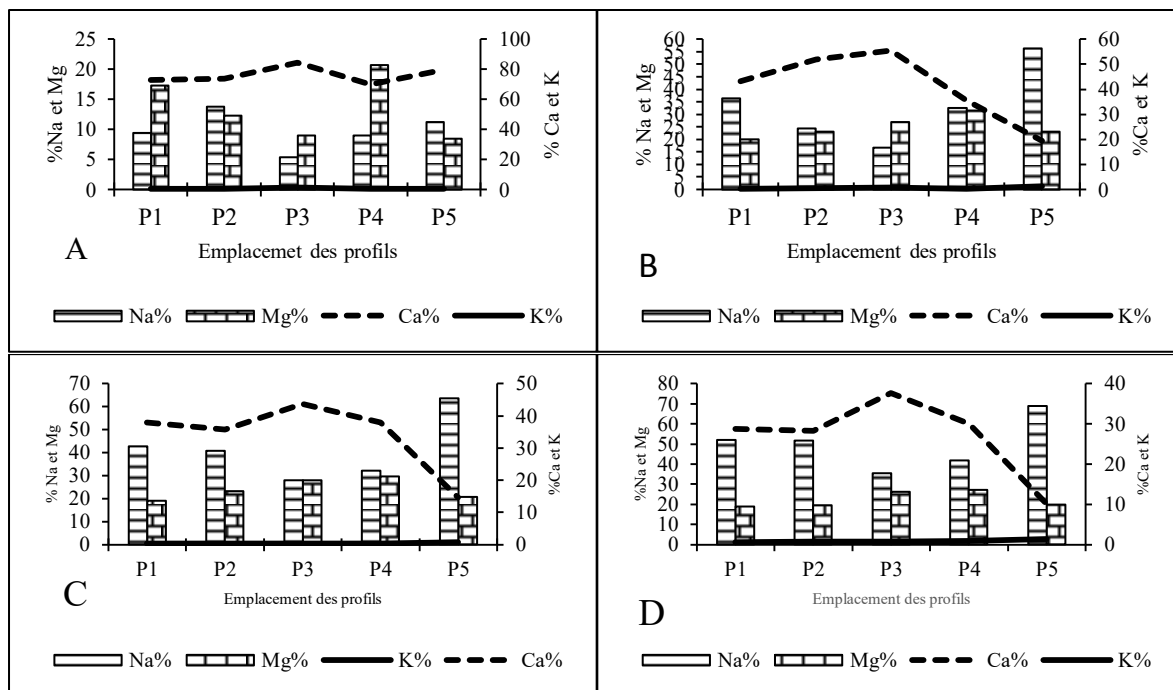


Figure 12: Evolution du pourcentage des cations en fonction de la profondeur dans la terrasse moyenne (Ndiaffate). A : Profondeur de 0-45 cm; B : Profondeur de 45-150 cm; C : Profondeur de 150-280 cm; D : Profondeur de 280-nappe.

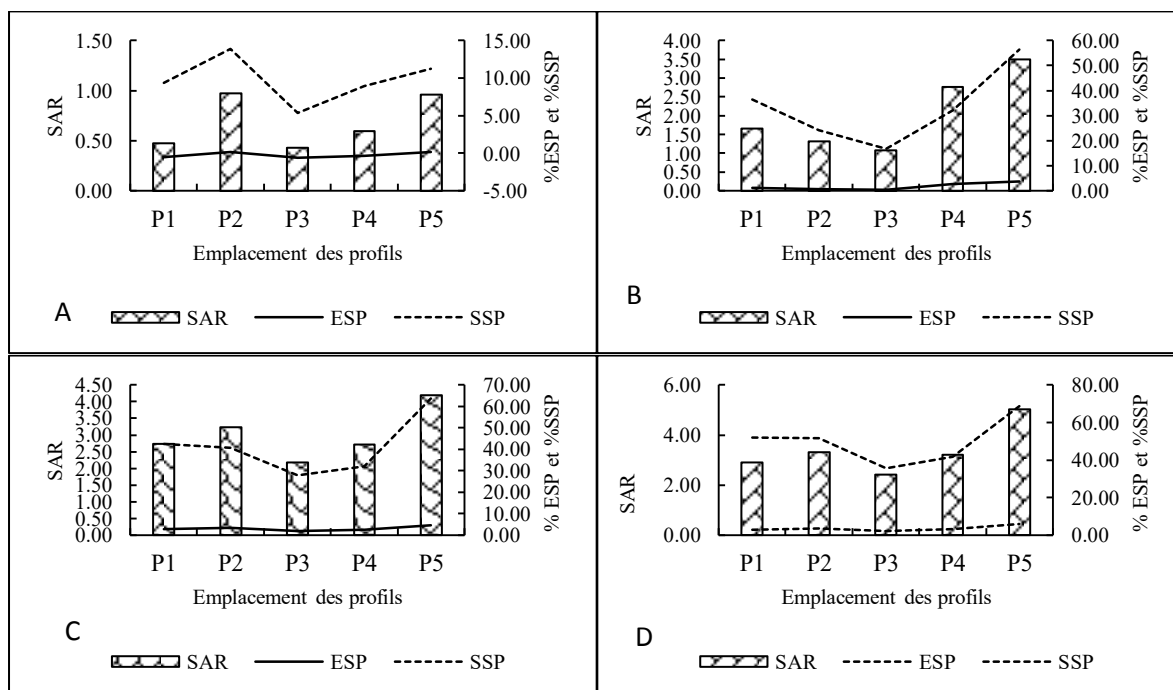


Figure 13 : Evolution du SAR, de l'ESP et du SSP en fonction de la profondeur de la profondeur dans la terrasse moyenne (Ndiaffate). A : Profondeur de 0-45 cm ; B : Profondeur de 45-150 cm ; C : Profondeur de 150-280 cm ; D : Profondeur de 280-nappe.

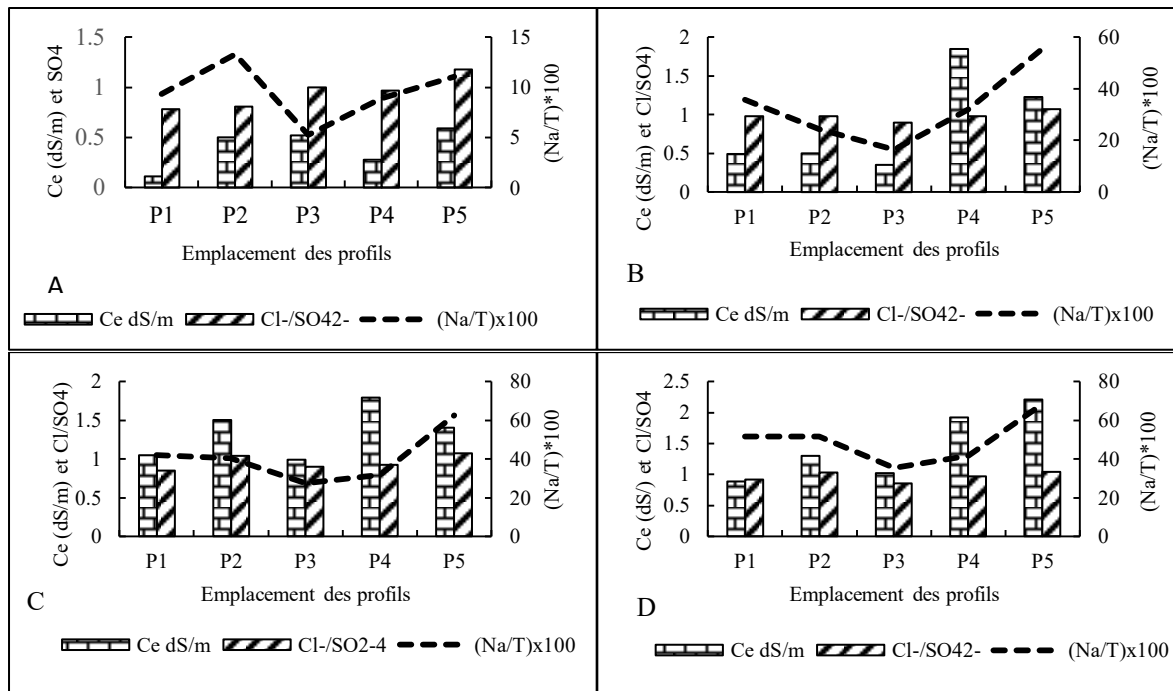


Figure 14 : Evolution du CE (dS/m), du  $\text{Cl}/\text{SO}_4^{2-}$  et du  $(\text{Na}/\text{T}) \times 100$  en fonction de la profondeur dans la terrasse moyenne (Ndiaffate). A : Profondeur de 0-45 cm. B : Profondeur de 45-150 cm. C : Profondeur de 150-280 cm. D : profondeur de 280- nappe.

#### Station de Ngane

##### La tranche 0-45 cm.

Deux gammes de salinité ont été enregistrées : la gamme non saline pour le profil 1 et la gamme légèrement saline pour le profil 2. (Figure 15 A). Les histogrammes des pourcentages des cations présentent des allures très variables avec des tendances croissantes pour les cations  $\text{Na}^+$  et  $\text{Mg}^{2+}$  du profil 1 au profil 2 et décroissantes pour les cations  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{K}^+$ . (Figure 16 A) Les histogrammes du SAR, de l'ESP, du pourcentage de SSP, du CE (dS/m) et la courbe du taux de sodicité  $(\text{Na}/\text{T}) \times 100$  présentent tous des allures croissantes du profil au profil 2. (Figure 17 A) Cependant le rapport  $\text{Cl}/\text{SO}_4$  présente une tendance décroissante de P1 vers P2 pour des valeurs inférieures 3 indiquant ainsi une salinisation chloruro-sulfaté. (Figure 18 A)

##### Tranche 45-100 cm.

Au niveau de cette tranche de profondeur, deux gammes de salinité ont été enregistrées : une gamme non saline pour le profil 1 et la gamme excessivement saline pour le profil 2 (Figure 15 B) Les figures des pourcentages des cations présentent des allures variées avec des tendances croissantes du profil 1 vers le profil 2 pour les cations  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  et  $\text{K}^+$ , décroissantes pour le cation  $\text{Ca}^{2+}$ . (Figure 16 B)

Les histogrammes du SAR, ESP (Figure 17 B), CE (dS/m) et du taux de sodicité  $(\text{Na}/\text{T}) \times 100$  (Figure 18 B) présentent des tendances croissantes du profil 1 au profil 2. La

tendance décroissant est enregistrée au niveau du rapport Cl/SO<sub>4</sub> et les valeurs observées toujours inférieures à 3 caractérisant une salinisation chloruro-sulfaté.

Tranche 100-nappe.

Deux gammes de salinités ont été mises en évidence une gamme légèrement saline pour le profil 1 et excessivement saline pour le profil 2. (Figure 15 C). L'histogramme des cations présente des allures variées du profil 1 au profil 2 avec des tendances croissantes pour les cations Na<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup> et K<sup>+</sup> et décroissante pour le Ca<sup>2</sup> (Figure 16 C)

Les allures des histogrammes du SAR, de l'ESP, du pourcentage de SSP (Figure 17 C), CE (dS/m), Cl/SO<sub>4</sub> et du (Na/T)\*100 (Figure 18 C) sont identiques à celles observées aux deux premières tranches. Au voisinage de la nappe, la conductivité électrique, le rapport Cl/SO<sub>4</sub> ainsi le taux de sodicité augmente, en revanche la salinisation chloruro-sulfatée reste toujours la même.

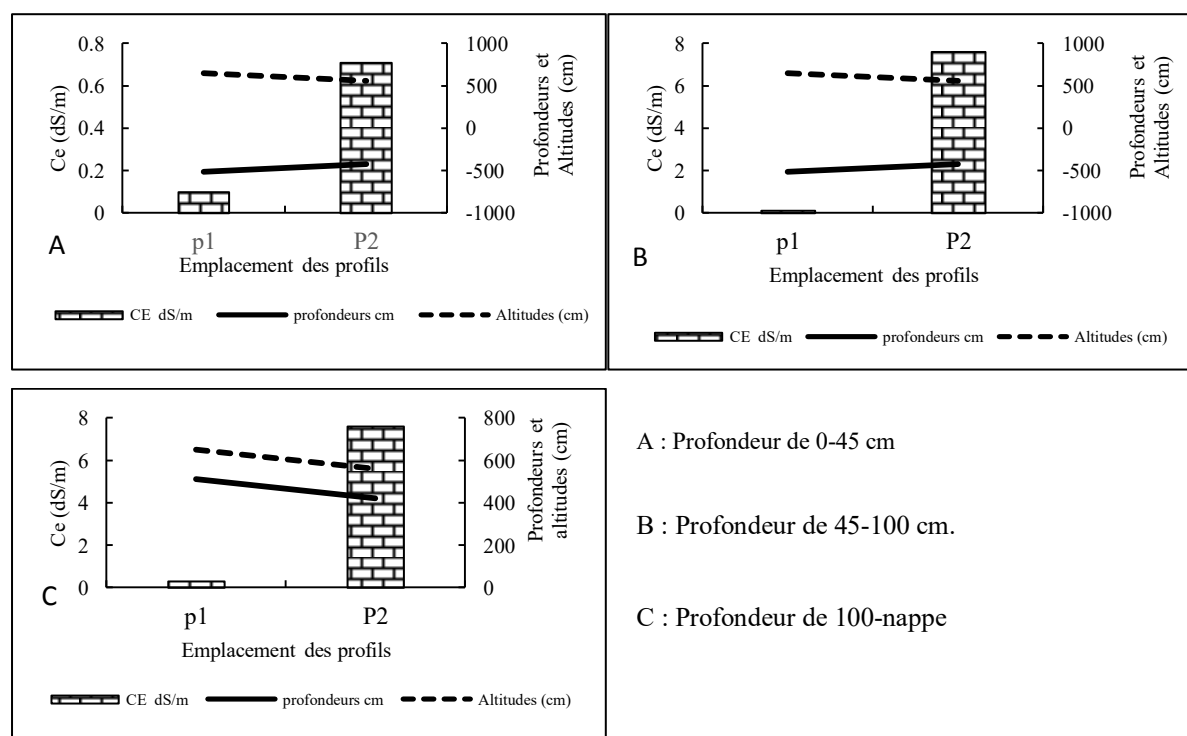


Figure 15 : Evolution de la salinité en fonction de la profondeur et de l'altitude au niveau de la terrasse moyenne (Ngane)

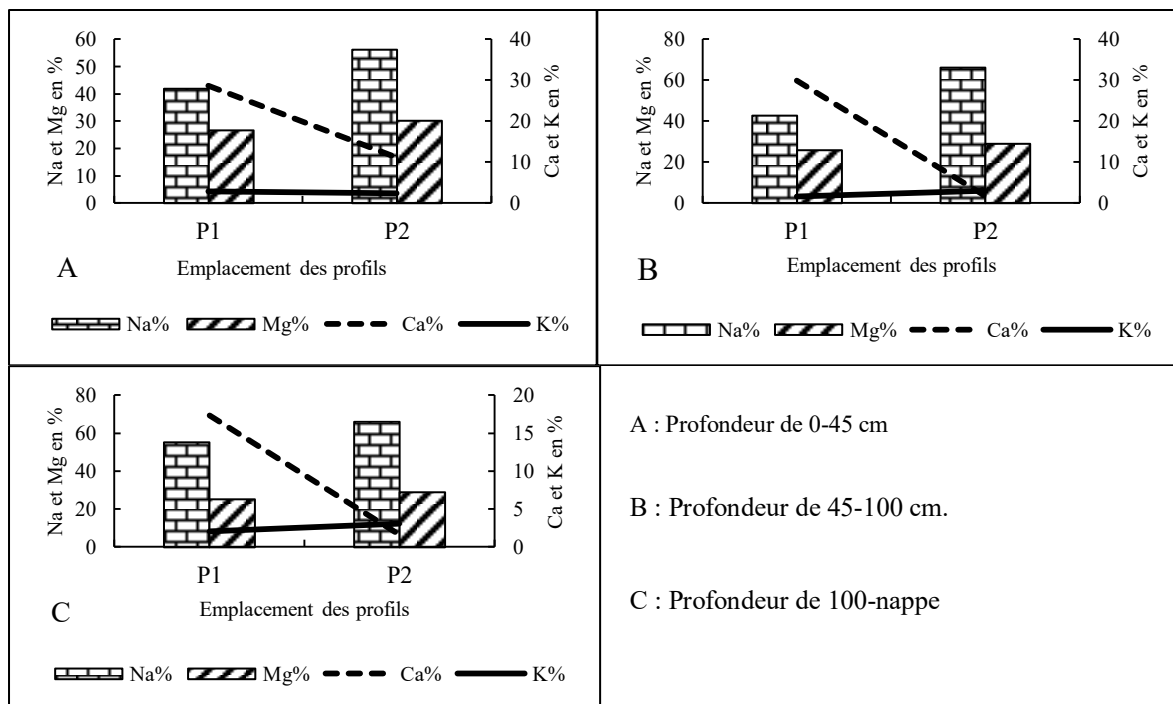


Figure 16 : Evolution du pourcentage des cations en fonction de la profondeur dans la terrasse moyenne (Ngane)

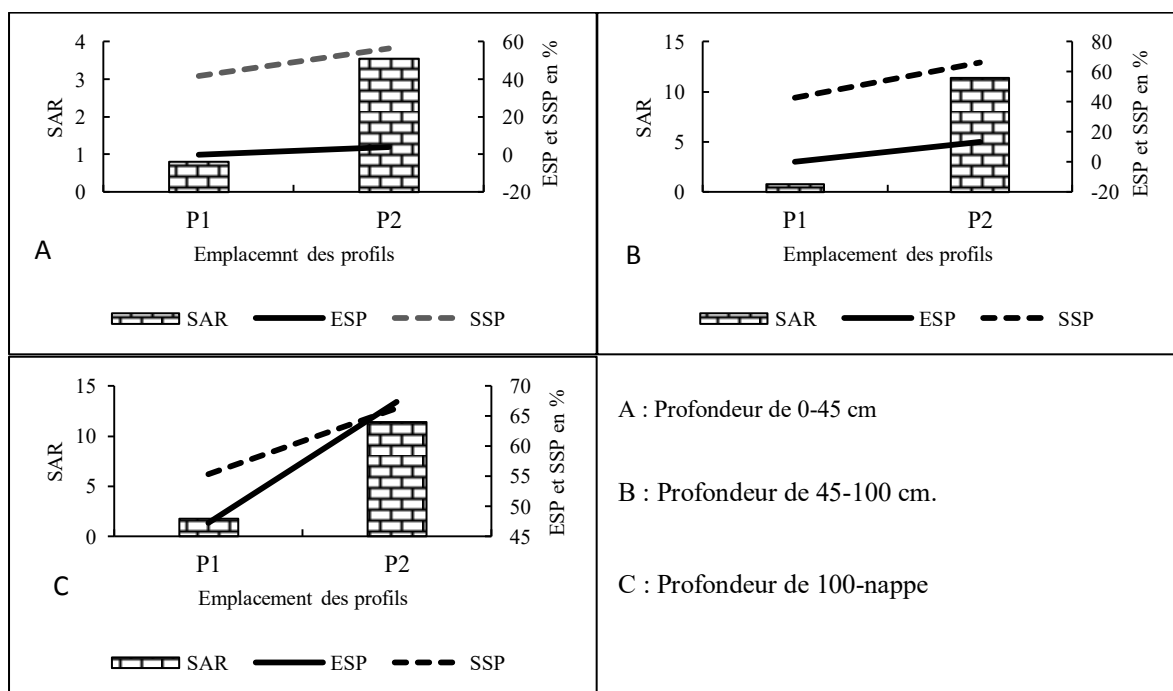


Figure 17 : Evolution du SAR, du ESP et du SSP en fonction de la profondeur dans la terrasse moyenne (Ngane)

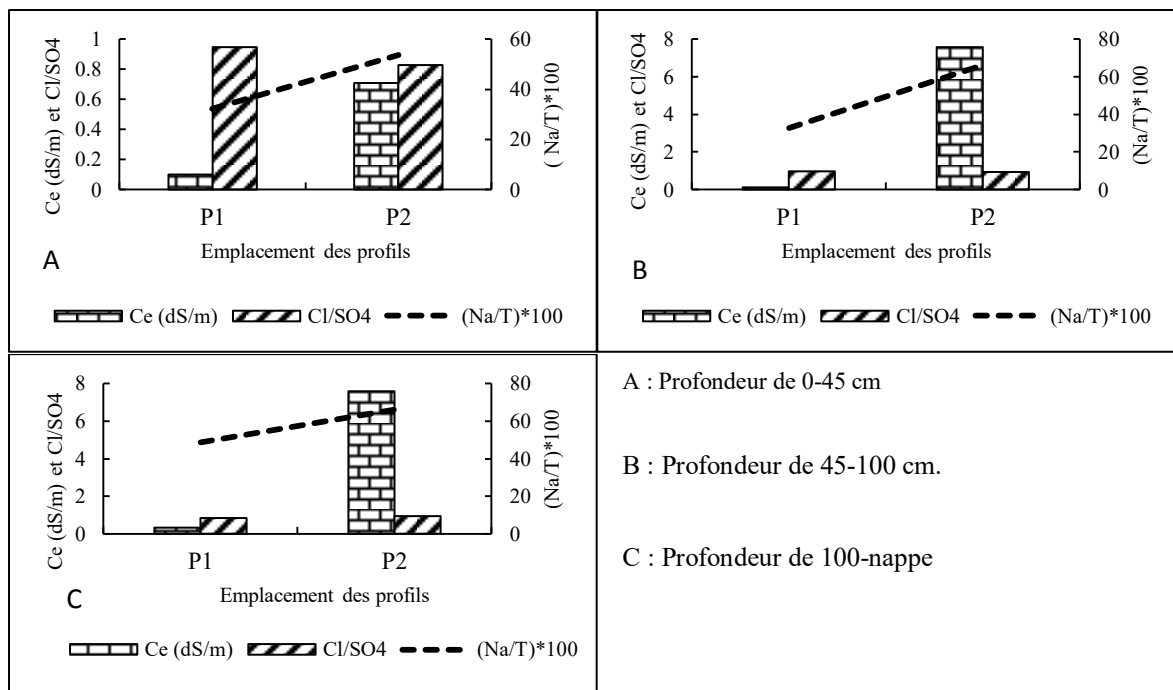


Figure 18 : Evolution du CE (dS/m), du  $\text{Cl}/\text{SO}_4^{2-}$  et du  $(\text{Na}/\text{T}) \cdot 100$  en fonction de la profondeur dans la terrasse moyenne (Ngane)

### B) La terrasse basse non inondable

Station de Ndiaffate

Tranche 0 - 45 cm

En surface, la topographie joue un rôle sur le caractère de salinité de cette tranche par une accumulation des eaux de ruissellement chargées de sels solubles. (Figure 19 A)

Les histogrammes de la (Figure 20 A) révèle que d'amont en aval, les pourcentages des cations  $\text{Na}^+$ , et  $\text{K}^+$  présentent des tendances croissantes et ceux  $\text{Mg}^{2+}$  et  $\text{Ca}^{2+}$  des tendances décroissantes. Les histogrammes du SAR, ESP, de la courbe du SSP, du CE (dS/m), du  $\text{Cl}/\text{SO}_4$  et du rapport  $\text{Na}/\text{T}$  présentent des allures très variées.

Les tendances décroissantes sont observées pour SSP (Figure 21 A) et pour CE (dS/m) et  $\text{Cl}/\text{SO}_4$  (Figure 22 A). En revanche les tendances croissantes pour SAR et ESP. (Figure 21 A et  $(\text{Na}/\text{T}) \cdot 100$  (Figure 22 A). La salinisation est chloruro-sulfaté sur l'ensemble des profils exception faite pour le profil 6 qui présente une salinisation chlorurée avec le taux de sodicité le plus élevé.

Tranche 45-150 cm

Au niveau de cette tranche, les sels contenus dans ces eaux se cristallisent au niveau de cette tranche c'est ce qui explique son caractère excessivement salin contrairement à la couche 0 - 45 cm qui est très salin. Ce même phénomène est observé pour le profil 14. (Figure 19 B)

Les histogrammes de la Figure 20 B présentent des allures très variées avec des tendances croissantes pour les cations  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  et  $\text{K}^+$  ; décroissante pour  $\text{Ca}^{2+}$ .

Les histogrammes du taux de sodium adsorbable, le pourcentage de sodium échangeable ainsi que le pourcentage de solubilité de sodium présentent des allures presque similaires avec des tendances croissantes (Figure 21 B). Les valeurs du Ce (dS/m), du Cl/SO<sub>4</sub> et de la courbe Na/T sont très variées d'un profil à l'autre le long du topo séquence de la terrasse basse non inondable. Les tendances observées sont croissantes pour le Ce (dS/m) et le Na/T et décroissante pour le Cl/SO<sub>4</sub>. (Figure 22 B) La salinisation enregistrée présente une tendance chloruro-sulfaté.

#### Tranche 150-280 cm

Les valeurs des conductivités électriques au niveau de la tranche 150 - 280 cm commanditées par la proximité de la nappe. (Figure 19 C). Le cation Na<sup>+</sup> est généralement prédominant sur l'ensemble des neuf points de sondage à l'exception du profil 7 où le pourcentage de Ca<sup>2+</sup> devient prédominant. (Figure 20 C). Les valeurs du SAR, de l'ESP et du SSP présentent les mêmes allures avec des tendances croissantes. (Figure 21 C). Les histogrammes du Ce (dS/), du Cl/SO<sub>4</sub> et de la courbe Na/T présentent des allures très variées avec une tendance croissante d'amont en aval du topo séquence. (Figure 22 C) La forme de salinisation enregistrée avec les données du rapport Cl/SO<sub>4</sub> est chloruro-sulfaté.

#### Tranche 280-nappe

Etant donné que ces couches profondes sont sous l'influence de ces eaux de nappe, la variabilité de leurs caractères salins le long du topo séquence suit la variabilité du taux de salinité de ces eaux de nappes (Figure 19 D). Le pourcentage de Na<sup>+</sup> est partout dominant sur l'ensemble des profils du topo séquence de la terrasse basse non inondable.

Deux cas d'ordre de succession des cations ont été observés : Un premier cas caractérisé par la prédominance du cation Na<sup>+</sup> suivi du Mg<sup>2+</sup> et un second cas avec une prédominance du cation Na<sup>+</sup> suivi par le Ca<sup>2+</sup> (Figure 20 D).

L'observation de des figures combinées du SAR, de l'ESP et la courbe du SSP (Figure 21 D) ainsi que celles du Ce (dS/m), du Cl/SO<sub>4</sub> et de la courbe du pourcentage du (Na/T)\*100 (Figure 22 D) montre que ces paramètres ont les mêmes allures avec des tendances croissantes La salinisation observée est chloruro-sulfaté.

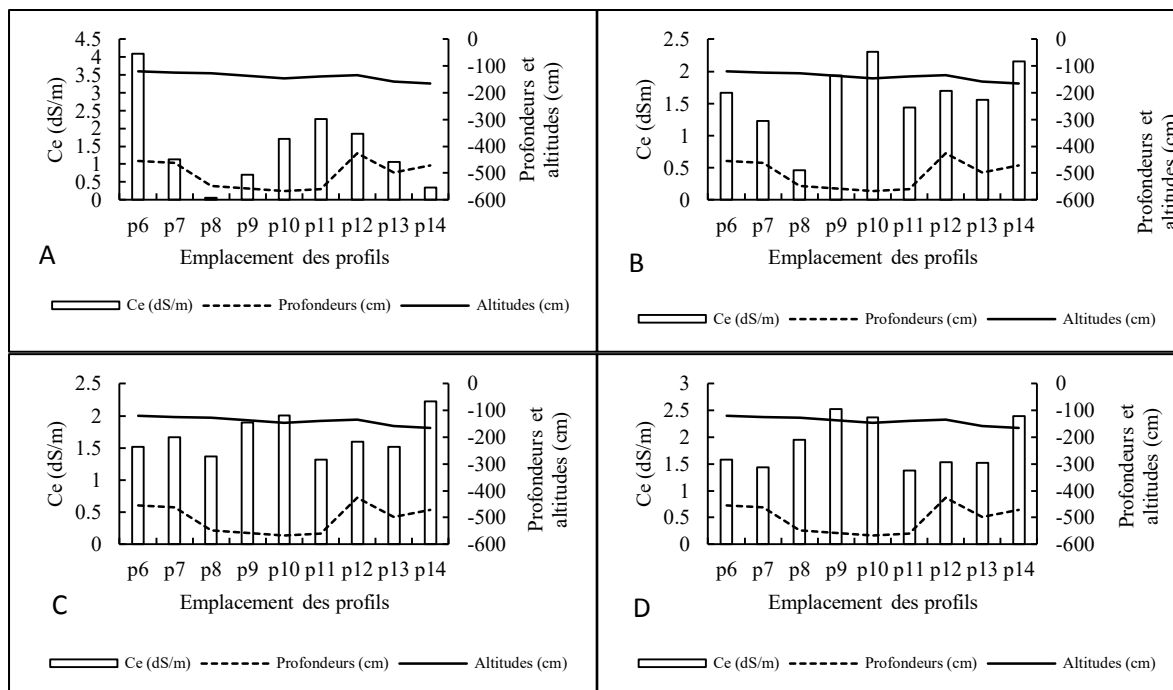


Figure 19 : Evolution de la salinité en fonction de la profondeur et de l'altitude au niveau de la terrasse basse non inondable (Ndiaffate). A : Profondeur 0-45 cm. B : Profondeur 45-150 cm. C : Profondeur 150-280 cm. D : Profondeur 280-nappe

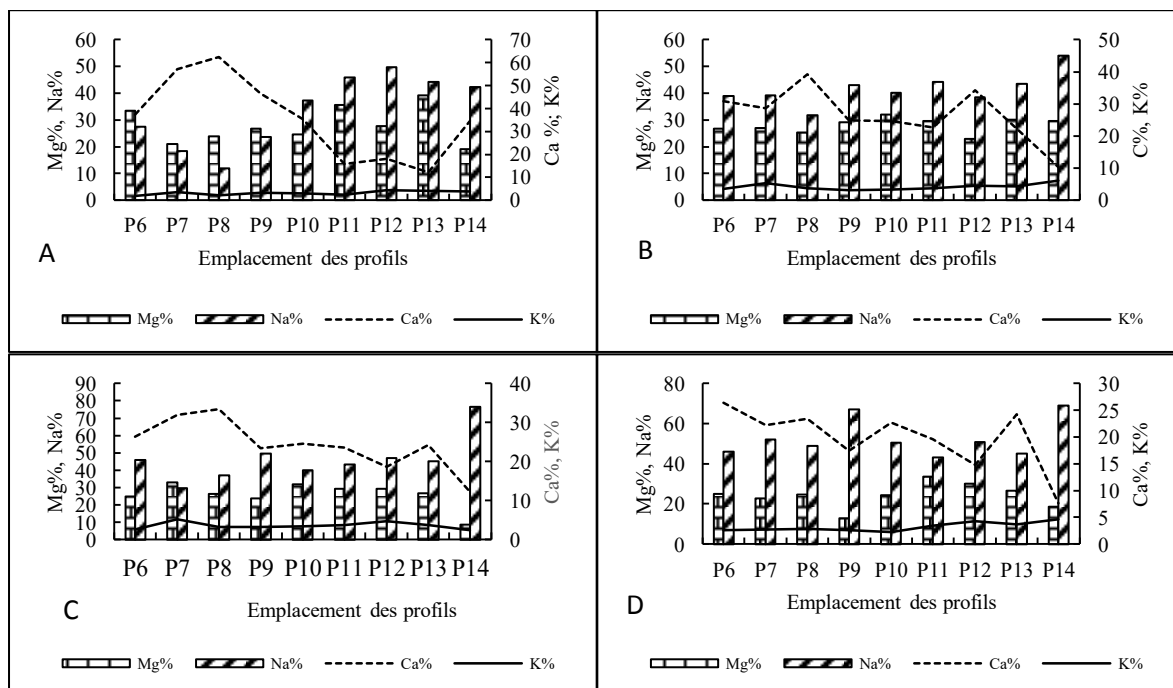


Figure 20 : Evolution des pourcentages des cations au niveau de la terrasse basse non inondable (Ndiaffate). A : Profondeur 0-45 cm. B : Profondeur 45-150 cm. C : Profondeur 150-280 cm. D : Profondeur 280-nappe

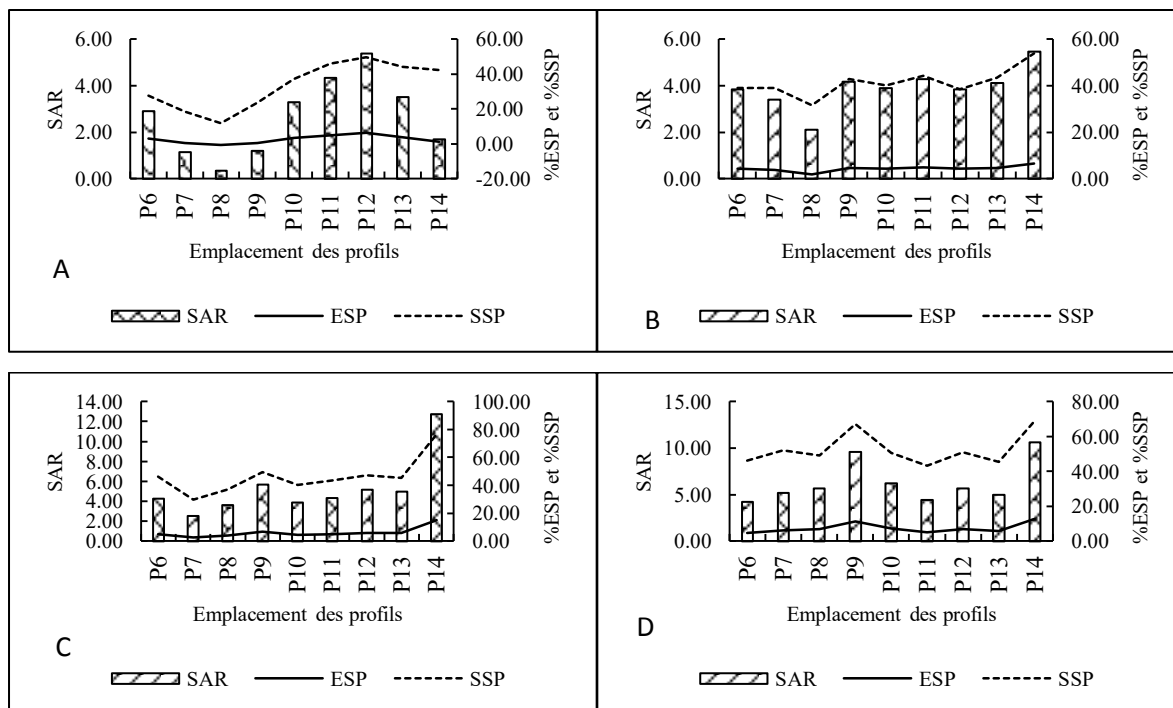


Figure 21 : Evolution du SAR, SSP et ESP dans la terrasse basse non inondable (NdiAffate)  
A : Profondeur 0-45 cm. B : Profondeur 45-150 cm. C : Profondeur 150-280 cm. D : Profondeur 280-nappe

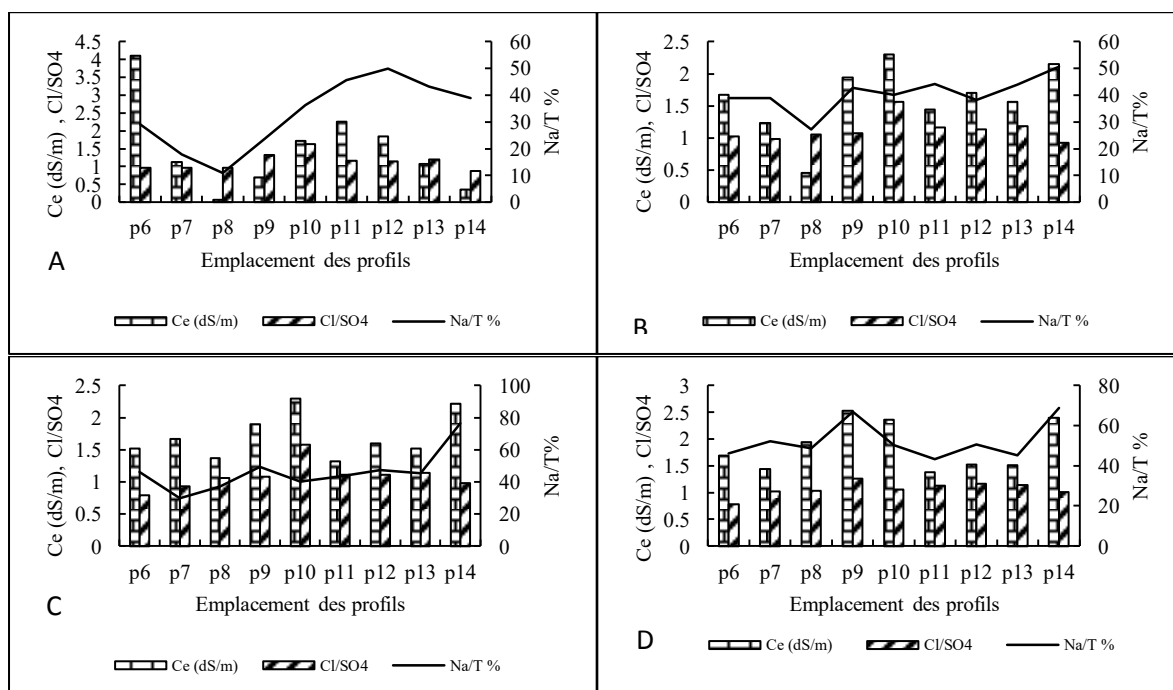


Figure 22 : Evolution du CE (dS/m), Cl/SO4 et du Na/T dans la terrasse basse non inondable  
A : Profondeur 0-45 cm. B : Profondeur 45-150 cm. C : Profondeur 150-280 cm. D : Profondeur 280-nappe

#### Station de Ngane Tranche 0-45 cm

Dans cette tranche de profondeur, deux gammes de salinités ont été enregistrées une gamme légèrement saline pour le profil 7 et moyennement saline pour les profils 3 et 4.

Le long de la topo séquence, les histogrammes des CE (dS/m), la courbe des profondeurs des nappes .(Figure 23 A), des cations  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$  (Figure 25 A), du SSP%, ESP% et la courbe du SAR (Figure 25 A) présentent des tendances croissantes et inversement proportionnelles au gradient de pente.

En revanche le cation  $Na^+$  et la courbe du taux de sodicité  $(Na/T)*100$  présentent des allures décroissantes (Figure 26 A). Le type de salinisation observé chloruro-sulfaté ( $Cl/SO_4 < 3$ )

#### Tranche 45-100 cm

Les histogrammes des valeurs de CE (dS/m) et les courbes des profondeurs des nappes et des altitudes présentent les mêmes allures que celles de la figure de la tranche ci-dessus, le long du topo-séquence (Figure 23 B) (Figure 24 B) Au niveau de cette tranche de profondeur, le comportement des cations, des paramètres SAR, ESP, SSP (Figure 25 B), Ce (dS/m),  $Cl/SO_4$ , le taux de sodicité  $(Na/T)*100$  (Figure 26 B), le type de salinisation ainsi que le mode de salinisation sont identiques a ceux observés pour la tranche 0-45 cm.

#### Tranche 100-nappe

Dans cette tranche de profondeur, les allures de ces paramètres restent inchangées, la seule différence observée est une évolution du CE (dS/m) en fonction de la profondeur. (Figure 23 C). Les cations  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$  et  $K^+$  (Figure 24 C) présentent des tendances croissantes de même que les paramètres ESP%, SSP% et SAR (Figure 25 C). Cette tendance croissante est aussi observée Pour ces paramètres Ce (dS/),  $Cl/SO_4$  et  $(Na/T)*100$  (Figure 26 C). Cependant le cation  $Mg^{2+}$  présente une tendance décroissante. Le type de salinisation observé chloruro-sulfaté

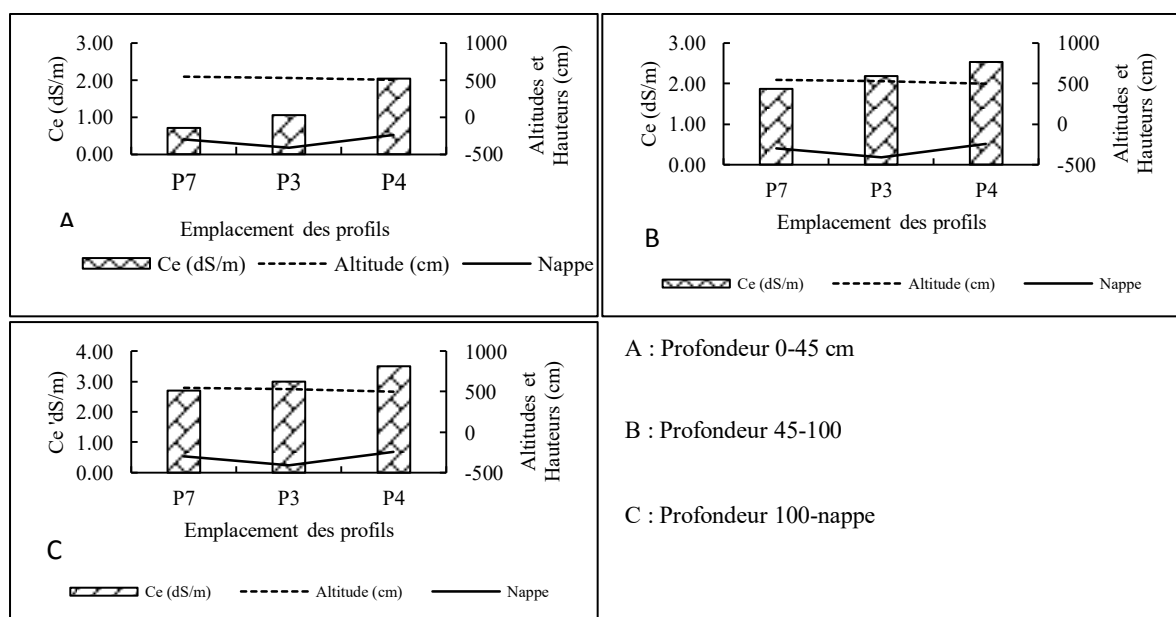


Figure 23 : Evolution de la salinité en fonction de la profondeur des nappes et de l'altitude dans la terrasse basse non inondable.

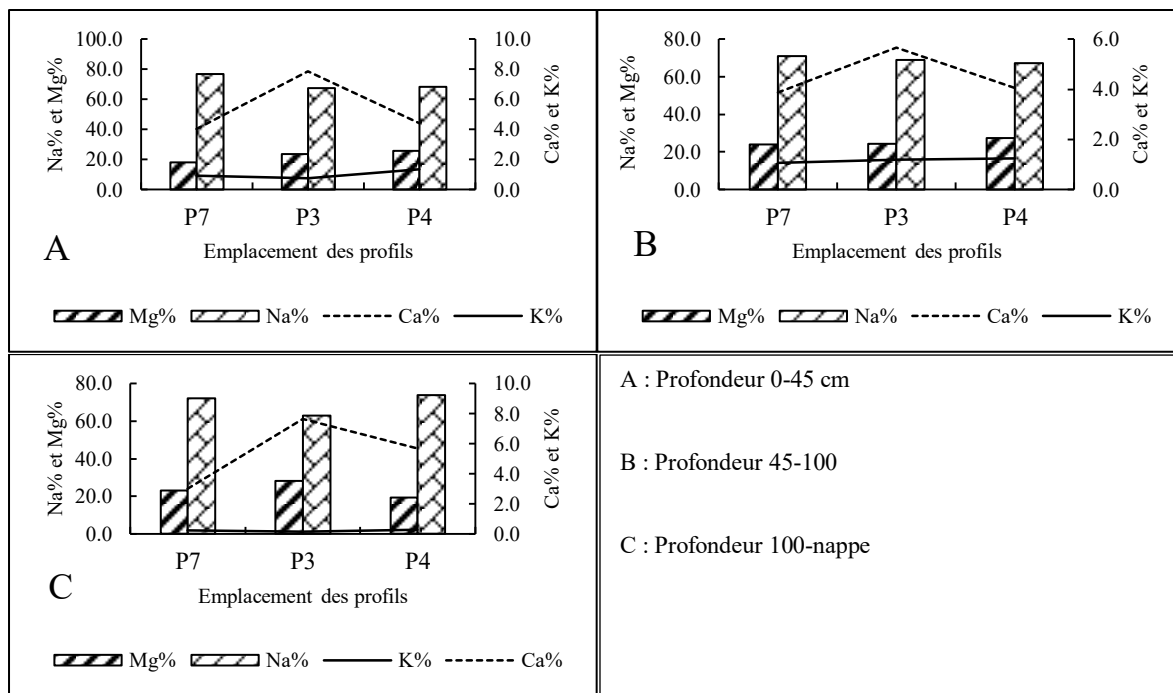


Figure 24 : Evolution du pourcentage des cations en fonction de la profondeur dans la terrasse basse non inondable.

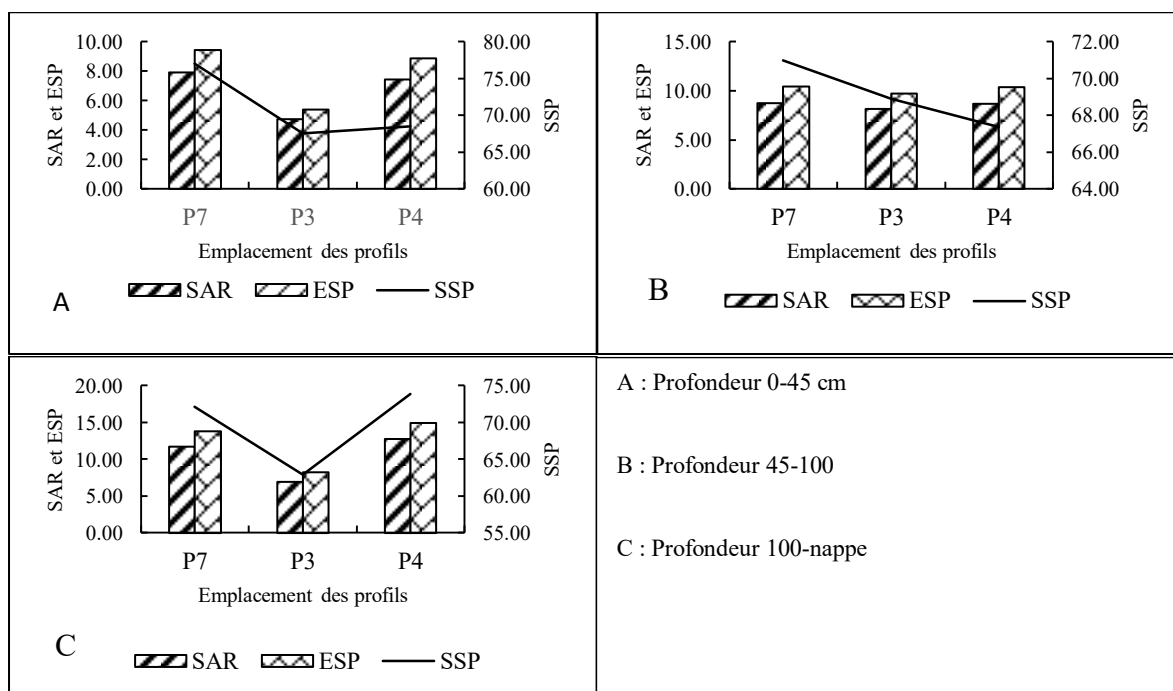


Figure 25 : Evolution du SAR, ESP et SSP% en fonction de la profondeur dans la terrasse basse non inondable (Station de Ngane)

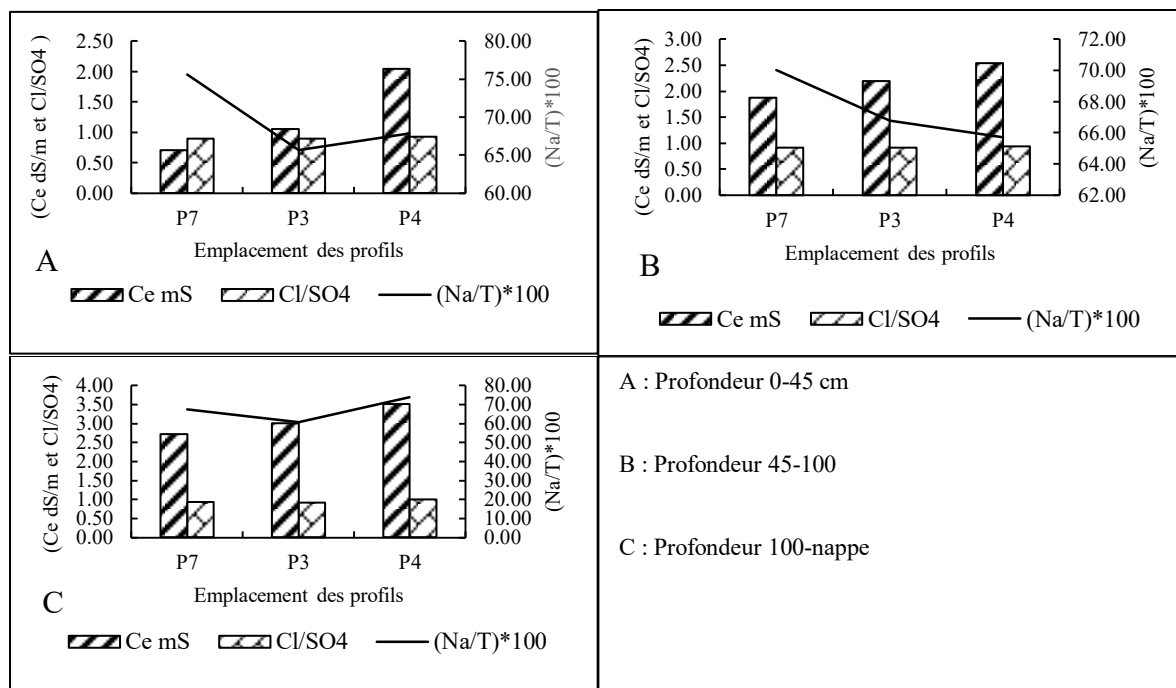


Figure 26 : Evolution du CE (dS/m), Cl/SO4 et du (Na/T)\*100 en fonction de la profondeur dans la terrasse basse non inondable.

### C) Les terrasses basses inondables

Station de Ndiaffate

Tableau 11 : Moyennes des valeurs de CE (dS/m) en fonction des distances, des profondeurs de nappe et des altitudes. (Ndiaffate)

|                       |                     | P15  |
|-----------------------|---------------------|------|
| Distances (m)         |                     | 275  |
| profondeur nappe (cm) |                     | 316  |
| Altitudes (cm)        |                     | -191 |
| CE (dS/m)             | Tranche 0 - 45      | 8,91 |
|                       | Tranche 280 - nappe | 8,63 |

Au niveau de cette sous unité, nous avons à la fois une salinisation, par inondation provoquée par le cours d'eau lors des hautes marées et une salinisation par capillarité. Une seule gamme de salinité est représentée sur l'ensemble des deux tranches c'est la gamme excessivement saline. Dans ce profil une seule gamme de salinité est représentée excessivement saline. Les valeurs du SAR, du ESP et du %SSP évoluent dans le même sens et inversement proportionnelles au gradient de profondeur d'où une diminution des valeurs de la surface à la nappe. Cependant, nous constatons que le pourcentage de sodium soluble est nettement supérieur au pourcentage de sodium échangeable sur l'ensemble des deux tranches de profondeur.

Tableau 12 : Valeurs du SSP et %SSP (Ndiaffate).

| Profils  | SAR  | ESP  | %SSP  |
|----------|------|------|-------|
| 0-45 cm  | 3,87 | 4,26 | 28,37 |
| 45-nappe | 3,25 | 3,14 | 25,74 |

Les valeurs du  $\text{Cl}/\text{SO}_4^{2-}$  et du  $\text{Na}/\text{T}$  évoluent dans le même sens c'est-à-dire dans le sens du gradient de profondeur, contrairement aux valeurs du  $\text{Ce}$  (dS/). Cependant la gamme excessivement saline reste homogène entre les deux tranches. Deux formes de salinisation ont été observées une salinisation chloruro-sulfaté en surface et chloruré au niveau des tranches de profondeurs situées au voisinage de la nappe.

Tableau 13 : Valeurs du CE (dS/m), du  $\text{Cl}/\text{SO}_4^{2-}$  et du  $\text{Na}/\text{T}$ . (Ndiaffate)

| Profil 15 | Ce (dS/m) | $\text{Cl}/\text{SO}_4^{2-}$ | $(\text{Na}/\text{T}) * 100$ |
|-----------|-----------|------------------------------|------------------------------|
| 0-45 cm   | 8,92      | 2,95                         | 59,65                        |
| 45-nappe  | 8,63      | 3,17                         | 67,80                        |

Station de Ngane

La Tranche 0-45 cm

Au niveau de la terrasse basse inondable une seule gamme de salinité est enregistrée c'est le caractère très salin. L'augmentation des valeurs de CE (dS/m) le long de la topo séquence est accompagnée par une diminution de l'altitude et une augmentation de la profondeur de la nappe (Figure 27 A)

Le long de la topo séquence, les histogrammes des cations (Figure 28 A) présentent des allures variées avec des tendances croissantes pour les cations  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  et  $\text{K}^+$  et décroissantes pour le cation  $\text{Na}^+$ . Cette tendance décroissante est observée pour les histogrammes du CE (dS/m), pour les histogrammes du SAR, ESP, SSP% (Figure 29 A) et l'histogramme du taux de sodicité et du rapport  $\text{Cl}/\text{SO}_4$  (Figure 30 A). Le caractère observé est très salin avec une salinisation de type chloruro-sulfaté.

Tranche 45-100 cm

Dans cette tranche de profondeur, les caractères de salinité observés au niveau des couches sus-jacentes semblent être expliqués par les phénomènes de cristallisation des sels lors des remontées capillaires (Figure 27 B). Pour cette tranche de profondeur le long de la topo séquence, les cations  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  et  $\text{K}^+$  présentent des tendances décroissantes (Figure 28 B) ainsi que L'histogramme des conductivités et du rapport  $\text{Cl}/\text{SO}_4$  (Figure 30 B) en revanche le cation  $\text{Na}^+$  présente une tendance croissante en même temps que le taux de sodicité. Pour Les paramètres SAR, ESP et SSP (Figure 29 B) au niveau de cette tranche de profondeur présentent le même type de comportement qu'au niveau de la tranche sus-jacente.

Le type de salinisation enregistré est chloruro-sulfaté avec deux gammes de salinité : une gamme saline pour le profil 6 et moyennement saline pour le profil5

## La Tranche 100-nappe

Pour cette tranche de profondeur, la conductivité électrique évolue proportionnellement avec la profondeur des nappes et inversement proportionnelle avec l'altitude (Figure 27 C). La réduction du caractère de salinité en fonction des tranches de profondeur peut être expliquée par les phénomènes de cristallisation des sels au niveau des couches sus-jacentes lors des remontées capillaires. Sur cette terrasse basse inondable, les pourcentages des cations  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$  et  $Mg^{2+}$  présentent des allures décroissantes contrairement au cation  $Na^+$  où la tendance croissante est observée (Figure 28 C). Cette même tendance est enregistrée pour le SAR, ESP et SSP (Figure 29 C) et aussi sur l'histogramme  $C_e$  (dS/),  $(Na/T)*100$  et du rapport  $Cl/SO_4$  (figure 30 C). Au voisinage de la nappe, la salinisation est chloruro-sulfatée

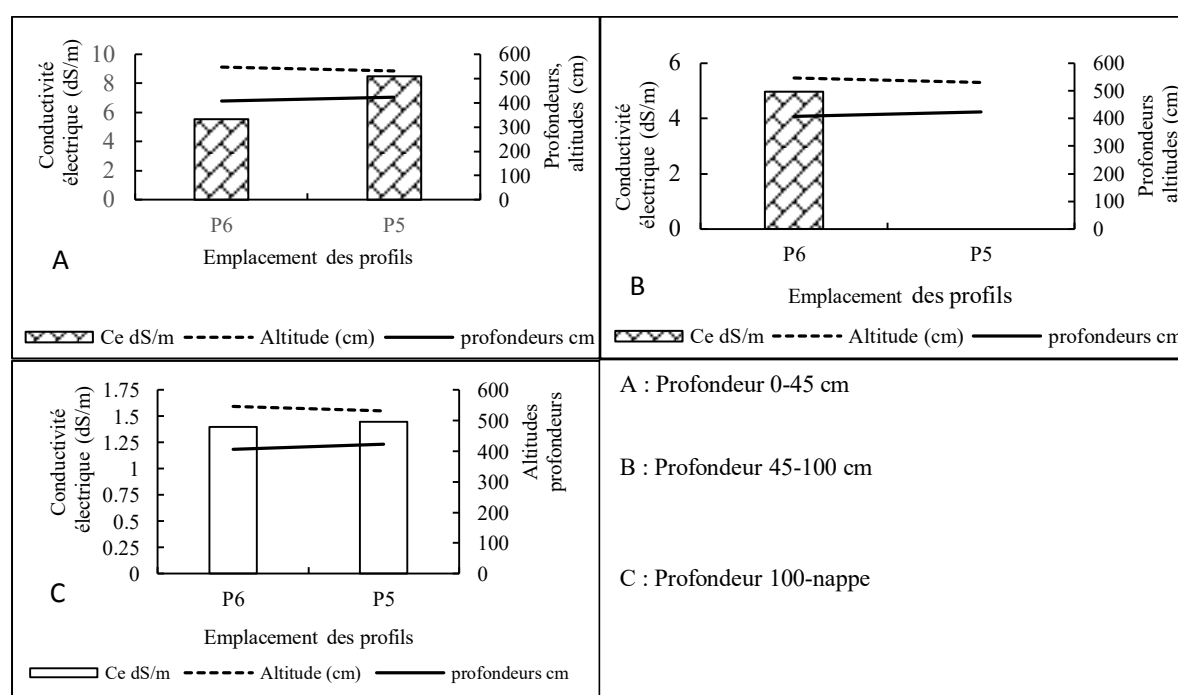


Figure 27 : Evolution de la salinité en fonction de la profondeur des nappes et de l'altitude de la terrasse basse inondable. Station de Ngane

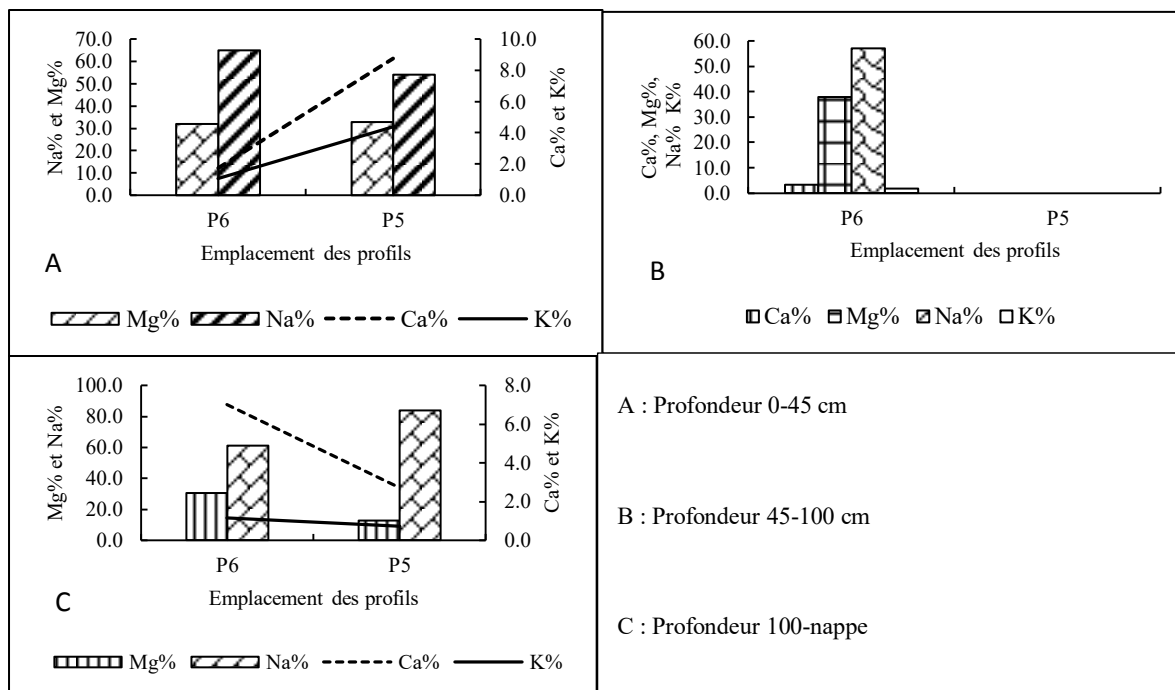


Figure 28 : Evolution du pourcentage des cations en fonction de profondeur dans la terrasse basse inondable Station de Ngane

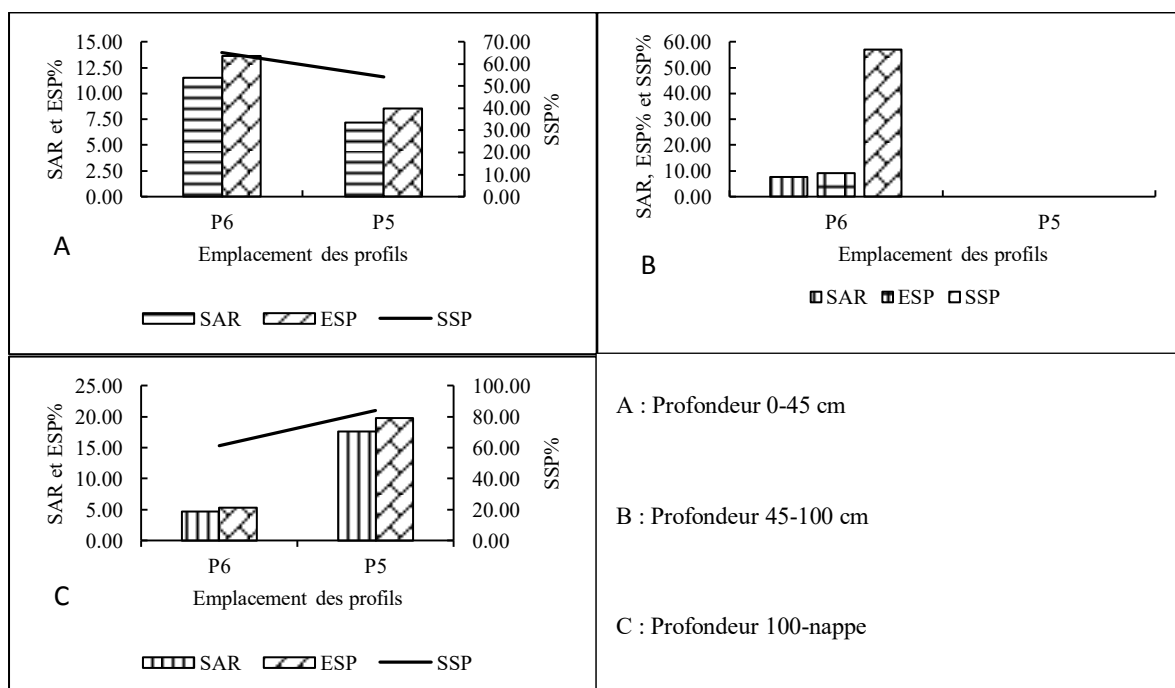


Figure 29 : Evolution du SAR, ESP et SSP en fonction de la profondeur dans la terrasse basse inondable (Station de Ngane)

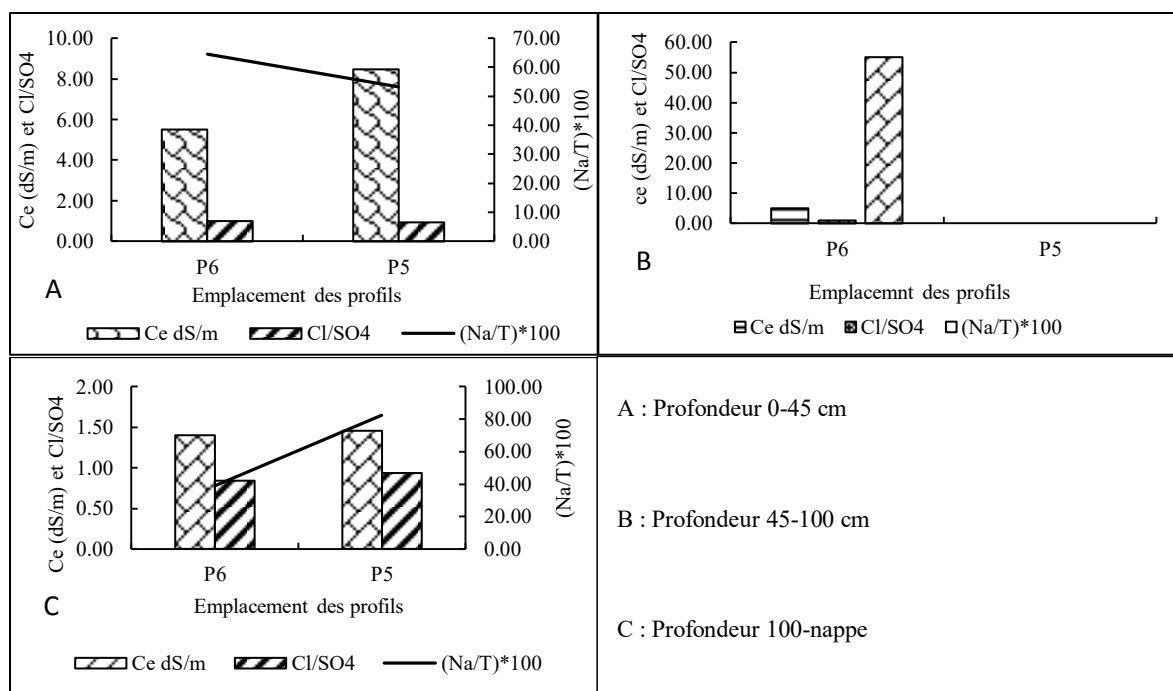


Figure 30 : Evolution du CE (dS/m), du Cl/SO4 et du (Na/T)\*100 en fonction de la profondeur dans la terrasse basse inondable Station de Ngane

## 2-2-5 Elaboration des différents types de cartes.

### A) Carte des textures Ndiaffate.

Sur les différentes unités géomorphologiques cinq types de textures ont été identifiés pour la tranche 0-45 cm. Il s'agit des textures sablo-limoneuse, argilo-sablo-limoneuse, sablo-limoneux argileuse, limoneuse et limono-argileuse. Les textures sablo-limoneuses occupent respectivement 66% et 33% de la superficie de sondage pour les terrasses moyennes et terrasses basses non inondables. Pour la terrasse basse inondable cette texture occupe 77% de la superficie totale prospectée.

Dans la tranche de profondeur 45-150cm les textures observées sur l'ensemble des terrasses sont très diversifiées. Sept types de textures ont été mis en évidence : textures sablo-limono-argileuse, argilo-sablo-limoneuse, sablo-limono-argileuse, limono-argileuse, sablo-limoneuse, limoneuse et argileuse. Dans la terrasse moyenne, la texture argilo-sablo-limoneuse est la plus représentée avec pourcentage de 43% sur l'ensemble de la superficie prospectée. Cependant dans les terrasses basses non inondables et inondables, respectivement les textures prédominantes sont : limono-argileuse avec 75% et sablo-limono-argileuse avec 73%

Au niveau des terrasses moyennes et non inondables dans les tranches de profondeur 150-280 cm, cinq types de textures ont été enregistrées : les textures argilo-sablo-limoneuses, sablo-limono-argileuses, limono-argileuses, limoneuses et argileuses. Dans la terrasse moyenne la texture argilo-sablo-limoneuse occupe 63% de l'ensemble de la superficie pour

cette tranche de profondeur en revanche dans la terrasse basse non inondable la texture limono-argileuse occupe la plus grande superficie 57%.

Dans les tranches de profondeur 280- nappe cinq types de textures ont été identifiées : argilo-sablo-limoneuses, sablo-limono-argileuses, limono-argileuse, limoneuse et argileuse. Dans la terrasse moyenne la texture argilo-sablo-limoneuse représente 95% des propriétés physiques de ces sols. La texture argileuse est très présente dans cette tranche de profondeur avec un pourcentage de 50% dans la terrasse basse non inondable. Cependant dans la terrasse basse inondable un seul type de texture est observé : sablo-limono-argileux.

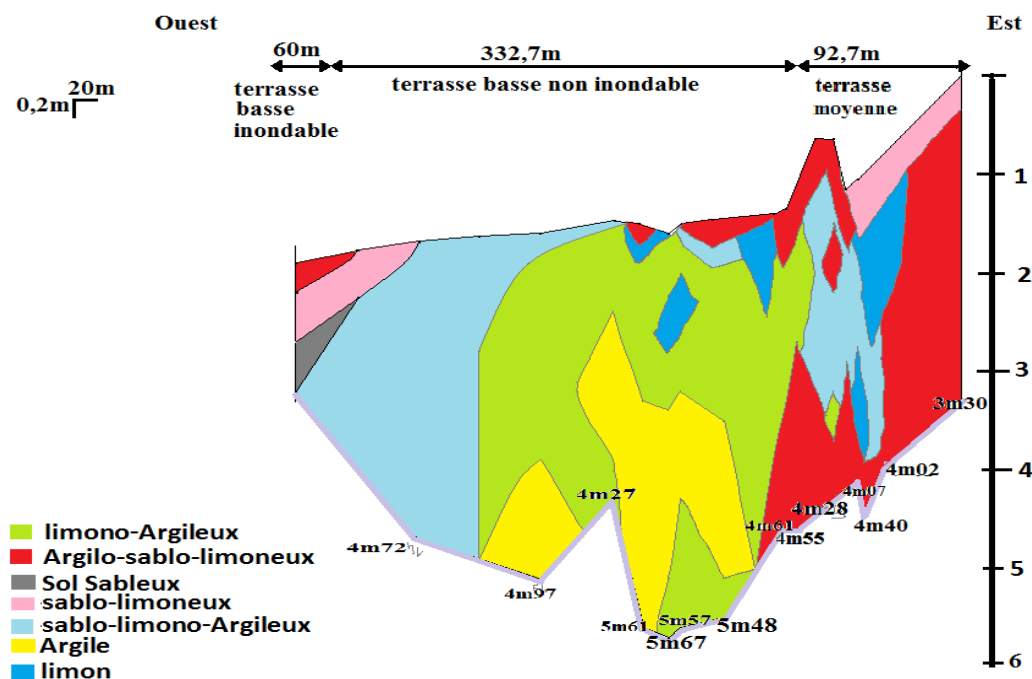


Figure 31 : Carte des textures des sols le long de la topo séquence. (Station de Ndiaffate)

### B) Carte des drainages Ndiaffate.

Dans les tranches de surface 0-45 cm cinq type de drainage ont été observés sur l'ensemble des terrasses ; il s'agit des drainages : très mauvais, assez bon, mauvais, moyen et bon. Dans la terrasse moyenne le drainage très mauvais occupe 60% de la superficie prospectée ; cependant dans les terrasses basses non inondables et inondables le drainage assez bon représente respectivement 57% et 87%.

Pour les tranches de profondeurs comprises entre 45 et 150 cm les types de drainages observés sont les suivants : très mauvais, assez bon, moyen, mauvais et bon. Le type de drainage très mauvais occupe 85% des surfaces dans la terrasse moyenne et 69% dans la terrasse basse inondable ; le type assez bon drainage 42% dans la terrasse basse non inondable

Dans les tranches de profondeurs de 150-280 cm cinq types de drainages ont été répertoriés : très bon, bon, assez bon, moyen et très mauvais. Dans la terrasse moyenne, le très

mauvais drainage représente 74% des superficies prospectées dans cette tranche de profondeur et il est 45% dans la terrasse basse non inondable.

Dans les tranches de profondeurs 280-300 cm cinq types de drainages ont été enregistrés : très bon, assez bon, mauvais, moyen et très mauvais. Dans cette profondeur au voisinage de la nappe, le drainage moyen est représenté par 68% des superficies dans la terrasse moyenne et 75% dans la terrasse basse inondable. En revanche dans la terrasse non inondable le drainage très mauvais occupe 60% des superficies prospectées.

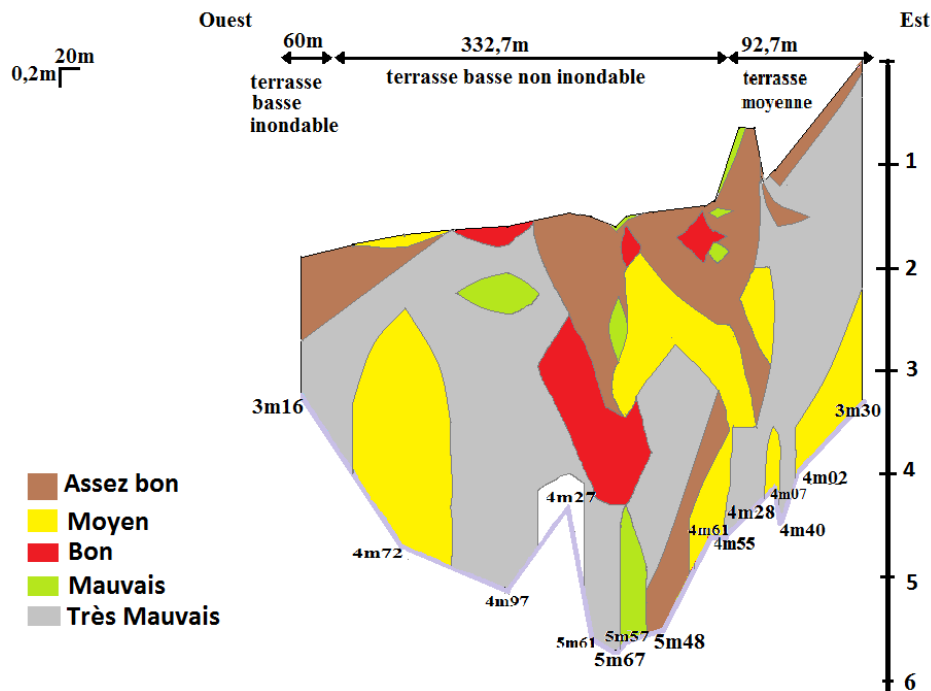


Figure 32 : Carte des indices de drainage le long de la topo séquence (Station de Ndiaffate)

### C) Carte des sols Ndiaffate.

Dans la tranche de profondeur 0-45 cm les superficies de prospections sont de 38 m<sup>2</sup> pour la terrasse moyenne, 100,25 m<sup>2</sup> pour la terrasse basse non inondable et 45,25 m<sup>2</sup> pour la terrasse inondable. Quatre types de solontchack ont été répertoriés sur l'ensemble des trois terrasses. Il s'agit du solontchack calcique présent sur l'ensemble des terrasses avec un pourcentage de 100% pour la terrasse moyenne, le solontchack magnésien prédomine dans la terrasse basse non inondable avec un pourcentage de 22%, et le solontchack sodico-magnésien avec un pourcentage de 61% est le plus représentatif dans la terrasse basse inondable. Sur les terrasses basses inondables et non inondables on enregistre la présence du solontchack sodico-calcique.

Dans la tranche de profondeur 45-150 cm pour des superficies de prospections de 90, 75 m<sup>2</sup> pour la terrasse moyenne 335,75 m<sup>2</sup> pour la terrasse basse non inondable et 90,5 m<sup>2</sup>, trois types de sols ont été identifiés le solontchack calcique avec des pourcentages

d'occupation de 91% dans la terrasse moyenne et 47% dans la terrasse basse non inondable. Dans la terrasse basse inondable le solontchack sodico-magnésien prédomine avec un pourcentage de 94%. Le solontchack magnésien est aussi présent sur l'ensemble des trois terrasses.

Dans la tranche de profondeur 150-280 cm, les superficies prospectées sont les suivantes : 123,25 m<sup>2</sup>, 362,5 m<sup>2</sup> correspondant respectivement à la terrasse moyenne et la terrasse basse non inondable. Cette tranche de profondeur est absente au niveau de la terrasse basse inondable. Les types de sols sont au nombre de quatre les solontchak sodico-calciq, sodico-magnésien, magnésien et calciq. Dans cette tranche de profondeur on retrouve ces quatre types de sols au niveau de la terrasse basse non inondable avec un pourcentage d'occupation 50% pour le solontchack magnésien. Dans la terrasse moyenne on retrouve que deux types de sols ; le solontchak calciq avec 86% et le solontchak sodico-magnésien 14%.

Les tranches de profondeur sous contrôle des nappes sont de profondeurs différentes selon les unités géomorphologiques. Dans les terrasses moyennes et les terrasses basses non inondables cette tranche se situe au-delà des profondeurs 280 cm en revanche pour la terrasse basse inondable elle est observée pour les profondeurs supérieures à 150 cm. Les superficies prospectées sont : 45,75 m<sup>2</sup> pour la terrasse moyenne, 240,50 m<sup>2</sup> pour la terrasse basse non inondable et 80,25 m<sup>2</sup> pour la terrasse basse inondable. Dans cette tranche de profondeur, quatre types de sols ont été répertoriés : solontchack calciq, le solontchack sodico-magnésien avec un pourcentage d'occupation 59% dans la terrasse basse inondable, le solontchack sodico-calciq avec un pourcentage d'occupation de 44% au niveau de la terrasse moyenne et le solontchack magnésien pour un pourcentage d'occupation de 37% dans la terrasse basse non inondable.

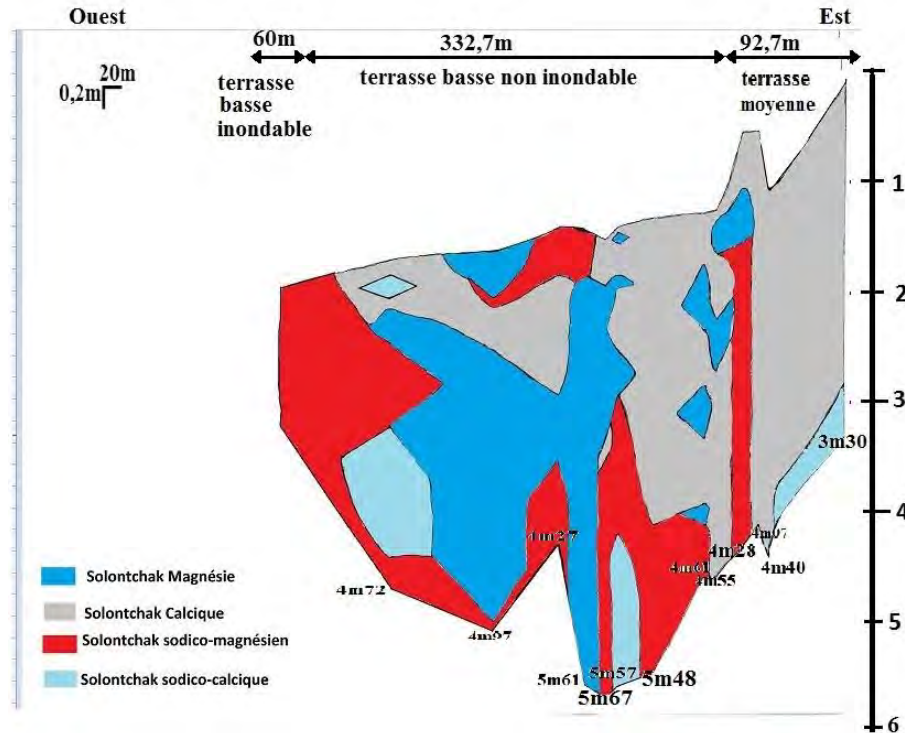


Figure 33 : Carte des types de sols le long de la topo-séquence (Station de Ndiaffate) (classification Russe Ivanova & Rsnov).

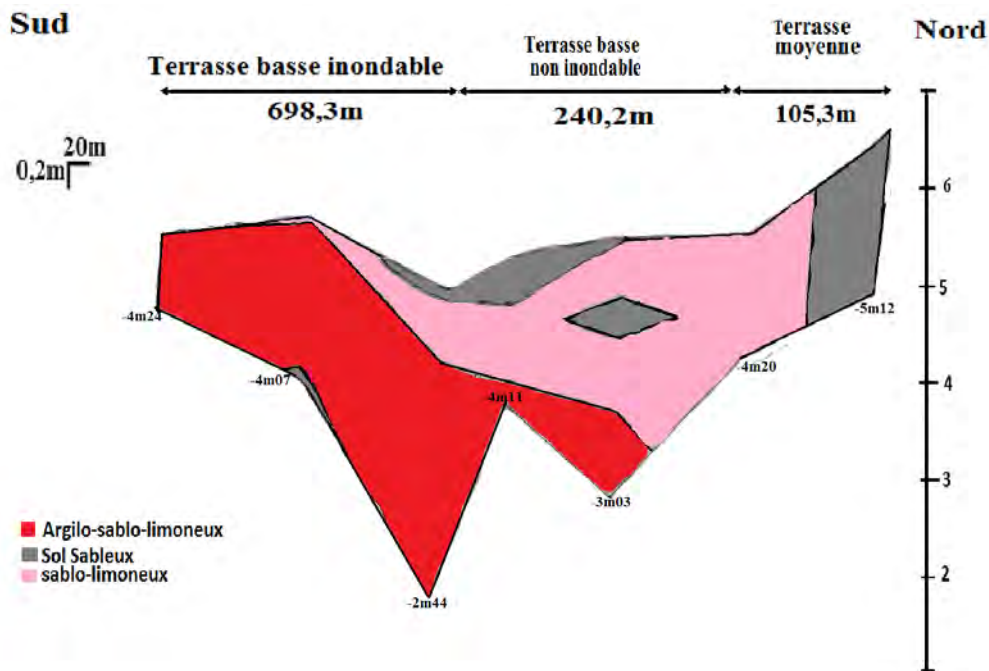
#### D) Carte des textures Ngane

Dans les terrasses moyennes, basses non inondables et basses inondables, trois types de textures ont été déterminés dans les tranches de profondeur 0-45 cm : texture sableuse présente sur l'ensemble des terrasses avec un pourcentage d'occupation de 51%, texture sablo-limoneuse très représentée dans la terrasse basse non inondable avec 73% et la texture argilo-sablo-limoneuse, présente uniquement au niveau de la terrasse basse inondable avec un pourcentage de 72%.

