

Université Cheikh Anta Diop de Dakar (UCAD)
Faculté des Sciences et Techniques (FST)

Année 2012

Thèse n° 151



Etude de la flore vasculaire, de la végétation et des macrophytes aquatiques proliférants dans le Delta du fleuve Sénégal et le Lac de Guiers (Sénégal)

Thèse

présentée et soutenue le 24 novembre 2012 pour obtenir le grade de
Docteur d'Etat ès Sciences Naturelles

Par

M. Abou THIAM



Membres du jury

Président :	M. Amadou Tidiane BA	Professeur titulaire, UCAD, Dakar
Rapporteurs :	M. Kandioura NOBA	Professeur titulaire, UCAD, Dakar
	M. Bienvenu SAMBOU	Maître de conférences, UCAD, Dakar
	M. Daniel THOEN	Professeur Université de Liège
Examineurs :	M. Koffi AKPAGANA,	Professeur titulaire, Université de Lomé
	M. Léonard AKPO	Professeur titulaire, UCAD, Dakar

Dakar, novembre 2012

**Université Cheikh Anta Diop de Dakar (UCAD)
Faculté des Sciences et Techniques (FST)**

Année 2012

Thèse d'Etat n° 151

**Etude de la flore vasculaire, de la végétation et des
macrophytes aquatiques proliférants dans le Delta du fleuve
Sénégal et le Lac de Guiers (Sénégal)**

Thèse

présentée et soutenue publiquement le 24 novembre 2012 pour obtenir le grade de

Doctorat d'Etat ès Sciences Naturelles

Par

M. Abou THIAM

Membres du jury

Président : **M. Amadou Tidiane BA** Professeur titulaire, UCAD, Dakar

Rapporteurs : **M. Kandioura NOBA** Professeur titulaire, UCAD, Dakar

M. Bienvenu SAMBOU Maître de conférences, UCAD, Dakar

M. Daniel THOEN Professeur, Université de Liège

Examineurs: **M. Koffi AKPAGANA** Professeur titulaire, Université de Lomé

Mr. Leonard AKPO Professeur titulaire, UCAD, Dakar

Je dédie ce mémoire....

A mes grand-parents feu Absatou Thiam et feu El Hadj Tidiane Touré....

pour m'avoir guidé dans la vie et montrer le chemin

A ma mère Fanta Touré et A mon père feu El Hadj Mamadou Thiam...

pour l'affection et l'amour

A mon épouse Fanta Sow et nos enfants Rokiatou, Djibril et Aissata...

pour le soutien et le devouement...

Résumé

La mise en service des grands barrages, à la fin des années 80, a entraîné des changements sur l'hydrologie, la qualité des eaux dans le delta du fleuve Sénégal et le lac de Guiers. Les nouvelles conditions ont provoqué des modifications dans la flore et la végétation, et entraîné la prolifération de macrophytes aquatiques comme *Typha domingensis*, *Potamogeton schweinfurthii*, *Pistia stratiotes* et *Salvinia molesta*. Cette nouvelle situation a eu des effets négatifs aux plans écologique, socio-économique et sanitaire. Le présent travail a été entrepris pour réunir des informations qui aideraient à une meilleure connaissance de la flore, de la végétation, de la biologie et de l'écologie des principaux macrophytes. Ces données sont nécessaires pour une gestion durable des macrophytes aquatiques et de l'environnement du delta fleuve Sénégal et du lac de Guiers.

L'inventaire systématique de la flore vasculaire a permis de recenser 151 espèces, réparties en 102 genres et 47 familles. Les monocotylédones représentent 41,7% et les dicotylédones 56,2%. Les familles les plus représentées sont les *Poaceae*, les *Cyperaceae*, les *Fabaceae* et les *Amaranthaceae*. La diversité spécifique est plus élevée dans les zones basses inondables, en raison de la forte artificialisation et de l'hétérogénéité de ces milieux, comparée à celles du lac de Guiers et du fleuve. La flore est constituée environ pour moitié (55%) de thérophytes, de phanérophytes et de chaméphytes qui représentent la composante terrestre, et pour moitié (44,5%), de macrophytes aquatiques parmi lesquels les héliophytes (hélégéophytes et héliothérophytes) (27 %) sont plus nombreux que les hydrophytes *sensu stricto* constitués par les hydrogéophytes, les hydrophytes nageants, les hydrothérophytes et hydro-hémicryptophytes (17,5 %) à des proportions variables selon le lac, le fleuve et les zones basses inondables. Les hydrophytes *sensu stricto*, bien que relativement moins importantes, constituent les éléments floristiques remarquables avec des familles souvent monogénériques et monospécifiques, caractéristiques des milieux aquatiques comme les *Alismataceae*, *Hydrocharitaceae*, *Lemnaceae*, *Najadaceae*, *Potamogetonaceae* chez les monocotylédones ; *Avicenniaceae*, *Ceratophyllaceae*, *Lentibulariaceae*, *Menyanthaceae*, *Nymphaeaceae* et *Rhizophoraceae* chez les dicotylédones. Une présentation détaillée de 48 espèces communes des milieux humides suivant 4 grands types a été faite : les macrophytes fixés émergents, les macrophytes fixés flottants, les macrophytes submergés et les macrophytes libres flottants. Cette présentation permet de disposer d'un outil d'identification et des informations sur les synonymies, les caractères botaniques, la distribution et l'écologie de ces taxons. Les espèces à large répartition géographique, pantropicales, paléotropicales et cosmopolites représentent les 3/5 des espèces, comparées aux taxons strictement africains ou guinéens-soudano-zambéziens et asiatiques (38%). Ces espèces relativement homogènes sont caractéristiques et bien adaptées au milieu aquatique qui amortit les variations écologiques majeures comme le climat.

L'analyse de la végétation, par des transects, montre qu'il existe une zonation de la végétation qui dépend de la salinité, de la déclivité, de la hauteur et de la durée de la submersion : la typhaie sur la rive, les *potamots* en eau plus profonde et entre les deux, la nymphaie en avant de la typhaie avec *Phragmites australis*, à la faveur de la direction des vents dominants, des vagues ou de particularités mésologiques locales, des plantes flottantes comme *Pistia* et *Salvinia* ou des plantes fixées comme *Cyperus articulatus* et *C. alopecuroides*.

L'analyse des groupements végétaux, par la technique du relevé phytosociologique, a permis d'identifier 9 groupements végétaux, qui se répartissent en végétations des milieux salés et des milieux d'eau douce et, de préciser leur composition floristique. La végétation des milieux salés comprend les groupements à *Tamarix senegalensis* et à *Arthrocnemum macrostachyum*. Celle des milieux d'eau douce comporte, du large vers les parties hautes des rives, les groupements à *Azolla pinnata*, *Potamogeton octandrus*, *Cyperus alopecuroides*, *C. articulatus*, *Bolboschoenus maritimus*, *Phragmites australis*, et *T. domingensis*.

L'étude de quelques aspects de la biologie et de l'écologie des macrophytes proliférants indique que la reproduction est essentiellement végétative chez *P. stratiotes*, et *P. schweinfurthii* alors que chez *T. domingensis*, elle est à la fois végétative et sexuée. Ces modes donnent à *T. domingensis* un pouvoir de colonisation très important. *S. molesta*, une plante invasive hybride présente uniquement une multiplication végétative.

Au total, ce travail a permis de faire un état des lieux de la flore, de la végétation et des macrophytes des rives du fleuve, du lac de Guiers et de divers milieux humides dans le delta. Ce référentiel est important pour le suivi scientifique de la biodiversité et la dynamique des peuplements de la zone. Les données sur la biologie et l'écologie des principales espèces pourraient aider à la valorisation, à la conception et à la mise en œuvre de méthodes de contrôle appropriées des macrophytes et de gestion durable des milieux humides et aquatiques du delta du fleuve Sénégal et le lac de Guiers.

Mots-clés : flore vasculaire, végétation, macrophytes proliférants, fleuve Sénégal, Lac de Guiers

Summary

The implementation of large dams in the late 80s, has led changes in hydrology, water quality in the delta of the Senegal River and Lake of Guiers. The new conditions caused changes in the flora and vegetation, and led the proliferation of aquatic macrophytes such as *Typha domingensis*, *Potamogeton schweinfurthii*, *Pistia stratiotes* and *Salvinia molesta*. This new situation has had some negative impact on ecology, people, socio-economic and health. The present work was undertaken to gather information that can contribute to a better knowledge of the flora, vegetation, biology and ecology of major macrophytes. These data are essential elements for sustainable management of aquatic macrophytes and environmental of the Senegal River delta and Lake of Guiers.

Systematic inventory of vascular flora has identified 151 species distributed in 102 genus and 47 families. Monocots represent 41.7% and dicots 56.2%. The most represented families are Poaceae, Cyperaceae, Fabaceae and Amaranthaceae. Species diversity is highest in low-lying areas liable to flooding, due to strong artificial and heterogeneity of these environments, compared to those of Lake of Guiers and the river. This flora consists approximately half (55%) of therophytes, phanerophytes and chamaephytes representing the land component, and half (44.5%) aquatic macrophytes including helophytes (helogeophytes and helotherophytes) (27%) are more important than hydrophytes *sensu stricto* formed by hydrogeophytes, submerged free hydrophytes, hydrotherophytes hydrohemicryptophytes (17.5%) in varying proportions depending on the lake, river and flood low-lying areas. These hydrophytes *sensu stricto*, although relatively less important, is nevertheless remarkable floristic elements with families and often monogeneriques, monospecific characteristics of aquatic environments such as Alismataceae, Hydrocharitaceae, Lemnaceae, Najadaceae, Potamogetonaceae in monocotyledons, Avicenniaceae, Ceratophyllaceae, Lentibulariaceae, Menyanthaceae, Nymphaeaceae and Rhyzophoraceae in dicots.

A typology of 48 common species of wetland was established following four main types: fixed emerging macrophytes, floating macrophytes fixed, submerged macrophytes and free floating macrophytes. The presentation of each species could be a tool for identification and information on synonyms, botanical characters, distribution and ecology of the taxa. Species with wide geographical distribution, pantropical, paleotropical and cosmopolitan represent 3/5 of species, compared to strictly african taxa or Sudano-Guinean-Zambezian and Asian (38%). These species are relatively homogeneous characteristics and are well adapted to the aquatic environment which absorbs major ecological changes such as climate.

The study of vegetation, with the transect method, shows that there is a zonation of vegetation depending on salinity, slope of water level and duration of flooding: the typhaie on shore, in deeper water pondweed and between the two, in front of the nymphaea, *Typha*, direction of prevailing winds, waves or local mesological conditions, floating plants like *Pistia* and *Salvinia* or fixed plants as *Phragmites australis*, *Cyperus articulatus* and *C. alopecuroides*.

The analysis of plant communities, by phytosociological technique has identified 9 plant groups, which are divided into vegetation of salty environment and fresh water, their floristic composition were specify and physiognomy. The vegetation of saline environments includes *Tamarix senegalensis* and *Arthrocnemum macrostachyum*. That of freshwater has from deeper water towards upper parts of the banks, *Azolla pinnata*, *Potamogeton octandrus*, *Cyperus alopecuroides*, *C. articulatus*, *Bolboschoenus maritimus*, *Phragmites australis*, and *T. domingensis*.

The study of some aspects of the biology and ecology of proliferating macrophyte indicates that reproduction is primarily vegetative in *P. stratiotes*, and *P. schweinfurthii* whereas in *T. domingensis*, it is both vegetative and sexual. These modes give *T. domingensis* much power for colonization. *S. molesta* has only vegetative multiplication.

In total, this work assess the actual situation of the vascular flora, vegetation and macrophytes in the Senegal river, various wetlands in the Delta and the lake of Guiers. This reference is essential for a scientific monitoring of biodiversity and vegetation dynamics. Data on the biology and ecology of key species could help the recovery, design and implementation of appropriate control methods of aquatic macrophytes and sustainable management of Senegal river delta and Lake of Guiers.

Key words: vascular flora, vegetation, macrophyte proliferation, Senegal river, lake of Guiers.

Sommaire

<i>Résumé</i>	<i>i</i>
<i>Summary</i>	<i>ii</i>
<i>Sommaire</i>	<i>iii</i>
<i>Liste des figures</i>	<i>vi</i>
<i>Liste des tableaux</i>	<i>viii</i>
<i>Remerciements</i>	<i>ix</i>

Introduction..... 1

Chapitre 1 Présentation du milieu physique..... 5

<i>1.1 Situation géographique</i>	<i>5</i>
<i>1.2 Climat</i>	<i>9</i>
1.2.1 Température	10
1.2.2 Humidité atmosphérique.....	10
1.2.3 Pluies.....	11
<i>1.3 Géologie et géomorphologie</i>	<i>12</i>
<i>1.4 Pédologie</i>	<i>13</i>
<i>1.5 Hydrogéologie</i>	<i>15</i>
<i>1.6 Hydrographie et hydrologie</i>	<i>16</i>
<i>1.7 Incidence des barrages sur l'hydrologie et la qualité des eaux</i>	<i>20</i>
1.7.1 Brève historique des aménagements sur le fleuve Sénégal.....	20
1.7.2 Barrage de Diama.....	21
1.7.3 Barrage de Manantali.....	22
1.7.4 Endiguements.....	23
1.7.5 Effets des aménagements sur l'hydrologie et la qualité des eaux dans le Delta.....	23
1.7.6 Effets des aménagements sur l'hydrologie et la qualité des eaux du lac de Guiers.....	25
<i>1.8 Conclusion</i>	<i>27</i>

Chapitre 2 Flore vasculaire des milieux humides.....29

<i>2.1 Introduction</i>	<i>29</i>
<i>2.2 Matériels et méthodes</i>	<i>30</i>
<i>2.3 Résultats et discussion</i>	<i>33</i>
2.3.1 Composition spécifique.....	33
2.3.2 Spectre biologique.....	46
2.3.3 Spectre chorologique.....	47

2.3.4	Typologie et présentation de quelques espèces communes.....	49
2.3.4.1	Macrophytes fixés émergents.....	53
2.3.4.2	Macrophytes fixés à feuilles flottantes.....	86
2.3.4.3	Macrophytes submergés.....	93
2.3.4.4	Macrophytes libres flottant à la surface.....	100
2.4	Conclusion.....	107
Chapitre 3 Végétation et groupements végétaux des milieux humides.....		108
3.1	Introduction.....	108
3.2	Matériels et méthodes.....	109
3.3	Résultats et discussion.....	113
3.3.1	Zonation de la végétation.....	113
3.3.2	Groupements végétaux.....	121
	A- Milieux humides salés	121
	1. Groupement à <i>Tamarix senegalensis</i>	121
	2. Groupement à <i>Arthrocnemum macrostachyum</i>	123
	B- Milieux d'eau douce.....	124
	1. Groupement à <i>Bolboschoenus maritimus</i>	124
	2. Groupement à <i>Cyperus alopecuroides</i>	125
	3. Groupement à <i>Cyperus articulatus</i>	125
	4. Groupement à <i>Phragmites australis</i>	126
	5. Groupement à <i>Typha domingensis</i>	127
	6. Groupement à <i>Azolla pinnata</i> et <i>Ludwigia stolonifera</i>	129
	7. Groupement à <i>Potamogeton octandrus</i>	130
3.4	Conclusion.....	134
Chapitre 4 Macrophytes aquatiques proliférants		135
4.1	Introduction.....	135
4.2	Multiplication et phytomasse de <i>Typha domingensis</i> Pers. dans le lac de Guiers.....	136
4.2.1	Matériels et méthodes.....	139
	4.2.1.1 Dispositif expérimental.....	139
	4.2.1.2 Multiplication et croissance.....	139
	4.2.1.3 Phytomasse.....	140
4.2.2	Résultats et discussion.....	142
	4.2.2.1 Caractéristiques pédologiques du substrat dans les bacs de culture.....	142
	4.2.2.2 Multiplication et croissance.....	142
	4.2.2.3 Phytomasse	150

4.3	<i>Multiplication et phytomasse de Pistia stratiotes L. dans le lac de Guiers</i>	153
4.3.1	Matériels et méthodes	157
4.3.1.1	Multiplication	157
4.3.1.2	Phytomasse	159
4.3.2	Résultats et discussion	159
4.3.2.1	Multiplication	159
4.3.2.2	Phytomasse	168
4.4	<i>Morphologie, distribution et phytomasse de Potamogeton schweinfurthii A. Bennett. dans le lac de Guiers</i>	171
4.4.1	Matériels et méthodes	173
4.4.1.1	Morphologie et distribution	173
4.4.2.2	Phytomasse	173
4.4.2	Résultats et discussion	173
4.4.2.1	Morphologie et distribution	173
4.4.2.2	Phytomasse	181
4.5	<i>Invasion du Delta par Salvinia molesta D.S. Mitchell.</i>	183
4.5.1	Matériels et méthodes	186
4.5.2	Résultats et discussion	186
4.5.2.1	Abondance des macrophytes	186
4.5.2.2	Systématique et distribution	190
4.5.2.3	Ecologie et multiplication	191
4.6	Conclusion	193
	Chapitre 5 Discussion générale	196
5.1	<i>Sur les problèmes du milieu</i>	196
5.2	<i>Sur la flore vasculaire</i>	198
5.3	<i>Sur la végétation et les groupements végétaux</i>	200
5.4	<i>Sur la prolifération des macrophytes aquatiques</i>	202
	Conclusions et perspectives	210
	Références bibliographiques	215
	Annexe	234

Liste des figures

Page

Figure 1 - Carte du Delta et du bassin du fleuve Sénégal en Afrique de l'Ouest.....	6
Figure 2 - Carte du Delta du fleuve Sénégal et le lac de Guiers.....	8
Figure 3 - Diagramme ombrothermique de Saint Louis (période : 1980-2000).....	9
Figure 4 - Température moyenne annuelle sous abri à Saint Louis (1980-2000).....	10
Figure 5 - Humidité relatives moyenne annuelle à Saint Louis (1980-2000).....	10
Figure 6 - Pluviométrie moyenne mensuelle à Saint Louis (1981-1990 et 1991- 2000).....	11
Figure 7 - Pluviométrie annuelle et tendance de la pluviosité à Saint Louis (1980 et 2000)	11
Figure 8 - Carte géomorphologique du Delta du fleuve Sénégal.....	14
Figure 9 - Carte du réseau hydrographique du Delta du fleuve Sénégal.....	18
Figure 10 - Carte des zones humides, inondables et cours d'eau permanents.....	19
Figure 11- Schéma de fonctionnement hydrologique du lac de Guiers.....	26
Figure 12 -Grands groupes systématiques de macrophytes recensés dans les 3 zones étudiées.....	43
Figure 13 -Nombre d'espèces recensées par type biologique	46
Figure 14 - Type chorologique des macrophytes recensés.....	48
Figure 15 - Carte de localisation des sites des transects.....	112
Figure 16 - Transect A, à Guembeul, août 1996 et février 1997.....	113
Figure 17 - Transect B, à Savoigne (Lampsar), août 1996 et février 1997.....	114
Figure 18 - Transect C, amont barrage de Diama, août 1996 et février 1997.....	115
Figure 19 - Transect D, Parc du Djoudj, fleuve Sénégal en février 1997.....	116
Figure 20 - Transect E, à Débi, rive gauche du fleuve Sénégal en février 1997.....	116
Figure 21 - Transect F, à Ouassoul, rive gauche du fleuve Sénégal, février 1997.....	117
Figure 22 - Transect G, canal de la Taoué, février 1997.....	117
Figure 23 - Rideau dense de <i>T. domingensis</i> dans le lac de Guiers, Ngnith, mai 1996.....	138
Figure 24 - Peuplement de <i>T. domingensis</i> , fleuve Sénégal, mars 2002.....	138
Figure 25 - Schéma du dispositif pour l'étude de <i>T. domingensis</i>	139
Figure 26 - Vue d'un bac pour le suivi de la croissance de <i>T. domingensis</i>	141
Figure 27 - <i>T. domingensis</i> . (a) Plante entière ; (b) Inflorescence; (c) Fruit, un akène.....	144
Figure 28 - Evolution de la hauteur maximale de <i>T. domingensis</i> dans les bacs A et C.....	147
Figure 29 - Evolution moyenne du nombre de feuilles par individu de <i>Typha</i>	148
Figure 30 - Evolution moyenne de la longueur maximale des feuilles de <i>Typha</i>	148
Figure 31 - Evolution de la largeur moyenne des feuilles de <i>Typha</i>	149
Figure 32 - Evolution du diamètre à la base de <i>Typha</i>	149
Figure 33 - Phytomasse hypogée de <i>T.domingensis</i> est également très importante.....	152
Figure 34 - Envahissement de la région sud du lac par <i>P. stratiotes</i> (mai 1992).....	155
Figure 35 - Radeau flottant de <i>P. stratiotes</i> avec <i>Oxycarym cubense</i> , Lac de Guiers,1992.....	155
Figure 36 - Zone de pullulation de <i>P. stratiotes</i> , lac de Guiers, 1992-1994.....	157
Figure 37 - Schéma des bassins flottants pour l'étude sur <i>Pistia</i> , 1994.....	157
Figure 38 - Vue du dispositif au démarrage de l'étude sur <i>Pistia</i> , 1994.....	158
Figure 39 - Vue du dispositif, 60 jours après le début des observations, 1994.....	158
Figure 40 - Evolution du nombre d'individus de <i>Pistia</i> dans les bassins (juin-décembre 1994).....	160
Figure.41 - Evolution du pH de l'eau du lac de Guiers (juin- octobre 1994).....	162
Figure 42 - Evolution de la conductivité (en mS) de l'eau du lac de Guiers (juin-octobre 1994).....	163
Figure 43 - Evolution des chlorures (Cl^-) dans l'eau du lac de Guiers (juin-octobre 1994).....	163
Figure 44 - Evolution du sodium (Na^+) dans l'eau du lac de Guiers (juin- octobre 1994)	164
Figure 45 - Evolution des sulfates (SO_4^{--}) dans l'eau du lac de Guiers (juin-octobre 1994).....	164
Figure 46 - Evolution des Carbonates (HCO_3^{--}) le lac de Guiers (juin-octobre 1994).....	165
Figure 47 - Evolution du Calcium (Ca^{++}) dans l'eau du lac de Guiers (juin-octobre 1994).....	165
Figure 48 - Evolution du Potassium (K^+) dans l'eau du lac de Guiers (juin-octobre 1994).....	166
Figure 49 - Evolution du Magnésium (Mg^{++}) dans l'eau du lac de Guiers (juin-octobre 1994).....	166
Figure 50 - Evolution du nombre de feuilles de <i>Pistia</i> dans les bassins (juin-décembre 1994).....	168

Figure 51 - Peuplements de <i>P. schweinfurthii</i> , Nord du lac de Guiers, septembre 1993.....	172
Figure 52 - Vue de près de <i>Potamogeton schweinfurthii</i>	172
Figure 53 - Largeur en fonction de la longueur des feuilles (droite de régression).....	174
Figure 54 - Nombre de fruits en fonction de la longueur des épis (droite de régression).....	174
Figure 55- <i>P. schweinfurthii</i> A. Bennett (1) Plante entière; (2) Graine ($\times 12$).....	176
Figure 56 - Principaux peuplements de <i>P. schweinfurthii</i> , lac de Guiers, janvier 1993.....	180
Figure 57 - Matières sèches et eau dans différents organes de <i>P. schweinfurthii</i>	182
Figure 58 - Envahissement du barrage de Diama par <i>S. molesta</i> , Novembre 1999.....	185
Figure 59 - Masse dense de <i>S. molesta</i> , barrage de Diama, Novembre 1999.....	185
Figure 60 - Enlèvement manuel de <i>S. molesta</i> , Fleuve Sénégal, Novembre 2000.....	209
Figure 61 - Grille empêchant l'entrée de <i>S. molesta</i> dans le Djoudj, Novembre 2000.....	209

Liste des tableaux

Page

Tableau 1- Espèces recensées fleuve, lac de Guiers et zones basses inondables.....	33
Tableau 2- Structure systématique de la flore.....	41
Tableau 3- Répartition des espèces en fonction des familles.....	41
Tableau 4- Types biologiques des espèces recensées dans les zones étudiées.....	47
Tableau 5- Chorologie des espèces recensées	49
Tableau 6- Synopsis des familles des hydrophytes <i>stricto sensu</i>	51
Tableau 7- Macrophytes aquatiques d'autres familles non strictement aquatiques.....	52
Tableau 8- Structure systématique des types de macrophytes.....	106
Tableau 9- Situation et coordonnées géographiques des transects.....	109
Tableau 10- Synthèse des résultats d'analyse du sol dans les sites d'étude.....	119
Tableau 11- Occurrence des principaux macrophytes sur les transects.....	120
Tableau 12- Groupement à <i>Tamarix senegalensis</i>	122
Tableau 13- Groupement à <i>Arthrocnemum macrostachyum</i>	123
Tableau 14- Groupement à <i>Bolboschoenus maritimus</i>	124
Tableau 15- Groupement à <i>Cyperus alopecuroides</i>	125
Tableau 16- Groupement à <i>Cyperus articulatus</i>	126
Tableau 17- Groupement à <i>Phragmites australis</i>	127
Tableau 18- Groupement à <i>Typha domingensis</i>	128
Tableau 19- Groupement à <i>Azolla pinnata</i> et <i>Ludwigia stolonifera</i>	130
Tableau 20- Groupement à <i>Potamogeton octandrus</i>	131
Tableau 21- Quelques caractéristiques des groupements végétaux des milieux humides salés et très faiblement salés/doux.....	133
Tableau 22- Hauteurs minimales, moyennes et maximales de <i>Typha</i> dans les bacs de culture.....	146
Tableau 23- Phytomasse de <i>T. domingensis</i> en conditions expérimentale et naturelle.....	151
Tableau 24- Physico-chimie de l'eau dans quelques sites du parc du Djoudj, mars 1993.	167
Tableau 25- Phytomasse de <i>Pistia stratiotes</i> dans le lac de Guiers.....	169
Tableau 26- Biométrie de quelques organes de <i>Potamogeton schweinfurthii</i>	173
Tableau 27- Eau et matières sèches dans quelques organes de <i>P. schweinfurthii</i>	181
Tableau 28- Abondance des macrophytes dans le fleuve Sénégal, Novembre 1999.....	187
Tableau 29- Physico-chimie de l'eau dans quelques sites envahis par <i>S. molesta</i>	189

Remerciements

Les résultats présentés dans ce travail ont été en grande partie obtenus dans le cadre de plusieurs projets de recherche réalisés au sein de l'Institut des Sciences de l'Environnement (ISE) de l'Université C.A.Diop de Dakar en relation avec la Fondation Universitaire Luxembourgeoise d'Arlon (Belgique) entre 1993 et 1998. Ces projets de recherche ont bénéficié du soutien financier du ministère de l'Environnement de la Région Wallonne de Belgique. Le professeur Michel Radoux de la Fondation Universitaire Luxembourgeoise qui a assuré la coordination scientifique et administrative de ces projets m'a apporté un concours précieux dans l'exécution des différents programmes qui m'étaient confiés. Je le remercie de tout cœur ainsi que la Région Wallonne de Belgique.

Je voudrais remercier très sincèrement le Professeur Amadou Tidiane Ba, ancien directeur de l'Institut des Sciences de l'Environnement, pour avoir bien voulu m'aider à mener à son terme ce travail. Il a facilité mes déplacements sur le terrain et prodigué conseils. Il me fait l'honneur de présider le jury de cette thèse.

La finalisation et la présentation de cette thèse doivent beaucoup au Professeur Kandiora Noba, du département de Biologie Végétale de la Faculté des Sciences et Techniques de l'Université C.A. Diop de Dakar. Ses remarques avisées et ses suggestions ont contribué à améliorer grandement ce travail. J'ai contracté avec lui une lourde dette de reconnaissance. Qu'il trouve ici l'expression de ma sincère gratitude pour avoir aussi accepté de participer au jury de cette thèse.

Le Professeur Bienvenu Sambou, Directeur de l'Institut des Sciences de l'Environnement, s'est beaucoup investi et aidé à finaliser et présenter cette thèse. Il a accepté également de juger ce travail. Je le remercie de tout cœur pour sa très grande disponibilité et son soutien.

Je suis redevable au Professeur Daniel Thoen de l'Université de Liège qui malgré son agenda très chargé a aimablement accepté de lire et me faire des observations sur plusieurs chapitres. Il a aussi accepté de juger ce travail. Je le remercie du fond du cœur.

Le Professeur Koffi Akpagana de l'Université de Lomé et le Professeur Léonard Akpo de l'Université C.A. Diop de Dakar ont accepté de faire partie du jury de cette thèse. Je les remercie très sincèrement pour leur disponibilité.

François Matty, agro-pédologue, enseignant à l'ISE m'a fait l'amitié de m'aider avec compétence et dévouement dans l'interprétation des résultats d'analyses pédologiques. Qu'il trouve ici l'expression de mes remerciements.

Je remercie également le Professeur François Xavier Cogels de l'Université de Liège (Belgique) qui lorsqu'il était chercheur à l'IRD (ex ORSTOM), m'a offert l'opportunité de continuer les

observations sur les macrophytes du lac de Guiers après la mise en service des barrages sur le fleuve. Il m'a encouragé à poursuivre les études sur la végétation aquatique du Delta. Les résultats présentés dans cette thèse lui doivent beaucoup.

Je me souviens avec beaucoup d'émotion de feu le Professeur Emérite Constant Vanden Berghen qui m'a ouvert la riche bibliothèque et l'herbier du jardin botanique national de Belgique à Meise et mis à ma disposition avant publication, le volume de la Flore du Sénégal consacré aux *Poaceae* qu'il avait fini de rédiger. Le professeur Vanden Berghen m'a également permis de rencontrer en Belgique d'éminents spécialistes de la flore et de la limnologie africaines. Il s'agit notamment du Professeur Emérite Jean Léonard de l'Université Catholique de Louvain, du Professeur Émérite Jean Jacques Symoens du Vrije Universiteit Brussels avec lesquels j'ai pu discuter de plusieurs aspects de la flore et de la végétation de l'Afrique et obtenus de nombreuses références bibliographiques. Tous m'ont fait bénéficier de leurs grandes connaissances de la flore africaine. Qu'ils trouvent ici mes sincères remerciements.

Le Professeur Aké Assi de l'Université d'Abidjan (Côte d'Ivoire), m'a aidé à identifier certaines Cyperaceae et Potamogetonaceae. Je le remercie de sa disponibilité et de sa générosité.

Le professeur Francis Rosillon et son équipe m'ont aimablement reçu à Arlon en mars 2012 lorsque je finalisais la préparation de mon manuscrit. Je les remercie pour leur hospitalité et leur disponibilité.

Mes collègues enseignants, le personnel technique et administratif de l'ISE, m'ont toujours témoigné amitié et disponibilité. Je les remercie très sincèrement pour leur indulgence surtout quand j'ai eu à assurer pendant sept ans les charges de directeur des études de l'Institut des Sciences de l'Environnement.

Je remercie également Mr Kaoussou Sambou, ancien taxinomiste à l'IFAN et Mr Abdoul Aziz Camara en charge de l'herbier du département de Biologie Végétale de l'UCAD pour leur précieuse aide dans l'identification de plusieurs échantillons botaniques.

M. Alassane Sarr, Melle Julienne Kuseu et Mme Marie Suzanne Traoré m'ont accompagné plusieurs fois sur le terrain et aidé dans la mise en ordre et l'exploitation des nombreuses données collectées. Je les remercie très sincèrement pour leur concours.

MM. Séga Diouf et Karim Gangué ont exécuté avec beaucoup de compétence et de patience les illustrations et les cartes présentées dans ce travail. Je leur dit un grand merci.

Je remercie les autorités du département de Biologie Végétale, de la Faculté des Sciences et Techniques et de l'Université C.A. Diop de Dakar pour m'avoir aidé à finaliser et présenter cette thèse.

Il m'est agréable de me remémorer de mes maîtres les Professeurs Mahamadou Alassane Cissé, André Doyen, François Xavier Cogels, Mike Singleton, Arthur Tibesar, Daniel Thoen et Pierre Pol Vincke. Ils m'ont initié à la botanique, au travail de terrain et aux études environnementales. Je les remercie très sincèrement pour toutes les connaissances qu'ils m'ont bien aimablement transmises.

La famille Camara à Ngnith au lac de Guiers m'a toujours accueilli avec beaucoup d'amabilité et de générosité lors de mes séjours dans la région du lac.

Lynn, Sara, Karen et Marc Pallemarts m'ont toujours agréablement offert l'hospitalité au cours de mes fréquents et parfois longs séjours à Bruxelles. Qu'ils trouvent ici l'expression de mes sentiments amicaux et ma reconnaissance.

Marie Emilie Diallo, assistante administrative à PAN Africa et Mourtada Thiam m'ont aidé dans la finalisation de ce mémoire et son édition. Je les en remercie.

Merci à mes amis et à ma famille pour le soutien et l'affection qu'ils m'ont toujours témoignés.

Introduction

Le fleuve Sénégal prend sa source dans les massifs du Fouta Djallon en République de Guinée. Il est le principal cours d'eau du Sénégal. Son régime se caractérise par une importante crue annuelle qui provoque l'inondation de la plaine alluviale et du Delta (BRGM, 1967 ; Albergel *et al.*, 1984). En effet, le fleuve se gonfle à la saison des pluies (juillet-octobre) et, en saison sèche (novembre et mai-juin) les écoulements d'eau diminuent très fortement. Pendant cette période d'étiage, au cours de laquelle aucune précipitation importante n'est enregistrée, les débits du fleuve et de ses affluents baissent très fortement. Cette diminution des débits se traduit par l'intrusion très en amont des eaux salées de l'océan atlantique dans le lit du fleuve (Trochain, 1940 ; Adam, 1964 ; Reizer, 1974; Cogels et Gac, 1982; Cogels *et al.*, 1993). Certaines années, l'eau salée remontait jusqu'à 220 km en amont de Saint Louis, et la marée se faisait sentir jusqu'à 440 km (Brigaud, 1961). De vastes étendues des terres du Delta étaient alors envahies par l'eau salée provenant de l'océan atlantique. Les incertitudes sur le climat et sur les débits des cours d'eau, la salinisation des eaux de surface et souterraine ont constitué depuis bien longtemps des handicaps à l'exploitation des ressources, la « mise en valeur » de la vallée du fleuve Sénégal et de son bassin versant (Henry, 1918; Lemmet et Scordel, 1918 ; Hubert, 1918 ; Hubert, 1921). Or, la zone du delta et le lac de Guiers jouent un rôle de premier plan dans le développement économique et social du Sénégal.

C'est pourquoi, depuis le siècle dernier, des investissements importants ont été réalisés pour maîtriser les eaux, éviter leur salinisation en vue de développer la production agricole, assurer l'alimentation en eau douce toute l'année des centres urbains notamment Dakar et Saint Louis ainsi que nombreux villages et hameaux.

La construction du pont barrage de Richard Toll en 1947 a transformé le lac de Guiers en un réservoir permanent d'eau douce pour l'irrigation des cultures pendant les périodes de l'année où l'eau est saumâtre dans le fleuve. Ce changement du régime des eaux a provoqué des modifications dans la flore lacustre, notamment la pullulation de *Typha domingensis* dans le delta et le lac de Guiers (Trochain, 1956). Les conséquences socio-économiques et sanitaires liées au développement de cet hélophyte sur les rives du lac ont été passées en revue (Grosmaire, 1957; Adam, 1964 ; Thiam, 1983). Des essais de lutte contre *T. domingensis* ont été suggérés (Trochain, 1956).

L'Organisation pour la Mise en Valeur du fleuve Sénégal (O.MV.S.) créée par les Etats du Mali, de la Mauritanie et du Sénégal en 1972, a permis, dans les années 80, la construction sur le fleuve

Sénégal, des barrages de Diama et de Manantali ainsi que des digues de protection. Ces ouvrages ont complètement modifié le régime naturel du fleuve. Ils ont permis de régulariser les débits, partiellement en période de crue et totalement en période sèche. La remontée des eaux marines dans le fleuve qui intervenait sur une grande partie du delta, a été stoppée (BDPA/Coyne et Bellier, 1999). Ainsi, des volumes d'eau douce plus importants sont maintenant disponibles toute l'année pour divers usages. Les barrages ont eu des impacts importants sur le développement agricole régional et l'environnement. En revanche, la prolifération de certaines espèces de plantes aquatiques suite à l'adoucissement des eaux est l'une des conséquences écologiques négatives des bouleversements occasionnés ou amplifiés par les ouvrages.

Avant les grands ouvrages sur le fleuve, quelques plantes des milieux humides ont été mentionnées par les prospecteurs qui ont sillonné la zone mais les noms des plantes sont incertains et incomplets (Adanson, 1757; Heudelot et Lelièvre, 1828; Guillemin *et al.*, 1830-1833). Des relevés de végétation ont été effectués dans le delta et le lac dans les années 30 (Trochain, 1940) et dans les années 60 (Adam, 1964 ; Adam, 1965) ; mais les informations fournies ne permettent pas de faire une comparaison avec la situation actuelle. Un catalogue des adventices des rizières de Richard-Toll avec des indications sur la chorologie des principales espèces a été présenté (Adam, 1960). La flore ligneuse de la région du lac de Guiers a été examinée (Doyen et Thiam, 1980 ; Thiam, 1982 ; Doyen, 1983 ; Thoen et Thiam, 1990) et l'étude détaillée des groupements végétaux aquatiques et amphibies du lac et de sa plaine d'inondation avec des indications sur les facteurs édaphiques a été réalisée (Thiam, 1984).

Après la mise en place des grands barrages, quelques informations sur la flore et la végétation de la zone ont été fournies (Kuisseu, 1997; Thiam 1998 ; Kuisseu *et al.* 2001 ; Faye, 2007 ; Noba *et al.*, 2010). Une liste des adventices des rizières irriguées du delta a été établie (Diagne, 1991). L'extension importante de *Typha* a été observée dans l'ensemble du delta et le lac de Guiers (Cogels *et al.* 1993 ; Thiam *et al.*, 1993 ; Thiam, 1998) ; des essais de faucardage et d'enlèvement de la plante avec un bateau équipé ont été effectués (Hellsten *and al.* 1999) et des essais de valorisation de *Typha* comme combustible ont été menés (GTZ, 2001). En plus, de *Typha domingensis*, les nouvelles conditions hydrologiques et de la qualité des eaux ont provoqué des pullulations de *Pistia stratiotes* dans le parc National du Djoudj et le lac de Guiers en 1992 (Guiral, 1993 ; Thiam, 1993) et l'apparition massive de *Potamogeton schweinfurthii* dans le lac de Guiers (Thiam et Ouattara, 1997). Des programmes de lutte biologique contre *Pistia stratiotes* (Anonyme, 1994; Anonyme, 1995b) et *Salvinia molesta*, introduit dans le delta à la fin des années 90 ont été mis en œuvre (Pieterse *et al.* 2003; Diop, 2006).

Ainsi, plusieurs études et travaux visant une meilleure connaissance des macrophytes aquatiques de la région, leur contrôle et les possibilités de leur valorisation ont été réalisés. Cependant, aucune analyse floristique d'ensemble, d'études détaillées sur la biologie et l'écologie des macrophytes aquatiques du delta et le lac de Guiers n'ont été menées jusqu'ici. La lutte contre certaines espèces végétales aquatiques a été menée sans avoir une bonne connaissance des espèces (Guiral, 1993). Or, pour mettre au point des méthodes de lutte appropriées contre les macrophytes proliférants, il est essentiel de disposer de données approfondies sur leur biologie et leur écologie. Des méthodes adéquates de contrôle de l'extension de certaines plantes permettraient d'éviter que les investissements importants effectués par les Etats membres de l'O.M.V.S. afin de maîtriser les eaux du fleuve et favoriser le développement socio-économique dans le bassin du fleuve Sénégal, ne soient entravés par des conséquences inattendues liées à la prolifération de macrophytes.

Notre travail traite de plusieurs aspects de la flore et de la végétation des milieux humides du delta du fleuve Sénégal et du lac de Guiers, après la mise en service des barrages. Il contribue à une meilleure connaissance de la flore et de la végétation des milieux humides du delta du fleuve Sénégal et le lac de Guiers. Ces connaissances sont un préalable indispensable pour une exploitation rationnelle des ressources végétales, le suivi scientifique de la diversité végétale et la dynamique des peuplements de la zone. En outre, les données sur la croissance, la multiplication et la phytomasse des principales espèces proliférantes peuvent aider à la valorisation, à la conception et la mise en œuvre de méthodes de contrôle appropriées des macrophytes aquatiques et de gestion durable des écosystèmes limniques du delta du fleuve.

Ce mémoire est structuré de la manière suivante :

Le chapitre 1 présente le milieu physique du point de vue géographique, climatique, édaphique, hydrogéologique, hydrographique et hydrologique. Les aménagements hydro-agricoles réalisés et leurs impacts sur l'hydrologie et la qualité des eaux dans le delta et le lac de Guiers sont également analysés.

Le chapitre 2 traite de la flore vasculaire, de la typologie et de la présentation des principaux macrophytes

Le chapitre 3 expose sur la zonation de la végétation et les principaux groupements végétaux des milieux humides salés et d'eau douce,

Le **chapitre 4** aborde quelques aspects de la biologie, de la reproduction, de la multiplication, de la phytomasse et de l'écologie de quatre macrophytes aquatiques proliférants dans la région: *Typha domingensis*, *Pistia stratiotes*, *Potamogeton schweinfurthii* et *Salvinia molesta*,

Le **chapitre 5** présente une discussion et des considérations générales portant principalement sur les problèmes du milieu, la flore, la végétation et les groupements végétaux reconnus, les aspects de multiplication, de croissance et les moyens de lutte contre les plantes aquatiques proliférantes majeures.

Les **conclusions et quelques perspectives** envisageables terminent notre étude.

Chapitre 1 Présentation du milieu physique

1.1 Situation géographique

Le Fleuve Sénégal est le second grand fleuve de l'Afrique de l'Ouest après le Niger. Il est formé par la jonction, à Bafoulabé (Mali), des rivières du Bafing et du Bakoye qui prennent leur source dans le massif guinéen du Fouta Djallon (Figure1). Le Bafing, long de 760 km a un bassin versant de 30.000 km² et apporte presque la moitié du débit du fleuve (EUROCONSULT-RIN, 1990). Le Bakoye a une longueur de 560 km.

Le Fleuve Sénégal traverse la République du Mali, puis forme sur près de 800 km la frontière entre la Mauritanie et le Sénégal pour enfin se jeter dans l'Océan Atlantique à 20 km au sud de Saint-Louis, après un parcours de 1080 km. Le bassin versant du fleuve se situe entre les latitudes 10°20' et 17°30'N et les longitudes 7° et 16°30' W. Il couvre les États de la Guinée (10,7% de la surface du bassin), du Mali (53,6%), du Sénégal (9,5%) et de la Mauritanie (26,1%) (O.M.V.S., 1979). L'ensemble du bassin s'étend sur plus de 343.000 km² (Michel, 1973) et l'apport d'eau moyen annuel est de 24 milliards de m³ (Mainguet, 1995). L'irrégularité dans les écoulements constitue la caractéristique principale des fleuves tropicaux et le Sénégal n'échappe à cette règle.

Le bassin du fleuve Sénégal peut être subdivisé en trois zones distinctes (O.M.V.S., 1979) :

- le bassin supérieur ou Haut bassin correspond à la zone où le fleuve reçoit la quasi-totalité de ses eaux ; il s'agit d'une région à pluviométrie élevée (de 700 à 2000 mm/an) ;
- le bassin inférieur ou Vallée du fleuve à 800 km de l'embouchure, inondable en période de crue ;
- et le delta, vaste plaine alluvionnaire de près de 170 km en amont de l'estuaire.