Dans la tranche de profondeur 45-100 cm on retrouve les mêmes types de texture à savoir : sableuse, sablo-limoneuse et argilo-sablo-limoneuse. Dans la terrasse moyenne les textures observées au niveau de cette tranche de profondeur sont identiques à celles de la tranche 45-100 avec une prédominance la texture sableuse 51% sur la texture sablo-limoneuse. Au niveau de la terrasse basse non inondable la texture sablo-limoneuse est très représentée avec 77% par rapport aux textures sableuses 10% et argilo-sablo-limoneuse 13%.

Dans la tranche de profondeur 100-nappe les textures sableuses, sablo-limoneuses et argilo-sablo-limoneuse sont enregistrées sur l'ensemble des trois terrasses. Dans la terrasse moyenne, la texture sableuse occupe 67% de la superficie prospectée par rapport à la texture sablo-limoneuse (33%). Les textures argilo-sablo-limoneuses sont les plus représentées avec 63% par rapport à la texture sablo-limoneuse 37% dans la terrasse basse non inondable, et

dans la terrasse basse inondable elles occupent 95% des superficies prospectées par rapport à la texture sableuse qui est de 5%.



### E) Carte des drainages

Dans la tranche de profondeur 0-45 cm trois types de drainages ont été mis en évidence sur l'ensemble des terrasses : drainage très mauvais occupant 68% des superficies dans la terrasse basse inondable ; assez bon drainage très bien représenté dans terrasse moyenne 53% et 69% dans la terrasse non inondable et 68% dans la terrasse basse inondable et le drainage moyen avec 43% dans la terrasse moyenne.

Dans la tranche de profondeur 45-100 cm on retrouve les mêmes types de drainages que ceux de la tranche sus-jacente avec des pourcentages d'occupations différents selon les terrasses. Dans la terrasse moyenne le drainage assez bon occupe 55% des superficies suivi du drainage très mauvais 28%. Le drainage très mauvais prédomine avec 70% suivi du drainage assez avec 30% dans la terrasse basse non inondable.

Dans la terrasse basse inondable, ce drainage très mauvais représente 77% des superficies prospectées et le drainage assez 23%.

Dans les tranches de profondeur 100-nappe les drainages très mauvais sont bien représentés dans les terrasses basses non inondable et terrasses basses inondables avec des pourcentages d'occupations respectivement égaux avec 94% et 85%. Dans la terrasse

moyenne le drainage assez bon occupe 73% des superficies prospectées et le drainage très mauvais 27%.

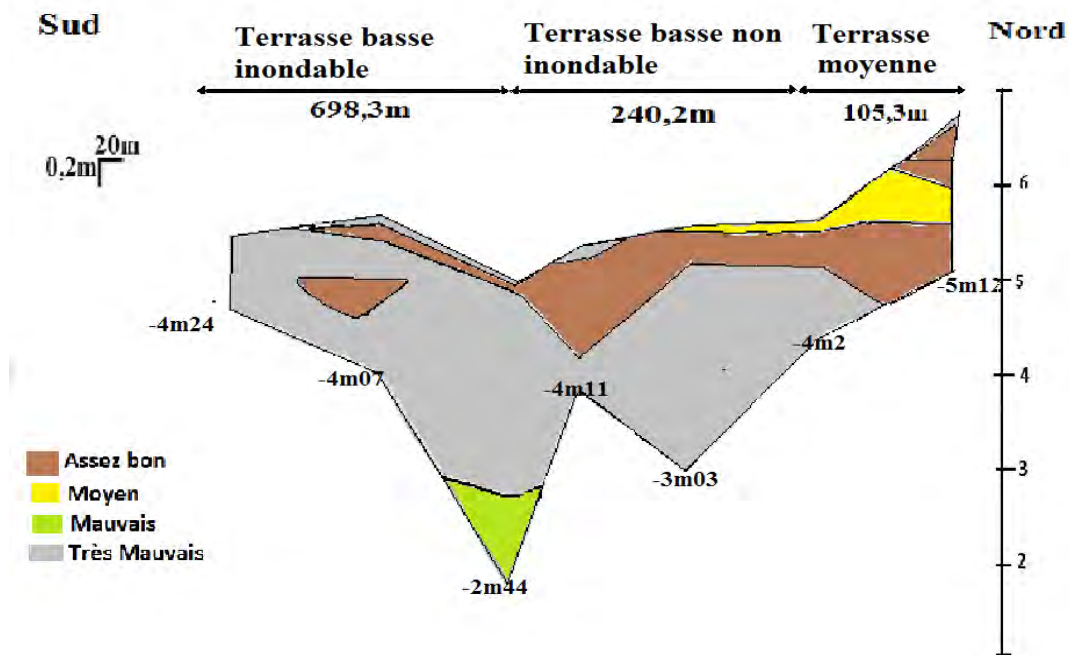


Figure 35 : Carte des indices de drainage le long de la topo séquence. (Station de Ngane)

#### F) Carte des sols Ngane.

Pour la tranche de profondeur 0-45cm, les superficies prospectées sont les suivantes : 41,5 m<sup>2</sup> dans la terrasse moyenne, de 38 m<sup>2</sup> pour la terrasse moyenne, 109,25 m<sup>2</sup> pour la terrasse basse non inondable et 115,75 m<sup>2</sup> pour la terrasse basse inondable.

Dans les trois de terrasses trois types de sols ont été identifiés : il s'agit du solontchak calcique, le solontchack sodico-magnésien présent sur l'ensemble des terrasses et le solontchack sodique. Dans la terrasse moyenne le solontchack sodico-magnésien occupe 53% des superficies prospectées, 95% dans la terrasse basse non inondable et 100% dans la terrasse basse inondable.

Dans la tranche de profondeur 45-100 cm on retrouve les mêmes types de sols que ceux de la tranche 0-45 cm. La superficie occupée par le solontchack sodico-magnésien est largement supérieure par rapport aux autres. Dans la terrasse moyenne il occupe 79% des superficies prospectées, 100% dans la terrasse basse non inondable et 91% dans la terrasse basse inondable.

Au voisinage de la nappe correspondant à la profondeur 100-nappe un seul type de sol est présent sur les trois terrasses : le solontchack sodico-magnésien.

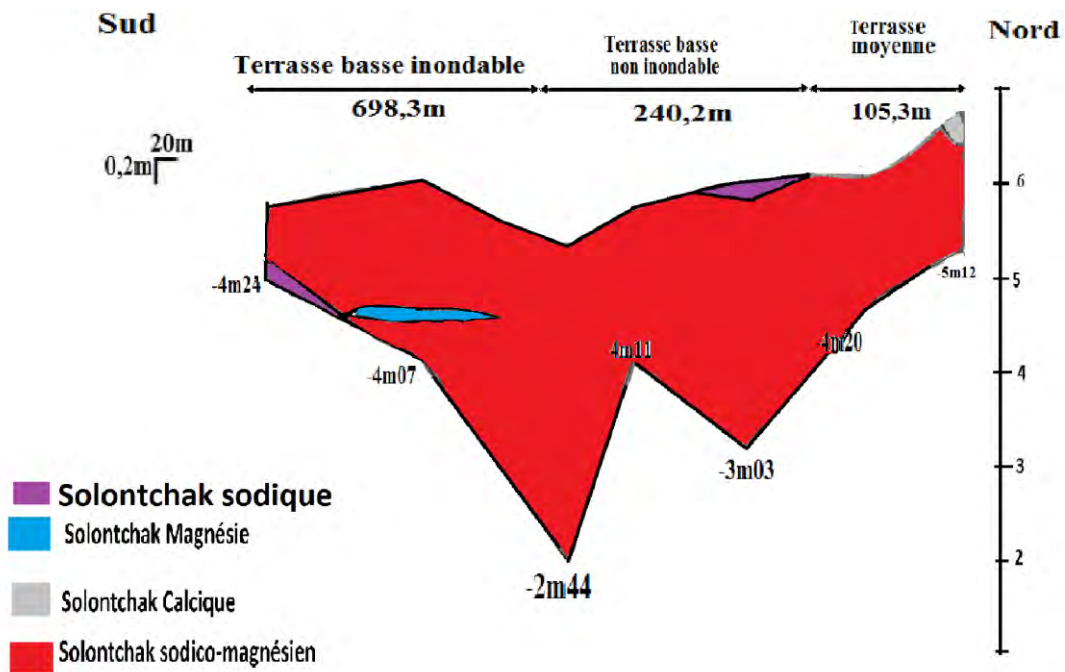


Figure 36 : Carte des types de sols le long de la topo séquence. (Station de Ngane)

## 2-2-6 Caractérisation de la conductivité électrique en fonction de la profondeur et de la saison

Les données issues des deux prélèvements effectués (fin de saison des pluies octobre 97 et milieu de saison sèche mars 98) ont permis l'élaboration des cartes ci-dessous. Ces cartes mettent en évidence la variabilité des classes de conductivité le long du transect sur le plan horizontal et vertical.

### A) Variabilité de la conductivité électrique en fin de saison des pluies en fonction de la profondeur

L'examen de la figure 38 montre que d'amont en aval une augmentation de la gamme de salinité qui est inversement proportionnelle au de gradient de pente. Cependant, au niveau de la terrasse basse non inondable les gammes de salinité observées sont très hétérogènes sur le plan de la profondeur où l'on note des gammes de salinité comparables à celles de la terrasse basse inondable malgré une distance assez éloignée du cours d'eau (cas du profil 6 qui présente un caractère excessivement salin sur toute sa profondeur). Contrairement au profil 9 cet accroissement de la gamme saline (excessivement salin) n'est observable qu'à partir de 2,5 mètres de profondeur. Nous remarquons que ces deux profils se situent au niveau d'une dépression. En revanche le profil 8, situé sur la pente présente un caractère moins salin pour ces 3 premiers mètres par rapport à l'ensemble de la terrasse basse non inondable. Nous signalons au passage que ce profil 8 se trouve à proximité de la diguette servant d'impluvium,

ainsi nous pensons que cette baisse de la gamme saline pour les premiers mètres est principalement due à ces eaux de pluie retenues durant l'hivernage. Les données texturales pourraient apporter une certaine précision sur la variabilité de la salinité sur le plan de la profondeur.

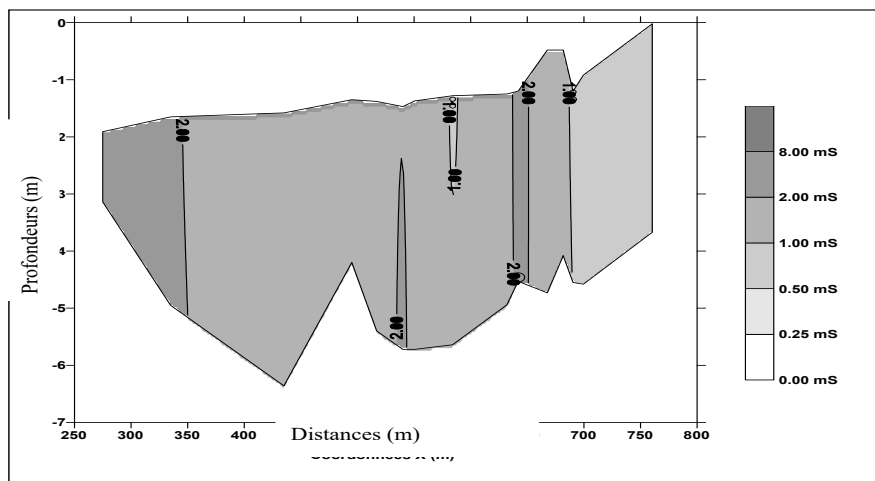


Figure 37 : Carte de la variabilité de la conductivité électrique en fonction de la profondeur en fin de saison des pluies.

### **B) Variabilité de la conductivité électrique au milieu de la saison sèche**

Pour les prélèvements effectués au milieu de la saison sèche (mois de mars 97), nous pouvons constater la forte hétérogénéité des gammes de CE. Cette hétérogénéité s'observe tant sur le plan horizontal que vertical.

Sur le plan horizontal à l'exception du profil 8 situé à l'intérieur de la zone protégée par la diguette où l'eau des pluies a séjourné, nous constatons un certain dessalement en surface jusqu'à une profondeur de 2,5 mètres pour une longueur de 30 à 40 mètres. Contrairement à l'emplacement du profil 10 où ce sont les eaux de ruissellement qui s'accumulent les valeurs de CE sont élevées.

Le long de ce topo séquence, les gammes de salinités augmentent au fur et à mesure que l'on se rapproche du cours d'eau. Cette variabilité horizontale de la CE pour les couches superficielles est fonction de la distance et de l'allure topographique.

Sur le plan vertical.

Au niveau de la terrasse moyenne, les gammes de salinité augmentent en fonction de la profondeur, du non salin en surface à très salin en profondeur. Au niveau de la terrasse basse non inondable à l'exception de l'emplacement du profil 8 qui présente un caractère légèrement salin jusqu'à une profondeur de 2,5 mètres ensuite salin jusqu'à 3,5 mètres et très salin pour le reste du profil. Ce caractère très salin caractérise l'ensemble de la terrasse basse

non inondable de la surface jusqu'aux nappes. Cependant au niveau du profil 9 entre 4 et 5 mètres de profondeur nous avons une gamme excessivement saline comprise entre 2mS et 8mS ; Cette augmentation brusque de la salinité pourrait être expliquée par les composantes texturales combinées avec la proximité de la nappe qui intervient par ses propriétés chimiques. Ce phénomène est observé au niveau du profil 5 juste à l'endroit où le contact avec la nappe se fait.

Plus on se rapproche du cours d'eau, plus la gamme de salinité devient homogène sur l'ensemble du profil, cas du profil 15 qui est caractérisé par la gamme excessivement saline de la surface jusqu'à la nappe. Nous signalons que l'emplacement du profil 14 semble être la zone de transition séparant la gamme excessivement saline de la terrasse basse inondable à celle la gamme très saline occupant la quasi-totalité de la terrasse basse non inondable.

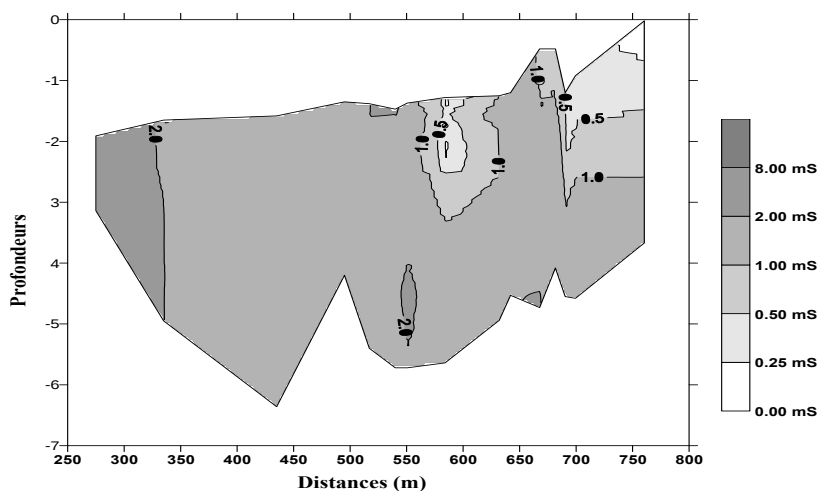


Figure 38 : Carte de la variabilité de la conductivité électrique en fonction de la profondeur en milieu de saison sèche.

### 2-2-7 Caractérisation des phénomènes d'acidification en fonction des différentes unités géomorphologiques

#### A) Terrasse moyenne.

##### Station de Ndiaffate.

La tranche 0-45 cm

La tranche 0 - 45 cm de ce profil 3 présente d'après le MUNSELL SOIL COLOR CHARTS 1954 EDITION les caractéristiques suivantes :

Pour les 108,50 premiers centimètres, le profil 3 a un Hue 5Y, un Value 6 et un Chroma 2 (5Y 6/2) ce qui traduit une coloration light olive gray.

La matrice gray caractérise une classe de drainage très mauvaise, une structure massive avec une texture limono- sableuse ; cependant pour les profondeurs comprise entre

121,50 et 134,50 cm les classes de drainage sont moyennes (yellow) avec une texture allant de sablo-limoneuse à sablo-argileuse. Ainsi les eaux d'infiltration y séjournent assez longtemps.

Pour la courbe d'acidité, décroissante de l'amont vers l'aval présente un point particulier au niveau du profil 3 pour la valeur mesurée qui est de l'ordre de 5,19. (Figure 39 A). Cette valeur de pH est rangée au niveau de la gamme acide comme le reste des deux autres profils (5, 2) dont leurs valeurs respectives sont les suivantes : 4,62 et 4,79. Cette valeur de pH pour le profil 3 peut être expliquée par la présence des eaux d'accumulations. Nous constatons que le pourcentage granulométrique pour les 147 premiers centimètres présente les caractéristiques suivantes : 8,27 pour les argiles, 20,8 pour les limons et 70,4 pour les sables avec une mauvaise classe de drainage pour les 108 premiers cm et moyenne pour le reste. Au niveau de cette tranche, le pourcentage de fer libre est de 0,60 et le fer total est de 1. L'aluminium est observé à l'état de trace. Sur cette profondeur de 147 cm on rencontre une texture allant de sablo-limoneuse à argilo-sablo-limoneuse.

Cependant la distance de ce profil par rapport au cours d'eau nous permet d'affirmer qu'il n'y a pas d'apport de sulfates marins provenant du cours d'eau, ainsi nous pouvons dire que l'hydromorphie tend à diminuer l'acidité des sols acides ; cette eau a tendance à solubiliser l'oxygène alors le milieu passe de l'état oxydé à l'état réduit d'où une élévation de la valeur du pH du profil 3 par rapport aux profils (5, 4 et 2.)

Cependant, le caractère très acide du profil 4 par rapport aux profils 5, 3 et 2 peut être expliqué par la présence des concrétions au niveau de la tranche 39 - 45 cm.

La profondeur 0-45 cm qui est la profondeur de prise de l'échantillon correspond à la profondeur 93 cm pour le profil 4 avec une texture argilo-sableuse pour les 80 premiers cm avec une teinte brune (Brown) traduisant une classe de drainage assez bonne. La présence de concrétions de couleur jaune (Yellow) (10YR8/8) et red (2,5YR 4/6). Ces concrétions traduisent un milieu oxydé, cela explique le caractère très acide du profil 4. Ainsi l'oxydation de la pyrite  $\text{FeS}_2$  (Sulfate de Fer) est à l'origine du caractère très acide du profil 4. Cependant, le produit de cette oxydation est la jarosite qui est caractérisée par la présence de taches de couleur jaune (Yellow) au niveau de la profondeur 93,5 cm. D'après les critères de différenciation des sols sulfatés acides salés au niveau de la région du Sine Saloum, cette profondeur correspond à un horizon à jarosite hydrolysée. Cette jarosite hydrolysée est caractérisée par la présence de taches de jarosite évoluée de couleur jaunâtre à orange (10YR-5-8/6-8) et ocre rougeâtre (5YR, 7,5YR 4-8/4-8) avec un pH compris entre 4 et 5.

Le pourcentage d'argile est 12,3, le limon 2,6 et les sables 51,3. La texture est sablo-limono-argileuse. L'aluminium échangeable se présente sous forme de trace. En revanche,

l'acidité totale est égale à 0,12 méq/100g. Le pourcentage de fer libre est de 0,79 et celui du fer total 1,24.

Trois gammes d'acidité ont été enregistrées : la gamme très acide au niveau du profil 4 ; la gamme acide au niveau des profils 2, 3, 5 et la gamme faible acide au niveau du profil 1.

Tranche 45 - 150 cm

Pour le profil 1 la valeur du pH passe de 5,70 faiblement acide pour la tranche 0 - 45 cm à 4,61 acide pour la tranche 45 - 150 cm. C'est au niveau de la profondeur réelle 146,50 cm avec une texture argilo sableuse avec une mauvaise classe de drainage qu'apparaissent les concrétions reddish yellow 5YR 6/8 (jaune rougeâtre) et light yellowish brown 2,5Y 7/6. Cette coloration jaune traduit la présence de la jarosite au niveau de cette profondeur. Cette jarosite est le produit de l'oxydation des sulfures de fer ( $\text{FeS}_2$  qui est la pyrite). Cette profondeur correspond à un horizon à jarosite hydrolysée. Cette profondeur 146,50 cm traduit un milieu oxydé, nous observons ainsi une diminution des valeurs de pH ce qui entraîne une augmentation de l'acidité par rapport à la tranche 0-45 cm au niveau du profil 1.

Pour les profils 3 et 5 en passant de la tranche 0-45 à 45-150 cm, nous constatons une augmentation de la gamme d'acidité c'est-à-dire de la gamme acide pour la tranche 0-45 cm à très acide pour la tranche 45-150cm. La présence de concrétions de couleur jaune au niveau des deux profils pour la tranche 45-150 cm indique la présence de la jarosite. Pour le profil 3 la tranche 45-150 cm correspondant aux profondeurs réelles (147 – 252 cm) caractérise un milieu oxydé avec les concrétions red 2,5YR 8/4 et reddish yellow 7,5YR 6/8 au niveau de la profondeur 167 cm et reddish yellow 7,5YR 6/2 ; brownish yellow 10YR 10YR 6/8 jusqu'au niveau de la profondeur 284cm. Cette tranche de profondeur (167-284 cm) correspond à un horizon à jarosite hydrolysée pour une texture argilo-sableuse.

Le Profil 5 pour la tranche de profondeur (93 – 198 cm) présente une certaine particularité c'est-à-dire présence d'un milieu oxydé et d'un milieu réduit.

Milieu oxydé : pour les profondeurs comprises entre 100,50 et 115,50 avec des concrétions red 10R 4/6 pour la profondeur 100,50 cm et red 10R 4/6, brownish yellow 10YR 6/8 pour la profondeur 115,50 cm avec des valeurs de pH respectives 4.12 et 4.02 d'où une légère augmentation de l'acidité. La tranche 100,05-115,50 correspond à un horizon à jarosite hydrolysée.

Milieu réduit : pour la couche 145,50 cm avec des concrétions pale olive 5Y 6/4 pseudo Gley avec un pH de 4.42. Cette légère augmentation de la valeur du pH caractérise la diminution de l'acidité.

Au niveau de cette tranche de profondeur certains profils accusent une diminution de la valeur du taux d'acidité échangeable (TEA) cas des profils 2, 3 et 4 contrairement aux profil 1 et 5 où l'on note une augmentation du TEA. Pour cette tranche de profondeur, le maximum de TEA est observé au niveau du profil 3 et le minimum au niveau du profil 4.(Figure 39 B). Le passage de la profondeur 0-45 cm à la profondeur 45-150 cm met en évidence une augmentation de l'acidité totale sur l'ensemble des profils du topo séquence. La valeur maximale de cette acidité totale obtenue est observée au niveau du profil 5 et la plus faible valeur au niveau du profil 2.

Deux gammes d'acidité sont enregistrées : la gamme très acide au niveau des profils 4, 3, 5 et la gamme acide au niveau des profils 1 et 2.

Tranche 150 - 280 cm

Pour les profils 1 et 2, les valeurs des pH sont presque identiques pour les tranches 45-150 cm et 150-280 cm. Pour la tranche 150-280 cm les profondeurs réelles sont respectivement égales à 223 cm et 279, 50 cm pour les profils 1 et 2. ces profondeurs sont caractérisées par la couleur light gray (2,5 Y 7/2). Cette coloration indique une mauvaise classe de drainage avec des concrétions reddish brown 5YR 4/4, yellow 2,5Y 7/6, red 2,5R 5/8, olive yellow 2,5Y 6/8, yellow 2,5Y 7/8, light reddish brown 2,5YR 4/6. Ces concrétions de couleur jaune traduisent la présence de la jarosite. Cette jarosite provient de l'oxydation des sulfures de fer ( $\text{FeS}_2$ ) qui est la pyrite. Ces différentes profondeurs observées au niveau des profils 1 et 2 correspondent à des horizons à jarosite hydrolysé ; indiquant alors des milieux oxydés.

Au niveau des profils 3 et 4, les classes de drainage observées sont très mauvaises. Ils sont caractérisés par les colorations light brown gray 2,5Y 6/2 et gray 10YR 5/1 avec des concrétions red 2,5 YR 4/8, reddish yellow 7,5 YR 6/8, brownish yellow 10YR 6/8 et yellow 10YR 8/6. Les profondeurs réelles des profils 3 et 4 (167 cm et 204 cm) constituent aussi des horizons à jarosite hydrolysée.

Au niveau du profil 5 dont la profondeur réelle est de 175,50 cm la coloration observée est light olive brown avec une texture argilo-sableuse et des concrétions de couleurs ; red 10R 5/6, light yellowish brown 2,5Y 5/6, pale yellow 2,5Y7/4 pseudo Gley. La présence de ces concrétions yellow 2,5Y7/4 pseudo Gley caractérise un milieu réduit ; cela s'explique par le fait que le pH augmente légèrement d'où une diminution du caractère d'acidité. Au niveau de la tranche 150-280 cm. Contrairement à la tranche 45 – 150 cm du même profil on observe un caractère très acide. Dans cette tranche de profondeur à l'exception du profil 5, tous les autres profils présentent des valeurs du TEA inférieures à

celles enregistrées aux profondeurs 45-150 cm et 0-45 cm. (Figure 39 C). Le maximum du TEA est observé au niveau du profil 5 et le minimum pour le profil 2. Au des profils 4 et 5 on assiste à une augmentation de l'acidité totale contrairement au profil 3 où l'on note une diminution. En revanche les valeurs de cette acidité totale sont homogènes entre les tranches 45-150 cm et 150-280 cm pour les profils 1 et 2. Deux gammes d'acidité ont été observées : la gamme très acide pour les profils 4, 3, 5 et la gamme acide au niveau des profils 1 et 2.

#### Tranche 280-Nappe

Pour la gamme d'acidité, nous observons une certaine variabilité dans le sens vertical pour les profils 3 et 4 qui passent de la gamme très acide pour les tranches 150 - 280 à acide pour les tranches 280 nappe.

Pour le profil 3 à partir de 150 cm jusqu'à la nappe nous avons un milieu réduit avec une classe de drainage très mauvaise caractérisée par la matrice gray ; cette forme de réduction provoque la diminution du caractère acide de ces couches profondes. Cependant, entre la tranche 150 - 280 cm le caractère très acide est expliqué par le fait que la réduction dure peu, et la présence des concrétions de couleurs claires (red 2,5YR 4/8) indique un état oxydé. En revanche plus on s'approche de la nappe, les concrétions prennent des teintes sombres : reddish yellow 7,5YR 6/8, Brownish yellow 10YR 6/8 et olive yellow 2,5Y 6/8, caractérisant un milieu réduit d'où une diminution de l'acidité ; ainsi nous avons le passage du caractère très acide pour la tranche 150 - 280 au caractère acide pour la tranche 280 - nappe.

Pour le profil 4 nous constatons une diminution de la gamme d'acidité en passant de la tranche 150 - 280 cm à 280 - nappe c'est à dire de la gamme très acide à acide. L'observation des codes de couleur de cette portion du profil c'est à dire la tranche 150 - nappe montre une alternance de réduction et d'oxydation. Au niveau de la tranche 150 - 280 nous avons des concrétions brownish yellow 10YR 6/8, yellow 10YR 8/6 et gray 5Y 6/1 cela traduit une réduction d'où une augmentation de l'acidité ; en revanche au niveau de la tranche 280 - nappe, nous avons des concrétions olive yellow 2,5Y 6/8 et light gray 2,5Y 7/0 traduisant une forme de réduction mais peu durable par rapport à celle qui sévit au niveau de la tranche 150 - 280 cm. Ainsi la durée mise par cette forme de réduction au niveau de 150 - 280 cm confère à cette tranche le caractère très acide par rapport à la tranche 280 - nappe qui présente un caractère acide. Pour cette tranche nous remarquons, une diminution du TEA sur l'ensemble du topo séquence. (Figure 39 D). Le maximum de cette valeur est observé au niveau du profil 1 et le minimum au niveau du profil 2. Une diminution de l'acidité totale a été observée sur l'ensemble des profils par rapport aux profondeurs 45-150 cm et 150-280 cm. Les profils 2, 3

et 4 présentent des valeurs inférieures à celles enregistrées au niveau de la tranche 0-45 cm. Une seule gamme d'acidité a été enregistrée : la gamme acide.

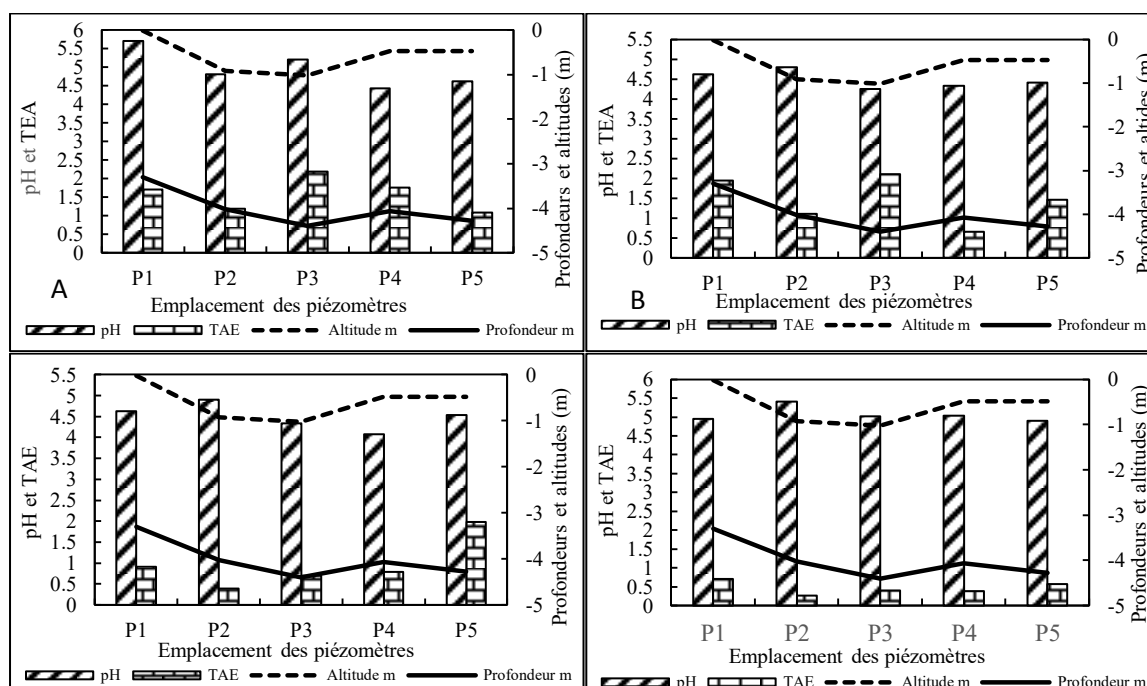


Figure 39 : Evolution du pH et du TAE en fonction de la profondeur des nappes et de l'altitude dans les différentes tranches de prospection au niveau de la terrasse moyenne. Station de Ndiaffate (A = 0-45 cm ; B= 45-150 cm ; C = 150-280 et D = 280-nappe)

#### Station de Ngane

##### La tranche 0-45 cm

Au niveau du profil 1 pour la tranche 0-45 on observe un caractère acide avec une texture sableuse avec une coloration grayish brown traduisant une classe de drainage assez bonne. En revanche au niveau du profil 2 on observe un caractère très acide avec une texture sablo-limoneuse avec la présence de concrétions de couleur rouge (red 10R 4/8.) Cette coloration traduit un milieu oxydé d'où une augmentation du caractère d'acidité.

D'après l'histogramme, on observe une certaine variabilité de la gamme d'acidité allant de la gamme acide pour le profil 1 à la gamme très acide pour le profil 2. (Figure 40 A). Ces deux profils sont distants de 105,3 mètres. Du profil 1 au profil 2 on assiste à une diminution de l'altitude ainsi celle des profondeurs des nappes. Le caractère d'acidité ainsi que le taux d'acidité échangeable (TAE) évoluent en sens inverse de la variation de l'altitude et des hauteurs des nappes.

##### La tranche 45-100 cm

Au niveau de la tranche 45-100 cm les classes de drainage observées sont très mauvaises avec la présence de concrétions de couleur Brownish yellow. Cette coloration traduit un milieu oxydé d'où une augmentation du caractère d'acidité. Au niveau du profil 2 deux types de concrétions ont été observés Yellow 5Y 7/6 et Dark olive gray 5Y 3/2. Ces

colorations traduisent simultanément la présence de milieu oxydé et réduit. Ce fait semble expliquer le caractère acide au niveau de cette tranche de profondeur pour le profil 2.

L'histogramme des valeurs de pH met en évidence deux gammes d'acidité une gamme très acide pour le profil 1 et acide pour le profil 2. (Figure 40 B) Au niveau de tranche de profondeur, on assiste alors à une diminution du caractère d'acidité du profil 1 au profil 2. Le caractère d'acidité et le taux d'acidité échangeable (TAE) évoluent dans le même sens que le gradient de pente et inversement à la profondeur de la nappe.

#### La tranche 100-nappe

Au niveau de cette tranche, les classes de drainage sont très mauvaises avec une texture sablo-limoneuse avec des concrétions yellow 5Y 7/6 et Dark olive gray 5Y 3/2. Cette couleur jaune traduit un milieu oxydation et la couleur gris verdâtre à son tour traduit une réduction. Cette alternance d'oxydation et de réduction confère au profil 2 son caractère acide contrairement à la couche superficielle où l'on note le caractère très acide pour un milieu typique oxydé.

L'histogramme des valeurs de pH met en évidence deux gammes d'acidité (Figure 40 C) : un caractère très acide pour le profil 1 et acide pour le profil 2. Au niveau de cette tranche, l'acidité et le taux d'acidité échangeable (TAE) suivent le gradient de pente. Cette tranche de profondeur est sous l'influence de la nappe.

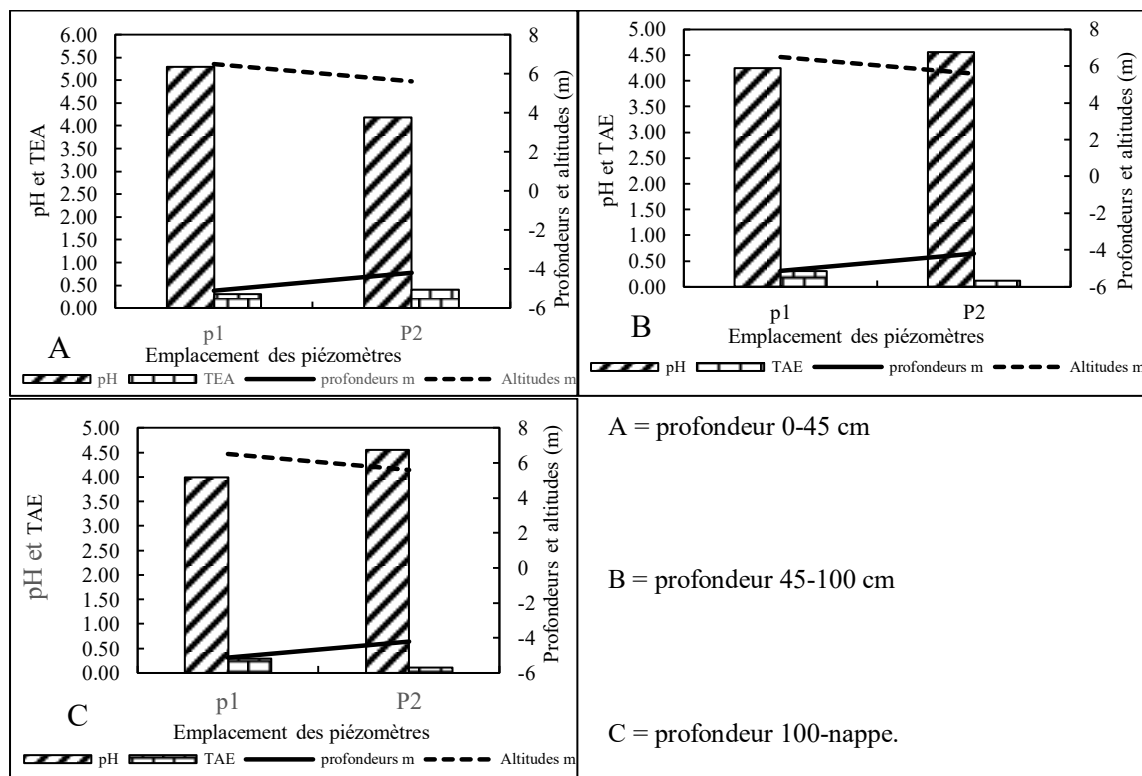


Figure 40 : Evolution du pH et du TAE en fonction de la profondeur des nappes et de l'altitude ans les différentes tranches de prospection au niveau de la terrasse moyenne. Station de Ngane

## **B) Les terrasses basses non inondables**

Station de Ndiaffate

Tranche 0-45 cm

Le profil 11 présente un caractère acide contrairement aux profils 10 et 12 qui sont faiblement acides. L'observation des codes de couleur des concrétions montre une certaine alternance d'oxydation et de réduction. Le fait le plus frappant est la présence de concrétions noires (black 2,5Y 2/0) au niveau de la tranche 0 - 45 cm (profondeur 180 cm).

Ces concrétions noires rappellent les sulfures de fer noir témoins d'un milieu réducteur et l'oxydation de ces sulfures en sulfates confèrent à ce profil son caractère acide. Cependant au niveau du profil 12 pour la même tranche, on retrouve des concrétions de couleur very dark gray 7,5YR 3/0. Cette couleur traduit un milieu fortement réducteur d'où le caractère faiblement acide. Ce caractère faiblement acide est aussi retrouvé au niveau du profil 10. Pour ce dernier, la force d'acidité semble être diminuée par la présence des eaux stagnantes

Le profil 13 présente un caractère très acide pour la tranche 0 - 45 cm (profondeur 203 cm) cette tranche a une coloration red 2,5YR 4/8 et la couleur des concrétions rencontrées sont de types light gray 10YR 6/1 et cela traduit une certaine oxydation donc une augmentation de l'acidité caractérisée par une diminution des valeurs mesurées du pH (Figure 41 A); ceci explique le caractère très acide de cette tranche dans cette tranche de profondeur, le taux d'acidité échangeable TEA présente une tendance croissante d'amont en aval de cette terrasse.

Tranche 45 - 150 cm

Pour l'acidité, l'observation des codes de couleur des concrétions contenues dans la tranche

45 - 150 cm des profils 10 et 14 nous donne successivement les couleurs suivantes : pour le profil 10 red 10R 4/6, light brownish gray 2,5Y 6/2, dark red 2,5YR 3/6, olive yellow 2,5Y 6/8, olive yellow 2,5Y 6/6 et red 2,5YR 4/8 pour le profil 14 yellow 5Y 8/6, brownish yellow 10YR 6/8 et yellow 10YR 8/6 d'où une alternance de réduction et d'oxydation. Cette alternance donne à la tranche 0 - 150 cm son caractère faiblement acide. Ainsi les tranches 0 - 45 et 45 - 150 ont la même gamme d'acidité (faiblement acide). Figure 41 B. Dans cette tranche de profondeur on observe une diminution du taux d'acidité échangeable (TAE) du profil 7 au profil 14

Le caractère de neutralité des profils 11 et 12 pour la tranche 45 - 150 cm peut être expliqué de la manière suivante : l'alternance de la réduction et de l'oxydation est de force égale cas du profil 11 ; en revanche pour le profil 12, la présence de racines fossilisées

témoins de milieu qui était riche en matière organique donc initialement très réducteurs qui sont caractérisés par des pH voisins de la neutralité.

#### Tranche 150 - 280 cm

L'observation des gammes d'acidité entre les tranches 45 - 150 et 150 - 280 cm montre que les profils 9, 11 et 14 ne présentent plus de caractère acidité au niveau de cette dernière.

Pour le profil 9 la distance entre la nappe et la tranche 45 - 150 cm est de 270 cm et 140 cm pour la tranche 150 - 280 cm ainsi cette dernière tranche est sous l'influence de la nappe même cas pour le profil 11 où le point de mesure effectué au niveau de la tranche 150 - 280 est distant de la nappe de 143 cm, cependant pour le profil 14, les deux tranches sont sous l'influence de la nappe.

L'élévation du pH pour ces profils semble être provoquée par la présence de sels alcalins (carbonate ou de bicarbonate) contenus dans l'eau de nappe, par interrelation entre cours d'eau salé et la nappe. Dans cette profondeur on assiste à une diminution du taux d'acidité échangeable. Ces tranches qui sont sous influence de la nappe constituent des milieux hydromorphes où l'on peut noter un processus de réduction ou de ségrégation locale du fer libre par saturation permanente. Ce fait est observé au niveau du profil 14 où le degré d'hydromorphie permet distinguer le caractère faiblement acide de la tranche 45 - 150 qui se situe à 157 cm de la nappe, contrairement à la tranche 150 - 280 cm qui se trouve à 30 cm de la nappe et cette tranche présente un caractère basique. Figure 41 C

#### Tranche 280-nappe

L'acidité, la neutralité et /ou la basicité des couches profondes peuvent être expliquées par les alternances d'oxydation, de réduction et aussi par la présence de la nappe qui est assez réductrice. Les colorations des concrétions contenues dans le profil permettent une approche d'explication à défaut de certaines analyses.

Pour une profondeur comprise entre 278 et 408, le profil 8 présente un caractère neutre en revanche entre 408 et 540 cm nous avons un caractère faiblement acide. Entre les profondeurs 278 et 280 cm qui est hors d'atteinte, la coloration gris verdâtre (présence de sels de fer ferreux) de cette tranche (light olive gray 5Y 6/2) caractérise un milieu réduit et la présence des concrétions de coloration red 2,5Y 8/2, light yellowish brown 2,5Y 6/4 et White 2,5Y 8/2 (gray oxydé) qui matérialisent le déroulement d'un processus d'oxydation.

Le taux d'acidité diminue d'amont en aval dans cette profondeur Ainsi au niveau de cette tranche l'effet conjugué des réactions d'oxydation et de réduction confère à cette tranche son caractère neutre. (Figure 41 D) Pour la tranche comprise entre les profondeurs 408 et 548 cm occupée en permanence par la nappe très réductrice avec la présence d'un Gley réduit

caractérisé par la réduction de la majeure partie du fer libre ; à ce pH proche de la neutralité le fer ferreux s'insolubilise et s'accumule au sein de cette tranche sous forme de  $\text{FeCO}_3$  ou de sels complexes d'où le caractère faiblement acide de cette tranche.

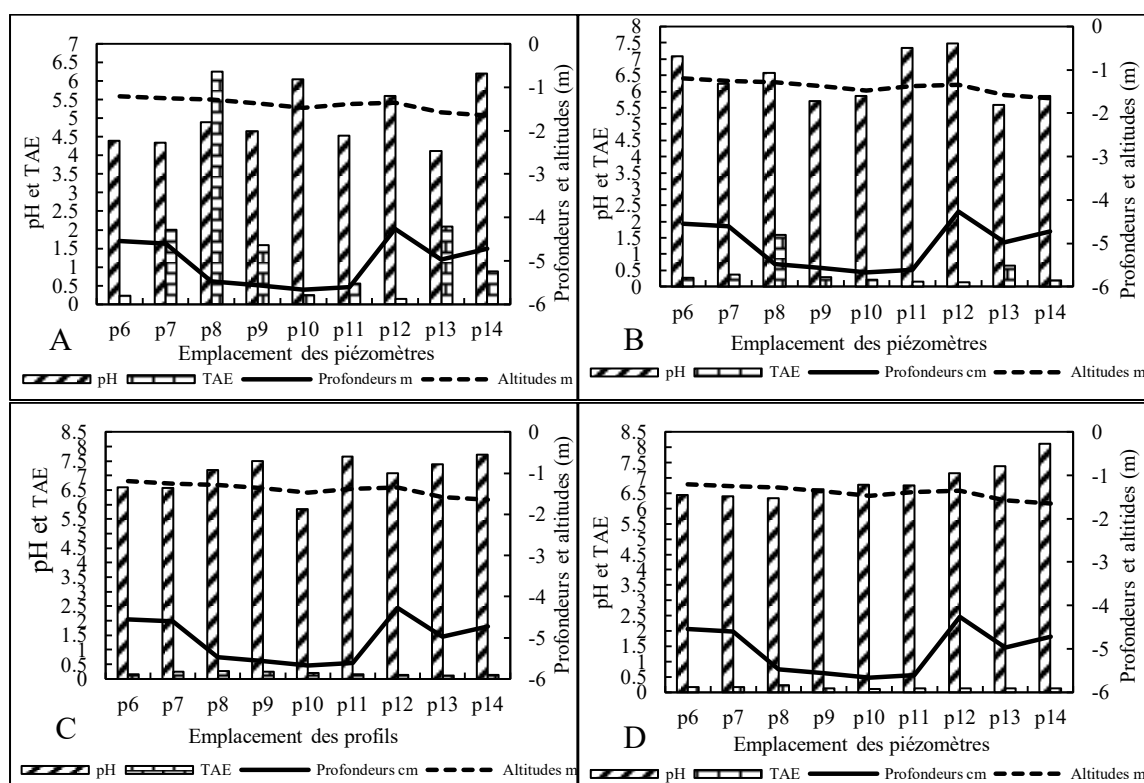


Figure 41: Evolution du pH et du TAE en fonction de la profondeur des nappes et de l'altitude au niveau des différentes tranches de prospection de la terrasse basse non inondable. Station de Ndiaffate (A = 0-45 cm ; B= 45-150 cm ; C = 150-280 et D = 280-nappe)

#### Station de Ngane

##### Tranche 0-45 cm

Au niveau de la tranche 0-45 cm le profil 7 présente une classe de drainage moyen pour la tranche 0-16 cm et assez bon pour la tranche 16-48 cm. Pour ces mêmes tranches le profil 3 et 4 présentent pour la tranche 0-16 cm des classes de drainage respectif très mauvais et assez bon. Pour la tranche sous-jacente le profil 3 présente une classe de drainage assez bon et très mauvais pour le profil 4. Le faible caractère d'acidité observé au niveau du profil 7 par rapport aux autres profils peut être expliqué par l'effet de drainage. Les concentrations granulométriques pour cette tranche sont les suivantes : 9,8% pour argile plus limons et pour les sables 90,1%. Le pourcentage de fer libre est de 0,245 et le fer total 0,46. La concentration de l'aluminium est de 0,06 méq/100g. La présence de concrétion rouge traduit une certaine oxydation du milieu. D'amont en aval de ce topo séquence, deux gammes d'acidité ont été enregistrées : une gamme acide pour les profils 7 et très acide pour les profils 3 et 4. On note une augmentation du taux d'acidité échangeable. Figure 42 A

#### Tranche 45-100 cm

Les valeurs du pH pour le profil 7 évoluent entre 4,66 et 4,27 d'où une augmentation du caractère d'acidité qui passe de l'acide au très acide avec une diminution du taux d'acidité échangeable. (Figure 42 B). Les classes de drainage observées sont assez bonnes pour la tranche 0-45 cm avec une coloration brun sombre (very pale brown, 10YR6/3) et très mauvaises pour la tranche 45-100 cm dont la coloration est gris claire (light gray, 10YR 7/2).pour la tranche 45-150 cm où les infiltrations séjournent assez longtemps et les concrétions observées sont de couleur jaune (Yellow, 2,5Y 8/8). Ces concrétions de couleur jaune traduisent la présence de la jarosite au niveau de cette tranche de profondeur caractérisant un milieu oxydé d'où l'augmentation du caractère d'acidité.

Au niveau de cette tranche de profondeur la texture est argilo sableuse avec une concentration de  $Al^{3+}$  de 0,08 (méq/100g). Le pourcentage de fer libre est de 0,62 et celui du fer total de 1,03. Cette augmentation du caractère d'acidité au niveau du profil 7 entre les tranches de profondeur comprise entre 0-45 cm et 45-100 cm est expliquée par la présence d'un horizon à hydrolysée qui est aussi présente au niveau du profil 4 pour la tranche de profondeur 45-100 cm.

#### Tranche 100-nappe

Des classes de drainage très mauvaises avec une coloration grise (gray 10YR 5/1 et mauvaises couleur olive (olive 5Y5/3) au niveau des profils 7 et 4. Les profils 7 et 4 sont caractérisés par la présence de concrétions de couleur gris-olive (olive gray 5Y 4/2), brun jaunâtre et (yellowish brown 10YR 5/6). Ces concrétions de couleurs sombres traduisent la présence d'un milieu réduit. La texture du sol est argilo sableuse avec des pourcentages de fer libre compris entre [0,33-0,46] et pour le fer total entre [1,33-1,67] Au niveau de cette tranche de profondeur on enregistre des taux d'acidité échangeable compris entre [0,14 - 6,80 méq/100g) d'où une augmentation de la valeur du pH caractérisant une diminution du caractère d'acidité qui passe du caractère très acide pour la tranche 45-100 cm au caractère faiblement acide pour la tranche 100-nappe. (Figure 42 C)

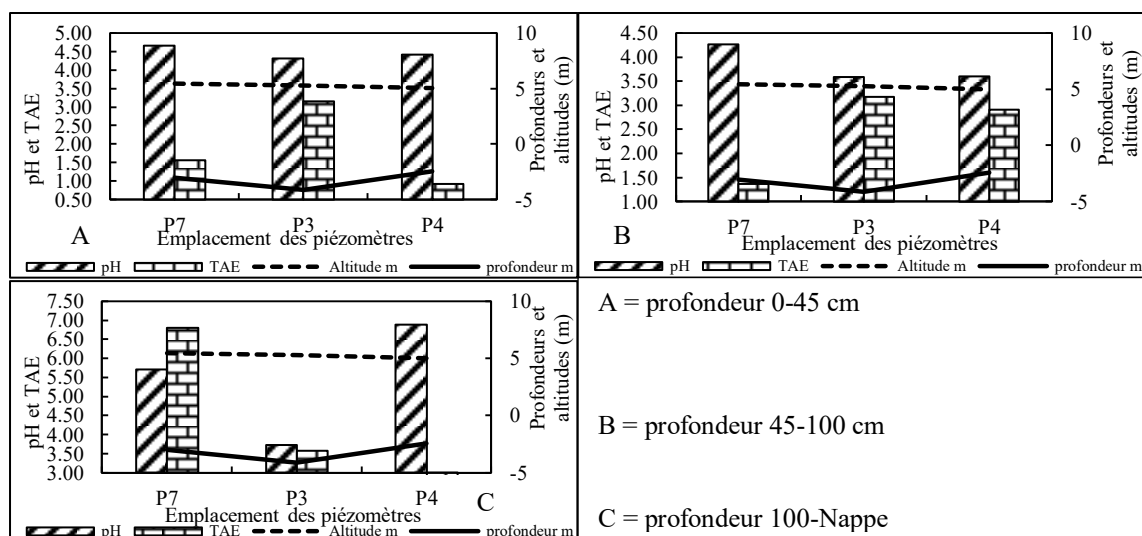


Figure 42 : Evolution du pH et du TAE en fonction de la profondeur des nappes et de l'altitude dans les différentes tranches de prospection au niveau de la terrasse basse non inondable. Station de Ngane.

### C) Les terrasses basses inondables

#### Station de Ndiaffate

Au niveau de ce profil nous avons un caractère d'acidité neutre en surface et faiblement acide en profondeur. Ce pH neutre rencontré au niveau de la tranche 0 - 45 cm peut être expliqué de la manière suivante lors de l'inondation temporaire par le cours d'eau, il y a apport de sels alcalins contenus dans l'eau de mer (carbonates ou des bicarbonates). Cet apport de sels provoque une hausse des valeurs de pH d'où le caractère neutre

La tranche 45 - nappe étant faiblement acide est colorée d'une part par un brun rougeâtre clair pour une profondeur de 266 cm (light reddish brown 5YR 6/3), cette coloration traduit un milieu de faible oxydation avec une classe de drainage assez bonne et d'autre part par un gris foncé pour la profondeur 303,50 cm (dark gray 2,5Y 4/0), cette coloration traduit un milieu réduit avec une classe de drainage très mauvaise. Cette alternance de réduction et d'oxydation confère à cette tranche son caractère faiblement acide.

#### Station de Ngane

##### Tranche 0-45 cm

Pour cette tranche de profondeurs on observe des classes de drainage très mauvaises caractérisées par des colorations grises (gray 10YR 5/1), gris sombre (very dark gray 10YR 3/1) et brun grisâtre (dark grayish brown) avec des textures argilo-sableuse. Au niveau de cette tranche de profondeur de la terrasse basse inondable le pourcentage de fer libre est compris entre [0,5-0,51] et pour le fer total entre [1,11-1,2]. Le taux d'acidité échangeable varie entre 0,93 1,68. (Figure 43 A) Les concrétions de couleurs claires : rouge (red 10R 4/8), jaune (yellow 10YR 7/8) et rouge pâle (pale red 10R 6/4) traduisent la présence d'un oxydé.

Cette réaction d'oxydation favorise l'augmentation du caractère d'acidité. Ces concrétions de couleur jaune caractérisent un horizon à jarosite hydrolysée.

#### Tranche 45-100 cm

Pour la tranche de profondeur 45-100 cm les classes de drainage observées le long de la topo séquence sont très mauvaises avec des colorations gris sombres (dark gray 10YR 4/1), brun grisâtre (grayish brown 10YR 5/2) et gris clair (light gray 7,5 YR 7/0).

La présence des concrétions claires traduit la présence d'un milieu oxydé. Cette oxydation caractérise l'augmentation du caractère d'acidité et du taux d'acidité échangeable (TAE) (Figure 43 B). Cela semble expliquer le passage du caractère faible acide observé au niveau de la tranche 0-45 cm au caractère acide de la tranche 45-100 cm du profil 5.

La submersion par les eaux marines chargées de sulfates n'atteint que la profondeur 0-45 cm. L'infiltration de ces eaux lors de la submersion n'atteint pas les couches profondes, c'est ce qui explique les faibles valeurs de pH observées pour la tranche 45-100 cm pour le profil 5. Les textures du sol sont argilo sableuse avec des pourcentage de fer libre compris entre [0,58-0,6] et de fer total entre [1,02-1,54]. On observe la présence de  $Al^{3+}$  dont les concentration (méq/100g) comprises entre [0,28-0,7]. Les couleurs des concrétions sont de type jaune brunâtre (brownish yellow 10YR 6/8), jaune (yellow 10YR 8/8 et yellow 2,5Y 8/6). Ces concrétions de couleurs jaunes font correspondre à cette tranche de profondeur un horizon à jarosite hydrolysée.

#### Tranche 100-nappe

Les indices de drainage sont très mauvais et présentent des colorations grises (gray 2,5 Y 5/0, gray YR 5/1) et grises claires (light gray 7,5 YR 7/0). La texture observée est argilo sableuse avec des pourcentages de fer libre compris entre [0,15-0,6] et de fer total entre [1,02-1,54]. La concentration en  $Al^{3+}$  varie entre 0,28 et 4,16 méq/100g.

Le caractère très acide est homogène entre les deux tranches de profondeurs 45-100 cm et 100-nappe. Au niveau de cette tranche de profondeur les concrétions observées sont de couleurs jaunes (yellow 2,5 Y 8/6) et la présence des racines fossilisées (Iron pipes). On note la présence d'un horizon à jarosite hydrolysée. Ces concrétions claires indiquent un milieu oxydé d'où une augmentation du caractère d'acidité par diminution des valeurs des pH et du taux d'acidité échangeable (TAE) Figure 43 C.

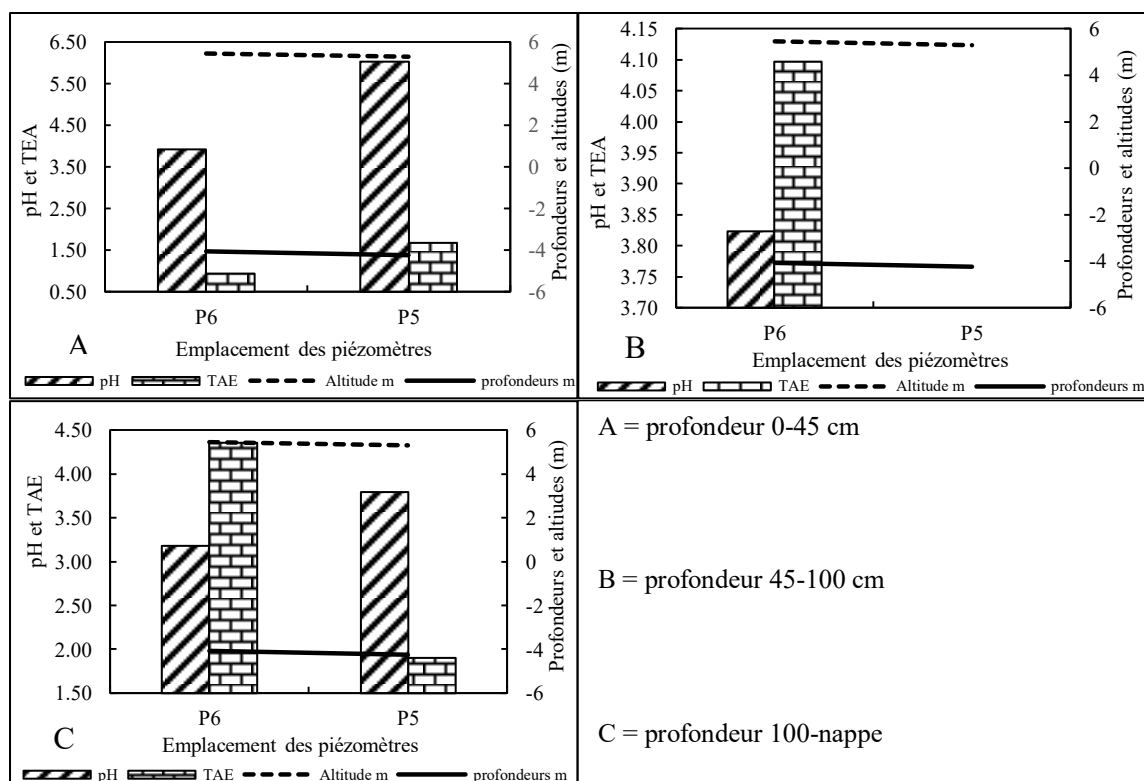


Figure 43 : Evolution du pH et du TAE en fonction de la profondeur des nappes et de l'altitude dans les différentes tranches de prospection au niveau de la terrasse basse inondable. Station de Ngane

## 2-2-8 Caractérisation du potentiel hydrogène en fonction de la saison.

### A) Variabilité du potentiel hydrogène en fin de saison des pluies

L'observation de la figure ci-dessous montre que les gammes de pH ne varient que sur le plan horizontal. D'amont en aval, nous constatons une certaine proportionnalité de la diminution de l'acidité en fonction du gradient de pente (acide en amont (4,5 à 5,5) et faiblement acide en aval (5,5 à 7)).

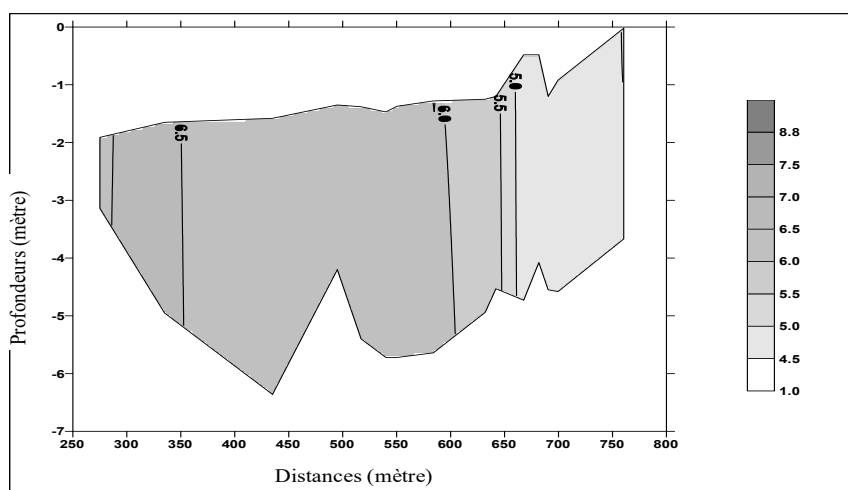


Figure 44 : Carte de la variabilité du pH en fonction de la profondeur en fin de saison des pluies

### B) Variabilité du potentiel hydrogène au milieu de la saison sèche

Pour les prélèvements effectués au milieu de la saison sèche (mois de mars 97, l'examen de la figure ci-dessous montre que les gammes d'acidité sont réparties d'une manière très hétérogène le long du topo séquence sans tenir compte du gradient de pente.

Sur le plan vertical l'acidité diminue avec la profondeur à l'exception du profil 13 et du profil 6 où l'on note une chute des valeurs de pH au voisinage de la nappe d'où une légère augmentation de l'acidité.

La terrasse moyenne semble être plus acide par rapport aux terrasses basses non inondable et inondable Avec des poches d'acidité comprises entre les gammes 1 - 4,5 (très acide). Ces poches sont présentes au niveau des profils 1, 2, 3, 4 et 7. Pour le profil 1 elle débute à partir de 1,2 m de la surface jusqu'à une profondeur 2,7 m. En revanche pour le profil 4 cette gamme très acide est observée depuis la surface jusqu'à une profondeur de 3,70 m contrairement au profil 7 où elle n'apparaît qu'en surface.

Les caractères de neutralité voir même basique ne sont observables qu'au niveau de la terrasse basse non inondable au sein des couches profondes pour les profils 9, 10, 11, 12, 13, 14 sous forme d'îlots.

Sur le plan horizontal, au niveau des terrasses basses, les courbes d'iso pH présentent des allures sinusoïdales avec des gammes d'acidité variable en surface allant du faiblement acide pour les distances de 350 m et 500 m par rapport au cours d'eau et acide pour les distances de 400 et 550 m. La gamme très acide peu représentée au niveau de cette terrasse se situe à une distance de 625 m par rapport au cours d'eau. Au niveau de la terrasse moyenne, les courbes d'iso pH ne présentent plus un certain parallélisme comme au niveau des terrasses basses. Au niveau de cette terrasse moyenne, la gamme très acide est représentée temps en surface qu'en profondeur.

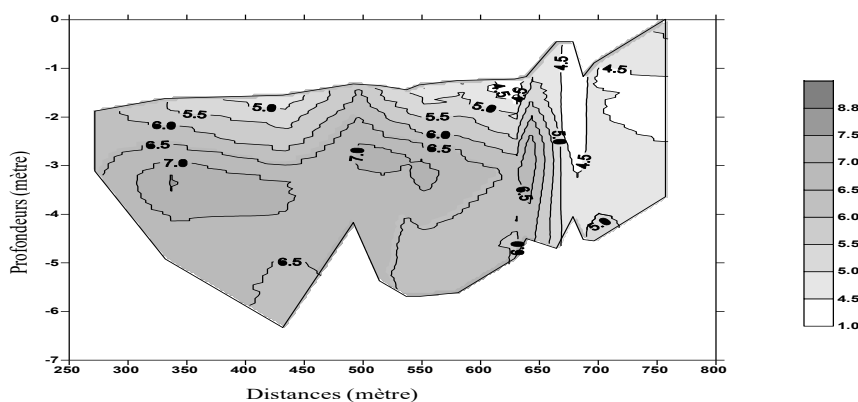


Figure 45 : Carte de la variabilité du pH en fonction de la profondeur en milieu de saison sèche.

## 2-3 Discussion

Dans le cadre de l'étude de la variabilité pluviométrique dans le secteur d'étude, nous constatons que cette forte variabilité observée à partir de 1999 est en conformité avec les études d'Ozer (2005) et d'Ali et Lebel (2008) faites dans des stations du Sahel.

L'observation de ces différents tableaux montre en effet que les tannes d'une manière générale sont très représentées au niveau de la terrasse moyenne pour les secteurs (Loul sessène, Fimela, Ngane, Djilôr, Ndiaffate). Cependant les sites de Ngane et Ndiaffate situés respectivement dans les zones peu arrosées et plus arrosées, répondent aux objectifs de notre étude et ont été choisis comme sites expérimentaux à cause des critères suivants : La répartition pluviométrique car ces deux sites constituent des bornes mini et maxi pour le découpage pluviométrique au niveau du domaine des tannes avec une moyenne pluviométrique oscillant entre 582 mm et 637 mm et entre 1961 et 1985, de 1985 à 2005, cette moyenne pluviométrique oscille entre 547 mm et 622 mm. (Thiam, 2008). De la position des sites par rapport au fleuve Saloum car le site de Ngane se trouve au Nord par rapport au fleuve Saloum et est positionné plus à l'intérieur des terres par rapport à ceux de Fimela et Loul Sessène. Le site de Ndiaffate se trouve au Sud du fleuve Saloum dans la zone la plus arrosée du bassin versant du Sine Saloum. De la salinité dans la mesure où ce critère conditionne la distribution spatiale des tannes et que le gradient de salinité et de température varient d'une manière croissante de l'embouchure jusqu'à Kaolack et transforment les sites de Ndiaffate et de Ngane en de véritables zones évaporatoires. De la texture du sol, nous constatons qu'à Ngane les sols sont plus sableux par rapport à ceux de Ndiaffate qui présentent un aspect plus argileux et cette différence texturale montre deux situations de fonctionnement des tannes, de leur proximité et accessibilité ; ces deux sites sont situés à une distance de 30 km du Centre de Kaolack et accessibles à toute époque de l'année.

Dans le cadre de la caractérisation des phénomènes de salinisation et d'alcalinisation des sols le  $Ca^{2+}$  varie inversement avec le gradient de profondeur contrairement aux cations  $K^+$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$  et les paramètres SAR ESP et du SSP qui suivent le gradient de profondeur ainsi le taux de sodicité  $(Na^+/T)*100$  avec une salinisation chloruro-sulfatée caractérisée par le rapport  $Cl/SO_4^{2-}$  inférieur à trois.

Notre approche d'étude de l'utilisation de ces paramètres est en parfaite adéquation avec les travaux de (Rashidi., 2009). De leur étude il a été proposé une estimation du ESP en fonction du SAR à partir d'une régression linéaire. Ces résultats sont en conformités avec ceux de l'étude de la salinité dans les différentes tranches des sols des plaines alluviales de

Marovoay Province de Majunga. (Damour, 1973). Il atteste que la prévision de salinisation et d'alcalinisation est importante à déterminer dans une étude sur l'évolution de la salure des sols destinés à la culture. Dans les sols de la plaine de Morovoay, ces paramètres augmentent en fonction de la profondeur comme on peut le constater dans le cas de notre étude sur l'ensemble de nos sites expérimentaux. L'ESP renseigne sur la composition cationique de la solution du sol et traduit une salinisation sodique favorable aux phénomènes d'alcalinisation. Les résultats obtenus par (Davis; Waskom et Bauder, 2006) dans la Gestion des sols sodiques sont parfaitement en adéquation avec nos résultats et ceux de Damour (1973) et (Furian et Barbiero, 1991). Les sols avec des niveaux élevés de sodium échangeable peuvent influencer sur la croissance des plantes par : une toxicité spécifique pour les plantes sensibles de sodium ; des carences nutritionnelles ou des déséquilibres ; pH élevé et une dispersion de particules de sol qui provoque une mauvaise condition physique du sol (Marlet et Job, 2006).

## 2-4 Conclusion

- La distribution des tannes en fonction des unités géomorphologiques dans les différentes zones d'études révèle en effet que les tannes d'une manière générale sont très représentées au niveau de la terrasse moyenne. Elle est de 41% dans la zone peu arrosée ; dans la zone moyennement arrosée 63% et 31% dans la zone la plus arrosée.
- L'identification de la végétation au niveau des différentes unités géomorphologiques a pu mettre en évidence une diminution du nombre de familles et d'espèces de la terrasse moyenne à la terrasse basse inondable. La famille la plus représentée sur l'ensemble des terrasses est celle des poacées. A Ndiassate, cette diminution passe de 27 à 19 pour les espèces et 13 à 12 pour les familles. Dans la station de Ngane elle est de 17 à 11 pour les espèces et les familles de 9 à 7.
  - Dans le cadre de la caractérisation des phénomènes de salinisation, d'alcalinisation et d'acidification dans les différentes unités géomorphologiques, sur le plan horizontal, le long de la topo - séquence nous observons une tendance décroissante de la concentration du  $\text{Ca}^{2+}$  ; en revanche les concentrations  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$  présentent une tendance croissante de la terrasse moyenne à la terrasse basse non inondable. Cette tendance est aussi observée au niveau des paramètres du SAR, ESP, SSP,  $\text{Ce}$  (dS/m),  $\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$  et  $(\text{Na}/\text{T}) \times 100$ . Sur le plan vertical, les concentrations des cations  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  et  $\text{K}^+$  évoluent inversement avec le gradient de profondeur ; en revanche la concentration du  $\text{Na}^+$ , le SAR, l'ESP, Le SSP, le taux de sodicité  $(\text{Na}/\text{T}) \times 100$  et le CE (dS/m) évoluent en fonction de la profondeur. La salinisation est chloruro-sulfatée dans les terrasses moyennes et basses non inondables. Cependant cette

salinisation est chlorurée pour les tranches proches de la nappe dans les terrasses basses inondables. Sur l'ensemble de la topo séquence, nous constatons une diminution du taux d'acidité échangeable de la surface à la nappe. En revanche l'acidité totale augmente de la surface vers la nappe.

- Dans le cadre de l'élaboration des différents types de cartes (sols, texturales, indices drainage) des deux sites expérimentaux, sept types de textures ont été mises en évidence : textures sablo-limono-argileuse, argilo-sablo-limoneuse, sablo-limono-argileuse, limono-argileuse, sablo-limoneuse, limoneuse et argileuse. Six classes de drainage ont été observées : très mauvaise, assez bonne, mauvaise, moyenne, bonne et très bonne. Au niveau de la carte des sols, quatre types de solontchaks d'après la classification Russe ont été identifiés : solontchak calcique, solontchak magnésien, solontchak sodico-magnésien et le solontchak sodico-calcique.
- Le résultat obtenu dans la caractérisation des phénomènes de salinisation et d'acidification en fonction de la profondeur, a révélé que la conductivité électrique et le pH varient tant sur le plan horizontal que sur le vertical. Les gammes de salinité à mesurer augmentent plus qu'on se rapproche du cours d'eau. Cependant la force d'acidité est caractérisée par la présence des milieux oxydés (présence de concrétions de couleurs claires d'une diminution des valeurs du pH) ou réduits (présence de concrétions de couleurs sombres, d'où une augmentation des valeurs du pH). Dans les deux stations, le taux d'acidité échangeable diminue de la surface à la nappe par contre l'acidité totale  $H^+ + Fe^{3+} + Al^{3+}$  augmente de la surface à la nappe.

Cette unité géomorphologique qui est la terrasse moyenne est soumise à une autre forme de salinisation par remontée par capillarité. La caractérisation morpho-pédologique ne suffit plus pour la mise en valeur de ces milieux. Il est alors nécessaire dans notre démarche d'étudier la dynamique et l'hydrochimie des eaux des nappes et du sol dans nos sites expérimentaux

### **CHAPITRE III : Etudes des eaux des nappes et du sol dans les sites expérimentaux**

## **Introduction**

L'objectif spécifique de ce chapitre est étudié d'une part le fonctionnement hydro-chimique des eaux des nappes et d'autre part le comportement de la teneur en eau, des conductivités électriques et du pH en fonction de la profondeur dans les différentes unités géomorphologiques des sites d'étude. De ce fait, des bilans ioniques ont été effectués sur des échantillons prélevés durant les périodes de l'étude c'est-à-dire du 23 octobre 97 au 02 septembre 99. Ces prélèvements sont effectués sur l'ensemble du réseau de piézomètres recouvrant les quatre terrasses de chaque site expérimental (Ben Hassine, 2005). Les résultats d'analyses sont exprimés en milliéquivalents par litre d'eau. Ces données concernent la station de Ndiaffate située au sud du fleuve Saloum avec un réseau de 15 piézomètres. La station de Ngane située au nord du fleuve Saloum ne comporte que 7 piézomètres. Dans ce chapitre les évolutions, des anions, des cations, du caractère des eaux des nappes phréatiques (Damour, 1973), du SAR et du pourcentage de sodium échangeable ont été étudiées sur les différentes unités géomorphologiques, en périodes sèches comme en périodes humides (Rashidi, 2009) ; (Bauder et al, 2006) ; (Gaaloul, 2007). Dans l'étude du comportement de la variabilité des teneurs en eau, de la conductivité électrique et du pH ont été déterminés en fonction des profondeurs de prises d'échantillons. (Marlet et Job, 2006)

Pour mener cette étude différentes activités ont on été réalisées :

- expliquer l'évolution des cations, anions et des caractères des nappes en périodes sèches et humides (Stations expérimentales de Ndiaffate et Ngane)
- examiner la conductivité électrique (Ce dS/m), le potentiel hydrogène (pH) et les hauteurs des nappes dans les stations expérimentales.
- interpréter la variabilité de la teneur en eau, de la conductivité électrique et du pH en fonction de la profondeur et des différentes unités géomorphologiques.

### **3-1 Matériel et méthodes**

Cette caractérisation des eaux des nappes et du sol est effectuée au niveau des sites expérimentaux (voir figures 7 et 8. Chapitre 4 dans matériel et méthode) sur lesquels des dispositifs constitués de réseaux de piézomètres ont été installés. A Ndiaffate ce réseau de piézomètres perpendiculaire au lit du cours d'eau (Vélor) est implanté depuis la terrasse moyenne jusqu'à la terrasse basse inondable et est disposé de la manière suivante : 6 tubes en PVC au niveau de la terrasse moyenne, 8 au niveau de la terrasse basse non inondable et 1 au niveau de la terrasse basse inondable. Au niveau du site Ngane le réseau de piézomètres est réparti de la manière suivante : deux piézomètres (p1 et p2) couvrent la terrasse moyenne,

trois sont installés au niveau de la terrasse non inondable (p7, p3 et p4) et sur la terrasse basse inondable deux piézomètres ont été mis en place (p6 et p5).

Pour l'ensemble des deux sites, l'altitude de l'emplacement de chaque piézomètre est connue et caractérise une discontinuité texturale. Cette disposition permet de suivre l'évolution de la nappe pendant les collectes hebdomadaires et mensuelles. Ces données concernent les paramètres hydro-chimiques des eaux des nappes. Les mesures de teneur en eau du sol permettent d'observer la variabilité du flux du front d'humectation dans le sol.

Pour étudier l'évolution spatio-temporelle des données hydro chimiques des eaux de des nappes, nous avons adopté la démarche suivante en scindant la série chronologique en deux grandes périodes (périodes sèches et périodes humides). Pour étudier ces données les méthodes suivantes ont été utilisées : l'indice standardisé, le filtre passe-bas de Hanning d'ordre 2, le test de corrélation sur le rang et la procédure de segmentation d'Hubert.

Pour l'analyse de la série chronologique, le traitement statistique proposé dans cette étude concerne, d'une part, la détection des changements brusques des caractéristiques des séries de données, et, d'autre part, la tendance. La première partie porte sur la détection des changements des valeurs hebdomadaires des conductivités électriques. En effet, une rupture peut être définie par un changement dans la loi de probabilité de la série chronologique à un instant donné, le plus souvent inconnu (Lubès et al, 1998). Deux méthodes statistiques de détection de rupture ont été utilisées : le test de Pettitt (Pettitt, 1979) et la procédure de segmentation (Hubert *et al*, 1989). Pour ces deux tests un niveau de signification de 10 % a été considéré.

### **3-2 Résultats**

#### **3-2-1 Etude de l'évolution des cations, anions et des caractères des nappes en périodes sèches et humides (Stations expérimentales de Ndiaffate et Ngane)**

##### **A) La terrasse haute.**

A1) Classification du pourcentage des cations et des anions des eaux des nappes.

Au niveau de la terrasse haute, le suivi de la nappe est effectué au niveau de deux puits distants l'un de l'autre de soixante-quinze mètres (75 m) dans la station de Ndiaffate et mille trois cent quatre-vingt-treize mètres (1393 m) dans la station de Ngane.

Tableau 14 : Bilans ioniques mensuels en méq/litre durant les périodes de l'étude (Stations de Ndiaffate et Ngane). Annexe V.

Tableau 15 : Pourcentages cationiques et anioniques par rapport à la somme des cations (Stations de Ndiaffate et Ngane) Annexe VI

Parmi les cations, dans les stations de Ndiaffate et de Ngane, les valeurs mensuelles du pourcentage de sodium ( $\text{Na}^+$ ) au niveau des nappes de la terrasse haute durant les périodes de

l'étude sont fortement représentées et varient entre 56% et 48% par rapport à l'ensemble des cations dans la station de Ndiaffate et entre 42% et 33%. dans la station de Ngane. Le cation  $\text{Ca}^{2+}$  vient en seconde position avec des pourcentages qui tournent entre 30% et 21% dans la station de Ndiaffate. Par contre il occupe la troisième place dans la station de Ngane avec des pourcentages qui tournent entre 24% et 19%.

Le cation  $\text{Mg}^{2+}$  occupe la troisième place au niveau du bilan ionique avec des pourcentages variant entre 25% et 21%. Au niveau de Ngane, ce même type de cation occupe la seconde avec des pourcentages variant entre 39% et 34%

Le cation  $\text{K}^+$  occupe la dernière position dans le bilan ionique des deux stations. Les pourcentages varient entre 0,74% et 0,36% dans la station de Ndiaffate et entre 1,7% et 0,7%. dans la station de Ngane.

Parmi les anions, le classement au niveau des deux stations. Le  $\text{Cl}^-$  vient en première position avec un pourcentage variant entre 92% et 85% pour la station de Ndiaffate et entre 66% et 59% pour Ngane. Le  $\text{SO}_4^{2-}$  et le  $\text{SiO}_2^{2-}$  occupent respectivement la seconde et la troisième place avec des pourcentages variant entre 15% - 8% et 0,29% - 0,11% pour Ndiaffate et entre 41% - 33% et 0,5% - 0,1% pour Ngane.

## A2) Evolution des caractères des eaux des nappes

Périodes sèches.

Tableau 16 : Evolution du SAR et du ESP% au niveau des nappes des terrasses hautes en périodes sèches (Stations de Ndiaffate et Ngane).

| Paramètres.<br>Dates | Ca/Mg     |       | (Na+K)/ (Ca+Mg) |       | SAR       |       | ESP%      |       |
|----------------------|-----------|-------|-----------------|-------|-----------|-------|-----------|-------|
|                      | Ndiaffate | Ngane | Ndiaffate       | Ngane | Ndiaffate | Ngane | Ndiaffate | Ngane |
| Nov 97               | 1,27      | 0,50  | 1,16            | 0,73  | 18,64     | 15,53 | 20,78     | 17,80 |
| Déc 97               | 1,39      | 0,50  | 0,93            | 0,73  | 18,64     | 15,73 | 20,78     | 17,99 |
| Janv 98              | 1,25      | 0,50  | 1,03            | 0,73  | 20,13     | 15,90 | 22,14     | 18,16 |
| Fev 98               | 1,49      | 0,51  | 0,95            | 0,75  | 18,99     | 16,51 | 21,10     | 18,76 |
| Mars 98              | 1,42      | 0,52  | 1,00            | 0,75  | 20,03     | 16,66 | 22,04     | 18,91 |
| Avr 98               | 1,13      | 0,55  | 1,16            | 0,74  | 22,67     | 16,92 | 24,35     | 19,15 |
| Mai 98               | 1,26      | 0,61  | 1,02            | 0,74  | 20,76     | 17,51 | 22,70     | 19,72 |
| Juin 98              | 1,25      | 0,62  | 1,00            | 0,68  | 20,76     | 15,61 | 22,70     | 17,87 |
| Nov 99               | 1,24      | 0,53  | 1,02            | 0,72  | 20,98     | 14,35 | 22,89     | 16,60 |
| Déc 99               | 1,23      | 0,53  | 0,96            | 0,67  | 20,49     | 14,19 | 22,46     | 16,44 |
| Janv99               | 1,13      | 0,51  | 0,98            | 0,67  | 20,85     | 14,64 | 22,78     | 16,90 |
| Fev 99               | 1,25      | 0,51  | 0,93            | 0,68  | 20,45     | 15,15 | 22,42     | 17,42 |
| Mars 99              | 1,11      | 0,54  | 1,03            | 0,67  | 22,65     | 15,19 | 24,33     | 17,46 |
| Avr 99               | 1,11      | 0,53  | 1,15            | 0,71  | 25,22     | 16,13 | 26,43     | 18,39 |
| Mai 99               | 1,12      | 0,61  | 1,16            | 0,64  | 26,74     | 15,71 | 27,63     | 17,98 |
| Juin 99              | 1,08      | 0,71  | 1,23            | 0,68  | 27,08     | 15,26 | 27,89     | 17,53 |

En somme au cours des deux périodes sèches Novembre 97 à juin 98 et novembre 98 à juin 99, aucune substitution importante entre les ions n'est observée et l'ordre de classification des cations et des anions reste le même durant les deux périodes sèches au

niveau des nappes des terrasses hautes de Ndiaffate et de Ngane. A Ndiaffate deux types de caractères ont été enregistrés : chloruro-sodico-calciqye caractérisé par les valeurs de  $(Na+K)/(Ca+Mg)$  comprises entre 1 et 4 avec un rapport Ca/Mg supérieur à 1 chloruro-calciqye caractérisé par les valeurs du rapport  $(Na+K)/(Ca+Mg)$  inférieures à 1 avec un Ca/Mg toujours supérieur à 1. Le premier caractère est observé pour les dates suivantes : novembre 97, du mois de mars 98 au mois de novembre 98 et du mois de mars 99 au mois de juin 99. Le second caractère est enregistré en décembre 97, février 98 et du mois de décembre 98 au mois de février 99. Au niveau de Ngane un seul type de caractère est observé durant la période d'étude il s'agit : chloruro-sodico-magnésien caractérisé par les valeurs de  $(Na+K)/(Ca+Mg)$  partout inférieures à 1 ainsi que le rapport Ca/Mg. Les valeurs de l'ESP% (Pourcentage de Sodium Echangeable) sont très peu différentes de celles du SAR (Sodium-Adsorption-Ratio).