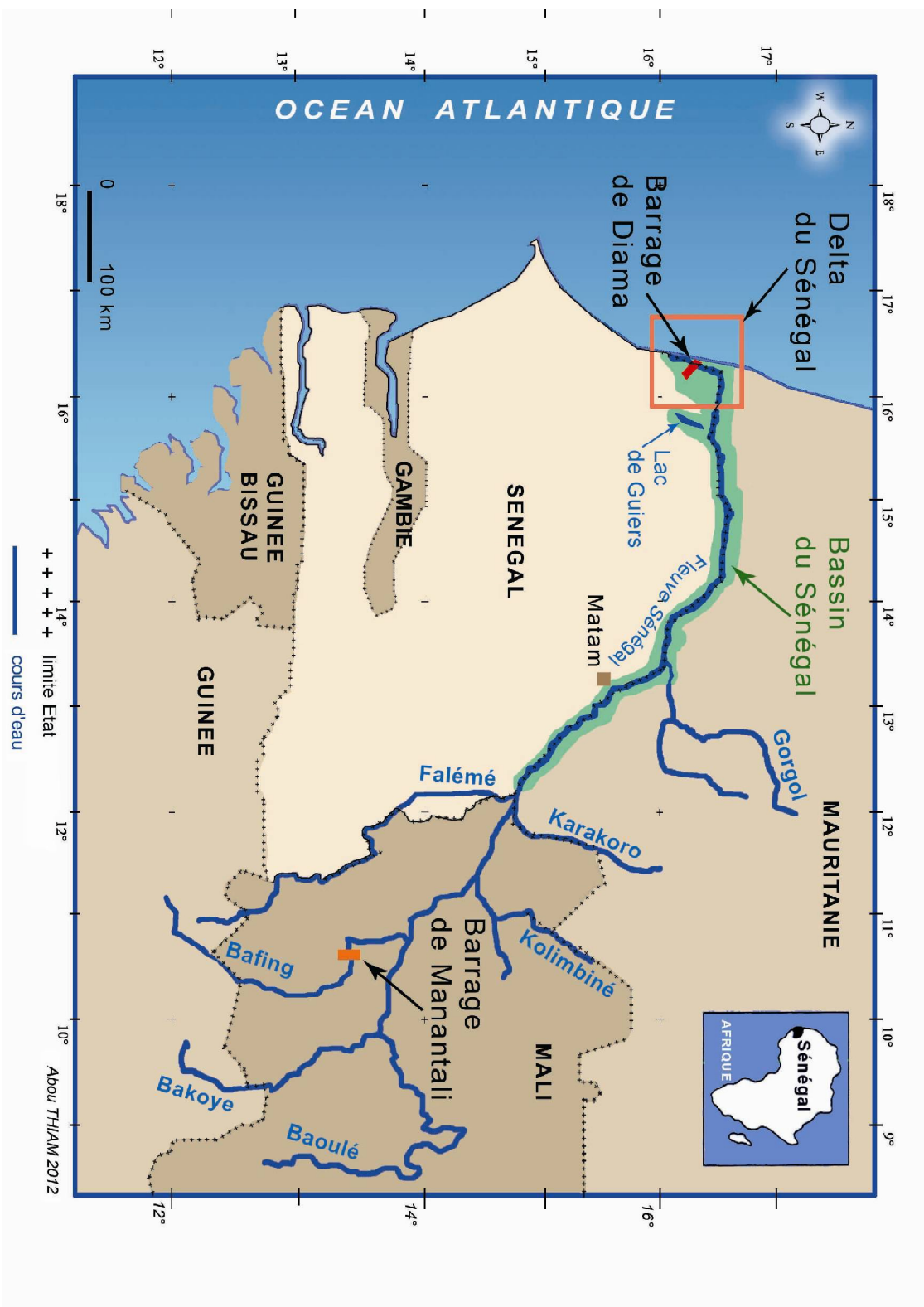


Figure 1 – Carte du Delta et du bassin du fleuve Sénégal en Afrique de l’Ouest

La partie terminale du fleuve Sénégal, en aval de Dagana, est apparemment un delta mais il n'y a qu'une seule embouchure (Figure 2). Aussi, appelle-t-on parfois cette immense zone d'inondation de forme triangulaire, de plus de 5 000 km², un pseudo-delta.

Le delta du fleuve se situe entre 15°44'- 16°38' N et 15°35'-16°30 W. La pente moyenne est de 0,002 m par km (Brigaud, 1961). L'altitude est faible et ne dépasse pas 23 m (Giffard, 1974). Son origine remonte au Dunkerquien où une lagune se forma derrière un cordon littoral (Michel, 1973). Le delta est une immense zone inondable de 74 000 à 110 000 ha au Sénégal et 80 000 ha presque totalement inondable en Mauritanie (Anonyme, 1998).

Au sud de Richard-Toll, en tête du delta, s'est formé le lac de Guiers qui est le plus grand système lacustre et la plus importante réserve d'eau douce de surface du Sénégal. Il occupe une dépression naturelle peu profonde (1 m en moyenne), allongée entre les alignements de dunes rouges d'âge Ogolien (20 000 BP). Long d'environ 50 km et large au maximum de 7 km, il s'étire selon une direction SSW-NNE. Il s'inscrit dans un quadrilatère entre 15°25 et 16° de longitude ouest, 15°40 et 16°25 de latitude Nord (Thiam, 1984). Il se situe à environ à 50 km à vol d'oiseau de l'océan Atlantique (latitude 14°09' N; longitude 16°08' W). Son volume est estimé à 800 millions de m³ d'eau (Cogels et Gac, 1982 ; Cogels, 1984).

Le lac de Guiers est un défluent. Il est sous la dépendance hydraulique du fleuve avec lequel il communique avec un marigot sinueux de près de 25 km, la *Taoué*¹. La limite sud du lac est d'origine humaine. En effet, c'est en 1956 que la Mission d'Aménagement du Sénégal (M.A.S) a construit la digue de Mérinaghène aux environs de Keur Momar Sarr ; il sépare le lac de Guiers de la Basse vallée du Ferlo. Cet aménagement a permis d'augmenter la capacité de stockage en eau du lac et sécurisé l'irrigation des casiers agricoles de Richad-Toll.

¹ En 1976, il a été creusé un canal quasi rectiligne reliant le fleuve Sénégal à Richard Toll au lac de Guiers pour en assurer un meilleur remplissage en eau douce provenant du fleuve.

Figure 2 - Carte du Delta du fleuve Sénégal et du lac de Guiers

1.2 Climat

Le Delta se situe dans une zone subdésertique et fait partie du *Sahel* (mot d'origine arabe signifiant *côte* ou *frontière*), une zone semi-aride située entre le Sahara au nord et les régions tropicales où les pluies sont substantielles au sud (Adam *et al.*, 1965).

Les données recueillies au niveau des principales stations météorologiques de la région (St Louis, Ross-Béthio et Richard Toll) permettent de préciser les principaux caractères du climat actuel de la zone. Les principales données disponibles au niveau de ces stations sont : la température, l'humidité atmosphérique et les pluies.

Le diagramme ombrothermique, réalisé à partir des données de Saint Louis donne un aperçu sur le climat dans la zone terminale du delta du fleuve Sénégal (Figure 3)

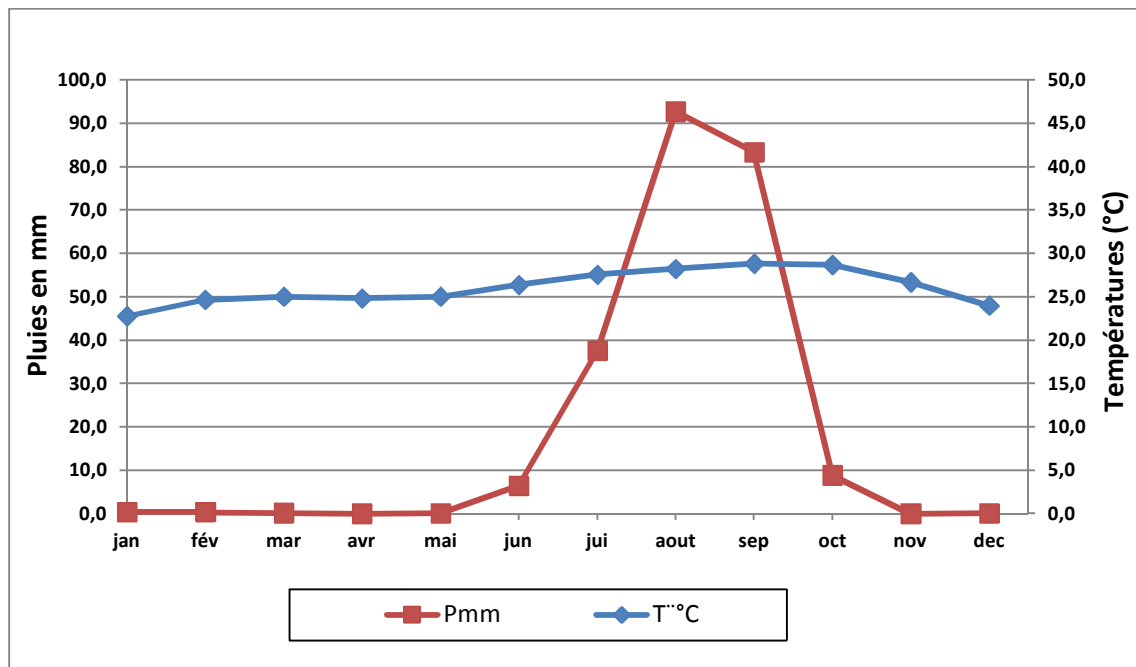


Figure 3 - Diagramme ombrothermique de Saint Louis (période : 1980 à 2000)

La Figure 3 indique que la région se caractérise par :

- une courte saison des pluies (hivernage) (juillet à septembre) ;
- une longue saison sèche (octobre à juin) ;
- des précipitations totales annuelles faibles ;
- le maximum d'eau tombe au mois d'août ;
- les températures moyennes annuelles sont élevées et se situent entre 20 et 30 °C

1.2.1 Température

La température moyenne annuelle sous abri oscille entre 25 °C et 27 °C (Figure 4). Les plus basses températures sont enregistrées en décembre et janvier, alors que les plus élevées sont notées en mai et juin.

Il y a des jours où les températures diurnes atteignent plus de 45°C sous abri. Les écarts de températures entre les jours et les nuits sont également souvent relativement très importants (8 à 10 °C).

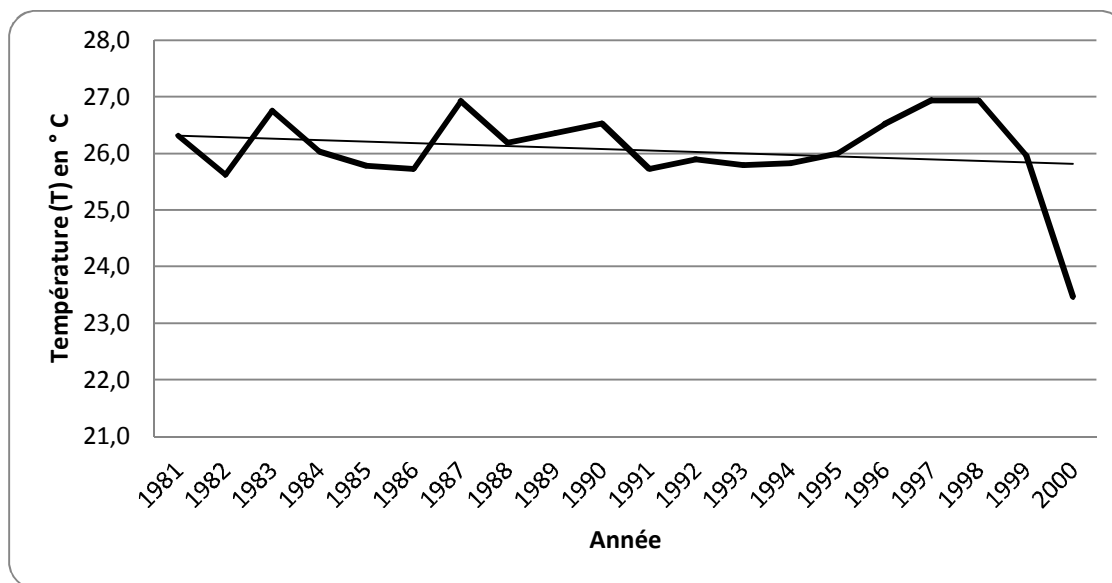


Figure 4 - Température moyenne annuelle sous abri à Saint-Louis (période : 1980-2000)

1.2.2 Humidité atmosphérique

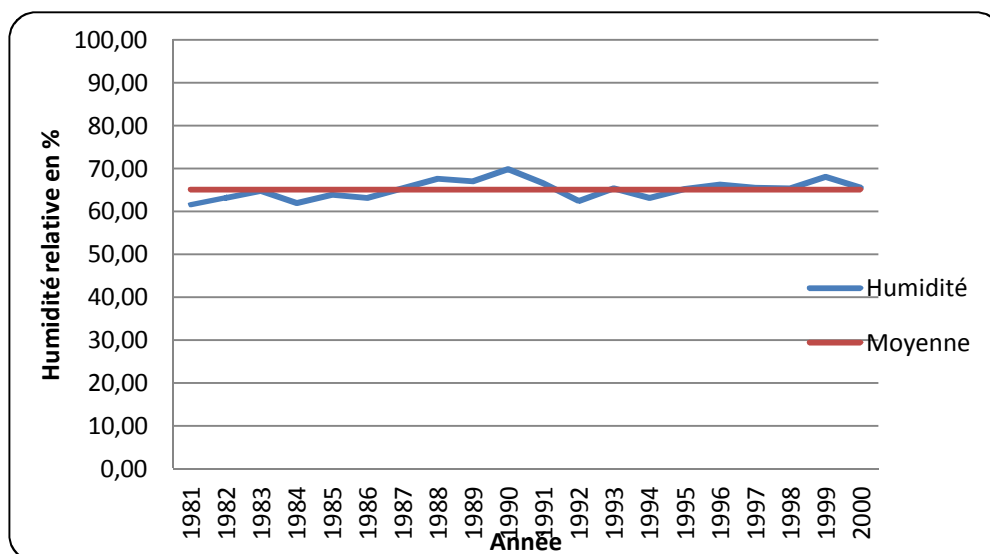


Figure 5 – Humidité relative moyenne annuelle à Saint Louis (période : 1980 à 2000)

Les moyennes annuelles de l'humidité se situent entre 60 et 70 % (Figure 5). Les variations de l'humidité relative sont importantes au cours de l'année ainsi qu'au cours de la journée. L'humidité relative est généralement inférieure à 40 % pendant la période sèche, puis augmente et atteint 70 % pendant la saison des pluies. Le climat est nettement influencé par la présence de la mer, avec une humidité plus élevée qu'à l'intérieur du pays, et des températures plus basses

1.2.3 Pluies

Les données pluviométriques recueillies dans les stations météorologiques de Saint Louis (Figure 7) et Richard-Toll indiquent que les pluies sont faibles dans la région. Elles oscillent entre 150 et 400 mm par an.

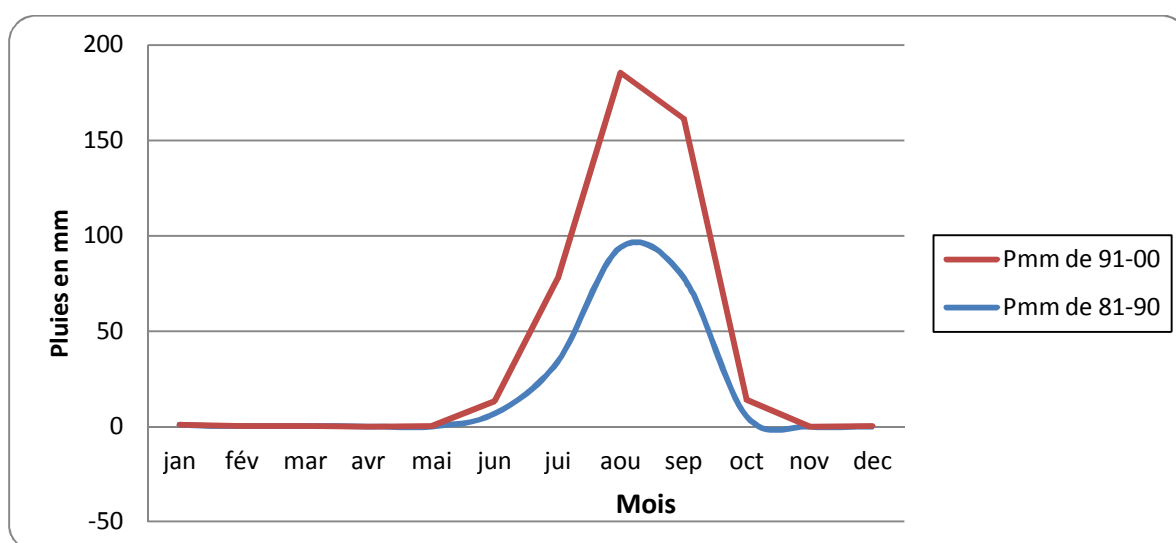


Figure 6 - Pluviométrie mensuelle moyenne à Saint Louis (décadaires : 1981-1990 et 1991-2000)

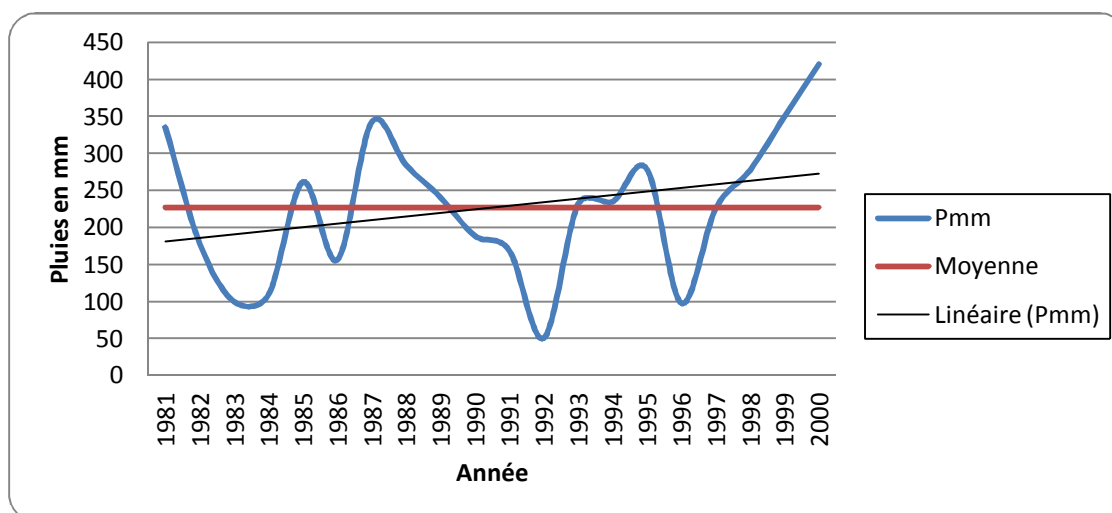


Figure 7 - Pluviométrie annuelle et tendance de la pluviosité à Saint Louis (1980 et 2000)

Elles sont très faibles (environ 250 mm par an ces dernières années) et concentrées sur les mois de juillet, d'août et mi-septembre. Les quantités de pluies qui tombent sont très variables, discontinues dans le temps et dans l'espace.

De faibles pluies (appelées "heug"), sans grande signification pour la végétation, tombent parfois durant les mois de janvier, février et mars.

Ainsi, le climat du delta du fleuve Sénégal se caractérise par une grande sécheresse du milieu due notamment à la faiblesse des précipitations, leur irrégularité dans l'espace et dans le temps, aux températures et humidités relatives élevées durant la majeure partie de l'année.

1.3 Géologie et géomorphologie

Le Sénégal septentrional se situe entièrement dans le bassin sédimentaire sénégal-mauritanien. Les formations du Crétacé n'affleurent nulle part (Michel *et al.*, 1969).

La vallée du fleuve s'est formée à l'ère quaternaire quand le fleuve s'est encastré dans des terrains de l'Eocène et du Plateau Continental (Michel, 1973). Pendant les 100.000 dernières années, les effets combinés des variations climatiques, les fluctuations du niveau de la mer, les cycles d'érosion fluviales et dépôts alluvionnaires, ont induit de nombreux changements dans le cours du fleuve et dans la dynamique qui caractérise la morphogénèse de la vallée et du delta (Figure 8). Les glacis sableux et les terrasses ferrugineuses qui bordent actuellement la vallée sont les témoins visibles de cette période. Ces formations ne doivent pas être confondues avec les dunes rouges qui datent d'une période plus récente. La structure géologique du bassin du fleuve a été étudiée par SEDAGRI/IRAT (1972). Selon cette étude, les unités géomorphologiques peuvent être regroupées de la façon suivante:

- des glacis sableux et des terrasses graveleuses qui bordent actuellement la vallée et les bords orientaux du lac de Guiers (Quaternaire 100.000 ans av. J.C.) : à cette époque le delta faisait partie d'un golfe marin s'étendant du Trarza jusqu'à Nouhadibou en Mauritanie ;
- des dunes rouges (Ogolien 30.000 à 10.000 av. J.C.) qui couvrent le Trarza et le delta ; des vestiges de ces dunes, haut de 15 m, sont encore abondants dans la partie sénégalaise du delta ; les terrasses fluviales datent de cette époque ; le climat était très sec et le niveau de la mer était 100 m plus bas qu'actuellement ;
- dépôts nouakchottiens (10.000 à 5.000 av. J.C.)_formant le deuxième remblai sablo-argileux et les terrasses marines sableuses en bordure du delta et entre les cordons littoraux ; le climat devenait beaucoup plus humide et le niveau de la mer montait

graduellement causant la formation des lacs entre les cordons dunaires comme le lac de R'Kiz en Mauritanie ; de cette époque datent aussi les mouvements tectoniques qui ont entraîné un rehaussement du delta au nord et une baisse de la partie sud. Conséquence de ces mouvements, le fleuve a dévié son cours vers le sud-ouest, formant l'embouchure actuelle ;

- dépôts post-nouakchottiens formés par les dunes jaunes et les cordons littoraux (5.000 à 2.000 av. J.C.) ; c'est la période où les hautes levées, les deltas de rupture des levées dominent les levées plus récentes de 1 à 2 m et ne sont plus jamais submergées ;
- dépôts actuels et subactuels formés par des bancs de sable, des vasières et des dunes vives bordant la plage actuelle, ainsi que des dunes éoliennes rouges et remaniées dans le nord du delta (2.000 av. J.C – à présent) ; la formation des levées actuelles est due à l'érosion fluviale et la sédimentation; des cuvettes de décantation couvrant à peu près le tiers de la vallée et du delta se sont formées pendant cette période.

La plaine alluviale et le delta sont donc d'origine assez récente. L'embouchure du fleuve est du type estuaire. La formation progressive des cordons littoraux peut avoir forcé le fleuve à dévier son cours ou à former des défluent. En outre des dépressions se sont formées entre ces cordons. Plusieurs tributaires et affluents furent transformés pendant la période de transgression en vasières et mangroves, parmi lesquelles, la dépression du parc du Djoudj (Figure 8).

1.4 Pédologie

Les terres de la région sont parcourues par un important réseau de chenaux plus ou moins marqués par la combinaison des influences continentales et maritimes. Les bourrelets de berge isolent des cuvettes argileuses de décantation vouées à la culture irriguée ou à la collecte d'eau de drainage (Maynard, 1955).

Il résulte de la morphogenèse, quatre ensembles morphologiques dont deux renferment les principaux types de sols :

- les cuvettes de décantation: elles constituent les angles morts de la sédimentation fluviale constituée d'un sol argileux brun (60%) qui se fissure profondément : c'est le *hollaldé* (en langue nationale *Pular*) ; il est apte à la riziculture et porte généralement des forêts d'*Acacia nilotica* ;
- les levées fluvio-deltaïques : elles sont constituées d'un sol brun rouge à fort pourcentage de sable fin, sensible à la déflation éolienne : c'est le *fondé* (constitué à 70 % de sable et 30 % d'argile).

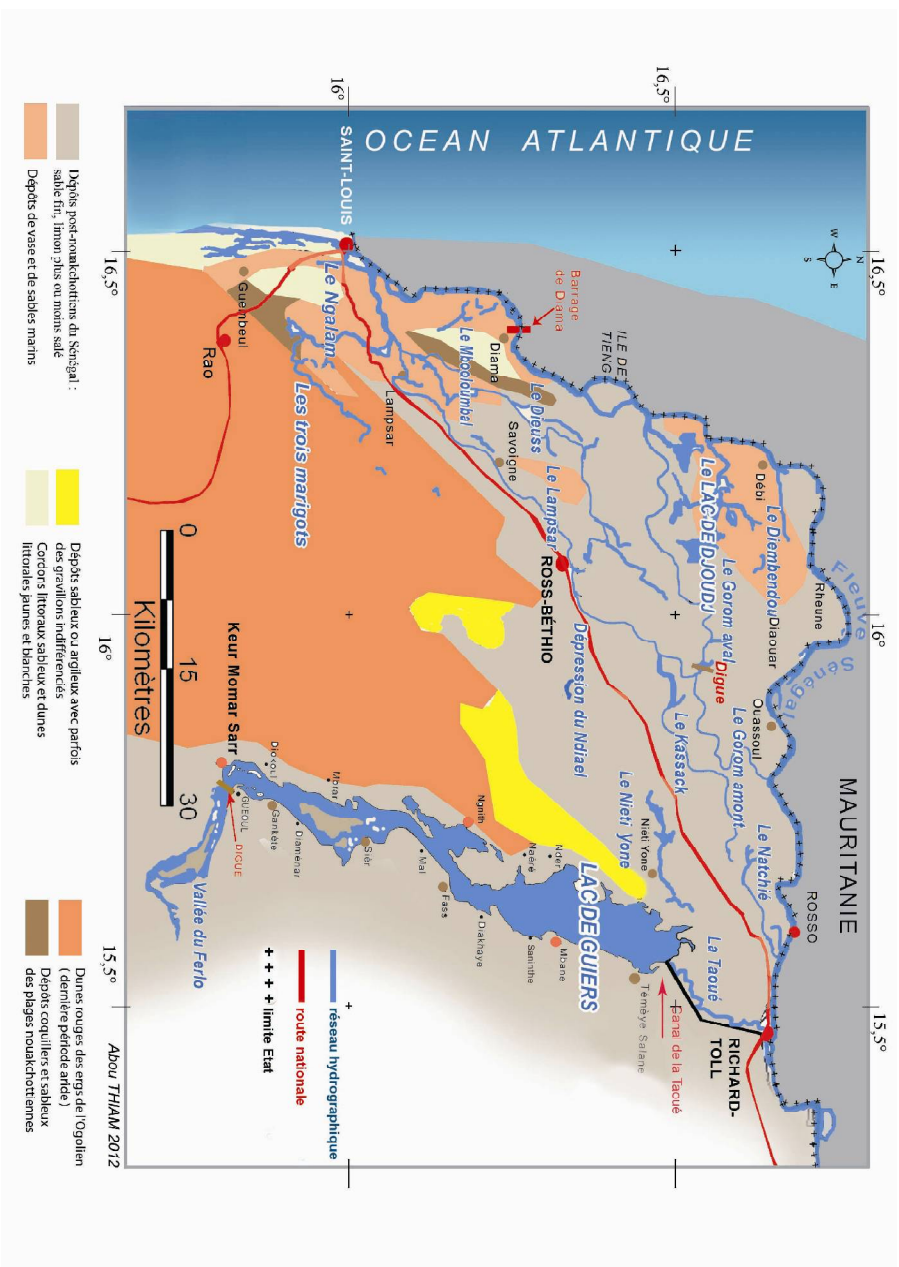


Figure 8 – Carte géomorphologique du Delta du fleuve Sénégal

La présence de sel dans les formations constitue une contrainte majeure à la mise en valeur des terres. Ce sel a une double origine (Tricart, 1961) :

- il est d'abord résiduel et hérité d'un régime lagunaire qui correspondrait au maximum de la transgression nouakchottienne ;
- il est ensuite issu d'une longue évolution des sols caractérisée par un double jeu saisonnier : intrusion de la langue salée lors de la saison des basses eaux fluviales et mobilisation et évacuation progressive du sel lors de la crue annuelle.

Les sols salés à divers degrés sont relativement fréquents dans delta (Loyer, 1989 ; Ceupens *et al.*, 1997). On y trouve également de nombreux sols sulfatés acides (Deckers, J. *et al.*, 1996).

Les ouvrages de retenue construits sur différents marigots ont permis une plus longue stagnation des eaux douces déclenchant un processus de dessalement des sols. L'un des exemples le plus frappant se situe au nord de Dakar-Bango sur le Djeuss, de part et d'autre de la digue de Bifèche. A l'ouest de la digue, le sol est fortement salé, une végétation de mangrove (*Avicennia* et *Rhizophora*) s'y maintient tandis qu'à l'est de la digue prospèrent des espèces d'eau douce (*Vossia*, *Typha*, *Oryza*...). Incontestablement, il y a un dessalement de surface, mais le phénomène édaphique le plus marquant est sans nul doute la durée de l'inondation sous une cote élevée d'eau douce (N'Diaye, 1978). Actuellement, le facteur essentiel dans la pédogénèse du delta paraît être la fréquence et la durée d'inondation par les eaux douces du fleuve (Deckers, J. *et al.*, 1996).

1.5 Hydrogéologie

La plupart des eaux souterraines sont fortement salées, avec des taux de salinité excédant souvent ceux de l'eau de la mer (EUROCONSULT-RIN, 1990). Elles se trouvent généralement à plusieurs mètres de profondeur. Des eaux souterraines douces peuvent être trouvées en dessous des terres sableuses (céanes).

Les études hydrogéochimiques sur l'aquifère du Delta (EUROCONSULT-RIN, 1990) ont montré que les eaux de la nappe sont de mauvaise qualité. Elles ont révélé que :

- ces eaux appartiennent à un faciès de type chloruré, sodique et potassique ;
- elles sont fortement minéralisées ;
- les Solides Totaux Dissous (TDS) sont supérieurs à 10 000 mg/l ; ce qui indique leur inaptitude pour l'irrigation.

Concernant la teneur en chlorures de la nappe, l'influence du lac de Guiers ne se fait nettement sentir que dans une faible frange en bordure du lac. Elle est plus importante sur la rive est que sur la rive ouest (Plaud, 1966).

La construction de digues et du barrage anti-sel a augmenté les fluctuations de la nappe phréatique (Deckers *et al.*, 1996).

1.6 Hydrographie et hydrologie

Le fleuve Sénégal, après un parcours est-ouest de 80 km environ, entre Dagana et Diamer, prend une direction sud-ouest jusqu'à Saint Louis, puis longe le cordon littoral large de 100 à 400 m appelé la langue de Barbarie. Son issue dans l'océan atlantique a souvent varié. La première embouchure se situait à environ 27 km de Saint Louis.

Les rivières sont nombreux. Les plus importants sur la rive gauche du fleuve sont:

- La *Taoué*, qui met en relation le fleuve et le lac de Guiers ; dans les années 70, ce chenal sinueux a été remplacé par un canal artificiel quasi rectiligne qui améliore la recharge du lac avec les eaux du fleuve;
- Le *Djoudj*, dans la cuvette argileuse du même nom qui se ramifie en divers marigots;
- Le *Gorom*, entre les cuvettes du *Djoudj* et du *Djeuss*; des bras le relient aux marigots de *Lampsar* et de *Diovol*;
- Le *Djeuss* qui rejoint le marigot de *Ngalam*, en amont de *Sanar*;
- Le marigot de *Ngalam* qui a une direction sud-nord et rejoint le *Djeuss*;
- Le *Lampsar* ou *Kassak*, long d'une centaine de kilomètres et large de 30 à 100 m.

En plus de la cuvette du *Djoudj*, dans la boucle du fleuve, il existe une autre dépression, le *N'Diael*, parfois en eau très longtemps après de fortes crues, souvent à sec plusieurs années de suite. Les limites de cette dépression bordée de dunes sauf au nord sont indistinctes. Le *N'Diael*, était alimenté par le marigot de *Nieti-Yone*, un défluent du lac de Guiers avant que celui-ci ne fût barré en 1951.

Sur l'ensemble de son parcours dans le delta, la pente moyenne du fleuve est de 0,006 ‰. Cette pente quasi nulle est même par endroits inversée. Ces particularités morphologiques sont à la base du processus annuel de remontée saline vers l'amont du fleuve, avant la mise en fonction du barrage de Diama.

Le régime des eaux du fleuve Sénégal se caractérise par l'alternance annuelle d'une période de crue et de décrue. La crue principale est alimentée par les pluies tombant sur le massif du Fouta-Djallon. Elle débute en juin-juillet pour s'achever en octobre-novembre

En régime naturel, le tronçon principal du fleuve conserve, de mi-juillet (début de la saison des pluies) jusqu'à février, les caractéristiques d'une eau fluviale, c'est-à-dire avec des débits

importants. Du début de la saison sèche (novembre) au début de la saison des pluies (mi-juillet), le cours inférieur du fleuve a un régime de plus en plus proche de celui d'un estuaire, au fur et à mesure de la remontée de la langue salée dans le lit du fleuve jusqu'à 150 km de l'embouchure et parfois jusqu'à 200 km. L'intrusion d'eau marine débute lorsque le débit du fleuve devient inférieur à 600 m³/s. Les écoulements fluviaux freinent la remontée vers l'amont des eaux océaniques, tant qu'ils se maintiennent au-dessus de 50 m³/s. Lorsque le débit fluvial devient inférieur à 50 m³/s, la remontée salée ne dépend plus que de la durée de la période d'étiage, conditionnée par la date d'arrivée de la crue suivante (Rochette, 1974).

L'alternance de poches d'eau et d'assèchement dans le lit est particulièrement observée en fin juin-début juillet, juste avant la saison des pluies. Les débits diminuent et les écoulements deviennent laminaires.

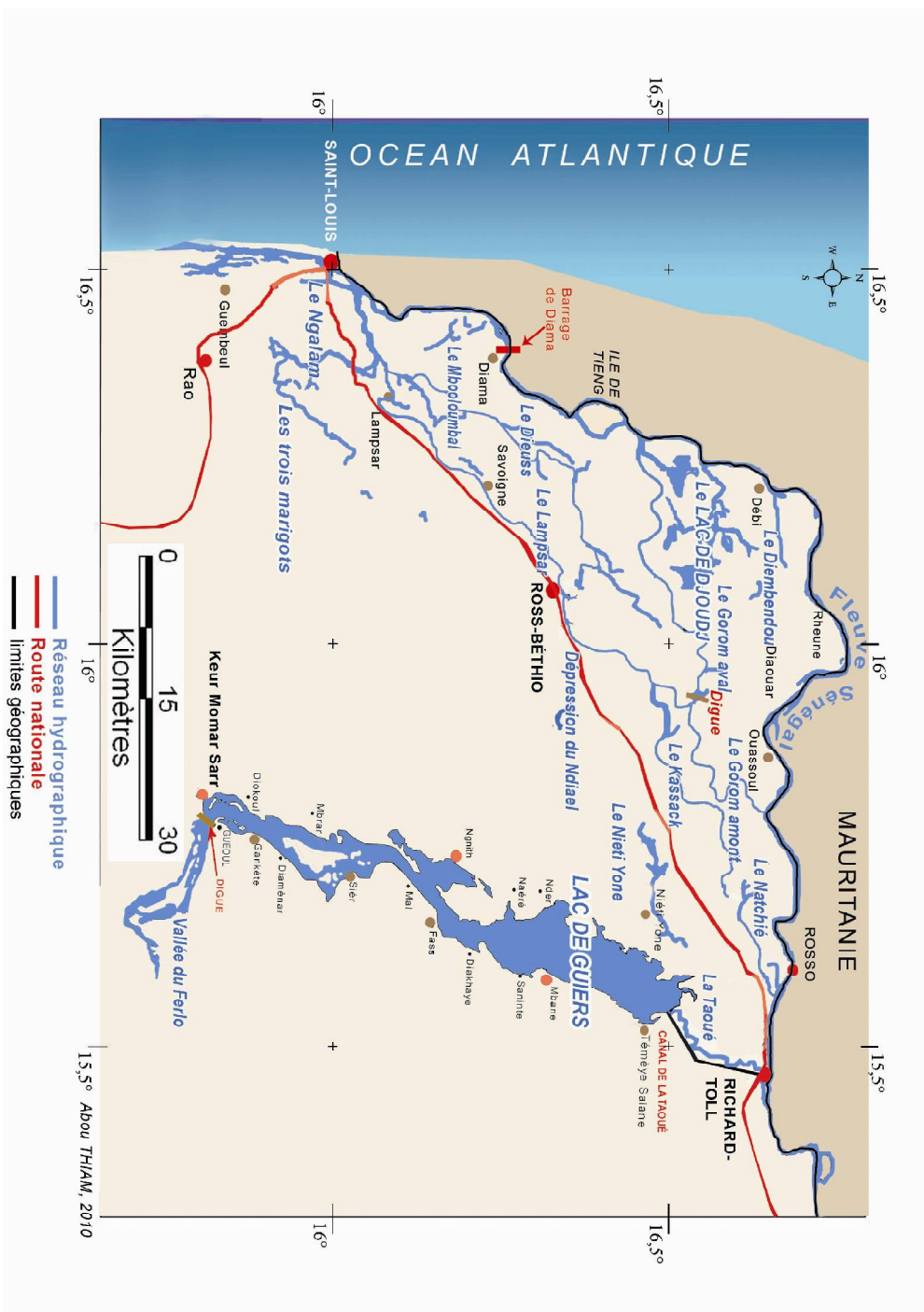


Figure 9 - Carte du réseau hydrographique du Delta du Fleuve Sénégal

1.7 Incidences des barrages sur l'hydrologie et la qualité des eaux

Depuis des siècles, la disponibilité de l'eau douce toute l'année dans la région du Delta s'est posée avec beaucoup d'acuité (Brasseur, 1952). Cette disponibilité a une longue histoire.

1.7.1 Brève historique des aménagements sur le fleuve Sénégal

L'alternance d'eau douce et d'eau salée faisait que la ville de Saint-Louis était entourée d'eau salée sept mois par an. Au cours du XVIII^{ème} siècle, il arrivait qu'on aille prélever de l'eau douce en amont de la ville. C'est ainsi qu'en 1786-1787, le Chevalier de Boufflers fit distiller l'eau pour son usage personnel. Par la suite, il fit venir une machine à dessaler l'eau (Tilmans, 1998). Quant aux populations, elles prélevaient chaque matin, l'eau nécessaire à leur consommation, dans des trous creusés dans le sable de la plage.

L'idée d'aménager le fleuve Sénégal remonte à l'époque coloniale avec en 1824, les essais du jardin de Richard Toll qui échoueront du fait de l'hostilité des populations et de nombreuses contraintes techniques et physiques (Hardy, 1921). Les recherches en vue de la mise en valeur reprennent au début du XX^{ème} siècle (Lemmet et Scordel, 1918 ; Henry, 1918).

Pour constituer une réserve d'eau douce, Faidherbe essaya, en 1859, de barrer le *Kassak* (Figure 10). La crue emporta ce barrage. L'expérience renouvelée dix ans plus tard échoua à nouveau tant l'écoulement, sur ce point, était puissant. En 1879, Brière-de-l'Isle, parvint à amorcer l'ouvrage, qui, complété par une conduite d'eau, fut terminé en 1886. L'eau est puisée par une usine à vapeur, située à 18 kilomètres de Saint Louis, à Makhana. Cette politique de barrage a été poursuivie afin de conserver l'eau douce de la crue dans différents marigots pour alimenter la ville de Saint-Louis. Ainsi furent construits, outre les barrages en terre, les barrages en dur suivants : Boundoum (1903-1904), Dakar-Bango (1939-1940), Diaoudoun (1940) (Brigaud, 1961). Plusieurs organisations et structures seront mises en place pour réaliser les aménagements sur le fleuve. Il s'agit notamment de la création en 1934, de la Mission d'Aménagement du fleuve Sénégal (M.A.S.) qui deviendra un organe commun de mise en valeur du fleuve au service des trois Etats autonomes, le Mali, la Mauritanie et le Sénégal. Ces projets avaient pour but d'améliorer les perspectives économiques de la région et d'atteindre l'autosuffisance alimentaire des pays riverains. Dans cette dynamique, l'Organisation pour la Mise en Valeur du Fleuve Sénégal (O.M.V.S.) fut créée en 1972 par les trois Etats riverains en remplacement de l'Organisation des Etats Riverains du Sénégal (O.E.R.S.) fondée en 1968, puis dissoute en fin 1971 après le retrait de la Guinée (Adams, 2000).

Avant la construction des grands barrages, le delta fut sujet à l'influence des marées et à l'intrusion des eaux salines de la mer pendant l'étiage. Les amplitudes des marées dans cette

partie de l'Atlantique sont assez faibles, et varient en moyenne entre 1,15 m pendant les hautes marées et 0,55 m pendant les mortes eaux. Dans le fleuve, les amplitudes des marnages diminuent en fonction des débits du fleuve. Pendant l'étiage ces amplitudes étaient entre 80 et 30 cm à St Louis, entre 65 et 25 cm à Dagana et entre 35 et 15 cm à Podor (EUROCONSULT-RIN, 1990). Avec l'absence de toute pente dans la partie deltaïque du fleuve, les intrusions des eaux salines pendant l'étiage s'étendaient jusqu'à Podor, tandis qu'en période de crue, la langue saline était repoussée. La date d'arrivée de la langue salée à Débi se situait vers mi-janvier et à Dagana vers début mai. La date de retrait avait lieu respectivement vers début juillet et fin juillet.

Pour pallier la faiblesse de la crue fluviale et endiguer la remontée du flot salé dans les cours d'eau, des barrages délimitant des bassins de retenue ont été construits. Le *Lampsar* et la *Taoué* ont été aménagés au début de ce siècle. Le pont barrage de Dakar-Bango sur le marigot de Djeuss est beaucoup plus récent. En 1983, par suite d'une faiblesse exceptionnelle de la crue fluviale et de la remontée rapide de la langue salée, une digue en terre a été érigée sur le fleuve à Kheune. Cette dernière réalisation a rempli son rôle pendant deux années consécutives. Elle a été emportée par la crue de 1985.

A partir de 1985, des aménagements de grandes envergures furent réalisés sur le fleuve Sénégal dans le cadre de l'Organisation pour la Mise en Valeur du fleuve Sénégal (O.M.V.S.). Il s'agit du barrage de Diama vers l'embouchure du fleuve entre les territoires sénégalais et mauritanien et le barrage de Manantali, construit en territoire malien. Ces ouvrages ont été complétés par des digues sur les rives gauche et droite du fleuve.

1.7.2 Barrage de Diama

Le barrage de Diama est situé à 27 km de la ville de Saint Louis. Les travaux de construction de l'ouvrage ont commencé en 1981. Il a été mis en eau en novembre 1985. Il s'agit d'un barrage anti sel qui pendant la période de crue s'ouvre pour assurer l'écoulement normal du fleuve et se ferme en période d'étiage pour empêcher la remontée des eaux salines. Il consiste en 7 vannes mobiles, ayant chacune une largeur de 20 m et une hauteur de 11,5 m. Ces vannes, pièces maîtresses dans la modulation des débits à Diama, sont généralement ouvertes de manière identique. L'ouverture maximale d'une vanne est de 11,5 m correspondant à la hauteur du pertuis. Le débit maximum alors dérivable par l'évacuateur de crue est de 6500 m³/s correspondant à la crue millénale du fleuve. Sur la rive gauche, une écluse de navigation de 175 m sur 13 m permet le passage des bateaux. Celle-ci doit permettre une navigation continue entre St Louis et Kayes au Mali.

Le coût des travaux a été de 36 milliards de FCFA.

Les principaux objectifs assignés au barrage de Diama sont:

- arrêter définitivement la remontée de la langue salée dans le cours inférieur du fleuve en période de basses eaux ;
- créer en amont du barrage une réserve permanente d'eau douce pour les besoins agricoles et autres ;
- stocker si besoin en est, les débits de soutien d'été lâchés par le barrage de Manantali ;
- améliorer les remplissages des dépressions naturelles et des chenaux dans la basse vallée du Delta ;
- permettre le stockage de 250 à 500 millions de m³ d'eau douce pour divers usages.

La retenue d'eau douce en amont de Diama se présente ainsi :

- à la cote + 1,5 m IGN, le volume d'eau stocké est de 250 millions de m³ ;
- à la cote + 2,5 m IGN, le volume est alors de 460 m³ ;
- la cote maximale de la retenue est de + 3,20 m IGN.

1.7.3 Barrage de Manantali

Il a été construit sur le Bafing, à 90 km au sud-est de la ville de Bafoulabé dans la région de Kayes au Mali (voir Figure 1, p.6). Il a été achevé en 1988. Le lac de retenue du barrage a une capacité de 11,5 milliards de m³ d'eau sur une superficie de 477 km² avec une profondeur moyenne de 20,8 m et une profondeur maximale de 50 m. Le barrage permet de maintenir toute l'année lorsqu'il est plein, un débit supérieur à 200 m³/s nécessaire aux besoins de l'agriculture en irrigation contrôlée, et assure un soutien à la crue naturelle des affluents non régulés. Manantali assure la maîtrise de seulement la moitié des eaux captées par le bassin versant car le Bafing n'apporte que 48 % des eaux du fleuve.

L'ouvrage de Manantali consiste en une digue de 1460 m avec au milieu une construction en béton d'une longueur de 493 m et une hauteur maximale de 65 m. La chute d'eau moyenne est de 40 m.

Le barrage de Manantali vise spécifiquement à :

- normaliser le débit du fleuve et garantir un débit minimum à Bakel de 300 m³/s pendant toute l'année ;
- permettre l'irrigation pendant toute l'année sur 375.000 ha, grâce aux possibilités conjuguées des deux barrages ;
- permettre la navigation sur le fleuve ;

- produire de l'électricité (800 GWh/an).

Afin que les barrages de Diama et de Manantali jouent pleinement leur rôle, il a fallu construire également des digues pour augmenter notamment les capacités de stockage des eaux dans le fleuve, le lac de Guiers et d'autres dépressions naturelles.

1.7.4 Endiguements

En 1964, l'Organisation Autonome du Delta (O.A.D.) relayée en 1965 par la Société d'Aménagement et d'Exploitation des terres du Delta (S.A.E.D.), a réalisé plusieurs ouvrages parmi lesquels la "digue rive gauche" du fleuve Sénégal, des ouvrages de régulation et de franchissement de divers chenaux. La digue rive gauche qui longe le cours inférieur du fleuve s'étend de Dakhar-Bango près de Saint Louis à Rosso, sur près de 83 km. Elle protège les terres basses du Delta contre une submersion incontrôlée par les eaux du Sénégal. Cette digue a été réhabilitée en 1993 pour améliorer les conditions de stockage des eaux dans la retenue de Diama. Les endiguements réalisés ont une longueur totale de 175 km environ (soit 85 km en rive droite et 90 km en rive gauche).

La digue de Keur Momar Sarr construite en 1956 sépare le lac de Guiers proprement dit de la basse vallée du Ferlo ; elle permet de contrôler la réserve d'eau du lac. Deux ouvrages hydrauliques situés sur la digue, permettent l'alimentation du Bas Ferlo avec une capacité de l'ordre de 40 m³ par seconde.