#### Périodes humides

Tableau 17 : Evolution du SAR et de l'ESP% au niveau des nappes des terrasses hautes en périodes humides. (Stations Ndiaffate et Ngane).

| Dates   | Ca/Mg     |       | (Na+K)/ (Ca+Mg) |       | SAR       |       | ESP%      |       |
|---------|-----------|-------|-----------------|-------|-----------|-------|-----------|-------|
|         | Ndiaffate | Ngane | Ndiaffate       | Ngane | Ndiaffate | Ngane | Ndiaffate | Ngane |
| Oct 97  | 1,25      | 0,05  | 1,12            | 0,73  | 21,83     | 15,35 | 23,63     | 17,62 |
| Juil 98 | 1,14      | 0,68  | 1,07            | 0,74  | 20,96     | 16,18 | 22,87     | 18,44 |
| Août 98 | 1,09      | 0,70  | 0,99            | 0,73  | 17,86     | 14,92 | 20,06     | 17,18 |
| Sept 98 | 1,02      | 0,66  | 0,98            | 0,54  | 17,67     | 10,44 | 19,88     | 12,05 |
| Oct 98  | 1,24      | 0,63  | 1,01            | 0,80  | 19,94     | 14,31 | 21,97     | 16,56 |
| Juil 99 | 1,15      | 0,68  | 1,23            | 0,69  | 26,44     | 14,90 | 27,40     | 17,16 |
| Août 99 | 1,00      | 0,68  | 1,31            | 0,71  | 25,18     | 14,87 | 26,41     | 17,13 |
| Sept 99 | 0,97      | 0,67  | 1,15            | 0,70  | 21,55     | 14,58 | 23,39     | 16,84 |

Dans les deux stations (Ndiaffate et Ngane), en périodes de pluies c'est-à-dire hivernage 98 et 99, le SAR taux de sodium d'absorption (Sodium – Adsorption – Ratio) et le ESP% (Pourcentage de Sodium Echangeable) évoluent dans le même sens. A Ndiaffate les valeurs maximales sont observées au mois de juillet 99 pour un SAR de 26 et un ESP% de 27%. Les valeurs minimales au mois de septembre 98 pour un SAR de 18 et un ESP% de 20%. Au niveau de Ngane Les valeurs maximales sont enregistrées au mois de juillet 98 pour un SAR de 16,18 et un ESP% de 18,44%. Les valeurs minimales au mois de septembre 98 pour un SAR de 14,58 et un ESP% de 16,84%.

Trois des caractères ont été observés au niveau de Ndiaffate il s'agit : chloruro-sodico-calciqye, chloruro-calciqye et chloruro-sodico-magnésien.

Le caractère chloruro-sodico-calciqye de la pluviale est caractérisé par les valeurs du rapport  $(Na+K)/(Ca+Mg)$  comprises entre 1 et 4 avec un Ca/Mg supérieur à 1 sont observés en octobre 97, juillet 98, octobre 98 et juillet 99.

Le caractère chloruro-calcique présente les caractéristiques suivants : les valeurs du rapport (Na+K)/ (Ca+Mg) inférieures à 1 avec des valeurs du Ca/Mg supérieures à 1. Ce type de caractère est observé en août 98 et septembre

Le caractère chloruro-sodico-magnésien est mis en évidence par les valeurs du rapport (Na+K)/ (Ca+Mg) comprises entre 1 et 4 avec des valeurs du rapport Ca/Mg inférieures à 1. Ce caractère est observé en août 99 et en septembre 99.

A Ngane la nappe pluviale de la terrasse haute présente un seul type de caractère : chloruro-sodico-magnésien.

A3) Comparaison des caractéristiques chimiques des nappes par rapport à celles des cours d'eau (Vélor et Ngane).

Pour effectuer cette comparaison, nous utiliserons les moyennes des périodes sèches et humides.

Périodes sèches.

Tableau 18 : Comparaison des caractéristiques chimiques de la nappe de la terrasse haute en périodes sèches par rapport à celles du cours d'eau Vélor (Ndiaffate).

|       | Ce<br>(dS/m) | pH  | Cl     | SO <sub>4</sub> | Concentration en méq/l |       |       | K    | Na     | Cl/<br>SO <sub>4</sub> | Na/<br>Mg | Ca/<br>Mg | SAR   | ESP<br>% | (Na+K)/<br>(Ca+Mg) |
|-------|--------------|-----|--------|-----------------|------------------------|-------|-------|------|--------|------------------------|-----------|-----------|-------|----------|--------------------|
|       |              |     |        |                 | SiO <sub>2</sub>       | Ca    | Mg    |      |        |                        |           |           |       |          |                    |
| Nappe | 3,2          | 6,4 | 399,7  | 55,0            | 0,9                    | 122,4 | 100,4 | 2,1  | 230,0  | 7,3                    | 2,3       | 1,2       | 21,7  | 23,5     | 1,04               |
| Vélor | 133,1        | 8,1 | 2471,6 | 261,3           | 0,05                   | 137,3 | 344,8 | 18,8 | 2234,8 | 0,11                   | 6,5       | 0,40      | 144,3 | 66,6     | 4,70               |
| Mer   | 47,0         | 8,2 | 541,0  | 55,0            |                        | 20,0  | 107,5 | 9,7  | 464,0  | 0,1                    | 4,3       | 0,2       | 58,1  | 45,8     | 3,72               |

Tableau 19 : Comparaison des caractéristiques chimiques de la nappe de la terrasse haute en périodes sèches par rapport à celles du cours d'eau Ngane (Ngane).

|       | Ce<br>(dS/m) | pH  | Cl     | SO <sub>4</sub> | Concentration en méq/l |       |        | K    | Na     | Cl/<br>SO <sub>4</sub> | Na/<br>Mg | Ca/<br>Mg | SAR  | ESP<br>% | (Na+K)/<br>(Ca+Mg) |
|-------|--------------|-----|--------|-----------------|------------------------|-------|--------|------|--------|------------------------|-----------|-----------|------|----------|--------------------|
|       |              |     |        |                 | SiO <sub>2</sub>       | Ca    | Mg     |      |        |                        |           |           |      |          |                    |
| Nappe | 8,5          | 7,3 | 284,1  | 158,8           | 1,0                    | 92,1  | 167,5  | 4,1  | 178,8  | 9,8                    | 4,3       | 0,2       | 15,7 | 17,9     | 3,7                |
| Vélor | 138,6        | 8,0 | 2876,1 | 327,9           | 0,04                   | 127,7 | 1207,2 | 25,2 | 1810,3 | 9,0                    | 1,5       | 0,1       | 69,9 | 50,2     | 1,4                |
| Mer   | 47,0         | 8,2 | 541,0  | 55,0            |                        | 20,0  | 107,5  | 9,7  | 464,0  | 0,1                    | 4,3       | 0,2       | 58,1 | 45,8     | 3,7                |

Dans la station de Ndiaffate en périodes sèches, le cours d'eau Vélor présente un caractère chloruro-sodique et l'eau de mer un caractère chloruro-sodico-magnésien tandis que les eaux des nappes de la terrasse haute un caractère chloruro-sodico-calcique. En revanche dans la station de Ngane le cours d'eau Ngane, l'eau de la nappe ainsi que l'eau de mer présentent le même type de caractère : chloruro-sodico-magnésien.

Le SAR (Sodium Adsorption Ratio) et l'ESP% (Pourcentage de Sodium Echangeable) observés au niveau du Vélor et de Ngane sont nettement supérieurs à ceux de l'eau de mer et des nappes de la terrasse haute.

A Ndiaffate, le SAR est 7 fois supérieur à celui des nappes de la terrasse haute et 2 fois supérieur à celui de l'eau de mer. En revanche, l'ESP% du Vélor qui est de l'ordre de 66,64% est 3 fois supérieur à ceux des nappes de la terrasse haute et 1 fois supérieur à celui de l'eau de mer. La concentration en Na<sup>+</sup> du Vélor est 10 fois supérieure à celle des nappes et 5 fois

supérieure à celle de l'eau de mer. Par contre la concentration en Cl est 6 fois supérieure à celle des nappes de la terrasse haute et 5 fois supérieure à celle de l'eau de mer.

Dans la station de Ngane, le SAR est 4 fois supérieur à celui des nappes de la terrasse haute et légèrement supérieure à celui de l'eau de mer. En revanche, l'ESP% du cours d'eau Ngane qui est de l'ordre de 50,21% est 3 fois supérieur à ceux des nappes de la terrasse haute et 1 fois supérieure à celui de l'eau de mer.

La concentration du sodium au niveau de Ngane est 10 fois supérieure à celle des nappes et est 4 fois supérieure à celle de l'eau de mer. Par contre la concentration en Cl est 10 fois supérieure à celle des nappes de la terrasse haute et 5 fois supérieure à celle de l'eau de mer.

Périodes humides.

Tableau 20 : Comparaison des caractéristiques chimiques de la nappe de la terrasse haute en périodes humides par rapport à celles du cours d'eau Vélor (Ndiaffate).

|       | Ce<br>(dS/m) | pH  | Cl     | SO4   | Concentration en méq/l |       |       |      |        | Cl/<br>SO4 | Na/<br>Mg | Ca/<br>Mg | SAR   | ESP<br>% | (Na+K)/<br>(Ca+Mg) |
|-------|--------------|-----|--------|-------|------------------------|-------|-------|------|--------|------------|-----------|-----------|-------|----------|--------------------|
|       |              |     |        |       | SiO2                   | Ca    | Mg    | K    | Na     |            |           |           |       |          |                    |
| Nappe | 2,3          | 6,4 | 366,7  | 40,8  | 0,7                    | 100,9 | 90,8  | 2,2  | 212,2  | 8,9        | 2,3       | 1,1       | 21,3  | 23,1     | 1,1                |
| Vélor | 85,5         | 8,2 | 1937,5 | 231,8 | 0,3                    | 115,2 | 303,8 | 15,7 | 1729,6 | 0,1        | 5,7       | 0,4       | 119,4 | 62,7     | 4,2                |
| Mer   | 47,0         | 8,2 | 541,0  | 55,0  |                        | 20,0  | 107,5 | 9,7  | 464,0  | 0,1        | 4,3       | 0,2       | 58,1  | 45,8     | 3,7                |

Tableau 21 : Comparaison des caractéristiques chimiques de la nappe de la terrasse haute en périodes humides par rapport à ceux du cours d'eau Ngane (Ngane).

|       | Ce<br>(dS/m) | pH  | Cl     | SO4   | Concentration en méq/l |       |        |      |        | Cl/<br>SO4 | Na/<br>Mg | Ca/<br>Mg | SAR  | ESP<br>% | (Na+K)/<br>(Ca+Mg) |
|-------|--------------|-----|--------|-------|------------------------|-------|--------|------|--------|------------|-----------|-----------|------|----------|--------------------|
|       |              |     |        |       | SiO2                   | Ca    | Mg     | K    | Na     |            |           |           |      |          |                    |
| Nappe | 5,7          | 8,0 | 226,2  | 149,8 | 0,8                    | 87,3  | 134,8  | 4,4  | 152,2  | 1,5        | 1,1       | 0,7       | 14,4 | 16,2     | 0,7                |
| Ngane | 89,6         | 7,6 | 2677,8 | 290,7 | 0,1                    | 120,3 | 1140,7 | 51,5 | 1647,5 | 9,7        | 1,4       | 0,1       | 65,5 | 48,5     | 1,3                |
| Mer   | 47,00        | 8,2 | 541,0  | 55,0  |                        | 20,0  | 107,5  | 9,7  | 464,0  | 0,1        | 4,32      | 0,2       | 58,1 | 45,8     | 3,7                |

Durant les périodes humides dans la station de Ndiaffate, les eaux des nappes de la terrasse haute et celles du cours d'eau Vélor présentent les mêmes caractères observés en périodes sèches c'est-à-dire chloruro-sodico-calcique et chloruro-sodique. Cependant dans la station de Ngane les eaux des nappes de la terrasse haute présentent un caractère chloruro-magnésien par contre les eaux du cours d'eau Ngane et l'eau de mer présentent un caractère chloruro-sodico-magnésien.

A Ndiaffate, le SAR et l'ESP% du cours d'eau Vélor restent toujours supérieurs à ceux de la terrasse haute et de l'eau de mer. Le SAR du cours d'eau Vélor est 6 fois supérieur à ceux de la terrasse haute et 2 fois supérieur à celui de l'eau de mer. Le pourcentage de sodium échangeable du Vélor est 3 fois supérieur à celui de la nappe et 1 fois supérieur à celui de l'eau de mer. Dans la station de Ngane ; le SAR et le ESP% du cours d'eau Ngane restent toujours supérieurs à ceux de la terrasse haute et de l'eau de mer. Le SAR du cours d'eau Ngane est 5 fois supérieur à ceux de la terrasse haute et légèrement supérieure à celui de l'eau

de mer. Le pourcentage de sodium échangeable du cours d'eau Ngane est 3 fois supérieur à celui de la nappe et est légèrement supérieur à celui de l'eau de mer. En période humide, la concentration du Na est 8 fois supérieure à celle de des nappes de la terrasse haute à Ndiaffate et elle est 11 supérieure à Ngane. Dans les deux stations (Ndiaffate et Ngane), elle est 3 fois supérieure à celle de l'eau de mer. Cependant la concentration en Cl est 5 fois supérieure à celle des nappes et 4 fois supérieure à celle de l'eau de mer à Ndiaffate et Ngane.

## **B) La terrasse moyenne.**

B1) Classification du pourcentage des cations et des anions des eaux des nappes.

Tableau 22 : Bilans ioniques mensuels cationiques et anioniques en méq/litre durant les périodes de l'étude dans la terrasse moyenne. (Stations de Ndiaffate et Ngane). Annexe VII.

Tableau 23 : Bilans ioniques mensuels des pourcentages cationiques et anioniques durant les périodes de l'étude dans la terrasse moyenne (Stations de Ndiaffate et Ngane). Annexe VIII.

Dans la terrasse moyenne on observe le même type de classement au niveau des cations dans l'ensemble des deux stations. Les pourcentages des valeurs mensuelles du sodium ( $\text{Na}^+$ ) prédominent et varient entre [41% et 44% [à Ndiaffate et entre [46% et 53%[ au niveau de Ngane. Ils sont suivis du magnésium par ( $\text{Mg}^{2+}$ ), le calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) et en dernière position vient le potassium dont les valeurs varient entre [0,45 % et 0,52% [pour Ndiaffate et entre [0,6 % et 0,8% [pour Ngane. Au niveau des anions, on enregistre le même classement sur l'ensemble des deux stations. Le chlore ( $\text{Cl}^-$ ) occupe la première place avec des pourcentages des valeurs mensuelles variant entre [83% et 89% [au Niveau de Ndiaffate et entre [63% et 72% [pour Ngane. Les anions  $\text{SO}_4^{2-}$  et le  $\text{SIO}^{2-}$  occupent respectivement la seconde et la troisième place dans l'ensemble des deux stations.

B2) Evolution des caractères des eaux des nappes  
Périodes sèches.

Tableau 24 : Evolution du SAR et de l'ESP% au niveau des nappes des terrasses moyennes en périodes sèches (Stations de Ndiaffate et Ngane).

| Dates   | Paramètres. Ca/Mg |       | (Na+K)/ (Ca+Mg) |       | SAR       |       | ESP%      |       |
|---------|-------------------|-------|-----------------|-------|-----------|-------|-----------|-------|
|         | Ndiaffate         | Ngane | Ndiaffate       | Ngane | Ndiaffate | Ngane | Ndiaffate | Ngane |
| Nov 97  | 0,84              | 0,40  | 0,81            | 1,0   | 33,09     | 27,1  | 32,23     | 27,9  |
| Déc 97  | 0,91              | 0,30  | 0,73            | 1,0   | 31,93     | 28,7  | 31,43     | 29,1  |
| Janv 98 | 0,91              | 0,30  | 0,78            | 1,0   | 33,75     | 30,0  | 32,67     | 30,1  |
| Fév 98  | 0,87              | 0,30  | 0,78            | 1,0   | 34,45     | 31,0  | 33,14     | 30,8  |
| Mars 98 | 0,90              | 0,30  | 0,77            | 1,0   | 34,46     | 29,5  | 33,14     | 29,7  |
| Avr 98  | 0,87              | 0,30  | 0,78            | 1,0   | 35,23     | 30,0  | 33,65     | 30,0  |
| Mai 98  | 0,88              | 0,30  | 0,81            | 1,0   | 36,73     | 30,9  | 34,61     | 30,7  |
| Juin 98 | 0,89              | 0,30  | 0,80            | 1,0   | 36,34     | 31,5  | 34,36     | 31,1  |
| Nov 98  | 0,87              | 0,40  | 0,76            | 1,0   | 32,75     | 28,4  | 32,00     | 28,9  |
| Déc 98  | 0,91              | 0,30  | 0,76            | 1,0   | 33,88     | 28,7  | 32,76     | 29,1  |
| Janv 99 | 0,92              | 0,30  | 0,74            | 1,0   | 34,28     | 30,2  | 33,02     | 30,2  |
| Fév 99  | 0,91              | 0,30  | 0,75            | 1,1   | 35,11     | 31,3  | 33,57     | 31,0  |
| Mars 99 | 0,89              | 0,30  | 0,78            | 0,9   | 36,55     | 29,3  | 34,49     | 29,6  |
| Avr 99  | 0,89              | 0,30  | 0,78            | 1,0   | 37,24     | 30,2  | 34,92     | 30,2  |
| Mai 99  | 0,89              | 0,30  | 0,78            | 1,1   | 37,94     | 31,3  | 35,36     | 31,0  |
| Juin 99 | 0,89              | 0,30  | 0,79            | 1,0   | 37,87     | 30,9  | 35,31     | 30,7  |

Au niveau des deux stations durant les périodes sèches de l'étude, les paramètres SAR et ESP% présentent le type de comportement avec des tendances croissantes du mois de Novembre au mois de Juin. Dans la station de Ndiaffate les valeurs maximales du SAR et de l'ESP% sont enregistrées au mois de Mai dans l'ensemble des deux périodes sèches. En revanche dans la station de Ngane les valeurs maximales du SAR et ESP% sont observées en Juin dans la première période sèche et en Mai dans la seconde période sèche. Dans la station de Ndiaffate les valeurs des rapports (Na+k)/ (Ca+Mg) et (Ca/Mg) sont partout inférieures à 1 sur l'ensemble des deux périodes sèches d'où le caractère chloruro-magnésien. Cependant dans la station de Ngane nous constatons un caractère sodico-magnésien sur l'ensemble des deux périodes sèches.

Périodes humides.

Tableau 25 : Evolution du SAR et de l'ESP% au niveau des nappes des terrasses moyennes en périodes humides. (Stations de Ndiaffate et Ngane).

| Dates   | Paramètres. Ca/Mg |       | (Na+K)/ (Ca+Mg) |       | SAR       |       | ESP%      |       |
|---------|-------------------|-------|-----------------|-------|-----------|-------|-----------|-------|
|         | Ndiaffate         | Ngane | Ndiaffate       | Ngane | Ndiaffate | Ngane | Ndiaffate | Ngane |
| Oct 97  | 0,92              | 0,40  | 0,83            | 1,00  | 32,46     | 26,90 | 31,79     | 27,70 |
| Juil 98 | 0,83              | 0,30  | 0,82            | 1,10  | 35,77     | 32,50 | 33,99     | 31,80 |
| Août 98 | 0,81              | 0,40  | 0,79            | 1,10  | 33,19     | 28,90 | 32,29     | 29,20 |
| Sept 98 | 0,84              | 0,40  | 0,81            | 0,90  | 32,00     | 26,10 | 31,48     | 27,10 |
| Oct 98  | 0,87              | 0,40  | 0,77            | 1,00  | 31,59     | 27,80 | 31,19     | 28,50 |
| Juil 99 | 0,87              | 0,40  | 0,79            | 1,00  | 36,25     | 28,60 | 34,30     | 29,00 |
| Août 99 | 0,81              | 0,40  | 0,85            | 0,90  | 34,98     | 25,60 | 33,48     | 26,70 |
| Sept 99 | 0,79              | 0,40  | 0,86            | 0,90  | 32,69     | 25,40 | 31,95     | 26,60 |

Dans la station de Ndiaffate au courant des périodes hivernales 98 et 99, le SAR Taux de Sodium d’Absorption (Sodium-Adsorption-Ration) et l’ESP% Pourcentage de Sodium Echangeable présentent le même type de comportement avec des valeurs maximales observées au mois de juillet 99 pour un SAR de 36,25 et un ESP% de 34,30%. Les valeurs minimales sont enregistrées au mois d’octobre 98 avec un SAR de 31,59 et un ESP% de 31,19%. Au niveau de Ngane le SAR Taux de Sodium d’Absorption (Sodium Adsorption Ration) et le ESP% Pourcentage de Sodium Echangeable présentent le même type de comportement avec des valeurs très peu différentes. Les valeurs maximales du SAR et ESP% sont observées aux mois de juillet 98 et 99. Les valeurs minimales sont enregistrées aux mois de septembre 98 et 99.

Dans la station de Ndiaffate, le caractère chloruro-magnésien est observé durant les périodes hivernales de l’étude avec les valeurs du rapport  $(Na + K) / (Ca + Mg)$  et  $Ca/Mg$  partout inférieures à 1. Cependant au niveau de Ngane les valeurs du rapport  $(Na + K) / (Ca + Mg)$  varient entre 0,9 et 1 avec des valeurs du rapport  $Ca/Mg$  partout inférieures à 1. Ces valeurs indiquent deux types de caractères : un caractère sodico-magnésien caractérisé par les valeurs du rapport  $(Na + K) / (Ca + Mg)$  comprises entre 1 et 4 et le rapport  $Ca/Mg$  inférieur à 1 ; un caractère magnésien avec les valeurs du rapport  $(Na + K) / (Ca + Mg)$  inférieures à 1 ainsi que les valeurs du rapport  $Ca/Mg$ .

B3) Comparaison des caractéristiques chimiques des eaux des nappes par rapport à celles des cours d’eau (Vélor et Ngane).

Pour effectuer cette comparaison nous avons fait la moyenne des valeurs obtenues au niveau du réseau de piézomètres couvrant la terrasse moyenne tout en distinguant les périodes sèches et les périodes humides.

Période sèche.

Tableau 26 : Comparaison des caractéristiques chimiques de la nappe de la terrasse moyenne en périodes sèches par rapport à celles du cours d’eau Vélor (Ndiaffate).

|       | Ce<br>(dS/m) | pH   | Cl      | SO4    | Concentration en méq/l |        |        | K     | Na      | Cl/<br>SO4 | Na/<br>Mg | Ca/<br>Mg | SAR   | ESP<br>% | (Na+K)/<br>(Ca+Mg) |
|-------|--------------|------|---------|--------|------------------------|--------|--------|-------|---------|------------|-----------|-----------|-------|----------|--------------------|
| Nappe | 38,80        | 6,6  | 799,61  | 133,7  | 0,99                   | 246,6  | 277,2  | 4,28  | 402,21  | 5,96       | 1,4       | 0,9       | 35,1  | 33,54    | 0,18               |
| Vélor | 132,8        | 8,10 | 2470,19 | 261,18 | 0,05                   | 137,11 | 344,88 | 18,80 | 2231,91 | 9,46       | 6,47      | 0,4       | 64,53 | 132,90   | 4,67               |
| Mer   | 47           | 8,20 | 541,00  | 55,00  |                        | 20,00  | 107,50 | 9,70  | 404,00  | 0,10       | 4,32      | 0,19      | 58,11 | 45,79    | 3,72               |

Tableau 27 : Comparaison des caractéristiques chimiques de la nappe de la terrasse moyenne en périodes sèches par rapport à celles du cours d’eau Ngane. (Ngane).

|       | Ce<br>(dS/m) | pH  | Cl     | SO4   | Concentration en méq/l |       |        | K    | Na     | Cl/<br>SO4 | Na/<br>Mg | Ca/<br>Mg | SAR  | ESP<br>% | (Na+K)/<br>(Ca+Mg) |
|-------|--------------|-----|--------|-------|------------------------|-------|--------|------|--------|------------|-----------|-----------|------|----------|--------------------|
| Nappe | 32,4         | 4,2 | 534,6  | 254,6 | 1,8                    | 111,4 | 355,4  | 5,8  | 457,5  | 2,11       | 1,3       | 0,3       | 29,5 | 30,0     | 1,0                |
| Ngane | 138,7        | 8,0 | 2876,1 | 327,8 | 0,04                   | 127,7 | 1208,1 | 52,2 | 1810,3 | 8,9        | 1,5       | 0,1       | 69,9 | 50,2     | 1,4                |
| Mer   | 47,0         | 8,2 | 541,0  | 55,0  |                        | 20,0  | 107,5  | 9,7  | 464,0  | 9,8        | 4,3       | 0,2       | 58,1 | 45,8     | 3,7                |

En périodes sèches de l’étude, le SAR (Sodium Adsorption Ratio) et l’ESP% (Pourcentage de Sodium Echangeable) des cours d’eau Vélor et de Ngane sont supérieurs à

ceux des nappes de leur terrasse moyenne respective et de l'eau de mer. Dans la station de Ndiaffate (Tableau 27), le SAR du cours d'eau Vélor est presque le double de celui de la nappe et légèrement supérieur à celui de l'eau de mer. En revanche le ESP% du cours d'eau Vélor qui est de l'ordre de 132,90 est 4 fois supérieur à celui de la nappe de la terrasse moyenne et 3 fois supérieure à celui de l'eau de mer. La concentration en sodium (Na) du cours d'eau Vélor est 6 fois supérieure à celle de la nappe et 5 fois supérieure à celle de l'eau de mer. Cependant, la concentration du chlore enregistrée au niveau du Vélor durant les périodes sèches de l'étude est 3 fois supérieure à celle de la nappe et 5 fois supérieure à celle de l'eau de mer.

Dans la station de Ngane, en périodes sèches, le SAR du cours d'eau Ngane est légèrement supérieur au double de celui de la nappe et légèrement supérieur à celui de l'eau de mer. L'ESP% du cours d'eau Ngane est presque le double de celui de la nappe de la terrasse moyenne et légèrement supérieur à celui de l'eau de mer. La concentration du sodium ( $\text{Na}^+$ ) du cours d'eau Ngane est 4 fois supérieure à celle de la nappe et 3 fois supérieure à celle de l'eau de mer. La concentration du chlore du cours d'eau Ngane est 5 fois supérieure à celle de la nappe et de celle de l'eau de mer.

#### Période humide

Tableau 28 : Comparaison des caractéristiques chimiques de la nappe de la terrasse moyenne en périodes humides par rapport à ceux du cours d'eau Vélor (Ndiaffate).

|       | Ce<br>(dS/m) | pH  | Cl     | SO <sub>4</sub> | Concentration en méq/l |       |       |      |        | Cl/<br>SO <sub>4</sub> | Na/<br>Mg | Ca/<br>Mg | SAR   | ESP<br>% | (Na+K)/<br>(Ca+Mg) |
|-------|--------------|-----|--------|-----------------|------------------------|-------|-------|------|--------|------------------------|-----------|-----------|-------|----------|--------------------|
|       |              |     |        |                 | SiO <sub>2</sub>       | Ca    | Mg    | K    | Na     |                        |           |           |       |          |                    |
| Nappe | 18,27        | 6,5 | 695,2  | 97,7            | 0,6                    | 199,5 | 236,9 | 3,9  | 351,3  | 7,1                    | 1,5       | 0,8       | 33,6  | 32,6     | 0,8                |
| Vélor | 85,3         | 8,2 | 1937,5 | 231,8           | 0,3                    | 115,2 | 303,8 | 15,7 | 1729,6 | 8,4                    | 5,7       | 0,4       | 119,4 | 62,7     | 4,2                |
| Mer   | 47,0         | 8,2 | 541,0  | 55,0            |                        | 20,0  | 107,5 | 9,7  | 464,0  | 0,1                    | 4,3       | 0,2       | 58,1  | 45,8     | 3,7                |

Tableau 29 : Comparaison des caractéristiques chimiques de la nappe de la terrasse moyenne en périodes humides par rapport à ceux du cours d'eau Ngane (Ngane).

|       | Ce<br>(dS/m) | pH  | Cl     | SO <sub>4</sub> | Concentration en méq/l |       |        |      |       | Cl/<br>SO <sub>4</sub> | Na/<br>Mg | Ca/<br>Mg | SAR  | ESP<br>% | (Na+K)/<br>(Ca+Mg) |
|-------|--------------|-----|--------|-----------------|------------------------|-------|--------|------|-------|------------------------|-----------|-----------|------|----------|--------------------|
|       |              |     |        |                 | SiO <sub>2</sub>       | Ca    | Mg     | K    | Na    |                        |           |           |      |          |                    |
| Nappe | 13,9         | 5,0 | 495,6  | 2335            | 1,4                    | 116,6 | 303,6  | 5,33 | 401,8 | 2,1                    | 1,3       | 0,4       | 27,7 | 28,3     | 1,0                |
| Ngane | 89,6         | 7,6 | 2677,8 | 290,6           | 0,1                    | 120,3 | 1140,7 | 51,5 | 164,5 | 9,7                    | 1,4       | 0,1       | 65,5 | 48,5     | 1,3                |
| Mer   | 47,0         | 8,2 | 541,0  | 55,0            |                        | 20,0  | 107,5  | 9,7  | 464,0 | 9,8                    | 4,3       | 0,2       | 58,1 | 45,8     | 3,7                |

En période humide, les nappes des terrasses moyennes des stations de Ndiaffate et de Ngane présentent le même type de caractère : chloruro-magnésien. Dans cette même période le cours d'eau Vélor présente un caractère chloruro-sodique. Cependant le cours d'eau Ngane et l'eau de mer ont le même caractère chloruro-sodico-magnésien.

Dans la station de Ndiaffate, le SAR du cours d'eau Vélor est 4 fois supérieure à celui de la nappe et 2 fois supérieure à celui de l'eau de mer. L'ESP% du Vélor est 2 fois supérieur à celui de la nappe et 1 fois supérieure à celui de l'eau de mer. La concentration du sodium

(Na) du Vélor est 5 fois supérieure à celle de la nappe et 4 fois supérieure à celle de l'eau de mer. La concentration du chlore du Vélor est 3 fois supérieure à celle de la nappe et 4 fois supérieure à celle de l'eau de mer.

Au niveau de la station de Ngane le SAR et l'ESP du cours d'eau Ngane sont sensiblement égaux au double à ceux de la nappe et sont légèrement supérieurs à ceux de l'eau de mer

### C) La terrasse basse non inondable.

C1) Classification du pourcentage des cations et des anions des eaux des nappes.

Tableau 30 : Bilans ioniques mensuels en méq/litre durant les périodes de l'étude. (Stations de Ndiaffate et Ngane). Annexe IX.

Tableau 31 : Pourcentages cationiques et anioniques par rapport à la somme des cations et anions (Stations de Ndiaffate et Ngane). Annexe X.

Dans les eaux des nappes de la terrasse basse non inondable dans les stations de Ndiaffate et de Ngane, les pourcentages du cation  $\text{Na}^+$  sont dominants avec des valeurs qui varient entre]62% - 55%] à Ndiaffate et entre [48% et 51% [au niveau de Ngane. Les cations  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{K}^+$  occupent respectivement la seconde, la troisième et la quatrième place. Parmi les anions, les pourcentages du chlore ( $\text{Cl}^-$ ) sont majoritaires et varient entre]77% - 68%] à Ndiaffate et entre [33% et 41% [dans la station de Ngane. Les sulfates  $\text{SO}_4^{2-}$  viennent en deuxième position et en dernière position la silice  $\text{SiO}_2^{2-}$

C2) Evolution des caractères des eaux des nappes.

Périodes sèches.

Tableau 32 : Evolution du SAR et de l'ESP% au niveau des nappes des terrasses basses non inondables en périodes sèches (Stations de Ndiaffate et Ngane).

| Dates    | Paramètres. Ca/Mg |       | (Na+K)/ (Ca+Mg) |       | SAR       |       | ESP%      |       |
|----------|-------------------|-------|-----------------|-------|-----------|-------|-----------|-------|
|          | Ndiaffate         | Ngane | Ndiaffate       | Ngane | Ndiaffate | Ngane | Ndiaffate | Ngane |
| Nov 97   | 0,98              | 0,18  | 1,42            | 1,02  | 31,33     | 36,48 | 31,01     | 34,45 |
| Dec 97   | 0,84              | 0,19  | 1,33            | 1,03  | 31,87     | 41,12 | 31,39     | 37,26 |
| Janv 98  | 0,88              | 0,16  | 1,38            | 0,96  | 33,67     | 41,38 | 32,62     | 37,41 |
| Fev 98   | 0,85              | 0,14  | 1,40            | 1,06  | 34,48     | 45,94 | 33,16     | 39,94 |
| Mars 98  | 0,82              | 0,14  | 1,40            | 1,04  | 34,62     | 45,84 | 33,24     | 39,89 |
| Avril 98 | 0,82              | 0,14  | 1,37            | 1,02  | 35,58     | 46,01 | 33,87     | 39,98 |
| Mai 98   | 0,90              | 0,14  | 1,36            | 1,04  | 36,60     | 46,56 | 34,53     | 40,27 |
| Juin 98  | 0,89              | 0,15  | 1,39            | 1,03  | 36,19     | 46,59 | 34,26     | 40,29 |
| Nov 98   | 1,01              | 0,20  | 1,36            | 1,04  | 31,30     | 39,22 | 30,99     | 36,14 |
| Déc 98   | 0,96              | 0,19  | 1,27            | 1,01  | 31,55     | 40,80 | 31,17     | 37,07 |
| Janv 99  | 0,95              | 0,17  | 1,23            | 0,96  | 32,37     | 41,25 | 31,73     | 37,34 |
| Fev 99   | 0,96              | 0,15  | 1,24            | 1,07  | 33,36     | 46,72 | 32,41     | 40,35 |
| Mars 99  | 0,97              | 0,16  | 1,23            | 1,10  | 33,96     | 48,11 | 32,81     | 41,07 |
| Avril 99 | 0,96              | 0,17  | 1,24            | 1,05  | 34,90     | 45,51 | 33,43     | 39,71 |
| Mai 99   | 0,97              | 0,16  | 1,24            | 1,03  | 36,22     | 44,43 | 34,28     | 39,13 |
| Juin 99  | 1,01              | 0,16  | 1,31            | 1,07  | 36,86     | 48,63 | 34,69     | 41,34 |

Sur l'ensemble des deux périodes sèches c'est-à-dire de novembre 97 à juin 98 et de novembre 98 à juin 99, le SAR et l'ESP% de la station de Ngane sont partout supérieurs à ceux de Ndiaffate. Les eaux de la terrasses basses non inondable de la station de Ndiaffate présentent deux types de caractères : un caractère chloruro-sodico-magnésien qui est caractérisé par les valeurs des rapports  $(Na+K)/(Ca+Mg)$  partout supérieures à 1 mais inférieures à 4 avec les valeurs des rapports  $Ca/Mg$  inférieures à 1. Le second type est un caractère chloruro-sodico-calcique représentant 12,5% des caractères observés sur l'ensemble de la période d'étude. Dans la station de Ngane le caractère magnésien représente 12,5% de l'ensemble des caractères observés (Janvier 98 et Janvier 99).et le caractère sodico-magnésien 87%.

Périodes humides.

Tableau 33 : Evolution du SAR et de l'ESP% au niveau des nappes des terrasses basses non inondables en périodes humides (Stations de Ndiaffate et Ngane).

| Dates   | Paramètres. Ca/Mg |       | (Na+K)/ (Ca+Mg) |       | SAR       |       | ESP%      |       |
|---------|-------------------|-------|-----------------|-------|-----------|-------|-----------|-------|
|         | Ndiaffate         | Ngane | Ndiaffate       | Ngane | Ndiaffate | Ngane | Ndiaffate | Ngane |
| Oct 97  | 0,95              | 0,20  | 1,48            | 0,96  | 30,57     | 34,66 | 30,47     | 33,27 |
| Juil 98 | 0,90              | 0,16  | 1,44            | 1,05  | 36,12     | 45,37 | 34,22     | 39,64 |
| Août 98 | 0,91              | 0,16  | 1,50            | 0,97  | 35,40     | 39,83 | 33,75     | 36,50 |
| Sept 98 | 0,92              | 0,18  | 1,58            | 0,90  | 33,78     | 34,18 | 32,69     | 32,95 |
| Oct 98  | 0,96              | 0,21  | 1,41            | 0,96  | 30,62     | 35,82 | 30,51     | 34,02 |
| Juil 99 | 0,98              | 0,16  | 1,35            | 1,04  | 35,72     | 46,14 | 33,96     | 40,05 |
| Août 99 | 0,99              | 0,16  | 1,48            | 0,97  | 34,18     | 40,73 | 32,95     | 37,04 |
| Sept 99 | 1,01              | 0,17  | 1,61            | 0,92  | 33,05     | 36,88 | 32,20     | 34,70 |

Dans les deux stations au courant des périodes hivernales 97/98 et 98/99, le SAR Taux de Sodium d'Absorption (Sodium Adsorption Ration) et l'ESP% Pourcentage de Sodium Echangeable présentent le même type de comportement avec des valeurs maximales observées au mois de juillet et les valeurs minimales sont enregistrées au mois de d'octobre (Tableau 33).

Dans la station de Ndiaffate deux types de caractères ont été observés : un caractère chloruro-sodico-magnésien avec des valeurs du rapport  $(Na+K)/(Ca+Mg)$  supérieures à 1 mais inférieures à 4 avec un rapport de  $Ca/Mg$  inférieur à 1. Le second type de caractère est observé au mois de septembre 99 avec des valeurs de  $(Na+K)/(Ca+Mg)$  supérieures à 1 mais inférieures à 4 et le rapport de  $Ca/Mg$  Supérieur à 1.

Au niveau de la station de Ngane on enregistre deux caractères : un caractère chloruro-sodico-magnésien et un caractère magnésien.

C3) Comparaison des caractéristiques chimiques des eaux des nappes par rapport à celles des cours d'eau (Vélor et Ngane).

Périodes sèches.

Tableau 34 : Comparaison des caractéristiques chimiques de la nappe de la terrasse basse non inondable en périodes sèches par rapport à celles du cours d'eau Vélor (Ndiaffate).

|       | Ce<br>(dS/m) | pH  | Cl     | SO4   | Concentration en méq/l |       |       |      |        | Cl/<br>SO4 | Na/<br>Mg | Ca/<br>Mg | SAR   | ESP<br>% | (Na+K)/<br>(Ca+Mg) |
|-------|--------------|-----|--------|-------|------------------------|-------|-------|------|--------|------------|-----------|-----------|-------|----------|--------------------|
|       |              |     |        |       | SiO2                   | Ca    | Mg    | K    | Na     |            |           |           |       |          |                    |
| Nappe | 50,4         | 7,1 | 644,9  | 210,9 | 1,9                    | 160,3 | 191,1 | 9,1  | 497,8  | 3,1        | 2,6       | 0,8       | 37,2  | 34,2     | 1,4                |
| Vélor | 133,1        | 8,1 | 2471,6 | 261,3 | 0,05                   | 137,3 | 344,8 | 18,2 | 2234,8 | 9,6        | 6,5       | 0,4       | 144,3 | 66,6     | 4,7                |
| Mer   | 47,0         | 8,2 | 541,0  | 55    |                        | 20,0  | 107,5 | 9,7  | 464,0  | 9,8        | 4,3       | 0,2       | 58,1  | 45,8     | 3,7                |

Tableau 35 : Comparaison des caractéristiques chimiques de la nappe de la terrasse basse non inondable en périodes sèches par rapport à celles du cours d'eau Ngane (Ngane).

|       | Ce<br>(dS/m) | pH  | Cl     | SO4   | Concentration en méq/l |       |        |      |        | Cl/<br>SO4 | Na/<br>Mg | Ca/<br>Mg | SAR  | ESP<br>% | (Na+K)/<br>(Ca+Mg) |
|-------|--------------|-----|--------|-------|------------------------|-------|--------|------|--------|------------|-----------|-----------|------|----------|--------------------|
|       |              |     |        |       | SiO2                   | Ca    | Mg     | K    | Na     |            |           |           |      |          |                    |
| Nappe | 98,8         | 6,0 | 1436,6 | 373,3 | 0,8                    | 129,1 | 801,9  | 9,7  | 952,4  | 3,7        | 1,2       | 0,2       | 44,0 | 38,8     | 1,0                |
| Ngane | 138,6        | 8,0 | 2876,1 | 327,8 | 0,04                   | 127,7 | 1208,2 | 52,2 | 1810,3 | 9,0        | 1,5       | 0,1       | 69,9 | 50,2     | 1,4                |
| Mer   | 47,0         | 8,2 | 541,0  | 55,0  |                        | 20,0  | 107,5  | 9,7  | 464,0  | 9,8        | 4,3       | 0,2       | 58,1 | 45,8     | 3,7                |

En périodes sèches, dans les terrasses basses non inondables des stations de Ndiaffate et de Ngane, les SAR (Sodium Adsorption Ratio) et les ESP% (Pourcentage de Sodium Echangeable) de leurs cours d'eau (Vélor et Ngane) sont partout supérieurs à ceux de leurs nappes et de l'eau de mer. Dans la station de Ndiaffate, la concentration du sodium (Na) du cours d'eau Vélor est quatre fois supérieure à celle de la nappe de la terrasse basse non inondable et cinq fois supérieure à celle de l'eau de mer. En revanche au niveau de Ngane, la concentration en sodium ( $\text{Na}^+$ ) du cours d'eau Ngane est 2 fois supérieure à celle de la nappe et cette dernière est à son tour le double de celle de l'eau de mer. La concentration en chlore du Vélor est quatre fois supérieure à celle de l'eau de la nappe et cinq fois supérieure à celle de l'eau de mer ; à Ngane, elle est 2 fois supérieure à celle de la nappe et 5 fois supérieure à celle de l'eau de mer.

Au cours de ces périodes sèches, les nappes des terrasses basses non inondables de Ndiaffate et de Ngane présentent un caractère chloruro-sodico-magnésien identique à celui de l'eau de mer. Cependant le cours d'eau Vélor présente un caractère chloruro-sodique.

Les rapports de Cl/SO4 de l'eau des nappes des deux stations sont partout supérieurs à 3 d'où la salinisation à tendance chlorurée.

Périodes humides.

Tableau 36 : Comparaison des caractéristiques chimiques de la nappe de la terrasse basse non inondable en périodes humides par rapport à celles du cours d'eau Vélor (Ndiaffate).

|       | Ce<br>(dS/m) | pH  | Cl     | SO4   | Concentration en méq/l |       |       |      |        | Cl/<br>SO4 | Na/<br>Mg | Ca/<br>Mg | SAR   | ESP<br>% | (Na+K)/<br>(Ca+Mg) |
|-------|--------------|-----|--------|-------|------------------------|-------|-------|------|--------|------------|-----------|-----------|-------|----------|--------------------|
|       |              |     |        |       | SiO2                   | Ca    | Mg    | K    | Na     |            |           |           |       |          |                    |
| Nappe | 23,5         | 7,0 | 564,1  | 171,1 | 0,8                    | 128,3 | 151,7 | 9,1  | 446,3  | 3,3        | 2,9       | 0,8       | 37,5  | 34,1     | 1,6                |
| Vélor | 85,5         | 8,2 | 1937,5 | 231,8 | 0,3                    | 115,2 | 303,8 | 15,7 | 1729,6 | 8,4        | 5,7       | 0,4       | 119,4 | 62,7     | 4,2                |
| Mer   | 47,0         | 8,2 | 541,0  | 55,0  |                        | 20,0  | 107,5 | 9,7  | 464,0  | 4,3        | 4,2       | 0,2       | 58,1  | 45,8     | 3,7                |

Tableau 37 : Comparaison des caractéristiques chimiques de la nappe de la terrasse basse non inondable en périodes humides par rapport à celles du cours d'eau Ngane (Ngane).

|       | Ce<br>(dS/m) | pH  | Cl     | SO4   | Concentration en méq/l |       |        |      |        | Cl/<br>SO4 | Na/<br>Mg | Ca/<br>Mg | SAR  | ESP<br>% | (Na+K)/<br>(Ca+Mg) |
|-------|--------------|-----|--------|-------|------------------------|-------|--------|------|--------|------------|-----------|-----------|------|----------|--------------------|
|       |              |     |        |       | SiO2                   | Ca    | Mg     | K    | Na     |            |           |           |      |          |                    |
| Nappe | 47,3         | 6,0 | 1275,2 | 325,1 | 0,4                    | 122,1 | 709,2  | 8,6  | 803,2  | 3,9        | 1,1       | 0,2       | 39,2 | 36,0     | 0,9                |
| Ngane | 89,6         | 7,6 | 2677,8 | 290,7 | 0,1                    | 120,3 | 1140,7 | 51,5 | 1647,5 | 9,7        | 1,4       | 0,1       | 65,5 | 48,5     | 1,3                |
| Mer   | 47,0         | 8,2 | 541,0  | 55,0  |                        | 20,0  | 107,5  | 9,7  | 464,0  | 9,8        | 4,3       | 0,2       | 58,1 | 45,8     | 3,7                |

En période humide, les SAR (Sodium- Adsorption –Ratio) et les ESP% (Pourcentage de sodium Echangeable) des cours d'eau Vélor et Ngane sont partout supérieurs à ceux de l'eau de la nappe de la terrasse basse non inondable et de l'eau de mer. Dans la station de Ndiaffate, le SAR du Vélor est trois supérieurs à celui de la nappe et deux fois supérieur à celui de l'eau de mer. En revanche dans le cours d'eau Ngane il est presque le double de celui de la nappe et légèrement supérieure à celui de l'eau de mer.

La concentration en sodium (Na) du cours d'eau Vélor est quatre fois supérieure à celle de la nappe et de l'eau de mer ; par contre à Ngane elle est 4 fois supérieure à celle de la nappe et 3 fois supérieure à celle de l'eau de mer. La concentration du chlore du Vélor est trois fois supérieure à celle de la nappe et quatre fois supérieure à celle de l'eau de mer. A Ngane cette concentration du chlore est 2 fois supérieure à celle de la nappe et 4 fois supérieures à celle de l'eau de mer. En périodes humides dans les deux stations les eaux des nappes de la terrasse basse non inondable présentent des caractères différents chloruro-sodico-magnésien à Ndiaffate et chloruro-magnésien à Ngane. Cette différence de caractère est aussi observée au niveau des cours d'eau chloruro-sodique pour le Vélor et chloruro-sodico-magnésien pour Ngane. Les eaux des nappes des terrasses basses non inondables présentent une salinisation à tendance chlorurée caractérisée par le rapport Cl/SO4 supérieure à 3.

#### D) La terrasse basse inondable

D1) Classification du pourcentage des cations et des anions des eaux des nappes.

Tableau 38 : Bilans ioniques mensuels en méq/litre durant les périodes de l'étude. Terrasse basse inondable. (Stations de Ndiaffate et Ngane). Annexe XI

Tableau 39 : Pourcentages cationiques et anioniques par rapport à la somme des cations et des anions durant les périodes de l'étude. Terrasse basse inondable (Stations Ndiaffate et Ngane). Annexe XII.

Dans les eaux des terrasses basses inondables des stations de Ndiaffate et de Ngane, pour le classement des cations, les pourcentages des valeurs mensuelles du sodium ( $\text{Na}^+$ ) prédominent et varient entre [72% et 67%] à Ndiaffate et au niveau de Ngane ils varient entre [53% et 61%]. Ils sont suivis par le magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ ), le calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) et vient en dernière

position le potassium. Parmi les anions, le chlore ( $\text{Cl}^-$ ) occupe la première place avec des pourcentages des valeurs mensuelles variant entre [80% et 74%] à Ndiaffate. A Ngane cet anion varie entre [84% et 90%] les anions  $\text{SO}_4^{2-}$  et le  $\text{SiO}_3^{2-}$  occupent respectivement la seconde et la troisième place dans l'ensemble des deux stations.

## D2) Evolution des caractères des eaux des nappes

### Périodes sèches.

Tableau 40 : Evolution du SAR et de l'ESP% au niveau des nappes des terrasses basses inondables en périodes sèches (Stations Ndiaffate et Ngane).

| Paramètres.<br>Dates | Ca/Mg     |       | (Na+K)/ (Ca+Mg) |       | SAR       |       | ESP%      |       |
|----------------------|-----------|-------|-----------------|-------|-----------|-------|-----------|-------|
|                      | Ndiaffate | Ngane | Ndiaffate       | Ngane | Ndiaffate | Ngane | Ndiaffate | Ngane |
| Nov 97               | 0,35      | 0,11  | 2,52            | 1,36  | 54,86     | 69,19 | 48,56     | 40,74 |
| Déc 97               | 0,40      | 0,10  | 2,37            | 1,17  | 62,91     | 63,98 | 47,79     | 39,44 |
| Janv 98              | 0,37      | 0,10  | 2,36            | 1,24  | 63,13     | 67,02 | 47,88     | 40,21 |
| Fév 98               | 0,40      | 0,09  | 2,49            | 1,49  | 66,35     | 83,45 | 49,14     | 43,75 |
| Mars 98              | 0,40      | 0,10  | 2,61            | 1,60  | 68,61     | 88,36 | 49,98     | 44,64 |
| Avr 98               | 0,33      | 0,08  | 2,58            | 1,55  | 69,63     | 87,48 | 50,36     | 44,49 |
| Mai 98               | 0,38      | 0,09  | 2,51            | 1,56  | 68,77     | 87,70 | 50,04     | 44,53 |
| Juin 98              | 0,37      | 0,09  | 2,52            | 1,56  | 68,50     | 88,32 | 49,94     | 44,64 |
| Nov 98               | 0,35      | 0,11  | 2,48            | 1,38  | 63,32     | 73,00 | 47,95     | 41,62 |
| Déc 98               | 0,40      | 0,10  | 2,31            | 1,34  | 61,99     | 73,60 | 47,42     | 41,75 |
| Janv 99              | 0,44      | 0,10  | 2,22            | 1,43  | 61,51     | 79,40 | 47,22     | 42,97 |
| Fév 99               | 0,45      | 0,10  | 2,19            | 1,49  | 61,67     | 84,02 | 47,29     | 43,86 |
| Mars 99              | 0,46      | 0,10  | 2,19            | 1,55  | 62,67     | 86,96 | 47,69     | 44,40 |
| Avr 99               | 0,47      | 0,10  | 2,22            | 1,60  | 64,14     | 88,91 | 48,28     | 44,74 |
| Mai 99               | 0,50      | 0,11  | 2,22            | 1,62  | 65,59     | 89,62 | 48,84     | 44,86 |
| Juin 99              | 0,45      | 0,10  | 2,36            | 1,56  | 67,15     | 88,32 | 49,44     | 44,64 |

Sur l'ensemble des deux périodes sèches dans les stations de Ndiaffate et de Ngane, les eaux des nappes de la terrasse basse non inondable présentent des valeurs du rapport  $(\text{Na}+\text{K})/(\text{Ca}+\text{Mg})$  partout supérieurs à 1 mais inférieurs à 4 avec un rapport Ca/Mg inférieures à 1 (Tableau 40). Ces valeurs des rapports indiquent un caractère sodico-magnésien des eaux des nappes de la terrasse basse inondable. Les valeurs des SAR sont nettement supérieures à celles de l'ESP%.

### Périodes humides.

Tableau 41 : Evolution du SAR et de l'ESP% au niveau des nappes des terrasses basses inondables en périodes humides (Station de Ndiaffate et Ngane).

| Paramètres.<br>Dates | Ca/Mg     |       | (Na+K)/ (Ca+Mg) |       | SAR       |       | ESP%      |       |
|----------------------|-----------|-------|-----------------|-------|-----------|-------|-----------|-------|
|                      | Ndiaffate | Ngane | Ndiaffate       | Ngane | Ndiaffate | Ngane | Ndiaffate | Ngane |
| Oct 97               | 0,32      | 0,12  | 2,69            | 1,29  | 66,03     | 65,44 | 49,01     | 39,82 |
| Juil 98              | 0,36      | 0,09  | 2,54            | 1,58  | 68,55     | 88,53 | 49,96     | 44,67 |
| Août 98              | 0,35      | 0,09  | 2,53            | 1,61  | 67,32     | 87,36 | 49,50     | 44,47 |
| Sept 98              | 0,33      | 0,10  | 2,56            | 1,62  | 66,45     | 83,94 | 49,17     | 43,85 |
| Oct 98               | 0,32      | 0,12  | 2,60            | 1,38  | 65,06     | 71,53 | 48,64     | 41,28 |
| Juil 99              | 0,41      | 0,10  | 2,62            | 1,52  | 68,52     | 86,36 | 49,95     | 44,29 |
| Août 99              | 0,38      | 0,09  | 2,72            | 1,53  | 66,40     | 84,26 | 49,16     | 43,91 |
| Sept 99              | 0,36      | 0,09  | 2,77            | 1,51  | 65,45     | 82,93 | 48,79     | 43,66 |

Au niveau des périodes hivernales 98 et 99 dans les stations de Ndiaffate et de Ngane, les SAR Taux de Sodium d’Absorption (Sodium Adsorption Ration) et les ESP% Pourcentage de Sodium Echangeable présentent le même type de comportement avec des valeurs maximales observées au mois de juillet et des valeurs minimales enregistrées au mois de d’octobre. Dans les deux stations les valeurs du rapport  $(Na + K) / (Ca + Mg)$  sont partout supérieures à la valeur numérique 1. En revanche avec le rapport Ca/Mg les valeurs obtenues sont partout inférieures à 1. Ces valeurs de ces rapports indiquent un caractère chloro-sodico-magnésien de la nappe pluviale durant les périodes hivernales de l’étude.

D3) Comparaison des caractéristiques chimiques des eaux des nappes par rapport à celles des cours d’eau (Vélor et Ngane).

Période sèche.

Tableau 42 : Comparaison des caractéristiques chimiques de la nappe de la terrasse basse inondable en périodes sèches par rapport à celles du cours d'eau Vélor (Ndiaffate).

|       | Ce<br>(dS/m) | pH  | Cl     | SO4   | Concentration en méq/l |       |       | K    | Na     | Cl/<br>SO4 | Na/<br>Mg | Ca/<br>Mg | SAR  | ESP<br>% | (Na+K)/<br>(Ca+Mg) |
|-------|--------------|-----|--------|-------|------------------------|-------|-------|------|--------|------------|-----------|-----------|------|----------|--------------------|
|       |              |     |        |       | SiO2                   | Ca    | Mg    |      |        |            |           |           |      |          |                    |
| Nappe | 139,0        | 6,8 | 1003,6 | 313,1 | 0,6                    | 113,5 | 277,4 | 20,1 | 908,5  | 3,2        | 3,3       | 0,4       | 65,0 | 48,6     | 2,4                |
| Vélor | 132,8        | 8,1 | 2470,2 | 261,2 | 0,1                    | 137,1 | 344,9 | 18,8 | 2231,9 | 9,5        | 6,5       | 0,4       | 64,5 | 132,9    | 4,7                |
| Mer   | 47,0         | 8,2 | 541,0  | 55,0  |                        | 20,0  | 107,5 | 9,7  | 464,0  | 0,1        | 4,3       | 0,2       | 58,1 | 45,8     | 3,7                |

Tableau 43 : Comparaison des caractéristiques chimiques de la nappe de la terrasse basse inondable en périodes sèches par rapport à celles du cours d'eau Ngane (Ngane).

|       | Ce<br>(dS/m) | pH  | Cl     | SO4   | Concentration en méq/l |       |        | K    | Na     | Cl/<br>SO4 | Na/<br>Mg | Ca/<br>Mg | SAR  | ESP<br>% | (Na+K)/<br>(Ca+Mg) |
|-------|--------------|-----|--------|-------|------------------------|-------|--------|------|--------|------------|-----------|-----------|------|----------|--------------------|
|       |              |     |        |       | SiO2                   | Ca    | Mg     |      |        |            |           |           |      |          |                    |
| Nappe | 155,2        | 5,2 | 3373,4 | 487,5 | 0,8                    | 140,4 | 1430,1 | 34,5 | 2279,3 | 6,9        | 1,6       | 0,1       | 81,2 | 43,2     | 1,5                |
| Ngane | 138,6        | 8,0 | 2876,1 | 327,8 | 0,04                   | 127,7 | 1208,2 | 52,2 | 1810,3 | 9,0        | 1,5       | 0,1       | 69,9 | 50,2     | 1,4                |
| Mer   | 47,0         | 8,2 | 541,0  | 55,0  |                        | 20,0  | 107,5  | 9,7  | 464,0  | 9,8        | 4,3       | 0,2       | 58,1 | 45,8     | 3,7                |

En périodes sèches les ESP% (Pourcentage de Sodium Echangeable) des cours d’eau Vélor et Ngane sont partout supérieurs à ceux des nappes des terrasses basses inondables respectives. Cependant, nous notons que les SAR (Sodium Adsorption Ratio) des nappes sont supérieurs à ceux de leurs cours d’eau respectifs et de l’eau de mer. Dans la station de Ndiaffate, le SAR du cours d’eau Vélor est peu différent de celui de la nappe et supérieur à celui de l’eau de mer. En revanche le ESP% du cours d’eau Vélor qui est de l’ordre de 132,90 est presque 3 fois supérieures à celui de la nappe de la terrasse basse inondable et de celui de l’eau de mer. A Ngane les valeurs de l’ESP% du cours (Pourcentage de Sodium Echangeable) du cours d’eau Ngane sont légèrement supérieures à celles des eaux des nappes de la terrasse basse inondable et de l’eau de mer. La concentration en sodium dans les cours d’eau Vélor et Ngane est 2 fois supérieure à celle de leur nappe respective et 5 fois supérieure à celle de l’eau de mer. Cependant, la concentration du chlore enregistrée au niveau du Vélor durant les périodes sèches de l’étude est 2 fois supérieure à celle de la nappe et 5 fois supérieure à celle de l’eau de mer. En revanche à Ngane cette concentration du chlore enregistrée au niveau des

nappes de la terrasse basse inondable est une fois supérieure à celle du cours d'eau Ngane et 6 fois supérieure à celle de l'eau de mer.

Période humide.

Tableau 44 : Comparaison des caractéristiques chimiques de la nappe de la terrasse basse inondable en périodes humides par rapport à celles du cours d'eau Vélor (Ndiaffate).

|       | Ce<br>(dS/m) | pH  | Cl     | SO <sub>4</sub> | Concentration en méq/l |       |       | K    | Na     | Cl/<br>SO <sub>4</sub> | Na/<br>Mg | Ca/<br>Mg | SAR   | ESP<br>% | (Na+K)/<br>(Ca+Mg) |
|-------|--------------|-----|--------|-----------------|------------------------|-------|-------|------|--------|------------------------|-----------|-----------|-------|----------|--------------------|
|       |              |     |        |                 | SiO <sub>2</sub>       | Ca    | Mg    |      |        |                        |           |           |       |          |                    |
| Nappe | 84,1         | 6,5 | 956,4  | 264,5           | 0,3                    | 88,2  | 249,5 | 18,1 | 866,8  | 3,6                    | 3,5       | 0,3       | 66,7  | 49,3     | 2,6                |
| Vélor | 85,5         | 8,2 | 1937,5 | 231,8           | 0,3                    | 115,2 | 303,8 | 15,7 | 1729,6 | 8,4                    | 5,7       | 0,4       | 119,4 | 62,7     | 4,2                |
| Mer   | 47,0         | 8,2 | 541,0  | 55,0            |                        | 20,0  | 107,5 | 9,7  | 464,0  | 0,1                    | 4,3       | 0,2       | 58,1  | 45,8     | 3,7                |

Tableau 45 : Comparaison des caractéristiques chimiques de la nappe de la terrasse basse inondable en périodes humides par rapport à celles du cours d'eau Ngane (Ngane).

|       | Ce<br>(dS/m) | pH  | Cl     | SO <sub>4</sub> | Concentration en méq/l |       |        | K    | Na     | Cl/<br>SO <sub>4</sub> | Na/<br>Mg | Ca/<br>Mg | SAR  | ESP<br>% | (Na+K)/<br>(Ca+Mg) |
|-------|--------------|-----|--------|-----------------|------------------------|-------|--------|------|--------|------------------------|-----------|-----------|------|----------|--------------------|
|       |              |     |        |                 | SiO <sub>2</sub>       | Ca    | Mg     |      |        |                        |           |           |      |          |                    |
| Nappe | 89,2         | 6,7 | 3313,6 | 449,1           | 0,3                    | 133,4 | 1365,8 | 34,4 | 2230,3 | 7,4                    | 1,6       | 0,1       | 81,3 | 43,2     | 1,5                |
| Ngane | 89,6         | 7,6 | 2677,8 | 290,6           | 0,1                    | 120,3 | 1140,7 | 51,5 | 1647,5 | 9,7                    | 1,4       | 0,1       | 65,5 | 48,5     | 1,3                |
| Mer   | 47,0         | 8,2 | 541,0  | 55,0            |                        | 20,0  | 107,5  | 9,7  | 464,0  | 9,8                    | 4,3       | 0,2       | 58,1 | 45,8     | 3,7                |

Au niveau des deux stations, le SAR des cours d'eau Vélor et Ngane sont supérieurs à ceux de leur nappe respective et de l'eau de mer. L'ESP% du cours d'eau Ngane est légèrement inférieur à celui de l'eau de mer. Contrairement au cours d'eau Vélor dont son ESP% est nettement supérieur à celui de l'eau de mer. La concentration du sodium (Na) du Vélor est 2 fois supérieure à celle de la nappe et 4 fois supérieure à celle de l'eau de mer. A Ngane la concentration du sodium (Na<sup>+</sup>) des eaux des nappes de la terrasse basse inondable est une fois supérieure à celle du cours d'eau Ngane qui à son tour est 3 fois supérieure à celle de l'eau de mer. La concentration du chlore du Vélor est 3 fois supérieure à celle de la nappe et 4 fois supérieure à celle de l'eau de mer à Ndiaffate. En revanche à Ngane La concentration du chlore des eaux des nappes de la terrasse basse inondable est une fois supérieure à celle du cours d'eau Ngane. Cette dernière est 5 fois supérieure à celle de l'eau de mer. En période humide, les nappes des terrasses basses inondables des stations de Ndiaffate et Ngane, le cours d'eau Ngane ainsi que l'eau de mer présentent un caractère chloruro-sodico-magnésien. Tandis que le cours d'eau Vélor présente un caractère chloruro-sodique. Les rapports Cl/SO<sub>4</sub> partout supérieures à 3 au niveau des nappes des terrasses basses inondables de Ndiaffate et de Ngane, du cours d'eau Ngane et de l'eau de mer indiquant ainsi une salinisation à tendance chlorurée.

### 3-2-2 Etude de la conductivité électrique (Ce dS/m), du potentiel hydrogène (pH) et des hauteurs des nappes dans les stations expérimentales.

#### A) La terrasse haute.

##### A1) Périodes sèches.

Evolution de l'indice standardisé, des hauteurs des nappes, de la conductivité électrique et du pH.

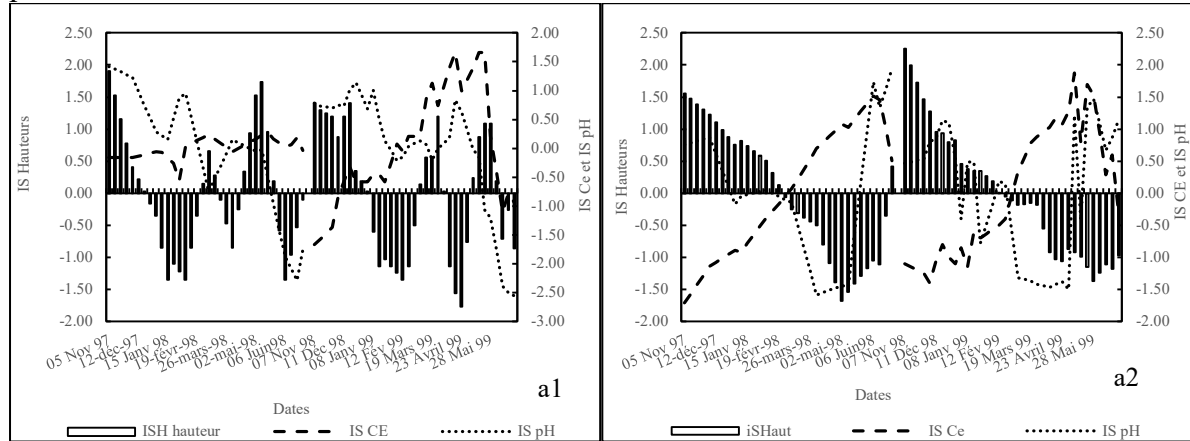


Figure 46 : Evolution de l'indice standardisé des hauteurs des nappes, de la conductivité électrique et du pH dans la terrasse haute durant les périodes sèches de l'étude. (a1= station de Ndiaffate ; a2 = station de Ngane)

Dans les deux stations, les courbes des variabilités saisonnières des hauteurs des nappes et de leur conductivité électrique et du pH au niveau de la terrasse haute présentent des allures variées sur l'ensemble des deux séries chronologiques avec des tendances croissantes pour la conductivité électrique et des tendances décroissantes pour les courbes des hauteurs des nappes et celles du pH. (Figure 46 (a1 et a2)). A Ndiaffate (Figure 46 a1), la courbe des hauteurs des nappes, de la conductivité et celle du pH évoluent de la même manière. En revanche à Ngane (Figure 46 a2), les deux variables évoluent en sens inverse c'est-à-dire lorsque la hauteur de la nappe diminue, les valeurs de la conductivité électrique augmentent. Cependant à partir du mois mai, on assiste à une remontée des hauteurs de nappe accompagnée par une diminution des valeurs des conductivités et une augmentation des valeurs du pH.

Etude des séries chronologiques des variables hauteurs, conductivités et pH des eaux des nappes.

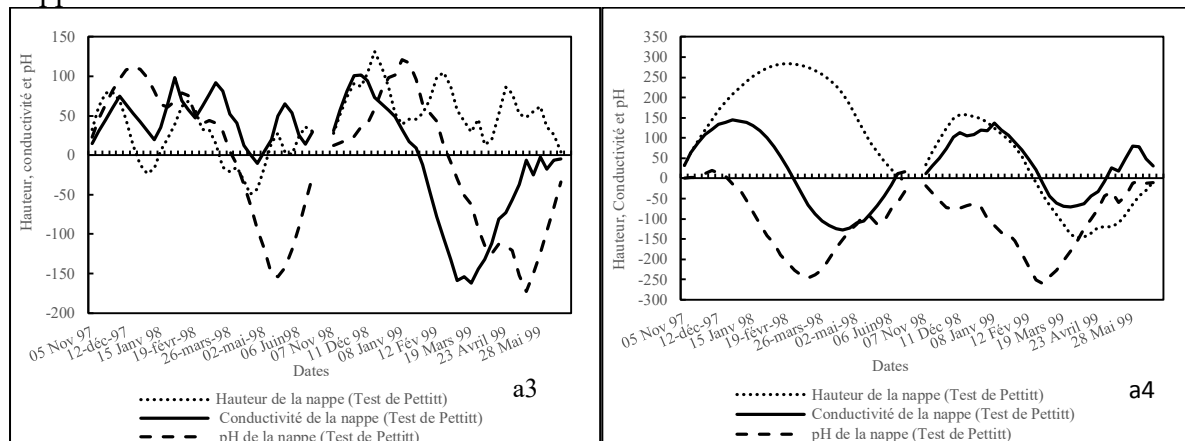


Figure 47 : Evolution des variables hauteurs, conductivité électrique et pH par le test de Pettitt des eaux des nappes de la terrasse haute (a3 = station de Ndiaffate ; a4 = station de Ngane)

Dans la première série chronologique les allures des courbes des variables U (hauteurs et conductivités et pH) du test de Pettitt présentent des allures variées avec une tendance décroissante pour la variable hauteur et pH et croissante pour la variable conductivité. En revanche dans la seconde série les courbes de ces trois variables (hauteurs, conductivités et pH) présentent toutes des tendances décroissantes. (Figure 47 a3). Au niveau de la station de Ngane (Figure 47 a4), dans la première série chronologique les courbes des variables U (hauteurs, conductivités électriques et pH) du test de Pettitt présentent des tendances décroissantes. Dans la seconde série chronologique, la courbe des hauteurs des nappes présente une tendance décroissante en revanche celle des conductivités électriques et du pH des tendances croissantes.

Dans la première série chronologique à Ndiaffate, avec le test de normalité sélectionné, les valeurs observées et transformées des hauteurs des nappes de la conductivité électrique et leur potentiel hydrogène ne suivent pas la loi normale. Cependant dans la station de Ngane, cette normalité est non vérifiée pour la variable hauteurs des nappes et pH par contre avec la conductivité électrique elle suit une loi normale.

Au niveau de cette seconde série dans la station de Ndiaffate ces données de hauteur et de conductivité suivent la loi normale contrairement à la variable pH. A Ngane, ces données observées et transformées suivent une loi normale. En revanche pour le pH cette normalité est non vérifiée.

Dans la station de Ndiaffate, l'utilisation du test de vérification du caractère aléatoire par le test de corrélation sur le rang, l'hypothèse nulle (série chronologique aléatoire) est acceptée aux seuils de confiance de 99, 95 et 90% sur l'ensemble des deux séries chronologiques pour les variables hauteurs, conductivité électrique et pH. Dans la première

série chronologique les valeurs des variables de calcul sont de -0,1927 pour les hauteurs des nappes ; 1,2008 pour les conductivités électriques et -0,6078 pour le pH. Dans la seconde série ces valeurs sont de -1,0935 pour les hauteurs des nappes ; 0,8947 pour les conductivités électriques et 1,0367 pour le pH.

A Ngane, avec le test de vérification du caractère aléatoire, dans la première série chronologique, cette hypothèse nulle (série chronologique aléatoire) est acceptée aux seuils de 99, 95 et 90% pour la variable conductivité électrique avec comme valeur de variable de calcul qui est de -0,1038 ; elle est rejetée aux seuils de 99, 95 et 90% pour les variables hauteur des nappes et pH La variable de calcul est de -6,4190 pour la hauteur pour le pH 3,4244

Dans la seconde série chronologique, l'hypothèse nulle (série chronologique aléatoire) est acceptée aux seuils de confiance de 99, 95 et 90% pour les variables hauteurs des nappes et les conductivités électriques. Cette hypothèse est rejetée aux seuils de confiance de 99, 95 et 90% pour la variable pH. Les valeurs des variables de calcul respectivement égales à 0,2414 pour la hauteur ; -0,6107 pour la conductivité et 3,4226 pour le pH.

Dans la première série chronologique dans la station de Ndiaffate, pour les tests de détection des ruptures avec la méthode non paramétrique de Pettitt, l'hypothèse nulle (absence de rupture) est acceptée aux seuils de confiance 99, 95 et 90% pour les hauteurs de nappes et les conductivités électriques en revanche cette hypothèse est rejetée au seuil de 90% pour le potentiel hydrogène pour une probabilité de dépassement de la valeur critique du test qui de l'ordre de  $5,94^E-02$  le 16/05/98. Au niveau de la station de Ngane, l'hypothèse nulle (absence de rupture) n'est rejetée aux seuils de confiance 99, 95 et 90% pour les hauteurs de nappes, le pH et elle est acceptée aux seuils de 99 et 95 pour la variable conductivité électrique. Les probabilités de dépassement de la valeur critique du test est de  $1,28^E-05$  le 18/02/98 pour les hauteurs des nappes ;  $9,24^E-02$  le 27/12/97 pour la conductivité électrique et  $2,35^E-04$  le 12/03/98 pour le pH.

Dans la seconde série chronologique dans la station de Ndiaffate, l'hypothèse nulle (absence de rupture) est acceptée aux seuils de 99, 95 et 90% pour la variable hauteur des nappes. Ces hypothèses nulles sont rejetées aux seuils de 90% pour la conductivité et aux seuils de 90 et 95% pour le pH. La probabilité de dépassement de la valeur critique du test est égale à  $6,42^E-02$  le 05 mars 99 pour la conductivité et est égale à  $3,41^E-02$  le 14/05/99 pour le pH. Au niveau de la station de Ngane ; elle est acceptée aux seuils de 99, 95 et 90% pour la variable conductivité électrique. Elle est rejetée au seuil de confiance 90% pour la variable hauteur et aux seuils de confiance 99, 95 et 90% pour la variable pH. La probabilité de

dépassement de la valeur critique du test est égale à  $6,70^E-02$  le 18/12/98 pour la hauteur et de  $2,03^E-04$  le 26/02/99 pour le pH

Dans la première série chronologique au niveau de la station de Ndiaffate, avec la segmentation de Hubert dans les tests de détection des ruptures pour un niveau de signification du test de Scheffé 1%, trois périodes de rupture ont été identifiées pour la variable pH, deux périodes pour la hauteur de la nappe et un seul point de rupture pour la conductivité

Pour la variable potentiel hydrogène les périodes sont : du 05/11/97 au 12/12/97 ; du 19/12/97 au 23/12/97 et du 30/05/98 au 27/06/98 pour des moyennes respectives de 2,267 ; 1,391 et 2,900 avec des écarts types respectifs de 0,151 ; 0,320 et 0,339. Pour la hauteur de nappe les périodes sont les suivantes : du 05/11/97 au 19/11/97 pour une valeur moyenne de 1,533 et un écart type de 0,351 et du 26/11/97 au 27/06/98 pour une valeur moyenne de 0,694 et un écart type de 0,480. Pour la variable conductivité du 05/11/97 au 27/06/98 pour une moyenne de 1,150 et un écart type de 0,113. Dans la station de Ngane, six points ont été identifiés à la fois pour la hauteur de la nappe, le pH et cinq points de rupture pour la conductivité.

Pour la hauteur de nappe les périodes respectives sont les suivantes : du 05/11/97 au 05/12/97, du 12/12/97 au 29/01/98, du 05/02/98 au 26/02/98, du 05/03/98 au 10/04/98, du 17/04/98 au 13/06/98 et du 20/06/98 au 27/06/98 pour des valeurs moyennes respectives 3,500, 2,925, 2,300, 1,650, 0,789 et 2,100 avec des écarts types respectifs de 0,158, 0,167, 0,258, 0,187, 0,209 et 0,566. Pour la variable pH les périodes sont les suivantes : 05/11/97 au 12/12/97, du 19/12/97 au 05/03/98, du 12/03/98 au 26/03/98, du 03/04/98 au 09/05/98, du 16/05/98 au 30/05/98 et du 06/06/98 au 27/06/98 correspondant respectivement aux valeurs moyennes 1,800, 1,100, 1,867, 2,517, 1,567, 2,650 pour des écarts types respectifs 0,110, 0,121, 0,350, 0,075, 0,416 et 0,289. Pour la variable conductivité les périodes sont les suivantes : 05/11/97 au 26/11/97, du 05/12/97 au 12/12/97, du 19/12/97 au 03/04/98 et du 10/04/98 au 27/06/98 correspondant respectivement aux valeurs moyennes 1,500, 0,938, 0,340 et 1,100 pour des écarts types respectifs 0,183, 0,141, 0,196, et 0,298.

Dans la seconde série chronologique de la station de Ndiaffate, une seule période de rupture a été identifiée pour la variable hauteur de nappe du 07/11/98 au 25/06/99 pour une valeur moyenne de 0,87 et un écart type de 0,478. Pour les variables conductivité électrique et pH, quatre périodes ont été identifiées. Pour la conductivité du 07/11/98 au 27/11/98, du 04/12/98 au 05/03/99, du 12/03/99 au 21/05/99 et du 28/05/99 au 25/06/99 pour des valeurs moyennes respectives de 1,550, 0,413, 1,264 et 0,700 avec des écarts types respectifs de

0,129, 0,223, 0,344 et 0,354. Pour le potentiel hydrogène : du 07/11/98 au 08/01/99, du 15/01/99 au 14/05/99, du 21/05/99 au 04/06/99 et du 11/06/99 au 25/06/99 pour des moyennes respectives de 1,827 ; 1,200 ; 2,367 et 3,500 avec des écarts types respectifs de 0,149 ; 0,222 ; 0,379 et 0,100.

A Ngane, dans la seconde série chronologique cinq périodes de ruptures ont été identifiées pour la variable hauteur de nappe et deux points de ruptures pour le pH. Avec la variable hauteur les périodes sont : du 07/11/98 au 13/11/98, du 20/11/98 au 04/12/98, du 11/12/98 au 30/12/98, du 01/01/99 au 02/04/99 et du 09/04/99 au 25/06/99 pour des valeurs moyennes respectives de 3,150, 2,500, 1,875, 1,271 et 2,075 avec des écarts types respectifs de 0,212, 0,200, 0,096, 0,168 et 0,154. Pour le pH du 07/11/98 au 26/02/99 et du 05/03/99 au 25/06/99 pour des valeurs moyennes respectives de 0,578 et 1,229 avec des écarts types de 0,271 et 0,304. Avec la variable conductivité une seule période de rupture a été identifiée : du 07/11/98 au 25/06/99 avec une valeur moyenne de 0,911 et un écart type de 0,418.

## A2) Périodes humides.

Evolution de l'indice standardisé, des hauteurs des nappes, de la conductivité électrique et du pH.

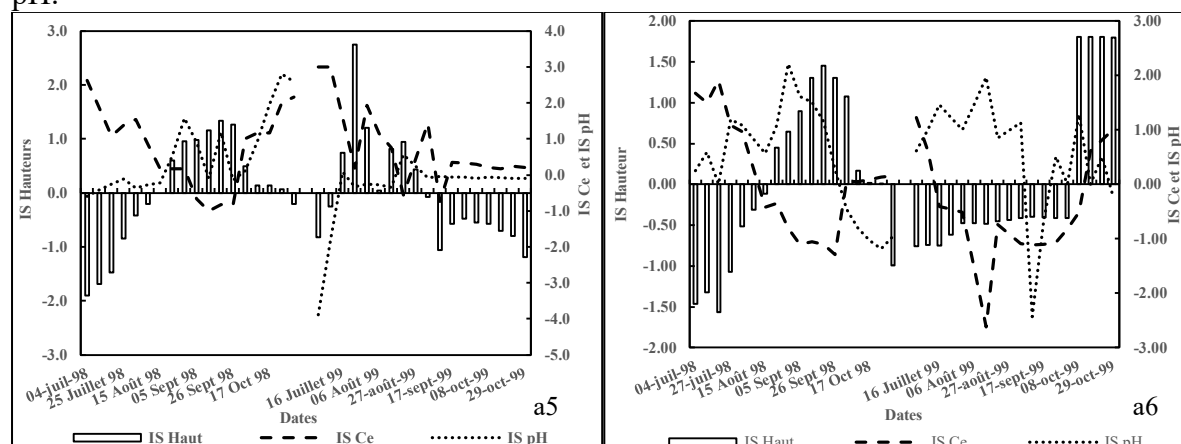


Figure 48 : Evolution de l'indice standardisé des hauteurs des nappes, de la conductivité électrique et du pH dans la terrasse haute durant les périodes humides de l'étude. (a5= station de Ndiaffate ; a6 = station de Ngane)

Dans la station de Ndiaffate (Figure 48 a5), sur l'ensemble des deux séries chronologiques, le comportement de la hauteur de la nappe de la terrasse haute est différent d'une série chronologique à l'autre. Dans la première série la tendance est croissante et est décroissante dans la seconde série. Contrairement dans la station de Ngane (Figure 48 a6) où les courbes des hauteurs des nappes présentent une tendance croissante sur l'ensemble des deux séries. La tendance décroissante est observée sur l'ensemble des deux séries pour la variable conductivité et croissante pour le pH à Ndiaffate (Figure 48 a5). A Ngane (Figure 48 a6) la courbe du pH présente une tendance décroissante caractérisant une augmentation du

caractère d'acidité. Durant la période hivernale à l'intérieur d'une même série, les courbes des hauteurs de nappe et de la conductivité électrique évoluent en sens inverse. Les phases ascendantes de la courbe des hauteurs de nappe caractérisent les apports hydrodynamiques d'où rechargement de la nappe. Cette recharge induit un effet de dilution d'où une diminution du caractère de salinité.

Etude des séries chronologiques des variables hauteurs, conductivités et pH des eaux des nappes.

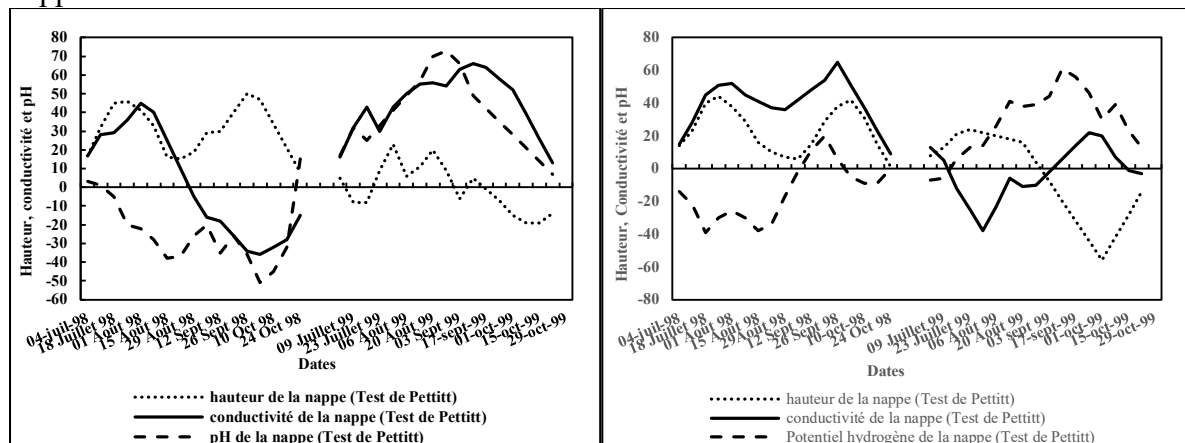


Figure 49 : Evolution des variables hauteur, conductivité électrique et pH par le test de Pettitt des eaux des nappes de la terrasse haute en périodes humides. (a7 = station de Ndiaffate ; a8 station de Ngane)

Dans la première série chronologique pour l'ensemble des deux stations (Ndiaffate et Ngane), avec le test de normalité sélectionné, les valeurs observées et transformées des hauteurs des nappes, leurs conductivités électriques et leurs pH suivent une loi normale. Dans la seconde série chronologique cette normalité est observée pour les variables hauteurs pour Ndiaffate ainsi que les variables conductivité et pH pour la station de Ngane. En revanche les variables conductivités électriques et pH ne suivent pas la loi normale dans la station de Ndiaffate cependant à Ngane cette normalité est non observée pour la variable hauteur.