1.7.5 Effets des aménagements sur l'hydrologie et la qualité des eaux dans le Delta

Les barrages de Diama et de Manantali, la construction de digues sur la rive gauche et droite du fleuve dans le delta ont modifié très sensiblement le cycle hydrologique, la qualité des eaux et réduit les vastes étendues qui étaient jadis régulièrement inondées. Les digues qui ceinturent le fleuve ont modifié aussi l'habitat. En effet, les vastes zones adjacentes au fleuve qui subissaient régulièrement des inondations ne sont plus atteintes par l'eau. Cependant, l'humidité quasi permanente de ces endroits, le rehaussement du niveau des nappes souterraines, permettent encore le développement de nombreux macrophytes aquatiques, amphibies et des plantes halophiles.

Ainsi, avec la construction d'ouvrages de prise d'eau en plusieurs endroits, il est possible de faire rentrer l'eau et d'inonder les dépressions et les cuvettes en fonction des besoins (zones aménagées pour les cultures irriguées, zones de pâturages, parcs du Djoudj, le N'Diael, approvisionnement permanent du lac de Guiers, de la Basse vallée du Ferlo,...).

Le rôle de maîtrise des eaux de Diama est renforcé par l'action régulatrice de crue de Manantali sur le haut bassin et la digue rive gauche.

A ce jour les objectifs d'arrêt de la remontée des eaux salées, de remplissage des chenaux, de lâchers de soutien d'étiage compensant les pertes par évaporation, de prélèvements pour l'irrigation sont atteints.

Les ouvrages ont modifié l'hydrologie et l'hydrochimie des eaux du fleuve. En effet, les ouvrages ont permis la création d'un plan d'eau en amont (retenue de Diama) qui facilite le remplissage des chenaux et des cuvettes adjacents équipés d'ouvrages de prises.

Les remontées marines en amont du barrage de Diama sont aujourd'hui quasiment impossibles.

La situation hydrologique en aval de Diama dépend essentiellement des lâchers au niveau du barrage et de l'amplitude des marées. Les lâchers ne sont effectués que pendant la période des hautes eaux, au moment des crues fluviales. L'étude de l'évolution de la salinité fluviale à Saint Louis de 1987 à 1993 montre un cycle bien marqué, avec 3 phases principales (O.MV.S., 1995) :

1. une phase de dilution et d'adoucissement des eaux dont le début est fixée par la date d'arrivée de la crue fluviale en amont et la date d'ouverture des vannes à Diama. En 15 jours, la salinité à Saint Louis passe de 38 ‰ à 0,2-0,4 ‰. Cette phase de désalinisation de l'estuaire est permanente tant que le débit fluvial est maintenu supérieur à 600 m³/s ;
2. une phase de salinisation de l'estuaire qui commence dès la réduction des lâchers à Diama à moins de 600 m³/s ;
3. une phase de sursalure des eaux de l'estuaire par rapport aux eaux océaniques sous l'effet de l'évaporation.

Ces cycles peuvent être brutalement perturbés par les lâchers à Diama. Il peut y avoir ainsi de variations brutales de la qualité des eaux dans la zone aval.

En amont de la retenue de Diama, en dehors de la période de crue (janvier à juillet), la salinité est relativement élevée (225 mg/l) et présente des variations liées probablement aux lâchers épisodiques du barrage vers l'aval, compensés par des apports d'eau douce venus de l'amont. Il y a un gradient décroissant de salinité de l'aval vers l'amont. Dès l'arrivée de l'onde de crue et l'ouverture des vannes en continu, la salinité augmente brutalement durant une courte période puis régresse très rapidement pour atteindre 75 mg/l et s'y stabiliser. Durant la période postérieure à la fermeture des vannes, la salinité des eaux évolue sous l'influence de l'évaporation et des lâchers ponctuels vers l'aval (O.MV.S., 1995).

La Compagnie Sucrière Sénégalaise (C.S.S.) rejette annuellement dans la retenue de Diama près de 98,91 millions de m³ d'eau de drainage. Ce volume représenterait près de 40% du volume initial de la retenue à la cote 1,5 m IGN. La minéralisation globale de ces eaux usées varie entre

0,8 et 2 g/l. Des eaux de drainage provenant d'autres périmètres irrigués sont également rejetées dans le fleuve. En dehors de la salinité, très peu de données existent sur la qualité des eaux du delta.

1.7.6 Effets des aménagements sur l'hydrologie et la qualité des eaux du lac de Guiers

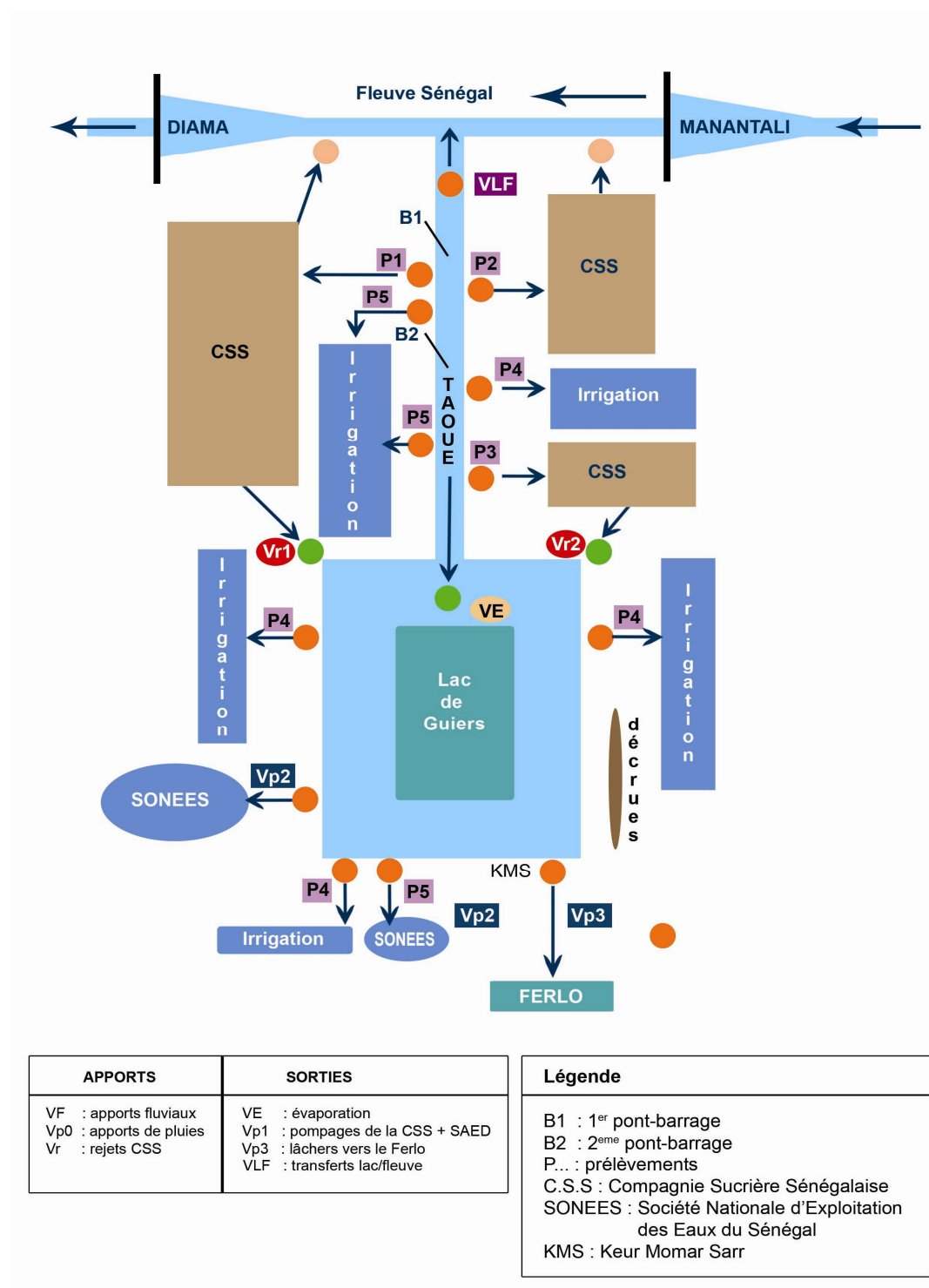
La figure 11 présente le fonctionnement hydrologique actuel du lac de Guiers. Les eaux du lac de Guiers étaient probablement douces avant 1800 et au cours des 150 ans qui ont suivi cette date ses eaux ont été alternativement douces et saumâtres (John, 1986). De 1976 à 1985, le lac de Guiers a été l'objet d'une salinisation progressive de ses eaux causée par les rejets dans la région Nord des eaux de drainage des exploitations agricoles irriguées (sols salés). La concentration moyenne en chlorures de ces rejets était de 300 mg/l pour un volume quotidien de l'ordre de 85 000 m³ (Cogels et Gac, 1987). L'augmentation interannuelle du taux de chlorures dans le lac était alors très nette.

L'année hydrologique 1989-90 montre par contre une légère diminution du taux des chlorures dissous par rapport aux années précédentes. Cette réduction s'explique par les lâchers d'eau annuels (depuis 1988) vers la vallée du Ferlo qui, en évacuant les eaux très minéralisées de la région méridionale, ont accéléré le processus d'adoucissement du lac.

Deux modifications essentielles sont intervenues depuis 1985 dans le lac de Guiers (Cogels *et al.*, 1993) :

1. les barrages de Diama et la régulation des débits à Manantali (depuis 1987) permettent le maintien d'un niveau fluvial plus élevé et plus stable à la hauteur de la jonction du canal de la Taoué à Richard Toll. Entre 1985 et 1991, les périodes et durées de remplissage annuel du lac sont restées plus ou moins semblables à celles d'avant 1985. Les niveaux atteints dans le lac en fin de phase de remplissage sont cependant nettement supérieurs à ceux de la période précédente;
2. les pompages pour l'irrigation de la canne à sucre à partir du lac ont été réduits. En effet, les eaux du fleuve maintenant douces toute l'année assurent en continu l'approvisionnement des casiers sucriers de la Compagnie Sucrière Sénégalaise (C.S.S.) ; celle-ci peut maintenant s'approvisionner toute l'année à partir des eaux fluviales douces.

Figure 11- Schéma de fonctionnement hydrologique du lac de Guiers



D'après Cogels, Niang, Coly et Gac, (1994), complété

Les jonctions fleuve-lac sont ainsi beaucoup plus fréquentes depuis la mise en fonction du barrage de Diama surtout depuis 1988. Depuis cette date, les déplacements des masses d'eau dans le lac sont beaucoup plus fréquents et dirigés dans diverses directions : du fleuve au lac, du lac au fleuve et du lac au Ferlo.

Le développement des cultures irriguées avec utilisation accrue de produits nocifs, les rejets effectués dans le lac de Guiers par la Compagnie Sucrière Sénégalaise (C.S.S.) et d'autres agro-industries constituent un problème environnemental majeur dans le Delta ; les résidus de pesticides peuvent passer dans l'eau de drainage, porter atteinte à la population piscicole et d'autres maillons de la chaîne trophique (Germain et Thiam, 1983 ; Sène, 1987; EUROCONSULT-RIN, 1990 ; Thiam, 1996).

1.8 Conclusion

Situés en zone sahélienne, à la lisière du désert du Sahara, le delta du fleuve Sénégal et le lac de Guiers subissent les rigueurs d'un climat tropical chaud et sec adoucit cependant par l'océan atlantique au niveau de la façade littorale. Les sécheresses sont récurrentes. La pluviométrie est faible, imprévisible et mal répartie dans l'espace. La température et l'humidité relative sont souvent très élevées.

Au plan géomorphologique, la plaine alluviale et le delta sont d'origine récente. Des dépressions se sont formées entre les cordons dunaires.

Les cuvettes de décantation avec des sols argileux sont propices aux cultures irriguées lorsque les sols ne sont pas salés ou très acides.

Les nappes d'eau souterraine sont souvent plus salées que l'eau de mer. Elles ont un faciès de type chloruré, sodique et potassique.

La faiblesse des débits du fleuve et des nombreux cours d'eau de la région faisait que pendant les étiages le biseau salé remontait le fleuve et salinisait les eaux et les terres dans le Delta et le lac de Guiers gênant l'alimentation des hommes, des animaux et les cultures irriguées.

C'est dans un tel contexte que les barrages de Diama et de Manantali, deux ouvrages importants de retenue et de régulation du cours du fleuve Sénégal ont été construits dans les années 80 ; complétés par des digues pour sécuriser l'alimentation en eaux douces des populations et développer les productions agricoles notamment la riziculture.

Ainsi, aussi bien dans le delta du fleuve que dans le lac de Guiers les aménagements ont occasionné de profondes modifications du milieu. Les ouvrages permettent notamment la

constitution de stocks importants d'eau douce, soustraient au sel les eaux du fleuve, du lac de Guiers et d'importantes superficies de terre sont maintenant disponibles pour l'agriculture. Ces conditions favorables à la mise en valeur agricole de la région sont accompagnées en revanche par le développement important de certains macrophytes aquatiques qui trouvent eux aussi de nouvelles conditions favorables à leur plein épanouissement.

La baisse de la salinité des eaux, les hauteurs limnimétriques élevées toute l'année et les faibles marnages sont les faits marquants des nouvelles conditions du milieu à amont des barrages. Ces facteurs ont eu des incidences sur l'environnement avec en particulier un développement important de la végétation aquatique dulçaquicole dans le Delta et le lac de Guiers. Celle-ci s'est étendue vigoureusement dans plusieurs zones entravant l'usage des plans d'eau avec comme corollaire des effets négatifs sur la vie des communautés qui dépendent de l'eau pour leur alimentation, la pêche, l'irrigation et d'autres activités. Le développement excessif de la végétation dans les milieux humides augmente également les risques pour la santé avec la formation d'aires propices au développement de vecteurs de maladies humaines telles que le paludisme et la schistosomiase. Le développement important de la végétation peut également gêner la bonne marche des pompes indispensables à l'irrigation des périmètres rizicoles et sucriers. Compte tenu des problèmes importants d'environnement et de développement liés à la multiplication des macrophytes aquatiques, il est apparu intéressant d'analyser de manière approfondie la flore vasculaire et la végétation des milieux humides du Delta et du lac de Guiers.

Chapitre 2 Flore vasculaire des milieux humides

2.1 Introduction

Depuis le XVIII^e siècle, divers prospecteurs ont sillonné la région du delta du fleuve Sénégal et du lac de Guiers et ont rapporté des notes botaniques. Michel Adanson, sans doute le premier naturaliste à avoir véritablement commencé l'étude de la flore du Sénégal, herborisa dans la zone de St Louis dans les années 1749 et 1750 et mentionna dans le Bas Sénégal des hydrophytes tels que *Jussiaea*, *Sesbania*, Stratiote d'Egypte (= *Pistia stratiotes*), *Pontederia*, Utriculaires (*Utricularia*), *Lemna*, Nénuphars (*Nymphaea*), *Nymphoides*, *Potamogeton*, souchets (Cyperaceae) (Adanson, 1757). Leprieur récolta des plantes à Saint Louis en 1824 et à Dagana en 1825 et Heudelot, entre 1830 et 1837, collecta des plantes sur la rive gauche du fleuve Sénégal, de Saint Louis à Galam (Lebrun, 1973). Heudelot et Lelièvre (1828), Guillemain *et al.* (1830-1833), Perrottet (1833) herborisèrent dans les environs du lac de « NGher » et signalèrent dans celui-ci *Typha latifolia*², *Arundo donax*³, *Cyperus articulatus*, *Nymphaea*, Utriculaires (*Utricularia*), riz naturel (*Oryza*). En 1838, Brunner herborisa également à Saint Louis et à Gandiole (Lebrun, 1973). Lemmet et Scordel (1918) ont observé dans le lac de Guiers, le grand « roseau des marais » et Henry (1918) ajouta à la liste *Andropogon squarrosus* (= *Vetiveria nigriflora*) et *Cyperus bulbosus*. Ces premières informations sur les macrophytes des milieux humides de la zone sont dans beaucoup de cas fragmentaires et vagues.

C'est à partir du début des années 30 que de nombreuses espèces végétales seront récoltées et que des informations détaillées sur la flore aquatique de la zone seront fournies (Trochain, 1940). Un catalogue des adventices des rizières de Richard Toll avec des indications sur la répartition géographique des principales espèces fut publié (Adam, 1960). Adam (1964) analysa la flore et la végétation sur la rive Est du lac de Guiers en utilisant des transects. Thiam (1984) étudia la végétation du lac et de sa plaine d'inondation et donna des informations sur les macrophytes aquatiques.

La baisse de la salinité des eaux du lac de Guiers, depuis les années 50, ainsi que les niveaux d'eau élevées toute l'année aussi bien dans le lac que dans le fleuve, surtout depuis la mise en service des grands barrages sur le Sénégal, ont occasionné d'importants changements hydrologiques et de qualité des eaux (Cogels et Gac, 1982 ; Cogels *et al.*, 1993). Pour la flore, les modifications se sont manifestées notamment par l'apparition de certaines espèces qui n'avaient pas été signalées

² Certainement *Typha domingensis* Pers. (= *Typha australis* Schum. & Thonn.) (Trochain, 1940)

³ Probablement *Phragmites australis* (Cav.) Trin. Ex. Steud.

auparavant et le développement important d'autres macrophytes aquatiques (Cogels *et al.*, 1993 ; Thiam *et al.*, 1993 ; Thiam et Ouattara, 1997; Thiam, 1998 ; Kuiseu *et al.*, 2001). L'abondance de *Typha domingensis* dans le delta et le lac de Guiers a retenu l'attention de plusieurs auteurs dès le début des années 50 (Trochain, 1956; Gromaire, 1957; Adam, 1964; Thiam, 1983).

Après la mise en place des grands barrages, des études sur la flore et la végétation des milieux aquatiques et humides du delta et le lac de Guiers ont été publiées (Kuisseu, 1997; Thiam, 1998 ; Kuiseu *et al.*, 2001). Des informations sur la flore du parc national des oiseaux du Djoudj ont été fournies (Faye, 2007; Noba *et al.*, 2010). Une liste des adventices des rizières irriguées du delta après les grands barrages et les aménagements a été présentée (Diagne, 1991).

Ces divers travaux fournissent des informations intéressantes sur la flore des milieux humides de la zone du delta et le lac de Guiers mais ne permettent pas de comparer la situation floristique de la période avant et après les grands barrages. De plus, il n'y a pas eu jusqu'ici d'analyses floristiques détaillées des biotopes humides du delta notamment du point de vue de la richesse, de la structure, de la forme biologique et de la répartition géographique des taxons. Une connaissance approfondie de la taxonomie des macrophytes aquatiques de la région est essentielle pour leur étude et leur gestion.

La présente étude tente de combler certaines de ces lacunes. Elle traite de la composition, de la structure et de la diversité de la flore vasculaire des milieux humides du delta et du lac après les grands aménagements réalisés sur le fleuve Sénégal. Elle se propose notamment de :

- présenter un état des lieux en recensant les macrophytes dans trois entités humides du delta : la rive gauche du fleuve, le lac de Guiers et les zones basses inondables;
- analyser la structure, la diversité de la flore vasculaire des milieux humides ainsi que les spectres biologique et chorologique ;
- et, établir une typologie et donner des renseignements sur les macrophytes communément rencontrés ;

2.2 Matériels et méthodes

Il a été procédé à l'inventaire des macrophytes au cours de plusieurs missions scientifiques pendant différentes périodes de l'année (saison sèche et saison pluvieuse) particulièrement entre 1994 et 2001. Les observations ont été menées dans les trois types de zones humides suivantes:

1. Les abords immédiats de la rive gauche du fleuve
2. Le lac de Guiers et son canal d'alimentation, la Taoué

3. Les zones basses inondables submergées plus ou moins longtemps par le débordement des eaux ou constamment humides à cause de la nappe souterraine superficielle

Les échantillons de plantes récoltés ont été séchés pour la plupart et mis en herbier. L'identification des espèces a été faite avec les Flores du Sénégal (Berhaut, 1967 ; Berhaut 1971-1979 ; Vanden Berghen, 1988) et d'Afrique de l'Ouest (Hutchinson et Dalziel, 1954-1972). Pour la détermination de certaines espèces, les herbiers du Département de Biologie Végétale de l'Université Cheikh Anta Diop (Dakar), de l'Institut Fondamental d'Afrique Noire (IFAN), du Muséum National d'Histoire Naturelle (Paris), et du Jardin Botanique National de Belgique (Meise) ont été consultés.

La nomenclature botanique utilisée en général est celle de Lebrun & Stork (1991-1997). Pour *Salvinia molesta* D.S. Mitchell, nous avons adopté celle de Johns (1991). Pour *Azolla pinnata* R.Br var. *africana* (Desv.) Bak., *Typha domingensis* Pers, *Bolboschoenus maritimus* (L.) Palla, *Oxycaryum cubense* Poeppig et Kunth, *Schoenoplectus* Palla, *Lemna aequinoctialis* Welw. Nous avons suivi la nomenclature de Vanden Berghen (1988).

Les familles sont classées dans l'ordre de la flore de Berhaut (1967), genres et espèces se suivent dans l'ordre alphabétique.

Pour les types biologiques, nous avons utilisé la classification de Raunkiaer (1934) adaptée à la zone tropicale où la saison défavorable correspond à la saison sèche (Lebrun 1966 ; Trochain, 1966). Cette classification distingue 6 formes biologiques de base, qui sont :

- Thérophytes (T): plantes annuelles dont seules les semences subsistent à la mauvaise saison
- Phanérophytes (P): plantes vivaces avec des bourgeons situés à plus de 50 cm de la surface du sol
- Chaméphytes (C) : plantes vivaces avec des bourgeons situés à moins de 50 cm de la surface du sol
- Géophytes (G): plantes dont les bourgeons restent enfouis dans le sol pendant la mauvaise saison
- Hémicryptophyte (H) : plantes dont les bourgeons sont partiellement enfouis dans le sol
- Hydrophytes (Hy) : plantes aquatiques

A ces types fondamentaux, nous ajoutons à la suite de Noba *et al.* (2004) :

- Parasites (Par) : pour les plantes parasites

Les plantes aquatiques, les hydrophytes, qui constituent la grande majorité des macrophytes que nous étudions dans ce travail sont difficiles à classer dans le système de Raunkiaer. Nous avons

adapté à notre dition la nomenclature proposée par Trochain (1966). Celle-ci se présente de la façon suivante :

- les hélophytes (deux types) :
 - Hélogéophytes (Hé gé) : plantes dont les bourgeons sont dans la vase ; l'appareil végétatif est aérien ;
 - Hélothérophytes (Hé th) : plantes amphibies annuelles ; les graines subsistent dans la vase.
- les hydrophytes (quatre types):
 - Hydrophytes nageants (Hyd na) : bourgeons et appareil végétatif flottent sur ou dans l'eau ;
 - Hydrogéophytes (Hyd gé) : plantes aquatiques vivaces fixées, subsistent sous forme de rhizome situé dans le substrat et porteur de bourgeons ;
 - Hydrohémicryptophytes (Hyd hé) : plantes vivaces aquatiques fixées, subsistent sous forme de souche portant des bourgeons à la surface du substrat solide ou vaseux ;
 - Hydrothérophytes (Hyd th) : plantes aquatiques fixées, subsistent sous forme de graines ou de boutures à valeur de bourgeons.

Concernant la répartition géographique des espèces (la chorologie), les principaux sigles proposés par Lebrun (1969) et Vanden Berghen (1979) pour désigner les différents groupes ont été utilisés :

- Cosm : espèces cosmopolites
- Pant : espèces pantropicales
- Pal : espèces paléotropicales
- Afr : espèces soudano- guinéo-zambéziennes éventuellement aussi présentes en Afrique du Nord et en Afrique australe
- As : espèces Afro-asiatiques
- Afram : espèces Afro-américaines
- Sz : espèces Soudano-zambéziennes
- Sahm : espèces Saharo-méditerranéennes

Il y a eu plusieurs tentatives de classification des plantes aquatiques en fonction de leur forme de vie (Hartog and Segal, 1964); une bonne révision a été présentée par Sculthorpe (1967) et Hutchinson (1975). Les catégorisations ont été souvent basées soit sur la forme des plantes, le milieu dans lequel elles grandissent ou se reproduisent, ou encore sur les moyens de survie aux

conditions défavorables. Aucune des classifications proposées n'ont eu une large acceptation, à cause probablement du fait qu'elles comportent de nombreuses catégories et subdivisions.

Nous avons opté dans ce travail pour une typologie des macrophytes suivant leur fixation ou non au substrat ainsi que le développement de tout ou certains organes de la plante dans ou au-dessus de l'eau. Elle est largement inspirée de Trochain (1966), Sculthorpe (1967), Camefort (1996) et Cronk & Fennessy (2001).

Pour la systématique, la description, les indications sur la répartition géographique et l'écologie des espèces, nos principales sources d'information sont : les Flores de Berhaut (1978 ; 1971-1978), de Hutchinson et Dalziel (1954-1972), la liste énumérative de Lebrun et Stork (1991-1997), Vanden Berghen (1988 ; 1991) et des résultats de différents travaux (Germain, 1965 ; Hall B.H. *and al.*, 1971 ; Jacobsen, 1983 ; Gopal and Sharma, 1990 ; Cook, 1990 ; Montégut, 2003).

2.3 Résultats et discussion

2.3.1 Composition spécifique

Les espèces recensées sont présentées dans l'ordre systématique dans les 3 zones étudiées : fleuve Sénégal, lac de Guiers et les zones basses inondables (tableau 1). Les espèces sont sériées en monocotylédones, dicotylédones et ptéridophytes. Le type biologique et la répartition géographique de chaque taxon sont indiqués.

Tableau 1 - Espèces recensées dans le fleuve, le lac de Guiers et dans les zones basses inondables

	Fleuve Sénégal	Lac de Guiers	Zones basses inondables	Type Biologique	Répartition Géographique
MONOCOTYLEDONES					
ALISMATACEAE (1)					
1 <i>Limnophyton obtusifolium</i> (L.) Miq.			+	Hél th	Pal
ARACEAE (1)					
2 <i>Pista stratiotes</i> L.	+	+	+	Hy na	Pant
ARECACEAE (=PALMEAE) (1)					
3 <i>Hyphaene thebaica</i> (L.) Mart.			+	P	Afr
COMMELINACEAE (1)					

4	<i>Commelina benghalensis</i> L.			+	T	Pal
CYPERACEAE (23)						
5	<i>Bolboschoenus maritimus</i> (L.) Palla	+	+	+	Hél gé	Cosm
6	<i>Cyperus alopecuroides</i> Rottb.	+	+	+	Hél gé	Pal
7	<i>Cyperus articulatus</i> L.	+	+	+	Hél gé	Pant
8	<i>Cyperus bulbosus</i> Vahl	+	+	+	Hél gé	Pal
9	<i>Cyperus difformis</i> L.	+	+		Hél th	Pant
10	<i>Cyperus digitatus</i> Roxb.	+	+	+	Hél gé	Pant
11	<i>Cyperus dives</i> Delile	+	+		Hél gé	Pal
12	<i>Cyperus esculentus</i> L.	+	+	+	Hél gé	Pant
13	<i>Cyperus haspan</i> L.	+	+	+	Hél gé	Pant
14	<i>Cyperus iria</i> L.	+		+	Hél th	Pant
15	<i>Cyperus laevigatus</i> L.	+	+		Hél gé	Pant
16	<i>Cyperus maculatus</i> Boeck.		+		Hél gé	Afr
17	<i>Cyperus polystachyos</i> (Rottb.) Beauv.	+	+		Hél gé	Pant
18	<i>Cyperus rotundus</i> L.	+	+	+	Hél gé	Pant
19	<i>Fimbristylis ferruginea</i> (L.) Vahl.			+	Hél gé	Pant
20	<i>Fuirena ciliaris</i> (L.) Roxb.	+		+	Hél th	Pal
21	<i>Fuirena umbellata</i> Rottb.			+	Hél.th	Pant
22	<i>Juncus maritimus</i> Lam.			+	Hél gé	Cosm
23	<i>Oxycaryum cubense</i> (Poeppig. et Kunth) Lye	+	+		Hél gé	Afr
24	<i>Pycnus macrostachyos</i> (Lam.) J. Raynal	+	+	+	Hél.gé	Pant
25	<i>Rhynchospora holoschoenoides</i> (L.C. Rich.) Herter			+	Hél gé	Afr
26	<i>Schoenoplectus litoralis</i> (Schrader) Palla	+	+	+	Hél gé	Pal
27	<i>Schoenoplectus senegalensis</i> (Hochst. ex Steudel.) Palla			+	Hél th	Pal
HYDROCHARITACEAE (1)						
28	<i>Vallisneria aethiopica</i> Fenzl.		+		Hy gé	Afr
LEMNACEAE (1)						
29	<i>Lemna aequinoctialis</i> Welw.	+	+	+	Hy na	Pant

NAJADACEAE (2)

30	<i>Najas marina</i> L.	+	+		Hy th	Cosm
31	<i>Najas pectinata</i> (Parl.) Magnus	+	+		Hy th	Afr

POACEAE (26)

32	<i>Brachiaria lata</i> (Schum.) Hubbard	+	+	+	T	Pant
33	<i>Bracharia mutica</i> (Forssk.) Stapf.	+	+	+	Hy gé	Pant
34	<i>Chloris prieurii</i> Kunth	+	+	+	T	Pal
35	<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.	+	+	+	C	Cosm
36	<i>Dactyloctenium aegyptium</i> (L.) Beauv.	+	+	+	T	Pant
37	<i>Diplachne fusca</i> (L.) Pal.Beauv.	+	+	+	Hél gé	Pal
38	<i>Echinochloa colonum</i> (L.) Link	+	+	+	T	Pant
39	<i>Echinochloa pyramidalis</i> (L.) H.et C.	+	+	+	Hél gé	Pal
40	<i>Echinochloa stagnina</i> (Retz.) Pal.Beauv.	+	+	+	Hél gé	Pal
41	<i>Elytrophorus spicatus</i> (Willd.) A. Camus		+	+	T	Pal
42	<i>Eragrostis diplachnoides</i> Steud	+		+	T	As
43	<i>Eragrostis ciliaris</i> (L.) R. Br.	+	+	+	T	Pant
44	<i>Eragrostis tremula</i> (Lam) Hochst. Ex. Steud.	+	+	+	T	Pal
45	<i>Ischaemum rugosum</i> Salisb.			+	Hél th	Afr
46	<i>Oryza barthii</i> A.Chev.		+	+	Hél th	Afr
47	<i>Oryza longistaminata</i> A. Chev. & Roehr.	+	+	+	Hél gé	Afr
48	<i>Panicum anabaptistum</i> Steud.	+	+	+	Hél gé	Afr
49	<i>Panicum repens</i> L.	+	+	+	Hél gé	Pant
50	<i>Paspalidium geminatum</i> (Forssk.)Stapf.	+	+		Hél gé	Afr
51	<i>Paspalum scrobiculatum</i> L.	+	+		Hél.gé	Pant
52	<i>Paspalum vaginatum</i> Sw	+	+	+	Hél gé	Pant
53	<i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin ex Steud.	+	+	+	Hél.gé	Cosm
54	<i>Sporobolus robustus</i> Kunth	+	+	+	C	Afr
55	<i>Sporobolus spicatus</i> Kunth	+	+	+	C	Cosm
56	<i>Vetiveria nigritana</i> (B.) Stapf		+		Hél gé	Pant
57	<i>Vossia cuspidata</i> (Roxb.) Griffith	+	+		Hél gé	Pal

PONTEDERIACEAE (3)

58	<i>Eichhornia natans</i> (Pal. Beauv.) Solms-Laub.			+	Hy na	Pant
59	<i>Eichhornia crassipes</i> (Mart.) Solms-Laub.			+	Hy na	Pant
60	<i>Heteranthera callifolia</i> Reichenb.ex Kunth			+	Hy gé	Afram

POTAMOGETONACEAE (2)

61	<i>Potamogeton octandrus</i> Poir.	+	+		Hy gé	Pal
62	<i>Potamogeton schweinfurthii</i> A. Benn.	+	+		Hy gé	Afr

TYPHACEAE (1)

63	<i>Typha domingensis</i> Pers.	+	+	+	Hél gé	Pal
----	--------------------------------	---	---	---	--------	-----

DICOTYLEDONES**ACANTHACEAE (1)**

64	<i>Hygrophila auriculata</i> (Schum.) Heine			+	Hél gé	As
----	---	--	--	---	--------	----

AIZOACEAE (3)

65	<i>Sesuvium portulacastrum</i> (L.) L.	+	+	+	C	Cosm
66	<i>Trianthema portulacastrum</i> L.	+	+	+	T	Pant
67	<i>Trianthema triquetra</i> Willd.			+	T	As

AMARANTHACEAE (7)

68	<i>Achyranthes argentea</i> Lam.			+	T	Sz
69	<i>Achyranthes aspera</i> L.			+	C	Pant
70	<i>Alternanthera nodiflora</i> (L.) R. Br		+	+	T	Cosm
71	<i>Alternanthera sessilis</i> R. Br. Ex DC.		+	+	T	Cosm
72	<i>Amaranthus viridis</i> L.			+	T	Pant
73	<i>Blutaparion vermiculare</i> (L.) Mears	+	+	+	C	Afram
74	<i>Centrostachys aquatica</i> (R.Br.) Wall.		+	+	Hél gé	As

ASTERACEAE (= COMPOSITAE) (5)

75	<i>Ambrosia maritima</i> L.	+	+	+	T	Cosm
76	<i>Eclipta alba</i> (L.) Hassk.	+	+	+	T	Pant
77	<i>Lactuca intybacea</i> Jacq.			+	T	Afram
78	<i>Sphaeranthus senegalensis</i> DC.			+	T	As

79	<i>Tridax procumbens</i> L.			+		T	Pant
AVICENNIACEAE (1)							
80	<i>Avicennia germinans</i> (L.) L.	+		+		P	Afram
BORAGINACEAE (3)							
81	<i>Coldenia procumbens</i> L.	+	+	+		T	As
82	<i>Heliotropium bacciferum</i> Forssk.			+		T	As
83	<i>Heliotropium ovalifolium</i> Forssk.			+		C	As
CAPPARACEAE (= CAPPARIDACEAE) (3)							
84	<i>Boscia senegalensis</i> (Pers.) Lam			+		P	Afr
85	<i>Cleome tenella</i> L.			+		T	Pal
86	<i>Gynandropis gynandra</i> (L.) Briq.			+		C	Afr
CELASTRACEAE (1)							
87	<i>Maytenus senegalensis</i> (Lam.) Exell.			+		P	Pal
CERATOPHYLLACEAE (1)							
88	<i>Ceratophyllum demersum</i> L.	+	+	+		Hy na	Cosm
CHENOPODIACEAE (4)							
89	<i>Arthrocnemum macrostachyum</i> (Moic.) Moris & Delponte			+		P	Cosm
90	<i>Salicornia senegalensis</i> A.Chev.			+		P	Cosm
91	<i>Salsola baryosma</i> (Schult.) Dandy			+		P	As
92	<i>Suaeda vermiculata</i> Forssk. Ex. J.F. Gmel.			+		P	Cosm
CONVOLVULACEAE (4)							
93	<i>Cressa cretica</i> L.	+	+	+		C	Pant
94	<i>Ipomoea aquatica</i> Forssk.	+	+	+		Hy hém	Pant
95	<i>Ipomoea asarifolia</i> (Desr.) Roem.et Schult.	+	+	+		C	Pant
96	<i>Ipomoea coptica</i> (L.) Roth.			+		C	As
CUCURBITACEAE (1)							
97	<i>Colocynthis citrilus</i> (L.) O.Kze	+		+		C	Pal
EUPHORBIACEAE (1)							
98	<i>Euphorbia hirta</i> L.	+	+	+		T	Pant

FABACEAE⁴ (=LEGUMINOSAE) (23)

99	<i>Acacia nilotica</i> (L.) Willd.	+	+	+	P	Sz
100	<i>Acacia senegal</i> (L.) Willd.			+	P	Afr
101	<i>Acacia seyal</i> Del.			+	P	Afr
102	<i>Acacia sieberiana</i> DC.		+	+	P	Afr
103	<i>Acacia tortilis</i> Hayne	+	+	+	P	Pal
104	<i>Aeschynomene elaphroxylon</i> (Guill. et Perr.) Taub.	+	+	+	P	As
105	<i>Aeschynomene indica</i> L.	+	+	+	T	Pant
106	<i>Bauhinia rufescens</i> Lam.			+	P	Afr
107	<i>Cassia mimosoides</i> L.			+	P	Pant
108	<i>Cassia occidentalis</i> L.		+	+	P	Pant
109	<i>Cassia obtusifolia</i> L.		+	+	P	As
110	<i>Indigofera astragalina</i> DC.			+	T	Afr
111	<i>Indigofera senegalensis</i> Lam.			+	T	Afr
112	<i>Mimosa pudica</i> L.		+		P	Cosm
113	<i>Mimosa pigra</i> L.		+	+	P	Pant
114	<i>Neptunia oleracea</i> Lour.	+	+	+	Hy hém	Pant
115	<i>Parkinsonia aculeata</i> L.	+	+	+	P	Cosm
116	<i>Piliostigma reticulatum</i> (DC.) Hochst.			+	P	Afr
117	<i>Prosopis chilensis</i> (Mol.)Stuntz.	+	+	+	P	Cosm
118	<i>Sesbania leptocarpa</i> DC.	+	+	+	P	As
119	<i>Sesbania sesban</i> (L.) Merrill.	+	+	+	T	Pant
120	<i>Sesbania pachycarpa</i> DC.	+	+	+	T	Afr
121	<i>Tamarindus indica</i> L.			+	P	Pant

LENTIBULARIACEAE (1)

122	<i>Utricularia stellaris</i> L.f.	+	+	+	Hy na	Pal
-----	-----------------------------------	---	---	---	-------	-----

LYTHRACEAE (2)

123	<i>Ammania auriculata</i> Willd.	+	+	+	Hy gé	Afr
124	<i>Lythrum hyssopifolia</i> L.		+	+	T	Cosm

⁴ Suite à Spichiger (2000), nous incluons dans la famille des *Fabaceae*, les 3 sous familles constituées par les *Caesalpinioideae*, les *Faboideae* et les *Mimosoideae*.

MENYANTHACEAE (2)						
125	<i>Nymphoides ezannoi</i> Berh.		+		Hy gé	Sz
126	<i>Nymphoides indica</i> (L.) O. Kze	+	+		Hy gé	Pant
NYMPHAEACEAE (2)						
127	<i>Nymphaea lotus</i> L.	+	+	+	Hy gé	Pal
128	<i>Nymphaea micrantha</i> Guill. & Perr.	+	+	+	Hy gé	Sz
OENOTHORACEAE (=ONAGRACEAE)(3)						
129	<i>Ludwigia erecta</i> (L.) Hara	+	+	+	T	Afram
130	<i>Ludwigia leptocarpa</i> (N.) H.	+	+		Hy gé	Pant
131	<i>Ludwigia stolonifera</i> Guill.& Perr.	+	+	+	Hy hém	Pant
OROBANCHACEAE (1)						
132	<i>Cistanche phelipaea</i> (L.) Cout.			+	Par	Sahm
POLYGONACEAE (2)						
133	<i>Polygonum lanigerum</i> R. Br.	+	+		Hy gé	Pal
134	<i>Polygonum senegalense</i> Meisn	+	+		Hy gé	Afr
PORTULACACEAE (2)						
135	<i>Portulaca foliosa</i> Ker-Gaiol.	+	+	+	C	Sz
136	<i>Portulaca oleracea</i> L.	+	+	+	C	Pal
RHAMNACEAE (1)						
137	<i>Ziziphus mauritiana</i> Lam			+	P	As
RHIZOPHORACEAE (1)						
138	<i>Rhizophora racemosa</i> G.-F.-W.Mey.	+			P	Pant
RUBIACEAE (3)						
139	<i>Mitracarpus scaber</i> Zucc.	+	+	+	T	As
140	<i>Mitragyna inermis</i> (W.) O.Ktze			+	P	Sz
141	<i>Spermacoce verticillata</i> L.	+	+	+	P	Afram
SALVADORACEAE (1)						
142	<i>Salvadora persica</i> L.	+	+	+	P	Sz

SCROPHULARIACEAE (1)						
143	<i>Scoparia dulcis</i> L.	+	+	+	C	Pant
SOLANACEAE (1)						
144	<i>Physalis angulata</i> L.			+	T	Pant
SPHENOCLEACEAE (1)						
145	<i>Sphenoclea zeylanica</i> Gaertn.	+	+	+	T	Pant
TAMARICACEAE (1)						
146	<i>Tamarix senegalensis</i> DC.	+	+	+	P	Afr
VERBENACEAE (1)						
147	<i>Phyla nodiflora</i> (L.) Green.			+	P	Afram
ZYGOPHYLLACEAE (1)						
148	<i>Zygophyllum waterlotii</i> Maire.			+	C	Sahm
PTERIDOPHYTES						
AZOLLACEAE (1)						
149	<i>Azolla pinnata</i> R.Br.var. <i>africana</i> (Desv.) Bak.	+	+	+	Hy na	Pal
MARSILEACEAE (1)						
150	<i>Marsilea minuta</i> L.	+	+	+	Hy na	Pant
SALVINIACEAE (1)						
151	<i>Salvinia molesta</i> D.Mitch.	+	+	+	Hy na	Cosm
Totaux		91	100	129		

Les investigations sur le terrain ont permis d’inventorier 151 espèces réparties dans 47 familles et 102 genres. La répartition systématique de la flore se présente ainsi (tableau 1) :

- sur les 151 espèces, il y a 63 monocotylédones, 85 dicotylédones, 3 ptéridophytes ;
- les 102 genres se répartissant en 37 monocotylédones, 62 dicotylédones, 3 ptéridophytes;
- et les 47 familles se subdivisent en 12 familles de monocotylédones, 32 de dicotylédones, et 3 de ptéridophytes.

La répartition des espèces dans les 3 zones étudiées se présente ainsi (tableau 2) :

- 91 espèces dans le fleuve,
- 100 dans le lac de Guiers
- et 129 espèces dans les zones basses inondables du delta.

La diversité spécifique paraît plus élevée dans les zones basses inondables, ensuite dans le lac et enfin dans le fleuve.

Le nombre d'espèces et de genre des dicotylédones est plus élevé que chez les monocotylédones (tableau 2).

Les mêmes ptéridophytes sont observées dans les 3 types de zones étudiées.

La répartition taxonomique du nombre de genres et d'espèces par famille dans les 3 zones est présentée dans le tableau 2.

Tableau 2 - Structure systématique de la flore

	Fleuve Sénégal		Lac de Guiers		Zones basses inondables		Ensemble delta	
	NE	%	NE	%	NE	%	NE	%
Monocotylédones	46	50,6	48	48	47	36,5	63	41,7
Dicotylédones	42	46,1	49	49	79	61,2	85	56,2
Ptéridophytes	3	3,4	3	3	3	2,3	3	2,1
Total	91	99	100	100	129	100	151	100

Légende : NE : nombre d'espèce

Le pourcentage des espèces de dicotylédones est plus élevé dans les zones basses inondables, ensuite dans le lac et enfin dans le fleuve.

La proportion des monocotylédones est pratiquement identique dans les trois milieux étudiés.

Les 3 ptéridophytes ont été recensées également dans les trois types de milieux.

Tableau 3 - Répartition des espèces en fonction des familles

FAMILLE	Fleuve Sénégal		Lac de Guiers		Zones basses inondables		Ensemble delta	
	NG	NE	NG	NE	NG	NE	NG	NE
MONOCOTYLEDONES								
POACEAE	18	22	17	24	15	22	17	26
CYPERACEAE	6	17	5	16	8	17	9	23
PONTEDRIACEAE	0	0	0	0	2	3	2	3
NAJADACEAE	1	2	1	2	0	0	1	2
POTAMOGETONACEAE	1	2	1	2	0	0	1	2
ALISMATACEAE	0	0	0	0	0	1	1	1
ARACEAE	1	1	1	1	1	1	1	1

ARECACEAE	0	0	0	0	1	1	1	1
COMMELINACEAE	0	0	0	0	0	1	1	1
HYDROCHARITACEAE	0	0	1	1	0	0	1	1
LEMNACEAE	1	1	1	1	1	1	1	1
TYPHACEAE	1	1	1	1	1	1	1	1
Sous total	29	46	28	48	29	48	37	63

DICOTYLEDONES

FABACEAE	7	10	8	15	12	22	12	23
AMARANTHACEAE	1	1	3	4	5	7	5	7
ASTERACEAE	2	2	2	2	5	5	5	5
CHENOPODIACEAE	0	0	0	0	4	4	4	4
CONVOLVULACEAE	2	3	2	3	2	4	2	4
AIZOACEAE	2	2	2	2	2	3	2	3
BORRAGINACEAE	1	1	1	1	2	3	2	3
CAPPARACEAE	0	0	0	0	0	3	3	3
OENOTHORACEAE	1	3	1	3	1	2	1	3
RUBIACEAE	2	2	2	2	3	3	3	3
LYTHRACEAE	1	1	2	2	2	2	2	2
MENYANTHACEAE	1	1	1	2	0	0	1	2
NYMPHAEACEAE	1	2	1	2	1	2	1	2
POLYGONACEAE	1	2	1	2	0	0	1	2
PORTULACACEAE	1	2	1	2	1	2	1	2
ACANTHACEAE	0	0	0	0	1	1	1	1
AVICENNIACEAE	1	1	0	0	1	1	1	1
CELASTRACEAE	0	0	0	0	1	1	1	1
CERATOPHYLLACEAE	1	1	1	1	1	1	1	1
CUCURBITACEAE	1	1	0	0	1	1	1	1
EUPHORBIACEAE	1	1	1	1	1	1	1	1
LENTIBULARIACEAE	1	1	1	1	1	1	1	1
OROBANCHACEAE	0	0	0	0	0	1	1	1
RHAMNACEAE	0	0	0	0	1	1	1	1
RHIZOPHORACEAE	1	1	0	0	0	0	1	1
SALVADORACEAE	1	1	1	1	1	1	1	1
SCROPHULARIACEAE	1	1	1	1	1	1	1	1
SOLANACEAE	0	0	0	0	1	1	1	1
SPHENOCLEACEAE	1	1	1	1	1	1	1	1
TAMARICACEAE	1	1	1	1	1	1	1	1
VERBENACEAE	0	0	0	0	1	1	1	1
ZYGOPHYLLACEAE	0	0	0	0	1	1	1	1
Sous total	33	42	34	49	55	78	62	85

PTERIDOPHYTES

AZOLLACEAE	1	1	1	1	1	1	1	1
MARSILEACEAE	1	1	1	1	1	1	1	1
SALVINIACEAE	1	1	1	1	1	1	1	1

Sous total	3	3	3	3	3	3	3	3
Totaux	65	91	65	100	87	129	102	151

Légende : NG : nombre de genres ; NE : nombre d'espèces

Pour l'ensemble de la flore des milieux humides, la proportion est de 41,7 % de monocotylédones, 56,2 % de dicotylédones et 2,1 % de ptéridophytes pour les espèces ; 36%, 60 % et 2% pour les genres ; 25%, 68 %, 6 % pour les familles. Dans les monocotylédones, les *Poaceae* et les *Cyperaceae* sont les plus abondantes avec respectivement 26 et 23 espèces. Il est connu que les *Cyperaceae* présentent une diversité spécifique plus importante dans les zones rizicoles plus humides (Johnson, 1997).