Dans la première série chronologique à la station de Ndiaffate, pour le test de vérification du caractère aléatoire avec l'utilisation du test de corrélation sur le rang, l'hypothèse nulle (série chronologique aléatoire) est acceptée aux seuils de confiance de 99 et 95% pour les variables hauteur et conductivité électrique. Cependant pour la variable pH elle est rejetée aux seuils de 90 et 95%. Les variables de calcul sont égales à -1,8560 pour la hauteur, 0,4924 pour la conductivité et 2,0075 pour le pH. Au niveau de la station de Ngane pour les variables hauteurs, conductivité électrique et pH, cette hypothèse nulle (série chronologique aléatoire) est acceptée aux seuils de 99, 95 et 90%. Les variables de calcul sont de -1,3257 pour la variable hauteur, -2,1590 pour la variable conductivité et 1,2500 pour le pH.

Dans la seconde série chronologique au niveau de la station de Ndiaffate les variables hauteur et pH sont acceptées aux seuils de 99, 95 et 90%. En revanche avec la conductivité électrique elle est rejetée aux seuils de 99, 95 et 90%. Les variables de calcul sont égales à : 0,5682 pour la hauteur, -3,5226 pour la conductivité et -1,3257 pour le pH. Dans la station de Ngane, ce test de vérification du caractère aléatoire avec le test de corrélation sur le rang, l'hypothèse nulle (série chronologique aléatoire) est acceptée aux seuils de confiance de 99, 95 et 90% pour les variables hauteurs des nappes, conductivité électrique et pH. La valeur de la variable de calcul est égale à 0,5682 pour la conductivité, 0,6439 pour la hauteur et elle est de -,6287 pour le pH.

Dans la première série chronologique avec les tests de détection des ruptures par la méthode non paramétrique au niveau de la station de Ndiaffate, l'hypothèse nulle (absence de rupture) est acceptée aux seuils de confiance 99, 95 et 90% pour les hauteurs de nappes les conductivités électriques et le pH. Pour la station de Ngane, avec les tests de détection des ruptures, la variable hauteur et le pH sont acceptés aux seuils de 99, 95 et 90% et elle est rejetée aux seuils de confiance 95 et 90% pour la variable conductivité électrique pour une probabilité de dépassement de la valeur critique du test qui est de l'ordre de  $3,26 \times 10^{-2}$  le 26/09/98.

Dans la seconde série chronologique dans la station de Ndiaffate, l'hypothèse nulle (absence de rupture) n'est acceptée aux seuils de 99, 95 et 90% en revanche ces hypothèses sont rejetées aux seuils de 95 et 90% pour la conductivité électrique et au seuil de confiance de 99% pour le potentiel hydrogène. Avec la variable conductivité électrique la probabilité de dépassement de la valeur critique du test  $2,87 \times 10^{-2}$  le 10/09/99 et celle du pH avec comme valeur  $11,11 \times 10^{-2}$  le 27/08/99.

Au niveau de la station de Ngane l'hypothèse nulle (absence de rupture) est acceptée aux seuils de confiance 99 et 95% pour les hauteurs de nappes avec une probabilité de dépassement de la valeur critique du test est de  $9,41 \times 10^{-2}$  le 01/10/99. Pour les variables conductivité électrique et pH ces hypothèses nulles (absences de ruptures), sont acceptées aux seuils de confiance de 99, 95 et 90%.

Au niveau de la station de Ndiaffate, dans la première série chronologique avec la segmentation de Hubert dans les tests de détection des ruptures pour un niveau de signification du test de Scheffé 1%, deux périodes ont été identifiées pour la hauteur de la nappe, le pH et un seul point de rupture pour la conductivité. Pour la hauteur de nappe les périodes sont les suivantes : du 04/07/98 au 18/07/98 pour une valeur moyenne de 2,7 et un écart type de 0,2 et du 25/07/98 au 31/10/98 pour une valeur moyenne de 1,587 et un écart type de 0,476. Pour la variable potentiel hydrogène les périodes sont les suivantes : du

04/07/98 au 10/10/98 et du 17/10/98 au 31/10/98 pour des valeurs moyennes respectives de 0,520 et 2,467 pour des écarts types respectifs de 0,446 et 0,416. Pour la variable conductivité électrique la période est la suivante : du 04/07/98 au 31/10/98 pour une valeur moyenne de 1,161 et un écart type de 0,684.

Dans la station de Ngane avec les mêmes tests de ruptures, cinq points ont été identifiés pour conductivité, un seul point de rupture pour la variable hauteur des nappes et la variable pH. Pour la hauteur de nappe du 04/07/98 au 31/10/98 avec une valeur moyenne de 0,828 et un écart type de 0,551. Pour le pH du 04/07/98 au 31/10/98 la valeur moyenne 1,944 et un écart type de 0,529. Avec la conductivité les périodes de ruptures sont les suivantes du 04/07/98 au 18/07/98, du 27/07/98 au 01/08/98, du 08/08/98 au 22/08/98, du 29/08/98 au 26/09/98 et du 03/10/98 au 31/10/98 pour des valeurs moyennes respectives 1,700 ; 1,050 ; 0,367 ; 1,080 et 0, avec des écarts types respectifs de 0,200 ; 0,071 ; 0,058 ; 0,179 et 0,045.

Dans la seconde série chronologique pour la station de Ndiaffate, une seule période rupture a été identifiée pour la variable hauteur de nappe du 02/07/99 au 29/10/99 pour une valeur moyenne de 1,772 et un écart type de 0,586. Pour la conductivité électrique deux points de ruptures ont été observés : du 02/07/99 au 09/07/99 et du, 16/07/99 au 29/10/99, pour des moyennes respectives de 3,000 et 0,662 avec des écarts types respectifs de 0,000 et 0,562. Pour le potentiel hydrogène trois points de ruptures ont été observés : le 02/07/99 ; le 09/07/99 et du 16/07/99 au 29/10/99 pour des moyennes respectives de 4,900, 2,800 et 1,181 avec des écarts types respectifs de 0,000 et 0,000 et 0,147.

Au niveau de Ngane pour une même série, une seule période de rupture a été identifiée pour les variables hauteur de nappe, conductivité et deux périodes pour le pH.

Pour les variables hauteurs et conductivité la période est la suivante : du 02/07/99 au 29/10/99. Pour la hauteur des nappes la valeur moyenne est de 0,521 et l'écart type est de 0,148. Pour la conductivité électrique cette valeur moyenne est de 0,950 avec un écart type de 0,518. Pour la variable potentiel hydrogène les périodes de ruptures sont les suivantes : du 02/07/99 au 10/09/99 et du 17/09/99 au 29/10/99 correspondant à des valeurs moyennes respectives de 2,291 et 1,471 avec des écarts types respectifs de 0,524 et 0,450.

## **B) La terrasse moyenne.**

### **B1) Périodes sèches.**

Evolution de l'indice standardisé, des hauteurs des nappes, de la conductivité électrique et du pH.

Sur l'ensemble des deux séries chronologiques dans les deux stations les courbes des variabilités saisonnières des hauteurs des nappes au niveau de la terrasse moyenne présentent

des allures variées avec des tendances décroissantes pour les hauteurs des nappes et pour les conductivités électriques des tendances croissantes. Les deux variables évoluent en sens inverse c'est-à-dire lorsque la hauteur de la nappe diminue, les valeurs de la conductivité électrique augmentent. Dans la station de Ndiaffate, la variable pH évolue dans le même sens que les hauteurs des nappes. Cependant dans la station de Ngane la courbe du pH présente des tendances croissantes. Les allures ascendantes de ces hauteurs des nappes caractérisent les apports hydrodynamiques. Ces apports sont variables d'une série à l'autre et cela semble être expliqué par la pluviométrie précédant la période sèche.

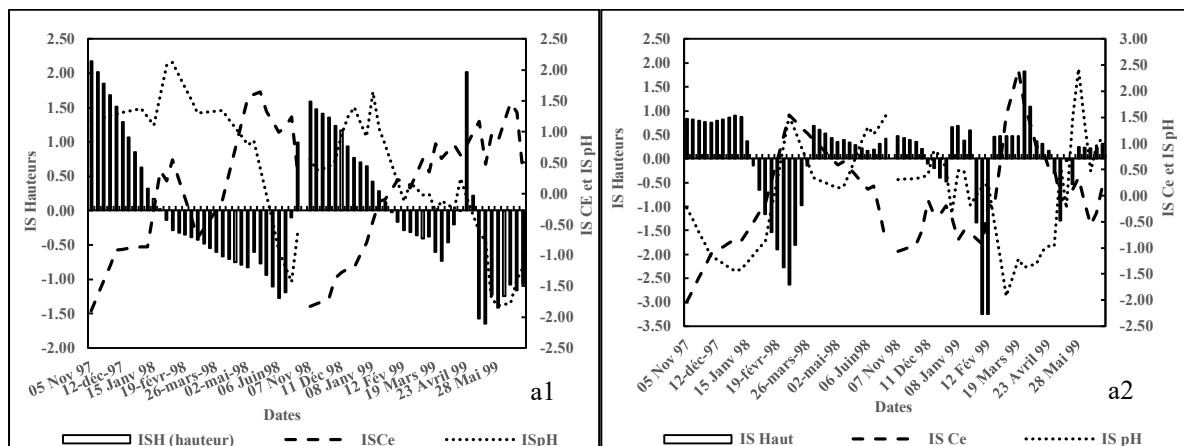


Figure 50 : Evolution de l'indice standardisé des hauteurs des nappes, de la conductivité électrique et du pH dans la terrasse moyenne durant les périodes sèches de l'étude. (a1= station de Ndiaffate ; a2 = station de Ngane)

Dans la station de Ngane l'augmentation des valeurs du pH semble être expliquée par le fait que l'alimentation de ces nappes par le cours d'eau Ngane prédomine. Cette eau du cours d'eau Ngane chargé de sulfates marins tamponne l'acidité de ces eaux des nappes d'où une diminution du caractère d'acidité.

Etude des séries chronologiques des variables hauteurs, conductivités et pH des eaux des nappes.

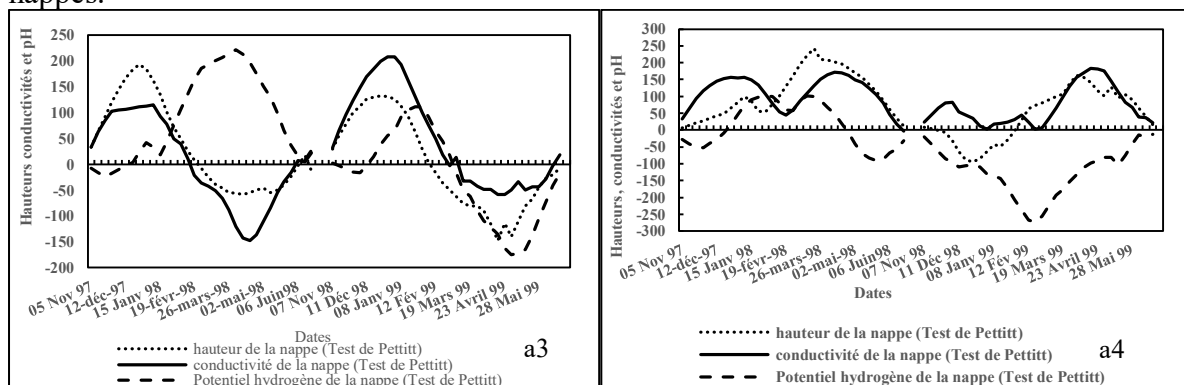


Figure 51 : Evolution des variables hauteur, conductivité électrique et pH par le test de Pettitt des eaux des nappes de la terrasse moyenne en périodes sèches. (a3 = station de Ndiaffate ; a4 = station de Ngane)

Dans la première série chronologique sur l'ensemble des deux stations (Figure 51 a3 et Figure 51 a4), les tendances décroissantes sont enregistrées pour les variables du test de Pettitt à savoir la conductivité électrique et la hauteur des nappes. Les tendances croissantes pour le potentiel hydrogène. Cependant dans la seconde série dans la station de NdiAffate toutes les courbes de ces variables présentent allures décroissantes. (Figure 51 a3). Dans la station de Ngane pour la même série (Figure 51 a4) les courbes des hauteurs des nappes et du pH présentent des allures variées avec une tendance croissante tandis que celle de la conductivité la tendance est décroissante.

Dans la première série chronologique à NdiAffate, avec le test de normalité sélectionné, la normalité est non vérifiée sur les valeurs observées et transformées des hauteurs des nappes et leur pH en revanche leur conductivité électrique suivent une loi normale. Dans cette même série à Ngane cette normalité est vérifiée pour les variables hauteurs des nappes et conductivités électriques et est non vérifiée pour le pH. Dans la seconde série chronologique au niveau de la station de NdiAffate et de Ngane, les variables hauteurs et conductivité et pH ne suivent pas la loi normale.

Dans la station de NdiAffate pour la première série chronologique avec le test de vérification du caractère aléatoire, l'utilisation du test de corrélation sur le rang, l'hypothèse nulle (série chronologique aléatoire) est acceptée aux seuils de confiance 99, 95 et 90% pour les variables hauteur et conductivité et rejetée au seuil de 90% pour la variable pH. Les valeurs des variables de calcul sont de 0,2224 pour les hauteurs des nappes et -0,0148 pour les conductivités électriques. La variable de calcul qui est égale à -1,6752 pour le pH. Au niveau de la station de Ngane pour cette même série, cette hypothèse nulle (série chronologique aléatoire) est acceptée au seuil de 99% et rejetée aux seuils de 95 et 90% pour la variable hauteur des nappes avec comme valeur de variable de calcul -2,2088; cependant pour la variable conductivité cette hypothèse est rejetée aux seuils de 99, 95 et 90% et est acceptée avec aux seuils de 99, 95 et 90%. La variable de calcul égale à -3,5134 pour la conductivité et pour le pH elle est de l'ordre de 0,0741

Dans la seconde série chronologique pour la station de NdiAffate cette hypothèse nulle (série chronologique aléatoire) est acceptée aux seuils de confiance de 99, 95 et 90% pour les variables hauteurs, conductivité électrique et pH. Les variables de calcul sont égales à -0,1278 pour les hauteurs des nappes ; -0,4118 pour les conductivités électriques et 1,0935 pour la variable pH.

Au niveau de la station de Ngane, l'hypothèse nulle (série chronologique aléatoire) est acceptée aux seuils de confiance de 99, 95 et 90% pour les variables hauteurs des nappes, les

conductivités électriques et elle est rejetée aux seuils 99, 95 et 90% pour le pH. Les valeurs des variables de calcul à -0,0994 pour la hauteur et -1,4059 pour la conductivité.

Dans la station de Ndiaffate, lors de la première série chronologique avec les tests de détection des ruptures par la méthode non paramétrique de Pettitt, l'hypothèse nulle (absence de rupture) est rejetée aux seuils de confiance 99, 95 et 90% pour les hauteurs de nappes et pH et est acceptée aux seuils de 99 et 95 % pour les variables conductivités électriques. Les probabilités de dépassement de la valeur critique du test est de  $7,98^E-03$  le 27/12/97 pour les hauteurs des nappes et  $1,43^E-03$  le 03/04/98 pour le potentiel hydrogène. Pour la conductivité la probabilité de dépassement est  $7,77^E-02$  le 17/04/98. Au niveau de la station de Ngane cette hypothèse nulle (absence de rupture) est rejetée aux seuils de confiance 99, 95 et 90% pour les hauteurs de nappes et elles sont acceptées au seuil de 99% pour la variable conductivité électrique et aux seuils de 99, 95 et 90% pour la variable pH. Les probabilités de dépassement de la valeur critique du test est de  $-3,38^E-04$  le 19/03/98 pour les hauteurs des nappes et  $2,49^E-02$  le 10/04/98 pour la conductivité électrique.

Dans la seconde série chronologique au niveau de la station de Ndiaffate, l'hypothèse nulle (absence de rupture) est acceptée aux seuils de 99, 95 et 90% pour la variable hauteur des nappes. et rejetée aux seuils de confiances 95 et 90% pour le pH. Avec la variable conductivité électrique l'hypothèse nulle est rejetée aux seuils de confiances 99, 95 et 90%. Les probabilités de dépassement des valeurs critiques du test sont égales à  $5,55^E-03$  le 01/01/99 pour la conductivité,  $3,10^E-02$  le 30/04/99 pour le pH. Au niveau de la station de Ngane, elle est acceptée aux seuils de 99 et 95% pour la variable hauteur des nappes avec une probabilité de dépassement de la valeur critique du test qui est de  $5,63^E-02$  le 02/04/99. Les hypothèses nulles sont rejetées aux seuils de 95 et 90% pour la variable conductivité électrique et aux seuils de confiances 99, 95 et 90% pour le pH. Les probabilités de dépassement des valeurs critiques du test sont égales à  $2,00^E-02$  le 16/04/99 pour la conductivité et  $7,89^E-05$  le 19/02/99 pour le pH.

Au niveau de la station de Ndiaffate, avec la segmentation de Hubert dans les tests de détection des ruptures pour un niveau de signification du test de Scheffé 1%, dans la première série chronologique, quatre périodes ont été identifiées pour la hauteur de la nappe et cinq points de rupture pour la conductivité et le pH. Avec la variable hauteur de nappe les périodes sont les suivantes : du 05/11/97 au 26/11/97 ; du 05/12/97 au 27/12/97 ; du 02/01/98 au 12/03/98 ; du 19/03/98 au 27/06/98. Pour la variable conductivité électrique : du 05/11/97 au 19/11/97 ; du 26/11/97 au 09/01/98 ; du 15/01/98 au 17/04/98 du 24/04/98 au 20/06/98 et le 27/06/98. Pour le pH du 05/11/97 au 15/01/98 ; du 22/01/98 au 19/02/98 ; du 26/02/98 au

09/05/98 du 16/05/98 au 30/05/98 et le 06/06/98. Dans la station de Ngane pour la même série chronologique, trois points ont été identifiés pour la hauteur de la nappe, cinq points de rupture pour la conductivité et un seul point pour le pH. Pour la variable hauteur des nappes les périodes de ruptures mises en évidence sont : du 05/11/97 au 05/02/98, du 12/02/98 au 12/03/98 et du 19/03/98 au 27/06/98. Pour la variable conductivité les périodes sont les suivantes : du 05/11/97 au 26/11/97, du 05/12/97 au 15/01/98, du 22/01/98 au 19/02/98, du 26/02/98 au 10/04/98 et du 17/04/98 au 27/06/98. Pour la variable pH la période est la suivante : du 05/11/97 au 27/06/98.

Dans la seconde série chronologique à Ndiaffate trois périodes de ruptures ont été identifiées pour la variable hauteur de nappe, quatre pour la conductivité électrique et pour le pH. Avec la variable hauteur les périodes sont : du 07/11/98 au 18/12/98 ; 25/12/98 au 16/04/99 et du 23/04/99 au 25/06/99. Pour la conductivité électrique les périodes de ruptures identifiées sont les suivantes : du 07/11/98 au 27/11/98, du 04/12/98 au 01/01/99, du 08/01/99 au 12/03/99 et du 19/03/99 au 25/06/99. Pour la variable pH les périodes de ruptures sont les suivantes : du 07/11/98 au 04/12/98, du 11/12/98 au 22/01/99, du 29/01/99 au 14/05/99 et du 24/05/99 au 25/06/99. Dans cette même série chronologique pour la station de Ngane, une seule période de ruptures a été identifiée pour la variable hauteur de nappe : du 07/11/98 au 25/06/98. Pour la variable conductivité quatre périodes de rupture ont été identifiées : du 07/11/98 au 26/02/99, du 05/03/99 au 26/03/99, du 02/04/99 au 16/04/99 et du 23/04/99 au 25/06/99. Avec la variable pH deux périodes de rupture ont été identifiées : du 07/11/98 au 19/02/99 et du 26/02/99 au 25/06/99.

## B2) Périodes humides.

Evolution de l'indice standardisé, des hauteurs des nappes, de la conductivité électrique et du pH.

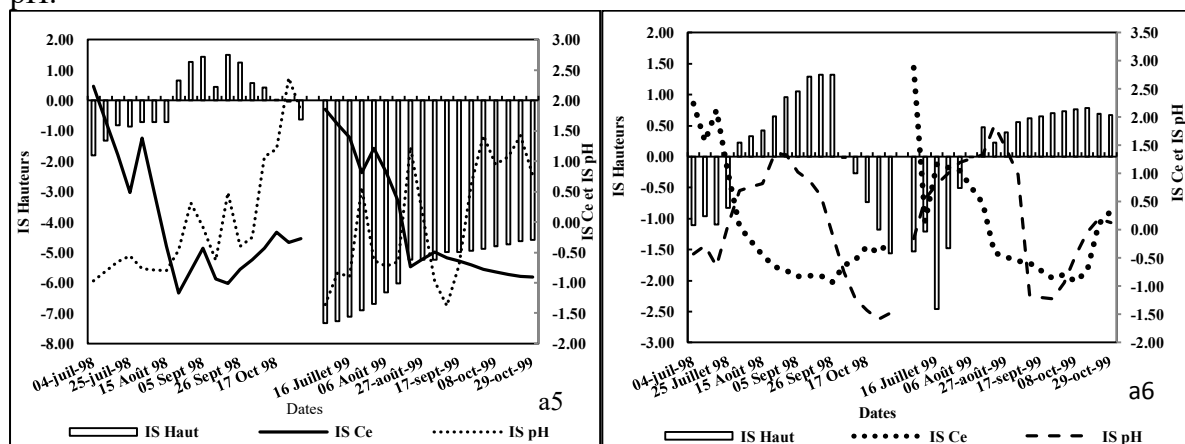


Figure 52 : Evolution de l'indice standardisé des hauteurs des nappes, de la conductivité électrique et du pH dans la terrasse moyenne durant les périodes humides de l'étude. (a5= station de Ndiaffate ; a6 = station de Ngane)

Dans l'ensemble des séries chronologiques pour les deux stations, les courbes des conductivités électriques des nappes le long du topo séquence présentent des allures variables avec des tendances décroissantes. Cependant la tendance croissante des hauteurs est observée sur l'ensemble des séries dans la station de Ndiaffate (Figure 52 a5) en revanche dans la station de Ngane (Figure 52 a6) elle est décroissante dans la première série chronologique. La variable pH présente des tendances croissantes sur l'ensemble des deux séries dans la station de Ndiaffate (Figure 52 a5) et décroissante à Ngane (Figure 52 a6).

Etude des séries chronologiques des variables hauteurs, conductivités et pH des eaux des nappes.

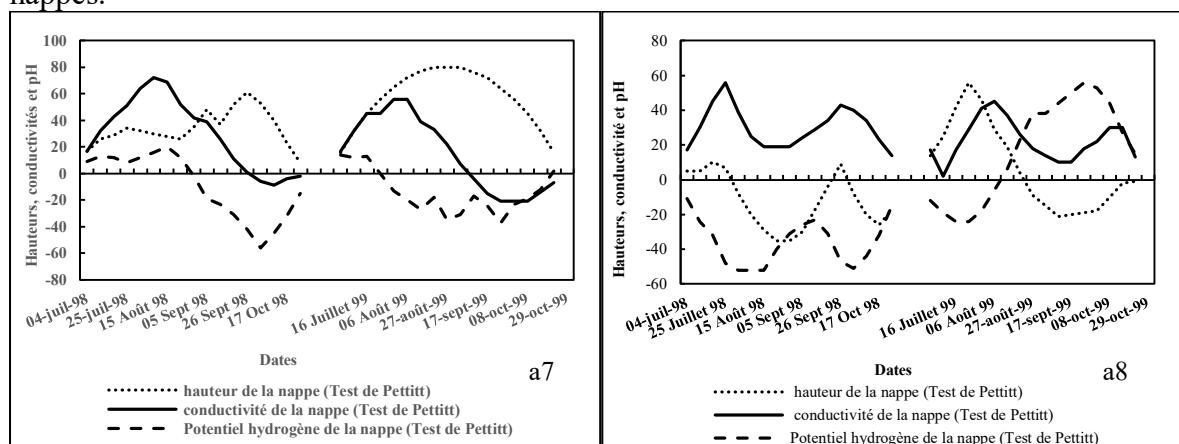


Figure 53 : Evolution des variables hauteur, conductivité électrique et pH par le test de Pettitt des eaux des nappes de la terrasse moyenne en périodes humides. (a7 = station de Ndiaffate ; a8 = station de Ngane)

Sur l'ensemble des deux séries chronologiques (Figure 53 a7 et Figure 53 a8), les courbes des variables U (hauteurs, conductivité électrique et pH) du test de Pettitt présentent des tendances décroissantes. Sur chacune de ces courbes, un point de rupture a été identifié (Figure 53 a7). Cependant, dans la première série chronologique (Figure 53 a8), trois points de rupture ont été identifiés et deux points de ruptures dans la seconde série chronologique.

Dans la première série chronologique, avec les tests de Normalité dans la station de Ndiaffate, les données des hauteurs des nappes ne suivent pas la loi normale contrairement aux données des conductivités et des pH qui suivent une loi normale. Au niveau de la station de Ngane, la loi normale est observée sur les données des hauteurs des nappes et des potentiels hydrogènes.

Dans la seconde série chronologique la normalité est vérifiée pour les données des hauteurs des nappes des conductivités électriques et des pH dans la station de Ndiaffate. Cependant dans la station de Ngane, les données des hauteurs des nappes ne suivent pas la loi normale contrairement aux données des conductivités et des pH

Dans la première série chronologique, la vérification du caractère aléatoire par le test de corrélation sur le rang pour la station de Ndiaffate, l'hypothèse nulle (série chronologique aléatoire) pour la variable hauteur est au seuil de 99% pour une valeur de la variable de calcul -2,1590. Pour la variable conductivité électrique cette hypothèse est acceptée aux seuils de 99 et 95% avec comme valeur de variable de calcul -1,7045. Cependant avec le pH elle est acceptée aux seuils de 99, 95 et 90%, la valeur de la variable de calcul est de 0,5682. Dans la station de Ngane, l'hypothèse nulle (série chronologique aléatoire) est acceptée aux seuils de 99, 95 et 90% pour la variable hauteur et est rejetée aux seuils de 99, 95 et 90% pour le pH et pour la conductivité électrique ce rejet est observé aux seuils de 95 et 90%. Les valeurs des variables des calculs sont de 1,4015 pour la variable hauteur ; -2,9923 pour la variable pH et -2,0075 pour la variable conductivité.

Dans la seconde série chronologique pour les mêmes types de corrélation sur le rang au niveau de la station de Ndiaffate, pour la hauteur, l'hypothèse nulle (série chronologique aléatoire) est rejetée aux seuils de confiance de 99, 95 et 90% et acceptée aux seuils de 99, 95 et 90% pour la conductivité et le pH. Les valeurs des variables des calculs sont de -5,4165 pour la hauteur ; -0,265 pour la conductivité et pour le pH : 1,4772. Dans la station de Ngane, cette hypothèse nulle (série chronologique aléatoire) est acceptée aux seuils de confiance de 99, 95 et 90% pour les variables hauteurs des nappes, conductivité électrique et potentiel hydrogène. Les valeurs des variables des calculs sont égales à 0,7197 pour la hauteur des nappes, pour la conductivité électrique elle est de -1,2500 et -0,7197 pour le pH.

Pour les tests de détection des ruptures dans la première série chronologique, avec la méthode non paramétrique de Pettitt dans la station de Ndiaffate, l'hypothèse nulle (absence de rupture) est acceptée aux seuils de confiance 99, 95% pour les hauteurs de nappes, le pH et au seuil de 99% pour la conductivité. Les probabilités de dépassement de la valeur critique du test est de  $5,32 \times 10^{-2}$  le 26/09/98 pour les hauteurs des nappes,  $0,41 \times 10^{-2}$  le 03/10/98 pour le pH et  $1,28 \times 10^{-2}$  le 08/08/98 pour la conductivité.

Dans la station de Ngane, dans la première série chronologique elle est acceptée aux seuils de 99, 95 et 90% pour la variable hauteur des nappes, le pH et elle est rejetée au seuil de confiance 90% pour la variable conductivité électrique pour une probabilité de dépassement de la valeur critique du test qui est de l'ordre de  $3,14 \times 10^{-2}$  le 25/07/98.

Pour la seconde série chronologique dans la station de Ndiaffate, cette hypothèse est rejetée aux seuils de 99, 95 et 90% pour la variable hauteur des nappes avec une probabilité de dépassement de la valeur critique du test qui est de  $3,91 \times 10^{-3}$  le 03/09/99. Avec la variable conductivité l'hypothèse nulle est acceptée aux seuils de confiances 95 et 90% et pour le pH

aux seuils de 99, 95 et 90%. La probabilité de dépassement de la valeur critique du test est égale à  $9,41 \times 10^{-2}$  le 06/08/99 pour la variable conductivité. Dans la station de Ngane, cette hypothèse nulle (absence de rupture) est acceptée aux seuils de confiance 99 et 95% pour les hauteurs de nappes avec une probabilité de dépassement de la valeur critique du test est de  $9,41 \times 10^{-2}$  le 23/07/99. Pour la conductivité électrique et le pH, elles sont acceptées aux seuils de confiance de 99, 95 et 90%.

L'utilisation de la segmentation d'Hubert pour la détection des périodes de ruptures, dans la première série chronologique au niveau de la station de Ndiaffate, deux périodes ont été identifiées pour la hauteur de la nappe, la conductivité électrique et le pH. Avec la variable hauteur des nappes il s'agit des périodes du 04/07/98 au 28/09/98 et du 03/10/98 au 31/10/98. Pour la variable conductivité du 04/07/98 au 08/08/98 et 15/08/98 au 31/10/98. Pour la variable pH du 04/07/98 au 17/10/98 et 24/10/98 au 31/10/98. Dans la station de Ngane, deux points ont été identifiés pour les variables conductivité et pH et un seul point pour la variable hauteur. Avec la hauteur, la période est observée du 04/07/98 au 31/10/98, pour la conductivité du 04/07/98 au 18/07/98 ; du 25/07/98 au 31/10/98 et pour le pH du 04/07/98 au 03/10/98 ; du 10/10/98 au 31/10/98

Dans la seconde série chronologique pour la station de Ndiaffate, trois périodes de ruptures ont été identifiées pour la variable hauteur de nappe du 02/07/99 au 30/07/99 ; 06/08/99 au 13/08/99 et du 20/08/99 au 29/10/99. Pour la variable conductivité électrique deux points de ruptures ont été identifiés correspondant aux périodes les suivantes : du 02/07/99 au 16/07/99 et du 23/07/99 au 29/10/99. Cependant pour la variable pH un seul point a été identifié correspondant à la période du 02/07/99 au 29/10/99. Dans la station de Ngane, deux périodes de rupture pour les variables hauteurs des nappes, conductivités électriques et trois périodes pour la variable pH. Avec la hauteur les périodes observées sont les suivantes : du 02/07/99 au 23/07/99 et du 30/07/99 au 29/10/99, pour la conductivité le 02/07/99 ; du 09/07/99 au 29/10/99 et pour le pH du 02/07/99 au 16/07/99, du 23/07/99 au 01/10/99 et du 08/10/99 au 29/10/99.

### C) La terrasse basse non inondable

#### C1) Périodes sèches.

Evolution de l'indice standardisé, des hauteurs des nappes, de la conductivité électrique et du pH.

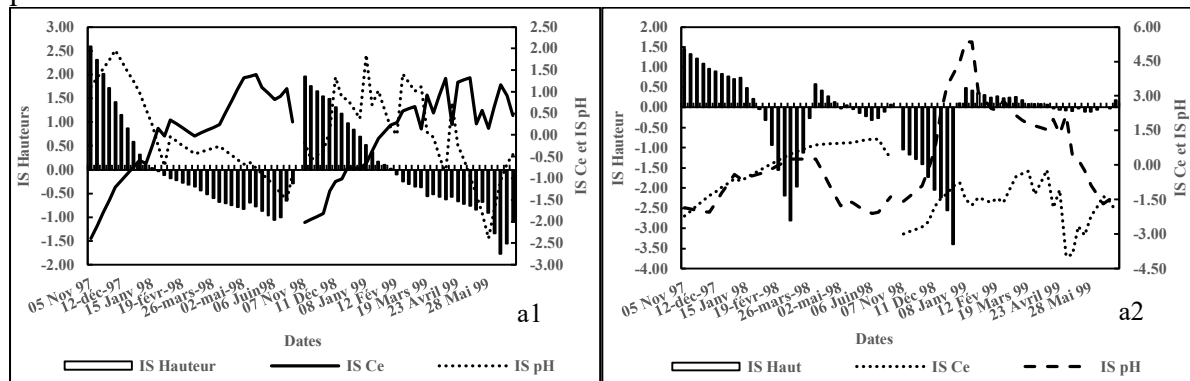


Figure 54 : Evolution de l'indice standardisé des hauteurs des nappes, de la conductivité électrique et du pH dans la terrasse basse non inondable durant les périodes sèches de l'étude. (a1= station de Ndiaffate ; a2 = station de Ngane)

Dans la première série chronologique, sur l'ensemble des variables dans les stations de Ndiaffate et Ngane (Figure 54 a1 et a2), les courbes des variabilités saisonnières des hauteurs, des conductivités et du pH présentent des allures variées avec des tendances croissantes pour la conductivité électrique et décroissantes pour les hauteurs et les pH. En fin de périodes sèches on assiste à une diminution des valeurs des conductivités suivie d'une remontée des nappes et des pH à partir du mois de juin. Durant cette période la nappe est alimentée par des apports hydrodynamiques provenant de l'amont et le caractère faiblement acide est observé. (Figure 54 a1). Dans la seconde série chronologique dans les deux stations (Ndiaffate et Ngane) on assiste au même type de fonctionnement de ces variables que la série précédente excepté au caractère d'acidité qui varie du neutre au basique pour la station de Ndiaffate. (Figure 54 a1)

Etude des séries chronologiques des variables hauteurs, conductivités et pH des eaux des nappes.

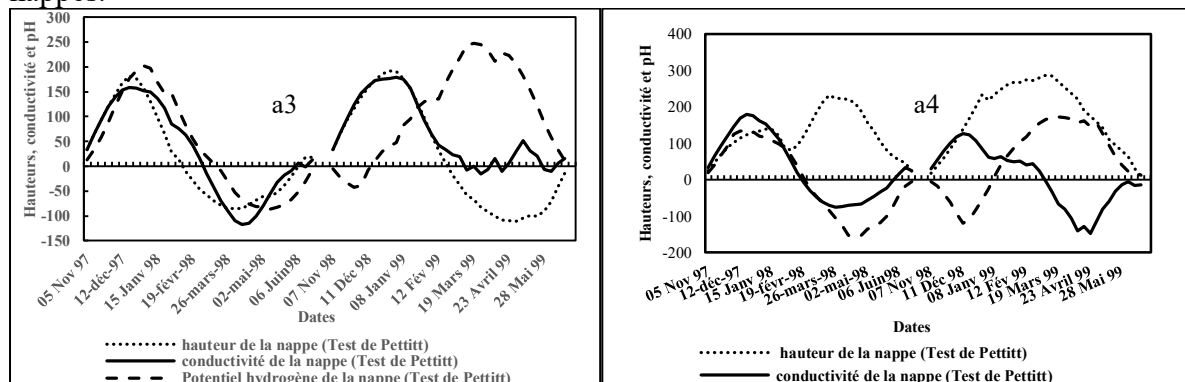


Figure 55 : Evolution des variables hauteur, conductivité électrique et pH par le test de Pettitt des eaux des nappes de la terrasse non inondable en périodes sèches. (a3 = station de Ndiaffate ; a4 = station de Ngane)

Dans la première série chronologique pour l'ensemble des deux stations (Ndiaffate et Ngane) les allures des courbes des variables U (hauteurs et conductivités) du test de Pettitt présentent des allures variées avec une tendance décroissante pour les variables hauteurs et conductivités (Figure 55) avec deux points de rupture au niveau de chaque courbe. Ces points caractérisent des phases ascendantes ou descendantes. Dans la première série chronologique pour la station de Ndiaffate (Figure 55 a3), ces points sont observés le 12/12/97 et le 12/03/98 pour la variable hauteur ; la variable conductivité le 19/12/97 le 03/04/98 et pour le pH, ces points de rupture sont enregistrés pour les dates suivantes : le 09/01/98 et le 02/05/98. Au niveau de la station de Ngane (Figure 55 a4), ces points sont observés le 05/02/98 et le 19/03/98 pour la variable hauteur ; la variable conductivité le 19/12/98 le 03/04/98 et pour le pH le 19/12/98 et le 17/04/98.

Dans la seconde série chronologique sur l'ensemble des variables dans les deux stations on observe le même type de fonctionnement que la première série chronologique. Dans la station de Ndiaffate (Figure 56 a3) les points de rupture sont enregistrés le 30/12/98 et le 30/04/99 pour la hauteur, le 30/12/98 et le 19/03/99 pour la conductivité et le pour le pH un seul point le 19/03/99. Dans la station de Ngane (Figure 55 a4) les points sont observés pour la hauteur des nappes le 12/03/99, pour la conductivité le 04/12/99 et le 23/04/99 et pour le pH le 11/12/98 et le 19/03/99.

Dans la première série chronologique, avec le test de normalité sélectionné pour l'ensemble des deux stations (Ndiaffate et Ngane), les valeurs observées et transformées des hauteurs des nappes, des conductivités électriques et des pH ne suivent pas la loi normale.

Dans la seconde série chronologique, dans les stations de Ndiaffate et Ngane, les valeurs transformées des hauteurs ne suivent pas la loi normale contrairement aux valeurs des conductivités et des pH qui suivent une loi normale. La transformation Box et Cox avec lambda qui est égal à 0,8800 pour la conductivité à Ndiaffate.

Dans la première série chronologique avec l'utilisation du test de vérification du caractère aléatoire par le test de corrélation sur le rang pour la station de Ndiaffate, l'hypothèse nulle (série chronologique aléatoire) est acceptée aux seuils de confiance de 99, 95 et 90% pour les variables hauteurs, conductivité électrique et pH. Les variables de calcul sont respectivement égales à 0,7560 ; -0,7264 et 0,2817. Au niveau de la station de Ngane cette hypothèse est acceptée aux seuils de confiance de 99, 95 et 90% pour la conductivité et le pH et elle est rejetée aux seuils de 99, 95 et 90% pour la variable hauteur. Les variables de calculs sont égales à -3,5727 pour les hauteurs des nappes ; 0,0445 pour les conductivités électriques et 0,4003 pour le pH.

Dans la seconde série au niveau de Ndiaffate cette hypothèse est aussi acceptée aux seuils de confiance de 99, 95 et 90% pour les variables hauteurs, conductivités et rejetée aux seuils de 99, 95 et 90% pour la variable pH. Les valeurs de calcul respectivement égales à 0,2982 ; -1,4912 et -1,4912 pour le pH. Dans la station de Ngane pour cette même série cette hypothèse est acceptée aux seuils de confiance de 99, 95 et 90% pour la conductivité et à 99% pour le pH, et elle est rejetée aux seuils de 99, 95 et 90% pour les hauteurs. Les variables de calculs sont de -4,2178 pour les hauteurs des nappes ; -0,6107 pour les conductivités électriques et -3,5727.

Avec la détection des ruptures par la méthode non paramétrique de Pettitt, dans la première série chronologique de la station de Ndiaffate, l'hypothèse nulle (absence de rupture) est acceptée aux seuils de confiance 99% et rejetée aux seuils de 95 et 90% pour les hauteurs de nappes et les conductivités électriques. Cependant pour la variable pH cette hypothèse est rejetée aux seuils de 99, 95 et 90%. Les probabilités des dépassements des valeurs critiques du test sont de  $1,47^E-02$  le 19/12/97 pour la variable hauteur des nappes ;  $4,71^E-02$  le 19/12/97 pour la conductivité électrique et  $4,71^E-02$  le 02/01/98 pour le pH. Dans la station de Ngane pour cette série, cette hypothèse nulle (absence de rupture) est rejetée aux seuils de confiance 99, 95 et 90% pour les hauteurs de nappes. Ces hypothèses sont acceptées au seuil de 99% pour la variable conductivité et aux seuils de confiance 99 et 95% pour le pH. Les probabilités des dépassements des valeurs critiques des tests sont de  $7,32^E-04$  le 19/03/98 pour la variable hauteur,  $1,73^E-02$  le 19/12/97 pour la variable conductivité électrique et pour le pH  $5,67^E-02$  le 24/04/98.

Dans la seconde série chronologique dans la station de Ndiaffate, l'hypothèse nulle (absence de rupture) est acceptée aux seuils de confiance 99% pour les hauteurs de nappes et les conductivités électriques et elle est rejetée aux seuils de 99, 95 et 90% pour la variable pH. Les probabilités des dépassements des valeurs critiques des tests sont égales à  $1,33^E-02$  le 30/12/98 pour la variable hauteur des nappes ;  $2,56^E-02$  le 01/01/99 pour la conductivité et  $2,56^E-02$  le 01/01/99 pour le pH. Au niveau de la station de Ngane, les hypothèses nulles absences des ruptures ne sont rejetées qu'aux seuils de 99, 95 et 90% pour la hauteur des nappes et aux seuils de 95 et 90% pour le pH. Cette hypothèse est acceptée aux seuils de 99, 95 et 90% pour la conductivité électrique. Les probabilités des dépassements des variables critiques des tests sont de  $2,94^E-05$  le 05/03/99 pour la variable hauteur des nappes et pour le pH  $3,57^E-02$  le 19/03/99.

Avec la segmentation de Hubert dans les tests de détection des ruptures pour un niveau de signification du test de Scheffel 1%, dans la première série chronologique de la station de

Ndiaffate, cinq périodes ont été identifiées pour la hauteur de la nappe et quatre points de rupture pour la conductivité et le pH. Pour la hauteur de nappe les périodes sont les suivantes : du 05/11/97 au 12/11/97 ; du 19/11/97 au 05/12/97 ; du 12/12/97 au 27/12/97 ; du 02/01/98 au 12/03/98 et du 19/03/98 au 27/06/98 Avec la variable conductivité les périodes sont : du 05/11/97 au 26/11/97 ; du 05/12/97 au 09/01/98 ; du 15/07/98 au 10/04/98 et du 17/04/98 au 27/06/98. Pour la variable pH les périodes sont de 05/11/97 au 19/12/97 ; du 27/12/97 au 09/01/98 ; du 15/01/98 au 09/05/98 et du 16/06/98 au 27/06/98. Pour cette même série dans la station de Ngane les périodes de rupture par la méthode Hubert sont aux nombres de quatre pour la hauteur de la nappe, la conductivité électrique et cinq pour le pH. Les périodes sont observées du 05/11/97 au 12/11/97 ; du 19/12/97 au 12/02/98 ; du 19/02/98 au 12/03/98 et du 19/03/98 au 27/06/98 pour la variable hauteur et du 05/11/97 au 26/11/97, du 05/12/97 au 27/12/97, 02/01/98 au 12/03/98 et du 19/03/98 au 27/06/98 pour la conductivité électrique. Avec la variable pH ces périodes sont enregistrées du 05/11/97 au 12/12/97, du 19/12/97 au 27/12/97, du 02/01/98 au 10/04/98, du 17/04/98 au 24/04/98 et du 02/05/98 au 27/06/98.

Dans la station de Ndiaffate pour la seconde série chronologique cinq points de ruptures pour la variable hauteur des nappes contre deux pour les conductivités et quatre pour le pH.

Pour la variable hauteur de nappe ils ont été observés du 07/11/98 au 04/12/98 ; du 11/12/98 au 01/01/99 ; du 08/01/99 au 12/03/99 ; du 19/03/99 au 28/05/99 et du 04/06/99 au 25/06/99. Pour la conductivité les périodes de ruptures sont : du 07/11/98 au 04/12/98 ; 11/12/98 au 25/06/99 Pour le pH les périodes de ruptures sont : du 07/11/98 au 04/12/98 ; du 11/12/98 au 12/03/99 ; du 19/03/99 au 30/04/99 et du 07/05/99 au 25/06/99. Au niveau de la station de Ngane six points de ruptures pour la variable hauteur des nappes, quatre pour les conductivités et le pH. Pour la variable hauteur de nappe ils ont été observés du 07/11/98 au 27/11/98, du 04/12/98 au 18/12/98, le 25/12/98, le 30/12/98, du 01/01/99 au 12/03/99 et du 19/03/99 au 25/06/99. Avec la conductivité les périodes de ruptures sont : du 07/11/98 au 04/12/98, du 11/12/98 au 23/04/99, du 30/04/99 au 21/05/99 et du 28/05/99 au 25/06/99 Pour le pH, les périodes de ruptures ont été enregistrées du 07/11/98 au 18/12/98, du 25/12/98 au 15/01/99, du 22/01/99 au 12/03/99 et du 19/03/99 au 25/06/99.

## C2) Périodes humides.

Evolution de l'indice standardisé, des hauteurs des nappes, de la conductivité électrique et du pH.

Sur l'ensemble des deux séries chronologiques dans les deux stations (Ndiaffate Figure 57 a5 et Ngane figure 56 a6), les courbes des conductivités électriques des nappes le

long du topo séquence présentent des allures décroissantes pour l'hivernage 98 et 99. Contrairement aux hauteurs et aux pH qui présentent des tendances croissantes ; une exception faite dans la première série chronologique dans la station de Ngane (Figure 56 a6). Le caractère très salin ainsi que le caractère faiblement acide sont généralement observés malgré la différence de pluviométrie observée entre les deux séries chronologiques. Ces variables fonctionnent d'une manière inverse c'est-à-dire lorsque les hauteurs des nappes augmentent on assiste à une diminution du caractère de salinité et d'acidité

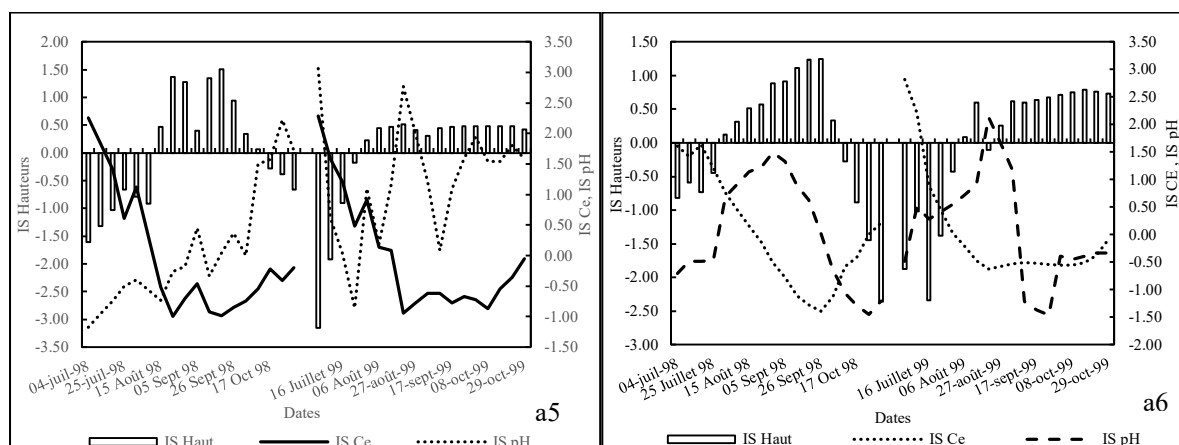


Figure 56 : Evolution de l'indice standardisé des hauteurs des nappes, de la conductivité électrique et du pH dans la terrasse basse non inondable durant les périodes humides de l'étude. (a5= station de Ndiaffate ; a6 = station de Ngane)

Etude des séries chronologiques des variables hauteurs, conductivités et pH des eaux des nappes.

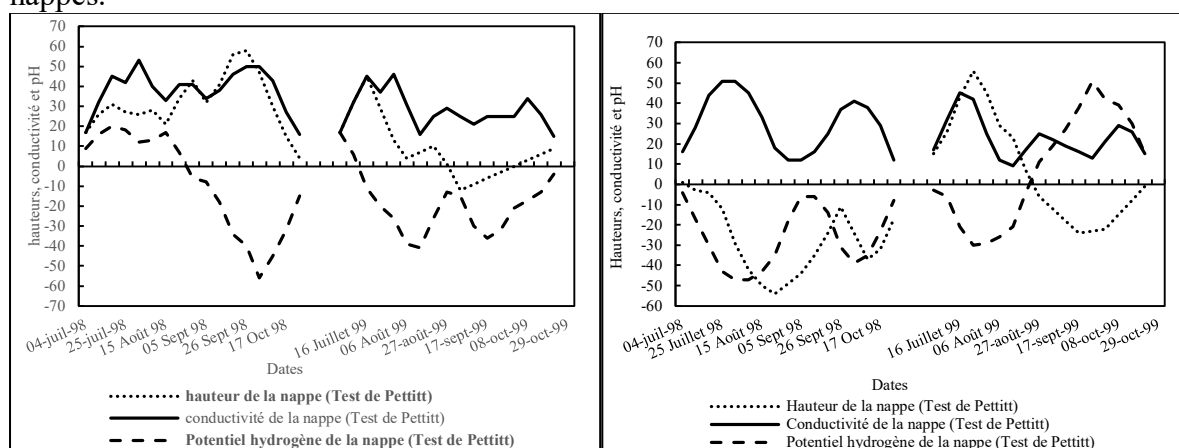


Figure 57 : Evolution des variables hauteur, conductivité électrique et pH par le test de Pettitt des eaux des nappes de la terrasse non inondable en périodes humides. (a7 = station de Ndiaffate ; a8 = station de Ngane)

Dans l'ensemble des deux séries chronologiques pour l'ensemble des deux stations, les courbes des variables U (hauteurs, CE et pH) du test de Pettitt présentent des tendances

décroissantes. (Figure 57 a7). Cependant dans la station de Ngane une tendance croissante est observée pour la variable pH dans la seconde série chronologique. (Figure 57 a8)

Dans la première série chronologique pour les stations de NdiAffate et de Ngane, avec le test de normalité sélectionné les variables hauteur des nappes et la conductivité électrique suivent une loi normale. Les transformations Box et Cox avec  $\lambda$  qui sont de 0,8800 dans la station de NdiAffate. Avec la variable pH cette normalité est non observée dans la station de NdiAffate et elle suit la loi normale dans la station de Ngane pour cette même série.

Dans la seconde série chronologique au niveau de la station de NdiAffate les variables conductivités électriques et pH suivent la loi normale contrairement aux hauteurs des nappes. Dans la station de Ngane, les valeurs observées et transformées des hauteurs des nappes et des conductivités électriques ne suivent pas la loi normale ; cependant, elles suivent la loi normale avec une transformation logarithme pour la variable pH

Dans la station de NdiAffate, pour la première série chronologique, le test de corrélation sur le rang a été utilisé pour la vérification du caractère aléatoire. Les hypothèses nulles (série chronologique aléatoire) sont acceptées aux seuils de confiance de 99, 95% pour la variable hauteur des nappes et aux seuils de 99,95 et 90% pour la variable pH. Avec la conductivité électrique cette hypothèse est rejetée aux seuils de 99, 95 et 90%. Les valeurs des variables de calcul sont de -1,9318 pour la hauteur, 0,1894 pour le pH et pour la conductivité -2,8408. Au niveau de la station de Ngane pour cette même série, cette hypothèse est acceptée aux seuils de 99% pour l'ensemble des variables (hauteurs, conductivités et pH). Les valeurs des variables des calculs sont de 2,5378 pour la variable hauteur ; -2,0075 pour la variable conductivité et 2,3863 pour la variable pH. Dans la seconde série chronologique au niveau de la station de NdiAffate, les hypothèses nulles (série chronologique aléatoire) sont acceptées aux seuils de 99, 95 et 90% pour la variable hauteur dont la valeur de la variable de calcul est de 1,0227 et sont rejetées aux seuils de 90% pour la conductivité et le pH. Les valeurs des variables de calcul qui sont de -1,9318 pour la conductivité et 1,7803 pour le pH. Dans la station de Ngane, l'hypothèse nulle (série chronologique aléatoire) est acceptée aux seuils de confiance de 99, 95 et 90% pour les variables hauteurs des nappes, conductivité électrique et pH. Les valeurs des variables des calculs sont respectivement égales 0,7197 ; -0,7197 et 0,1136 pour les variables hauteurs, conductivité et pH.

Dans la première série chronologique au niveau de la station de NdiAffate, les tests de détection des ruptures avec la méthode non paramétrique de Pettitt révèlent que les hypothèses nulles (absence de rupture) sont rejetées au seuil de 90% pour les hauteurs des nappes, le pH et cette hypothèse est acceptée aux seuils de 99, 95 et 90% pour la variable

conductivité électrique. Les probabilités des dépassements des valeurs critiques des tests qui sont de  $7,54^E-02$  le 26/09/98 pour la hauteur et  $9,41^E-02$  le 03/10/98 pour le pH. Dans la station de Ngane cette hypothèse est acceptée aux seuils de 99, 95 et 90% pour les variables hauteurs des nappes, conductivités électriques et pH.

Dans la seconde série chronologique au niveau de Ndiaffate ces hypothèses nulles (absences des ruptures) sont acceptées aux seuils de confiance 99, 95 et 90% pour les variables conductivités, hauteurs des nappes et pH. Dans la station de Ngane, l'hypothèse nulle est rejetée au seuil de 90% pour les hauteurs avec une probabilité de dépassement de la valeur critique du test est de  $9,41^E-02$  le 23/07/99. Elle est acceptée aux seuils de 99, 95 et 90% pour la conductivité électrique et le pH.

Les tests des détections des ruptures par la segmentation de Hubert pour un niveau de signification du test de Scheffé 1%, dans la première série chronologique de la station de Ndiaffate, deux périodes ont été identifiées pour la hauteur de la nappe, la conductivité et trois pour le pH. Les périodes sont les suivantes : la hauteur du 04/07/98 au 26/09/98 et du 03/10/98 au 31/10/98, la conductivité du 04/07/98 au 18/07/98 et du 25/07/98 au 31/10/98 et le pH du 04/07/98 au 18/07/98 ; du 25/07/98 au 03/10/98 et du 10/10/98 au 31/10/98.

Pour cette même période dans la station de Ngane, deux points de ruptures ont été identifiés pour les variables hauteurs, conductivités électriques et un point de rupture pour la variable pH.

Les périodes ont été observées du 04/07/98 au 17/10/98 et du 24/10/98 au 31/10/99 pour la hauteur ; avec la variable conductivité du 04/07/98 au 25/07/98 et du 01/08/98 au 31/10/98 et pour le pH 04/07/98 au 31/10/98.

Dans la seconde série chronologique, station de Ndiaffate, cinq points de ruptures pour la variable hauteur des nappes contre deux pour les conductivités et pH ont été mise en évidence par la méthode de segmentation d'Hubert. Les périodes de ruptures sont les suivantes : le 02/07/99 ; le 09/07/99 ; le 16/07/99 ; du 23/07/99 au 30/07/99 et du 06/08/99 au 29/10/99. Pour la conductivité du 02/07/99 au 09/07/99 et du 16/07/99 au 29/10/99 et pour le pH du 02/07/99 au 29/10/99. Au niveau de la station de Ngane deux périodes de rupture ont été identifiées pour la variable hauteur de nappe, conductivité électrique et un seul point pour le pH. Les périodes ont été enregistrées du 02/07/99 au 23/07/99 et du 30/07/99 au 29/10/99 pour la hauteur ; du 02/07/99 au 09/07/99 et du 16/07/99 au 29/10/99 pour la conductivité et du 02/07/99 au 29/10/99 pour le pH.

#### D) La terrasse basse inondable

##### D1) Périodes sèches.

Evolution de l'indice standardisé, des hauteurs des nappes, de la conductivité électrique et du pH.

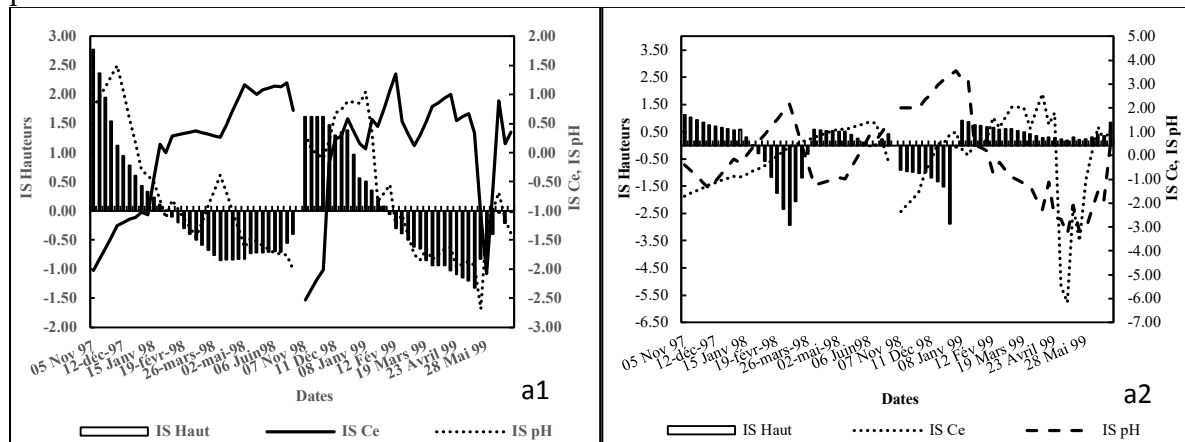


Figure 58 : Evolution de l'indice standardisé des hauteurs des nappes, de la conductivité électrique et du pH dans la terrasse basse inondable durant les périodes sèches de l'étude. (a1= station de Ndiaffate ; a2 = station de Ngane)

Sur l'ensemble des deux séries chronologiques dans les deux stations, les courbes dans les deux stations, les variabilités saisonnières des hauteurs des nappes et de leur conductivité électrique au niveau de la terrasse basse inondable haute présentent des tendances décroissantes pour la courbe des hauteurs des nappes et du pH et croissantes pour la courbe des conductivités. D'une manière générale sur l'ensemble des deux séries la courbe des hauteurs des nappes et celle des conductivités électriques évoluent en sens inverse. La diminution des valeurs des conductivités électriques est caractérisée par la prédominance de l'alimentation de la nappe par les apports hydrodynamiques provenant de l'amont d'où un effet de dilution. On observe une augmentation du caractère d'acidité. En revanche l'augmentation des valeurs de la conductivité est mise en évidence par les prédominances de l'alimentation des nappes soit par le cours d'eau Vélor pour la station de Ndiaffate (Figure 58 a1) soit par le cours d'eau Ngane pour la station de Ngane. (Figure 58 a2) Cette alimentation des nappes par les cours d'eau contenant des sulfates marins diminue le caractère d'acidité de ces eaux des nappes.

Etude des séries chronologiques des variables hauteurs, conductivités et pH des eaux des nappes.

Dans la première série chronologique, pour l'ensemble des deux stations (Ndiaffate et Ngane), les allures des courbes des variables U (hauteurs des nappes, conductivités électriques et pH) du test de Pettitt présentent des allures variées avec des tendances décroissantes.

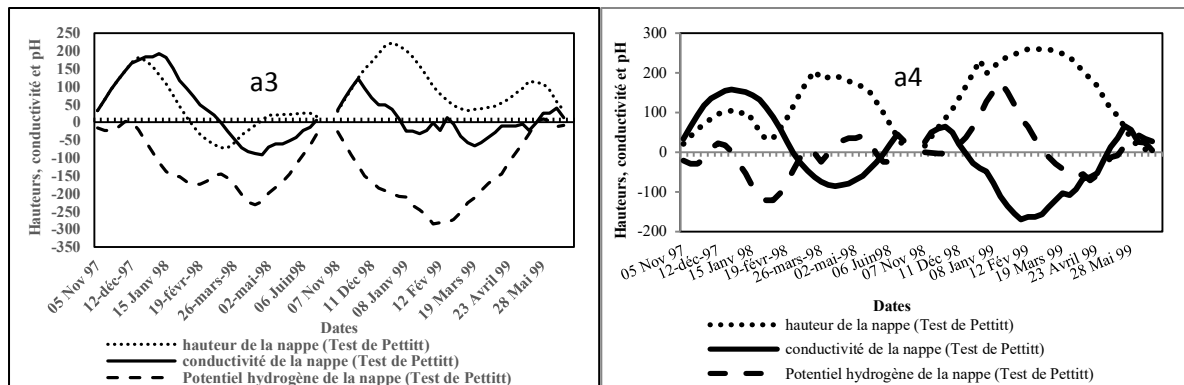


Figure 59 : Evolution des variables hauteur, conductivité électrique et pH par le test de Pettitt des eaux des nappes de la terrasse non inondable en périodes humides. (a3 = station de Ndiaffate ; a4 = station de Ngane)

Dans la seconde série pour l'ensemble des deux stations la tendance décroissante est observée pour les variables hauteurs et conductivités contrairement aux pH où la tendance croissante est enregistrée. Dans la première série chronologique pour la station de Ndiaffate, avec le test de normalité sélectionné, les valeurs observées et transformées des hauteurs de nappe et de la conductivité électrique ne suivent pas la loi normale, cependant celles du pH suivent la loi normale. Au niveau de la station de Ngane, les variables hauteurs des nappes, conductivités électriques et pH suivent une loi normale avec une transformation en Box et Cox avec  $\lambda$  égale à -0,3000 pour la variable hauteur. Dans la seconde série chronologique pour Ndiaffate, le test de normalité est vérifié sur les données observées et transformées des hauteurs des nappes, conductivités électriques et pH. Dans la station de Ngane, cette normalité est vérifiée au niveau des variables hauteurs des nappes et pH en revanche elle est non vérifiée sur les données observées et transformées pour la variable conductivité électrique.

Le test de corrélation sur le rang a été utilisé pour la vérification du caractère aléatoire. L'hypothèse nulle (série chronologique aléatoire) dans la première série chronologique pour la station de Ndiaffate, l'hypothèse nulle est acceptée aux seuils de confiance de 99, 95% et 90% pour les variables hauteurs des nappes et des conductivités électriques et elle est rejetée aux seuils de 99, 95 et 90% pour la variable pH. Les valeurs des variables des calculs sont égales à -0,5782 pour la variable hauteur ; -0,1334 pour la conductivité et 4,3732 pour le pH. Dans la station de Ngane pour cette même série chronologique, les hypothèses nulles (série chronologique aléatoire) sont acceptées aux seuils de confiance de 99, 95 et 90% pour les variables conductivité électrique et le pH. Les valeurs des calculs sont de l'ordre de -3,0094 pour la hauteur ; de -0,4003 pour la conductivité et de 0,9043 pour le pH.

Dans la seconde série ces hypothèses nulles (séries chronologiques aléatoires) au niveau de la station de Ndiaffate sont rejetées aux seuils de 95 et 90% pour la variable hauteur et aux seuils de 99, 95 et 90% pour le pH. Cette hypothèse est acceptée aux seuils de 99, 95 et 90% pour la conductivité électrique. La variable de critique est de -2,2296 pour la hauteur et 4,9279 pour le pH. Dans la station de Ngane, cette hypothèse nulle (série chronologique aléatoire) est rejetée aux seuils de confiances de 99, 95 et 90% pour la variable hauteur des nappes et, acceptée aux seuils de 99, 95 et 90% pour le pH. Les variables des calculs sont de -4,4450 pour la hauteur, 1,6616 pour la conductivité et 0,3266 pour le pH.

Dans la première série chronologique, les tests de détection des ruptures avec la méthode non paramétrique de Pettitt, pour la station de Ndiaffate, les hypothèses nulles (absence de rupture) sont rejetées aux seuils de confiance 95 et 90% pour la variable hauteur et aux seuils de 99, 95 et 90% pour les variables conductivité électrique et pH. La probabilité de dépassement de la valeur critique du test est de  $1,47^E-02$  le 19/12/97 pour la hauteur ; elle est de  $8,45^E-03$  le 09/01/98 pour la conductivité électrique et pour le pH, cette probabilité de dépassement de la valeur critique du test est de  $7,84^E-04$  le 17/04/98 pour le pH. Dans la station de Ngane, ces hypothèses sont rejetées aux seuils de confiance 99, 95 et 90% pour les hauteurs et aux seuils de 95 et 90% pour la conductivité électrique. Cependant cette hypothèse nulle (absence de rupture) est acceptée aux seuils de 99, 95 et 90% pour la variable pH. Les probabilités des dépassements des valeurs critiques des tests sont  $4,18^E-03$  le 19/03/98 pour la hauteur et  $4,99^E-02$  le 27/12/97 pour la conductivité électrique.

Dans la seconde série cette hypothèse nulle (absence de rupture) au niveau de la station de Ndiaffate est rejetée aux seuils de 99, 95 et 90% pour la hauteur et le pH. En revanche cette hypothèse est acceptée aux seuils de 99, 95 et 90%. Pour la conductivité électrique Les probabilités des dépassements des valeurs critiques des tests sont de  $2,17^E-03$  le 30/12/98 pour la hauteur et  $3^E-05$  le 05/02/99 pour la variable pH. Dans la station de Ngane, ces hypothèses sont rejetées, aux seuils de confiance 99, 95 et 90% pour la variable hauteur et aux seuils de 95 et 90% pour les variables conductivité électrique et le pH. Les probabilités des dépassements des valeurs critiques des tests de  $2,17^E-04$  le 05/03/99 pour la hauteur,  $3,92^E-02$  le 05/02/99 pour la conductivité et  $2,68^E-02$  le 15/01/99 pour le pH.

Dans la première série chronologique avec la segmentation de Hubert dans les tests de détection des ruptures pour un niveau de signification du test de Scheffé 1%, au niveau de la station de Ndiaffate, cinq périodes ont été identifiées pour la hauteur de la nappe, quatre pour la conductivité et deux pour le pH. Pour la hauteur de nappe les périodes sont les suivantes : du 05/11/97 au 12/11/97, du 19/11/97 au 24/11/97, du 05/03/98 au 27/06/98, du 02/01/98 au

26/03/98 et du 05/03/98 au 27/06/98. Pour la conductivité électrique les périodes observées sont : du 05/11/97 au 26/11/97, du 05/12/97 au 09/01/98, du 15/01/98 au 10/04/98 et du 17/04/98 au 27/06/97. Pour la variable pH: du 05/11/97 au 17/04/98 ; du 24/04/98 au 27/06/98. Dans la station de Ngane, trois périodes ont été identifiées pour la hauteur de la nappe, six pour la conductivité électrique et une seule pour le pH. Pour la hauteur de nappe les périodes sont les suivantes : du 05/11/97 au 12/02/98, du 19/02/98 au 12/03/98 et du 19/03/98 au 27/06/98. Avec la variable conductivité du 05/11/97 au 26/11/97, du 05/12/97 au 22/01/98, du 29/01/98 au 12/03/98, du 19/03/98 au 24/04/98, du 02/05/98 au 13/06/98 et du 20/06/98 au 27/06/98. Et pour le pH du 05/11/97 au 25/06/98.

Dans la seconde série chronologique pour la station de Ndiaffate, quatre points de ruptures pour la variable hauteur des nappes contre deux pour les conductivités et cinq pour le pH. Pour la variable hauteur de nappe ils ont été observés du 07/11/98 au 30/12/98, du 01/01/99 au 05/03/99, du 12/03/99 au 28/05/99 et du 04/06/99 au 25/06/99. Avec la variable conductivité du 07/11/98 au 27/11/98 et du 04/12/98 au 25/06/99 et pour le pH du 07/11/98 au 04/12/98 ; du 11/12/98 au 19/03/99 ; du 26/03/99 au 14/05/99, le 21/05/99 ; du 28/05/99 au 25/06/99

Dans la station de Ngane pour une même série, chronologique quatre points de ruptures pour la variable hauteur des nappes, trois points pour le pH et un seul point de rupture pour les conductivités.

Pour la variable hauteur de nappe ils ont été observés du 07/11/98 au 25/12/98, le 30/12/98, du 01/12/99 au 19/03/99 et du 26/03/99 au 25/06/99. Pour le pH du 07/11/98 au 15/01/99, du 22/01/99 au 26/03/99 et du 02/04/99 au 25/06/99 et avec la conductivité une seule période de rupture du 07/11/98 au 25/06/99

## D2) Périodes humides.

Evolution de l'indice standardisé, des hauteurs des nappes, de la conductivité électrique et du pH.

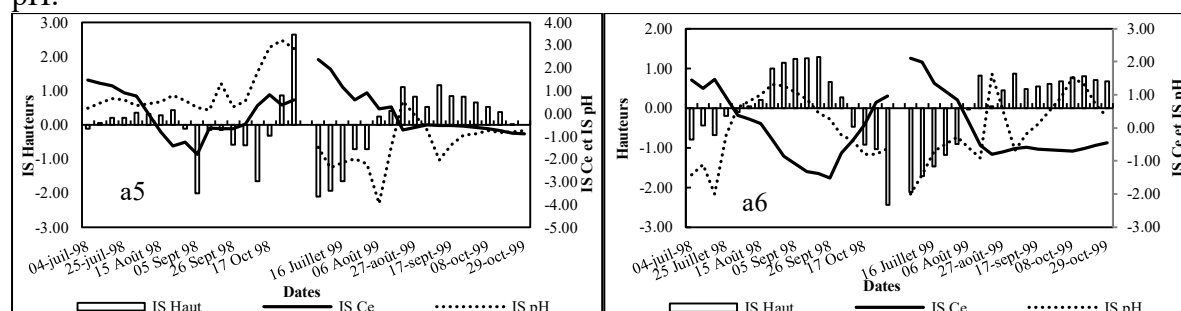


Figure 60 : Evolution de l'indice standardisé des hauteurs des nappes, de la conductivité électrique et du pH dans la terrasse basse inondable durant les périodes sèches de l'étude. (a5= station de Ndiaffate ; a6 = station de Ngane.

Dans l'ensemble des deux séries chronologiques au niveau des stations de Ndiaffate (Figure 60 a5) et Ngane (Figure 60 a6), les courbes, des hauteurs des nappes, des pH, présentent des tendances croissantes cependant celles des conductivités électriques des tendances décroissantes. Les variables conductivité et pH évoluent d'une manière inverse par rapport à la variable hauteur. Lorsque les hauteurs des nappes augmentent, les caractères d'acidité et de salinité de ces eaux diminuent. Au courant de ces deux périodes (hivernage 98 et 99), ces eaux présentent des caractères excessivement salins et des caractères faiblement acides dans la première série chronologique et neutres dans la seconde. Nous remarquons que dans la première série dans la station de Ngane la courbe des hauteurs des nappes présente une tendance décroissante. (Figure 60 a6)

Etude des séries chronologiques des variables hauteurs, conductivités et pH des eaux des nappes.

Dans l'ensemble des deux séries chronologiques dans les deux stations, les allures des courbes des variables U (hauteurs, conductivité et pH) du test de Pettitt présentent des allures variées. Dans la station de Ndiaffate (Figure 61 a7), la tendance décroissante est observée pour la variable conductivité et croissante pour les variables hauteurs des nappes et pH dans les deux séries chronologiques.

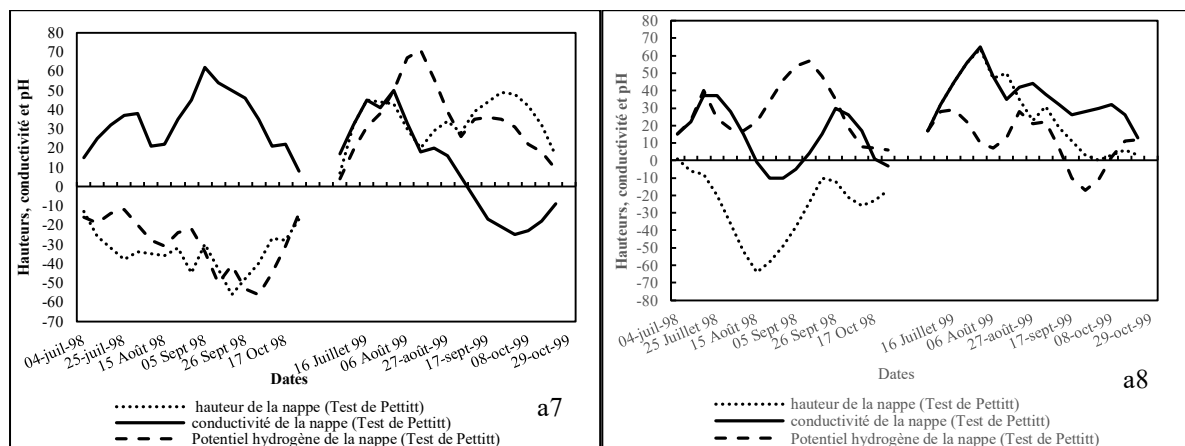


Figure 61 : Evolution des variables hauteur, conductivité électrique et pH par le test de Pettitt des eaux des nappes de la terrasse non inondable en périodes humides. (a7 = station de Ndiaffate ; a8 = station de Ngane)

Cependant au niveau de Ngane (Figure 61 a8), dans l'ensemble des deux séries chronologiques, les courbes des variables U (hauteurs, Ce et pH) du test de Pettitt présentent des tendances décroissantes.

Dans la station de Ndiaffate, avec le test de normalité sélectionné, sur l'ensemble des deux séries chronologiques, les valeurs observées et transformées des hauteurs de nappe, de la conductivité électrique et celles du pH suivent une loi normale. Au niveau de la station de Ngane, cette normalité est enregistrée dans la première série chronologique pour les variables

hauteur des nappes, conductivités électriques et pH. En revanche dans la seconde série chronologique, cette normalité est non vérifiée sur les valeurs observées et transformées pour les variables hauteur des nappes et pour les conductivités électriques. Cependant avec la variable pH cette normalité est vérifiée.

Dans la première série chronologique, la vérification du caractère aléatoire par le test de corrélation sur rang. Les hypothèses nulles (séries chronologiques aléatoires), dans la station de Ndiaffate ne sont pas rejetées, aux seuils de confiance de 99, 95% et 90% pour la variable hauteur des nappes et aux seuils de 95 et 90% pour les variables conductivité et pH. Les valeurs des variables des calculs sont égales à 3,2954 pour la hauteur, -2,3105 pour la conductivité électrique et 2,5378 pour le pH. Au niveau de la station de Ngane, ces hypothèses nulles (séries chronologiques aléatoires) ne sont pas acceptées aux seuils de confiance 99, 95 et 90% pour la variable conductivité électrique et elle est rejetée pour les seuils de confiances de 95 et 90% pour les variables hauteurs des nappes et pH. Dans cette série chronologique, les valeurs des variables des calculs sont égales à 2,1590 pour la hauteur ; -0,4167 pour la conductivité et -1,7045 pour le pH.

Dans la seconde série pour la station de Ndiaffate, ces hypothèses nulles (séries chronologiques aléatoires) ne sont pas rejetées aux seuils de 95 et 90% pour les variables hauteur ; pH et elles sont acceptées aux seuils de 99, 95 et 90% pour la conductivité électrique. Les valeurs des variables des calculs sont respectivement égales à -2,5378 pour la hauteur, 0,2651 pour la conductivité et -2,3105 pour le pH. Dans la station de Ngane pour cette même série chronologique, ces hypothèses sont acceptées aux seuils de confiance de 99, 95 et 90% pour les variables hauteurs des nappes et pH. Pour la variable conductivité électrique elle est acceptée qu'au seuil de 99%. Les valeurs de la variable de calcul sont égales à : -1,3257 pour la hauteur des nappes, -2,3863 pour la conductivité électrique et -0,5682 pour le pH.

Dans la première série chronologique, pour les tests de détection des ruptures avec la méthode non paramétrique de Pettitt, au niveau de la station de Ndiaffate, les hypothèses nulles (absences de ruptures) sont acceptées aux seuils de confiance 95 et 90% pour la variable hauteur et au seuil de 99% pour les variables conductivité et pH. Les probabilités des dépassements des valeurs critiques des tests sont de  $9,41 \times 10^{-2}$  le 19/09/98 pour la hauteur, de  $4,72 \times 10^{-2}$  le 05/09/98 pour la conductivité électrique et de  $9,41 \times 10^{-2}$  le 03/10/98 pour le pH. Dans la station de Ngane, ces hypothèses sont acceptées aux seuils de confiance 99, 95 et 90% pour la variable conductivité électrique et aux seuils de confiance 99, 95% pour la variable pH. Cependant avec la variable hauteur des nappes elle est rejetée pour les seuils 95

et 90%. Les probabilités des dépassements des valeurs critiques du test sont de  $3,69^E-02$  le 15/08/98 pour la variable hauteur et  $8,43^E-02$  le 12/09/98 pour le pH.

Dans la seconde série chronologique dans la station de Ndiaffate, cette hypothèse nulle (absence de rupture) est acceptée aux seuils de 99, 95 et 90% pour les variables hauteur, conductivité et pH. En revanche dans la station de Ngane cette hypothèse nulle (absence de rupture) est rejetée aux seuils de 95 et 90% pour les variables conductivité électrique, hauteur et elle est acceptée aux seuils de 99, 95 et 90% pour la variable pH. Les probabilités de dépassement des valeurs critiques des tests sont de  $3,26^E-02$  le 30/07/99 pour la hauteur et  $3,69^E-02$  le 30/07/99 pour la conductivité électrique

L'utilisation de la segmentation de Hubert dans les tests de détection des ruptures pour un niveau de signification du test de Scheffel 1%, dans la première série chronologique au niveau de la station de Ndiaffate, trois périodes ont été identifiées pour le pH, deux périodes pour la hauteur de la nappe et une pour la conductivité électrique. Pour le pH 04/07/98 au 03/10/98, le 10/10/98 et le 17/10/98 au 31/10/98 ; pour la hauteur de nappe les périodes sont les suivantes : du 04/07/98 au 24/10/98 et le 31/10/98 et la conductivité du 04/07/98 au 31/10/98. Dans la station de Ngane, trois points ont été identifiés pour les variables hauteurs, deux pour le pH et un seul pour la conductivité électrique. Pour la hauteur de nappe du 04/07/98 au 15/08/98, le 22/08/98 au 24/10/98 et le 31/10/98 ; avec la variable pH du 04/07/98 au 18/07/98 et du 25/07/98 au 31/10/98 et pour la conductivité du 04/07/98 au 31/10/98

Dans la seconde série chronologique au niveau de la station de Ndiaffate, trois points de rupture pour la variable pH et deux pour les variables hauteur des nappes et conductivités électriques. Avec la variable pH les périodes sont du 02/07/99 au 30/07/99, le 06/08/99 et du 13/08/99 au 29/10/99. Pour la variable hauteur de nappe ces périodes de ruptures ont été observés du 02/07/99 au 16/07/99 et du 23/07/99 au 29/10/99 et pour la conductivité du 2/07/99 au 09/07/99 et du 16/07/99 au 29/10/99. Au niveau de la station de Ngane trois points de rupture ont été identifiés pour la variable conductivité du 02/07/99 au 09/07/99, du 16/07/99 au 30/07/99 et du 26/08/99 au 29/10/99 et deux points pour les variables hauteurs et pH. Avec la variable hauteur, les périodes sont les suivantes : du 02/07/99 au 23/07/99 ; du 30/07/99 au 29/10/99 et pour le pH du 02/07/99 au 09/07/99 et du 16/07/99 au 29/10/99.

### 3-2-3 Etude de la variabilité de la teneur en eau, de la conductivité électrique et du pH en fonction de la profondeur et des différentes unités géomorphologiques.

#### A) Périodes sèches

##### A1) Périodes sèches 98

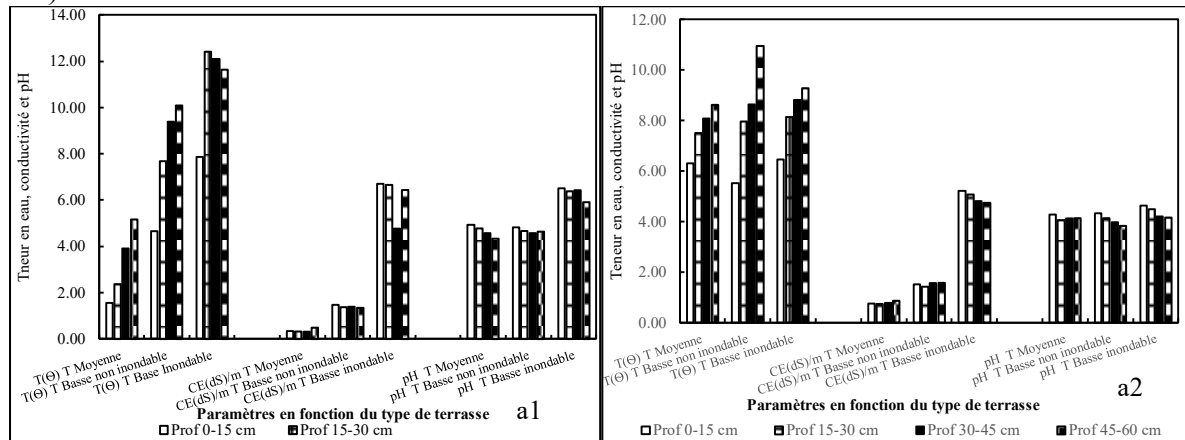


Figure 62 : Evolution de la teneur en eau, de la conductivité et du pH en fonction de la profondeur, du type de terrasse en période sèche 98 dans les stations expérimentales (a1 = station de Ndiaffate ; a2 = station de Ngane)

Dans les deux stations, au courant de la période sèche 98, la teneur en eau est fonction du gradient de profondeur et du gradient de pente. Figure 62. Au niveau de la station de Ndiaffate dans la terrasse basse inondable, la tranche de profondeur [15-30] contient plus d'eau que les couches sous adjacentes d'où un appel d'eau du bas vers le haut. Pour la conductivité électrique, la variabilité en fonction de la profondeur est légèrement différente au niveau de la même terrasse. En revanche en fonction du gradient de pente la variabilité de la conductivité électrique est très différente entre les terrasses (Figure 62 a1). Au niveau de la terrasse moyenne la gamme légèrement saline est présente sur l'ensemble des tranches de profondeurs. Pour la terrasse basse non inondable on observe la gamme moyennement saline. Au niveau de la terrasse basse inondable la gamme très saline est observée sur les couches [0-15], [15-30] et [45-60] et saline pour la couche [30-45] pour une texture sableuse. Pour le paramètre potentiel hydrogène (pH), la variabilité est fonction du gradient de pente. Au niveau de la terrasse moyenne le caractère très acide est enregistré au niveau des couches profondes [30-45] et [45-60] et le caractère acide au niveau des couches [0-45] et [15-30]. Un seul type de caractère est observé sur l'ensemble des couches de la terrasse basse non inondable et de la terrasse basse inondable à savoir le caractère acide et le caractère faiblement acide.