Les dicotylédones sont beaucoup plus représentées dans les zones basses inondables, ensuite dans le lac et enfin dans le fleuve.

Le nombre d'espèces monocotylédones est pratiquement le même dans les 3 zones étudiée soit une quarantaine d'espèces. Il en est de même pour les ptéridophytes (3 espèces) (Figure 12).

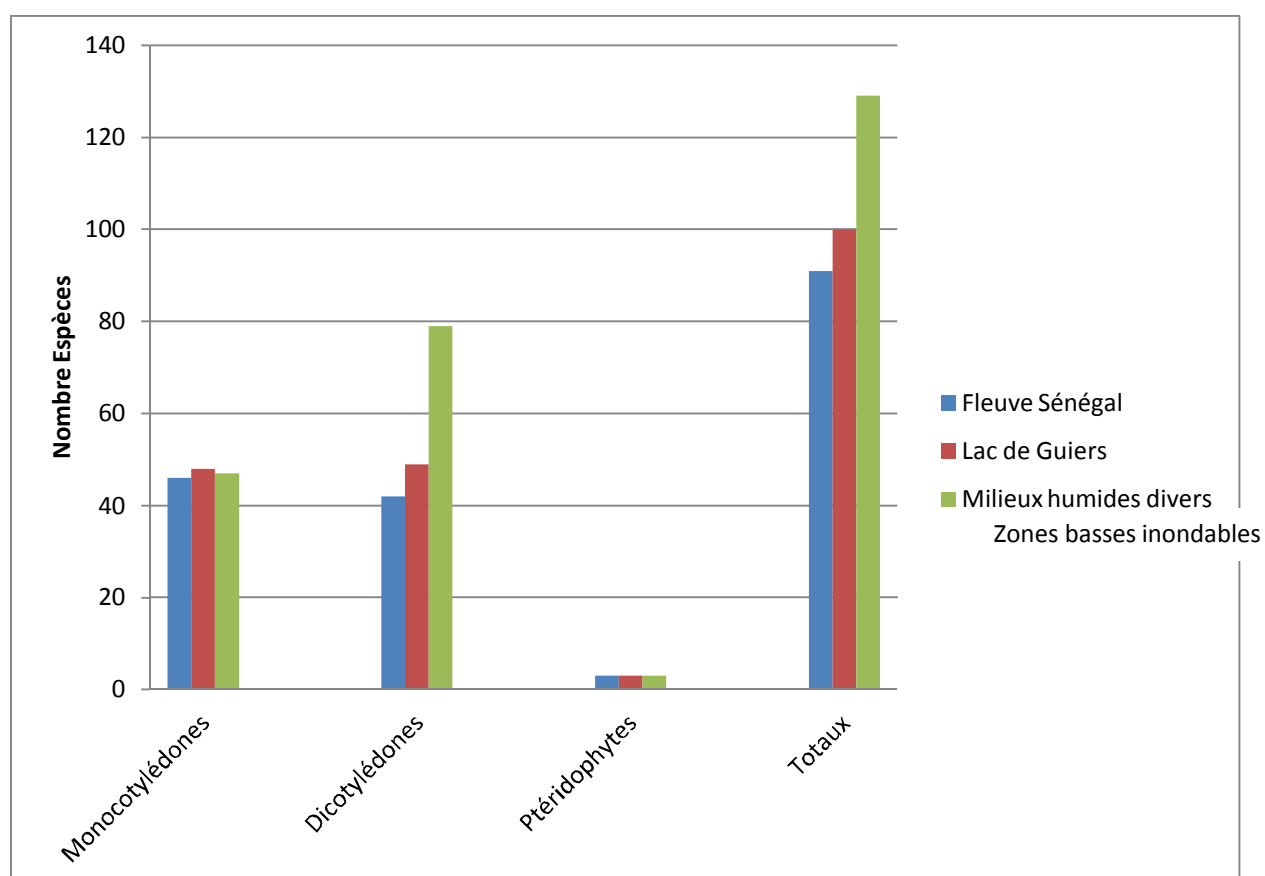


Figure 12 - Grands groupes systématiques de macrophytes recensés dans les 3 zones étudiées

Les *Pontederiaceae* sont représentées par 3 espèces tandis que les *Potamogetonaceae* et les *Najadaceae* par 2 espèces. Les autres familles de monocotylédones : *Typhaceae*, *Alismataceae*, *Araceae*, *Hydrocharitaceae*, *Lemnaceae* et *Commelinaceae* ne comptent chacune qu'une seule espèce.

Dans les dicotylédones, une trentaine de famille regroupe les 85 espèces. La famille des *Fabaceae* est la plus importante avec 23 espèces, puis suivent les *Amaranthaceae* (7 espèces), les *Asteraceae* (5 espèces), les *Chenopodiaceae* et *Convolvulaceae* (4 espèces), *Oenothoraceae*, *Rubiaceae* et *Boraginaceae* (3 espèces). Les autres familles sont représentées par 2 ou 1 espèce.

Les 3 familles de Ptéridophytes observées sont toutes des plantes aquatiques exclusives et unigénériques.

En comparant la flore macrophytique dans les 3 zones étudiées, la diversité des espèces paraît plus élevée dans les zones basses inondables (129 espèces), ensuite dans le lac de Guiers (100 espèces) et enfin dans le fleuve Sénégal (91 espèces). Le nombre de genres et de familles sont dans les mêmes proportions. Les différences floristiques observées pourraient être liées en partie à la vitesse des courants d'eau et à la salinité. Le mouvement des eaux est moins rapide successivement dans les zones basses inondables, ensuite dans le lac et enfin dans le fleuve. La zone amont du barrage, dans laquelle sont situés les sites étudiés, évolue vers un écosystème où les mouvements d'eaux deviennent de plus en plus lents.

La plus grande diversité spécifique a été trouvée dans les zones basses inondables ; cela n'est pas surprenant compte tenu de la forte artificialisation et de l'hétérogénéité de ces milieux qui sont cultivées ou à en jachères, ensuite suivent le lac et enfin le fleuve.

En 1933-34, dans la définition des groupements végétaux des milieux aquatiques au Sénégal, Trochain (1940) a effectué près de 53 relevés de la végétation dans le delta et le lac de Guiers. L'analyse de ces relevés révèle 79 espèces réparties dans 56 genres et 28 familles. Les *Poaceae* (23 espèces) et les *Cyperaceae* (18 espèces) sont dominantes.

Dans un inventaire des plantes adventices des casiers de riz nouvellement installés à Richard-Toll, Adam (1960) a classé 29 espèces dans les plantes aquatiques, "sub-aquatiques" et les hélrophytes.

Dans les rizières de Camargues en France, Marnotte *et al.* (2006) ont inventorié 178 espèces parmi lesquelles 45 espèces sont des aquatiques. Les *Poaceae* et les *Cyperaceae* constituent également les familles dominantes en milieux aquatiques comme dans le delta et le lac de Guiers.

La végétation de la Niaye inondée aux environs de Kayar est caractérisée par la dominance de cinq espèces de Fougères et recèle des espèces rares et contient un nombre total d'espèces plus réduit que la Niaye simplement humide (Raynal, 1963).

Des 3 genres de ptéridophytes aquatiques observés dans le lac de Guiers seul *Marsilea* est mentionné dans la flore du lac Tamna et de ses environs (Raynal, 1963). La faible représentation des ptéridophytes dans la flore a été observée dans d'autres régions humides en Afrique. En milieux aquatiques et humides au Niger, 4 genres et 4 espèces de ptéridophytes ont été mentionnés (Garba, 1985). En Côte d'Ivoire, 8 genres, 8 espèces ont été cités (Traoré, 1985). Les conditions en Afrique soudanienne et sahélienne ne sont pas souvent favorables au développement des ptéridophytes (Tardieu-Blot, 1953 ; Tardieu-Blot, 1957).

Dans quelques mares temporaires du Sénégal Oriental, dispersées dans la savane des environs de Tambacounda, la plus part des espèces qui participent à la végétation palustre sont annuelles et on note l'absence de Bryophytes. Ces deux particularités caractérisent la végétation des dépressions humides ou inondées du Sahel et du Soudan (Vanden Berghen, 1990). L'alternance des saisons fait que ces substrats subissent, au cours de l'année, une phase de dessèchement intense et une phase de végétation active. Très peu d'espèces sont communes entre la flore de ces pièces d'eau alimentées uniquement par les eaux de pluies et se développant sur un substrat plus acide qu'au lac de Guiers et s'asséchant plus ou moins rapidement pendant la saison sèche.

Dans le parc du Niokolo-Koba, il a été dénombré dans les mares, marécages et prairies humides et savanes herbeuses des vallées, 160 espèces relevant de 106 genres et 43 familles (Schneider et Sambou, 1975). Le nombre de genres est quasiment le même pour les monocotylédones et les dicotylédones. Les familles dicotylédones (26) représentent près de la moitié du nombre total des familles (43). Il en est de même pour le nombre d'espèces avec 76 espèces dicotylédones et 83 espèces monocotylédones et 1 espèce de ptéridophyte.

L'inventaire des herbacées dans le complexe écologique du Niokolo Badiar a indiqué par ailleurs 230 espèces réparties dans 131 genres appartenant à 40 familles (Sarr, 1997). Dans la florule herbacée du parc, il y a une nette dominance des espèces graminéennes représentées par 92 espèces regroupées dans 51 genres. Les Poaceae annuelles sont plus abondantes et sont représentées par 51 espèces, 31 genres tandis que les Poaceae vivaces font 23 espèces appartenant à 18 genres (Sarr, 1997).

Toutefois, si certaines espèces autochtones comme *Azolla africana* peuvent être conservées et utilisées comme engrais vert en riziculture par exemple, en revanche d'autres comme *Salvinia molesta*, espèce introduite devenue invasive dans le delta, provoquent d'importantes nuisances sur

les activités et les conditions de vie des hommes et constituer un frein à l'exploitation des ressources. Aussi un contrôle et une gestion rigoureuse d'introduction de nouvelles espèces dans ce type de milieu particulier doivent-ils être mis en œuvre.

2.3.2 Spectre biologique

Le tableau 3 et la Figure 12 montrent que dans l'ensemble du delta, les thérophytes, les héliogéophytes et les phanérophytes sont les plus abondants et représentent ensemble 66 % des espèces. Ces types biologiques sont suivis par les chaméphytes, hydrogéophytes qui constituent près de 10 % tandis que les hydrohémicryptophytes, le hydrothérophytes et les plantes parasites sont en proportion faible, moins de 6 %.

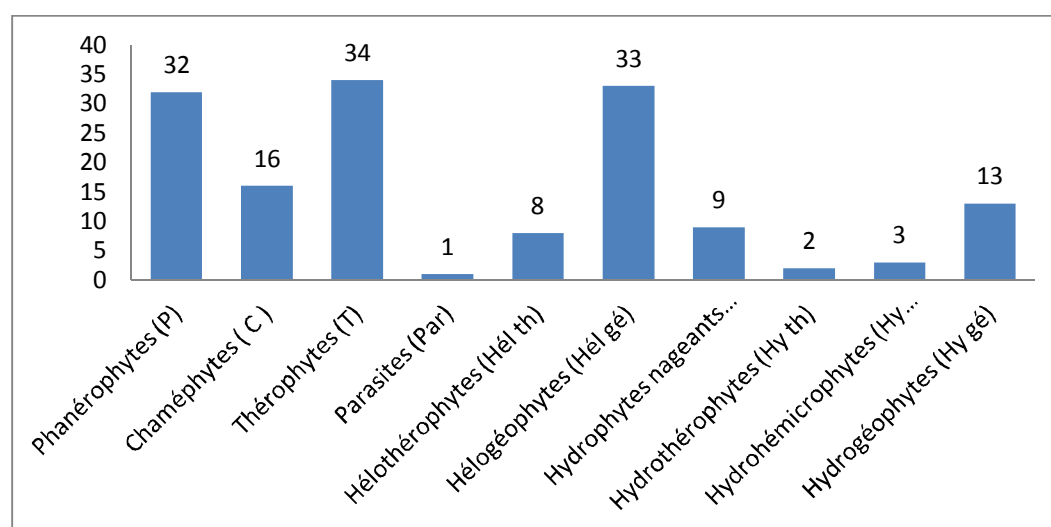


Figure 13 - Nombre d'espèces recensées par type biologique

Les thérophytes, les phanérophytes et les héliogéophytes sont beaucoup plus abondants dans les zones basses inondables, ensuite dans le lac et enfin dans le fleuve (Figure 13). La proportion des héliogéophytes, des hydrohémicryptophytes, des hydrophytes nageants et des hélothérophytes paraît similaire dans la florule des 3 zones étudiées. Les thérophytes sont plus nombreux dans les zones basses inondables, ensuite dans le lac et enfin dans le fleuve. Les hydrogéophytes sont en proportion plus grande dans le lac ensuite dans le fleuve et sont très peu présents dans les zones basses inondables. La seule plante parasite (*Cistanche phelipaea*) recensée en milieu humide a été trouvée dans les zones basses inondables.

Tableau 4 - Types biologiques des espèces recensées

Milieu	Fleuve Sénégal		Lac de Guiers		Zones basses inondables		Ensemble delta	
Type biologique	NE	%	NE	%	NE	%	NE	%
Phanérophytes (P)	12	13	14	14	30	23	32	21
Chaméphytes (C)	11	12	10	10	16	13	16	11
Thérophytes (T)	18	20	21	21	33	26	34	23
Parasites (Par)	0	0	0	0	1	1	1	0,5
Hélothérophytes (Hél th)	3	3	2	2	7	5	8	5
Hélogéophytes (Hél gé)	25	27	29	29	24	19	33	22
Hydrophytes nageants (Hy na)	7	8	7	7	9	7	9	6
Hydrothérophytes (Hy th)	2	2	2	2	0	0	2	0,5
Hydrohémicryptophytes (Hy hém)	3	3	3	3	3	2	3	2
Hydrogéophytes (Hy gé)	10	11	12	12	5	4	13	9
Total	91	99	100	100	129	100	151	100

Légende : NE : nombre d'espèce

En analysant les formes biologiques des espèces aquatiques (tableau 3), les *hélogéophytes* constituent la moitié des types biologiques (49 %), suivent les *hydrogéophytes* (19 %), les *hydrophytes nageants* (13 %) et les *hélothérophytes* (12%). Ces 4 types biologiques constituent plus de 90 % des formes biologiques des macrophytes aquatiques. Les *hydrohémicryptophytes* et les *hydrothérophytes* sont les moins représentées dans la flore des milieux humides et aquatiques.

2.3.3. Spectre chorologique

Les affinités chorologiques (Figure 14) révèlent que les espèces pantropicales (48), les espèces paléotropicales (26), les espèces guinéennes-soudano-zambéziennes (26) et les espèces cosmopolites (19) sont les plus abondantes. Elles représentent près de 80 % des taxons recensés (tableau 4). Les espèces Afro-asiatiques (16), Afro-américaines (7) et Saharo-méditerranéennes (2) sont très faiblement représentées.

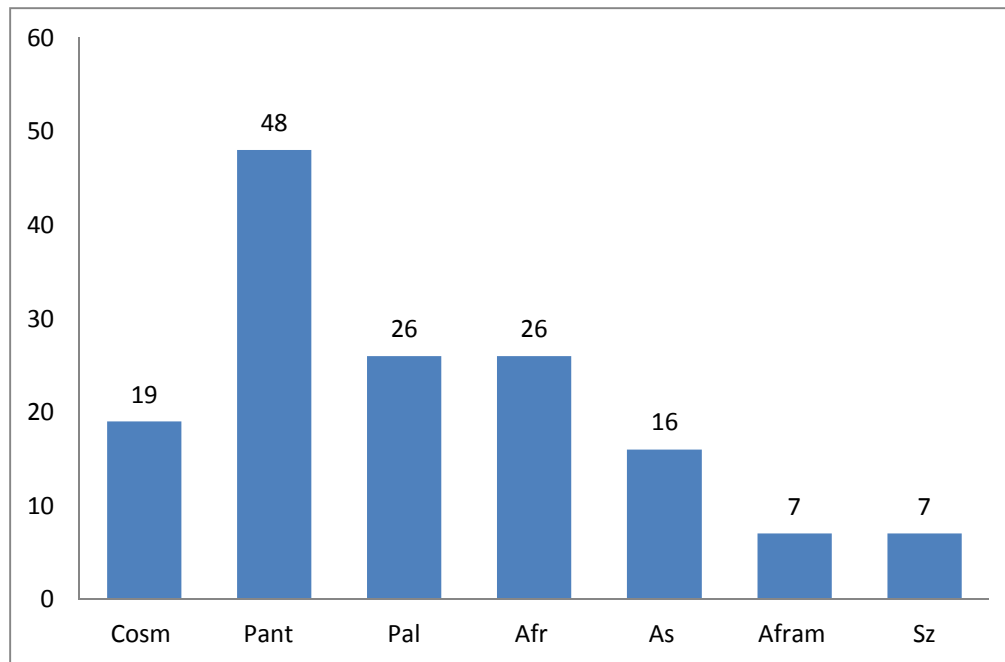


Figure 14 – Type chorologique des macrophytes recensés

Les taxons des milieux humides du delta sont généralement à très large répartition géographique.

Les espèces pantropicales sont les plus nombreuses. Elles sont suivies par les paléotropicales, les espèces soudano-guinéenne-zambéziennes et les cosmopolites. Les taxons des différents groupes sont dans les mêmes proportions dans les 3 milieux. Les espèces pantropicales sont plus nombreuses dans les zones basses inondables et sont pratiquement en nombre égal dans le lac et dans le fleuve. Quant aux espèces afro-asiatiques, afro-américaines et soudano-zambéziennes elles sont faiblement représentées dans la flore aquatique et des milieux humides. Les espèces saharo-méditerranéennes n'ont été observées ni dans le lac, ni dans le fleuve. Elles ont été trouvées uniquement dans les zones basses inondables.

La dominance des espèces pantropicales et paléotropicales a été observée également en milieux humides sahéliens au Burkina Faso (Ouedraogo, 1994).

Tableau 5 - Chorologie des espèces recensées

Milieu	Fleuve Sénégal		Lac de Guiers		Zones basses inondables		Ensemble delta		
Chorologie	N	E	%	NE	%	NE	%	NE	%
Cosm	11		12	15	15	17	13	19	13
Pant	36		40	37	37	41	32	48	32
Pal	20		22	19	19	22	17	26	17
Afr	11		12	15	15	19	15	26	17
As	5		5	6	6	15	12	16	11
Afram	3		3	3	3	7	5	7	4,5
Sz	5		3	5	5	5	4	7	4,5
Sahm	0		0	0	0	2	2	2	1
Total	91		99	100	100	129	100	151	100

Légende

Cosm : espèces cosmopolites ; Pant : espèces pantropicales ; Pal : espèces paléotropicales ; Afr : espèces guineo-soud.-zambézienne ; As : espèces afro-asiatiques ; Afram : espèces afro-américaines ; Sz : espèces guinéenne-soudano-zambéziennes ; Sz: espèces soudano-zambéziennes ; Sahm : espèces saharo-méditerranéennes

Compte tenu de la grande diversité des formes et les types biologiques rencontrés, il s'est avéré intéressant d'établir une typologie des macrophytes et de présenter avec plus de détails les principales espèces végétales vasculaires rencontrées afin de mieux cerner l'écologie générale de la région à travers l'examen de la flore et rassembler des éléments pour la préparation d'un manuel pouvant aider à identifier et à déterminer les macrophytes des zones humides du delta du fleuve Sénégal et le lac de Guiers en particulier et du territoire Sénégalais en général.

2.3.4 Typologie et présentation de quelques espèces communes

Le Delta du Sénégal et le lac de Guiers, du fait de leur position géographique la plus septentrionale au Sénégal, du relief plat et aussi de l'influence de la mer et des barrages, présentent un paysage contrasté allant d'écosystèmes terrestres semi-arides et arides aux écosystèmes semi-aquatiques et aquatiques, salés, saumâtres ou d'eau douce.

Ces caractéristiques géographiques et écologiques leur confèrent une diversité biologique relativement importante par rapport au statut de zone strictement sahélienne.

Dans cette diversité biologique, les macrophytes aquatiques, bien que relativement moins importants comparés aux autres composantes terrestres, et peu connus présentent cependant une grande diversité. Les plantes aquatiques sont quelquefois polymorphes et certains genres posent des problèmes de taxonomie. Leur variabilité morphologique marquée en rapport avec leur attachement au substrat ainsi que le développement dans l'eau sont souvent source de difficultés d'identification. En effet, l'étendue des aires de répartition continues ou discontinues, leur attachement au substrat ainsi que le niveau de développement des plantes dans l'eau entraînent des variations morphologiques secondaires qui compliquent leurs déterminations. A cela s'ajoutent, les problèmes de synonymie très fréquents et le manque d'informations scientifiques sur certaines espèces. Un manuel simple facilitant l'identification des plantes aquatiques est essentiel pour leur étude et leur gestion.

Il s'agit d'apporter ici une contribution à une meilleure connaissance et à la détermination simple des espèces de plantes aquatiques vasculaires (Ptéridophytes et Spermaphytes) des eaux douces du nord du Sénégal. Il se propose de :

- analyser la structure de la flore hydrophytique ;
- établir une typologie des macrophytes suivant leur fixation ou non au substrat et le développement des différents organes ;
- préciser la position systématique des espèces et présenter leurs principaux caractères botaniques ;
- établir la distribution géographique et l'écologie des principales espèces ;
- présenter une figuration de l'espèce qui aiderait à la reconnaître plus facilement ; une bonne illustration facilite souvent l'identification. Ce travail a porté sur 48 des 151 taxons inventoriés. Les espèces présentées ont été choisies en raison de leur appartenance aux hydrophytes et héliophytes, leur fréquence dans la zone, leur dominance ou encore leurs particularités botaniques ou écologiques.