Dans la station de Ngane ; au niveau de la terrasse basse non inondable, la tranche de profondeur [45-60] est plus humide que celle observée au niveau de la terrasse basse inondable (figure 62 a2). Au niveau de chaque terrasse, la teneur en eau obéit au gradient de

profondeur. Pour la conductivité électrique l'augmentation des valeurs des CE (dS/m) en fonction de la profondeur n'est pas effective. Cependant la variabilité de la conductivité électrique en fonction du gradient de pente est observée. (Figure 62 a2) Au niveau de la terrasse basse inondable, les valeurs des CE (dS/m) au niveau des couches profondes sont plus petites par rapport aux couches superficielles. Les couches de la terrasse moyenne et la terrasse basse non inondable présentent une gamme moyennement saline en revanche au niveau de la terrasse basse inondable, ces mêmes profondeurs de couches présentent une gamme saline. Pour le paramètre potentiel hydrogène (pH), les valeurs des pH augmentent légèrement de la terrasse moyenne à la terrasse basse inondable. Cependant nous constatons que seul le caractère très acide est représenté sur l'ensemble des couches des différentes terrasses.

#### A2) Périodes sèches 99

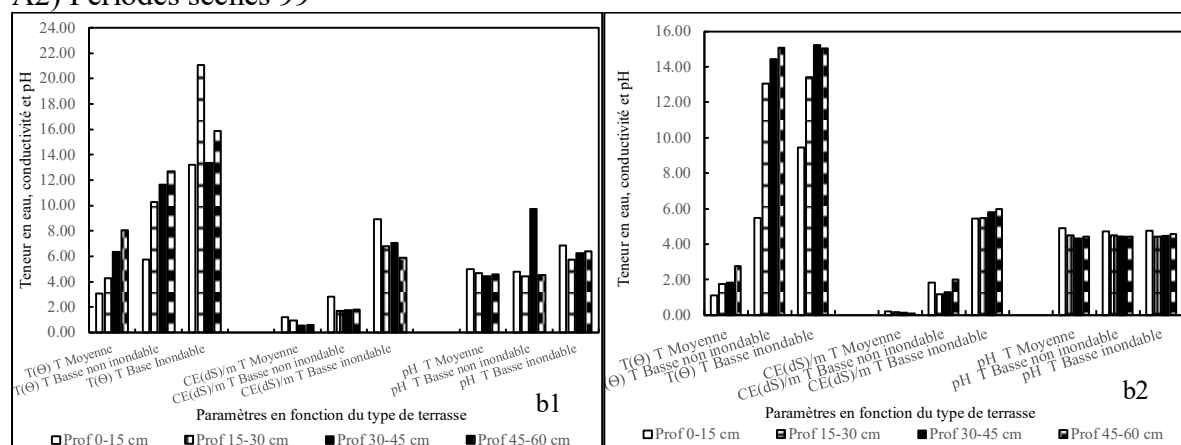


Figure 63 Evolution de la teneur en eau, de la conductivité et du pH en fonction de la profondeur, du type de terrasse en période sèche 99 dans les stations expérimentales (b1 = station de Ndiaffate ; b2 = station de Ngane)

Cette période sèche 99 est caractérisée par la moyenne des mesures obtenues au mois de janvier, mars et juin 99. Dans la station de Ndiaffate, durant la période sèche 99 (Figure 63 b1), le paramètre teneur en eau est fonction à la fois du gradient de profondeur et du gradient de pente au niveau des différentes terrasses. Cette variabilité semble être perturbée au niveau de la terrasse basse inondable où la tranche de profondeur [15-30] est plus humide que les couches [30-45] et [45-60] donc un transfert d'eau des couches profondes vers la surface.

Pour le paramètre conductivité électrique, la gamme de salinité est presque identique au niveau de la même terrasse. Au niveau de la terrasse basse inondable on retrouve la gamme très saline sur l'ensemble des couches. Au niveau de la terrasse basse non inondable la salinité varie entre la gamme saline en surface et moyennement saline en profondeur. Pour la terrasse moyenne on rencontre la gamme moyennement saline sur l'ensemble des couches.

En revanche en fonction du gradient de pente on note une certaine variabilité de la conductivité électrique entre les terrasses. La terrasse basse inondable semble être la plus salée sur l'ensemble de ces couches avec la gamme très saline et une texture sablo argileuse sur les 30 premiers centimètres et sableuse pour les profondeurs comprises entre 30 et 60cm. La terrasse basse non inondable vient en seconde position avec la gamme de salinité variant entre le moyennement salin et le salin avec une texture sablo argileuse sur les 30 premiers centimètres et argilo sableuse pour les couches sous adjacentes. La terrasse moyenne est la moins salée avec la gamme moyennement saline avec une texture sablo limoneuse pour les 30 premiers centimètres et sablo argileuse pour les profondeurs comprises entre 30 et 60cm.

Pour le paramètre potentiel hydrogène (pH), le caractère d'acidité semble être identique au niveau d'une même terrasse sur l'ensemble des couches. La gamme acide est observée au niveau de la terrasse moyenne et de la terrasse non inondable en revanche la gamme faiblement acide est enregistrée sur la terrasse basse inondable.

Durant la période sèche 99 au niveau de la station de Ngane (Figure 63 b2), le paramètre teneur en eau ne suit pas strictement le gradient de profondeur. La terrasse basse non inondable semble être plus humide que la terrasse basse inondable. Au niveau de la terrasse basse non inondable la couche] 30-45cm] est plus humide que celle de]45-60cm] ; cette même situation est observée au niveau de la terrasse basse inondable où les couches] 0-15cm] et] 15-30cm] sont plus humides que les couches sous adjacentes] 30-45cm] et] 45-60cm]. Cette situation s'explique par le fait qu'il existe un fort appel d'eau des couches superficielles.

Pour la conductivité électrique l'augmentation des valeurs des CE (dS/m) en fonction de la profondeur n'est pas effective sur l'ensemble des terrasses. Au niveau de la terrasse basse non inondable, les valeurs des CE (dS/m) semblent évoluer en sens inverse avec la profondeur. En revanche le caractère de salinité évolution en fonction du gradient de pente. Au niveau de la terrasse basse inondable l'ensemble des couches présente un caractère très salin. En revanche les terrasses moyennes et basses non inondables présentent respectivement les gammes suivantes non salines et légèrement salines.

Les valeurs du paramètre pH, diminuent légèrement de la terrasse moyenne vers la terrasse basse inondable. Cependant le caractère très acide est enregistré sur l'ensemble des couches des trois terrasses exception faite au niveau de la couche] 0-15cm] de la terrasse moyenne où l'on enregistre un caractère acide.

## B) Périodes humides

### B1) Périodes humides 98

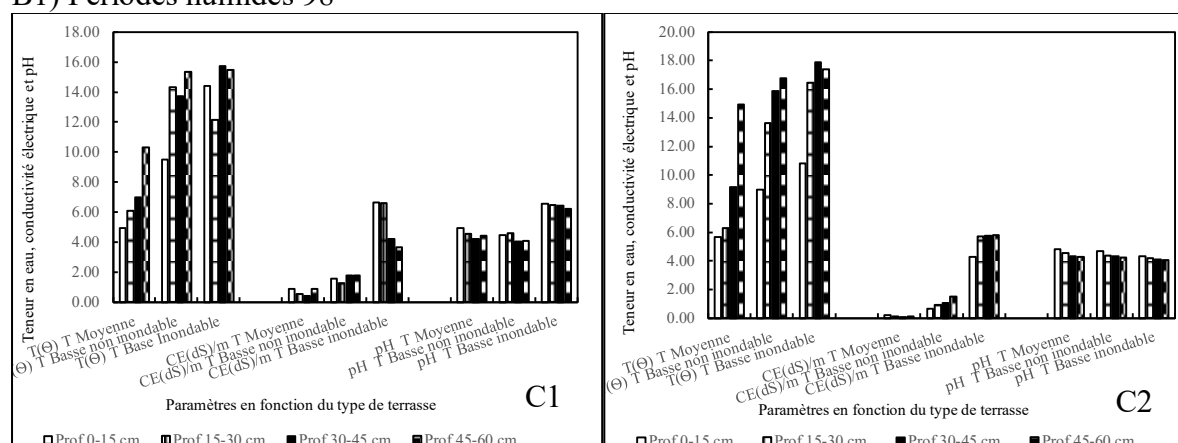


Figure 64 : Evolution de la teneur en eau, de la conductivité et du pH en fonction de la profondeur, du type de terrasse en périodes humides 98 dans les stations expérimentales (C1 = station de Ndiaffate ; C2 = station de Ngane)

La période humide 98 ne concerne que le mois de septembre. La teneur en eau suit le gradient de pente et le gradient de profondeur pour les différentes terrasses (Figure 64 C1). Cependant nous observons un certain comportement des couches 30-45 pour la terrasse basse non inondable avec une texture argilo-sableuse et 15-30cm pour la terrasse basse inondable avec une texture sablo-argileuse. Au niveau de la terrasse basse non inondable, la couche 30-45cm semble être moins humide que la couche 15-30cm. Ce phénomène s'observe aussi au niveau de la tranche 15-30cm qui est moins humide sus-jacente 0-15 cm. Ce comportement s'explique par fait qu'il existe un appel d'eau des couches profondes.

Pour le paramètre de conductivité électrique cette variabilité s'observe aussi bien sur le plan horizontal que sur le plan vertical. Les valeurs les plus élevées sont observées au niveau des terrasses basses inondables et non inondables (Figure 64 C1). Au niveau de la terrasse basse inondable, les plus fortes valeurs de conductivités sont enregistrées au niveau des couches 0-15 et 15-30 cm. Les couches de la terrasse moyenne et de la terrasse basse non inondable présentent une gamme moyennement saline. Cependant au niveau de la terrasse basse inondable les couches 0-15 et 15-30 cm présentent une gamme très saline et saline pour les couches 30-45 et 45-60 cm. Ce fait semble être expliqué par l'effet d'accumulation des eaux de ruissellement chargées de sels au niveau de ces couches 0-15 et 15-30 cm.

La variabilité du paramètre pH ne suit pas strictement le gradient de pente. Cependant le caractère très acide est observé au niveau de l'ensemble des couches de la terrasse basse non inondable et sur les couches de 15-60 cm de la terrasse moyenne.

Au niveau de cette même terrasse on enregistre le caractère acide au niveau de la tranche 0-15. En revanche au niveau de la terrasse basse inondable on enregistre le caractère

acide sur l'ensemble des couches. Cette diminution du caractère d'acidité au niveau de la terrasse basse inondable semble être expliquée par le fait que l'eau du cours d'eau Vélor chargée de sulfates marins vient tamponnée l'acidité de ces couches.

Dans la station de Ngane, la teneur en eau suit le gradient de pente et le gradient de profondeur pour les différentes terrasses (Figure 64 C2). Les pourcentages d'humidités les plus élevées sont enregistrés au niveau des couches profondes pour des textures variant du sablo-argileuse au argilo-sableuse. Pour le paramètre de conductivité électrique la variabilité s'observe à la fois sur le plan horizontal que sur le plan vertical. Sur le plan horizontal on observe de la gamme non saline au niveau de la terrasse moyenne à la gamme saline au niveau de la terrasse basse inondable en passant par la gamme moyennement saline pour la terrasse basse non inondable (Figure 64 C2). Sur le plan vertical les valeurs les plus élevées du CE (dS/m) sont enregistrées au niveau des couches profondes pour des textures argilo-sableuses pour les terrasses basses non inondables et inondables.

Cependant au niveau de la terrasse moyenne, la valeur la plus élevée de la conductivité électrique est observée au niveau de la couche 0-15 cm avec une texture sablo limoneuse. Au niveau des couches profondes ces valeurs des CE (dS/m) semblent être expliquées par l'effet d'accumulation des sels contenus dans des eaux d'infiltration. La variabilité du paramètre pH est très faiblement constatée. Généralement, c'est le caractère très acide qui est enregistré sur l'ensemble des couches des différentes terrasses. Cependant c'est au niveau des couches 0-15 cm des terrasses moyenne et non inondable qu'on observe le caractère acide.

## B2) Périodes humides 99

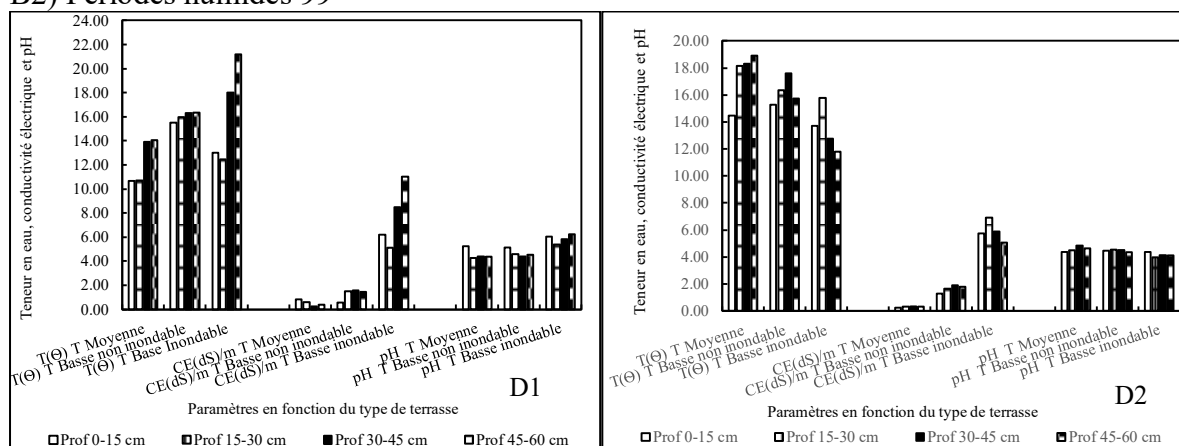


Figure 65 : Evolution de la teneur en eau, de la conductivité et du pH en fonction de la profondeur, du type de terrasse en périodes humides 99 dans les stations expérimentales (D1 = station de Ndiaffate ; D2 = station de Ngane)

Dans la station de Ndiaffate au courant de cette période humide, la teneur en eau suit généralement le gradient de pente et le gradient de profondeur pour les différentes terrasses

(Figure 65 D1). Cependant nous observons un certain comportement des couches au niveau de la terrasse non inondable où l'ensemble des profils présente presque la même teneur en eau. Au niveau de la terrasse moyenne et de la terrasse basse inondable nous observons un appel d'eau des couches superficielles [0-15 cm] et [15-30cm].

Pour le paramètre de conductivité électrique on assiste à une variabilité tant sur le plan horizontal que vertical. Le maximum de conductivité est enregistré au niveau de la terrasse basse inondable avec une gamme très saline pour les couches [15-45cm] et [45-60cm] et saline pour la couche [0-15cm]. Le caractère légèrement salin est observé sur les couches de la terrasse moyenne et moyennement salin pour la terrasse basse non inondable.

Pour le paramètre pH le caractère d'acidité évolue inversement avec le gradient de pente (Figure 65 D1). Le caractère très acide est observé sur l'ensemble des couches de la terrasse moyenne et de la terrasse basse non inondable. Cependant, au niveau de la terrasse basse inondable on ne rencontre que le caractère acide sur l'ensemble des couches.

Cette légère diminution du caractère d'acidité observée au niveau de la terrasse basse inondable semble être expliquée par les effets de submersion de cette terrasse par les eaux du cours d'eau chargées de sulfates marins.

Au niveau de la station de Ngane pour cette même période humide, le paramètre teneur en eau évolue inversement avec le gradient de pente. (Figure 65 D2) Les couches de la terrasse moyenne semblent être plus humides que celles des terrasses basses non inondable et inondable. Au niveau des terrasses moyennes et non inondables, la teneur en eau suit le gradient de profondeur. En revanche au niveau de la terrasse basse inondable, cette teneur en eau évolue en sens inverse avec le gradient de profondeur. Ce fait peut être expliqué par les effets combinés de la texture du sol (argilo sableuse) et la concentration de sel en profondeur.

La conductivité électrique évolue en fonction du gradient de pente et de la profondeur (Figure 65 D2). Au niveau de la terrasse moyenne on observe la gamme non saline ; moyennement saline pour la terrasse basse non inondable et très saline pour la terrasse basse inondable ; saline pour la terrasse basse non inondable et très saline pour la terrasse basse inondable. La variabilité du paramètre pH est très faiblement observée. Au niveau des différentes couches des différentes terrasses le caractère très acide a été observé.

### 3-3 Discussions

Dans le cadre de la caractérisation des eaux des nappes par les cations  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  et les anions  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  et  $\text{SiO}_2^{2-}$  dans les deux stations expérimentales (Ndiaffate et Ngane), les résultats obtenus corroborent avec ceux obtenus dans l'étude des sols sodiques des

plaines alluviales de Morovoay province de Majunga M. Damour (1973) dans laquelle il est possible de distinguer la nappe pluviale et la nappe en période sèche. Dans cette plaine aux premières pluies de Novembre les nappes amorcent une remontée qui sera graduelle. Dès la chute pluviométrique enregistrée en Avril les nappes redescendent. L'étude de l'évolution de la salinité de ces nappes est étroitement liée aux périodes de précipitation et de l'influence de la rivière ce qui expliquerait sans doute les fluctuations plus régulières. Dans le cadre de notre étude on assiste le même type de comportement entre le caractère des eaux des nappes et celui du cours d'eau Vélor en revanche ce comportement est différent au niveau de la station de Ngane. Cette différence semble être expliquée par la position de la station par rapport à l'estuaire d'une part et d'autre part par le régime pluviométrique. Les résultats obtenus dans la plaine de Morovoay sont identiques à ceux enregistrés dans le cadre de notre étude : parmi les cations le sodium est en forte proportion suivi par le magnésium. Au niveau des anions le chlore occupe la première place suivi par les sulfures  $\text{SO}_4^{2-}$ . La détection des périodes de ruptures est très souvent utilisée pour les études de variabilité spatio-temporelle de la pluviométrie, des relations nappe rivière et sur les régimes hydro climatiques ou hydrologiques d'un bassin versant. (Wesslink, Orange, Feizoure, Randriamiarisoa. 1996). De cette étude il est ressorti d'une part un schéma de fonctionnement hydro climatique permettant une vision régionale de l'état des nappes du bassin versant et d'autre part L'analyse détaillée de la série chronologique des débits de l'Oubangui depuis 1935 à nos jours, a mis en évidence la succession au cours du siècle, de trois périodes climatiques bien différenciées avec une période de retour de l'ordre de 25 ans. Une « rupture » peut être définie par un changement dans la loi de probabilité des variables aléatoires dont les réalisations successives définissent les séries chronologiques étudiées (Lubes et al., 1994). Le choix de l'utilisation de l'approche de Pettitt dans le cadre de notre étude repose sur la robustesse et les fondements issus des conclusions d'une étude simulation de séries aléatoires artificiellement perturbées (Bonneaud, 1994) qui ont permis de détecter un changement dans la moyenne de la variable traitée dans la série. Contrairement à l'approche de Pettitt qui suppose un non-changement de la variance de la série étudiée. Cette approche nous a permis de mettre en évidence les ruptures du début novembre à mi-novembre et de la mi-juin à fin juin pour les périodes sèches ; de mi-juillet et mi-septembre pour les périodes humides

### **3-4. Conclusion**

L'étude de la conductivité électrique, du potentiel hydrogène et des hauteurs des nappes fait référence à l'étude de l'évolution, de l'indice standardisé et des séries chronologiques de ces variables. La détection des périodes de ruptures lors de l'analyse des séries chronologiques,

identique entre les deux séries et les différents types de terrasses ont été mises en évidence du début novembre à mi-novembre et de la mi-juin à fin juin pour les périodes sèches. En périodes humides, ces ruptures sont enregistrées en mi-juillet et mi-septembre.

- L'étude de la variabilité de la teneur en eau, de la conductivité électrique et du pH en fonction de la profondeur et des différentes unités géomorphologiques met en évidence que le long des profils, la teneur en eau varie en fonction de la profondeur cependant la salinité et l'acidité évoluent inversement avec le gradient de profondeur.

Dans cette approche globale, le comportement et la dynamique de la végétation sont des critères importants et nécessaires à étudier pour comprendre le fonctionnement de ces milieux.

**CHAPITRE IV : Etude des relevés de végétation au Sud et au Nord du Fleuve Saloum sur sols salés dans des secteurs aménagés et non aménagés et de l'évolution des paramètres de contraintes par rapport à l'introduction de quelques espèces exotiques.**

## Introduction

Dans le cadre de cette étude, le gradient d'altitude entre les différentes unités géomorphologiques n'a pas été le seul facteur explicatif de la distribution de la végétation. En effet, la présence des éléments de contraintes salinité et acidité conditionne la diversité des faciès écologiques à l'intérieur d'une même unité géomorphologique ou entre deux unités géomorphologiques différentes se succédant. Au niveau de chaque point de collectes, des échantillons de sols ont été prélevés pour l'analyse des propriétés physiques et chimiques.

Les objectifs spécifiques de ce chapitre sont :

- déterminer la distribution de la végétation d'une part en fonction des paramètres physico-chimiques et d'autre part entre les parcelles aménagées et non aménagées ;
- distinguer les conditions de récupération des sols salés par effet arbre et par l'introduction du *Tamarix aphylla* var *erectus*.

Pour atteindre ces objectifs spécifiques, un ensemble d'activités ont été réalisées :

- Examiner la biodiversité végétale en fonction des unités géomorphologiques, des paramètres physico-chimiques du sol, des fréquences spécifiques, du nombre de genres, d'espèces et familles.
- Identifier l'effet arbre ainsi que le comportement du *Tamarix aphylla* var *erectus* (taux de survie, croissance) dans ces milieux salés.

Pour la mesure de la biodiversité, nous avons tenu compte de la composition floristique sur une liste des espèces recensées (familles, genres, espèces) (Ndiaye *et al.*, 2013), la fréquence spécifique (FS) et la contribution spécifique (CS) (Lamotte, 1962). Cette diversité biologique étant exprimée par des indices, l'indice de diversité de Shannon Weaver (<http://btsa.gpn.free.fr/ressources/ESV.php>) et celui de Sorensen ont été utilisés (Sorensen, 1948). La distribution de la végétation a été étudiée d'une part en fonction des paramètres physico-chimiques et d'autre part entre les parcelles aménagées et non aménagées.

Dans le cadre de la récupération des sols salés, le comportement de l'espèce exotique *Tamarix aphylla* var *erectus* par son taux de survie et sa croissance a été étudié en fonction de la densité. (Bartolli, M., Decourt, N., 1971). Dans ces milieux aménagés nous avons étudié l'évolution de la salinité et de l'acidité en fonction de la présence ou non des arbres.

### 4-1 Matériel et méthode.

Les relevés de végétation ont été effectués au nord et au sud du fleuve Saloum au niveau des parcelles aménagées ainsi qu'aux alentours. D'une part, sept points de collectes pour les relevés de végétation ont été mis en place de part et d'autre du fleuve Saloum et d'autre part sur 29 micro-dunes au total (15 relevés dans le secteur de Ndiaffate et 14 pour

Ngane.) des relevés de végétation ont été effectués. La méthode appliquée est celle des grappes de parcelles de superficies graduelles. Il s'agit de recenser les espèces sur une superficie de 1 mètre carré et cette superficie est doublée à chaque fois qu'on effectue un nouveau relevé. Le sens de déplacement est toujours fixé au début de la collecte et est parallèle au gradient de pente. Cependant les espèces déjà mentionnées ne seront plus prises en compte. L'arrêt de collecte est causé par la non apparition de nouvelles informations en termes d'espèces.

A chaque point de collecte, des échantillons de sols ont été prélevés pour déterminer les paramètres chimiques et physiques CE (dS/m), pH, teneur en eau, la texture du sol. Pour les profils dunaires, nous avons travaillé sur cinq dunes prises au hasard ; sur lesquelles des profils de sondage ont été effectués avec des profondeurs variables selon la hauteur des dunes et la base du socle sur lequel repose la dune, des échantillons ont été prélevés à chaque 15 cm de profondeur pour déterminer les différents paramètres (CE (dS/m), pH, teneur en eau.)

L'étude du comportement du *Tamarix aphylla* var *erctus* au niveau des parcelles expérimentales sur un dispositif en bloc randomisé (voir chapitre 4). Les densités 4x3, 4x4 et 4x5 ont été utilisés comme des traitements. Dans le cadre de l'étude de l'effet arbre sur l'évolution des paramètres de contraintes, un dispositif en blocs randomisés avec répétition a été mis en place avec les parcelles comme traitements et les blocs des répétitions. Dans la parcelle I on note trois blocs, la parcelle II deux blocs, la parcelle III trois blocs, la parcelle IV deux blocs et la parcelle 87 deux blocs. Dans le dispositif, deux types de blocs forme carrée ont été installés, 36 m<sup>2</sup> avec 9 arbres et 144 m<sup>2</sup> avec 25 arbres. Des prélèvements d'échantillons de sols pour des analyses de conductivité, pH et teneur en eau ont été effectués au niveau des blocs avec arbres de 1985 à 2000, des blocs témoins (aucun arbre n'a été planté en 1985), blocs sans arbres (bloc qui jadis avait été planté en 1985)

## **4-2 Résultats**

### **4-2-1 Etude de la végétation en fonction des unités géomorphologiques.**

#### **A) Au Sud du Fleuve Saloum**

##### **- Grappe 1**

Elle est située à 450 mètres de la parcelle aménagée et est orientée du Nord au Sud. Cette grappe de superficie est localisée au niveau de la terrasse moyenne sur une tanne herbue. Le relevé de végétation effectué sur l'ensemble des surfaces met en évidence 23 espèces réparties dans 15 familles. Les familles les plus représentées sont : la famille des Poacées avec 6 genres

et 7 espèces, la famille des Mimosacées avec 1 genre et 2 espèces et des Papilionacées avec 2 genres et 2 espèces.

- Grappe 2.

Cette grappe se trouve à la sortie de Kaolack (axe Ndiaffate Kaolack) avec une orientation SSW-NNE. La topographie du terrain est assez plate avec de petites dépressions contenant de l'eau pendant la saison des pluies. Les relevés de végétation ont été effectués au niveau de la terrasse basse sur une tanne localement arborée. Le *Blutaparon vermiculare* marque la transition entre la tanne localement arborée et la tanne nue. Nous constatons que la présence du *Parkinsonia aculeata* est occasionnée par la construction de la route.

Sur ce relevé 11 espèces ont été identifiées réparties sur 9 familles. Les familles des Poacées et des Cypéracées sont les plus représentées avec chacune 2 genres et 2 espèces.

Grappe 3.

Elle est située à 50 mètres du village de Touba Sanoko. On observe dans ce secteur sur une succession de tannes arborées à arbustives et tannes nues. Le cheminement est orienté du Sud au Nord. Les relevés de végétation ont été effectués sur la terrasse basse abritant une tanne arborée à arbustif. La topographie de cette terrasse est plate avec une présence de micro-dépressions. Sur ce relevé 27 espèces ont été recensées avec 16 familles. La famille des Poacées présente 7 genres pour 8 espèces, en revanche, les Césalpiniacées et les Rubiacées présentent chacune 2 genres pour 3 espèces.

Grappe 4

Elle est localisée à 500 mètres de Touba Sanoko en allant vers Ndiaffate. Sur ce secteur nous observons une succession de tannes herbues et tannes nues. Les relevés de végétation ont été effectués au niveau de la terrasse basse qui présente une topographie plane avec une présence de quelques dunettes donnant un aspect moutonné. Cette grappe de parcelles de superficies graduelles suit une orientation Sud Nord. Sur ce relevé 15 espèces ont été identifiées avec 7 familles. Les familles des Poacées et des Fabacées sont les plus importantes avec respectivement 7 genres et 8 espèces pour la première famille et la seconde 2 genres pour 2 espèces. Au niveau de cette grappe de succession de superficies, les espèces les plus proches de la tanne nue à efflorescence saline sont : *Blutaparon vermiculare*, *Chloris pilosa* et *Eragrostis tremula*. Ces dunettes sont colonisées par une végétation souvent composée par : *Eragrostis tremula*, *Chloris pilosa*, *Blutaparon vermiculare* et *Dactyloctenium aegyptium*.

Grappe 5

Cette grappe de superficies graduelles se trouve à côté du village de Keur Diarra Peulh. Elle couvre la terrasse moyenne et la terrasse basse avec une succession de tannes

arbustives et tannes nues. La tanne arbustive est composée par *Balanites aegyptiaca* et le *Combretum glutinosum*. Ce transect est orienté SSW-NNE avec une topographie plane. Le passage de la tanne arbustive à la tanne nue est caractérisé par la présence d'une pente douce de 0,26%. Cette pente douce crée une rupture de la topographie plane. Sur ce relevé, 26 espèces ont été répertoriées avec 15 familles. Les familles des Poacées, des Rubiacées, des Malvacées et des Asclépiadacées présentent les espèces les plus nombreuses avec 7 genres et 8 espèces pour les Poacées, 2 genres et 3 espèces pour les Rubiacées et 2 genres et 2 espèces pour les Malvacées et les Asclépiadacées.

#### Grappe 6

Cette grappe de parcelles de superficies graduelles est située à 900 mètres de Keur Diarra Peulh avec une succession de tannes localement arbustives et tannes herbues. Ce transect est installé au niveau de la terrasse basse avec une orientation Nord-Sud et est perpendiculaire au chenal. Cette zone de contact est caractérisée par la présence de l'eau salée et l'eau douce provenant des pluies. La concentration de cette eau douce au niveau du chenal est provoquée par les eaux de ruissellement provenant de la terrasse haute sur laquelle est bâti le village (Keur Diarra Peulh). La topographie est caractérisée par de nombreuses dépressions. Ce secteur est une zone de pâturage. Le relevé de cette végétation comprend 22 espèces avec 12 familles. Les familles des Poacées et des Malvacées sont les plus représentées avec respectivement 8 genres et 9 espèces pour la première et 2 genres et 3 espèces pour la seconde.

#### Grappe 7.

Cette grappe de parcelles de superficies graduelles est située sur l'axe Vélor Socé – Ndiaffate Wolof avec une orientation ESE – W-NW. Elle couvre à la fois la terrasse moyenne et la terrasse basse. Ce transect est installé sur une tanne localement arbustive. La topographie est plane avec une légère pente 0,02%. Au niveau de ce relevé, 22 espèces ont été identifiées avec 14 familles. La famille des Poacées est la plus importante avec 5 genres et 6 espèces vient ensuite la famille des Mimosacées avec 2 genres et 3 espèces et la famille des Rubiacées 2 genres et 2 espèces.

### **B) Au Nord du Fleuve Saloum.**

#### Grappe 8

Cette grappe se trouve à côté du village de Ngane Alassane sur l'axe Kaolack Fatick. Elle couvre la terrasse moyenne et la terrasse basse sur une succession de tannes herbues et tannes nues. Cette grappe de parcelles de superficies graduelles est orientée du SW-NE avec une topographie plane. Le relevé de cette grappe comporte 18 espèces réparties dans 11 familles.

Les familles les plus représentées sont : les Poacées, avec 6 espèces pour 5 genres, les Rubiacées avec 2 espèces pour 1 genre et les Tiliacées avec 2 genres pour 2 espèces.

#### Grappe n°9

Le relevé de végétation de cette grappe de parcelles de superficies graduelles est localisé sur une tanne herbue constituant une zone de pâturage. Ce relevé couvre à la fois la terrasse moyenne et la terrasse basse. Sur ce relevé 20 espèces ont été recensées. Ces espèces sont réparties dans 10 familles. Les familles les plus représentées sont la famille des Poacées avec 8 genres et 9 espèces ; la famille des Malvacées avec 2 genres et 2 espèces ; la famille des Rubiacées avec 1 genre pour 2 espèces.

#### Grappe 10

Ce relevé de végétation est localisé sur une succession de tannes herbues et tannes localement arborées. Ce relevé couvre à la fois les terrasses moyennes et basses. Cette grappe de parcelles de superficies graduelles est orientée d'Est en Ouest à 350 mètres du village de Sagne Bambara, on note de nombreuses petites dépressions contenant de l'eau pendant les périodes hivernales. Le nombre d'espèces est de 27 réparties dans 15 familles. Les familles les plus représentées sont la famille des Poacées avec 8 genres pour 9 espèces ; la famille des Rubiacées avec 2 genres pour 3 espèces, la famille des Fabacées avec 2 genres pour 2 espèces.

#### Grappe 11

Cette grappe de parcelles de superficies graduelles se trouve au niveau du village de Sibassor. Elle couvre la terrasse basse sur une tanne herbue. Cette grappe est orientée du SW-NE avec une présence de petites dépressions assez humides. Au niveau de ce relevé nous notons la présence de 17 espèces réparties dans 11 familles. La famille des Poacées est la plus représentée avec 5 genres pour 5 espèces, vient ensuite la famille des Rubiacées avec 2 genres pour 3 espèces.

#### Grappe 12.

Cette grappe de parcelles de superficies graduelles se trouve à côté du village de Keur Omar. Ce relevé de végétation est effectué à la fois sur la terrasse moyenne et la terrasse basse avec une succession de tannes localement arbustives à arborées et tannes herbues. Les tannes localement arbustives à arborées sont composées par *Wachellia nilotica*, *Wachellia seyal* et *Balanites aegyptica*. Cette grappe est orientée du Nord au Sud avec une topographie assez plane, présence de petites dépressions remplies d'eau en période hivernale. Sur ce relevé, nous notons la présence de 21 espèces distribuées dans 10 familles. Les familles les plus représentées sont : la famille des Poacées avec 8 genres pour 9 espèces, la famille des

Malvacées avec 2 genres pour 2 espèces et les familles des Mimosacées et des Rubiacées avec 1 genre pour 2 espèces.

#### Grappe 13.

Cette grappe de parcelles de superficies graduelles est située à environ 250 mètres du village de keur Alfa sur l'axe Ngane Gandiaye. Ce relevé est effectué sur la terrasse basse avec comme faciès une succession de tannes herbues et tannes nues. La topographie est plane avec présence de nombreuses micros dunes donnant un aspect moutonné du milieu.

Sur ce relevé 21 espèces ont été identifiées et réparties dans 9 familles. Les familles des Poacées et des Rubiacées prédominent avec respectivement 9 genres pour 11 espèces et 2 genres pour 3 espèces.

#### Grappe 14

Cette grappe de parcelles de superficies graduelles est située au niveau du village de Ngane Sagne sur l'axe Sibassor Gandiaye. Ce relevé a été effectué au niveau de la terrasse moyenne sur une succession de tannes localement arborés et tanne herbus et est orienté d'Est en Ouest. On note une légère pente de 0,02%. Ce secteur est une zone de pâturage. Au niveau de ce relevé de végétation, 23 espèces ont été recensées et réparties dans 15 familles. Les familles des Poacées et des Rubiacées sont les plus représentées avec respectivement 5 genres pour 7 espèces et 2 genres pour 2 espèces.

### **C) A travers les dunes au Sud et au Nord du Fleuve Saloum.**

Des relevés de végétations ont été effectués sur des dunettes de part et d'autre du Fleuve Saloum. Au total 29 dunes ont été l'objet de relevés de végétation. La méthode des grappes de superficielles n'a pas été appliquée vu la faible largeur de ces dunettes.

#### Au sud du fleuve Saloum

Dans ce secteur, 15 dunes ont été inventoriées et sur chaque dune, certains paramètres physico-chimiques ont été déterminés à savoir le pH, la teneur en eau, la conductivité électrique, la texture, la pente et la surface. Sur 5 dunes choisies au hasard (dune n°4, 7, 9, 11 et 15), un profil dunaire a été effectué avec les profondeurs suivantes : 0-6cm pour la caractérisation de l'état de surface, 0-15, 15-30, 30-45 pour les différentes profondeurs. Les paramètres physico-chimiques déjà cités ont été déterminés. Cependant un échantillon témoin a été prélevé. Le prélèvement de cet échantillon témoin est effectué à la base de la dune, zone de contact de la dune et le replat.

Sur l'ensemble des 15 dunes recensées 12 espèces ont été identifiées avec 7 familles. Les familles des Poacées, des Mimosacées et des Rubiacées sont les plus représentées avec respectivement 4, 2 et 2 genres. Sur l'ensemble des dunes recensées les espèces les plus

fréquentes sont : *Cyperus rotundus*, *Dactyloctenium aegyptium*, *Enteropogon prierii* et *Blutaparon vermiculare*.

Tableau 46 : Répartition par famille des espèces rencontrées sur des dunes localisées au Sud du Fleuve Saloum.

| Familles       | Nombres | Genres | Espèces | Pourcentage/espèces |
|----------------|---------|--------|---------|---------------------|
| Amarantacées   |         | 1      | 1       | 8,3                 |
| Asclépiadacées |         | 1      | 1       | 8,3                 |
| Convolvulacées |         | 1      | 1       | 8,3                 |
| Cypéracées     |         | 1      | 1       | 8,3                 |
| Mimosacées     |         | 2      | 2       | 16,7                |
| Poacées        |         | 4      | 4       | 33,3                |
| Rubiacees      |         | 2      | 2       | 16,7                |
| Total          |         | 12     | 12      |                     |

Au Nord du Fleuve Saloum.

Au Nord du Fleuve Saloum des relevés de végétations ont été effectués sur 14 dunes. Au niveau de chaque dune des paramètres physico-chimiques ont été déterminés à partir d'échantillons de sol de profondeur de 6 cm pour une caractérisation des états de surface. Cependant des profils dunaires ont été effectués sur 5 dunes prises au hasard, il s'agit des dunes n°14, 13, 3, 12 et 5. Des échantillons de sols ont été prélevés au niveau des profondeurs suivantes 0-15 cm, 15-30 cm, 30-45 cm. Au niveau de tranche de profondeurs les paramètres physico-chimiques à savoir la conductivité électrique, le pH, la teneur en eau ont été déterminés. Cependant, un échantillon témoin a été prélevé à base de la dune considérée comme zone de contact de la dune et du replat.

Au niveau des 14 relevés de végétation effectués, 22 espèces ont été recensées. Ces espèces sont réparties dans 11 familles. La famille des Poacées est la plus représentée avec 9 espèces pour 7 genres, viennent ensuite les familles les Familles des Rubiacées et des Mimosacées avec respectivement 3 espèces pour 2 genres et 2 espèces pour 1 genre.

Tableau 47 : Répartition par famille des espèces rencontrées sur des dunes localisées au Nord du Fleuve Saloum.

|                | Nombres | Genres | Espèces | Pourcentage/espèces |
|----------------|---------|--------|---------|---------------------|
| Familles       |         |        |         |                     |
| Amarantacées   |         | 1      | 1       | 4,5                 |
| Asclépiadacées |         | 1      | 1       | 4,5                 |
| Astéracées     |         | 1      | 1       | 4,5                 |
| Césalpiniacées |         | 1      | 1       | 4,5                 |
| Commélinacées  |         | 1      | 1       | 4,5                 |
| Cypéracées     |         | 1      | 1       | 4,5                 |
| Mimosacées     |         | 1      | 2       | 9,1                 |
| Poacées        |         | 7      | 9       | 40,9                |
| Rubiacées      |         | 2      | 3       | 13,6                |
| Simarubacées   |         | 1      | 1       | 4,5                 |
| Tiliacées      |         | 1      | 1       | 4,5                 |
| Total          |         | 18     | 22      |                     |

#### 4-2-2 Distribution aires espèces à travers les différentes grappes au Sud et au Nord du Fleuve Saloum.

##### Au Sud du Fleuve Saloum

La distribution du type de tannes a varié en fonction du type de terrasse à Ndiaffate (Figure 66). La terrasse moyenne a présenté un faciès de tanne herbacée (Figure 66B) alors que la terrasse basse a présenté un type de tanne localement arborée (Figure 66C).

Les changements de profils écologiques ont été observés à l'intérieur d'une même unité géomorphologique (terrasse basse) avec une succession de types de tannes (Figures 66C, 66D et 66F). Ce changement de profil écologique a aussi été observé lorsque le relevé prenait en compte deux unités géomorphologiques (terrasses moyennes et terrasses basses) contigües (Figures 66E et 66G) avec respectivement la séquence: tannes arbustives > tannes nues > tannes localement arbustives.

##### Au Nord du fleuve Saloum

Le faciès tanne nue a été enregistré au niveau de la terrasse moyenne (Figure 67A) et les tannes herbacées au niveau des terrasses basses (Figures 67D et 67F); cependant, le gradient d'altitude entre les différentes unités géomorphologiques n'a pas été le seul facteur caractérisant la distribution des types de tannes (Figure 67B). En effet, la distribution spatio-temporelle très hétérogène des éléments de contraintes (salinité et acidité) a permis de mettre en évidence la diversité des faciès écologiques à l'intérieur d'une même unité géomorphologique ou entre deux unités géomorphologiques différentes se succédant. Le passage d'une unité à une autre a pu être mis en évidence par un changement du profil

écologique (Figures 67C, 67E et 67G). Ce changement du profil a été observé lors du passage d'une terrasse moyenne vers une terrasse basse.

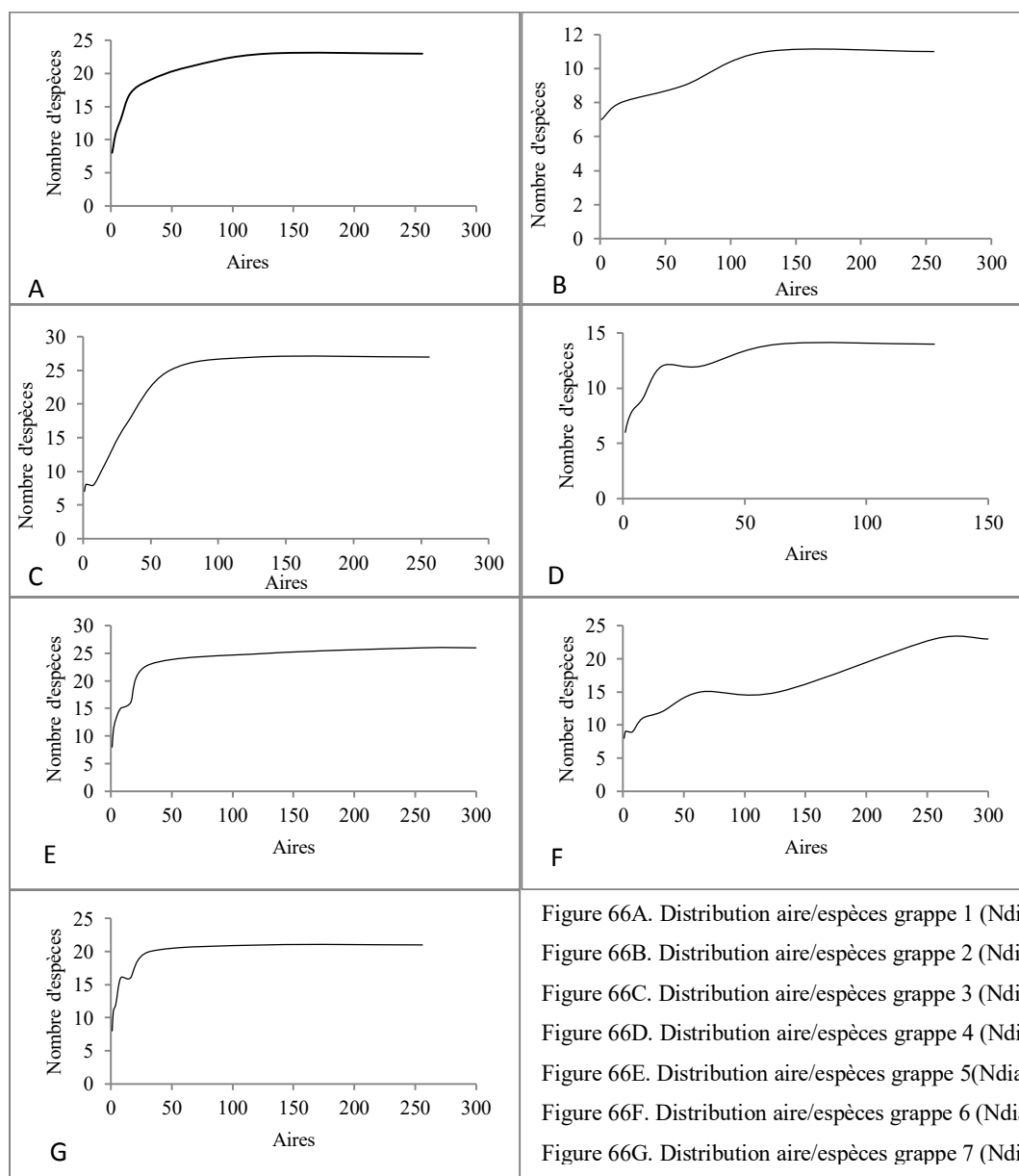


Figure 66 : Distribution aire /espèces dans les différentes grappes (Ndiaffate)

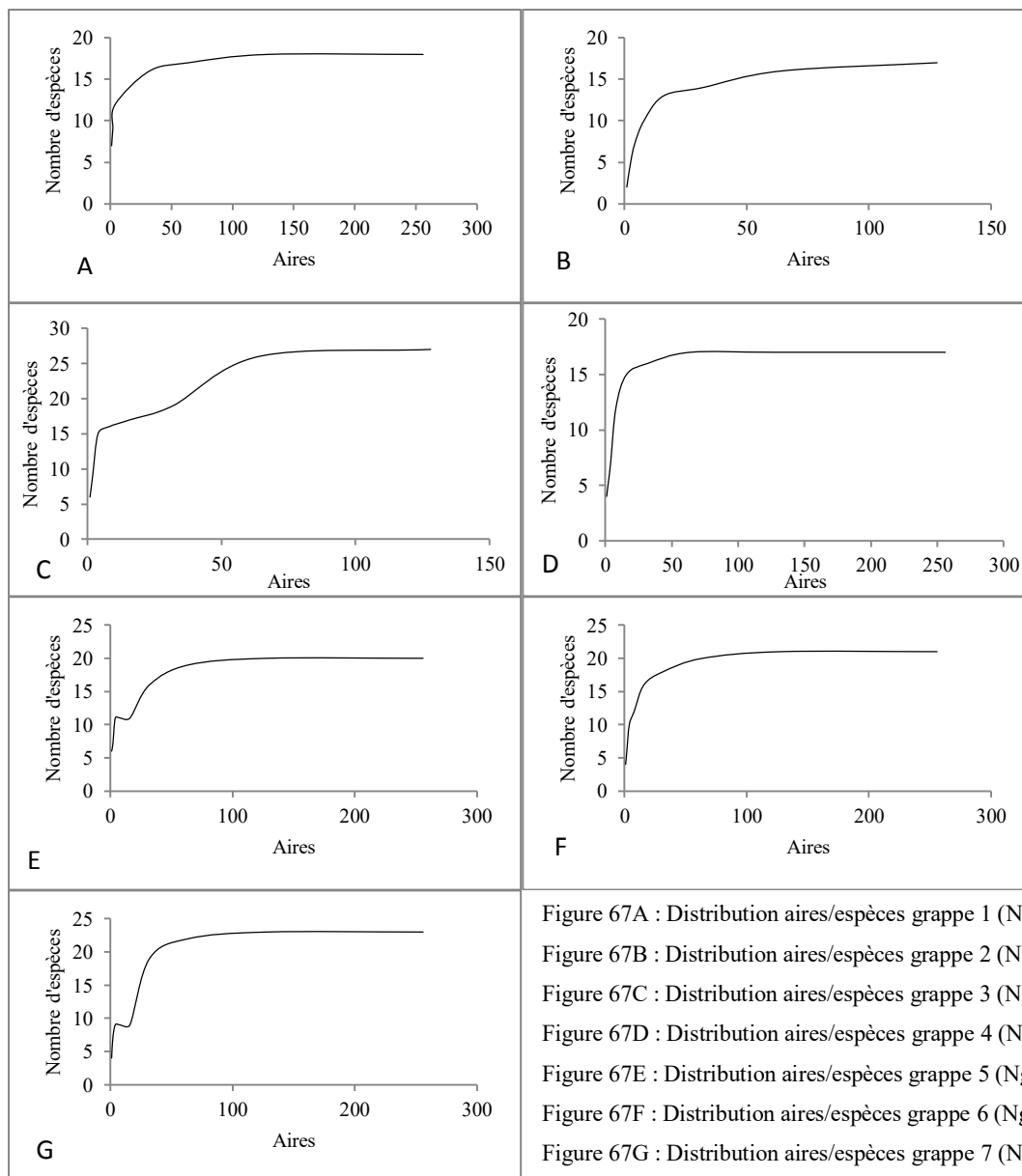


Figure 67A : Distribution aires/espèces grappe 1 (Ngane)  
 Figure 67B : Distribution aires/espèces grappe 2 (Ngane)  
 Figure 67C : Distribution aires/espèces grappe 3 (Ngane)  
 Figure 67D : Distribution aires/espèces grappe 4 (Ngane)  
 Figure 67E : Distribution aires/espèces grappe 5 (Ngane)  
 Figure 67F : Distribution aires/espèces grappe 6 (Ngane)  
 Figure 67G : Distribution aires/espèces grappe 7 (Ngane)

Figure 67 : Distribution aire /espèces dans les différentes grappes (Ngane)

### 4-2-3 Etude comparative des différentes grappes en fonction des différentes unités géomorphologiques au Sud et au Nord du fleuve Saloum.

#### Au sud du fleuve Saloum dans le secteur de Ndiaffate.

Tableau 48 : Comparaison des différents types de relevés de végétation dans le Sud du Fleuve Saloum.

| N° des grappes | Unité géomorphologique             | Types de tannes                        | Nombre d'espèces par grappes | Nombre de familles par grappes | Les familles les plus représentatives | Nombre de genres par familles les plus représentés de la grappe | Nombre d'espèces par genres les plus représentés de la grappe |
|----------------|------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| 1              | Terrasse moyenne                   | Tanne herbue                           | 23                           | 15                             | Poacées                               | 6                                                               | 7                                                             |
|                |                                    |                                        |                              |                                | Mimosacées                            | 1                                                               | 2                                                             |
|                |                                    |                                        |                              |                                | Papilionacées                         | 2                                                               | 2                                                             |
| 2              | Terrasse basse                     | Tanne localement arborée               | 11                           | 9                              | Poacées                               | 2                                                               | 2                                                             |
|                |                                    |                                        |                              |                                | Cypéracées                            | 2                                                               | 2                                                             |
| 3              | Terrasse basse                     | Tanne arbustive                        | 27                           | 16                             | Poacées                               | 7                                                               | 8                                                             |
|                |                                    |                                        |                              |                                | Césalpiniacées                        | 2                                                               | 3                                                             |
|                |                                    |                                        |                              |                                | Rubiacees                             | 2                                                               | 3                                                             |
| 4              | Terrasse basse                     | Tanne herbue                           | 15                           | 7                              | Poacées                               | 7                                                               | 8                                                             |
|                |                                    |                                        |                              |                                | Fabacées                              | 2                                                               | 2                                                             |
| 5              | Terrasse moyenne et terrasse basse | Tanne arbustive et tanne nue           | 26                           | 15                             | Poacées                               | 7                                                               | 8                                                             |
|                |                                    |                                        |                              |                                | Rubiacees                             | 2                                                               | 3                                                             |
|                |                                    |                                        |                              |                                | Malvacées                             | 2                                                               | 2                                                             |
|                |                                    |                                        |                              |                                | Asclépiadacées                        | 2                                                               | 2                                                             |
| 6              | Terrasse basse                     | Tanne localement arbustive à tanne nue | 22                           | 12                             | Poacées                               | 8                                                               | 9                                                             |
|                |                                    |                                        |                              |                                | Malvacées                             | 2                                                               | 3                                                             |
| 7              | Terrasse moyenne et terrasse basse | Tanne localement arbustive             | 22                           | 14                             | Poacées                               | 5                                                               | 6                                                             |
|                |                                    |                                        |                              |                                | Mimosacées                            | 2                                                               | 3                                                             |
| Dunes          | Dunes                              | Tanne herbue                           | 12                           | 7                              | Rubiacees                             | 2                                                               | 2                                                             |
|                |                                    |                                        |                              |                                | Poacées                               | 4                                                               | 4                                                             |
|                |                                    |                                        |                              |                                | Mimosacées                            | 2                                                               | 2                                                             |
|                |                                    |                                        |                              |                                | Rubiacees                             | 2                                                               | 2                                                             |

Dans le secteur de Ndiaffate les familles les plus représentées au niveau des différentes grappes de parcelles de superficie graduelles et des dunes sont au nombre de 9, il s'agit des familles suivantes : les Poacées, les rubiacées, les Mimosacées, les malvacées, les Papilionacées, les Cypéracées, les Césalpiniacées, les Fabacées, les Asclépiadacées. Les Poacées sont présentes sur l'ensemble des grappes et des dunes d'où un pourcentage de 100%. Les Rubiacées sont présentes sur 3 grappes parmi les 7 et aussi au niveau de la dune d'où un pourcentage de 50%. Les Mimosacées, sont présentes sur 2 grappes parmi les 7 et aussi une fois au niveau de la dune d'où un pourcentage de 37,5%. Les Malvacées, elles sont présentes sur 2 grappes parmi les 7, absentes au niveau des dunes d'où un pourcentage de 25%. Les Papilionacées, Cypéracées, Fabacées, Asclépiadacées et les Césalpiniacées ne sont présentes qu'une fois par les 7 grappes, d'où un pourcentage de 12,5%

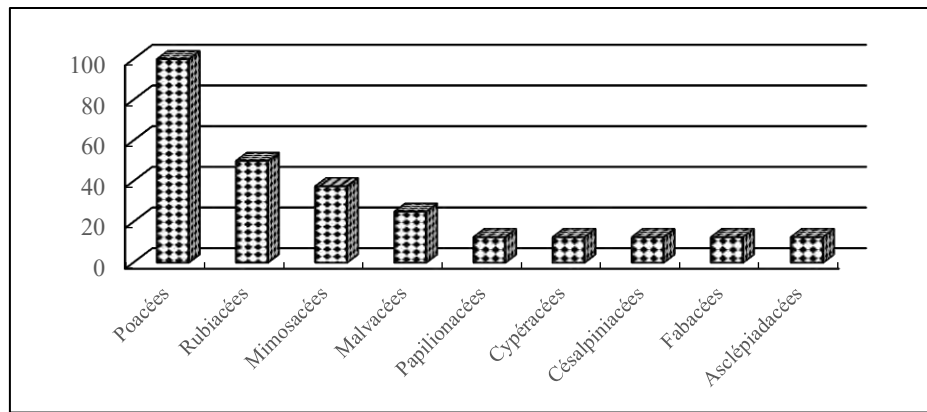


Figure 68 : Distribution du pourcentage du nombre de familles par rapport au nombre de grappes (Sud du Fleuve Saloum)

Au niveau des grappes et des dunes, la famille des Poacées est présente sur l'intégralité des relevés effectués tant sur les grappes de parcelles de superficies graduelles que sur les dunes d'où un pourcentage de 100%. En revanche la famille des rubiacées n'est présente que sur les 50% des relevés de végétation effectués, la famille des Mimosacées sur les 35%, les malvacées sur les 22% et 10% les familles Asclépiadacées; des Césalpiniacées, des Cypéracées, des Fabacées et des Papilionacées,

#### Au Nord du fleuve Saloum dans le secteur de Ngane.

Tableau 49 : Comparaison des différents types de relevés de végétation dans le Sud du Fleuve Saloum.

| N° des grappes | Unité géomorphologique             | Types de tannes                                | Nombre d'espèces par grappes | Nombre de familles par grappes | Les familles les plus représentatives | Nombre de genres par familles les plus représentés de la grappe | Nombre d'espèces par genres les plus représentés de la grappe |
|----------------|------------------------------------|------------------------------------------------|------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| 1              | Terrasse moyenne                   | Tanne herbu et tanne nu                        | 18                           | 11                             | Poacées                               | 5                                                               | 6                                                             |
|                |                                    |                                                |                              |                                | Rubiacees                             | 1                                                               | 2                                                             |
|                |                                    |                                                |                              |                                | Tiliacées                             | 2                                                               | 2                                                             |
| 2              | Terrasse moyenne et terrasse basse | Tanne herbu                                    | 20                           | 10                             | Poacées                               | 8                                                               | 9                                                             |
|                |                                    |                                                |                              |                                | Malvacées                             | 2                                                               | 2                                                             |
|                |                                    |                                                |                              |                                | Rubiacees                             | 1                                                               | 2                                                             |
| 3              | Terrasse moyenne et terrasse basse | Tanne herbu et tannes localement arboré        | 27                           | 15                             | Poacées                               | 8                                                               | 9                                                             |
|                |                                    |                                                |                              |                                | Rubiacees                             | 2                                                               | 3                                                             |
|                |                                    |                                                |                              |                                | Fabacées                              | 2                                                               | 2                                                             |
| 4              | Terrasse basse                     | Tanne herbu                                    | 17                           | 11                             | Poacées                               | 5                                                               | 5                                                             |
|                |                                    |                                                |                              |                                | Rubiacees                             | 2                                                               | 3                                                             |
| 5              | Terrasse moyenne et terrasse basse | Tanne localement arbustif à arboré et tanne nu | 21                           | 10                             | Poacées                               | 8                                                               | 9                                                             |
|                |                                    |                                                |                              |                                | Malvacées                             | 2                                                               | 2                                                             |
|                |                                    |                                                |                              |                                | Mimosacées                            | 1                                                               | 2                                                             |
|                |                                    |                                                |                              |                                | Rubiacees                             | 1                                                               | 2                                                             |
| 6              | Terrasse basse                     | Tanne herbu et tanne nu                        | 21                           | 9                              | Poacées                               | 9                                                               | 11                                                            |
|                |                                    |                                                |                              |                                | Rubiacees                             | 2                                                               | 3                                                             |
| 7              | Terrasse moyenne                   | Tanne localement arboré et tanne nu            | 23                           | 15                             | Poacées                               | 5                                                               | 7                                                             |
|                |                                    |                                                |                              |                                | Rubiacees                             | 2                                                               | 2                                                             |
| Dunes          | Dunes                              | Tanne herbu                                    | 22                           | 11                             | Poacées                               | 7                                                               | 9                                                             |
|                |                                    |                                                |                              |                                | Rubiacees                             | 2                                                               | 3                                                             |
|                |                                    |                                                |                              |                                | Mimosacées                            | 1                                                               | 2                                                             |

Dans le secteur de Ngane, les familles les plus représentées au niveau des grappes de parcelles de superficies graduelles et des dunes sont au nombre de 6. il s'agit des familles des Fabacées,

des Malvacées, des Mimosacées des Tiliacées, Poacées et des Rubiacées. Les familles des Poacées et des Rubiacées sont présentes sur toutes les grappes et les dunes d'où un pourcentage de 100%. La famille des Malvacées est présente sur 2 grappes parmi les 7 et absente au niveau des dunes d'où un pourcentage de 25%. La famille des Mimosacées est présente sur 1 grappe parmi les 7 et 1 fois sur les dunes d'où un pourcentage de 25%. Les familles des Fabacées et des Tiliacées sont présentes chacune sur 1 grappe parmi les 7 et absente au niveau des dunes ; d'où un pourcentage de 12,5% pour chaque famille.

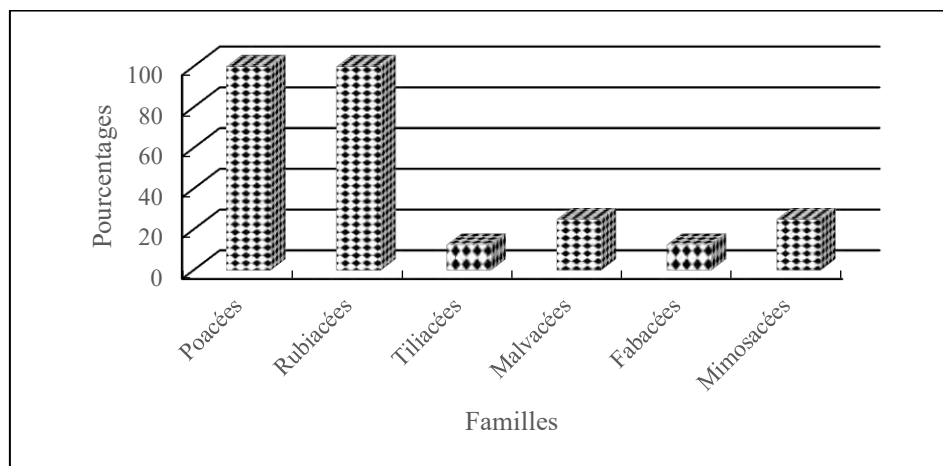


Figure 69 : Distribution du pourcentage du nombre de familles par rapport au nombre de grappes (Nord du Fleuve Saloum)

Les familles des Poacées et de Rubiacées sont présentes sur les totalités des relevés effectués au niveau des grappes et des dunes avec un pourcentage de 100%. En revanche les familles des Mimosacées et des Malvacées sont présentes sur 25% des relevés de végétation et les familles des Tiliacées et des fabacées 12,5%

#### 4-2-4 Etude de la distribution des espèces en fonction de la texture du sol, du pH, de la conductivité électrique et de l'humidité du sol.

##### A) Au Sud du fleuve Saloum

Les espèces recensées sont présentes sur trois types de texture : une texture sablo limoneuse, une texture limono sableuse et une texture sableuse. L'analyse en composante principale nous a permis de mettre en évidence les différents groupes en fonction des différentes textures du sol.

Pour la texture limono-sableuse (Figure 70A), les axes F1 et F2 ont expliqué 83% de la variabilité entre individus et variables (F1: 49%; F2: 34%). Pour les variables, le pH a contribué pour 50% par rapport à F1 et la conductivité électrique 95% pour F2.

*Andropogon gayanus*, *Nymphaea lotus* et *Parkinsonia aculeata* contribuaient respectivement pour 40, 17 et 15%, soit un cumul de 72%, par rapport à l'axe 1. Pour l'axe 2, *Wachellia nilotica* a contribué pour 10%.

L'utilisation des deux axes F1 et F2 a fait ressortir quatre groupes distincts :

- Le premier groupe était constitué par : *Parkinsonia aculeata* et *Tamarix senegalensis*.
- Etaient associées au second groupe : *Wachellia nilotica*, *Wachellia seyal*, *Acanthospermum hispidum*, *Cassia obtusifolia*, *Combretum glutinosum*, *Commiphora africana*, *Ctenium elegans*, *Cyperus rotundus*, *Dactyloctenium aegyptium*, *Enteropogon prierii*, *Hibiscus asper*, *Brachiariaramosa*, *Myragyna inermis*, *Sida alba*, *Sida rhombifolia*, *Spermacoce stachydea*, *Sphaeranthus senegalensis* et *Zornia glochidiata*.
- Le troisième groupe était composé par : *Alysicarpus ovalifolius*, *Andropogon gayanus*, *Azadiracta indica*, *Corchorus olitorius* var *olitorius*, *Eragrostis squamata*, *Haemanthus pentaphylla*, *Ipomaea aquatica*, *Pennisetum pedicellatum*, *Piliostigma reticulatum*, *Pycneus albomarginatus*, *Spermacoce verticillata*, *Ziziphus mauritiana*.
- Le quatrième groupe regroupait : *Crotolaria arenaria*, *Calotropis procera* et *Nymphaea lotus*.

Les valeurs des pourcentages des contributions par rapport aux axes mettaient en évidence que dans ces sols sulfatés acides salés à texture limono-sableuse pour des gammes de salinités et d'acidités variables, *Andropogon gayanus*, *Wachellia nilotica* *Nymphaea lotus* et *Parkinsonia aculeata* caractérisaient mieux ces sols. *Parkinsonia aculeata* caractérisait les sols moyennement salins à salins] 1,43 - 2,96 dS/m] avec des gammes d'acidités de très acide à acide] 4,35 - 5,05]. Pour cette même texture, *Wachellia nilotica* caractérisait les sols salins] 2,38 - 4,27 dS/m] avec des caractères d'acidité variant d'acide à faiblement acide] 5,18 - 6,19]. *Andropogon gayanus* et *Nymphaea lotus* caractérisaient les sols non salins à moyennement salins] 0,06 - 2,04dS/m].

Pour la texture sablo-limoneuse (Figure 70B), les axes F1 et F2 ont expliqué 84% de la variabilité entre variables et individus (F1 : 46% ; F2 : 38%). Pour la contribution des variables, le pH a contribué pour 54% par rapport à F1 et la conductivité électrique pour 75% par rapport à F2. Avec les pourcentages de contribution des individus, *Oryza longistaminata* a contribué pour 24% pour l'axe F1 et *Dichrostachys glomerata* pour 36% pour l'axe F2. Avec ces deux axes, quatre groupes se sont distingués.

Le groupe 1 était constitué par : *Chloris gayana*, *Conocarpus erectus*, *Cyperus rotundus*, *Oryza longistaminata* et *Sphaeranthus senegalensis*,

Le second était constitué de : *Wachellia nilotica*, *Commiphora africana*, *Dichrostachys glomerata*, *Indigofera tintoria* et *Leptadenia hastata*.

Le troisième groupe contenait : *Acanthospermum hispidum*, *Balanites aegyptiaca*, *Cassia obtusifolia*, *Corchorus olitorius* var *olitorius*, *Ctenium elegans*, *Eragrostis squamata*, *Sida alba* et *Spermacoce verticillata*.

- Le groupe quatre comprenait : *Dactyloctenium aegyptium*, *Eragrostis tremula*, *Kohautia grandiflora* et *Spermacoce verticillata*.

Ces groupes étaient opposés deux à deux, le groupe 1 au groupe 3 et le groupe 2 au groupe 4. Les informations obtenues des pourcentages des contributions des espèces par rapport aux deux axes lors de l'ACP ont mis en évidence les quatre espèces les mieux appropriées pour la caractérisation de ces sols à texture sablo-limoneuse : *Balanites aegyptiaca*, *Conocarpus erectus*, *Dichrostachys glomerata*, et *Kohautia grandifolia*. *Conocarpus erectus* caractérisait les sols salins] 2,86 - 4,33 dS/m] avec des acidités variant de très acide à acide] 4,2 - 5,5]. *D. glomerata* se retrouvait au niveau des sols salins à très salins] 3,27 à 8,22 dS/m] pour une faible acidité] 5,28 - 6,03]. *Balanites aegyptiaca* caractérisait les sols moyennement salins à salins] 1,28 - 3,08 dS/] pour des acidités variant d'acide à faiblement acide] 5,28 - 6,03]. *Kohautia. grandifolia* indiquait les sols moyennement salins à salins] 1,29 - 2,99 dS/m] pour des acidités variant de très acide à faiblement acide] 4,34 - 5,56].

Pour la texture sableuse (Figure 70C), les axes F1 et F2 ont expliqué 93% de la variabilité totale entre variables et individus. L'axe F1 a expliqué à lui seul 63% et l'axe F2 30%. Pour le pourcentage des contributions des variables par rapport aux axes, l'humidité a contribué pour 47% pour l'axe F1 et la conductivité électrique pour 81% pour l'axe F2.

Avec les individus, *Chloris pilosa* a contribué pour 35% pour l'axe F1 et *Dichrostachys glomerata* pour 83% pour l'axe F2. Avec l'utilisation des deux axes F1 x F2, trois groupes se sont distingués,

- le groupe 1 constitué par *Dichrostachys glomerata*,
- le second groupe composé par : *Chloris. pilosa*, *Leptadenia hastata* et *Blutaparon vermiculare*.
- le troisième groupe regroupe *Digitaria ciliaris* et *Merremia tridentata*.

L'utilisation du pourcentage des contributions des individus a permis de noter à Ndiassate, pour les textures sableuses, que *Dichrostachys glomerata* caractérisait les sols très salins (8 dS/m) avec un taux d'humidité de 2%. Les sols légèrement et moyennement salins] 0,41 - 1,07 dS/m] dont le taux d'humidité variait de 0,23% à 1,39% étaient caractérisés par : *Chloris pilosa* et *Merremia tridentata*. caractérisaient les sols légèrement salins à salins] 2,5 - 4,05 dS/m] avec des teneurs d'humidité de 2 à 5%.

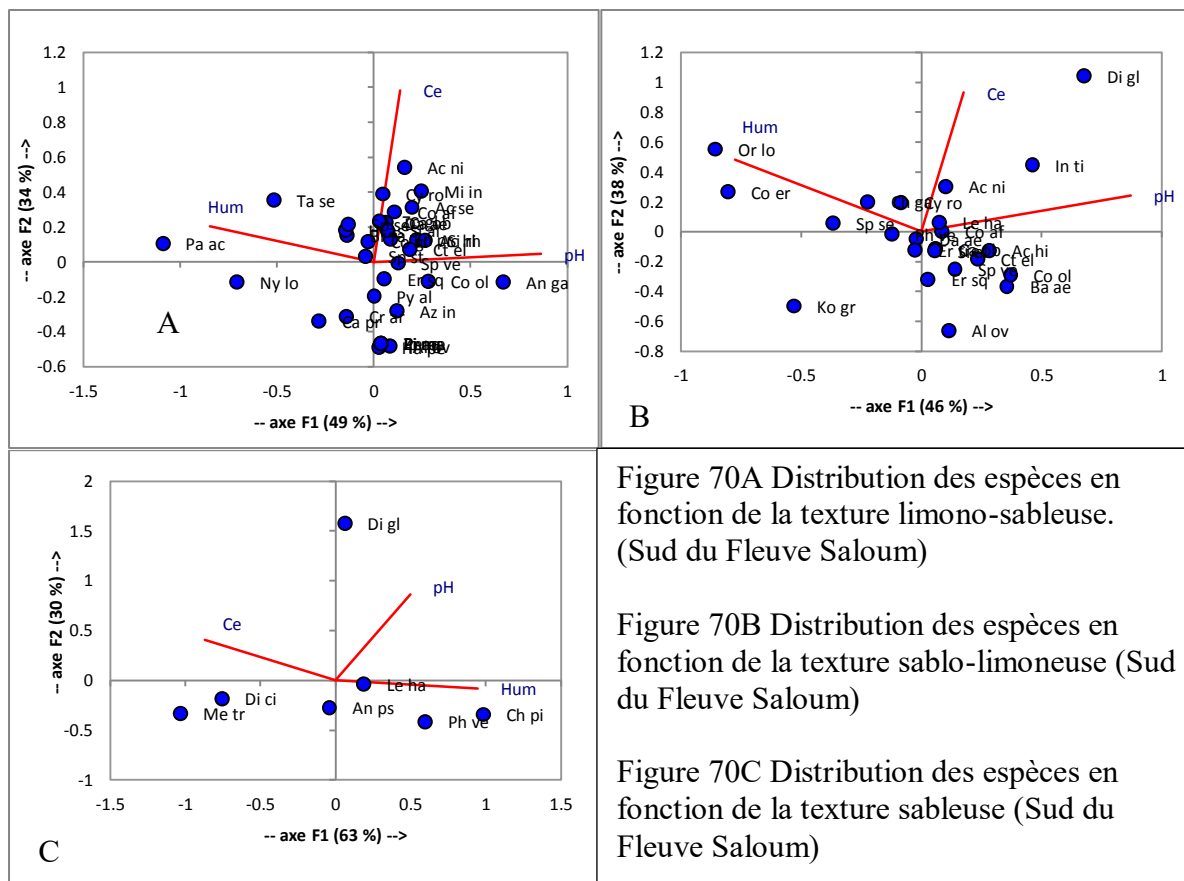


Figure 70 : Distribution des espèces en fonction des textures des sols, des pH, des Ce (dS/m) et des humidités des sols (Sud du Fleuve Saloum)

Liste des abréviations : Tableau 50. Annexes XIII

### B) Au Nord du fleuve Saloum

Dans le Nord du fleuve Saloum les relevés de végétation ont été effectués à la fois au niveau des trois types de textures : sableuse, sablo limoneuse et limono sableuse.

Pour la texture sableuse (Figure 71D), les axes F1 et F2 expliquaient 93% de la variabilité (F1: 68%; F2: 25%). Avec le pourcentage de contribution des variables, l'humidité a participé à hauteur de 40% pour l'axe F1 et le pH à 80% pour l'axe F2. Avec les individus, *B. aegyptiaca* a contribué pour 19% pour l'axe F1 et *H. asper* 45% pour l'axe F2.

L'utilisation à la fois des deux axes fait ressortir quatre groupes distincts.

- Le premier renfermait *Fedherbia albida*, *Cenchrus biflorus*, *Chloris pilosa*, *Cynodon dactylon*, et *Schoenefeldia gracilis*.
- Le second regroupait *Balanites aegyptiaca*, *Cassia obtusifolia*, *Ctenium elegans*, *Cyperus rotundus*, *Enteropogon prieurii* et *Spermacoce. Verticillata*.
- Le troisième était constitué par *Ampelocisus pentaphylla*, *Corchorus olitorius var olitorius*, *Dactyloctenium aegyptium*, *Sida rhombifolia* et *Zornia glochidiata*

- *Calotropis procera*, *Eragrostis tenella*, *Hibiscus asper*, *Ocimum basilicum*, *Blutaparon vermiculare* et *Waltheria indica*, étaient associés au groupe 4.

L'utilisation des pourcentages des contributions des individus a mis en évidence que *Cassia obtusifolia*, *Cenchrus biflorus*, *Corchorus olitorius* var *olitorius* et *Hibiscus asper* caractérisaient les sols sulfatés acides salés situés à Ngane et présentant une texture sableuse pour des gammes d'acidité et de salinité variables. *Cenchrus biflorus* et *Hibiscus asper* caractérisaient ces sols variant de non salin à moyennement salin] 0,03 - 1,69 dS/m] pour des gammes d'acidité variant d'acide à neutre] 4,48 - 6,8]. *Cassia obtusifolia* a caractérisé les sols moyennement salins à salins] 1,7 - 3,37 dS/m], acides à faiblement acides [5,22 - 5,75]. *Cassia obtusifolia* caractérisait les sols moyennement salins] 1,44 - 2,26 dS/m] et acides] 5,14 - 5,6]

Avec la texture sablo-limoneuse (Figure 71E), les résultats de l'ACP ont montré que les axes F1 et F2 expliquaient la quasi-totalité de la variabilité (98%) avec respectivement 84% pour F1 et 14% pour F2. Pour l'utilisation des pourcentages des contributions, l'humidité du sol a participé à hauteur de 37% par rapport à l'axe F1 et le pH pour 69% pour l'axe F2. Avec les individus, *Sesuvium portulacastrum* a eu la plus importante contribution (47%) pour l'axe F1 et *Cenchrus biflorus* la plus importante (25%) pour l'axe F2.

Quatre groupes ont été répertoriés avec l'utilisation des deux axes: le groupe 1 opposé au groupe 3 et le groupe 2 opposé au groupe 4.

- Les espèces du groupe 1 étaient *Accacia nilotica*, *Cenchrus biflorus*, *Chloris pilosa*, *Ctenium elegans* et *Schoenefeldia gracilis*.

Le second regroupait *Acacia*. *Seyal*, *Balanites aegyptiaca*, *Sesuvium portulacastrum* et *Spermacoce verticillata*.

- Le groupe 3 renfermait *Ampelocisus pentaphylla*, *Andropogon pseudapricus*, *Cyperus rotundus*, *Eragrostis prieurii*, *Sida. rhombifolia*, *Spermacoce stachydea* et *Zornia glochidiata*

- Le groupe 4: *Dactyloctenium. aegyptium*, *Eragrostis squamata*, *Eragrostis tenella*, *Eragrostis tremula*. *Peristrophe bicalyculata*, *Philoxerus vermicularis* et *Thypha australis*.

Avec les pourcentages des contributions des individus, *Cenchrus biflorus*, *Eragrostis tremula* *Sesuvium portulacastrum* et *Zornia glochidiata*, étaient les plus appropriées pour caractériser ces sols à texture sablo-limoneuse. *Cenchrus biflorus* caractérisait les sols faiblement acides] 5,71 - 6,89] dont la teneur d'humidité variait de 0,2 à 2,86%. Pour une gamme d'acidités variant de très acide à faiblement acide] 4,48 - 5,75], *Sesuvium portulacastrum* constituait un bon indicateur lorsque la teneur en eau variait entre 2,73 et 8,98%. *Zornia glochidiata* caractérisait ces sols lorsque leur pH variait entre 5,14 et 5,52 et

leur humidité entre 1,45 à 3,49%. Pour les sols acides à faiblement acides] 5,15 - 5,86] à humidité variant de 0,99 à 2,44%, *Eragrostis tremula* était la mieux appropriée pour caractériser ces sols.

Avec la texture limono-sableuse (Figure 71F), les relations entre individus et variables ont été expliquées à 95% par les axes F1 (59%) et F2 (36%). Dans l'ACP, l'axe F1 a été expliqué par la conductivité électrique (51%) et l'humidité (49%). Pour l'axe F2, le pH a contribué pour 91%. L'utilisation des pourcentages des contributions des individus a montré que, *Andropogon pseudapricus* a contribué à hauteur de 48% pour l'axe F1 et *Commelina forskalaei* à hauteur de 22% pour l'axe F2. La combinaison des deux axes a fait ressortir quatre groupes distincts qui s'opposent deux à deux.

- Le groupe 1 était constitué par *Commelina forskalaei*, *Eragrostis Squamata* et *Scoparia dulcis*.
- Le groupe 2 regroupait *Ipomaea*, *Asarifolia*, *Kohautia grandiflora* et *Sphaeranhtus senegalensis*.
- Le groupe 3 était composé par *Andropogon*, *pseudapricus*, *Brachiaria ramosa* et *Peristrophe bicalyculata*.
- Les individus associés au groupe 4 étaient *Anarcadium occidentalis*, *Crotalaria glaucoïdes*, *Cassia nigricans* et *Pennisetum pedicellatum*.

L'utilisation des pourcentages des contributions des individus par rapport aux axes a permis de mettre en évidence que les espèces *Andropogon pseudapricus* *Commelina forskalaei* et *Kohautia grandiflora*, ainsi que le groupe d'espèces *Anarcadium occidentalis* *Crotalaria glaucoïdes* et *Pennisetum pedicellatum* caractérisaient mieux les sols sulfatés acides salés situés au nord du fleuve Saloum (Ngane) et dont la texture est limono-sableuse. *Commelina forskalaei*, *Kohautia grandiflora* et le groupe constitué par *Anarcadium occidentalis*, *Crotalaria glaucoïdes* et *Pennisetum pedicellatum* caractérisaient ces sols non salins à moyennement salins] 0,01-0,76 dS/m] acide à faiblement acide] 5,41 - 6,22]. *Andropogon pseudapricus* indiquait les sols légèrement salins à salins] 0,67 - 2,3 dS/m], acide à faiblement acide] 5,35 - 5,68].

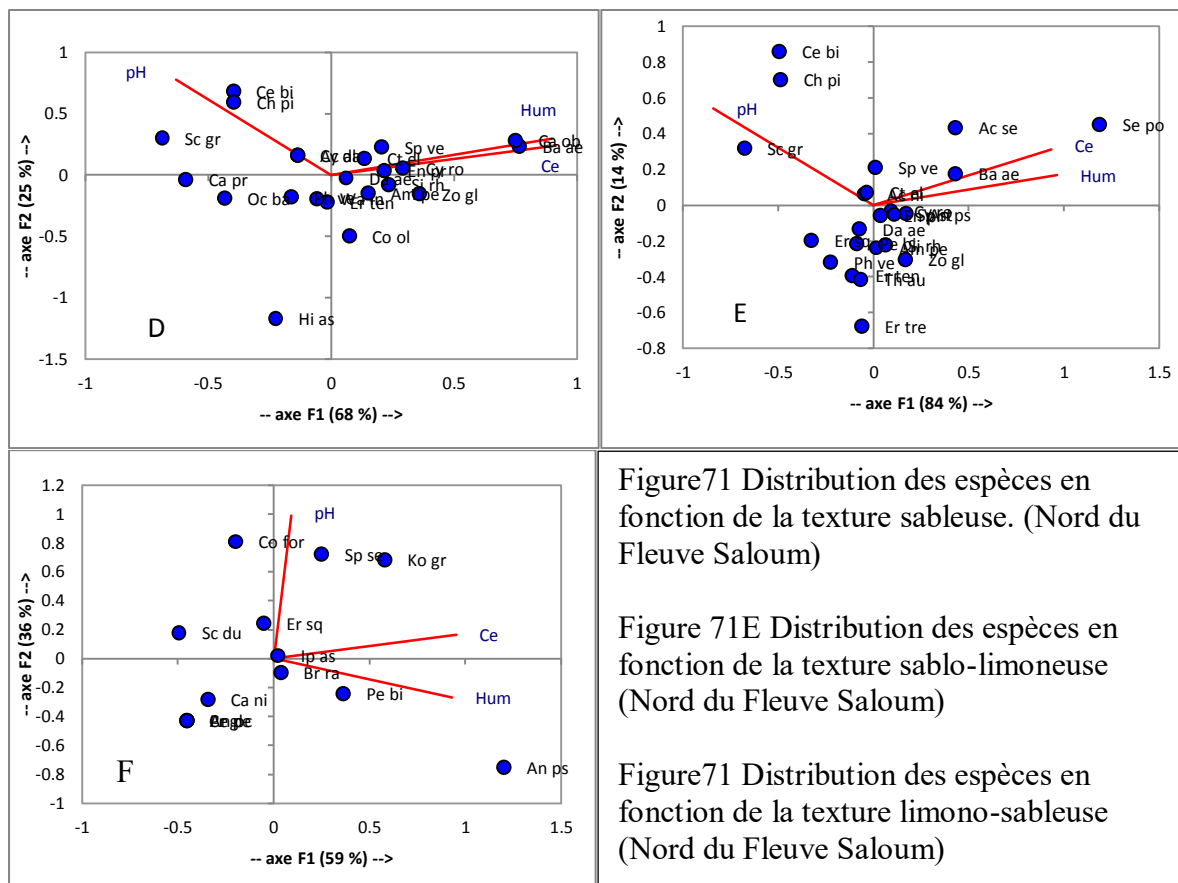


Figure 71 : Distribution des espèces en fonction des textures, des conductivités électriques (CE, dS/m), des pH et des taux d'humidité (Ngane)

Liste des abréviations : tableau 51. Annexe XIV

#### 4-2-5 Etude des fréquences et des contributions spécifiques au Sud et au Nord du fleuve Saloum

Au Sud du fleuve Saloum dans le secteur de Ndiaffate 49 espèces ont été recensées sur les grappes de parcelles de superficies graduelles et des dunes constituant 74 surfaces de contacts. Les paramètres physico-chimiques caractérisant les espèces à savoir : le potentiel hydrogène, la conductivité électrique, la teneur en eau dans le sol et les différentes textures du sol.

Tableau 50 : Fréquence et contributions spécifiques des différentes espèces dans le secteur de Ndiaffate. (Annexe XIII)

La classe n°1 est constituée par les fréquences spécifiques supérieures à 70%. ( $F > 70\%$ ). Dans cette classe on rencontre l'espèce *Blutaparon vermiculare* qui est présente sur les 82,43% des surfaces de contacts. Pour les paramètres physico-chimiques, l'espèce est observée entre les intervalles suivants : Le potentiel hydrogène varie entre 7,26 et 4,11 donc du caractère neutre au caractère très acide ; la conductivité électrique du très salin au non salin (10,02 à 0,03 dS/m) ; la teneur massique en eau varie entre 30,52 et 0,16 ; les textures observées sableuse et sablo limoneuse.

La classe n°2 avec 50% <F<70%.

Cette classe comprend les espèces suivantes : *Cyperus rotundus* et *Dactyloctenium aegyptiacum*. Ces espèces sont présentes respectivement sur 60 et 54% des surfaces de contacts. Pour les paramètres physico-chimiques, ces deux évoluent au niveau des intervalles suivants :

- Pour le pH entre 7,32 et 4,07 du caractère neutre au caractère très acide.
- Pour la conductivité électrique entre 10,02 dS/m et 0,3 du très salin au non salin.
- Pour les textures sablo-limoneux et limono-sableux.
- Pour le pourcentage de la teneur en eau massique, il varie entre 30,52 et 0,16.

La classe n°3 avec 30% <F<50%.

Cette classe est constituée par les espèces suivantes : *Cassia obtusifolia*, *Ctenium elegans*, *Enteropogon prierii*, *Eragrostis tremula*, *Spermacoce verticillata* et *Sphaeranthus Senegalensis*. Ces espèces sont présentes entre les 32 et 47% des surfaces de collectes. Les paramètres physico-chimiques caractérisant des espèces sont les suivantes : Le caractère d'acidité varie du basique au caractère très acide avec des valeurs de pH variant entre 7,52 et 4,07 ; le caractère de salinité évoluant entre le très salin et le non salin avec des valeurs comprises entre 9,94 et 0,03 dS/m ; le pourcentage d'humidité est observé entre 30,52 et 0,23. Ces espèces sont observées sur les sols à texture sablo-limoneux et limono sableux.

La classe n°4 avec 10% <F<30%.

Cette classe comprend les espèces suivantes : *Wachellia nilotica*, *Wachellia seyal*, *Sida alba*, *Andropogon pseudapricus*, *Balanites aegyptiaca*, *Chloris pilosa*, *Combretum glutinosum*, *Eragrostis squamata*, *Leptadenia hastata*, *Mitragyna inermis*, *Oryza longistaminata*, *Spermacoce stachydea* et *Zornia glochidata*. Ces espèces sont présentes entre 11 et 29% des surfaces de collectes. Les paramètres physico-chimiques des ces 13 espèces sont les suivantes :

- Pour le pH, il varie entre 7 et 4,07 du caractère neutre au caractère très acide.
- Pour la conductivité électrique (dS/m) elle évolue entre 10,02 au 0,03 du très salin au non salin.
- Pour la texture du sablo-limoneux au limono-sableux.
- Pour le pourcentage de la teneur en eau massique, il varie entre 7,25 au 0,4.

La classe n°5 avec une fréquence spécifique inférieure à 10% (F<10)

Cette classe regroupe les espèces suivantes : *Acanthospermum hispidum*, *Alysicarpus ovalifolius*, *Andropogon gayanus*, *Azadirachta indica*, *Brachiaria ramosa*, *Calotropis procera*, *Chloris gayana*, *Commiphora africana*, *Conocarpus erectus*, *Corchorus olitorius*

*var olitorius*, *Crotolaria arenaria*, *Dichrostachys glomerata*, *Digitaria ciliaris*, *Haemanthus pentaphylla*, *Hibiscus asper*, *Indigofera tintoria*, *Ipomaea aquatica*, *Kohautia grandiflora*, *Merremia tridentata*, *Nymphaea lotus*, *Pakinsonia aculeata*, *Pennisetum pedicellatum*, *Piliostigma reticulatum*, *Pycreus albomarginatus*, *Sida rhombifolia*, *Tamarix senegalensis* et *Ziziphus mauritiana*. Ces espèces sont présentes entre 1 et 8% des surfaces de collectes. Les paramètres physico-chimiques indiquent des caractères d'acidité variant entre le caractère neutre et le caractère très acide avec des valeurs de pH comprises entre 7 et 4,07 ; les valeurs de conductivité étant comprises entre 9,94 et 0,03 dS/m indiquant des caractères évoluant entre le très salin et le non salin ; la teneur en eau massique comprise entre 30,52 et 0,23. Ces espèces répertoriées sur les sols à texture sablo limoneux et limon sableux.

Pour toutes les classes de fréquences considérées, les contributions spécifiques évoluent dans le même ordre d'idée que les fréquences spécifiques.

L'indice de diversité biologique de Shannon Weaver est de  $3,28 = -\sum P_i * \ln(P_i)$ .

Au Nord du fleuve Saloum dans le secteur de Ngane 41 espèces ont été recensées à travers les grappes de parcelles de superficies graduelles et des dunes avec 72 surfaces de contacts. Pour chaque espèce, les paramètres physico-chimiques maxima et minima qui la caractérisent à savoir le potentiel hydrogène, la conductivité électrique, les textures du sol et l'humidité.

Tableau 51 : Fréquence et contribution spécifiques des différentes espèces dans le secteur de Ngane. (Annexe XIV).

Dans le Nord du fleuve Saloum au niveau du secteur de Ngane, les 41 espèces recensées au niveau des sols salés peuvent être réparties en 5 classes en fonction des pourcentages de leur fréquence spécifique et de leur contribution spécifique.

**La classe n°1** est constituée par les espèces dont leur fréquence spécifique est supérieure à 60% ( $F < 60\%$ ). Dans cette classe on retrouve les espèces suivantes : *Cyperus rotundus*, *Ctenium elegans*, *Dactyloctenium aegyptium* et *Spermacoce verticillata*. Ces espèces sont présentes entre 61,11 et 66,67% des surfaces de contacts. Les paramètres physico-chimiques caractérisant ces espèces sont les suivants : un potentiel hydrogène évoluant entre 7,35 et 4,34 d'où du caractère neutre au caractère très acide, une conductivité comprise entre 5,5 et 0,006 dS/m indiquant les caractères variant entre le très salin au non salin ; la teneur en eau massique comprise entre 9,03 et 0,07. Ces espèces sont observées pour les sols à texture sablo limoneux et sableuse.

**La classe n°2 avec  $50\% < F < 60\%$**

Cette classe comprend les espèces suivantes : *Enteropogon prieurii*, *Blutaparon vermiculare*. Ces deux espèces sont recensées entre 52,78 et 56,94% des surfaces de contacts avec des paramètres physico-chimiques suivants :

- Pour le pH entre 7,35 et 4,34 du caractère neutre au caractère très acide.
- Pour la conductivité électrique entre 5,51dS/m et 0,005dS/m, du salin au non salin.
- Pour la texture, ces espèces sont observées au niveau des textures sablo-limoneux et sableuses.
- Pour le pourcentage de la teneur en eau massique entre 9,03 et 0,11.

**La classe n°3 avec  $30\% < F < 40\%$**

Les espèces observées pour cette classe sont les suivantes : *Andropogon pseudapricus*, *Eragrostis squamata* et *Spermacoce stachydea*. Ces espèces sont caractérisées par un pH compris entre 6,74 et 4,5, donc du caractère faiblement acide au caractère très acide ; une conductivité électrique évoluant entre 6,59 et 0,005, avec comme type de caractère du très salin au non salin ; une teneur en eau massique comprise entre 10,83 et 0,2. Ces espèces sont rencontrées sur des sols à texture sablo-limoneux et limono sableux.

**La classe n°4 avec  $10\% < F < 30$ .**

Cette classe comprend les espèces suivantes : *Wachellia seyal*, *Balanites aegyptiaca*, *Brachiaria ramose*, *Cassia obtusifolia*, *Eragrostis tenella*, *Eragrostis tremula*, *Kohautia grandiflora*, *Peristrophe bicalyculata* et *Zornia glochidiata* avec les paramètres physico-chimiques suivants :

- Pour le pH entre 7,11 et 4,20 donc du caractère neutre au caractère très acide.
- Pour la conductivité électrique entre 6,58 et 0,01 du caractère très salin au non salin.
- Pour la texture, des espèces sont recensées pour les textures sablo-limoneuses et sableuses.
- Pour le pourcentage de la teneur en eau massique entre 10,83 et 0,11.

**La classe n°5 avec  $F < 10\%$ .**

Les espèces rencontrées au niveau de cette classe sont les plus nombreuses par rapport aux autres classes il s'agit : *Fedherbia albida*, *Wachellia nilotica*, *Ampelocisus pentaphylla*, *Anarcadium occidentale*, *Calotropis procera*, *Cassia nigricans*, *Cenchrus biflorus*, *Chloris pilosa*, *Commelina forskalaei*, *Corchorus olitorius* var *olitorius*, *Crotalaria glaucoïdes*, *Cynodon dactylon*, *Hibiscus asper*, *Ipomaea asarifolia*, *Ocimum basilicum*, *Pennisetum pedicellatum*, *Schoenefeldia gracilis*, *Scoparia dulcis*, *Sesuvium portulacastrum*, *Sida rhombifolia*, *Sphaeranthus senegalensis*, *Thypha australis* et *Waltheria indica*. Ces espèces

présentent un pourcentage inférieur à 10% par rapport à l'ensemble des surfaces de contacts. Elles évoluent au niveau des intervalles des paramètres physico-chimiques suivants : avec un pH compris entre 6,68 et 4,18 indiquant des caractères faiblement acide au caractère très acide ; une la conductivité électrique évoluant entre le caractère très salin au caractère non salin et une teneur en eau massique comprise entre 8,98 et 0,07. Ces espèces ont été recensées sur des sols à texture sablo-limoneux et limono sableux.

Les contributions spécifiques évoluent dans le même sens que les fréquences spécifiques. L'indice de diversité biologique de Shannon Weaver est de 3,19 =  $-\sum P_i \times \ln(P_i)$ .

#### 4-2-6-Distribution du nombre de genres et d'espèces par rapport aux familles.

##### A) Au Sud du fleuve Saloum secteur Ndiaffate.

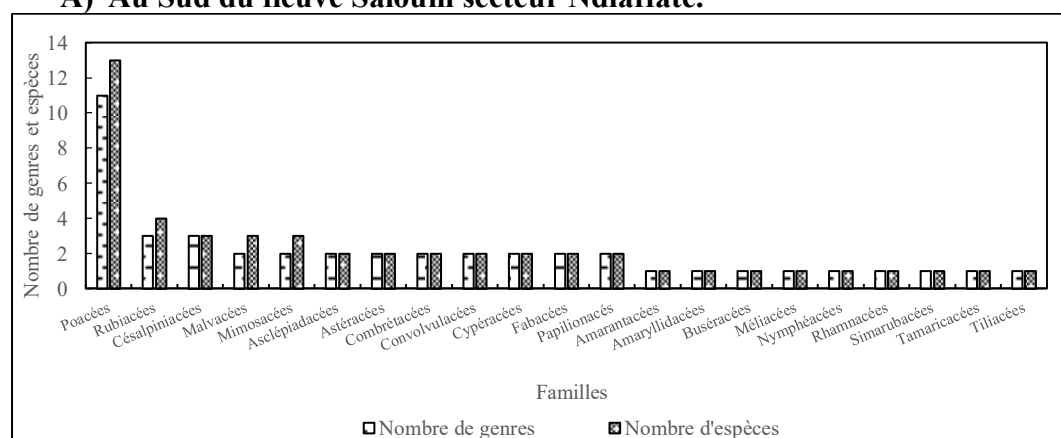


Figure 72 : Distribution du nombre de genres et du nombre d'espèces en fonction des familles (Sud du Fleuve Saloum)

Au niveau de ce graphique nous observons deux groupes.

**Le premier groupe** caractérisé par une égalité en nombre entre le nombre de genres et le nombre d'espèces. Ce groupe est subdivisé en 3 sous sous-groupes.

Le sous - groupe n°1 constitué par les familles possédant 3 genres pour 3 espèces. Ce sous-groupe est constitué par la famille des Césalpiniacées

Le sous - groupe n°2 comporte les familles présentant 2 genres pour 2 espèces, il s'agit des familles des Asclépiadacées, Astéracées, Combrétacées, Convolvulacées, Cypéracées, Fabacées et Papilionacées

- Le sous-groupe n°3 caractérisé par 1 genre et 1 espèce ; il s'agit des familles des Amaranthacées, Amaryllidacées, Buséracées, Méliacées, Nymphéacées, Rhamnacées, Simarubacées, Tamaricacées, Tiliacées.

**Le second groupe** caractérisé par une supériorité en termes de nombre des espèces sur le genre. Il s'agit des familles des Poacées avec 13 espèces pour 11 genres, les familles des

Rubiacees avec 4 espèces pour 3 genres, les familles des Mimosacées avec 3 espèces pour 2 genres et les familles des malvacées avec 3 espèces pour 2 genres.

Dans le secteur de Ndiaffate Sud du fleuve Saloum, 49 espèces ont été répertoriées et réparties dans 21 familles avec 44 genres.

Ces 49 espèces sont réparties en 5 grands groupes.

- Le groupe constitué par la famille des Poacées représentant 26% des espèces.
- Le groupe composé par la famille des Rubiacées avec 8% des espèces.
- Le groupe représenté par les familles des Astéracées, des Césalpiniacées, des Malvacées et des Mimosacées avec 6% des espèces pour chaque famille.
- Le groupe formé par les familles des Asclépiadacée, Astéracées, Combrétacées, Convolvulacée, Cypéracées, Fabacées et Papilionacées représente 4% des espèces pour chaque famille.
- Le groupe constitué par les familles des Amaranthacées, des Amaryllidacées, des Buiséracées, des Méliacées, des Nymphéacées, des Rhamnacées, des Simarubacées, des Tamaricacées et des Tiliacées avec chacune 2% des espèces répertoriées dans le Sud du fleuve Saloum dans le secteur de Ndiaffate.

## B) Au Nord du fleuve Saloum secteur Ngane.

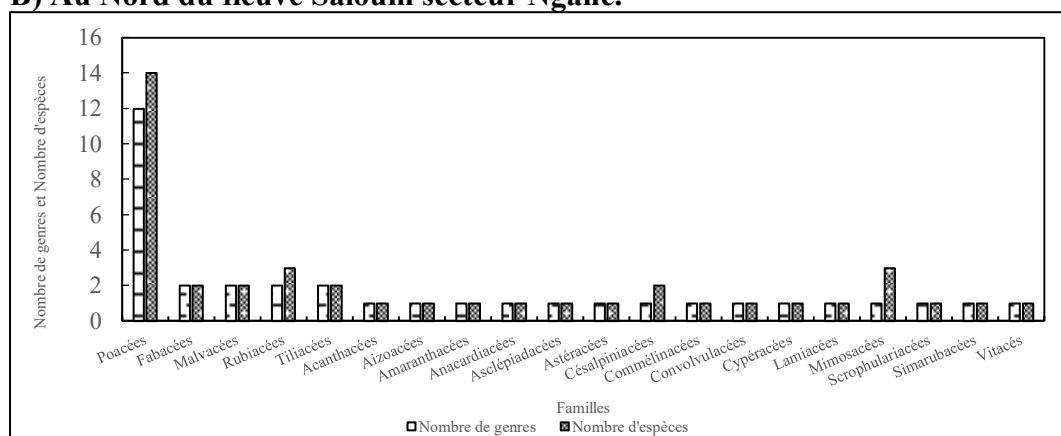


Figure 73 : Distribution du nombre de genres et du nombre d'espèces en fonction des familles (Nord du Fleuve Saloum)

Au niveau de ce graphique, nous observons deux grands groupes.

**Le premier groupe** est caractérisé par une égalité en termes de nombre entre les genres et les espèces. Deux sous-groupes constituent ce groupe.

- Le sous-groupe constitué par les familles ayant 2 genres pour 2 espèces. Il s'agit des familles des Fabacées, des Malvacées et des Tiliacées. Ces familles constituent 15% de l'ensemble des familles recensées

- Le sous-groupe composé par les familles ayant 1 genre pour 1 espèce ; il s'agit des familles des Acanthacées, Aizoacées, Amarantacées, Anacardiacees, Asclépiadacées, Astéracées, Commélinacées, Convolvulacées, Cypéracées, Lamiacées, Scrofulariacées, Simarubacées et Vitacées. Ces familles représentent 65% de l'ensemble des familles observées au Nord du fleuve Saloum dans le secteur de Ngane.

**Le second groupe** est caractérisé par une supériorité du nombre d'espèces sur le nombre de genres. Ce groupe représente 20% de l'ensemble des familles. Dans ce groupe nous avons 4 sous-groupes :

- Le sous-groupe des familles des Poacées avec 14 espèces pour 12 genres.
- Le sous-groupe des familles des Rubiacées avec 3 espèces pour 2 genres.
- Le sous-groupe des familles des Césalpiniacées avec 2 espèces pour 1 genre.
- Le sous-groupe des familles des mimosacées avec 3 espèces pour 1 genre.

Dans le secteur de Ngane, les 41 espèces répertoriées sont réparties dans 20 familles avec 35 genres. Ces espèces peuvent être regroupées en 4 grands groupes.

- Le groupe constitué par la famille des Poacées représentant 34,15% des espèces.
- Le groupe composé par les familles des Mimosacées et des Rubiacées représentant chacune 7,32% des espèces.
- Le groupe comprenant les familles des Fabacées, des Césalpiniacées, Malvacées et des Tiliacées. Les familles de ce groupe représentent chacune, 4,88% des espèces.
- Le groupe des Acanthacées, Aizoacées, Amarantacées, Anacardiacees, Asclépiadacées, Astéracées, Commélinacées, Convolvulacées, Cypéracées, Lamiacées, Scrofulariacées, Simarubacées et des Vitacées. Ce groupe est le plus nombreux et représente pour chaque famille 2,44% des espèces recensées dans le secteur de Ngane.

#### **4-2-7 Effets de l'aménagement sur la diversité biologique de la végétation des sols salés.**

Pour effectuer cette étude nous avons comparé deux parcelles une aménagée et l'autre non. Dans cette étude nous avons tenu compte que de la richesse floristique en termes de nombre de familles, de nombre de genres et d'espèces entre les deux parcelles. Cependant le comportement des espèces par rapport à leurs fréquences et contributions spécifiques par rapport aux paramètres physico-chimiques ne feront pas l'objet d'étude.

### A) Au Sud du fleuve Saloum.

Distribution du nombre de genres et d'espèces en fonction des familles dans la parcelle aménagée. (Sud du Fleuve Saloum)

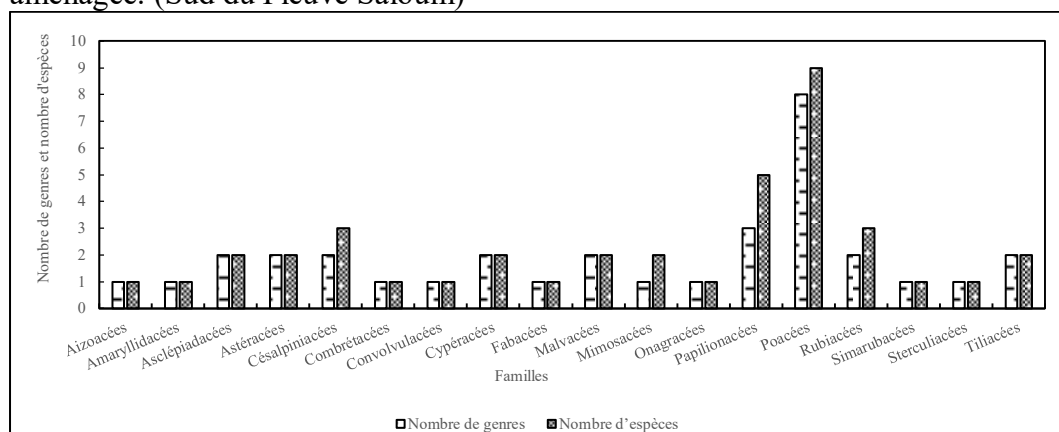


Figure 74 : Distribution du nombre de genres et du nombre d'espèces en fonction des familles dans la parcelle aménagée (Sud du Fleuve Saloum)

La famille des poacées vient en première position en termes de nombre de genres et d'espèces avec 8 genres et 9 espèces ; vient en second position la famille des papilionacées avec 3 genres et 5 espèces.

Les familles des Césalpiniacées et des Rubiacées occupent la troisième place avec 2 genres et 3 espèces.

Les familles des Asclépiadacées, des Astéracées, des Cypéracées, des Malvacées, des Tiliacées et des Mimosacées présentent chacune 2 genres et 2 espèces. Cependant au niveau de la famille des Mimosacées on a 1 seul genre pour 2 espèces.

Les familles des Aizoacées, des Amaryllidacées, des combrétacées, des Convolvulacées, des Fabacées, des Onagracées, des Simarubacées et de Sterculiacées viennent en dernière position avec 1 genre et 1 espèce.

Au niveau de ces 18 familles recensées au niveau de la parcelle aménagée, 40 espèces ont été recensées avec 34 genres. Ces familles peuvent être réparties en cinq grands groupes :

- Le groupe appartenant à la famille des Poacées dont 22,5% des espèces recensées appartiennent à cette famille ;
- Le groupe de la famille des Papilionacées avec 12,5% des espèces recensées font partie de cette famille.
- Le groupe constitué par les familles des Rubiacées et des Césalpiniacées avec 7,5% des espèces pour chaque famille.
- Le groupe des familles Asclépiadacées, Astéracées, Cypéracées, Malvacées, Mimosacées et Tiliacées avec 5% des espèces recensées pour chaque famille.

- Le groupe constitué par les familles suivantes Aizoacée, Amaryllidacée Combrétacée, Convolvulacée Fabacée, Onagracée, Simarubacées et Sterculiacée avec 2,5% des espèces recensées pour chaque famille.

Distribution du nombre de genres et d'espèces en fonction des familles dans la parcelle non aménagée. (Sud du Fleuve Saloum)

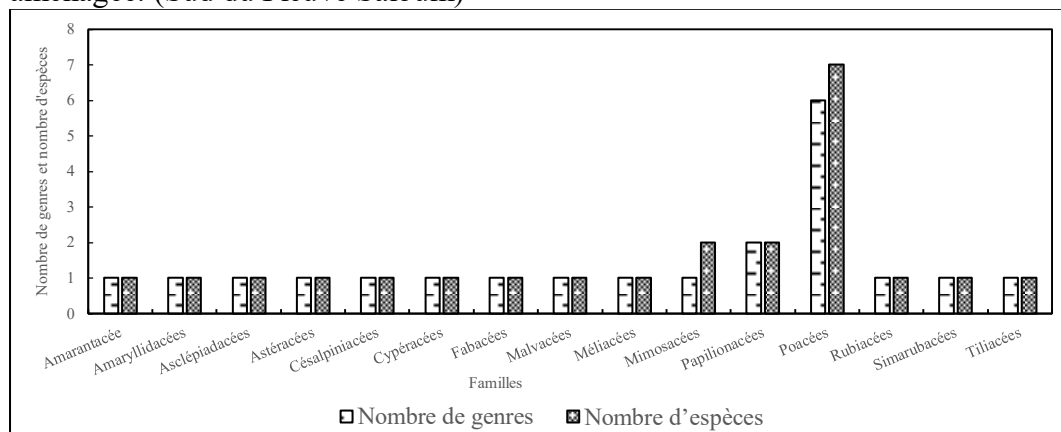


Figure 75 : Distribution du nombre de genres et du nombre d'espèces en fonction des familles dans la parcelle non aménagée (Sud du Fleuve Saloum)

La famille des poacées présente le nombre de genres et d'espèces les plus élevés avec 6 genres pour 7 espèces. La famille des papilionacées vient en seconde position avec 2 genres et 2 espèces. Les familles suivantes : Amarantacée, Amaryllidacée, Asclépiadacée, Astéracée, Césalpiniacée, Cypéracée, Fabacée, Malvacée, Méliacée, Mimosacée, Rubiacée, Simarubacées, Tiliacée viennent en dernière position avec 1 genre et 1 espèce, exception faite pour la famille des mimosacées qui présente 2 espèces.

Ces relevés ont été effectués au niveau de la terrasse moyenne sur une tanne herbue. 15 familles ont été recensées avec 23 espèces pour 21 genres. Ces familles se répartissent en 3 grands groupes :

- Le groupe composé par les familles suivantes : Amarantacée, Amaryllidacée, Asclépiadacée, Astéracée, Césalpiniacée, Cypéracée, Fabacée, Malvacée, Méliacée, Mimosacée, Rubiacée et la famille Simarubacées représente 4,35 % rapport pourcentage espèces.
- Le groupe constitué les familles Mimosacées et Papilionacées représente 8,70 % de ce rapport
- Le groupe constituant la famille des Poacées représente 30,43% de ce rapport.

Comparaison de la richesse floristique en termes de nombre de familles, nombre de genres et nombre d'espèces entre la parcelle aménagée et non aménagée. (Sud du Fleuve Saloum)

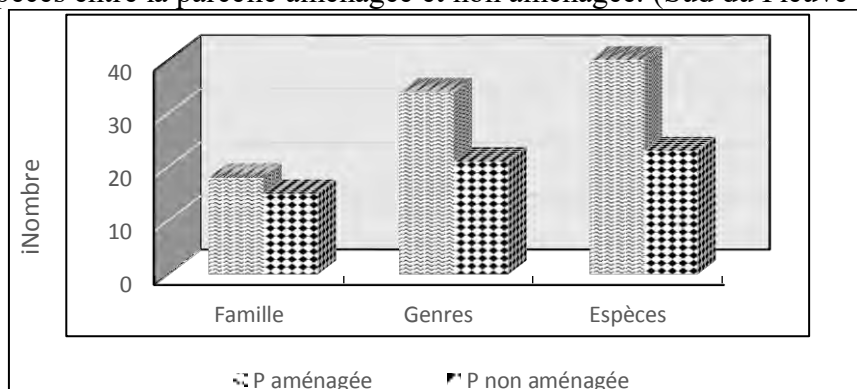


Figure 76 : Comparaison en termes de nombre de familles, nombre de genres et nombre d'espèces entre parcelle aménagée et non aménagée (Sud du Fleuve Saloum)

Cette parcelle non aménagée présente une richesse floristique moins importante que celle de la parcelle aménagée en termes de nombre de familles, nombre de genres et nombre d'espèces. Au niveau de la parcelle aménagée nous notons quelques espèces qui sont absentes de la parcelle non aménagée il s'agit : *Amaranthus spinosa*, *Calotropis procera*, *Cassia occidentalis*, *Combretum tomentosa*, *Hibiscus asper*, *Indigofera oblongifolia*, *Indigofera secundiflora*, *Merremia aegyptiaca*, *Pennisetum pedicellatum*, *Phragmites vulgaris*, *Piliostigma reticulatum*, *Pycnus albomarginatus*, *Sesuvium portulacastrum*, *Spermacoce Stachydea*, *Sphaeranthus senegalensis*, *Tephrosia linearis*, *Triumfetta pentandra* et *Waltheria indica*.

#### B) Au Nord du fleuve Saloum.

Distribution du nombre de genres et d'espèces en fonction des familles dans la parcelle aménagée. (Nord du Fleuve Saloum)

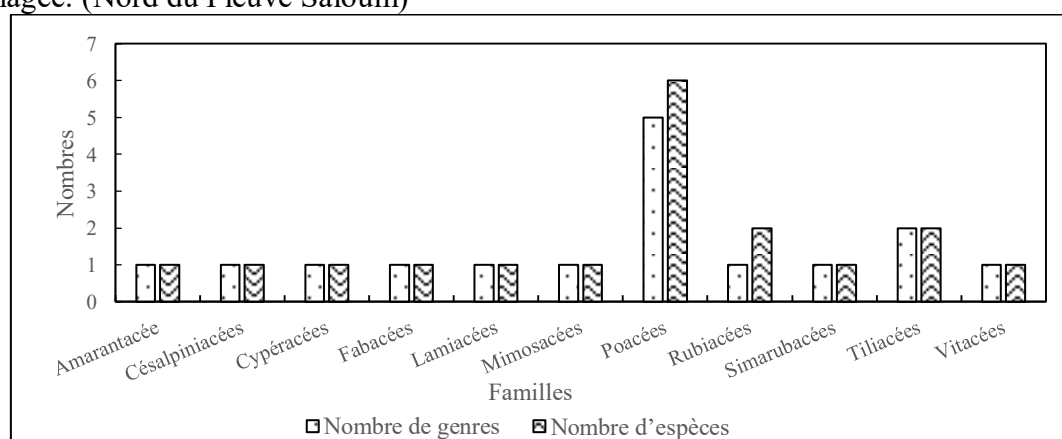


Figure 77 : Distribution du nombre de genres et du nombre d'espèces en fonction des familles dans la parcelle aménagée (Nord du Fleuve Saloum)

La famille des Poacées occupe la première place en termes de genre et d'espèces avec 5 genres pour 6 espèces ; la famille des Tiliacées vient en seconde position avec 2 genres pour

2 espèces. La troisième place est occupée par la famille des Rubiacées avec un genre pour deux espèces. Les familles des Amarantacées, Césalpiniacées, Cypéracées, Fabacées, Lamiacées, Mimosacées et des Simarubacées viennent en dernière position avec un genre pour une espèce.

Au niveau de ces 11 familles recensées au niveau de la parcelle aménagée nous notons 18 espèces réparties dans 16 genres. Au niveau de la parcelle aménagée. Ces familles peuvent être réparties en 3 grands groupes.

- Le groupe constitué par la famille des Poacées dont 33% des espèces recensées appartiennent à cette famille.
- Le groupe composé par les familles des Rubiacées et des Tiliacées avec 11% des espèces recensées par chaque famille.
- Le groupe des familles des Amarantacées, Césalpiniacées, Cypéracées, Fabacées, Lamiacées, Mimosacées, des Simarubacées et des Vitacées avec 6% des espèces recensées pour chacune des familles.

Distribution du nombre de genres et d'espèces en fonction des familles dans la parcelle non aménagée (Nord du Fleuve Saloum)

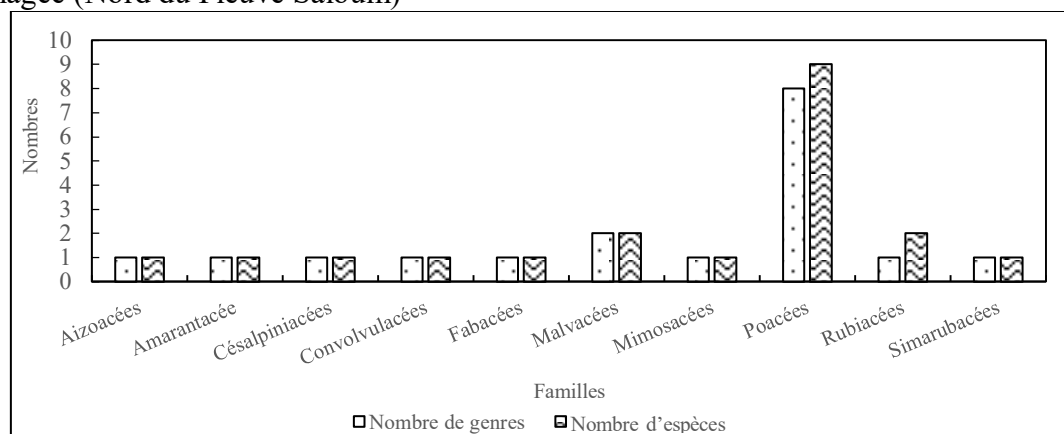


Figure 78 : Distribution du nombre de genres et du nombre d'espèces en fonction des familles dans la parcelle non aménagée (Nord du Fleuve Saloum)

La famille des Poacées présente le nombre de genres et d'espèces les plus élevés avec 8 genres pour 9 espèces. Les familles des Malvacées et des rubiacées viennent en seconde position avec respectivement 2 genres pour 2 espèces et 1 genre pour deux espèces. Les familles des Aizoacées, des Amarantacées, des Césalpiniacées, des Convolvulacées, des Fabacées, des Mimosacées et des Simarubacées viennent en dernière position avec 1 genre et 1 espèce

Au niveau de la terrasse moyenne, le relevé de végétation effectué sur une tanne herbue fait apparaître 10 familles avec 20 espèces pour 18 genres. Ces familles se répartissent en 3 groupes.

- Le groupe 1 constitué par la famille des Poacées représente 45% des espèces recensées.
- Le groupe composé par les familles des Malvacées et les Rubiacées constitue 10% de l'ensemble des espèces pour chaque famille.
- Le groupe des familles des Aizoacées, des Amarantacées, des Césalpiniacées, des Convolvulacées, des Fabacées, des Mimosacées et des Simarubacées constitue 5% de l'ensemble des espèces pour chaque famille.

Comparaison de la richesse floristique en termes de nombre de familles, nombre de genres et nombre d'espèces entre la parcelle aménagée et non aménagée (Nord du Fleuve Saloum)

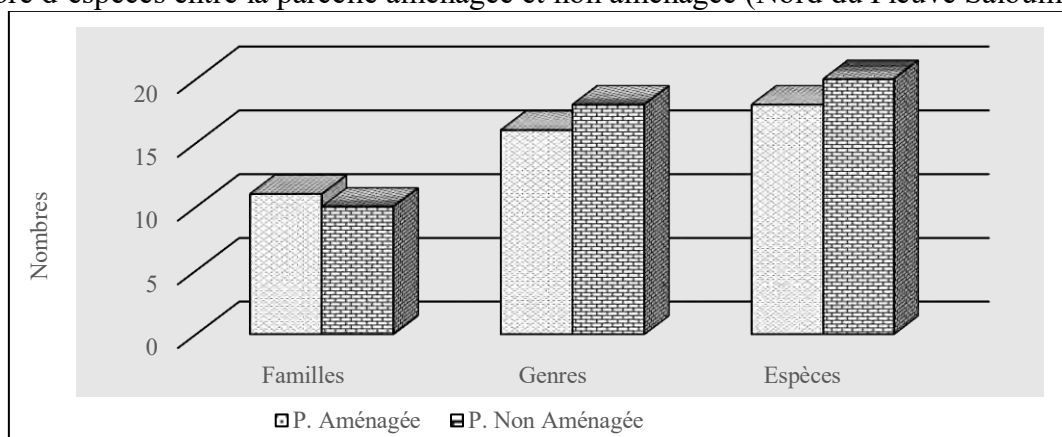


Figure 79 : Comparaison en termes de nombres de familles, de genres et d'espèces entre la parcelle aménagée et la parcelle non aménagée (Nord du Fleuve Saloum)

Au niveau de la parcelle aménagée, le nombre de familles est plus important traduisant une certaine richesse floristique. Cependant pour le nombre de genres et le nombre d'espèces, ils sont plus importants au niveau de la parcelle non aménagée. Ce comportement peut s'expliquer par la présence des animaux dans la parcelle non aménagée d'où le phénomène de zoochorie. Les espèces retrouvées au niveau des deux parcelles sont les suivantes : *Andropogon pseudapricus*, *Balanites aegyptiaca*, *Blutaparon vermiculare*, *Cassia obtusifolia*, *Ctenium elegans*, *Cyperus rotundus*, *Dactyloctenium aegyptium*, *Enteropogon prierii*, *Eragrostis squamata*, *Eragrostis tenella*, *Spermacoce stachydea*, *Spermacoce verticillata* et *Zornia glochidiata*. Les espèces apparues au niveau de la parcelle aménagée sont les suivantes *Brachiaria ramosa*, *Hibiscus asper*, *Ipomaea asarifolia*, *Sesuvium portulacastrum*, *Sida rhombifolia* et *Thypha australis* et *Wachellia nilotica*.

Les espèces spécifiques de la parcelle non aménagée dues sans doute par la présence animale sont : *Ampelocisus pentaphylla*, *Corchorus olitorius var olitorius*, *Ocimum basilicum*, *Wachellia seyal* et *Waltheria indica*.

#### 4-2-8 Etude du comportement du *Tamarix aphylla* en fonction des différents traitements et du gradient de pente au niveau des stations expérimentales.

##### A) Les dispositifs expérimentaux

###### Station de Ndiaffate

Pour le site Ndiaffate le gradient de salinité est inversement proportionnel au gradient de pente. Selon la topo séquence du réseau de piézomètres, la salinité des sols la plus faible est observée au niveau des blocs V et IV situés au niveau de la terrasse moyenne. Cette salinité peu différente en période sèche qu'en période humide est de 0,6 dS/m indiquant un caractère légèrement salin. Cependant les blocs III et II localisés sur la terrasse basse non inondable présentent un caractère moyennement salin avec des valeurs de CE variant entre 1,7 dS/m en période sèche et 1,4 dS/m en période humide. Les valeurs de CE (dS/m) enregistrées au niveau du bloc I situé sur la terrasse basse inondable sont de l'ordre de 6,6 dS/m d'où un caractère très salin en période sèche qu'en période humide.

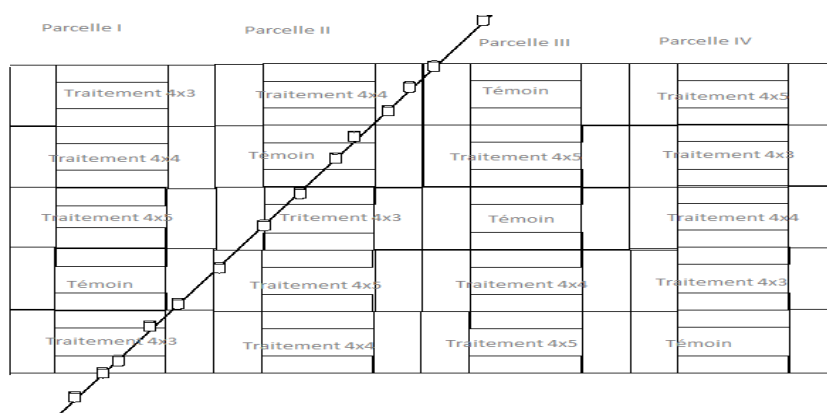


Figure 80 : Dispositif expérimental avec les différents types de traitements (Station de Ndiaffate)

###### Station de Ngane

Au niveau du site de Ngane, les plus faibles salinités sont enregistrées au niveau du bloc I localisé au niveau de la terrasse moyenne avec une valeur moyenne de CE égale à 0,45 dS/m indiquant un caractère légèrement salin en période sèche. En période humide le caractère observé est non salin avec une valeur de conductivité électrique est de l'ordre de 0,22 dS/m

En période sèche les blocs II et III situés respectivement au niveau des terrasses basses non inondables et inondables avec des caractères moyennement salins avec des valeurs

moyennes des CE égales 1,6 dS/m pour le bloc II et 5,4 dS/m pour le bloc III avec des caractères très salins. En période humide on observe les mêmes types de caractère qu'en période sèche avec des valeurs de Ce (dS/m) très peu différentes 1,3 dS/m pour la terrasse basse non inondable et 5,6 dS/m pour la terrasse basse inondable.

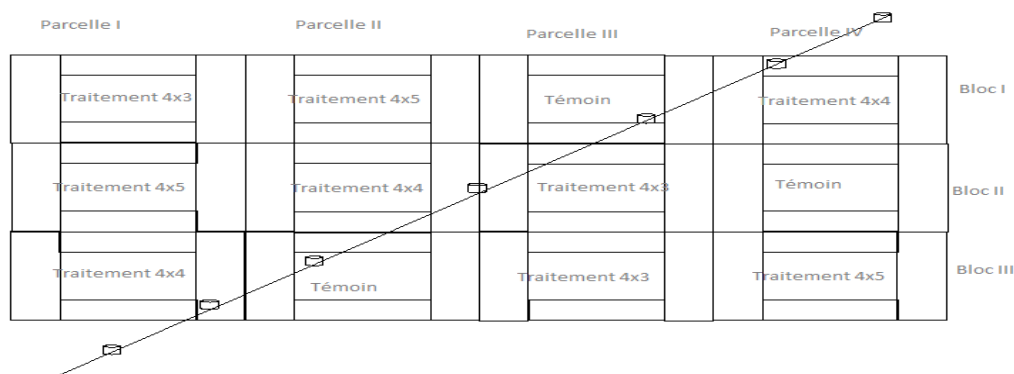


Figure 81 : Dispositif expérimental avec les différents types de traitements (Station de Ngane)

### **B) Etude de quelques paramètres biologiques en fonction des différents traitements dans les dispositifs expérimentaux (Ndiaffate et Ngane)**

Le taux de survie.

Station de Ndiaffate.

Pour le site de Ndiaffate, le taux de survie moyen au niveau du dispositif expérimental est de 42%. Ce taux de survie est très peu satisfaisant car traduisant une population inférieure à la moitié des individus plantés en 2000. Cependant nous observons un certain comportement des individus en fonction du gradient de pente. Les meilleures performances sont enregistrées au niveau des blocs V, IV et III, respectivement 62%, 60% et 51%. Les blocs II et I affichent les taux de survie les plus faibles 21%. L'histogramme du taux de survie (figure 82) présente une tendance décroissante sur l'ensemble des cinq blocs. Les blocs V et IV (figure 82A ; Figure 83B) présentent le même type de comportement pour les différents types de traitements. Les taux de survie observés pour les traitements (4x3) et (4x5) sont partout supérieurs à celui du traitement (4x4). Les blocs II et I (figure 82D ; figure 82E) présentent à leur tour un même comportement. Les taux de survie pour les traitements 4X4 et 4X5 sont partout supérieurs à ceux du traitement 4X3. Dans les blocs I et II (figure 82D ; figure 82E), les taux de survie évoluent en sens inverse avec les traitements. Le bloc III semble présenter une situation intermédiaire entre les deux types de comportement.

Station de Ngane

Pour la station expérimentale de Ngane le taux survie moyen dans le dispositif est 28%, nettement inférieur à la moitié des individus plantés en 2000.

Les taux de survie sont inversement proportionnels avec le gradient de pente. Pour le bloc I situé sur la terrasse moyenne (figure 83A), ce taux est de 42% ; il est de 27% pour le

bloc II situé au niveau de la terrasse basse non inondable (figure 83B), et 16% pour le bloc III localisé sur la terrasse basse inondable (figure 83C). Sur l'ensemble de la topo séquence les histogrammes des taux de survie (figure 83) présentent une tendance décroissante sur l'ensemble des traitements appliqués durant la période d'étude. Les taux de survie enregistrés pour le traitement 4X5 sont partout supérieurs à ceux des traitements 4X3 et 4X4 sur l'ensemble des blocs. Cette différence se manifeste nettement après la deuxième année de plantation.

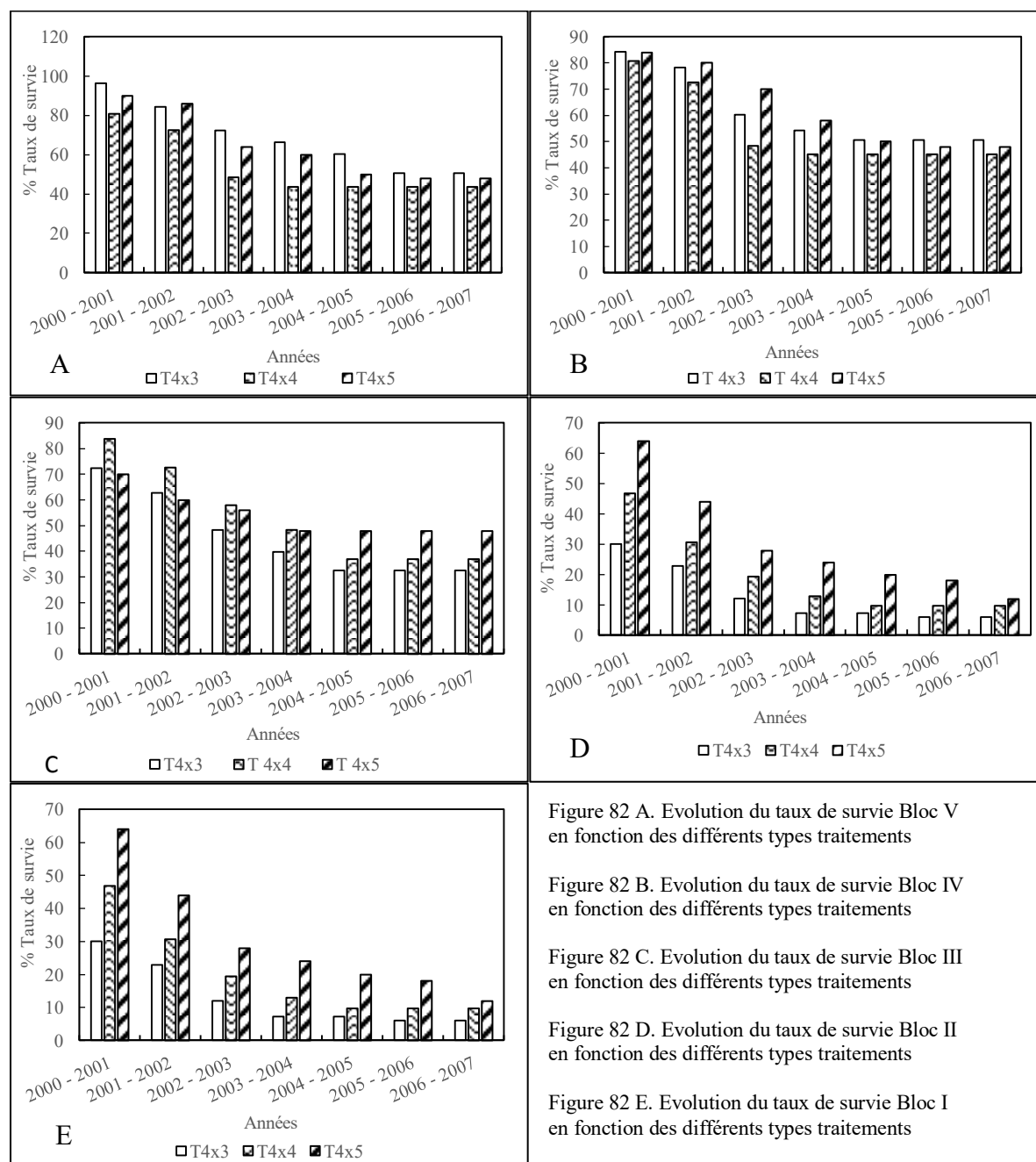


Figure 82 : Evolution du taux de survie en fonction des traitements et des blocs. (Station de Ndiaffate)

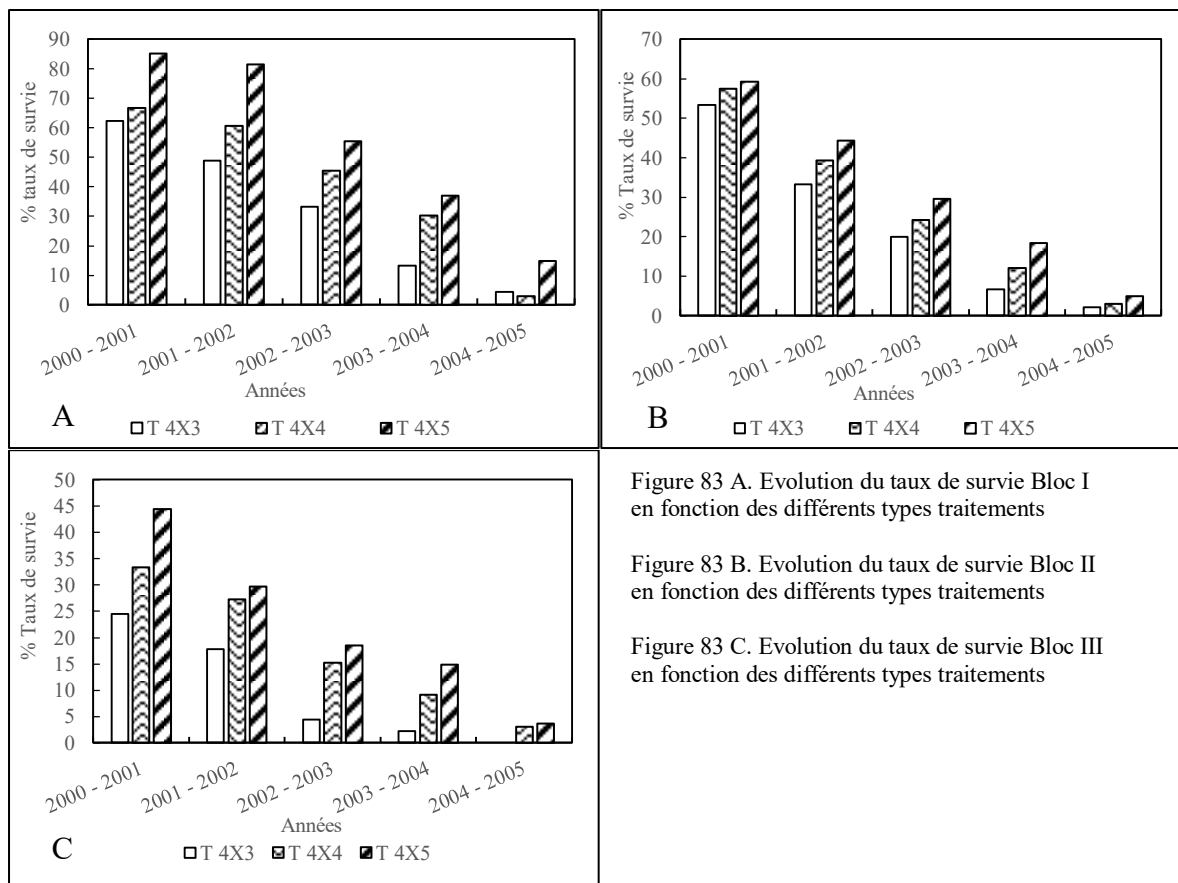


Figure 83 A. Evolution du taux de survie Bloc I en fonction des différents types traitements

Figure 83 B. Evolution du taux de survie Bloc II en fonction des différents types traitements

Figure 83 C. Evolution du taux de survie Bloc III en fonction des différents types traitements

Figure 83 : Evolution du taux de survie en fonction des traitements et des blocs. (Station de Ngane)

### La croissance en hauteur

Station de Ndiaffate.

Tableau 52 : Croissance en hauteur du *Tamarix aphylla* var *erectus* entre 2000 et 2007 dans le dispositif expérimental. (Site Ndiaffate).

| Bloc | Haut Moy du bloc |      |      | Hauteur moyenne<br>Traitement 4mx3m |      |      | Hauteur moyenne<br>Traitement 4mx4m |      |      | Hauteur moyenne<br>Traitement 4mx5m |      |      |
|------|------------------|------|------|-------------------------------------|------|------|-------------------------------------|------|------|-------------------------------------|------|------|
|      | 2000             | 2007 | Gain | 2000                                | 2007 | Gain | 2000                                | 2007 | Gain | 2000                                | 2007 | Gain |
| V    | 121              | 400  | 279  | 121                                 | 490  | 360  | 120                                 | 350  | 230  | 121                                 | 360  | 239  |
| IV   | 137              | 494  | 357  | 136                                 | 490  | 354  | 137                                 | 496  | 359  | 137                                 | 496  | 359  |
| III  | 117              | 416  | 299  | 119                                 | 398  | 259  | 114                                 | 434  | 274  | 117                                 | 416  | 267  |
| II   | 87               | 276  | 188  | 89                                  | 280  | 191  | 86                                  | 286  | 200  | 87                                  | 261  | 174  |
| I    | 81               | 221  | 140  | 81                                  | 203  | 122  | 81                                  | 222  | 141  | 81                                  | 238  | 157  |

La hauteur moyenne du *Tamarix aphylla* var *erectus* durant la période d'étude (2000-2007) varie entre 81 cm et 494 cm. Les meilleures performances sont observées au niveau des blocs situés en amont selon notre dispositif expérimental (blocs V, IV et III) (Tableau 52). Cependant pour les blocs situés plus en aval la hauteur du *Tamarix aphylla* var *erectus* varie entre 87 cm et 276 cm. Ces blocs sont caractérisés par une salinité variant entre 1,7 à 6,6

dS/m. La croissance en hauteur du *Tamarix aphylla var erectus* est inversement proportionnelle au gradient de salinité.

Avec la densité de plantation la croissance en hauteur du *Tamarix aphylla var erectus* présente un certain comportement en fonction de la densité de plantation et du gradient de salinité. (Tableau 52 ci-dessus).

En milieu non salin et légèrement salin (0,1 à 0,6 dS/m), les meilleures performances en croissance en hauteurs sont observées au niveau du traitement (4X3) c'est-à-dire 852 plants à l'hectare cas du bloc V. Ce fait semble être expliqué par l'effet de compétitif pour la lumière. Les valeurs de croissance dans les blocs IV et III (Tableau 52) présentent les meilleures croissances au niveau des traitements 4X4 et 4X5. Ces blocs sont caractérisés par des gammes de salinité qui varient entre 0,6 dS/m et 1,7 dS/m. L'effet de la texture du sol peut jouer sur ces croissances cas du bloc III où les croissances observées au niveau du traitement 4X4 sont nettement supérieures à celles du traitement 4X5. Lorsque la gamme de salinité varie entre 1,7 dS/m à 6,6 dS/m cas des blocs II et I, la croissance en hauteur du *Tamarix aphylla var erectus* est inversement proportionnelle à la densité de plantation.

Station de Ngane.

Tableau 53 : Croissance en hauteur du *Tamarix aphylla var erectus* entre 2000 et 2007 dans le dispositif expérimental. (Site Ngane).

| Bloc | Haut Moy du bloc |      |      | Hauteur moyen<br>Traitement 4mx3m |      |      | Hauteur moyen<br>Traitement 4mx4m |      |      | Hauteur moyen<br>Traitement 4mx5m |      |      |
|------|------------------|------|------|-----------------------------------|------|------|-----------------------------------|------|------|-----------------------------------|------|------|
|      | 2000             | 2007 | Gain | 2000                              | 2007 | Gain | 2000                              | 2007 | Gain | 2000                              | 2007 | Gain |
| I    | 116              | 372  | 256  | 116                               | 351  | 235  | 116                               | 375  | 259  | 116                               | 390  | 274  |
| II   | 82               | 254  | 172  | 80                                | 250  | 170  | 82                                | 241  | 159  | 84                                | 270  | 186  |
| III  | 76               | 149  | 73   | 76                                | 150  | 74   | 76                                | 151  | 75   | 76                                | 146  | 70   |

Durant la période d'étude, la hauteur moyenne du *Tamarix aphylla* varie entre 170 cm et 385 cm. Les meilleures croissances sont enregistrées au niveau du bloc I (Tableau 53) avec une conductivité électrique moyenne en période sèche qui est de l'ordre de 0,45 dS/m indiquant un caractère légèrement salin et non salin période humide avec des valeurs moyennes de CE qui sont égales à 0,22 dS/m. Ce bloc I est installé sur la terrasse moyenne avec des hauteurs moyennes de *Tamarix* qui sont de l'ordre de 372 cm.

La terrasse basse non inondable qui abrite le bloc II est caractérisée par des CE (dS/m) qui sont égales à 1,6 dS/m en périodes sèches et 1,3 dS/m en périodes humides. Ces deux valeurs en périodes sèches comme en périodes humides indiquent des caractères salins. Sur cette terrasse, les hauteurs moyennes sont 254 cm.

Les mauvaises performances sont observées sur le bloc III (Tableau 53) localisé sur la terrasse basse inondable avec des valeurs de CE dS/ qui sont de 5,4 dS/m en période sèche et 5,6 dS/m en période humide. Ces valeurs de CE (dS/m) indiquent des caractères très salins en période sèche comme en période humide. La hauteur moyenne du *Tamarix* sur ce bloc III est 149 cm durant la période 2000-2005. La croissance en hauteur du *Tamarix aphylla* est très variable en fonction du type de traitement et du type de bloc.

L'observation du Tableau 53 révèle qu'au niveau des blocs I et II localisés respectivement sur les terrasses moyennes et terrasses basses non inondables avec des caractères légèrement salins et salins en période sèche, le traitement 4X5 donne les meilleurs résultats en termes de hauteur. En milieu très salin caractérisé par la terrasse basse inondable sur laquelle est installé le bloc III (Tableau 53), l'effet du traitement n'a aucun effet sur la croissance en hauteur.

#### **4-2-9. Etude de l'effet arbre sur l'évolution des paramètres de contraintes en 2000 dans une parcelle aménagée.**

##### **A) Les caractéristiques biophysiques des parcelles.**

La parcelle 1.

Elle est caractérisée par un sol sulfaté acide hydro morphe salé sur micro-dune sableuse à matériaux complexes (sables/argiles limoneuses.) (Sadio 1985). Cette parcelle est située non loin d'une forêt d'*Wachellia seyal* à 200 mètres du cours d'eau Saloum sur une terrasse haute enclavée par des tannes sursalés. *Wachellia seyal* sont mélangés avec *Balanites aegyptiaca* et *Acacia macrostachya*.

Des prises d'échantillons ont été effectuées au niveau des trois blocs constituant la parcelle I jusqu'à une profondeur de 150 cm. Chaque bloc contient 12 placettes de forme carrée de 6 mètres de côté contenant 9 arbres de la même espèce. Chaque bloc constitue une répétition. Chaque placette est distante de l'autre de 3 mètres et la distance inter bloc est de 6 mètres. La parcelle I est une tanne à végétation composée de *spermacoea verticillata* avec quelques pieds *Wachellia seyal* et de *heleocharis mutata*. Cette parcelle est complètement inondée pendant l'hivernage. Les espèces plantées au niveau de la parcelle I sont les suivantes : *Albizia lebbek*, *Casuarina equisetifolia*, *Casuarina glauca*, *Eucalyptus camadulensis*, *Melaleuca acacioïdes*, *Melaleuca leucadendron*, *Melaleuca quinquinerva*, *Melaleuca viridiflora*, *Parkinsonia aculeata*, *Prosopis juliflora* et *Tamarix senegalensis* et *Wachellia seyal*.

Figure 84 : Dispositif expérimental (1985) de l'introduction, de certaines espèces sur sols sulfatés acides salés (Annexe XV)

Tableau 54 : Paramètres chimiques par bloc en fonction de la profondeur de la parcelle I.

|         | Bloc 1 |     | Bloc 2 |     | Bloc 3 |      |
|---------|--------|-----|--------|-----|--------|------|
|         | CE     | pH  | CE     | pH  | CE     | pH   |
| 0-15    | 0,76   | 5,1 | 0,32   | 5,2 | 0,45   | 5,2  |
| 15-30   | 0,78   | 4,9 | 0,43   | 5   | 0,6    | 5    |
| 30-45   | 0,8    | 4,8 | 0,6    | 4,6 | 0,65   | 4,8  |
| 45-60   | 0,86   | 4,6 | 0,72   | 4,2 | 0,7    | 4,6  |
| 60-75   | 0,9    | 4,3 | 0,9    | 3,8 | 0,9    | 4,4  |
| 75-90   | 1,1    | 4,4 | 1,02   | 3,2 | 0,97   | 4,45 |
| 90-105  | 1,12   | 4,2 | 1,16   | 2,3 | 1,1    | 4,2  |
| 105-120 | 1,46   | 4,4 | 1,65   | 2,5 | 2,8    | 3,2  |
| 120-135 | 1,77   | 4,1 | 2,4    | 2,7 | 3,1    | 3,1  |
| 135-150 | 1,85   | 3,8 | 2,79   | 2,9 | 3,7    | 2,9  |

Source Sadio (1985)

## La parcelle 2.

La parcelle 2 est subdivisée en deux blocs. Les sols sont de type sulfaté acide hydromorphe salé, argilo-sableux. (Sadio 1985).

Cette parcelle est située au niveau d'une terrasse moyenne à topographie plane avec une zone dépressionnaire qui se remplit d'eau pendant l'hivernage. Les espèces rencontrées sont *Mitragyna inermis*, *Combretum glutinosum*. La parcelle 2 est composée de deux blocs et chaque bloc contient 12 placettes de forme carrée avec 6 mètres de côté. Chaque placette est distante de l'autre de 3 mètres et la distance inter bloc est de 6 mètres. Au niveau de chaque carré 9 arbres de la même espèce ont été plantés ; il s'agit de : *Albizia lebbek*, *Casuarina equisetifolia*, *Casuarina glauca*, *Eucalyptus camdulensis*, *Melaleuca acacioides*, *Melaleuca leucadendron*, *Melaleuca quinquinerva*, *Melaleuca viridiflora*, *Parkinsonia aculeata*, *Prosopis juliflora* *Tamarix senegalensis* et *Wachellia seyal*,

Chaque bloc constitue une répétition des mêmes espèces et contient 12 carrés. (Figure 84 annexe XV)

Tableau 55 : Paramètres chimiques par bloc en fonction de la profondeur de la parcelle II.

|         | Bloc 4 |     | Bloc 5 |     |
|---------|--------|-----|--------|-----|
|         | CE     | pH  | CE     | pH  |
| 0-15    | 0,2    | 4,4 | 0,2    | 5,5 |
| 15-30   | 0,25   | 4,1 | 0,1    | 5,5 |
| 30-45   | 0,27   | 4,2 | 0,13   | 5,3 |
| 45-60   | 0,34   | 4   | 0,13   | 5,1 |
| 60-75   | 0,52   | 4   | 0,2    | 5,1 |
| 75-90   | 0,67   | 4,8 | 0,27   | 5,1 |
| 90-105  | 0,75   | 4,7 | 0,36   | 5,1 |
| 105-120 | 0,77   | 4,6 | 0,55   | 5   |
| 120-135 | 0,82   | 4,7 | 0,72   | 4   |
| 135-150 | 0,89   | 4,8 | 0,84   | 4,5 |

Source Sadio (1985)

### La parcelle 3.

Elle est caractérisée par un sol sablo-limoneux sulfaté acide à jarosite évoluée salé. (Sadio 1985). Cette parcelle est une tanne localement couverte de végétation herbacée *Blutaparon vermiculare*, *Ctenium elegans* et quelques pieds de *Combretum glutinosum*. Cette parcelle est située au niveau de la terrasse moyenne inondée pendant l'hivernage. Elle est subdivisée en trois blocs. Chaque bloc contient 12 placettes et chaque placette est un carré de 6 mètres de côté avec 9 arbres plantés. Les espèces introduites sont les suivantes : *Wachellia seyal*, *Albizia lebbek*, *casuarina equisetifolia*, *Casuarina glauca*, *Eucalyptus camdulensis*, *Melaleuca acacioïdes*, *Melaleuca leucadendron*, *Melaleuca quinquinerva*, *Melaleuca viridiflora*, *parkinsonia aculeata*, *Prosopis juliflora*, et *Tamarix senegalensis*. (Figure 84 annexe XV). Chaque bloc constitue une répétition. Les placettes sont distantes l'une de l'autre de 3 mètres et les distances inter bloc sont de 6 mètres.

Tableau 56 : Paramètres chimiques par bloc en fonction de la profondeur de la parcelle III.

|         | Bloc 6 |     | Bloc 7 |     | Bloc 8 |     |
|---------|--------|-----|--------|-----|--------|-----|
|         | CE     | pH  | CE     | pH  | CE     | pH  |
| 0-15    | 2,5    | 4,2 | 2,2    | 4   | 2,04   | 5,3 |
| 15-30   | 3      | 4,7 | 2,2    | 4,2 | 2,2    | 5,2 |
| 30-45   | 4      | 5   | 2,4    | 4,2 | 3,07   | 4,4 |
| 45-60   | 4,3    | 5,3 | 2,7    | 4,5 | 3,1    | 4,6 |
| 60-75   | 3,7    | 5,2 | 2,5    | 4,5 | 3,17   | 4,8 |
| 75-90   | 3,4    | 5,3 | 2,5    | 4,6 | 3,25   | 4,9 |
| 90-105  | 3,1    | 5   | 1,92   | 4,6 | 3,5    | 4,7 |
| 105-120 | 3,1    | 5,7 | 1,98   | 4,9 | 3,4    | 4,6 |
| 120-135 | 2,9    | 6,2 | 2,04   | 5,1 | 3,33   | 4,4 |
| 135-150 | 2,7    | 6,5 | 2,09   | 5   | 3,3    | 4,4 |

Source Sadio (1985)

### La parcelle 4.

Elle est caractérisée par un sol sulfaté acide à tâches rhodiques, moyennement salé à sursalé sur matériaux argilo-sableux. (Sadio 1985). Cette parcelle est aussi inondée pendant l'hivernage, la végétation rencontrée est le *Blutaparon vermiculare*. Cette parcelle est localisée sur une tanne localement couverte avec la présence d'un pied de *Mitragyna inermis*. Elle est située au niveau de la terrasse basse.

Elle constitue la limite des tannes localement couvertes constituées essentiellement de *Mitragyna inermis*. Nous notons la présence de croûtes de sels en surface. Cette parcelle est subdivisée en 2 blocs. Chaque bloc est composé de 12 placettes de forme carrée avec 6 mètres de côté. Au niveau de chaque placette, on a introduit 9 arbres de la même espèce. Les placettes sont distantes l'une de l'autre de 3 mètres et la distance inter bloc est de 6 mètres.

Les espèces introduites sont les suivantes : *Albizia lebbek*, *Casuarina equisetifolia*, *Casuarina glauca*, *Eucalyptus camdulensis*, *Melaleuca acacioïdes*, *Melaleuca leucadendron*, *Melaleuca*

*quinquinerva*, *Melaleuca viridiflora*, *parkinsonia aculeata*, *Prosopis juliflora* *Tamarix senegalensis* et *Wachellia seyal*. Chaque bloc constitue une répétition. (Figure 84 annexe XV)

Tableau 57 : Paramètres chimiques par bloc en fonction de la profondeur de la parcelle IV.

|         | Bloc 9 |     | Bloc 10 |     |
|---------|--------|-----|---------|-----|
|         | CE     | pH  | CE      | pH  |
| 0-15    | 4,95   | 4,3 | 3,59    | 4,2 |
| 15-30   | 5,26   | 4   | 3,6     | 4   |
| 30-45   | 4,8    | 4,2 | 3,62    | 4,3 |
| 45-60   | 5,5    | 4,3 | 3,66    | 4,3 |
| 60-75   | 3,58   | 4,3 | 3,5     | 4,1 |
| 75-90   | 3,78   | 4,2 | 3,43    | 4,1 |
| 90-105  | 2,53   | 4,2 | 2,46    | 4,2 |
| 105-120 | 2,37   | 4,3 | 2,33    | 4,2 |
| 120-135 | 2,18   | 4,2 | 2,19    | 4,2 |
| 135-150 | 2,09   | 4,1 | 2,02    | 4,1 |

Source Sadio (1985)

La parcelle 87.

Cette parcelle est caractérisée par un sol sablo-argileux sulfaté acide peu salé à jarosite. (Sadio 1985). Elle est couverte d'une végétation herbacée de *Blutaparon vermiculare*, *Ctenium elegans* et quelques pieds de *Combretum glutinosum*.

Cette parcelle est située sur la terrasse moyenne à topographie inclinée NS. Cette parcelle est enclavée par des tannes herbues. En certains endroits du sol, on note une accumulation de croûtes de sel en surface à structure poudreuse de couleur brune et on note sur certaines plages la présence de *Blutaparon vermiculare*. (Figure 84 annexe XV)

Cette parcelle est subdivisée en 2 blocs et chaque bloc contient 21 placettes de forme carrée avec 12 mètres de côte. Les espèces introduites ont été plantées au niveau des 17 placettes et chaque placette contient 25 arbres de la même espèce. Les 4 autres placettes sont restées nues et servant de témoin. Chaque placette est distante de l'autre de 3 mètres. La distance inter bloc est de 15 mètres. Chaque bloc constitue une répétition. Les espèces introduites sont les suivantes :

*Acacia halimnus*, *Acacia holocericea*, *Acacia trachydea*, *Cassia sp*, *Casuarina equisetifolia*, *Casuarina equisetifolia*, *Casuarina padula*, *Eucalyptus camdulensis*, *Eucalyptus microtheca*, *Melaleuca acacoïdes*, *Melaleuca glauca*, *Melaleuca lassiendra*, *Melaleuca pauperiflora*, *Melaleuca viridiflora*, *parkinsonia aculeata*, *Prosopis chilensis* et *Prosopis juliflora*. (Figure 84 annexe XV)

Tableau 58 : Paramètres chimiques par bloc en fonction de la profondeur de la parcelle 87.

|         | Bloc 11 |     | Bloc 12 |     |
|---------|---------|-----|---------|-----|
|         | CE      | pH  | CE      | pH  |
| 0-15    | 6,1     | 5,8 | 6,3     | 6,5 |
| 15-30   | 6       | 5,7 | 6,2     | 5,5 |
| 30-45   | 5,9     | 5,5 | 6       | 5   |
| 45-60   | 5,8     | 4,5 | 5,7     | 4,7 |
| 60-75   | 5,4     | 4,5 | 5,5     | 4,6 |
| 75-90   | 5,2     | 4,3 | 5,5     | 4,5 |
| 90-105  | 5,1     | 4,2 | 5,4     | 4,5 |
| 105-120 | 4,6     | 4   | 4,5     | 4,4 |
| 120-135 | 4,4     | 3,8 | 4,4     | 4,4 |
| 135-150 | 4,3     | 3,6 | 4,4     | 4,1 |
| 0-15    | 6,1     | 5,8 | 6,3     | 6,5 |
| 15-30   | 6       | 5,7 | 6,2     | 5,5 |

Source Sadio (1985)

### B) Evolution du taux de survie et de la croissance des espèces introduites.

Les espèces *Melaleuca viridiflora*, *Melaleuca acacioides* sont présentes sur les 5 parcelles, *Melaleuca leucadendron* dans les 4 parcelles, *Parkinsonia aculeata* dans les parcelles 2, 3 et 5, *Eucalyptus camadulensis* dans les parcelles 1, 5, *Tamarix senegalensis* dans les parcelles 2, 4, *Prosopis juliflora* dans les parcelles 3, 4, *Melaleuca quinquinerva* dans la parcelle 4. Les espèces *Acacia holocericea*, *Eucalyptus microtheca*, *Melaleuca glomerata*, *Melaleuca lassiendra*, *Melaleuca pauperiflora* et *Prosopis chilensis*, ne sont présentes que dans la parcelle 5.

Figure 85 : Evolution du dispositif de l'essai de l'introduction de certaines espèces sur sols sulfatés acides salés de 1985 à 2000 (Annexe XVI)

#### Parcelle 1

L'espèce *Melaleuca acacioides* est présente sur les 3 blocs d'où un taux de réussite par bloc de 100%. Avec un taux de réussite de 100% pour le bloc 1 et bloc 3 c'est à dire parmi les 9 arbres plantés en 1985, on retrouve en 2000 9 arbres. Cependant pour le bloc 2 le taux de réussite est de 88% c'est-à-dire on retrouve 8 arbres en 2000 parmi les 9 plantés en 1985.

La hauteur moyenne des arbres par bloc varie entre 5,3 et 8 mètres.

L'espèce *Melaleuca leucadendron*, elle aussi est présente sur l'ensemble des blocs de la parcelle 1 de 1985 en 2000 d'où une présence de 100%. Le taux de réussite est de 55% pour le bloc 1 (5 sur 9), 33% au niveau du bloc 2 (3 sur 9) et 78% pour le bloc 3 (7 sur 9). la hauteur moyenne des arbres varie entre 5,8 et 8 mètres sur l'ensemble des blocs.

L'espèce *Melaleuca viridiflora* est présente sur l'ensemble des 3 blocs de la parcelle 1. Le taux de réussite par placette est de 44% pour le bloc 1 avec 4 arbres ayant survécu par

rapport aux 9 arbres plantés en 1985, 33% pour les blocs 2 et 3 avec 3 arbres sur 9. La hauteur moyenne varie entre 4,42 et 6,37mètres.

L'espèce *Eucalyptus camadulensis*. Cette espèce n'est présente que sur un seul bloc parmi les trois. Le taux de survie est de 33% avec 3 arbres survécus en 2000 parmi les 9 plantés en 1985. La hauteur moyenne des arbres est de 12,56 mètres.

#### Parcelles 2.

L'espèce *Melaleuca viridiflora* est présente sur les deux blocs d'où un taux de présence par bloc de 100%. Dans ces blocs, 7 arbres parmi les 9 plantés en 1985 sont présents en 2000 d'où un taux de survie de 78% la hauteur moyenne varie entre 4,70 et 4,50 mètres.

L'espèce *Parkinsonia aculeata* présente un taux de survie de 78% avec une hauteur moyenne de 4,53 mètres. Cette espèce n'est présente que sur un seul bloc par les deux.

L'espèce *Melaleuca acacioides* est observée sur l'ensemble des deux blocs avec un taux de survie de 100% et une hauteur moyenne variant entre 4,10 et 4,20 mètres.

L'espèce *Tamarix senegalensis* est présente sur un seul bloc avec un taux de survie de 22% avec une présence de 2 sur les 9 plantés en 1985 avec une hauteur moyenne de 90 cm.

L'espèce *Melaleuca leucadendron* est observée au niveau des deux blocs avec une présence de 7 arbres parmi les 9 plantés en 1985 d'un taux de survie de 78% avec une hauteur moyenne de 12 mètres.

#### Parcelle 3

Dans cette parcelles les espèces *Melaleuca acacioides* *Melaleuca leucadendron* et *Melaleuca viridiflora*, sont présentes sur les blocs tout un taux de réussite par bloc de 100%. Cependant le taux de réussite au niveau de la placette de 1985 en 2000 est :

- Pour *Melaleuca leucadendron* sur les placettes de l'ensemble des blocs, 3 arbres ont survécu parmi les 9 plantés 1985 d'un taux de survie de 33 avec une hauteur moyenne de 7 mètres dans le bloc1, 3,80mètres pour le bloc 2 et 5 mètres pour le bloc 3. Cependant nous constatons que la mortalité des arbres se poursuit, présence d'arbres morts sur pied dans le bloc2 et bloc3.

- Pour *Melaleuca viridiflora* le taux de survie par bloc est très variable il est de 33% (3/9) pour le bloc 1, 11% pour le bloc 2 (1/9) et 22%pour le bloc 3 (2/9). La hauteur moyenne varie entre 4,50 mètres pour les blocs 1, 2 et 3 mètres pour le bloc 3.

La mortalité des arbres se poursuit sur l'ensemble des blocs.

- Pour *Melaleuca acacioides* le taux de survie par placette et par bloc est de 100% pour les blocs 1 et 2 (9/9), 89% pour le bloc 2 (8/9). La hauteur moyenne est des 4,38 pour le bloc 1, 6,06 mètres pour le bloc 2 et 5,40 mètres pour le bloc 3.

- Pour *Prosopis juliflora*, cette espèce n'est présente qu'au niveau du bloc 2. Parmi les 9 arbres plantés en 1985, 5 ont survécu jusqu'en 2000 ce qui fait un rapport de 5/9 d'où un taux de survie de 56%. La hauteur moyenne des arbres est de 3 mètres.
- Pour *Parkinsonia aculeata*. Cette espèce n'est observée qu'au niveau du bloc 3 avec 1 seul arbre survécu de 1985 à 2000 avec un rapport de 1/9 d'où un taux de survie de 11%, la hauteur moyenne est de 2 mètres.

#### Parcelle 4-85

L'espèce *Melaleuca viridiflora* n'est observée que dans le bloc 1 avec un taux de survie est de 22%. Deux arbres ont survécu parmi les 9 introduits. La hauteur moyenne est de 6 mètres. La mortalité des arbres se poursuit car présence d'un arbre mort dans la placette.

L'espèce *Melaleuca leucadendron* est présente que dans le bloc 1 avec un arbre parmi les 9 plantés en 1985 d'un rapport de 1/9 avec un taux de survie de 11%. La hauteur moyenne est de 0,5 mètre.

L'espèce *Melaleuca quinquinerva* présente un taux de survie de 22% d'où deux arbres ont survécu parmi les 9 arbres. Dans cette placette la mortalité des arbres se poursuit. La hauteur moyenne est de 7 mètres.

L'espèce *Melaleuca acacioides*. Cette espèce est présente sur l'ensemble des deux blocs constituant la parcelle IV-85 avec un taux de survie de 100% au niveau des blocs 1 et 2 avec une hauteur moyenne de 2 mètres.

L'espèce *Prosopis juliflora*. Elle est présente dans le bloc 1 avec un seul arbre parmi les 9 plantés en 1985 d'où un taux de survie de 11%. La hauteur moyenne est de 4 mètres.

L'espèce *Tamarix senegalensis*. Le taux de survie des 22% d'où la présence de 2 arbres sur les 9 plantés en 1985. La hauteur moyenne est de 0,75 mètre.

#### Parcelle 87

L'espèce *Melaleuca viridiflora* est présente dans les deux blocs avec 8 arbres parmi les 25 introduits ont survécu dans le bloc 1 et 15 pour le bloc 2 avec une hauteur moyenne de 6, 5 mètres. Le taux de survie est de 32% pour le bloc 1 et 60% pour le bloc 2.

L'espèce *Melaleuca acacioides*. Cette espèce présente un taux de survie de 100% (25/25) dans le bloc 1 et 88% (22/25) dans le bloc 2. La hauteur moyenne est de 3,25 mètres.

L'espèce *Acacia holocericea*. Sur l'ensemble des deux blocs la mortalité des arbres se poursuit. Le taux de survie est de 8% (2/25) avec une hauteur moyenne 5 mètres.

L'espèce *Eucalyptus camadulensis* Le taux de survie est de 20% (5/25) pour le bloc 1 et 8% (2/25) pour le bloc 2 avec une hauteur moyenne de 8 mètres.

L'espèce *Melaleuca glomerata*. Cette espèce présente un taux de survie de 56% (14/25) dans le bloc 2 et 76% (19/25) dans le bloc 1 avec une hauteur moyenne de 2,30 mètres.

L'espèce *Melaleuca pomperiflora*. Le taux de survie de cette espèce varie entre 16 et 12% dans les deux blocs avec 3 ou 4 arbres ayant survécu parmi les 25 plantés en 1987. La hauteur moyenne est de 1,40 mètre. La mortalité de cette espèce se poursuit car présence d'arbres morts dans les deux blocs.

L'espèce *Eucalyptus microtheca*. Dans cette parcelle 87, 1 seul arbre est observé dans le bloc 1 en 2000 et 2 dans le bloc avec une hauteur moyenne de 17 mètres. Sur l'ensemble des deux blocs la mortalité des arbres se poursuit.

L'espèce *Melaleuca lassiendra*. Cette espèce présente un taux de survie assez élevé avec 92% (23/25) dans le bloc 1 et 80% (20/25) dans le bloc 2. La hauteur moyenne est de 3,25 mètres.

Les espèces *Parkinsonia aculeata* et *Prosopis chilensis* ne sont présentes que dans le bloc2 de la parcelle 87 avec des taux de survies respectifs de 20% (5/25) et 8% (2/25).les hauteurs moyennes sont respectivement 1,60 et 0,5 mètre.

### **C) Evolution des paramètres chimiques CE et pH des parcelles de 1985 en 2000.**

Les données de CE et pH de 1985 représentent les valeurs moyennes des blocs constituant chaque parcelle lors de l'installation de la parcelle. Les données de 2000 représentent les valeurs CE et pH des parcelles dans les zones où il n'y a pas d'introduction d'arbres. Ces zones sont considérées comme des zones témoins Ces données de 2000 sont les moyennes des 4 expositions (Nord, Sud, Est et Ouest.) encadrant chaque bloc.

Etude comparative des paramètres chimiques CE et pH des parcelles de 1985 en 2000.

Les histogrammes des CE 85 et CE témoin des différentes parcelles présentent des allures variées avec une tendance croissante d'où une augmentation de la salinité en fonction de la profondeur. Cependant des tendances décroissantes sont observées sur les histogrammes figure 86D et figure 86E pour les conductivités électriques CE 85. Dans la parcelle II (figure 86B), les CE témoins sont supérieures à celles des CE 85. Contrairement aux parcelles I, III, IV et 87 (Figures 86(A ; C ; D et E)) où les CE 85 sont supérieures à celles des témoins.

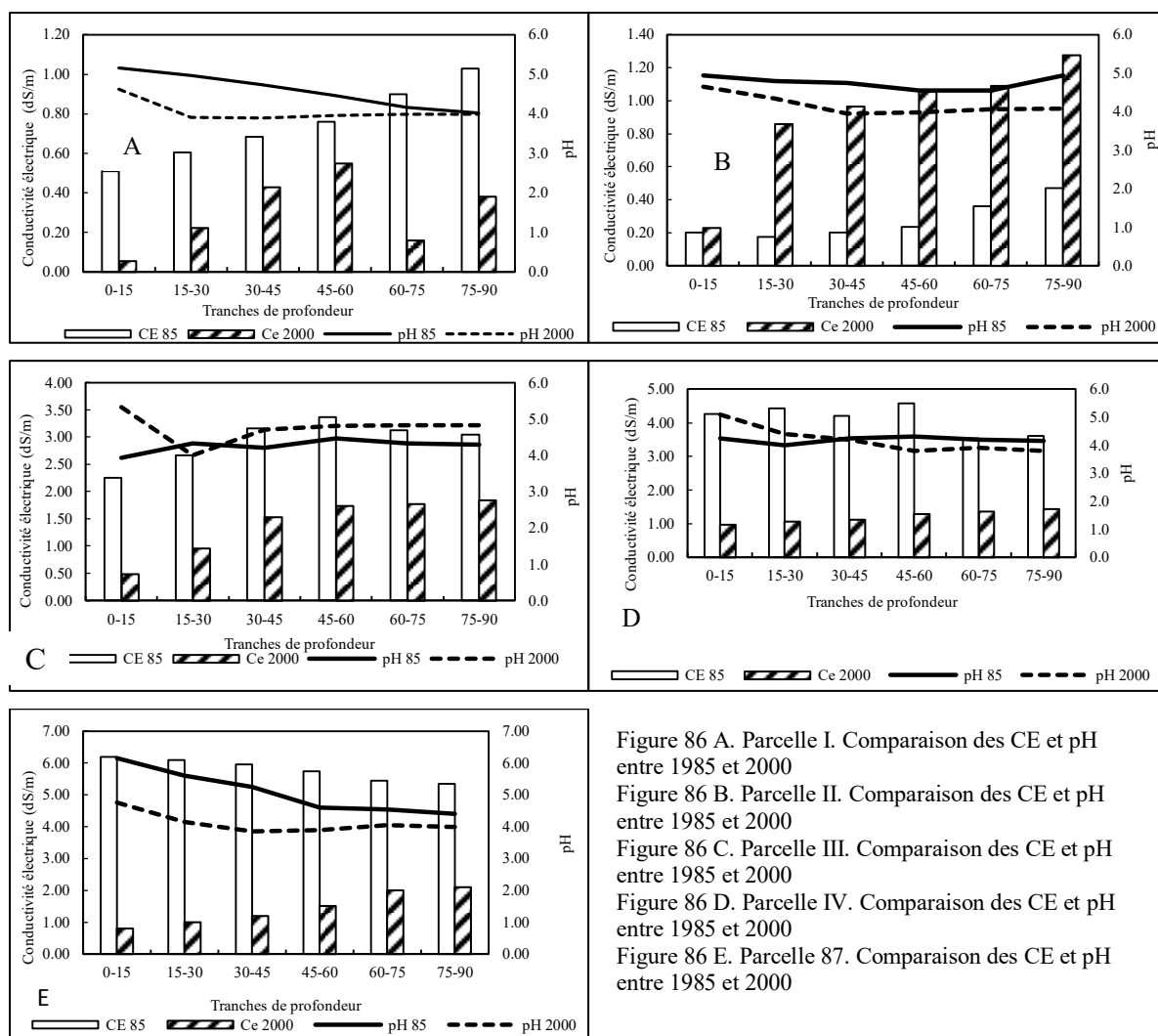


Figure 86 : Comparaison des paramètres de CE et pH dans les différentes parcelles en fonction de la profondeur entre 1985 et 2000

Etude de l'évolution des paramètres chimiques CE et pH dans les parcelles au niveau des zones avec présence d'arbres de 1985 en 2000.

Ces données chimiques CE arbres et pH arbres résultent de la moyenne des paramètres mesurés dans les différentes placettes contenant des arbres dans les blocs constituant la parcelle.

Tableau 59 : Paramètres chimiques CE et pH des zones avec présence d'arbres dans les différentes parcelles. (Annexe XVII).

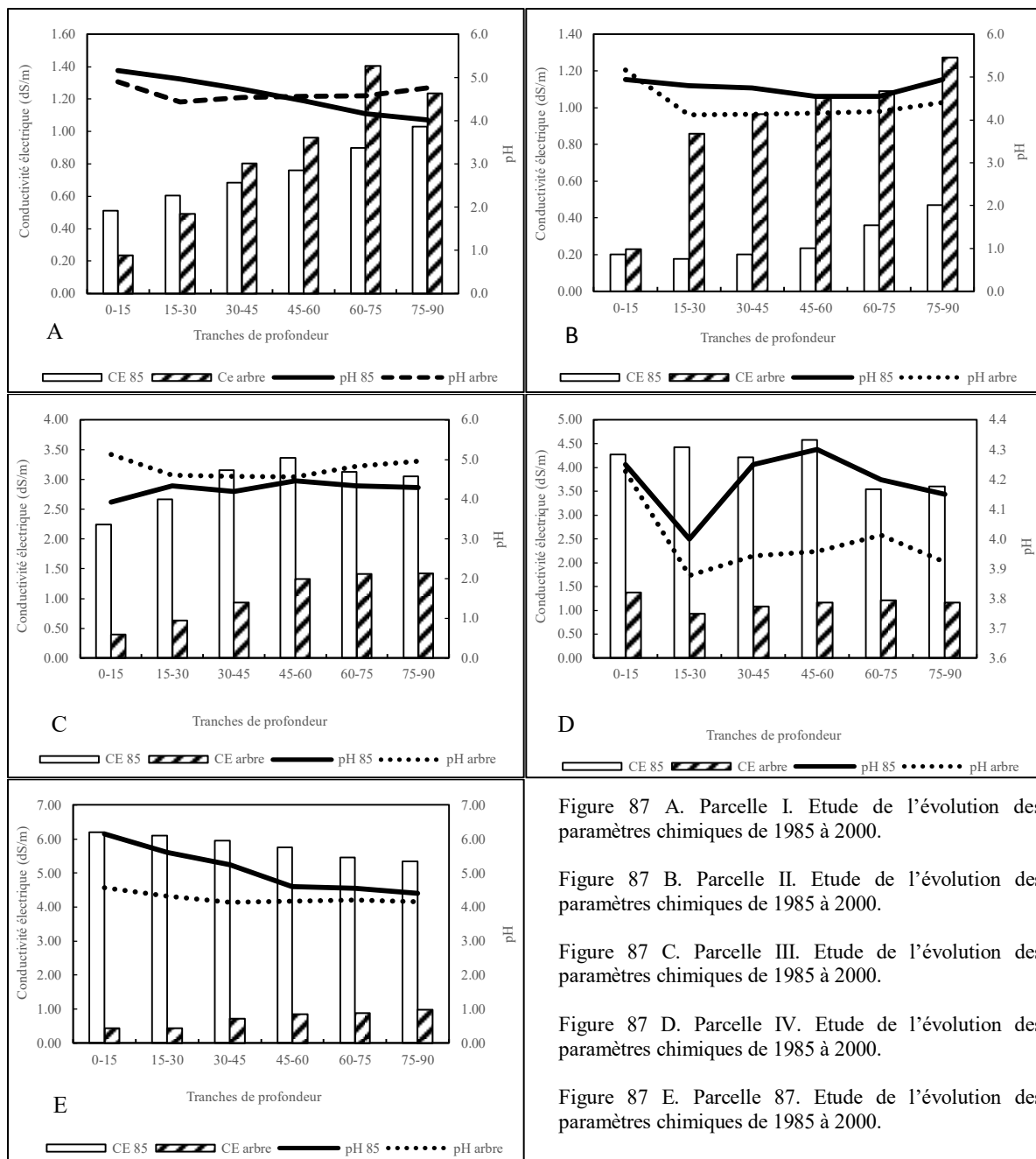


Figure 87 : Etude de l'évolution des paramètres des paramètres chimiques dans les différentes parcelles avec arbres de 1985 à 2000

Les histogrammes des CE arbres et CE 85 présentent une tendance croissante pour les parcelles II, II, III, (Figures 87 (A, B et C). Les tendances décroissantes sont observées dans les parcelles IV et 87 (Figures 87 (D et E). Cependant dans la parcelle IV (Figure 87 D), la CE arbre présente une tendance décroissante en revanche elle est croissante dans la parcelle 87 (Figure 87 E). Cette diminution ou augmentation des valeurs des CE (dS/m) caractérisent une diminution ou une augmentation de la salinité en fonction de la profondeur.

En termes de gammes de salinité et des valeurs absolues des CE (dS/m) les parcelles présentent des comportements différents.

Pour la parcelle I (Figure 87 A), les valeurs des CE (dS/m) des profils avec les arbres sont supérieures à celles de 1985 à partir des tranches 30-90 cm. Pour cette même tranche de profondeur, les deux profils sont identiques en termes de gamme de salinité : moyennement saline.

Pour la parcelle II (Figure 87 B), les CE arbres sont partout supérieures à celles de 1985 d'où une augmentation de la gamme saline qui passe du légèrement saline en 1985 au moyennement saline en 2000.

Pour les parcelles III, IV et 87 (Figures 87 (C, D et E), les valeurs des CE (dS/m) sont partout supérieures à celles des profils avec arbres (2000). On assiste à une diminution respective des gammes de salinité qui passe du salin au moyennement salin pour les tranches de profondeurs pour les parcelles II et IV. Pour la parcelle 88 (Figure 88 E) elle passe de la gamme très saline à la gamme légèrement saline et moyennement saline.

Etude comparative des paramètres chimiques CE et pH dans les parcelles au niveau des zones avec présence d'arbres et zones témoins.

Ces prélèvements d'échantillons et analyses ont été effectués dans la même période pour chaque parcelle. Sur la Figure 88, les CE des parcelles témoins et des CE des parcelles avec arbres présentent des tendances croissantes sur l'ensemble des parcelles d'où une augmentation de la salinité en fonction de la profondeur. Cependant seule la parcelle IV (Figure 88 D) on observe une tendance décroissante dans les secteurs où l'on note la présence d'arbres. Les valeurs des CE des placettes avec arbres sont partout inférieures à celles des placettes sans arbres exception faite pour la tranche de surface de la parcelle IV (Figure 88 D) où la valeur du CE de cette tranche de surface est supérieure à celle la zone témoin.

En terme de gamme de salinité les placettes avec arbres et les placettes témoins présentent les mêmes de gamme de salinité c'est-à-dire moyennement salin à partir de la tranche de 45 cm jusqu'à la profondeur 90 cm. Trois gammes de salinité ont été enregistrées une gamme non saline observée pour les tranches de surfaces (0-15 cm) pour les placettes avec arbres des parcelles I et II. Cette même gamme non saline est aussi enregistrée au niveau de la zone témoin de la parcelle II, une gamme légèrement saline observée pour les tranches 0-15 cm et 15-30 des placettes avec arbres dans les parcelles I, II, III et 87. Pour les zones témoins cette gamme de salinité est enregistrée pour les tranches 0-15 et 15-30 cm dans les parcelles I. Au niveau de la parcelle III elle est uniquement enregistrée au niveau de la tranche de surface (0-15 cm). Les courbes d'acidité présentent toutes des tendances décroissantes donc une

augmentation du caractère d'acidité en fonction de la profondeur pour les parcelles avec arbres et les zones témoins.

Deux gammes d'acidité ont été enregistrées :- Une gamme acide observée en surface (tranche 0-15 cm sur l'ensemble des parcelles avec arbres et des zones témoins. Cependant on note une exception au niveau de la parcelle IV avec arbres où l'on enregistre un caractère très acide en surface (0-15 cm). Ce caractère acide est aussi enregistré le long du profil de la parcelle III avec arbres et dans la zone de cette même parcelle à partir de la profondeur comprise entre 30 et 90 cm. Elle est aussi observée au niveau de la parcelle I avec arbres pour une profondeur comprise entre 45-90 cm. -Une gamme très acide est généralement enregistrée pour les tranches de profondeurs comprises entre 30 et 90 cm sur l'ensemble des parcelles avec arbres et des zones témoins. Ce type de caractère est aussi observé dans la parcelle I avec arbre pour les tranches de profondeurs comprises entre 15 et 90 cm.

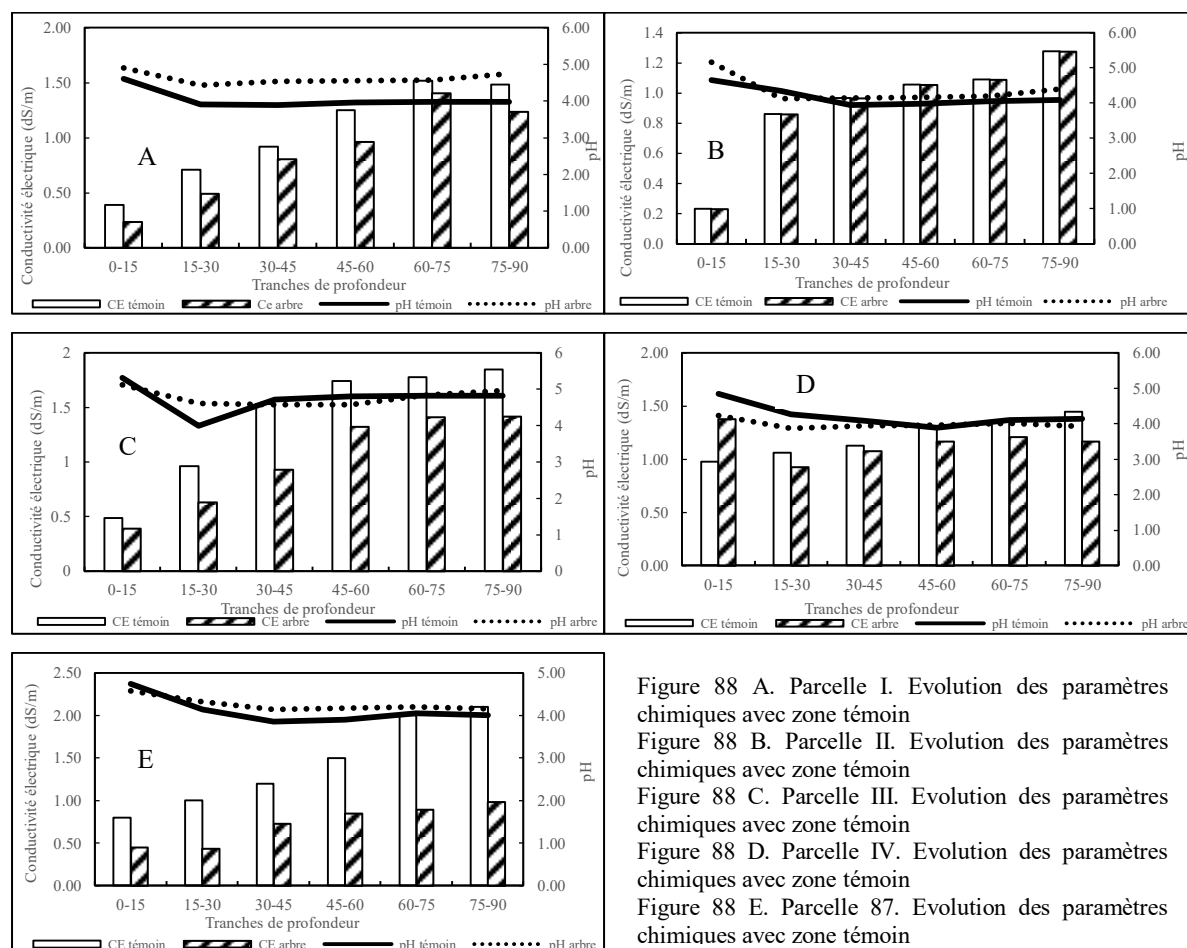


Figure 88 : Etude de l'évolution des paramètres chimiques entre parcelle avec arbres et zones témoins

### 4-3 Discussions

Pour l'étude de la végétation en fonction des unités géomorphologiques et des types de faciès, nous avons constaté sur sols à texture fine (taux d'argile > 24%, sud du fleuve Saloum) que la diversité biologique est plus importante par rapport au sol dont la texture est grossière (taux de sable de 55%, nord du fleuve Saloum). Dans le secteur de Ndiaffate, 49 espèces ont été recensées contre 41 dans le secteur de Ngane. Ces espèces sont réparties en classes en fonction de leur fréquence et de leur contribution spécifique.

Ces résultats sont en parfaite adéquation d'une part avec ceux des travaux de plusieurs auteurs (Bille, 1977 ; Cornet, 1981 ; Barral et al. 1983) qui ont mis en évidence les variations de la structure spécifique de la végétation en relation avec les conditions édapho-climatiques, et d'autre part avec ceux de Thiaw et al. (2011) dans la caractérisation de la végétation herbacée dans la région de Kaffrine (Centre Ouest Sénégal). Ils ont mis en évidence le regroupement de certaines espèces en fonction des paramètres physico-chimiques des sols à savoir le regroupement à *Tephrosia pedicellata* sur sol à texture argilo-limoneuse et le groupement *Ipomoea pestigridis* et *Ipomoea vagans* sur sols à texture sableuse. Ils ont mis en évidence la richesse floristique de cette zone avec 63 espèces herbacées réparties dans 50 genres et 20 familles.

Les résultats obtenus sur la répartition en classe en fonction de leur fréquence et de leur contribution spécifique sont en conformité avec celles observées par Ashraf (2008) pour la distribution de la végétation en fonction des facteurs édaphiques dans le désert du Cholistan (Pakistan). Les travaux de Diallo et al. (2009) sur la variabilité de la végétation herbacée des Niayes de Pikine sont en parfaite adéquation avec nos résultats obtenus dans le bassin arachidier. Dans cette étude (Diallo et al., 2009), cette forte variabilité floristique riche de 43 familles représentées par 119 genres et 163 espèces est un témoin de l'impact de la sécheresse, de l'augmentation de la salinité et l'action anthropique. Il apparaît clairement dans cette étude que les différents types de végétation correspondent aux niveaux de salinité et d'humidité du sol, de la matière organique et de la concentration ionique.

Les travaux de Jafari et al. (2004) sur les relations végétation - sol dans la région de Hoz-e-Soltan (Iran) ont révélé l'existence d'une relation spécifique entre les caractéristiques du sol et la distribution de la végétation. Les caractéristiques du sol étaient la salinité et la texture. Dans notre étude nous avons ciblé la texture, l'humidité, la salinité et le pH comme variables. Notre démarche est, en partie, en adéquation avec celle de Kassas (1957), Ungar (1968), Fleurs (1975), Jafari (1989), Moghimi (1989), Caballero et al., (1994), Maryam et al.,

(1995) et WEI-Qiang et al., (2008) sur les relations entre les caractéristiques des sols et la végétation halophyte.

Ces auteurs ont constaté que la distribution de la végétation dans une région donnée est fonction de la salinité du sol. Abu-Ziada (1980) a pu démontrer une forte relation de la distribution de la végétation avec la salinité et l'humidité dans le sol. Les travaux de Jafari et al., (2004), comme précédemment, ont indiqué que la texture du sol est une variable a un effet sur la distribution de la végétation car elle a une influence sur le taux et les substances nutritives disponibles dans le sol. Dans notre étude, l'utilisation de l'ACP avec comme variable effective la texture, a permis la mise en évidence à Ndiassate comme à Ngane des groupes d'espèces de tailles différentes pour chaque texture : sableuse, sablo-limoneuse et limono-sableuse. Cela nous a permis de distinguer des espèces végétales spécifiques colonisant des types de texture de sols donnés et sur des gammes spécifiques de salinité, d'humidité et d'acidité.

Il apparaît clairement au niveau du Sud du fleuve Saloum que les espèces rencontrées strictement sur sols à texture sableuse, sablo-limoneuse et limono-sableuse caractérisent mieux ces milieux. Lorsque la texture est sableuse, *Chloris pilosa* et *Merremia tridentata* sont les mieux indiquées. Elles caractérisent les sols légèrement salins à salins avec une acidité variant de l'acide au faiblement acide avec des teneurs d'humidité variant 0,23% à 5%.

Lorsque la texture du sol est sablo limoneuse les espèces *Conocarpus erectus*, *Balanites aegyptiaca* et *Kohautia grandifolia* sont les mieux adaptées pour faire la caractérisation de ces sols sulfatés acides salés. Elles indiquent les milieux caractérisés par une teneur en humidité de 1,25% à 7,25%, avec des caractères de salinité de moyennement salin à très salin et un caractère d'acidité évoluant du très acide au faiblement acide. Les espèces enregistrées strictement lorsque la texture est limono-sableuse dont les pourcentages de contribution sont les plus élevés sont : *Pakinsonia aculeata*, *Andropogon gayanus* et *Nymphaea lotus*. Ces espèces caractérisent ces sols dont les caractères de salinité évoluent du non salins à salins avec un caractère d'acidité allant du très acide à neutre pour une humidité de 0,51% à 30,51%.

Au nord du fleuve Saloum les espèces *Hibiscus asper* et *Calotropis procera* sont rencontrées uniquement sur sols à texture sableuse. Ces espèces indiquent un milieu sableux avec des caractères non salins à légèrement salins. Les caractères d'acidité enregistrés varient de l'acide au faiblement acide. L'humidité varie entre 0,07 et 1,03%.

L'espèce rencontrée strictement sur sols sulfatés acides salés à texture sablo-limoneuse est *Sesuvium portulacastrum*. Elle indique un milieu salin avec un caractère acide et un taux d'humidité de 9%. Les espèces strictement rencontrées lorsqu'on a une texture limono-

sableuse sont : *Kohautia grandiflora*, *Anarcadium occidentalis*, *Crotalaria glaucoïdes* et *Pennisetum pedicellatum*. Ces espèces indiquent un milieu dont la gamme de salinité varie entre non salin et moyennement salin avec un caractère très acide à faiblement acide pour une humidité du sol variant entre 0,38 et 1,78%. Ces résultats confirment ceux de Jafari et al., (2004), qui sont parvenus à identifier des espèces indicatrices des sols de salinité faible et de texture grossière (*Artemisia sieberi*) et des sols à salinité moyenne à forte (*Tamarix sp.*, *Suaeda aegyptiaca*).

Dans notre étude, nous avons tenu compte des recommandations faites par les auteurs cités plus haut pour une classification des espèces végétales dans les sols (Ndiaffate et Ngane) en fonction des types de textures et des gammes maximales et minimales du taux d'humidité, du caractère d'acidité et de salinité. Ces derniers ont observé l'influence de la texture du sol sur la distribution de la végétation. Cette texture affecte le taux d'humidité du sol et par conséquent la nutrition des espèces affectant ainsi leur distribution.

Dans le cadre de la récupération de ces milieux par reboisement ; des travaux faisant référence à l'utilisation des ligneux pour tester le comportement et l'évaluation de l'effet de la hauteur et de la densité de plantation sur la production de la biomasse de certaines espèces ont été consignés dans le rapport d'activité 1998 CNRA de Bambey Bp 53 Bambey Sénégal. Les résultats obtenus à partir de deux types d'essais un en station (Bambey 1993) et un en milieu paysan (Yéri Gueye 1996). De ces essais, la capacité de résistance des espèces après coupes a été évaluée ainsi que le comportement des espèces du point de vue taux de survie et croissance en hauteur et diamètre. La nature du sol a un effet hautement significatif sur le taux de survie et la croissance des plants, toutes espèces confondues. En effet les sols sableux latéritiques seraient plus indiqués suivis des sols Deck Dior (sols ferrugineux tropicaux peu lessivés) et des sols Dior (sols ferrugineux tropicaux lessivés). L'espèce *Acacia laeta* a donné les meilleurs résultats sur tous les types de sols pour la survie et la croissance. L'utilisation de ces espèces dans l'optique de l'amélioration de la jachère et les résultats obtenus sur le suivi le comportement (croissance, taux de survie des espèces plantées). Leurs résultats ont montré que le taux de survie moyen diminue avec une augmentation de l'écartement entre les lignes chez *Wachellia laeta* *Wachellia raddiana*. Cependant, cette baisse est plus notable chez cette dernière espèce où il passe de 55 % pour l'écartement 2x2 m à 24 % pour l'écartement 4x4 m. Chez *Wahellia adansonii*, le taux de survie augmente légèrement au contraire avec l'accroissement de l'écartement entre les lignes (44 à 53 %). Par contre, il n'apparaît un effet notable de la densité de plantation sur la croissance en hauteur chez *Wachellia raddiana* et *Wachellia adansonii*. Les résultats sur la densité optimale plantation de ces espèces sont en

conformités avec nos résultats dans le cadre de la récupération de ces milieux salés par reboisement ou l'on constate que la densité de plantation 4x3m et 4x4m correspondant respectivement à 833 et 625 arbres à l'hectare est préconisé pour les milieux légèrement salins. En revanche dans les milieux moyennement salins les écartements 4x5 m pour une densité de plantation 500 pieds à l'hectare est recommandée. L'inadéquation entre le milieu et la plantation est souvent la cause d'échec de plantations comme l'atteste les travaux consignés dans la peupleraie en zone humide W.W.W forum-zone humide.org/ISO-album/peupleraie/2pdf. Où il est recommandé que l'écartement des arbres soit de 8m x 8m avec une culture demi intensive voire extensive. Une faible densité assure un bon développement des arbres et permet un éclaircissement au sol qui garantit dans le temps le maintien de la strate herbacée dans un bon état de conservation. Pour préserver une végétation prairiale, on plantera avec un grand écartement (9 m).

L'influence de la salinité et de l'acidité est traduite au niveau du comportement phénologique et de l'évolution du taux de survie. Pour la phénologie ces influences (salinité et acidité) sont traduites par des signes particuliers traduisant le degré de sensibilité de certaines espèces à savoir : brûlure et dessèchement du bourgeon terminal et des jeunes feuilles ou bien l'apparition des taches rougeâtres, orange ou brunes sur les deux faces des feuilles adultes. Ces taches sont observées chez *Eucalyptus camadulensis* et *Melaleuca quinquinerva*. Ces taches rougeâtres et brunes annonçant très souvent la mortalité des espèces ont été observées par Kretinin et al (1984) sur diverses espèces utilisées sur sols et alcalins en URSS. Les résultats obtenus par de Sadio (1986) sur la mensuration des longueurs et des largeurs des feuilles de certaines espèces introduites (*Casuarina equisetifolia*, *Melaleuca quinquinerva* et *Melaleuca acacioïdes*.) ont pu mettre en évidence des modifications éventuelles provoquées par l'influence de la salinité.

Ce comportement manifesté par les différentes espèces au cours du temps concorde avec les résultats obtenus par Churchill (1981) en Australie sur le *Casuarina ssp* et Condé & al (1981) sur le *Melaleuca ssp* en Floride. La diminution de la croissance des espèces dépend de l'augmentation de la salinité et de la sensibilité de l'espèce (Kretinin et al. 1984, Tomar et al. 1985) comme le révèlent les différences observées sur les taux de survies et les hauteurs moyennes des espèces exotiques et locales introduites dans les différentes parcelles.

Les espèces *Melaleuca viridiflora*, *Melaleuca acacioïdes* sont présentes sur les 5 parcelles, *Melaleuca leucadendron* dans les 4 parcelles et *Parkinsonia aculeata* dans les trois parcelles.

Les résultats obtenus sur l'évolution des paramètres de contraintes par rapport à l'effet arbre dans une parcelle aménagée des sols salés montre que l'augmentation spatio-temporelle de la salinité observée semble être expliquée d'une part par les caractéristiques hydromorphes que présente la parcelle II et d'autre part par un mauvais drainage et une remontée de la nappe salée dans cette même. De 1985 en 2000, on assiste à une augmentation de la pluviométrie dans le secteur et les effets d'infiltrations des eaux pluviales et/ou de ruissellement favorisent un lessivage vertical d'où une diminution de la salinité. Ainsi ce fait est observé dans les parcelles I, III, IV et 87 où les valeurs des CE témoins sont partout inférieures des CE 85. Les valeurs des pH diminuent en fonction de la profondeur d'où une augmentation du caractère d'acidité. Les gammes d'acidité varient de l'acide au très acide. Les valeurs des pH entre les profils CE85 et CE témoins sont très peu différents.

L'effet arbre sur la réduction de la salinité est observé sur l'ensemble des parcelles avec arbres par rapport aux zones témoins. Ce processus est expliqué par les valeurs des parcelles avec arbres inférieures à celles des zones témoins. Ce phénomène de lessivage vertical atténue la force d'acidité par effet de dilution. Le drainage des eaux pluviales et de ruissellement est conditionné par la texture et surtout de la biomasse racinaire qui accélère le processus d'infiltration c'est ce qui semble expliquer les différences de valeurs observées entre parcelle avec arbre et zone témoins.

En revanche les différences observées inter parcellaires avec arbres et inter zones témoins sont conditionnées par leurs différences texturales. Cependant, nous constatons que la parcelle III dont la texture est sablo-limoneuse présente un caractère moins acide par rapport aux autres.

#### **4-4 Conclusion**

- L'étude de la végétation en fonction des unités géomorphologiques et des types de faciès a pu montrer que le nombre d'espèces et de genres n'est pas fonction du type de terrasses au niveau d'un même site. Le Sud du fleuve Saloum présente une gamme floristique constituée de 21 familles, 49 espèces et 44 genres avec un indice de diversité biologique de 3,28 ISH contrairement au Nord où l'on note 20 familles, 41 espèces et 35 genres pour un indice de diversité biologique de 3,19 ISH. Dans ces milieux les familles les plus représentées sont les poacées et les rubiacées.
- La distribution aires/espèces à travers les différentes grappes dans les secteurs d'études, a révélé que la déclivité du terrain n'est pas le seul facteur explicatif de ce

façonnement du faciès écologique. Elle a permis de mettre en évidence la diversité des faciès écologiques à l'intérieur d'une même unité géomorphologique ou entre deux unités géomorphologiques différentes se succédant.

- La comparaison des différentes grappes en fonction des différentes unités géomorphologiques au Sud et au Nord du fleuve Saloum par l'utilisation de l'indice de Sorensen a montré que les deux communautés végétales sont identiques. Il est de 67% au Sud et 68% au Nord. L'acidité et la salinité sont en partie responsable de cette similarité intra-secteur et extra-secteur.
- La connaissance de la distribution des espèces en fonction de la texture du sol, du pH, de la conductivité électrique et de l'humidité du sol, révèle des informations sur le choix du type d'aménagement, à savoir les dispositifs biomécaniques et hydro agricoles tout en mettant l'accent sur le drainage des sols pour éviter une salinisation secondaire. Elle aiderait aussi sur la caractérisation de ces milieux par la réduction des coûts d'analyses des échantillons de sols, l'élaboration d'une carte des textures de sol, la mise en évidence de la complexité de la couverture pédologique et de la diversité des types de sols surtout à l'échelle parcellaire.
- Dans le cadre de cette étude cinq classes de fréquences ont été mises en évidence la classe 1 regroupe les espèces dont leurs fréquences sont supérieures à 60%, la classe 2 lorsque la fréquence est comprise entre 60 et 50%, la classe 3 entre 40 et 30%, la classe 4 entre 30 et 10% et la classe 5 caractérisée par les espèces dont leurs fréquences sont inférieures à 10%. Les fréquences spécifiques évoluent dans le même sens que les contributions spécifiques.
- Dans cette étude de distribution du nombre de genres et d'espèces par rapport aux familles, deux grands groupes ont été identifiés. Le premier groupe est caractérisé par une codominance entre le nombre de genres et le nombre d'espèces. Ce groupe représente 80% des familles observées dans le Sud et au Nord du Fleuve Saloum. Le second groupe caractérisé par une dominance du nombre d'espèces sur le nombre de genres. Ce second groupe représente 19% des familles enregistrées dans le Sud du fleuve Saloum et 20% dans le Nord du Fleuve Saloum.
- L'étude des effets des aménagements sur la diversité biologique de la végétation des sols salés met en évidence que les parcelles non aménagées présentent une richesse floristique moins importante que celle des parcelles aménagées en termes de nombre, de familles, de genres et d'espèces. Cependant au Nord du Fleuve Saloum le nombre de genres et le nombre d'espèces deviennent plus importants dans la parcelle non aménagée. Ce comportement peut

s'expliquer par la présence des animaux dans la parcelle non aménagée d'où le phénomène de zoochorie

- L'étude du comportement du *Tamarix aphylla* en fonction des différents traitements et du gradient de pente révèle que les taux de survie et les croissances en hauteur sont inversement proportionnels au gradient de pente et à la densité de plantation. Dans la récupération de ces milieux par reboisement, les densités de plantation 4x3 m et 4x4 m correspondant respectivement à 833 et 625 arbres à l'hectare sont préconisées lorsque le milieu est légèrement salin pour l'obtention du meilleur taux de survie. En revanche pour les milieux moyennement salins l'écartement 4x5 mètres pour une densité de 500 pieds à l'hectare est recommandé.

Dans les milieux salins à moyennement salins l'effet traitement à une influence sur la croissance en hauteur pour les textures sablo-argileuses à sableuses, le traitement préconisé est 4x5 mètres. Lorsque la texture est argilo-sableuse, les meilleurs résultats pour la croissance en hauteur sont obtenus pour les traitements 4x4 et 4x5 mètres.

- L'étude de l'effet arbre sur l'évolution des paramètres de contraintes en 2000 dans une parcelle aménagée a pu mettre en évidence une réduction de la salinité sur l'ensemble des parcelles avec arbres par rapport aux zones témoins. Le lessivage des sels par drainage vertical est conditionné par la texture et surtout de la biomasse racinaire qui accélère le processus d'infiltration c'est ce qui semble expliquer les différences de valeurs observées avec les parcelles avec arbres et les zones témoins.

## **Conclusion générale, perspectives et recommandations**

Cette étude sur la structure et le fonctionnement des tannes du Sine Saloum entre dans le cadre général à contribuer à la mise en valeur des tannes pour un développement durable. Elle visait à terme à déterminer les conditions de réintégration tannes dans les systèmes de production. Pour mener à bien cette recherche, nous avons adopté une approche plus globale en nous appuyant sur la géomorphologie, la pédologie, l'hydrologie et la botanique. L'étude consistait en particulier à : faire le diagnostic de ces milieux ; suivre l'évolution des paramètres de contraintes (salinité et acidité) au niveau du sol et des eaux (surface, nappes et sols) ; étudier les groupements végétaux en fonction des propriétés physiques des sols et l'impact de l'effet arbre dans l'aménagement de ces milieux.

Le diagnostic de ces milieux a montré les résultats majeurs au niveau de la distribution des tannes, de la flore et de la végétation, de l'étude de la caractérisation des phénomènes d'alcalinisation, de salinisation et d'acidification et de l'élaboration des différents types de cartes.

- En ce qui concerne la distribution, les tannes sont très représentées au niveau des terrasses moyennes avec des pourcentages variés dans les différentes zones. Sur l'ensemble des terrasses, la famille des Poacées est très représentée. De la terrasse moyenne à la terrasse basse inondable, on observe une diminution de la diversité de la flore et de la végétation en termes d'espèces et de familles.

- Au plan de la caractérisation des phénomènes d'alcalinisation, de salinisation et d'acidification du sol on observe :

- une variabilité du phénomène d'alcalinisation à deux niveaux :

- en fonction du gradient par une tendance décroissante de la concentration du  $\text{Ca}^{2+}$  et une tendance croissante des concentrations de  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  et de la CE (dS/m);

- en fonction de la profondeur, les concentrations des cations  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  et  $\text{K}^+$  évoluent inversement avec le gradient de profondeur ; cependant les concentrations du  $\text{Na}^+$ , du SAR, de l'ESP, du SSP, du taux de sodicité  $(\text{Na}/\text{T}) \cdot 100$  et de la CE (dS/m) suivent le gradient de profondeur ;

- deux formes de salinisation qui varient à la fois sur plan vertical qu'horizontal en fonction des terrasses :

- une salinisation chloruro-sulfatée ( $\text{Cl}/\text{SO}_4^{2-}$  inférieur à 3) est observée dans les terrasses moyennes, basses non inondables

- une salinisation chlorurée ( $\text{Cl}/\text{SO}_4^{2-}$  supérieur à 3) au niveau des terrasses basses inondables au voisinage de la nappe ;

- une force ou une faiblesse de l'acidité de ces milieux caractérisée par l'existence de milieux oxydés ou réduit due à la présence de concrétions de couleur claire ou sombre ; le taux d'acidité échangeable diminue de la surface à la nappe, contrairement à l'acidité totale qui augmente de la surface vers la nappe.

- L'élaboration des différents types de cartes a permis de mettre en évidence une grande hétérogénéité de ces milieux qui se traduit par les cartes suivantes :

- une carte texturale avec sept types de textures sur la base d'analyse granulométrique ;
- une carte des drainages qui met en évidence six classes de drainage en fonction de la coloration des profils ;
- une carte des sols où l'on note quatre types de sols sur la base du rapport  $(Na^+ + K^+) / (Ca^{2+} + Mg^{2+})$  ainsi que le rapport  $Ca^{2+} / Mg^{2+}$

Le suivi et l'évolution des paramètres de contraintes au niveau des eaux (surface, nappes et sols), ont permis de mettre en évidence :

- une différence dans l'ordre de succession des cations. A Ngane le cation  $Mg^{2+}$  occupe la seconde place et la troisième place à Ndiaffate. Cependant au niveau des anions aucun changement dans l'ordre de succession n'est observé entre les deux stations ;
- le même type de caractère chloruro-sodico-magnésien en périodes sèches comme en périodes humides pour les eaux des nappes de Ndiaffate et du cours d'eau Vélor. Cependant à Ngane, on note une différence de caractère ; chloruro-sodico-magnésien en périodes sèches et chloruro-magnésien en périodes humides ;
- les périodes de ruptures pour les paramètres hauteur, conductivité et pH sont enregistrées en périodes sèches dans les deux séries chronologiques et sur les différents types de terrasses de début novembre à mi-novembre et de mi-juin à fin juin. En périodes humides ces périodes de ruptures sont observées en mi-juillet et mi-septembre ;
- la teneur en eau varie en fonction de la profondeur et inversement avec le gradient de profondeur pour la salinité et l'acidité.

L'étude des groupements végétaux en fonction des propriétés physiques des sols et l'impact de l'effet arbre dans l'aménagement de ces milieux a été appréciée à plusieurs niveaux :

- En fonction des unités géomorphologiques et des types de faciès, le nombre d'espèces et de genres n'est pas fonction du type de terrasses au niveau d'un même site et entre les deux sites ; la diversité biologique est plus importante au Sud qu'au Nord du fleuve Saloum ; dans ces milieux les familles les plus représentées sont les familles des Poacées et des Rubiacées.

- En fonction de la distribution aires/espèces, la déclivité du terrain n'est pas le seul facteur explicatif de ce façonnement du faciès écologique et il existe une diversité des faciès écologiques à l'intérieur d'une même unité géomorphologique ou entre deux unités géomorphologiques différentes successives.
- Les deux communautés végétales sont identiques ; cette similarité est liée à la salinité et l'acidité qui en sont en partie responsables.
- En fonction de la texture du sol, du pH, de la conductivité électrique et de l'humidité du sol, des informations sont obtenues sur le choix du type d'aménagement et sur la réduction des coûts d'analyses des échantillons.
- Deux groupes se distinguent : le premier est caractérisé par un nombre égal entre les genres et les espèces qui dénotent une grande diversité floristique ; le second groupe de moindre diversité est caractérisé par un nombre plus élevé d'espèces que de genres.
- L'étude du comportement du *Tamarix aphylla* var *erectus* en fonction des différents traitements et du gradient de pente a permis de mettre en évidence que :
  - les meilleurs taux de survie dans les milieux légèrement salins sont obtenus à partir des écartements de 4x3 mètres et 4x4 mètres, et 4x5 mètres dans les milieux salins ;
  - les meilleures croissances sont réalisées avec les écartements 4x5 mètres pour les milieux moyennement salins avec des textures sablo-argileuses à sableuses et avec des écartements 4x4 et 4x5 mètres pour la texture argilo-sableuse
- En ce qui concerne l'effet arbre on note :
  - une réduction de la salinité sur l'ensemble des parcelles avec arbres par rapport aux zones témoins ;
  - un lessivage des sels par drainage vertical conditionné par la texture et surtout par la biomasse racinaire qui accélère le processus d'infiltration ; ce qui semble expliquer les différences de valeurs observées avec les parcelles avec arbres et les zones témoins.

A la lumière des travaux menés dans ce mémoire, il serait nécessaire de poursuivre certaines activités de recherches axées sur :

- la cartographie des sols salés car le front de salure progresse et a déjà atteint les terrasses hautes ainsi que le glacis de raccordement ;
- le suivi de la salinité des eaux des nappes suivant le gradient pluviométrique et de leur proximité par rapport aux eaux de surface saumâtres pour voir la dynamique saline ;
- la mise en place d'un modèle prévisionnel de l'hydrochimie des eaux des nappes et de la détection des phénomènes de ruptures en périodes sèches et humides ;

- la poursuite des études d'introduction d'espèces halotolérantes pour élargir la gamme des espèces adaptées à ces milieux.

Dans le cadre de la récupération des sols salés pour le développement, il nous semble impératif en guise de recommandations :

- ❖ de faire impérativement une bonne caractérisation avant tout aménagement à cause de l'hétérogénéité de ces milieux du point de vue de la géomorphologie (types de terrasses), de la typologie des tannes, des propriétés physico-chimiques des sols (drainage, texture, alcalinisation, salinisation et acidification). Cette caractérisation pourra se faire sur la base d'analyses (sols, eaux) mais en se référant sur les résultats obtenus sur la distribution des espèces en fonction de la texture et des paramètres de contraintes (salinité, acidité) des sols ;
- ❖ privilégier les dispositifs biomécaniques qui associent la lutte mécanique (digues, diguettes, impluvium, demi-lunes, etc.) et la lutte biologique (plantation d'espèces ligneuses et herbacées) comme suit :
  - lutte mécanique (digues et diguettes) au niveau des terrasses basses ;
  - lutte biomécanique dans les terrasses basses non inondables et dans les terrasses moyennes ;
  - lutte biologique en amont des terrasses moyennes et des glacis de raccordement.
- ❖ assurer l'entretien des dispositifs mis en place ;
- ❖ utiliser les résultats sur les densités de plantation de *Tamarix aphylla* var. *erectus* pour assurer un bon taux de survie et la pérennisation des dispositifs biomécaniques.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abu-Ziada, M.E.A. (1980). Ecological studies on the flora of Kharga and Dakhla Oases of the Western Desert of Egypt. Ph.D Thesis, Fac. Sci., Mansoura Univ. 342 pp.
- Adam, J.G. (1958). Floristique des pâturages salés (halophytes et subhalophytes), et végétation des rizières du Sine Saloum. Journ. d'agric. Tropic et de Bot. Applic. n°8-9 ; pp.505-664.
- Ali et Lebel (2008) Relation entre perceptions paysannes de la variabilité climatique et observations climatiques au Sud-Bénin
- Arar, A. (1972). L'irrigation et le drainage dans leurs rapports avec la salinité et la saturation des sols par l'eau. IN FAO : *La salinité, Bull. Irig. Et Drainage*, no. 7, pp. 98-125.
- Arkesteyn, G.J.M.W.,(1980). Pyrite oxydation in acid sulphate soils. *The role of microorganisms. Plant and soil* vol. 54, pp. 119-134.
- Arshrad, M. (2003). Cholistan desert ecosystem monitoring for future management. Annual Technical Report of a project sponsored by WWF-Pakistan. (Unpublished)
- Ashraf. (2003). Cholistan desert ecosystem monitoring for future management. Annual Technical Report of a project sponsored by WWF-Pakistan. (Unpublished)
- Aswathappa, N., N.E. Marcar and L.A.J. Thomson. (1986). Salt tolerance of Developing Countries : Proceedings of an international workshop, Gympie, Qld., Australia, 4-7 August 1986, 196p. pp. 70-73.
- Aubréville, A., (1950). Flore forestière soudano-guinéenne. AOF-CAMEROUN-AEF, Orstom Soc. Ed. Géogr. Mar. Et col., Paris, 523p.
- Baltzer & Lafond (1971). Marais tropicaux. Rev Geo. Phys et Geol. Dyn ; XIII, 2, PP 173-196.
- Baltzer, F. (1982). Géodynamique de la sédimentation et diagenèse précoce en domaine ultrabasique. Nouvelle Calédonie. Trav. et Doc., ORSTOM, N°152 P 63
- Baltzer, F. (1982). Géodynamique de la sédimentation et diagenèse précoce en domaine ultrabasique. Nouvelle Calédonie. Trav. et Doc. de l'ORSTOM. , n°152. , 283p.
- Baltzer, F. (1982). La transition eau douce – eau salée dans les mangroves. Conséquences sédimentologiques et géochimiques. Mém. Soc. Géol. Fr., n° sp 144. , pp.27-42.
- Baltzer, F., Lafond, L.R. (1971). Marais maritimes tropicaux. Rev. Geogr. Phys. Geol. Dyn 13(2) P :: 143-195
- Barbiero L. (1990). Contribution à l'amélioration foncière des terrasses du fleuve Niger. Périmètre de LOSSA et SONA (République du Niger) Mémoire ENSA de Toulouse 89p. + annexes.
- Barral et al (1983). Systèmes de production d'élevage au Sénégal dans la région du ferlo. ACC GRIZA (LA), Min. Rech. Et Ind., GERDAT-ORSTOM, 172 P
- Bartolli, M., Decourt, N. (1971). Densité de plantation et étude bibliographique des premiers résultats d'une expérience sur le Douglas.
- Barusseau, J.P. (1980). Essai d'évaluation des transports littoraux sableux sous l'action des houles entre St. Louis et Joal (sénégal). Bull. de liaison ASEQUA. Sénégal. , n°58-59.
- Battistini R. (1960) Description géomorphologique de Nosy-Be, du delta de du Sambirano et de la baie d'Ampasindava. Mémoires de l'Institut des Sciences de Madagascar, série F, tome 3, 121-343.
- Bauder, T.A., Waskom, R.M., Davis, J.G. (2006). Water Chemistry Constraints And Possibilities For Ancient And Contemporary Maya Wetlands.

- Ben Hassine, H. (2005). Effets de la nappe phréatique sur la salinisation des sols de cinq périmètres irrigués en Tunisie
- Benaricha, B. (1985). Etude pédologique du reboisement du Lac Tanma (région de Thiès). Etude de l'influence de la salure sur la mortalité des différentes essences. Dakar; ORSTOM, 1985 78 P. multigr.
- Berthelin, J., Sadio, S., Guillet, B., Roruller, J. (1983). Alteration expérimentale des minéraux argileux DI- et Trioctaédriques dans un podzol et dans un sol brun acide. Sci. Géol. Mém., no. 71, Strasbourg, pp. 13-23.
- Berthois L., Guilcher A. (1956) Questions de morphologie climatique en Mélanésie équatoriale (Nouvelle Guinée, Nouvelle Bretagne, Guadalcamad). Bull. Ass. Géographes Fr, 338-339
- Beye, G. (1972). L'acidification des sols des mangroves de basse Casamance après leur mise en polder ; effet du type d'aménagement. IRAT Casamance 17 P.
- Bigot, L. (1971). Ecologie des milieux terrestres salés. Bull. Soc. Ecol., II. , (2-3), pp.99-121.
- Bille J. (1977). Etude de la production primaire nette d'un écosystème sahélien. Travaux et Documents de l'ORSTOM 65, Paris
- Blasco, F., Caratini, C. (1980). Les mangroves de l'Inde. Trav. et Ooc. de Géogr. trop., Bordeaux, n°39, PP.96, 97 et 99
- Boivin ; P. (1984). Etude de la vallée de Koubalan (Kalounayes). Etude de la variabilité spatiale du pH et de la conductivité électrique d'un sol de tanne. ORSTOM/Dakar
- Boivin ; P. et Lebrusq, J.Y. ; (1984). Etude pédologique des Kalounayes. Carte des sols des vallées de Koubalan et Tapilane. ORSTOM/Dakar, 70 P. + 4 cartes
- Boivin, P. et Zante, P. (1987). Essai de récupération d'un sol sulfaté acide en cases lysimétriques, ORSTOM/Dakar, 35 P.
- Bolt, G. H., (1978). Transport and accumulation of soluble soil components. In: Bolt et al. (eds.). Soil Chemistry, A. Basic elements. Elsevier Sci. Pub. Company, Amsterdam, pp. 126-140.
- Bonneaud, S. (1994) Méthodes de détection des ruptures dans les séries chronologiques. Projet de Fin d'Etudes, Institut des Sciences de l'Ingénieur de Montpellier, Montpellier, France.
- Braun-Blanquet (1928) in Lacoste (A) et Salanon (R), (1968). Elément de Biogéographie et d'Ecologie. Nathan (189 P)
- Breaudeau, E. (1978). Etude pédologique de la cuvette de Nianga (secteur A). région du Fleuve Sénégal. ORSTOM/Dakar.
- Breemen, N. V. (1976). Genesis and solution chemistry of Acid Sulfate Soils in Thailand. Agr. Res. Depts. n°.848, PUDDOC, Wageningen.
- Bresler et al (1982). Saline and sodic soils. Principales-Dynamics-Modeling. Springer-Verlag, Av. Series in Agri. Sci. 10, 236 p.
- Bresler, E. (1981) Transport of salts in soils and subsoils. In: holms et al. (eds): Land and Stream Salinity, Elsevier, Amsterdam, pp. 35-62.
- Caballero et al (1994). Structure of the vegetation of salt steppes of Guadalenitin (Murcia, Spain). Stud. Oecol., 10(11) : 171-183.
- Caballero, J.M., M.A. Esteve, J.F. Calvo and J.A. Pujol (1994). Structure of the vegetation of salt steppes of Guadalenitin (Murcia, Spain). Stud. Oecol., 10-11:171-183.
- Chamley, H. (1988). Les milieux de sédimentation. Lavoisier, TEC/DOC, France, 173 p.
- Chapman, V. (1970). Mangrove phytosociology, trop. Ecol., 11,p. 1-19
- Chapman, V. (1976). Mangrove végétation. CRAMER edits, Vaduz, 499p.

- Charreau, C. (1963). Aperçu sur les alluviaux rencontrés au Sénégal et les problèmes de mise en valeur. 5<sup>e</sup> Réunion CROACUS, Freetown (Sierra Leone), 15p.
- Charreau, C., Bonfils, P. (1963). Carte des sols du Sine Saloum. Région de Mbour. CRA Bambey. (IRAT), Serv., cartgr. ORSTOM.
- Cheverry, C. (1974). Contribution à l'étude pédologique des polders du lac Tchad. Dynamique des sels en milieu continental subaride dans des sédiments argileux et organiques. Thèse de doctorat d'Etat ès-Sci. Naturelles, Univ. Louis Pasteur, Strasbourg, 275 p.
- Cook, P. and W. Mayo, W. (1977). Sedimentology and Holocene history of a tropical Estuary (Broad sound). B.M.R Bull., no. 170, 206 p.
- Cornet A. (1981). Le Bilan hydrique et son rôle dans la production de la strate herbacée de quelques phytocénoses sahéliennes au Sénégal. Thèse Ingénieur, USTL ; Montpellier.
- Cornet A. et Poupon H. (1978). Description des facteurs du milieu et de la végétation dans cinq parcelles situées le long du gradient climatique en zone sahélienne du Sénégal. Bull., IFAN ; 39,2 : 241-302.
- Daffé, M. et Sadio, S. (1987). Régénération des sols salins du Bassin du Sine Saloum. Notice de la carte d'occupation des sols et du zonage. Projet UNSO/SEN/83/X02, ISRA/DRPF, 8p. + 6pz. , 25 cartes à 1/15000.
- Daffé, M. et Sadio, S. (1988). Etude pédologique. Régénération des sols salins du Bassin du sine Saloum. Projet UNSO/SEN/83/X02/ISRA/DRPF, 78 p. + 90 p.
- Dagnélie P. (1960). Contribution à l'étude des communautés végétales par l'analyse factorielle. Bulletin du Service de la Carte Phytosociologique. Serie B. carte des groupements végétaux V.7-71.
- Diallo et al. (2009). Variabilité floristique de la végétation herbacée de la Niayes de Pikine au Sénégal. Rev. Ecol. (Terre vie), 64 : 123-133
- Diaw, A.T., Lerhun, J. ; Veger, F., Thiam, M.D. (1992). Gestion des ressources Côtières et Littorales du Sénégal. Actes de l'atelier de Gorée 27 -28 Juillet 1992 page 54.
- Diaw, A.T., Thomas, Y.F., Lake, L.A. (1983). Contribution à l'étude morphométrique des tannes de l'estuaire de Saloum, 4 Nov., 1983. Notes de Biogéographe. Page 207.
- Dielman, P.J. (1972). Dynamique des sols dans le système Sol-Eau. In : FAO : La salinité- Séminaire de Bagdad, Bul. Irrig. Drain, no. 7 , pp. 45-55.
- Diluca, C. (1975). Etude hydrogéologique du Continental Terminal entre le Sine et le Saloum. II<sup>ème</sup> phase et rapport de synthèse. BRGM. Dir. Gén. De l'hydr. Et de l'Equi. Rur. Dakar.
- Diop, E.S. (1986). Estuaire holocènes tropicaux. Etude de géographie physique comparée des <<Rivières du Sud>> du Saloum (Sénégal) à la Mellacorée (République de Guinée). Thèse de Doctorat d'Etat ès-Lettres, Univ. Louis Pasteur, Strasbourg I, 522 p.
- Diop, E.S., Sall, M.M. (1975). Le Gandoul et les îles Betanti : Etude géomorphologique Bull de liaison, ASEQUA, DAKAR ; n°44-45, PP47-55.
- Droubi, A. et al. (1976). Géochimie des sels et des solutions concentrées par évaporation. Modèle Thermodynamique de simulation. Application aux sols salés du Tchad. Thèse de Doctorat Ingénieur, Sci. Géol., Mém. No.46, Univ. Louis Pasteur, Strasbourg, 177p.
- Durant, J. H. (1964). La mise en valeur des mangroves de la côte Nord-Ouest de Madagascar ; Bull. Ass. FR., pour l'étude du sol, 5, PP 200-206
- Fleur, T.J. (1975). Halophytes. In D.A. Barker and J.L. Hall (eds), Ion transport in cells and tissues, North Holland, Amsterdam, pp: 309-334.

- Fosberg, F. (1961). Vegetation free zone on dry mangrove coast. Geol. Surv. Prof. Pap., 424D, P.D216 - D218.
- Fosberg, F.R. (1961). Vegetation Free zones on dry mangroves coasts, U.S. Geological survey Professional Papers, 424 D' PP. 612-218.
- Furian S. et Barbiéro L. (1991). Origine de la répartition de l'alcalinisation sur le périmètre de LOSSA (Terrasse du Niger). Rapport multigr. ; ORSTOM Niamey INRA
- Gaaloul, N. (2007). Salinisation des eaux souterraines de la nappe phréatique de la Côte orientale au nord-est de la Tunisie.
- Gachet. (1959). Les palétuviers de Madagascar, Bull. de Mad. 153, PP 113-157.
- Giffard, P.L. (1971). Etude des possibilités d'afforestation des sols salés du sine Saloum. Rapport d'activités, CTFT, 70 p.
- Gledhill, D. (1963). The ecology of the Aberdeen CREEK MANGROVE Swamp, the journal of Ecology, 21, PP 639-702.
- Gueddari, M. (1988). Géochimie et thermodynamique des évaporites continentales. Etude du Lac Natron en Tanzanie et du Chott el Jerid en Tunisie. Thèse de Doctorat ès-Sci. Géol., Mém. No. 76. Univ. Louis Pasteur, Strasbourg I, 143 p.
- Guilcher, A., Berthois, L. (1956). Questions de morphologie climatique en Mélanésie équatoriale (Nouvelle Guinée, Nouvelle Bretagne, Guadalcanal), Bull. ASS. Géographes Fr. 338-339, PP. 28-40
- Hamza, M. (1980). Réponses des végétaux à la salinité. Physio. Vegt., 18(1), pp. 69-81.
- Hervieu, J. (1968). Contribution à l'étude de l'alluvionnement en milieu tropical, Mémo. ORSTOM. 24 -465P.
- Hubert, P., Carbonnel, I. P. & Chaouche, A. (1989) Segmentation des séries hydrométriques. Application à des séries de précipitations et de débits de l'Afrique de l'ouest. J. Hydrol. 110,349-367.
- Jacquet, J. (1949) cité par Thiam, M.D. (1986). Géomorphologie, Evolution et Sédimentologie des Terrains salés du Sine Saloum (Sénégal)
- Jafari, M. (1989). Survey of relationship between salinity agents and distribution of plants in Damghan region. MSc. thesis in Natural Resources College of Tarbiat Modarres university (Persian).
- Jafari, M., M.A.Z. Chahouki, A. Tavili, H. Azarnivand and G.Z. Amiri. (2004). Effective environmental factors in the distribution of vegetation types in Poshtkouh rangelands of Yazd Province (Iran). *Journal of Arid Environments*, 56: 627-641.
- Kassas, M. (1957). On the ecology of the Red Sea coastal land. J. Ecolo., 45: 187-203.
- Kendall et Stuart. (1999). Evolution du débit de l'Amazone à Obidos de 1903 1999
- Khouma, M. et Touré, M. (1982). Effects of lime and phosphorus on the growth and yield of rice in acid sulphate soils of the Casamance (Sénégal) : In : Dost et al. (eds.) : Proceedings of the Bangkok Symposium on acide sulphate soils. ILRI Pub. No. 31, pp. + 237-250.
- Lacombe, B. (1976). Démographie et environnement, (Sine Saloum). Cahier ORSTOM. Sér. Sc. Hum. , Vol.XIII. , n°3. , pp.311-320.
- Lamotte, M. (1962). Initiation aux méthodes statistique en Biologie. Lie Masson, Paris, 144 p.
- Lebigre M. (1984). Les mangroves des rias du littoral Gabonais, essai de cartographie et typologie. Bois et Forêts Tropicaux, 199 : 3-28.
- Lebigre, J. M. (1983). Les mangroves des rias du littoral Gabonais, essai de cartographie et typologie. Bois et Forêts Tropicaux, 199, PP 3-28.

- Leborgne, J., (1988) La pluviométrie au Sénégal et en Gambie. Univ. Cheick A. Diop., Dakar/Sénégal, 95 p.
- Lebrusq, J.Y. (1980). Etude pédologique des cuvettes de Lampsar. ORSTOM/Dakar.
- Leroux, M. (1980). Le climat. In : Atlas du Sénégal, Ed. Jeune Afrique, pp. 12-17.
- Loyer, J.Y., Boivin, P., Lebrusq, J.Y et Zante, P. (1986). les sols du domaine fluvio-marin de Casamance (Sénégal) : Evolution récente et réévaluation des contraintes majeures pour leur mise en valeur. In : Dost (ed) : Selected papers of the Dakar Symposium on Acid Sulphate Soils. ILRI Pub. n°44, PP. 16-22
- Lubès, H., Masson, J. M., Servat, E., Paturel, J. E., Kouamé, B. & Boyer, I. F. (1994) Caractérisation de fluctuations dans une série chronologique par applications de tests statistiques. Etude Bibliographique, Orstom, Montpellier, France.
- Macnae, W. (1966) Mangroves in Eastern and Southern Australia. Austr. Journ. Bot., N°14, PP 67 \_ 104.
- Maignien R. (1965). Carte pédologique du Sénégal. + Notice explicative. Publication ORSTOM. Notice n°24. 1965.
- Marius C. (1985). Mangroves du Sénégal et de la Gambie. Ecologie-Pédologie-Géochimie. Mise en valeur et aménagement. Mémoire ORSTOM n°106, Paris.
- Marius, C. (1972). Recommandation préliminaire des sols de l'estuaire du Saloum, communication à la réunion des pédologues ORSTOM septembre 1972. Ronco-Dakar.
- Marius, C. (1974). Les sols de l'estuaire du Saloum ORSTOM, centre de Dakar, 25 P Juillet 1973 + annexes.
- Marius, C. (1985). Mangroves du Sénégal et Gambie. Ecologie, Pédologie, Géochimie. Mise en valeur et Aménagement. Mem. ORSTOM, Paris, n°193, PP 215 \_ 218.
- Marius, C. (1988). Les sols sulfatés acides. In : Girard et al. (1988) (eds.) : Référentiel pédologique français, INRA/AFES.
- Marius, C., Lucas, J. et Kalk, Y. (1986). Evolution du golf de Casamance au Quaternaire récent et changements de la végétation et des sols de mangroves liés à la sécheresse actuelle. In INQUA/ASEQUA. Symposium sur les changements globaux en Afrique. Dakar. Pp.293-295.
- Marlet, S., et Job, J.O. (2006). Processus et gestion de la salinité des sols. In: Tiercelin, J.R. Traité d'irrigation, seconde édition. Tec & Doc. Lavoisier. ISBN-13: 978-2743009106 4.1
- Maryam, H., S. Ismail, F. Alaa and R. Ahmed. (1995). Studies on growth and salt regulation in some halophytes as influenced by edaphic and climatic conditions. Pak. J. Bot., 27: 151-163.
- Massart, J. (1907) cité par Thiam, M.D. (1986). Géomorphologie, Evolution et Sédimentologie des Terrains salés du Sine Saloum (Sénégal)
- Massibot et al. (1946). Mise en valeur des Tannes rizicultivables du Sine (Sénégal). L'agronomie Tropicale. Vol. 1. n°9-10., PP. 451-456.
- Michel, P. (1973). Les bassins des fleuves Sénégal et Gambie. Etude géomorphologique. Mem. ORSTOM n°63, 3 tomes, Paris.
- Moghim, J. (1989). Survey of relationship between vegetation, salinity and water ground table in Hoz-e- Soltan playa in Qom province, MSc. thesis in Natural Resources College of Tehran university (Persian).
- Mougenot, B. (1982). Etude pédologique de la cuvette Ntiagar (partie Nord). Delta du Fleuve Sénégal. ORSTOM/Dakar
- Muhammad Yasin Ashraf. (2008). Impact of salt stress on concentration of Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>, and organic solutes concentration in pea cultivars.
- Ndiaye, O., Diallo, A., Sagna, M.B., Guissé, A. (2013). Diversité floristique des peuplements ligneux du Ferlo, Sénégal. **Vertigo** 13(3). <http://vertigo.revues.org/14352> ; DOI : 10.4000/vertigo.14352 (consulté le 01 janvier 2016).

- Niang, A.I. (1985). Etude des reboisements sur les terres salées du Sine Saloum (Sénégal). Bilan et perspectives de 12 années de recherches. Mémoire de fin d'étude, 2<sup>ème</sup> année ESAT Montpellier, 126 P.
- Nicholson, S. E., Kim, J. & Hoopingarner, I. (1988) Atlas of African Rainfall and Its Interannual variability. Dept Meteorology, Florida State University, Tallahassee, Florida, USA.
- Noirot, E. (1892). Notice sur le Saloum. Journ. Off. du Sénégal. pp.404-405 ; pp.411-414 ; pp.419-420 ; 436-437 ; 444-445 ; 451-452.
- Noon, H. (1974). Géographie des littoraux. PUF. 255P
- Nordstrom, D.K., (1982). Aqueous pyrite oxidation and consequent formation of secondary iron minerals. In: L., Hossnezh (ed.). Acid sulfate Weathering. SSSA Special Publication n°.10. Soil Sci. Amer. Madison, pp.37-56.
- Ozer P. et al. (2007). La désertification est-elle un recul au Sahel ? Bois et Forêts des Tropiques, 293 : 23-28.
- Pankova et al (1983). Salinization of the soils of the dry and desertified steppes of Mongolia. Soviet Soil Sciences, vol. 15, n°.5, pp. 1-9.
- Pansu M. et Gautheyron J. (2003). L'analyse du sol, minéralogie, organique et minérale. ed. Springer - verlag. France, 993 p.
- Paradis J. (1979). Rôle de l'extraction traditionnelle de sel dans les formations des aires dénudées des mangroves de l'Afrique de l'Ouest, Bull. liaison de l'Asequa, 56-57, PP 61-65.
- Payne, R.W., Murray, D.A., Harding, S.A., Baird, D.B. & Soutar, D.M. (2009). GenStat for Windows (12th Edition) Introduction. VSN International, Hemel Hempstead.
- Pereira - Barreto, S (1961). Etude pédologique des abords NE du Lac Tanma en vue de l'implantation d'un village pionnier. ORSTOM/Dakar.
- Pereira - Barreto, S (1985) : Désertification et salinisation des sols et eaux. COMIDES II, Dakar/TCP/SEN/4503, 30 P.
- Pettitt A. N. (1979) A non-parametric approach to the change-point problem. Appl. Statist. 28(2), 126-135.
- Pons, L.J and Van Breemen, N. (1982) : Factors influencing the formation of potential acidity in tidal swamps. In : Dost et al. (eds.). Proceedings of the Bangkok Symposium on acid sulphate soils, ILRI Pub. n° 31, PP. 37-51
- Pons, L.J. (1964). Pyrite as a factor controlling chemical "ripening" and formation of "cat clay" with special reference to the coastal plain of Surinam. Agr. Exp. Station Paramaribo, Bull. n°. 82, 141-161.
- Rennes 15 p. + annexes
- Sadio S. (1991). Pédogenèse et potentialités forestières des sols sulfatés acides salés des tannes du Sine Saloum, Sénégal. Institut Français de Recherches Scientifique pour le Développement en Coopération, Editions ORSTOM, 216 pages + Annexes.
- Sadio. S. (1986). Etude pédologique des facteurs de mortalité des essences forestières introduites en milieux salés au Sénégal. ORSTOM/Dakar, 66 p + 34 p. an.
- Sanokho, A. (1977). Six listes floristiques de la forêt de Fathala (Sénégal méridional). Ann. Fac. Sc. Univ. Dakar, tome. XXX, pp.149-158.
- Scholl, D.W. (1976). Introduction à la phytogéographie des pays tropicaux, vol. 2, p.798-853.
- Seiny Boukar, L. (1983). Etude pédologique de la cuvette de Nder; Lac de Guer (Région du Fleuve Sénégal). ORSTOM/Dakar, 100 P.
- Sneedaker, S.C. (1978) Les mangroves : leur intérêt et leur conservation. In : Nature et Ressources. UNESCO, Vol. n°. XIV, n°3, pp. 7-15, 39p.
- Soltner D. (2000). Les bases de la production végétale Tome I. Le sol et son amélioration. 22<sup>ème</sup> édition. Ed. Sciences et techniques agricoles, 407 p.

- Spenceley A. P. (1976). Unvegetated saline tidal flats in North Queensland, *Journal of top.Geographic*, Singapour 42, PP. 78-85.
- Thiam, M. D. (1984). Contribution à l'étude physique du milieu de l'estuaire du Saloum. Mémoire D.E.A. Université de paris I. 31p.
- Thiam, M.D. (1986). Géomorphologie, Evolution et Sédimentologie des terrains salés du Sine Saloum (Sénégal). Thèse de 3<sup>ème</sup> cycle, Univ. Paris I, 186 P.
- Thiam. A. (2007). Rapport d'activité. Caractérisation de la végétation sur sols sulfatés acides salés dans la zone de Ngane Kaolack ISRA (Centre de Kaolack).
- Thiam. A. (2008). Rapport des travaux d'avancement Caractérisation du milieu physiques des sites expérimentaux (Ndiaffate et Ngane) dans le domaine des tannes Kaolack ISRA (Centre de Kaolack).
- Thiaw et al. (2011). Caractérisation de la végétation herbacée de la région de Kaffrine (Centre-Ouest, Sénégal) *Annales des Sciences Agronomiques*, 15(2) ; 243-264
- Tricard, J. (1954). Une forme de relief climatique : les Sebkhass. In *Revue de Géomorphe. Dyn. t.V.*
- Tricard, J. (1964). Influence des sols salés sur la déflation éolienne en basse Mauritanie et dans le delta du Sénégal. In *Rev. de Géomorpho. Dyn., t.V., n°3.* , pp.124-132.
- Tricard, J. (1979). Le sol dans l'environnement écologique. In *Rev. de Géol. Dyn.* pp.113-128.
- Tricard, J. (1979). Les études géomorphologiques pour la conservation des terres et des eaux. in *Option Médit., n°9*, pp.95-99.
- Tricart J. (1961). Notice explicative de la carte géomorphologique du delta du Sénégal à 1/100 000. Mémoires du BRGM
- Trouchaud, J.P. (1965) Contribution à l'étude géographique des mangroves de Madagascar. La basse plaine de Mangoky. *Cah. SC. Hum., ORSTOM. Vol. 2* ; PP 30-32.
- Ungar, I. (1968). Species-soil relationships on the Great Salt Plains of northern Oklahoma. *Amer. Midl. Naturalist*, 80: 392-406.
- UNSO, (1983). Rapport de la mission sur la régénération des sols salins (Tanns). Projet SEN/83/X0Z, 98 P.
- Verger, F. (1964). Mottureaux et gilgaïs. *Ann., de Géogr., t. 73*, p. 431 - 430.
- Verger, F., Sall, M.M., Diop, E.S. (1978). Cartographie automatique d'un milieu littoral tropical : Iles du Saloum, d'après les données Landsat I. *revue photo-interprétation n°6 nov-déc., fasc. 5*, Paris
- Verger, J. (1968). Marais et Wadden du littoral français. Etude de géomorphologie littorale. Thèse Lettres. Paris. Ed. Bioscope frère, Bordeaux, 544 P. 2 cartes.
- Vieillefon, J. (1968). Recherche sur la genèse et l'évolution des sols de mangroves et des tannes du Sénégal. ORSTOM. Bondy. Réunion annuelle des pédologues. 47p.
- Vieillefon, J. (1977) Les sols des Mangroves et des tannes de Basse Casamance (Sénégal). Importance géochimique du soufre dans leur pédogénèse. Mémoire ORSTOM, n° 83, 291 P.
- Vieillefon, J. 1977 : Les sols des mangroves et des tannes de basse Casamance (Sénégal), Mémo. ORSTOM, 83, 292 P.
- Walter et al. (2006). Plant community responses to experimental warming across the tundra biome.
- WEI-Qiang Li, Liu Xiao-Jing, M. Ajmal Khan et Bilquees. Gul. (2008). Relationship between soil characteristics and halophytic vegetation in coastalnregion of North China. *Pak. J. Bot.*, 40(3): 1081-1090.
- WEISS ; M. (1973) Etude phytosociologique des mangroves de la région de Tuléar (Madagascar) *The Thys*, 5 (2 - 3), PP467 - 492
- Wesselink, A.J., Orange, D., Feizoure, C.T., Randriamiarisoa. (1995). Les régimes hydroclimatiques et hydrologiques d'un bassin versant de type tropical humide : l'Oubangui (République Centre Africaine). Actes de conférence de Paris, mai 1995. IAHS., Publ. N° 238, 1996.

- Yadav, J.S.P (1981). Soil limitation for successful establishment and growth of Casuarina plantation.  
In : Midgley et al. (eds.), Casuarina Ecology-Management and Utilisation. Proceedings of international workshop, Canberra, Australia, 17-21 august 1981, 286 P., PP138-157.
- Yéri Gueye (1996). Rapport d'activité CNRA de Bambey. 1996.
- Yvetot, C. (1949) Les faluns du Saloum. Com. Loc. d'océan. et d'Et., des côtes de l'AOF.

# **Annexes**

## Annexe I



A

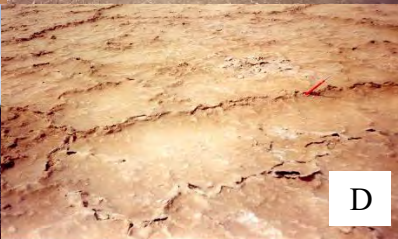


B

A : Formes statiques des tannes  
B : Formes dynamiques de Tannes



C



D

C : Tannes vasières  
D : Tannes nues à pelures  
(Counelles ou assiettes)



E



G

E : Tannes herbues  
F : Tannes localement arbustives



H

H : Tannes localement arborées

## ANNEXES II

Tableau 6. Liste des espèces et des familles dans a terrasse moyenne (Ndiaffate)

| Espèces                                             | Famille       |
|-----------------------------------------------------|---------------|
| <i>Wachellia nilotica</i> (Sh et Th)                | Mimosacée     |
| <i>Acanthospermum hispidum</i> (DC)                 | Astéracée     |
| <i>Alysicarpus ovalifolius</i> (S et Th)            | Papillonacée  |
| <i>Andropogon pseudapricus</i> (Stapf)              | Poacée        |
| <i>Balanites aegyptiaca</i> (L) Del                 | Simarubacée   |
| <i>Calotropis procera</i> (Ait)                     | Asclépiadacée |
| <i>Cassia occidentalis</i> (L)                      | Césalpiniacée |
| <i>Corchorus olitorius</i> var <i>olitorius</i> (L) | Tiliacée      |
| <i>Ctenium elegans</i> (Kunth)                      | Poacée        |
| <i>Cyperus rotundus</i> (L)                         | Cypéracée     |
| <i>Dactyloctenium aegyptiacum</i> (Beauv)           | Poacée        |
| <i>Dichrostachys glomerata</i> (Forsk)              | Mimosacée     |
| <i>Eragrostis squamata</i> (Stend)                  | Poacée        |
| <i>Eragrostis tremula</i> (Hochst)                  | Poacée        |
| <i>Haemanthus pentaphylla</i>                       | Amaryllidacée |
| <i>Hibiscus asper</i> (Hook)                        | Malvacée      |
| <i>Leptadenia hastata</i> (Pers.) Decne             | Asclépiadacée |
| <i>Pennisetum pedicellatum</i> (Trin)               | Poacée        |
| <i>Philoxerus vermicularis</i> (L) P. Beauv         | Amaranthacée  |
| <i>Phragmites vulgaris</i> (Lam) Druce              | Poacée        |
| <i>Piliostigma reticulatum</i> (DC)                 | Césalpiniacée |
| <i>Pycnus albomarginatus</i> (Nees)                 | Cypéracée     |
| <i>Sida alba</i> (L)                                | Malvacée      |
| <i>Spermacoce stachydea</i> (DC.) H. et Dalz        | Rubiaceae     |
| <i>Spermacoce verticillata</i> (L) G. FMey          | Rubiaceae     |
| <i>Sphaeranthus Senegalensis</i> (DC)               | Astéracée     |
| <i>Zornia glochidata</i> (Reich)                    | Fabacée       |

Tableau 7. Liste des espèces et des familles dans la terrasse moyenne (Ngane)

| Espèces                                                | Familles        |
|--------------------------------------------------------|-----------------|
| <i>Fedherbia albida</i> (Del)                          | Mimosacée       |
| <i>Andropogon pseudapricus</i> (Stapf)                 | Poacée          |
| <i>Balanites aegyptiaca</i> (L). Del                   | Simarubacée     |
| <i>Cassia obtusifolia</i> (L)                          | Césalpiniacée   |
| <i>Corchorus olitorius</i> var <i>olitorius</i> (L)    | Tiliacée        |
| <i>Ctenium elegans</i> (Kunth)                         | Poacée          |
| <i>Cynodon dactylon</i> (Pers)                         | Poacée          |
| <i>Dactyloctenium aegyptium</i> (Beauv)                | Poacée          |
| <i>Enteropogon preurii</i> (Kunth) Clayton             | Poacée          |
| <i>Eragrostis tremula</i> (Hochst)                     | Poacée          |
| <i>Ipomaea asarifolia</i> (Desr. R. et Sch             | Convolvulacée   |
| <i>Ozyra longistaminata</i> (A. Chevalier et Roehrich) | Poacée          |
| <i>Philoxerus vermicularis</i> (L). P Beauv            | Amaranthacée    |
| <i>Scoparia dulcis</i> (L)                             | Scrophulariacée |
| <i>Spermacoce stachydea</i> (DC)                       | Rubiaceae       |
| <i>Spermacoce verticillata</i> (L)                     | Rubiaceae       |
| <i>Sporobolus granularis</i> (Mez)                     | Poacée          |

## ANNEXES III

Tableau 8. Liste des espèces et des familles dans la terrasse basse non inondable (Ndiaffate)

| Espèces                                             | Famille       |
|-----------------------------------------------------|---------------|
| <i>Wachellia nilotica</i> (Sh et Th)                | Mimosacée     |
| <i>Alysicarpus ovalifolius</i> (S et Th) Léon       | Papillonacée  |
| <i>Andropogon pseudapricus</i> (Stapf)              | Poacée        |
| <i>Calotropis procera</i> (Ait)                     | Asclépiadacée |
| <i>Cassia obtusifolia</i> (L)                       | Césalpiniacée |
| <i>Corchorus olitorius</i> var <i>olitorius</i> (L) | Tiliacée      |
| <i>Ctenium elegans</i> (Kunth)                      | Poacée        |
| <i>Cyperus rotundus</i> (L)                         | Cypéracée     |
| <i>Dactyloctenium aegyptiacum</i> (Beauv)           | Poacée        |
| <i>Eragrostis squamata</i> (Stend)                  | Poacée        |
| <i>Eragrostis tremula</i> (Hochst)                  | Poacée        |
| <i>Hibiscus asper</i> (Hook)                        | Malvacée      |
| <i>Leptadenia hastata</i> (Pers.) Decne             | Asclépiadacée |
| <i>Philoxerus vermicularis</i> (L) P. Beauv         | Amaranthacée  |
| <i>Phragmites vulgaris</i> (Lam) Druce              | Poacée        |
| <i>Pycnus albomarginatus</i> (Nees)                 | Cypéracée     |
| <i>Spermacoce verticillata</i> (L) G. FMey          | Rubiaceae     |
| <i>Sphaeranthus Senegalensis</i> (DC)               | Astéracée     |
| <i>Zornia glochidata</i> (Reich)                    | Fabacée       |

Tableau 9. Liste des espèces et des familles dans la terrasse basse non inondable (Ngane)

| Espèces                                     | Familles      |
|---------------------------------------------|---------------|
| <i>Andropogon pseudapricus</i> (Stapf)      | Poacée        |
| <i>Calotropis procera</i>                   | Asclépiadacée |
| <i>Cassia obtusifolia</i> (L)               | Césalpiniacée |
| <i>Chloris priourii</i> (Kunth)             | Poacée        |
| <i>Ctenium elegans</i> (Kunth)              | Poacée        |
| <i>Cyperus rotundus</i>                     | Cypéracée     |
| <i>Dactyloctenium aegyptium</i> (Beauv)     | Poacée        |
| <i>Eragrostis ciliris</i> (R. Br)           | Poacée        |
| <i>Philoxerus vermicularis</i> (L). P Beauv | Amaranthacée  |
| <i>Spermacoce stachydea</i> (DC)            | Rubiaceae     |
| <i>Zornia glochidiata</i>                   | Fabacée       |

## ANNEXES IV

Tableau 10. Liste des espèces et des familles dans la terrasse basse inondable (Ngane)

| Espèces                                     | Familles     |
|---------------------------------------------|--------------|
| <i>Balanites aegyptiaca</i> (L). Del        | Simarubacée  |
| <i>Cenchrus biflorus</i> (Roxb)             | Poacée       |
| <i>Chloris piolosa</i> (Sch et Thonn)       | Poacée       |
| <i>Chloris prieurii</i> (Kunth)             | Poacée       |
| <i>Cyperus rotundus</i>                     | Cypéracée    |
| <i>Digitaria velutina</i> (P. Beauv)        | Poacée       |
| <i>Kohautia grandifolia</i> (DC)            | Rubiacee     |
| <i>Ocimum basilicum</i> (L)                 | Lamiacée     |
| <i>Peristrophe bicalculata</i> (Retz)       | Acanthacée   |
| <i>Philoxerus vermicularis</i> (L). P Beauv | Amaranthacée |
| <i>Spermacoce stachydea</i> (DC)            | Rubiacee     |
| <i>Spermacoce verticillata</i> (L) G. FMey  | Rubiacee     |
| <i>Sporobolus granularis</i> (Mez)          |              |

## ANNEXES V

**Tableau 14 bilans ioniques stations de Ndiaffate et Ngane (terrasse haute)**

| Station de Ndiaffate |            |            |           |            |        |            |             |              |        |
|----------------------|------------|------------|-----------|------------|--------|------------|-------------|--------------|--------|
| Dates                | Ca (meq/l) | Mg (meq/l) | K (meq/l) | Na (meq/l) | Somme  | Cl (meq/l) | SO4 (meq/l) | SIO2 (meq/l) | Somme  |
| Oct-97               | 91,50      | 73,00      | 1,75      | 183,00     | 349,25 | 311,11     | 38,45       | 1,03         | 350,59 |
| Nov-97               | 101,50     | 80,00      | 1,75      | 208,00     | 391,25 | 346,11     | 45,45       | 1,03         | 392,59 |
| Dec 97               | 118,50     | 85,00      | 1,85      | 188,00     | 393,35 | 348,27     | 43,32       | 0,93         | 392,52 |
| Janv-98              | 107,50     | 86,00      | 2,25      | 198,00     | 393,75 | 340,30     | 54,68       | 0,91         | 395,89 |
| Fev 98               | 122,50     | 82,00      | 1,95      | 192,00     | 398,45 | 346,66     | 48,53       | 1,04         | 396,23 |
| Mars-98              | 120,50     | 85,00      | 2,05      | 203,00     | 410,55 | 362,46     | 47,04       | 1,02         | 410,53 |
| Avril 98             | 102,50     | 91,00      | 1,65      | 223,00     | 418,15 | 361,76     | 58,05       | 1,02         | 420,83 |
| Mai 98               | 117,50     | 93,00      | 2,15      | 213,00     | 425,65 | 360,80     | 65,55       | 0,94         | 427,29 |
| Juin-98              | 122,50     | 98,00      | 2,25      | 218,00     | 440,75 | 372,46     | 68,00       | 0,28         | 440,74 |
| Juillet 98           | 105,00     | 92,00      | 2,60      | 208,00     | 407,60 | 361,26     | 46,00       | 0,53         | 407,78 |
| Août 98              | 87,00      | 79,50      | 2,45      | 163,00     | 331,95 | 309,05     | 25,92       | 0,62         | 335,59 |
| Sept-98              | 84,75      | 82,75      | 1,98      | 161,75     | 331,23 | 292,38     | 41,28       | 0,46         | 334,12 |
| Oct-98               | 110,00     | 88,75      | 2,00      | 198,75     | 399,50 | 355,85     | 43,12       | 1,03         | 400,00 |
| NNov 98              | 120,00     | 97,00      | 2,10      | 218,50     | 437,60 | 387,79     | 48,78       | 1,03         | 437,60 |
| Déc-98               | 127,50     | 103,50     | 2,10      | 220,25     | 453,35 | 405,17     | 47,25       | 0,93         | 453,35 |
| Janv 99              | 121,25     | 107,50     | 1,88      | 223,00     | 453,63 | 405,95     | 47,33       | 0,59         | 453,88 |
| Févr-99              | 137,50     | 110,33     | 1,85      | 227,67     | 477,35 | 427,16     | 50,00       | 1,02         | 478,18 |
| Mars 99              | 130,00     | 117,00     | 2,08      | 251,75     | 500,83 | 452,25     | 48,56       | 1,02         | 501,83 |
| Avr-99               | 127,50     | 115,00     | 1,82      | 277,67     | 521,98 | 466,01     | 56,00       | 0,97         | 522,98 |
| Mai-99               | 142,50     | 127,25     | 2,65      | 310,50     | 582,90 | 508,46     | 74,96       | 0,86         | 584,28 |
| Juin-99              | 127,50     | 118,00     | 2,75      | 300,00     | 548,25 | 478,12     | 72,00       | 0,63         | 550,75 |
| Juil-99              | 125,50     | 109,20     | 2,49      | 286,40     | 523,59 | 477,70     | 47,71       | 0,68         | 526,09 |
| Août 99              | 93,75      | 94,00      | 2,35      | 244,00     | 434,10 | 399,28     | 36,83       | 0,49         | 436,60 |
| Sept-99              | 87,50      | 90,00      | 1,95      | 203,00     | 382,45 | 343,33     | 41,21       | 0,41         | 384,95 |

| Station de Ngane |        |        |      |        |           |            |           |            |          |
|------------------|--------|--------|------|--------|-----------|------------|-----------|------------|----------|
| Dates            | Ca     | Mg     | K    | Na     | S.Cations | Cl (meq/l) | SO4 méq/l | SIO2 méq/l | S Anions |
| Oct-97           | 77,75  | 154,00 | 3,08 | 165,75 | 400,58    | 252,50     | 142,75    | 1,65       | 396,90   |
| Nov-97           | 79,25  | 157,75 | 3,26 | 169,88 | 410,14    | 264,50     | 146,50    | 1,46       | 412,46   |
| Dec 97           | 81,25  | 163,00 | 3,53 | 174,50 | 422,28    | 273,13     | 150,13    | 1,29       | 424,54   |
| Janv-98          | 82,98  | 165,55 | 3,73 | 179,15 | 431,40    | 276,91     | 153,91    | 1,06       | 431,88   |
| Fev 98           | 86,38  | 168,00 | 3,99 | 186,88 | 445,24    | 285,00     | 160,50    | 0,86       | 446,36   |
| Mars-98          | 92,50  | 172,75 | 4,20 | 193,00 | 462,45    | 297,50     | 163,75    | 0,76       | 462,01   |
| Avril 98         | 103,13 | 179,13 | 4,56 | 203,63 | 490,44    | 317,50     | 172,50    | 0,74       | 490,74   |
| Mai 98           | 110,06 | 180,06 | 4,79 | 203,66 | 498,58    | 316,75     | 182,85    | 0,70       | 500,30   |
| Juin-98          | 106,69 | 169,92 | 4,92 | 186,27 | 467,81    | 286,07     | 181,00    | 0,52       | 467,60   |
| Juillet 98       | 102,37 | 152,48 | 4,90 | 182,39 | 442,14    | 257,48     | 176,85    | 0,50       | 434,83   |
| Août 98          | 89,75  | 129,00 | 4,48 | 156,00 | 379,23    | 223,00     | 154,25    | 0,38       | 377,63   |
| Sept-98          | 77,50  | 117,00 | 4,20 | 100,00 | 298,70    | 166,25     | 127,25    | 1,00       | 294,50   |
| Oct-98           | 66,90  | 110,10 | 5,09 | 136,00 | 318,09    | 195,40     | 117,60    | 1,48       | 314,48   |
| NNov 98          | 72,50  | 138,50 | 3,49 | 145,75 | 360,24    | 227,63     | 132,38    | 1,44       | 361,44   |
| Déc-98           | 80,90  | 152,70 | 3,43 | 153,40 | 390,43    | 248,00     | 143,20    | 1,54       | 392,74   |
| Janv 99          | 84,00  | 166,60 | 4,03 | 164,70 | 419,33    | 269,30     | 150,50    | 1,14       | 420,94   |
| Févr-99          | 88,00  | 171,88 | 4,03 | 172,88 | 436,78    | 282,00     | 157,00    | 0,75       | 439,75   |
| Mars 99          | 93,25  | 173,75 | 3,95 | 175,50 | 446,45    | 290,38     | 159,75    | 0,76       | 450,89   |
| Avr-99           | 95,00  | 177,40 | 3,95 | 186,10 | 462,45    | 301,80     | 159,90    | 0,86       | 462,56   |
| Mai-99           | 114,63 | 188,50 | 4,76 | 196,88 | 504,76    | 335,13     | 170,38    | 0,86       | 506,36   |
| Juin-99          | 111,72 | 164,19 | 4,78 | 174,94 | 455,63    | 287,16     | 169,41    | 0,65       | 457,22   |
| Juil-99          | 100,50 | 147,50 | 4,86 | 165,60 | 418,46    | 255,60     | 165,00    | 0,42       | 421,02   |
| Août 99          | 94,40  | 138,55 | 4,63 | 160,25 | 397,83    | 238,40     | 160,35    | 0,42       | 399,17   |
| Sept-99          | 91,75  | 136,25 | 4,38 | 157,50 | 389,88    | 232,50     | 158,75    | 0,43       | 391,68   |

## ANNEXES VI

Tableau 15 Pourcentage cationiques et anioniques : stations de Ndiaffate et Ngane (terrasse haute)

| Station de Ndiaffate |     |       |       |      |       |       |       |      |
|----------------------|-----|-------|-------|------|-------|-------|-------|------|
| Dates                | %Ca | %Mg   | %K    | %Na  | %Cl   | %S04  | %SIO2 |      |
| Oct-97               |     | 26,20 | 20,90 | 0,50 | 52,40 | 88,74 | 10,97 | 0,29 |
| Nov-97               |     | 25,94 | 20,45 | 0,45 | 53,16 | 88,16 | 11,58 | 0,26 |
| Dec 97               |     | 30,13 | 21,61 | 0,47 | 47,79 | 88,73 | 11,04 | 0,24 |
| Janv-98              |     | 27,30 | 21,84 | 0,57 | 50,29 | 85,96 | 13,81 | 0,23 |
| Fev 98               |     | 30,74 | 20,58 | 0,49 | 48,19 | 87,49 | 12,25 | 0,26 |
| Mars-98              |     | 29,35 | 20,70 | 0,50 | 49,45 | 88,29 | 11,46 | 0,25 |
| Avril 98             |     | 24,51 | 21,76 | 0,39 | 53,33 | 85,96 | 13,79 | 0,24 |
| Mai 98               |     | 27,60 | 21,85 | 0,51 | 50,04 | 84,44 | 15,34 | 0,22 |
| Juin-98              |     | 27,79 | 22,23 | 0,51 | 49,46 | 84,51 | 15,43 | 0,06 |
| Juillet 98           |     | 25,76 | 22,57 | 0,64 | 51,03 | 88,59 | 11,28 | 0,13 |
| Août 98              |     | 26,21 | 23,95 | 0,74 | 49,10 | 92,09 | 7,72  | 0,18 |
| Sept-98              |     | 25,59 | 24,98 | 0,60 | 48,83 | 87,51 | 12,35 | 0,14 |
| Oct-98               |     | 27,53 | 22,22 | 0,50 | 49,75 | 88,96 | 10,78 | 0,26 |
| NNov 98              |     | 27,42 | 22,17 | 0,48 | 49,93 | 88,62 | 11,15 | 0,24 |
| Déc-98               |     | 28,12 | 22,83 | 0,46 | 48,58 | 89,37 | 10,42 | 0,20 |
| Janv 99              |     | 26,73 | 23,70 | 0,41 | 49,16 | 89,44 | 10,43 | 0,13 |
| Févr-99              |     | 28,80 | 23,11 | 0,39 | 47,69 | 89,33 | 10,46 | 0,21 |
| Mars 99              |     | 25,96 | 23,36 | 0,41 | 50,27 | 90,12 | 9,68  | 0,20 |
| Avr-99               |     | 24,43 | 22,03 | 0,35 | 53,19 | 89,11 | 10,71 | 0,19 |
| Mai-99               |     | 24,45 | 21,83 | 0,46 | 53,27 | 87,02 | 12,83 | 0,15 |
| Juin-99              |     | 23,26 | 21,52 | 0,50 | 54,72 | 86,81 | 13,07 | 0,11 |
| Juil-99              |     | 23,97 | 20,86 | 0,48 | 54,70 | 90,80 | 9,07  | 0,13 |
| Août 99              |     | 21,60 | 21,65 | 0,54 | 56,21 | 91,45 | 8,44  | 0,11 |
| Sept-99              |     | 22,88 | 23,53 | 0,51 | 53,08 | 89,19 | 10,71 | 0,11 |

| Station de Ngane |       |       |      |     |       |       |       |      |
|------------------|-------|-------|------|-----|-------|-------|-------|------|
| Dates            | Ca%   | Mg%   | K%   | Na% | Cl%   | SO4%  | SIO2% |      |
| Oct-97           | 19,41 | 38,44 | 0,77 |     | 41,38 | 63,62 | 35,97 | 0,42 |
| Nov-97           | 19,32 | 38,46 | 0,80 |     | 41,42 | 64,13 | 35,52 | 0,35 |
| Dec 97           | 19,24 | 38,60 | 0,83 |     | 41,32 | 64,33 | 35,36 | 0,30 |
| Janv-98          | 19,23 | 38,38 | 0,86 |     | 41,53 | 64,12 | 35,64 | 0,25 |
| Fev 98           | 19,40 | 37,73 | 0,90 |     | 41,97 | 63,85 | 35,96 | 0,19 |
| Mars-98          | 20,00 | 37,36 | 0,91 |     | 41,74 | 64,39 | 35,45 | 0,17 |
| Avril 98         | 21,02 | 36,53 | 0,93 |     | 41,52 | 64,71 | 35,14 | 0,15 |
| Mai 98           | 22,08 | 36,12 | 0,96 |     | 40,83 | 63,29 | 36,57 | 0,14 |
| Juin-98          | 22,81 | 36,32 | 1,05 |     | 39,82 | 61,17 | 38,72 | 0,11 |
| Juillet 98       | 23,15 | 34,48 | 1,11 |     | 41,26 | 59,21 | 40,68 | 0,12 |
| Août 98          | 23,69 | 34,11 | 1,18 |     | 41,02 | 59,02 | 40,88 | 0,10 |
| Sept-98          | 25,96 | 39,25 | 1,41 |     | 33,38 | 56,57 | 43,09 | 0,34 |
| Oct-98           | 21,08 | 34,60 | 1,61 |     | 42,71 | 62,16 | 37,37 | 0,47 |
| Nov 98           | 20,12 | 38,42 | 0,97 |     | 40,48 | 62,96 | 36,64 | 0,40 |
| Déc-98           | 20,71 | 39,12 | 0,88 |     | 39,29 | 63,15 | 36,46 | 0,39 |
| Janv 99          | 20,04 | 39,73 | 0,96 |     | 39,28 | 63,97 | 35,76 | 0,27 |
| Févr-99          | 20,14 | 39,35 | 0,92 |     | 39,58 | 64,13 | 35,70 | 0,17 |
| Mars 99          | 20,89 | 38,92 | 0,88 |     | 39,31 | 64,40 | 35,43 | 0,17 |
| Avr-99           | 20,57 | 38,38 | 0,85 |     | 40,19 | 65,23 | 34,58 | 0,19 |
| Mai-99           | 22,68 | 37,33 | 0,94 |     | 39,05 | 66,12 | 33,71 | 0,17 |
| Juin-99          | 24,52 | 36,01 | 1,05 |     | 38,42 | 62,78 | 37,08 | 0,14 |
| Juil-99          | 24,01 | 35,25 | 1,16 |     | 39,57 | 60,71 | 39,19 | 0,10 |
| Août 99          | 23,73 | 34,83 | 1,16 |     | 40,28 | 59,72 | 40,18 | 0,11 |
| Sept-99          | 23,53 | 34,95 | 1,12 |     | 40,40 | 59,36 | 40,53 | 0,11 |

## ANNEXES VII

**Tableau 22 Bilan ionique stations de Ndiaffate et Ngane (terrasse moyenne)**

| Station de Ndiaffate |        |        |      |        |         |        |        |      |         |  |
|----------------------|--------|--------|------|--------|---------|--------|--------|------|---------|--|
| Dates                | Ca     | Mg     | K    | Na     | Somme   | Cl     | SO4    | SIO2 | Somme   |  |
| Oct-97               | 185,80 | 202,00 | 3,34 | 319,60 | 710,74  | 599,20 | 91,58  | 1,04 | 691,82  |  |
| Nov-97               | 191,80 | 229,40 | 3,42 | 339,60 | 764,22  | 662,00 | 94,99  | 1,04 | 758,03  |  |
| Dec 97               | 230,40 | 253,60 | 3,60 | 351,20 | 838,80  | 711,00 | 116,95 | 1,05 | 829,00  |  |
| Janv-98              | 229,80 | 253,00 | 4,24 | 370,80 | 857,84  | 732,20 | 120,42 | 1,03 | 853,66  |  |
| Fev 98               | 234,00 | 268,60 | 3,90 | 386,20 | 892,70  | 765,00 | 118,39 | 1,09 | 884,48  |  |
| Mars-98              | 243,40 | 270,60 | 4,48 | 390,60 | 909,08  | 782,00 | 122,85 | 0,99 | 905,84  |  |
| Avril 98             | 242,00 | 279,20 | 4,26 | 402,20 | 927,66  | 806,00 | 121,30 | 1,12 | 928,42  |  |
| Mai 98               | 249,00 | 283,40 | 5,10 | 423,80 | 961,30  | 832,80 | 134,13 | 1,01 | 967,94  |  |
| Juin-98              | 246,80 | 278,40 | 5,10 | 416,40 | 946,70  | 817,20 | 128,65 | 0,20 | 946,06  |  |
| Juillet 98           | 223,50 | 268,30 | 4,89 | 396,60 | 893,29  | 782,90 | 112,85 | 0,47 | 896,22  |  |
| Août 98              | 200,60 | 247,40 | 4,18 | 351,20 | 803,38  | 715,55 | 92,50  | 0,55 | 808,60  |  |
| Sept-98              | 180,25 | 215,80 | 3,43 | 318,45 | 717,93  | 635,20 | 88,34  | 0,36 | 723,90  |  |
| Oct-98               | 202,00 | 232,20 | 3,39 | 329,10 | 766,69  | 665,85 | 99,18  | 0,95 | 765,98  |  |
| Nov 98               | 218,40 | 251,80 | 3,79 | 355,10 | 829,09  | 719,20 | 107,59 | 1,04 | 827,83  |  |
| Déc-98               | 243,90 | 267,95 | 3,94 | 383,30 | 899,09  | 774,90 | 126,75 | 1,02 | 902,67  |  |
| Janv 99              | 259,00 | 281,60 | 4,00 | 398,50 | 943,10  | 804,15 | 142,42 | 1,00 | 947,58  |  |
| Févr-99              | 263,07 | 290,00 | 3,87 | 412,87 | 969,80  | 817,53 | 149,44 | 1,13 | 968,10  |  |
| Mars 99              | 267,55 | 299,30 | 4,40 | 435,05 | 1006,30 | 846,60 | 157,65 | 1,11 | 1005,36 |  |
| Avr-99               | 270,47 | 305,60 | 4,35 | 446,87 | 1027,28 | 869,67 | 162,89 | 1,13 | 1033,69 |  |
| Mai-99               | 283,05 | 319,05 | 4,87 | 465,45 | 1072,42 | 897,65 | 174,80 | 1,05 | 1073,50 |  |
| Juin-99              | 273,60 | 310,00 | 5,20 | 457,40 | 1046,20 | 897,60 | 159,40 | 0,86 | 1057,86 |  |
| Juil-99              | 249,04 | 287,36 | 4,83 | 419,80 | 961,03  | 835,00 | 128,38 | 0,68 | 964,06  |  |
| Août 99              | 193,35 | 238,10 | 3,89 | 363,25 | 798,59  | 716,15 | 88,57  | 0,42 | 805,14  |  |
| Sept-99              | 161,60 | 203,80 | 3,24 | 312,40 | 681,04  | 611,40 | 80,64  | 0,33 | 692,37  |  |

| Station de Ngane |            |            |           |            |          |           |             |              |        |
|------------------|------------|------------|-----------|------------|----------|-----------|-------------|--------------|--------|
| Dates            | Ca (méq/l) | Mg (méq/l) | K (méq/l) | Na (méq/l) | SCations | Cl(méq/l) | SO4 (méq/l) | SIO2 (méq/l) | SAions |
| Oct-97           | 114,00     | 287,75     | 5,28      | 381,50     | 788,53   | 451,25    | 232,30      | 1,24         | 684,79 |
| Nov-97           | 107,25     | 314,00     | 5,69      | 402,50     | 829,44   | 462,50    | 225,27      | 1,57         | 689,34 |
| Dec 97           | 103,69     | 342,50     | 5,87      | 436,38     | 888,43   | 473,13    | 240,23      | 2,17         | 715,52 |
| Janv-98          | 103,97     | 341,15     | 5,55      | 451,04     | 901,71   | 482,31    | 245,63      | 2,29         | 730,23 |
| Fev 98           | 104,75     | 353,13     | 5,42      | 460,81     | 924,11   | 498,75    | 235,23      | 2,18         | 736,16 |
| Mars-98          | 107,88     | 378,63     | 6,00      | 463,00     | 955,50   | 481,88    | 236,34      | 1,92         | 720,14 |
| Avril 98         | 113,60     | 387,40     | 6,50      | 479,23     | 986,72   | 522,38    | 260,43      | 2,22         | 785,04 |
| Mai 98           | 120,59     | 384,96     | 6,46      | 492,88     | 1004,89  | 591,53    | 243,60      | 1,80         | 836,93 |
| Juin-98          | 122,68     | 375,60     | 6,00      | 499,08     | 1003,36  | 591,28    | 241,08      | 1,15         | 833,51 |
| Juillet 98       | 112,11     | 328,89     | 5,61      | 481,43     | 928,03   | 578,54    | 242,31      | 1,21         | 822,07 |
| Août 98          | 106,63     | 270,00     | 5,50      | 396,25     | 778,38   | 478,75    | 218,43      | 1,28         | 698,46 |
| Sept-98          | 113,63     | 258,13     | 5,21      | 343,00     | 719,96   | 436,38    | 226,83      | 1,17         | 664,37 |
| Oct-98           | 118,40     | 310,15     | 5,66      | 408,50     | 842,71   | 499,30    | 265,23      | 1,09         | 765,63 |
| Nov 98           | 112,38     | 320,25     | 6,01      | 419,38     | 858,01   | 478,91    | 280,84      | 1,30         | 761,05 |
| Déc-98           | 110,25     | 351,90     | 5,84      | 437,00     | 904,99   | 509,00    | 294,53      | 2,14         | 805,67 |
| Janv 99          | 106,40     | 345,85     | 5,38      | 455,55     | 913,18   | 555,00    | 248,19      | 2,16         | 805,35 |
| Févr-99          | 110,50     | 340,75     | 5,28      | 466,94     | 923,46   | 571,25    | 250,57      | 2,11         | 823,93 |
| Mars 99          | 119,06     | 374,69     | 5,53      | 462,19     | 961,47   | 576,25    | 260,63      | 1,62         | 838,50 |
| Avr-99           | 112,15     | 358,60     | 5,89      | 460,40     | 937,04   | 595,00    | 281,36      | 1,61         | 877,97 |
| Mai-99           | 109,63     | 345,63     | 6,13      | 469,38     | 930,76   | 590,31    | 273,59      | 1,35         | 865,26 |
| Juin-99          | 121,95     | 383,28     | 6,04      | 489,53     | 1000,80  | 600,78    | 259,05      | 1,13         | 860,96 |
| Juil-99          | 123,95     | 326,75     | 5,19      | 426,75     | 882,64   | 541,50    | 227,46      | 3,04         | 772,00 |
| Août 99          | 131,15     | 325,00     | 5,60      | 414,85     | 876,60   | 555,00    | 242,47      | 2,58         | 800,05 |
| Sept-99          | 120,50     | 302,50     | 5,20      | 370,00     | 798,20   | 455,00    | 230,00      | 1,09         | 686,09 |

## ANNEXES VIII

Tableau 23 : Pourcentage cationique et anionique des stations de Ndiaffate et Ngane (terrasse moyenne)

| Station de Ndiaffate |       |     |       |      |       |       |       |  |      |
|----------------------|-------|-----|-------|------|-------|-------|-------|--|------|
| Dates                | Ca%   | Mg% | K%    | Na%  | Cl%   | SO4%  | SIO2% |  |      |
| Oct-97               | 26,14 |     | 28,42 | 0,47 | 44,97 | 86,61 | 13,24 |  | 0,15 |
| Nov-97               | 25,10 |     | 30,02 | 0,45 | 44,44 | 87,33 | 12,53 |  | 0,14 |
| Dec 97               | 27,47 |     | 30,23 | 0,43 | 41,87 | 85,77 | 14,11 |  | 0,13 |
| Janv-98              | 26,79 |     | 29,49 | 0,49 | 43,22 | 85,77 | 14,11 |  | 0,12 |
| Fev 98               | 26,21 |     | 30,09 | 0,44 | 43,26 | 86,49 | 13,38 |  | 0,12 |
| Mars-98              | 26,77 |     | 29,77 | 0,49 | 42,97 | 86,33 | 13,56 |  | 0,11 |
| Avril 98             | 26,09 |     | 30,10 | 0,46 | 43,36 | 86,81 | 13,07 |  | 0,12 |
| Mai 98               | 25,90 |     | 29,48 | 0,53 | 44,09 | 86,04 | 13,86 |  | 0,10 |
| Juin-98              | 26,07 |     | 29,41 | 0,54 | 43,98 | 86,38 | 13,60 |  | 0,02 |
| Juillet 98           | 25,02 |     | 30,04 | 0,55 | 44,40 | 87,36 | 12,59 |  | 0,05 |
| Août 98              | 24,97 |     | 30,79 | 0,52 | 43,72 | 88,49 | 11,44 |  | 0,07 |
| Sept-98              | 25,11 |     | 30,06 | 0,48 | 44,36 | 87,75 | 12,20 |  | 0,05 |
| Oct-98               | 26,35 |     | 30,29 | 0,44 | 42,93 | 86,93 | 12,95 |  | 0,12 |
| Nov 98               | 26,34 |     | 30,37 | 0,46 | 42,83 | 86,88 | 13,00 |  | 0,13 |
| Déc-98               | 27,13 |     | 29,80 | 0,44 | 42,63 | 85,84 | 14,04 |  | 0,11 |
| Janv 99              | 27,46 |     | 29,86 | 0,42 | 42,25 | 84,86 | 15,03 |  | 0,11 |
| Févr-99              | 27,13 |     | 29,90 | 0,40 | 42,57 | 84,45 | 15,44 |  | 0,12 |
| Mars 99              | 26,59 |     | 29,74 | 0,44 | 43,23 | 84,21 | 15,68 |  | 0,11 |
| Avr-99               | 26,33 |     | 29,75 | 0,42 | 43,50 | 84,13 | 15,76 |  | 0,11 |
| Mai-99               | 26,39 |     | 29,75 | 0,45 | 43,40 | 83,62 | 16,28 |  | 0,10 |
| Juin-99              | 26,15 |     | 29,63 | 0,50 | 43,72 | 84,85 | 15,07 |  | 0,08 |
| Juil-99              | 25,91 |     | 29,90 | 0,50 | 43,68 | 86,61 | 13,32 |  | 0,07 |
| Août 99              | 24,21 |     | 29,82 | 0,49 | 45,49 | 88,95 | 11,00 |  | 0,05 |
| Sept-99              | 23,73 |     | 29,92 | 0,48 | 45,87 | 88,30 | 11,65 |  | 0,05 |

| Station de Ngane |       |       |      |       |       |       |       |  |      |
|------------------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|--|------|
| Dates            | Ca%   | Mg%   | K%   | Na%   | Cl%   | SO4%  | SIO2% |  |      |
| Oct-97           | 14,46 | 36,49 | 0,67 | 48,38 | 65,90 | 33,92 |       |  | 0,18 |
| Nov-97           | 12,95 | 37,84 | 0,69 | 48,52 | 67,10 | 32,68 |       |  | 0,23 |
| Dec 97           | 11,67 | 38,55 | 0,66 | 49,12 | 66,12 | 33,57 |       |  | 0,30 |
| Janv-98          | 11,53 | 37,83 | 0,62 | 50,02 | 66,04 | 33,64 |       |  | 0,31 |
| Fev 98           | 11,34 | 38,21 | 0,59 | 49,87 | 67,76 | 31,94 |       |  | 0,30 |
| Mars-98          | 11,29 | 39,62 | 0,63 | 48,46 | 66,95 | 32,78 |       |  | 0,27 |
| Avril 98         | 11,51 | 39,26 | 0,66 | 48,57 | 66,49 | 33,23 |       |  | 0,28 |
| Mai 98           | 12,00 | 38,31 | 0,64 | 49,05 | 70,68 | 29,11 |       |  | 0,21 |
| Juin-98          | 12,23 | 37,42 | 0,60 | 49,75 | 70,94 | 28,92 |       |  | 0,14 |
| Juillet 98       | 12,08 | 35,44 | 0,61 | 51,87 | 70,37 | 29,48 |       |  | 0,15 |
| Août 98          | 13,77 | 34,74 | 0,71 | 50,78 | 68,50 | 31,32 |       |  | 0,18 |
| Sept-98          | 15,79 | 35,85 | 0,72 | 47,64 | 65,67 | 34,15 |       |  | 0,18 |
| Oct-98           | 14,05 | 36,81 | 0,67 | 48,47 | 65,19 | 34,66 |       |  | 0,14 |
| Nov 98           | 13,10 | 37,32 | 0,70 | 48,88 | 62,93 | 36,90 |       |  | 0,17 |
| Déc-98           | 12,19 | 38,88 | 0,65 | 48,29 | 63,17 | 36,56 |       |  | 0,27 |
| Janv 99          | 11,65 | 37,87 | 0,59 | 49,88 | 68,88 | 30,85 |       |  | 0,27 |
| Févr-99          | 11,97 | 36,89 | 0,57 | 50,57 | 69,33 | 30,41 |       |  | 0,26 |
| Mars 99          | 12,39 | 38,97 | 0,58 | 48,07 | 68,72 | 31,08 |       |  | 0,19 |
| Avr-99           | 11,96 | 38,26 | 0,63 | 49,15 | 67,77 | 32,05 |       |  | 0,18 |
| Mai-99           | 11,78 | 37,11 | 0,66 | 50,45 | 68,24 | 31,61 |       |  | 0,16 |
| Juin-99          | 12,19 | 38,28 | 0,60 | 48,93 | 69,78 | 30,09 |       |  | 0,13 |
| Juil-99          | 14,06 | 37,02 | 0,59 | 48,33 | 70,12 | 29,47 |       |  | 0,40 |
| Août 99          | 14,96 | 37,24 | 0,64 | 47,16 | 69,33 | 30,39 |       |  | 0,28 |
| Sept-99          | 15,10 | 37,90 | 0,65 | 46,35 | 66,32 | 33,52 |       |  | 0,16 |

## ANNEXES IX

**Tableau 30 : Bilan ionique stations de Ndiaffate et Ngane (terrasse basse non inondable)**

| Station de Ndiaffate |            |            |           |            |           |            |           |           |          |
|----------------------|------------|------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|-----------|----------|
| Dates                | Ca (méq/l) | Mg (méq/l) | K (méq/l) | Na (méq/l) | S CATIONS | Cl (méq/l) | SO4 meq/l | SIO2meq/l | S ANIONS |
| Oct-97               | 107,13     | 112,75     | 5,30      | 320,50     | 545,68    | 395,75     | 156,56    | 1,52      | 553,83   |
| Nov-97               | 124,00     | 127,00     | 5,65      | 351,00     | 607,65    | 432,38     | 169,70    | 1,56      | 603,64   |
| Dec 97               | 134,50     | 161,00     | 6,70      | 387,38     | 689,58    | 510,25     | 183,71    | 1,48      | 695,44   |
| Janv-98              | 143,50     | 164,00     | 7,10      | 417,50     | 732,10    | 553,13     | 179,89    | 1,57      | 734,59   |
| Fev 98               | 144,00     | 169,00     | 7,75      | 431,38     | 752,13    | 563,63     | 180,53    | 1,44      | 745,59   |
| Mars-98              | 142,50     | 174,25     | 7,25      | 435,63     | 759,63    | 564,75     | 186,90    | 1,58      | 753,23   |
| Avril 98             | 158,00     | 192,50     | 8,50      | 471,00     | 830,00    | 632,50     | 192,00    | 1,66      | 826,15   |
| Mai 98               | 176,00     | 196,63     | 8,55      | 499,63     | 880,80    | 694,75     | 188,65    | 1,57      | 884,97   |
| Juin-98              | 166,88     | 186,50     | 8,48      | 481,00     | 842,85    | 663,50     | 179,50    | 0,51      | 843,51   |
| Juillet 98           | 155,31     | 171,63     | 8,05      | 461,88     | 796,86    | 625,63     | 175,00    | 0,72      | 801,35   |
| Août 98              | 137,03     | 150,81     | 7,19      | 424,63     | 719,66    | 559,31     | 160,88    | 0,66      | 720,85   |
| Sept-98              | 113,25     | 123,06     | 5,96      | 367,19     | 609,46    | 461,91     | 147,31    | 0,43      | 609,65   |
| Oct-98               | 118,91     | 123,59     | 5,42      | 337,19     | 585,11    | 427,72     | 160,19    | 1,40      | 589,31   |
| Nov 98               | 136,44     | 135,69     | 5,76      | 365,06     | 642,94    | 458,19     | 181,30    | 1,60      | 641,09   |
| Déc-98               | 154,94     | 161,72     | 6,33      | 397,03     | 720,01    | 519,56     | 197,73    | 1,56      | 718,85   |
| Janv 99              | 172,97     | 182,81     | 6,84      | 431,75     | 794,38    | 585,31     | 206,31    | 1,62      | 793,25   |
| Févr-99              | 184,54     | 191,46     | 7,70      | 457,42     | 841,11    | 626,46     | 213,28    | 1,52      | 841,26   |
| Mars 99              | 193,28     | 199,44     | 7,65      | 475,88     | 876,24    | 653,38     | 224,00    | 1,55      | 878,93   |
| Avr-99               | 200,29     | 209,21     | 8,31      | 499,46     | 917,27    | 680,08     | 235,25    | 1,70      | 917,04   |
| Mai-99               | 217,78     | 223,50     | 8,89      | 538,03     | 988,20    | 741,53     | 243,16    | 1,64      | 986,33   |
| Juin-99              | 204,63     | 202,38     | 8,43      | 525,88     | 941,30    | 714,75     | 224,63    | 1,15      | 940,52   |
| Juil-99              | 178,60     | 181,40     | 7,99      | 479,28     | 847,27    | 652,53     | 193,99    | 0,91      | 847,42   |
| Août 99              | 138,13     | 139,09     | 6,80      | 402,38     | 686,39    | 535,16     | 149,52    | 0,66      | 685,34   |
| Sept-99              | 115,50     | 114,38     | 16,04     | 354,38     | 600,29    | 467,88     | 131,42    | 0,49      | 599,78   |

| Station de Ngane |          |          |         |          |         |            |           |           |         |
|------------------|----------|----------|---------|----------|---------|------------|-----------|-----------|---------|
| Dates            | Ca méq/l | Mg méq/l | K méq/l | Na méq/l | Scation | Cl (meq/l) | SO4 meq/l | SIO2meq/l | Sanions |
| Oct-97           | 110,67   | 550,00   | 7,10    | 630,00   | 1297,77 | 993,33     | 248,77    | 0,97      | 1243,07 |
| Nov-97           | 98,67    | 557,33   | 7,20    | 660,67   | 1323,87 | 973,33     | 248,87    | 0,97      | 1223,18 |
| Dec 97           | 127,33   | 678,33   | 8,00    | 825,33   | 1639,00 | 1196,67    | 308,94    | 1,16      | 1506,76 |
| Janv-98          | 128,67   | 827,33   | 10,27   | 904,67   | 1870,93 | 1330,00    | 358,23    | 0,80      | 1689,03 |
| Fev 98           | 119,00   | 840,00   | 8,83    | 1006,00  | 1973,83 | 1440,00    | 366,49    | 0,73      | 1807,22 |
| Mars-98          | 126,33   | 873,67   | 11,10   | 1025,00  | 2036,10 | 1450,00    | 419,65    | 0,68      | 1870,33 |
| Avril 98         | 130,67   | 907,00   | 11,73   | 1048,00  | 2097,40 | 1586,67    | 355,23    | 0,71      | 1942,61 |
| Mai 98           | 130,00   | 903,33   | 12,73   | 1058,33  | 2104,40 | 1578,67    | 368,50    | 0,62      | 1947,79 |
| Juin-98          | 135,00   | 906,67   | 12,87   | 1063,33  | 2117,87 | 1620,00    | 386,83    | 0,20      | 2007,03 |
| Juillet 98       | 132,50   | 828,33   | 11,82   | 994,50   | 1967,15 | 1471,33    | 369,01    | 0,32      | 1840,66 |
| Août 98          | 119,25   | 738,67   | 9,43    | 824,83   | 1692,18 | 1217,42    | 327,65    | 0,35      | 1545,42 |
| Sept-98          | 110,92   | 623,67   | 7,46    | 655,02   | 1397,06 | 1087,58    | 291,89    | 0,27      | 1379,75 |
| Oct-98           | 123,17   | 589,75   | 7,12    | 676,25   | 1396,28 | 1054,85    | 299,95    | 0,63      | 1355,43 |
| Nov 98           | 120,83   | 599,17   | 7,20    | 744,17   | 1471,37 | 1146,73    | 319,88    | 0,97      | 1467,57 |
| Déc-98           | 134,87   | 695,67   | 8,14    | 831,33   | 1670,01 | 1277,13    | 334,86    | 1,03      | 1613,02 |
| Janv 99          | 133,00   | 800,33   | 9,03    | 891,17   | 1833,53 | 1414,00    | 372,12    | 1,42      | 1787,54 |
| Févr-99          | 131,00   | 845,56   | 9,67    | 1032,33  | 2018,56 | 1574,22    | 419,55    | 0,67      | 1994,45 |
| Mars 99          | 132,22   | 847,78   | 10,90   | 1065,00  | 2055,90 | 1597,33    | 438,48    | 0,72      | 2036,53 |
| Avr-99           | 139,00   | 820,83   | 9,43    | 997,08   | 1966,35 | 1581,33    | 435,74    | 0,69      | 2017,76 |
| Mai-99           | 133,00   | 815,00   | 8,07    | 967,33   | 1923,40 | 1519,17    | 425,67    | 0,66      | 1945,50 |
| Juin-99          | 145,33   | 912,33   | 10,53   | 1118,33  | 2186,53 | 1700,00    | 413,46    | 0,49      | 2113,95 |
| Juil-99          | 139,00   | 873,33   | 10,30   | 1038,00  | 2060,63 | 1643,75    | 395,68    | 0,35      | 2039,78 |
| Août 99          | 121,56   | 770,00   | 8,28    | 860,00   | 1759,83 | 1448,00    | 342,54    | 0,32      | 1790,85 |
| Sept-99          | 120,00   | 700,00   | 7,27    | 746,67   | 1573,93 | 1285,00    | 325,00    | 0,28      | 1610,28 |

## ANNEXES X

Tableau 31 : Pourcentage cationique et anionique stations de Ndiaffate et Ngane (terrasse basse non inondable)

| Station de Ndiaffate |       |       |      |       |       |       |       |  |
|----------------------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|--|
| Dates                | %Ca   | %Mg   | %K   | %Na   | %Cl   | %SO4  | %SIO2 |  |
| Oct-97               | 19,63 | 20,66 | 0,97 | 58,73 | 65,56 | 28,27 | 0,27  |  |
| Nov-97               | 20,41 | 20,90 | 0,93 | 57,76 | 62,17 | 28,11 | 0,26  |  |
| Dec 97               | 19,50 | 23,35 | 0,97 | 56,18 | 69,46 | 26,42 | 0,21  |  |
| Janv-98              | 19,60 | 22,40 | 0,97 | 57,03 | 74,19 | 24,49 | 0,21  |  |
| Fev 98               | 19,15 | 22,47 | 1,03 | 57,35 | 74,83 | 24,21 | 0,19  |  |
| Mars-98              | 18,76 | 22,94 | 0,95 | 57,35 | 68,36 | 24,81 | 0,21  |  |
| Avril 98             | 19,04 | 23,19 | 1,02 | 56,75 | 71,47 | 23,24 | 0,20  |  |
| Mai 98               | 19,98 | 22,32 | 0,97 | 56,72 | 82,36 | 21,32 | 0,18  |  |
| Juin-98              | 19,80 | 22,13 | 1,01 | 57,07 | 82,80 | 21,28 | 0,06  |  |
| Juillet 98           | 19,49 | 21,54 | 1,01 | 57,96 | 86,79 | 21,84 | 0,09  |  |
| Août 98              | 19,04 | 20,96 | 1,00 | 59,00 | 91,74 | 22,32 | 0,09  |  |
| Sept-98              | 18,58 | 20,19 | 0,98 | 60,25 | 78,38 | 24,16 | 0,07  |  |
| Oct-98               | 20,32 | 21,12 | 0,93 | 57,63 | 66,72 | 27,18 | 0,24  |  |
| Nov 98               | 21,22 | 21,10 | 0,90 | 56,78 | 63,74 | 28,28 | 0,25  |  |
| Déc-98               | 21,52 | 22,46 | 0,88 | 55,14 | 65,50 | 27,51 | 0,22  |  |
| Janv 99              | 21,77 | 23,01 | 0,86 | 54,35 | 69,58 | 26,01 | 0,20  |  |
| Févr-99              | 21,94 | 22,76 | 0,91 | 54,38 | 71,27 | 25,35 | 0,18  |  |
| Mars 99              | 22,06 | 22,76 | 0,87 | 54,31 | 71,25 | 25,49 | 0,18  |  |
| Avr-99               | 21,84 | 22,81 | 0,91 | 54,45 | 68,95 | 25,65 | 0,19  |  |
| Mai-99               | 22,04 | 22,62 | 0,90 | 54,45 | 78,84 | 24,65 | 0,17  |  |
| Juin-99              | 21,74 | 21,50 | 0,90 | 55,87 | 84,34 | 23,88 | 0,12  |  |
| Juil-99              | 21,08 | 21,41 | 0,94 | 56,57 | 95,21 | 22,89 | 0,11  |  |
| Août 99              | 20,12 | 20,26 | 0,99 | 58,62 | 89,23 | 21,82 | 0,10  |  |
| Sept-99              | 19,24 | 19,05 | 2,67 | 59,03 | 78,00 | 21,91 | 0,08  |  |

| Station de Ngane |      |       |      |       |       |       |       |
|------------------|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|
| Dates            | Ca%  | Mg%   | K%   | Na%   | Cl %  | SO4%  | SIO2% |
| Oct-97           | 8,53 | 42,38 | 0,55 | 48,54 | 79,91 | 20,01 | 0,08  |
| Nov-97           | 7,45 | 42,10 | 0,54 | 49,90 | 79,57 | 20,35 | 0,08  |
| Dec 97           | 7,77 | 41,39 | 0,49 | 50,36 | 79,42 | 20,50 | 0,08  |
| Janv-98          | 6,88 | 44,22 | 0,55 | 48,35 | 78,74 | 21,21 | 0,05  |
| Fev 98           | 6,03 | 42,56 | 0,45 | 50,97 | 79,68 | 20,28 | 0,04  |
| Mars-98          | 6,20 | 42,91 | 0,55 | 50,34 | 77,53 | 22,44 | 0,04  |
| Avril 98         | 6,23 | 43,24 | 0,56 | 49,97 | 81,68 | 18,29 | 0,04  |
| Mai 98           | 6,18 | 42,93 | 0,61 | 50,29 | 81,05 | 18,92 | 0,03  |
| Juin-98          | 6,37 | 42,81 | 0,61 | 50,21 | 80,72 | 19,27 | 0,01  |
| Juillet 98       | 6,74 | 42,11 | 0,60 | 50,56 | 79,93 | 20,05 | 0,02  |
| Août 98          | 7,05 | 43,65 | 0,56 | 48,74 | 78,78 | 21,20 | 0,02  |
| Sept-98          | 7,94 | 44,64 | 0,53 | 46,89 | 78,82 | 21,16 | 0,02  |
| Oct-98           | 8,82 | 42,24 | 0,51 | 48,43 | 77,82 | 22,13 | 0,05  |
| Nov 98           | 8,21 | 40,72 | 0,49 | 50,58 | 78,14 | 21,80 | 0,07  |
| Déc-98           | 8,08 | 41,66 | 0,49 | 49,78 | 79,18 | 20,76 | 0,06  |
| Janv 99          | 7,25 | 43,65 | 0,49 | 48,60 | 79,10 | 20,82 | 0,08  |
| Févr-99          | 6,49 | 41,89 | 0,48 | 51,14 | 78,93 | 21,04 | 0,03  |
| Mars 99          | 6,43 | 41,24 | 0,53 | 51,80 | 78,43 | 21,53 | 0,04  |
| Avr-99           | 7,07 | 41,74 | 0,48 | 50,71 | 78,37 | 21,60 | 0,03  |
| Mai-99           | 6,91 | 42,37 | 0,42 | 50,29 | 78,09 | 21,88 | 0,03  |
| Juin-99          | 6,65 | 41,73 | 0,48 | 51,15 | 80,42 | 19,56 | 0,02  |
| Juil-99          | 6,75 | 42,38 | 0,50 | 50,37 | 80,58 | 19,40 | 0,02  |
| Août 99          | 6,91 | 43,75 | 0,47 | 48,87 | 80,86 | 19,13 | 0,02  |
| Sept-99          | 7,62 | 44,47 | 0,46 | 47,44 | 79,80 | 20,18 | 0,02  |

## ANNEXES XI

**Tableau 38 : Bilan ionique stations de Ndiaffate et Ngane (terrasse basse inondable)**

| Station de Ndiaffate |            |            |           |            |           |            |           |           |           |
|----------------------|------------|------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|-----------|-----------|
| Dates                | Ca (méq/l) | Mg (méq/l) | K (méq/l) | Na (méq/l) | S cations | Cl (meq/l) | SO4 meq/l | SIO2meq/l | S. anions |
| Oct-97               | 79,75      | 244,13     | 18,90     | 836,25     | 1179,03   | 875,63     | 301,91    | 0,50      | 1178,04   |
| Nov-97               | 96,63      | 258,75     | 19,29     | 854,63     | 1229,29   | 913,69     | 306,65    | 0,63      | 1220,97   |
| Dec 97               | 104,31     | 266,81     | 18,65     | 858,13     | 1247,90   | 937,50     | 300,42    | 0,65      | 1238,57   |
| Janv-98              | 102,83     | 270,73     | 19,52     | 875,71     | 1268,80   | 965,85     | 296,37    | 0,58      | 1262,80   |
| Fev 98               | 104,25     | 262,31     | 19,77     | 909,56     | 1295,89   | 987,19     | 304,20    | 0,62      | 1292,01   |
| Mars-98              | 99,63      | 266,75     | 18,66     | 933,81     | 1318,85   | 1010,00    | 310,47    | 0,61      | 1321,08   |
| Avril 98             | 98,88      | 283,38     | 18,22     | 958,06     | 1358,53   | 1052,94    | 301,03    | 0,59      | 1354,55   |
| Mai 98               | 105,14     | 283,34     | 19,12     | 958,01     | 1365,60   | 1057,94    | 303,35    | 0,41      | 1361,71   |
| Juin-98              | 103,21     | 281,66     | 19,12     | 950,56     | 1354,56   | 1050,94    | 298,79    | 0,16      | 1349,89   |
| Juillet 98           | 101,12     | 279,61     | 18,94     | 945,27     | 1344,94   | 1045,75    | 295,20    | 0,19      | 1341,15   |
| Août 98              | 94,63      | 272,63     | 17,96     | 912,25     | 1297,46   | 1012,75    | 277,98    | 0,23      | 1290,95   |
| Sept-98              | 87,63      | 262,75     | 17,37     | 879,50     | 1247,25   | 987,38     | 260,23    | 0,19      | 1247,79   |
| Oct-98               | 79,30      | 248,00     | 18,00     | 829,80     | 1175,10   | 922,20     | 252,40    | 0,41      | 1175,01   |
| Nov 98               | 89,25      | 255,13     | 19,88     | 828,44     | 1192,69   | 901,25     | 289,41    | 0,55      | 1191,21   |
| Déc-98               | 109,65     | 270,70     | 20,52     | 854,15     | 1255,02   | 934,35     | 317,17    | 0,72      | 1252,24   |
| Janv 99              | 123,80     | 281,30     | 21,67     | 875,10     | 1301,87   | 977,70     | 323,28    | 0,77      | 1301,75   |
| Févr-99              | 130,25     | 287,69     | 22,43     | 893,31     | 1333,68   | 1005,38    | 328,72    | 0,73      | 1334,83   |
| Mars 99              | 135,25     | 293,13     | 22,71     | 917,25     | 1368,34   | 1033,13    | 333,86    | 0,62      | 1367,61   |
| Avr-99               | 139,85     | 298,10     | 21,10     | 948,70     | 1407,75   | 1071,80    | 337,66    | 0,61      | 1410,07   |
| Mai-99               | 151,13     | 304,13     | 20,59     | 989,50     | 1465,34   | 1122,25    | 344,21    | 0,68      | 1467,14   |
| Juin-99              | 134,03     | 288,58     | 19,76     | 974,25     | 1416,62   | 1096,59    | 321,39    | 0,42      | 1418,40   |
| Juil-99              | 104,00     | 253,20     | 18,58     | 915,70     | 1291,48   | 1011,20    | 275,79    | 0,27      | 1287,26   |
| Août 99              | 85,25      | 224,65     | 18,06     | 826,25     | 1154,21   | 919,90     | 233,17    | 0,21      | 1153,29   |
| Sept-99              | 78,00      | 214,50     | 18,15     | 791,50     | 1102,15   | 880,50     | 222,68    | 0,15      | 1103,33   |

| Station de Ngane |            |            |           |            |           |            |             |              |          |
|------------------|------------|------------|-----------|------------|-----------|------------|-------------|--------------|----------|
| Dates            | Ca (méq/l) | Mg (méq/l) | K (méq/l) | Na (méq/l) | S cations | Cl (meq/l) | SO4 (méq/l) | SIO2 (méq/l) | S anions |
| Oct-97           | 136,75     | 1197,13    | 32,42     | 1714,13    | 3080,24   | 2574,38    | 431,33      | 1,01         | 3006,72  |
| Nov-97           | 131,88     | 1283,75    | 31,37     | 1785,00    | 3231,94   | 2653,50    | 464,94      | 0,96         | 3119,40  |
| Dec 97           | 134,63     | 1401,56    | 31,78     | 1804,44    | 3372,49   | 2791,88    | 480,92      | 0,94         | 3273,73  |
| Janv-98          | 135,71     | 1407,66    | 31,51     | 1996,34    | 3570,99   | 3042,19    | 449,08      | 0,97         | 3492,25  |
| Fev 98           | 140,63     | 1456,63    | 30,98     | 2409,81    | 4038,55   | 3523,75    | 472,21      | 0,92         | 3996,88  |
| Mars-98          | 132,94     | 1459,94    | 35,80     | 2484,06    | 4113,09   | 3596,88    | 486,79      | 0,88         | 4084,54  |
| Avril 98         | 122,44     | 1515,56    | 38,90     | 2505,81    | 4183,36   | 3660,63    | 541,94      | 0,85         | 4203,41  |
| Mai 98           | 133,14     | 1512,21    | 42,83     | 2520,38    | 4208,64   | 3719,31    | 516,92      | 0,63         | 4236,86  |
| Juin-98          | 138,57     | 1502,12    | 42,16     | 2529,51    | 4212,06   | 3726,53    | 500,83      | 0,14         | 4227,51  |
| Juillet 98       | 136,40     | 1478,26    | 38,87     | 2514,91    | 4167,89   | 3692,74    | 485,39      | 0,15         | 4178,28  |
| Août 98          | 120,50     | 1381,25    | 29,78     | 2393,88    | 3923,36   | 3472,38    | 432,13      | 0,17         | 3904,67  |
| Sept-98          | 123,13     | 1262,13    | 28,13     | 2209,00    | 3624,19   | 3217,25    | 419,39      | 0,12         | 3636,76  |
| Oct-98           | 146,90     | 1246,50    | 35,53     | 1901,10    | 3330,01   | 2854,00    | 479,77      | 0,98         | 3334,75  |
| Nov 98           | 144,38     | 1301,88    | 31,34     | 1956,25    | 3433,21   | 2907,50    | 499,74      | 1,03         | 3408,27  |
| Déc-98           | 142,00     | 1415,50    | 30,05     | 2053,80    | 3641,32   | 3102,70    | 520,21      | 0,93         | 3623,84  |
| Janv 99          | 144,00     | 1442,75    | 31,87     | 2253,25    | 3872,13   | 3403,80    | 489,69      | 0,98         | 3894,47  |
| Févr-99          | 151,00     | 1468,94    | 31,90     | 2405,00    | 4057,04   | 3532,00    | 529,51      | 0,91         | 4062,43  |
| Mars 99          | 151,88     | 1455,56    | 33,92     | 2462,81    | 4104,35   | 3587,81    | 509,61      | 0,88         | 4098,29  |
| Avr-99           | 139,55     | 1446,45    | 33,39     | 2497,50    | 4116,58   | 3630,05    | 484,75      | 0,76         | 4115,56  |
| Mai-99           | 150,88     | 1435,38    | 33,91     | 2519,69    | 4140,50   | 3693,38    | 447,36      | 0,76         | 4141,49  |
| Juin-99          | 153,45     | 1488,44    | 39,94     | 2535,63    | 4218,02   | 3782,33    | 440,79      | 0,46         | 4223,58  |
| Juil-99          | 148,00     | 1505,00    | 40,62     | 2477,40    | 4170,82   | 3750,70    | 445,94      | 0,10         | 4196,74  |
| Août 99          | 125,10     | 1437,50    | 34,95     | 2356,55    | 3953,70   | 3536,25    | 434,46      | 0,14         | 3970,85  |
| Sept-99          | 127,50     | 1427,50    | 35,87     | 2312,50    | 3904,25   | 3432,50    | 472,62      | 0,12         | 3905,24  |

## ANNEXES XII

**Tableau 39 : Pourcentage cationique et anionique stations de Ndiaffate et Ngane (terrasse basse inondable)**

| Station de Ndiaffate |       |       |      |       |       |       |       |  |  |
|----------------------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|--|--|
| Dates                | Ca%   | Mg%   | K%   | Na%   | Cl%   | SO4%  | SIO2% |  |  |
| Oct-97               | 6,76  | 20,71 | 1,60 | 70,93 | 74,33 | 25,63 | 0,04  |  |  |
| Nov-97               | 7,86  | 21,05 | 1,57 | 69,52 | 74,83 | 25,12 | 0,05  |  |  |
| Dec 97               | 8,36  | 21,38 | 1,49 | 68,77 | 75,69 | 24,26 | 0,05  |  |  |
| Janv-98              | 8,10  | 21,34 | 1,54 | 69,02 | 76,49 | 23,47 | 0,05  |  |  |
| Fev 98               | 8,04  | 20,24 | 1,53 | 70,19 | 76,41 | 23,55 | 0,05  |  |  |
| Mars-98              | 7,55  | 20,23 | 1,42 | 70,81 | 76,45 | 23,50 | 0,05  |  |  |
| Avril 98             | 7,28  | 20,86 | 1,34 | 70,52 | 77,73 | 22,22 | 0,04  |  |  |
| Mai 98               | 7,70  | 20,75 | 1,40 | 70,15 | 77,69 | 22,28 | 0,03  |  |  |
| Juin-98              | 7,62  | 20,79 | 1,41 | 70,18 | 77,85 | 22,13 | 0,01  |  |  |
| Juillet 98           | 7,52  | 20,79 | 1,41 | 70,28 | 77,97 | 22,01 | 0,01  |  |  |
| Août 98              | 7,29  | 21,01 | 1,38 | 70,31 | 78,45 | 21,53 | 0,02  |  |  |
| Sept-98              | 7,03  | 21,07 | 1,39 | 70,52 | 79,13 | 20,86 | 0,01  |  |  |
| Oct-98               | 6,75  | 21,10 | 1,53 | 70,62 | 78,48 | 21,48 | 0,03  |  |  |
| Nov 98               | 7,48  | 21,39 | 1,67 | 69,46 | 75,66 | 24,30 | 0,05  |  |  |
| Déc-98               | 8,74  | 21,57 | 1,64 | 68,06 | 74,61 | 25,33 | 0,06  |  |  |
| Janv 99              | 9,51  | 21,61 | 1,66 | 67,22 | 75,11 | 24,83 | 0,06  |  |  |
| Févr-99              | 9,77  | 21,57 | 1,68 | 66,98 | 75,32 | 24,63 | 0,06  |  |  |
| Mars 99              | 9,88  | 21,42 | 1,66 | 67,03 | 75,54 | 24,41 | 0,05  |  |  |
| Avr-99               | 9,93  | 21,18 | 1,50 | 67,39 | 76,01 | 23,95 | 0,04  |  |  |
| Mai-99               | 10,31 | 20,75 | 1,40 | 67,53 | 76,49 | 23,46 | 0,05  |  |  |
| Juin-99              | 9,46  | 20,37 | 1,40 | 68,77 | 77,31 | 22,66 | 0,03  |  |  |
| Juil-99              | 8,05  | 19,61 | 1,44 | 70,90 | 78,55 | 21,42 | 0,02  |  |  |
| Août 99              | 7,39  | 19,46 | 1,56 | 71,59 | 79,76 | 20,22 | 0,02  |  |  |
| Sept-99              | 7,08  | 19,46 | 1,65 | 71,81 | 79,80 | 20,18 | 0,01  |  |  |

| Station de Ngane |      |       |      |       |       |       |       |  |  |
|------------------|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|--|--|
| Dates            | Ca%  | Mg%   | K%   | Na%   | Cl%   | SO4%  | SIO2% |  |  |
| Oct-97           | 4,55 | 39,10 | 1,07 | 55,29 | 85,62 | 14,34 | 0,03  |  |  |
| Nov-97           | 4,13 | 38,19 | 0,99 | 56,69 | 85,62 | 14,35 | 0,03  |  |  |
| Dec 97           | 4,01 | 42,10 | 0,94 | 52,95 | 84,21 | 15,76 | 0,03  |  |  |
| Janv-98          | 3,96 | 40,65 | 0,95 | 54,43 | 87,06 | 12,91 | 0,03  |  |  |
| Fev 98           | 3,47 | 36,74 | 0,72 | 59,06 | 87,71 | 12,27 | 0,02  |  |  |
| Mars-98          | 3,49 | 34,96 | 0,87 | 60,67 | 88,91 | 11,07 | 0,02  |  |  |
| Avril 98         | 2,81 | 36,36 | 0,89 | 59,94 | 86,70 | 13,28 | 0,02  |  |  |
| Mai 98           | 3,13 | 36,01 | 1,04 | 59,83 | 87,72 | 12,26 | 0,02  |  |  |
| Juin-98          | 3,31 | 35,68 | 1,01 | 60,00 | 88,14 | 11,86 | 0,00  |  |  |
| Juillet 98       | 3,27 | 35,45 | 0,91 | 60,36 | 88,40 | 11,60 | 0,00  |  |  |
| Août 98          | 3,07 | 35,21 | 0,71 | 61,02 | 88,93 | 11,07 | 0,00  |  |  |
| Sept-98          | 3,40 | 34,83 | 0,83 | 60,95 | 88,46 | 11,53 | 0,00  |  |  |
| Oct-98           | 4,43 | 37,56 | 1,08 | 56,93 | 85,71 | 14,26 | 0,03  |  |  |
| Nov 98           | 4,23 | 37,73 | 0,91 | 57,12 | 85,26 | 14,71 | 0,03  |  |  |
| Déc-98           | 3,90 | 38,87 | 0,82 | 56,40 | 85,62 | 14,36 | 0,03  |  |  |
| Janv 99          | 3,74 | 37,38 | 0,84 | 58,05 | 87,37 | 12,60 | 0,03  |  |  |
| Févr-99          | 3,72 | 36,37 | 0,79 | 59,12 | 86,93 | 13,05 | 0,02  |  |  |
| Mars 99          | 3,70 | 35,45 | 0,83 | 60,02 | 87,63 | 12,35 | 0,02  |  |  |
| Avr-99           | 3,36 | 35,08 | 0,80 | 60,76 | 88,26 | 11,72 | 0,02  |  |  |
| Mai-99           | 3,71 | 34,51 | 0,82 | 60,96 | 89,10 | 10,88 | 0,02  |  |  |
| Juin-99          | 3,60 | 35,48 | 0,98 | 59,94 | 89,63 | 10,36 | 0,01  |  |  |
| Juil-99          | 3,59 | 36,02 | 0,97 | 59,42 | 89,39 | 10,61 | 0,00  |  |  |
| Août 99          | 3,15 | 36,36 | 0,86 | 59,64 | 89,01 | 10,99 | 0,00  |  |  |
| Sept-99          | 3,27 | 36,56 | 0,94 | 59,23 | 87,89 | 12,10 | 0,00  |  |  |

# ANNEXES XIII

Tableau 50 : Fréquence et contribution spécifique des différentes espèces dans le secteur de Ndiaffate

| Espèces                                  | Présences  | Contribution spécifique % | Fréquence spécifique % | Pi*Ln(pi)    | Abréviations |
|------------------------------------------|------------|---------------------------|------------------------|--------------|--------------|
| <i>Philoxerus vermicularis</i>           | 61         | 10,07                     | 82,43                  | -0,24        | Ph ve        |
| <i>Cyperus rotundus</i>                  | 45         | 8,17                      | 60,81                  | -0,20        | Cy ro        |
| <i>Dactyloctenium aegyptiacum</i>        | 40         | 7,26                      | 54,05                  | -0,19        | Da ae        |
| <i>Enteropogon priurii</i>               | 35         | 6,35                      | 47,30                  | -0,18        | En pr        |
| <i>Eragrostis tremula</i>                | 34         | 6,17                      | 45,95                  | -0,17        | Er tre       |
| <i>Sphaeranthus senegalensis</i>         | 33         | 5,99                      | 44,59                  | -0,17        | Sp se        |
| <i>Ctenium elegans</i>                   | 26         | 4,72                      | 35,14                  | -0,14        | Ct el        |
| <i>Spermacoce verticillata</i>           | 25         | 4,54                      | 33,78                  | -0,14        | Sp ve        |
| <i>Cassia obtusifolia</i>                | 24         | 4,36                      | 32,43                  | -0,14        | Ca ob        |
| <i>Zornia glochidata</i>                 | 22         | 3,99                      | 29,73                  | -0,13        | Zo gl        |
| <i>Eragrostica squamata</i>              | 20         | 3,63                      | 27,03                  | -0,12        | Er sq        |
| <i>Balanites aegyptiaca</i>              | 16         | 2,90                      | 21,62                  | -0,10        | Ba ae        |
| <i>Combretum glutinosum</i>              | 16         | 2,90                      | 21,62                  | -0,10        | Co gl        |
| <i>Andropogon pseudapricus</i>           | 13         | 2,36                      | 17,57                  | -0,09        | An ps        |
| <i>Leptadenia hastata</i>                | 12         | 2,18                      | 16,22                  | -0,08        | Le ha        |
| <i>Wachellia nilotica</i>                | 11         | 2,00                      | 14,86                  | -0,08        | Ac ni        |
| <i>Oryza longistaminata</i>              | 11         | 2,00                      | 14,86                  | -0,08        | Or lo        |
| <i>Wachellia seyal</i>                   | 10         | 1,81                      | 13,51                  | -0,07        | Ac se        |
| <i>Sida alba</i>                         | 10         | 1,81                      | 13,51                  | -0,07        | Si al        |
| <i>Chloris pilosa</i>                    | 9          | 1,63                      | 12,16                  | -0,07        | Ch pi        |
| <i>Mitragyna inermis</i>                 | 9          | 1,63                      | 12,16                  | -0,07        | Mi in        |
| <i>Spermacoce stachydea</i>              | 8          | 1,45                      | 10,81                  | -0,06        | Sp st        |
| <i>Commiphora africana</i>               | 6          | 1,09                      | 8,11                   | -0,05        | Co af        |
| <i>Brachiaria ramosa</i>                 | 5          | 0,91                      | 6,76                   | -0,04        | Br ra        |
| <i>Azadirachta indica</i>                | 4          | 0,73                      | 5,41                   | -0,04        | Az in        |
| <i>Corchorus olitorius var olitorius</i> | 4          | 0,73                      | 5,41                   | -0,04        | Co ol        |
| <i>Haemanthus pentaphylla</i>            | 4          | 0,73                      | 5,41                   | -0,04        | Ha pe        |
| <i>Pyreus albomarginatus</i>             | 4          | 0,73                      | 5,41                   | -0,04        | Py al        |
| <i>Tamarix senegalensis</i>              | 4          | 0,73                      | 5,41                   | -0,04        | Ta se        |
| <i>Calotropis procera</i>                | 3          | 0,54                      | 4,05                   | -0,03        | Ca pr        |
| <i>Dichrostachys glomerata</i>           | 3          | 0,54                      | 4,05                   | -0,03        | Di gl        |
| <i>Acanthospermum hispidum</i>           | 2          | 0,36                      | 2,70                   | -0,02        | Ac hi        |
| <i>Digitaria ciliaris</i>                | 2          | 0,36                      | 2,70                   | -0,02        | Di ci        |
| <i>Hibiscus asper</i>                    | 2          | 0,36                      | 2,70                   | -0,02        | Hi as        |
| <i>Nymphaea lotus</i>                    | 2          | 0,36                      | 2,70                   | -0,02        | Ny lo        |
| <i>Piliostigma reticulatum</i>           | 2          | 0,36                      | 2,70                   | -0,02        | Pi re        |
| <i>Sida rhombifolia</i>                  | 2          | 0,36                      | 2,70                   | -0,02        | Si rh        |
| <i>Alysicarpus ovalifolius</i>           | 1          | 0,18                      | 1,35                   | -0,01        | Al ov        |
| <i>Andropogon gayanus</i>                | 1          | 0,18                      | 1,35                   | -0,01        | An ga        |
| <i>Chloris gayana</i>                    | 1          | 0,18                      | 1,35                   | -0,01        | Ch ga        |
| <i>Conocarpus erectus</i>                | 1          | 0,18                      | 1,35                   | -0,01        | Co er        |
| <i>Crotalaria arenaria</i>               | 1          | 0,18                      | 1,35                   | -0,01        | Cr ar        |
| <i>Indigofera tinctoria</i>              | 1          | 0,18                      | 1,35                   | -0,01        | In tin       |
| <i>Ipomea aquatica</i>                   | 1          | 0,18                      | 1,35                   | -0,01        | Ip aq        |
| <i>Kohautia grandiflora</i>              | 1          | 0,18                      | 1,35                   | -0,01        | Ko gr        |
| <i>Merremia tridentata</i>               | 1          | 0,18                      | 1,35                   | -0,01        | Me tr        |
| <i>Pakinsonia aculeata</i>               | 1          | 0,18                      | 1,35                   | -0,01        | Pa ac        |
| <i>Pennisetum pedicellatum</i>           | 1          | 0,18                      | 1,35                   | -0,01        | Pe pe        |
| <i>Ziziphus mauritiana</i>               | 1          | 0,18                      | 1,35                   | -0,01        | Zi ma        |
| <b>total</b>                             | <b>551</b> | <b>100</b>                |                        | <b>-3,28</b> | <b>total</b> |

# ANNEXES XIV

Tableau 51 : Fréquence spécifique et contribution spécifique des espèces dans le secteur de Ngane.

| Espèces                                            | Présences  | Contribution spécifique % | Fréquence spécifique % | Pi*ln(Pi)    | Abréviations |
|----------------------------------------------------|------------|---------------------------|------------------------|--------------|--------------|
| <i>Cyperus rotundus</i>                            | 48         | 8,78                      | 66,67                  | -0,21        | Cy ro        |
| <i>Ctenium elegans</i>                             | 47         | 8,59                      | 65,28                  | -0,21        | Ct el        |
| <i>Dactyloctenium aegyptium</i>                    | 47         | 8,59                      | 65,28                  | -0,21        | Da ae        |
| <i>Spermacoce verticillata</i>                     | 44         | 8,04                      | 61,11                  | -0,20        | Sp ve        |
| <i>Enteropogon preurii</i>                         | 41         | 7,50                      | 56,94                  | -0,19        | En pr        |
| <i>Philoxerus vermicularis</i>                     | 38         | 6,95                      | 52,78                  | -0,19        | Ph ve        |
| <i>Andropogon pseudapricus</i>                     | 28         | 5,12                      | 38,89                  | -0,15        | An ps        |
| <i>Eragrostis squamata</i>                         | 28         | 5,12                      | 38,89                  | -0,15        | Er sq        |
| <i>Spermacoce stachydea</i>                        | 23         | 4,20                      | 31,94                  | -0,13        | Sp st        |
| <i>Zornia glochidiata</i>                          | 21         | 3,84                      | 29,17                  | -0,13        | Zo gl        |
| <i>Balanites aegyptiaca</i>                        | 18         | 3,29                      | 25,00                  | -0,11        | Ba ae        |
| <i>Cassia obtusifolia</i>                          | 15         | 2,74                      | 20,83                  | -0,10        | Ca ob        |
| <i>Eragrostis tenella</i>                          | 15         | 2,74                      | 20,83                  | -0,10        | Er te        |
| <i>Kohautia grandiflora</i>                        | 14         | 2,56                      | 19,44                  | -0,09        | Ko gr        |
| <i>Eragrostis tremula</i>                          | 13         | 2,38                      | 18,06                  | -0,09        | Er tr        |
| <i>Peristrophe bicalyculata</i>                    | 10         | 1,83                      | 13,89                  | -0,07        | Pe bi        |
| <i>Wachellia seyal</i>                             | 8          | 1,46                      | 11,11                  | -0,06        | Ac se        |
| <i>Barchiaria ramosa</i>                           | 8          | 1,46                      | 11,11                  | -0,06        | Br ra        |
| <i>Wachellia nilotica</i>                          | 7          | 1,28                      | 9,72                   | -0,06        | Ac ni        |
| <i>Commelina forskalaei</i>                        | 7          | 1,28                      | 9,72                   | -0,06        | Co for       |
| <i>Corchorus olitorius</i> var<br><i>olitorius</i> | 6          | 1,10                      | 8,33                   | -0,05        | Co ol        |
| <i>Sida rhombifolia</i>                            | 6          | 1,10                      | 8,33                   | -0,05        | Si rh        |
| <i>Chloris pilosa</i>                              | 5          | 0,91                      | 6,94                   | -0,04        | Ch pi        |
| <i>Ipomaea asarifolia</i>                          | 5          | 0,91                      | 6,94                   | -0,04        | Ip as        |
| <i>Schoenefeldia gracilis</i>                      | 5          | 0,91                      | 6,94                   | -0,04        | Sc gr        |
| <i>Thypha australis</i>                            | 5          | 0,91                      | 6,94                   | -0,04        | Th au        |
| <i>Calotropis procera</i>                          | 4          | 0,73                      | 5,56                   | -0,04        | Ca pr        |
| <i>Ampelocisus pentaphylla</i>                     | 3          | 0,55                      | 4,17                   | -0,03        | Am pe        |
| <i>Scoparia dulcis</i>                             | 3          | 0,55                      | 4,17                   | -0,03        | Sc du        |
| <i>Waltheria indica</i>                            | 3          | 0,55                      | 4,17                   | -0,03        | Wa in        |
| <i>Anacardium occidentale</i>                      | 2          | 0,37                      | 2,78                   | -0,02        | An oc        |
| <i>Cenchrus biflorus</i>                           | 2          | 0,37                      | 2,78                   | -0,02        | Ce bi        |
| <i>Crotalaria glaucoides</i>                       | 2          | 0,37                      | 2,78                   | -0,02        | Cr gl        |
| <i>Hibiscus asper</i>                              | 2          | 0,37                      | 2,78                   | -0,02        | Hi as        |
| <i>Ocimum basilicum</i>                            | 2          | 0,37                      | 2,78                   | -0,02        | Oc bas       |
| <i>Pennisetum pedicellatum</i>                     | 2          | 0,37                      | 2,78                   | -0,02        | Pe pe        |
| <i>Sesuvium portulacastrum</i>                     | 2          | 0,37                      | 2,78                   | -0,02        | Se po        |
| <i>Fedherbia albida</i>                            | 1          | 0,18                      | 1,39                   | -0,01        | Ac al        |
| <i>Cassia nigricans</i>                            | 1          | 0,18                      | 1,39                   | -0,01        | Ca ni        |
| <i>Cynodon dactylon</i>                            | 1          | 0,18                      | 1,39                   | -0,01        | Cy da        |
| <b>total</b>                                       | <b>547</b> | <b>100</b>                |                        | <b>-3,19</b> | <b>total</b> |

## Annexes XV

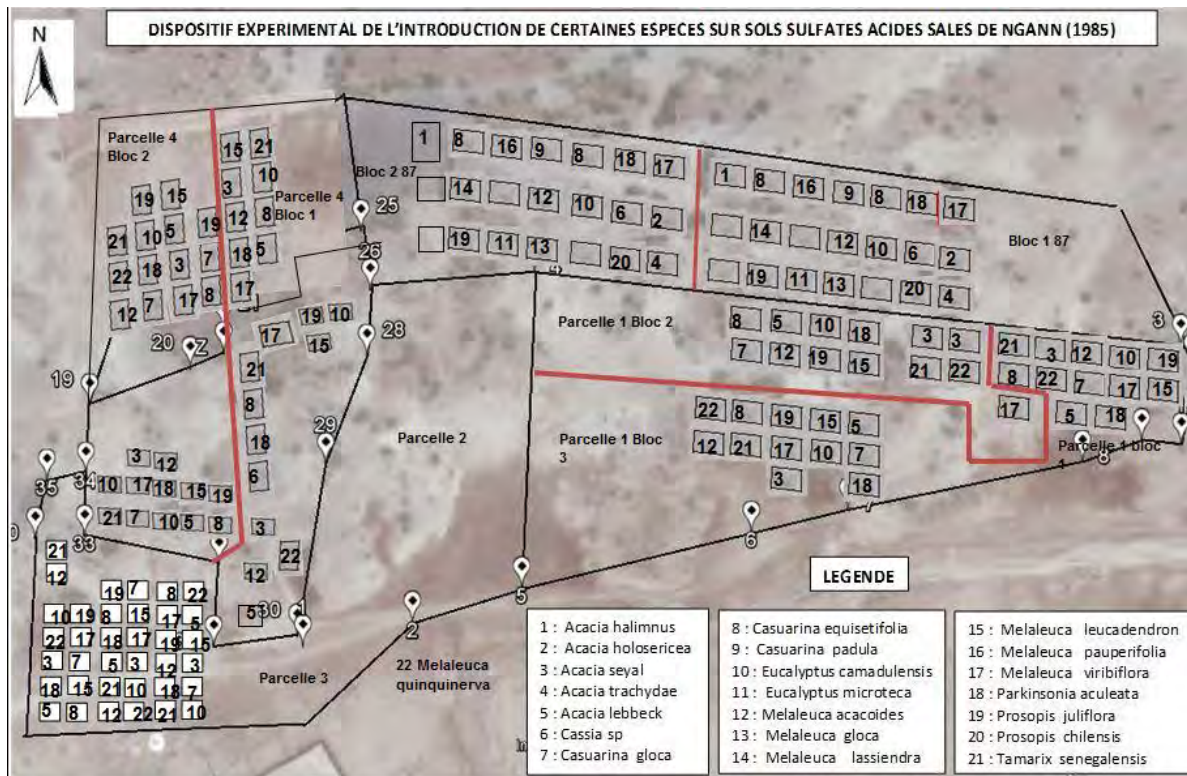


Figure 84 : Dispositif expérimental (1985) de l'introduction de certaines espèces sur sols sulfatés acides salés.

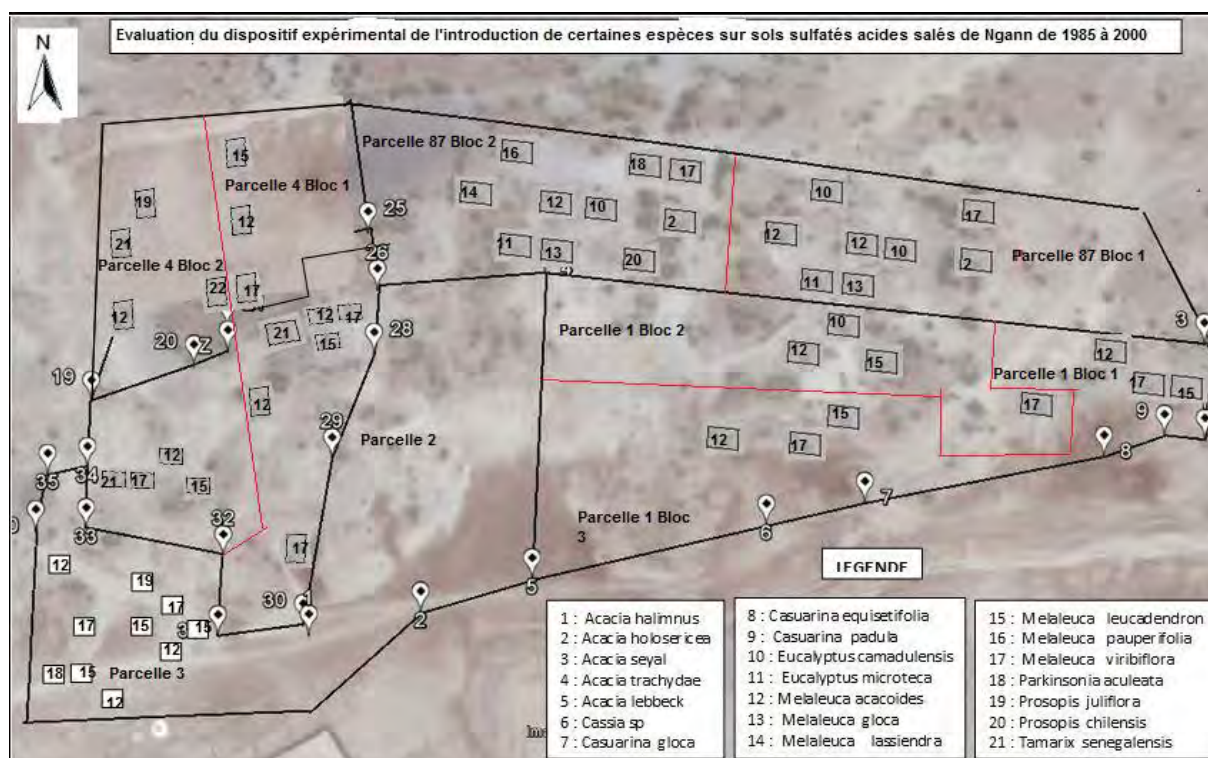


Figure 85 : Evolution du dispositif de l'essai d'introduction de certaines espèces sur sols sulfatés acides salés de 1985 à 2000

Figure 79 : Dispositif expérimental (2000)

## ANNEXES XVII

Tableau 59 : Paramètres conductivité et pH des différentes parcelles 1985-2000.

Tableau 59 A : Paramètres conductivité et pH de la parcelle 1 (1985 -2000)

|         | CE85 | C2000 | CEtémoin | pH85 | pH2000 | pH témoin |
|---------|------|-------|----------|------|--------|-----------|
| 0-15    | 0,51 | 0,24  | 0,39     | 5,2  | 4,90   | 4,61      |
| 15-30   | 0,60 | 0,49  | 0,71     | 5,0  | 4,44   | 3,91      |
| 30-45   | 0,68 | 0,80  | 0,92     | 4,7  | 4,54   | 3,89      |
| 45-60   | 0,76 | 0,96  | 1,25     | 4,5  | 4,57   | 3,96      |
| 60-75   | 0,90 | 1,41  | 1,52     | 4,2  | 4,58   | 3,99      |
| 75-90   | 1,03 | 1,24  | 1,48     | 4,0  | 4,76   | 3,98      |
| 90-105  | 1,13 |       |          | 3,6  |        |           |
| 105-120 | 1,97 |       |          | 3,4  |        |           |
| 120-135 | 2,42 |       |          | 3,3  |        |           |
| 135-150 | 2,78 |       |          | 3,2  |        |           |

Tableau 59 B : Paramètres conductivité et pH de la parcelle 2 (1985 -200)

|         | CE85 | CE2000 | CEtémoin | pH85 | pH2000 | pHtémoin |
|---------|------|--------|----------|------|--------|----------|
| 0-15    | 0,20 | 0,23   | 0,2      | 5,0  | 5,17   | 4,65     |
| 15-30   | 0,18 | 0,37   | 0,9      | 4,8  | 4,13   | 4,35     |
| 30-45   | 0,20 | 0,63   | 1,0      | 4,8  | 4,14   | 3,95     |
| 45-60   | 0,24 | 0,76   | 1,1      | 4,6  | 4,16   | 3,98     |
| 60-75   | 0,36 | 0,96   | 1,1      | 4,6  | 4,19   | 4,06     |
| 75-90   | 0,47 | 1,15   | 1,3      | 5,0  | 4,40   | 4,09     |
| 90-105  | 0,56 |        |          | 4,9  |        |          |
| 105-120 | 0,66 |        |          | 4,8  |        |          |
| 120-135 | 0,77 |        |          | 4,4  |        |          |
| 135-150 | 0,87 |        |          | 4,7  |        |          |

Tableau 59 C : Paramètres conductivité et pH de la parcelle 3 (1985 -200)

| Profondeurs | CE85 | CE2000 | CEtémoin | pH85 | pH2000 | pHtémoin |
|-------------|------|--------|----------|------|--------|----------|
| 0-15        | 2,25 | 0,39   | 0,49     | 3,9  | 5,1    | 5,32     |
| 15-30       | 2,67 | 0,63   | 0,96     | 4,3  | 4,6    | 4,00     |
| 30-45       | 3,16 | 0,93   | 1,53     | 4,2  | 4,6    | 4,71     |
| 45-60       | 3,37 | 1,32   | 1,74     | 4,5  | 4,6    | 4,81     |
| 60-75       | 3,12 | 1,41   | 1,78     | 4,3  | 4,8    | 4,83     |
| 75-90       | 3,05 | 1,42   | 1,85     | 4,3  | 5,0    | 4,82     |
| 90-105      | 2,84 |        |          | 4,1  |        |          |
| 105-120     | 2,83 |        |          | 4,2  |        |          |
| 120-135     | 2,76 |        |          | 4,1  |        |          |
| 135-150     | 2,70 |        |          | 4,0  |        |          |

Tableau 59 D : Paramètres conductivité et pH de la parcelle 4 (1985 -200)

| Profondeurs | CE85 | CE2000 | pHtémoin | pH85 | pH2000 | pHtémoin |
|-------------|------|--------|----------|------|--------|----------|
| 0-15        | 4,27 | 1,38   | 0,98     | 4,3  | 4,23   | 4,85     |
| 15-30       | 4,43 | 0,93   | 1,06     | 4,0  | 3,88   | 4,27     |
| 30-45       | 4,21 | 1,08   | 1,13     | 4,3  | 3,94   | 4,09     |
| 45-60       | 4,58 | 1,17   | 1,30     | 4,3  | 3,96   | 3,88     |
| 60-75       | 3,54 | 1,21   | 1,37     | 4,2  | 4,01   | 4,10     |
| 75-90       | 3,61 | 1,17   | 1,45     | 4,2  | 3,92   | 4,14     |
| 90-105      | 2,50 |        |          | 4,2  |        |          |
| 105-120     | 2,35 |        |          | 4,3  |        |          |
| 120-135     | 2,19 |        |          | 4,2  |        |          |
| 135-150     | 2,06 |        |          | 4,1  |        |          |

Tableau 59 E : Paramètres conductivité et pH de la parcelle 87 (1987 -200)

| Profondeurs | CE 87 | CE 2000 | CEtémoins | pH 87 | pH 2000 | pHtémoins |
|-------------|-------|---------|-----------|-------|---------|-----------|
| 0-15        | 6,20  | 0,45    | 0,80      | 6,15  | 4,57    | 4,75      |
| 15-30       | 6,10  | 0,44    | 1,00      | 5,60  | 4,33    | 4,15      |
| 30-45       | 5,95  | 0,73    | 1,20      | 5,25  | 4,14    | 3,85      |
| 45-60       | 5,75  | 0,85    | 1,50      | 4,60  | 4,18    | 3,90      |
| 60-75       | 5,45  | 0,89    | 2,00      | 4,55  | 4,21    | 4,05      |
| 75-90       | 5,35  | 0,98    | 2,10      | 4,40  | 4,16    | 4,00      |
| 90-105      | 5,25  |         |           | 4,35  |         |           |
| 105-120     | 4,55  |         |           | 4,20  |         |           |
| 120-135     | 4,40  |         |           | 4,10  |         |           |
| 135-150     | 4,35  |         |           | 3,85  |         |           |