Les macrophytes aquatiques inventoriés peuvent dans un premier temps être répartis dans 4 groupes :

- les espèces d'hydrophytes *stricto sensu* répertoriées sont au nombre de 21 (3 ptéridophytes, 8 dicotylédones et 10 monocotylédones). Le nombre total des familles est de 15 (3 ptéridophytes, 6 dicotylédones et 6 monocotylédones) et celui des genres est de 16 (3 ptéridophytes, 6 dicotylédones et 7 monocotylédones). Les quinze (15) familles d'hydrophytes *stricto sensu* (tableau 6) représentent 15

% des taxons recensés. Dans ce groupe sont incluses les 2 espèces ligneuses de la mangrove, *Avicennia germinans* et *Rhizophora racemosa*.

- les espèces de plantes aquatiques vasculaires appartenant à des familles non strictement aquatiques sont au nombre de 66 (24 dicotylédones et 42 monocotylédones). Le total des familles est de 13 (10 dicotylédones et 3 monocotylédones) et les genres est de 39 (17 dicotylédones et 22 monocotylédones).
- treize (13) espèces recensées sont fréquentes dans les zones salées humides avec 4 espèces de la famille des *Chenopodiaceae*.
- 55 taxons sont des espèces accidentelles ou ubiquistes de terrains humides faiblement salés ou non.

Dans les monocotylédones, le plus grand nombre de macrophytes aquatiques est rencontré chez les *Cyperaceae* (23 espèces) et les *Poaceae* (17 espèces) tandis que chez les dicotylédones, les *Fabaceae* (8 espèces) sont les plus nombreuses, suivent les *Lythraceae*, *Oenotheraceae* et *Polygonaceae* avec chacune 2 espèces. Les autres familles, *Acanthaceae*, *Amaranthaceae*, *Asteraceae*, *Convolvulaceae*, *Rubiaceae* et *Sphenocleaceae* ne comportent qu'une seule espèce (tableau 7).

Tableau 6 - Synopsis des familles des hydrophytes *stricto sensu*

Famille	Nbre genre	Espèces
MONOCOTYLEDONES		
ALISMATACEAE (1)	1	<i>Limnophyton obtusifolium</i>
HYDROCHARITACEAE (1)	1	<i>Vallisneria aethiopica</i>
LEMNACEAE (1)	1	<i>Lemna aequinoctialis</i>
NAJADACEAE (2)	1	<i>Najas marina</i> , <i>Najas pectinata</i>
PONTEDERIACEAE (3)	2	<i>Eichhornia natans</i> , <i>Eichhornia crassipes</i> , <i>Heteranthera callifolia</i>
POTAMOGETONACEAE (2)	1	<i>Potamogeton octandrus</i> , <i>Potamogeton schweinfurthii</i>
DICOTYLEDONES		
AVICENNIACEAE (1)	1	<i>Avicennia germinans</i>
CERATOPHYLLACEAE (1)	1	<i>Ceratophyllum demersum</i>
LENTIBULARIACEAE (1)	1	<i>Utricularia stellaris</i>
MENYANTHACEAE (2)	1	<i>Nymphoides ezannoi</i> , <i>Nymphoides indica</i>
NYMPHAEACEAE (2)	1	<i>Nymphaea lotus</i> , <i>Nymphaea micrantha</i>
RHIZOPHORACEAE (1)	1	<i>Rhizophora racemosa</i>
PTERIDOPHYTES		
AZOLLACEAE (1)	1	<i>Azolla pinnata</i> var. <i>africana</i>

MARSILEACEAE (1)	1	<i>Marsilea minuta</i>
SALVINIACEAE (1)	1	<i>Salvinia molesta</i>

Légende : Le nombre d'espèce est indiqué entre parenthèses.

Tableau 7 - Macrophytes aquatiques d'autres familles non strictement aquatiques

Famille	Nombre de genre	Espèce
MONOCOTYLEDONES		
ARACEAE (1)	1	<i>Pista stratiotes</i>
CYPERACEAE (23)	9	<i>Bolboschoenus maritimus</i> , <i>Cyperus alopecuroides</i> , <i>Cyperus articulatus</i> , <i>Cyperus bulbosus</i> , <i>Cyperus difformis</i> , <i>Cyperus digitatus</i> , <i>Cyperus dives</i> , <i>Cyperus esculentus</i> , <i>Cyperus haspan</i> , <i>Cyperus iria</i> , <i>Cyperus laevigatus</i> , <i>Cyperus maculatus</i> , <i>Cyperus polystachyos</i> , <i>Cyperus rotundus</i> , <i>Fimbristylis ferruginea</i> , <i>Fuirena ciliaris</i> , <i>Fuirena umbellata</i> , <i>Juncus maritimus</i> , <i>Oxycaryum cubense</i> , <i>Pycnus macrostachyos</i> , <i>Rhynchospora holoschoenoides</i> , <i>Schoenoplectus litoralis</i> , <i>Schoenoplectus senegalensis</i>
POACEAE (17)	13	<i>Bracharia mutica</i> , <i>Cynodon dactylon</i> , <i>Diplachne fusca</i> , <i>Echinochloa colonum</i> , <i>Echinochloa pyramidalis</i> , <i>Echinochloa stagnina</i> , <i>Ischaemum rugosum</i> , <i>Oryza barthii</i> , <i>Oryza longistaminata</i> , <i>Panicum repens</i> , <i>Panicum anabaptistum</i> , <i>Paspalum geminatum</i> , <i>Paspalum scrobiculatum</i> , <i>Paspalum vaginatum</i> , <i>Phragmites australis</i> , <i>Vetiveria nigriflora</i> , <i>Vossia cuspidata</i> .
DICOTYLEDONES		
ACANTHACEAE (1)	1	<i>Hygrophila auriculata</i>
AMARANTHACEAE (1)	1	<i>Centrostachys aquatica</i>
ASTERACEAE (1)	1	<i>Ambrosia maritima</i>
CONVOLVULACEAE (1)	1	<i>Ipomoea aquatica</i>
FABACEAE (8)	5	<i>Acacia nilotica</i> , <i>Acacia sieberiana</i> , <i>Aeschynomene elaphroxylon</i> , <i>Mimosa pigra</i> , <i>Neptunia oleracea</i> , <i>Sesbania leptocarpa</i> , <i>Sesbania sesban</i> , <i>Sesbania pachycarpa</i>
LYTHRACEAE (2)	2	<i>Ammania auriculata</i> , <i>Lythrum hyssopifolia</i>
OENOTHORACEAE (2)	1	<i>Ludwigia leptocarpa</i> , <i>Ludwigia stolonifera</i>
POLYGONACEAE (2)	1	<i>Polygonum lanigerum</i> , <i>Polygonum senegalense</i>
RUBIACEAE (1)	1	<i>Mitragyna inermis</i>
SPHENOCLEACEAE (1)	1	<i>Sphenoclea zeylanica</i>

NB : Le nombre d'espèce est indiqué entre parenthèses.

La structure de la fiche synoptique pour chaque espèce se présente de la manière suivante :

- position systématique

- synonymie(s)
- principaux caractères botaniques de l'espèce (organes végétatifs et reproducteurs)
- distribution : répartition géographique dans le Monde, en Afrique et au Sénégal
- caractéristiques écologiques

Sur la fiche est présentée également une illustration en couleur du macrophyte parfois accompagné de dessins de certains organes. Les illustrations ont été réalisées à partir d'échantillons frais récoltés et aussitôt dessinées en vue d'aider à la reconnaissance des espèces. Pour *Centrostachys aquatica* et *Vetiveria nigritana* il n'y a pas d'images présentées.

Les familles sont passées en revue dans l'ordre de la Flore du Sénégal (Berhaut, 1967), genres et espèces se suivent dans l'ordre alphabétique.

Quarante-huit (48) espèces majeures des milieux humides de la zone sont passées en revue par ordre alphabétique de nom de famille en fonction de leur type : **macrophytes fixés émergents** (31 espèces appartenant à 10 familles), **macrophytes fixés à feuilles flottantes** (6 espèces, 4 familles), **macrophytes submergés** (7 espèces, 5 familles) et **macrophytes libres flottants** (5 espèces, 5 familles).

2.3.4.1 Les macrophytes fixés émergents

Dans ce groupe ont été classées les espèces localisées à l'interface des milieux aquatiques et terrestres. Ce sont des plantes enracinées ou fixées au substrat, rhizomateuses ou stolonifères produisant des tiges végétatives qui sortent de l'eau ou de la terre humide. Elles sont les plus nombreuses et les plus diversifiées.

Les macrophytes fixés émergents passés en revue sont :

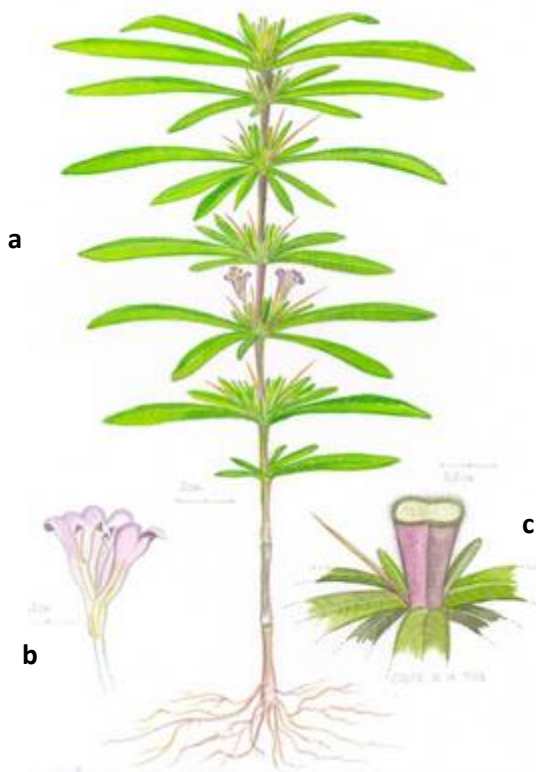
- | | |
|--------------------------------------|----------------|
| 1. <i>Hygrophila auriculata</i> | Acanthaceae |
| 2. <i>Altenanthera sessilis</i> | Amaranthaceae |
| 3. <i>Centrostachys aquatica</i> | Amaranthaceae |
| 4. <i>Eclipta prostrata</i> | Asteraceae |
| 5. <i>Ipomoea aquatica</i> | Convolvulaceae |
| 6. <i>Cyperus alopecuroides</i> | Cyperaceae |
| 7. <i>Cyperus articulatus</i> | Cyperaceae |
| 8. <i>Cyperus difformis</i> | Cyperaceae |
| 9. <i>Oxycaryum cubense</i> | Cyperaceae |
| 10. <i>Schoenoplectus litoralis</i> | Cyperaceae |
| 11. <i>Bolboschoenus maritimus</i> | Cyperaceae |
| 12. <i>Aeschynomene elaphroxylon</i> | Fabaceae |

13. <i>Aeschynomene indica</i>	Fabaceae
14. <i>Mimosa pigra</i>	Fabaceae
15. <i>Neptunia oleracea</i>	Fabaceae
16. <i>Sesbania leptocarpa</i>	Fabaceae
17. <i>Ammania auriculata</i>	Lythraceae
18. <i>Ludwigia erecta</i>	Oenotheraceae
19. <i>Cynodon dactylon</i>	Poaceae
20. <i>Diplachne fusa</i>	Poaceae
21. <i>Echinochloa colona</i>	Poaceae
22. <i>Echinochloa pyramidalis</i>	Poaceae
23. <i>Echinochloa stagnina</i>	Poaceae
24. <i>Oryza longistaminata</i>	Poaceae
25. <i>Panicum repens</i>	Poaceae
26. <i>Paspalidium geminatum</i>	Poaceae
27. <i>Papalum vaginatum</i>	Poaceae
28. <i>Phragmites australis</i>	Poaceae
29. <i>Vetiveria nigritana</i>	Poaceae
30. <i>Vossia cuspidata</i>	Poaceae
31. <i>Typha domingensis</i>	Typhaceae

***Hygrophila auriculata* (SCHUM.) HEINE**

ACANTHACEAE

Synonymes : *Barleria auriculata* SCHUM., *Barleria longifolia* LINN., *Hygrophila longifolia* (LINN.) KURZ., *Asteracantha longifolia* (LINN.) NEES., *Hygrophila spinosa* T. ANDERS.



Hygrophila auriculata (Schum.) Heine
a. plante entière ; b. une fleur ; c. section transversale de la tige

Description

Plante herbacée annuelle, haute de 50 à 80 cm, ou davantage. Tige quadrangulaire. Fleurs bleu mauve, parfois blanches, en groupe serré à l'aisselle des feuilles, et entremêlées de bractées nombreuses vertes.

Distribution

Signalée dans plusieurs pays d'Afrique (Mali, Guinée, Ghana, Togo, Bénin, Nigeria, Cameroun, République Centrafricaine, Congo, Ethiopie, Mozambique, Afrique du Sud). Egalement présente en Asie tropicale (Inde, Pakistan, Sri Lanka, Thaïlande, Vietnam, Malaisie). La plante est commune au Sénégal dans les terrains marécageux, les rizières, les fossés humides.

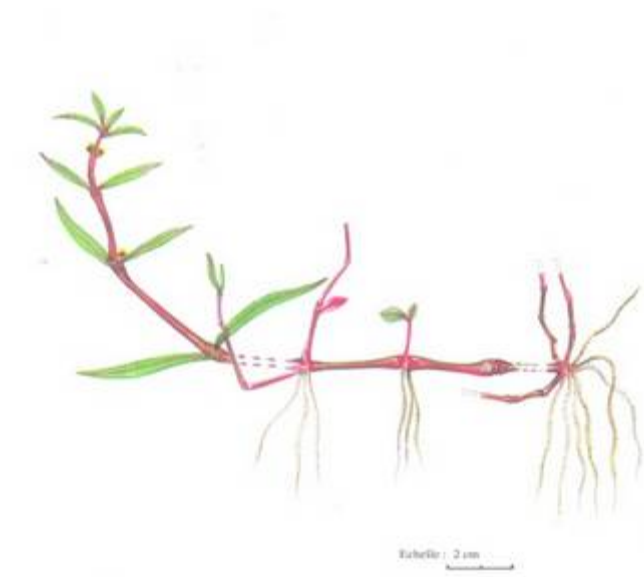
Ecologie

Dans le Delta, ce macrophyte est fréquent dans les rizières et les canaux d'irrigation. Elle croît après le retrait des eaux. Elle peut former des peuplements purs dans des sols légèrement natronés.

***Alternanthera sessilis* (L.) R.BR.ex DC.**

AMARANTHACEAE

Synonymes : *Alternanthera repens* (L.) DC, *Achyranthes sessilis* (L.) R.BR.ex DC., *Alternanthera glabra* MOQ., *Gomphrena sessilis* L.



Alternanthera sessilis (L.) R.BR.ex DC

Ecologie

Espèce commune au Sénégal surtout dans les milieux humides. La plante s'installe sur les grèves exondées des mares eutrophes, les fossés vaseux desséchés. Elle préfère un substrat riche, un éclairage intense, des températures entre 20 et 25°C et des pH se situant entre 5,8 et 7,00. Dans le Delta, la plante est rencontrée sur les sols sableux fraîchement exondés et dans les périmètres irrigués.

Description

Herbe annuelle ou pérenne à tiges prostrées et à feuilles opposées. Tige crassulescente. Les feuilles sont opposées légèrement elliptiques ou obovales avec la face supérieure rouge à rouge-violacé. Inflorescence blanche, dense, axillaire. Fleurs sessiles avec un réceptacle élargi à la base de la fleur. Jeune fruit aplati, avec une graine.

Distribution

Originare d'Asie d'après Wildeman, probablement introduit en Amérique (Lebrun, 1947). Paléotropicale et subtropicale : Australie tropicale; Asie tropicale ; Afrique tropicale, orientale et australe ; Région méditerranéenne, etc.

***Centrostachys aquatica* (R.BR.) WALL.**

AMARANTHACEAE

Synonyme: *Achyranthes aquatica* (R.BR.) MOQ.

Description

Herbe robuste pérenne se développe en milieu humide et aquatique. Feuilles entières et opposées. Limbe ovale ou ovale lancéolé. Surfaces pubescentes. Epi terminal sur la tige principale. Fleurs vertes sessiles.

Distribution

Seule espèce signalée en Afrique tropicale (Ethiopie, Soudan, Kenya, Tanzanie, Ouganda, Nigeria, Sénégal, Mozambique, Zimbabwe, Botswana) ; En Asie tropicale (Inde, Sri Lanka, Thaïlande, Indonésie, Java).

Au Sénégal, la plante a été signalée surtout dans la région du fleuve.

Ecologie

Peu fréquente dans le delta et le lac de Guiers. Elle s'installe dans une lame d'eau peu profonde. Se développe sur de sols variés (sableux à argileux).

***Eclipta prostrata* L.**

ASTERACEAE

Synonymes: *Eclipta alba* (L.)HASSK. ; *Verbesina prostrata* L.; *Eclipta erecta* L.



Eclipta prostrata L.

Description

Plante pérenne pouvant être érigée ou prostrée mesurant entre 20 et 90 cm de haut. Les feuilles sont opposées, linéaires-lancéolées, dentées. L'inflorescence est terminale ou axillaire. Les capitules blancs, noircissent en séchant.

Distribution

Plante originaire d'Europe et d'Asie est devenue cosmopolite (Bromilow, 2001). La plante est rencontrée à travers le monde : Inde, Chine, Thaïlande, Brésil, Etats-Unis et Europe. En Afrique : Kenya, Tanzanie, Ouganda

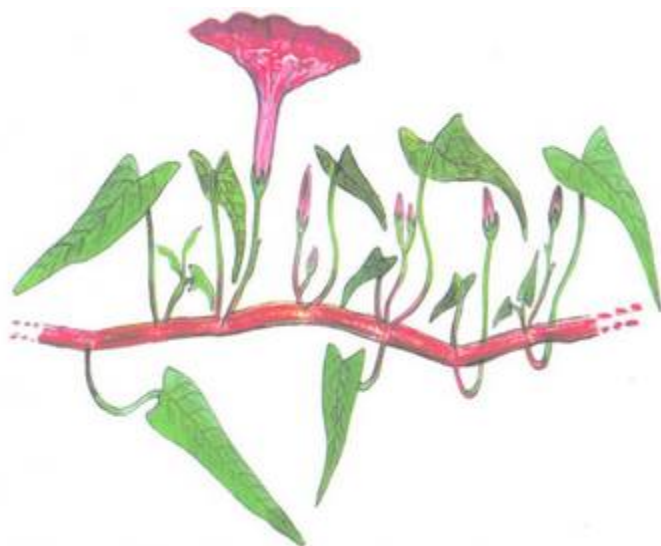
Ecologie

Fréquente dans les milieux humides au Sénégal, la plante se rencontre souvent en bordure des canaux et des parcelles irriguées du delta.

***Ipomoea aquatica* FORSK.**

CONVOLVULACEAE

Synonymes : *Convolvulus repens* VAHL. ; *Ipomoea repens* ROTH ; *Ipomoea reptans* POIRET ; *Ipomoea subdentata* MIQ.



Ipomoea aquatica FORSK.

Description

Plante herbacée rampante, vivace à tiges traînantes, glabres, creuses, à sève laiteuse ; s'enracinant aux nœuds. Feuilles variables souvent triangulaires/linéaires, longues environ 14 cm avec 2 lobes vers la base. Fleurs en entonnoir rose-pâle à pourpres allant jusqu'à 7 cm de large (Johnson, 1997).

Distribution

Native d'Inde et du sud-est asiatique, la plante a été cultivée et naturalisée en Asie, en Afrique, en Australie, etc. La plante est confinée aux zones des tropiques et sub-tropiques. Elle est présente en Mauritanie, Gambie, Guinée, Sierra Leone, Ghana, Nigeria, Cameroun, Tchad, République Centrafricaine, Congo, Angola, Soudan, Afrique Orientale,

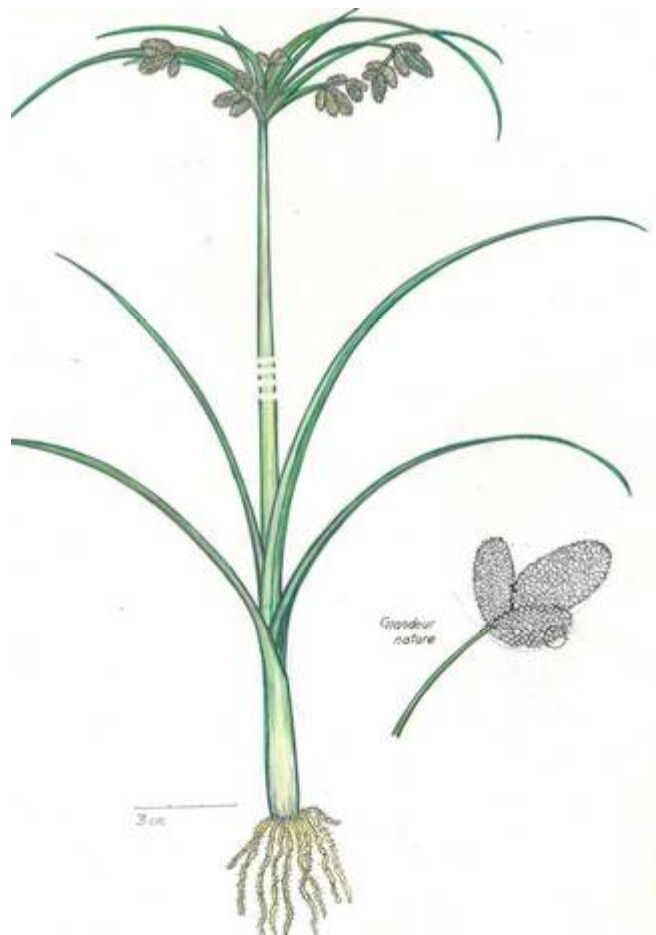
Ecologie

Au Sénégal, elle est commune des milieux humides et les plans d'eau. Très fréquente dans le lac de Guiers, le fleuve et les rizières inondées du delta. La plante croît rapidement sur les sols humides. Son développement est freiné par des températures en dessous à 23,9 °C.

***Cyperus alopecuroides* ROTTB.**

CYPERACEAE

Synonymes: *Juncellus alopecuroides* (ROTTB.) C.B. CLARKE; *Cyperus dives* DEL.



Cyperus alopecuroides ROTTB.

Description

Herbe pérenne faiblement rhizomateuse, haute de 50 à 150 cm. Feuilles insérées sur la partie inférieure de la tige. L'inflorescence est une pseudo-ombelle composée avec des épis sub-cylindriques.

Distribution

Espèce paléotropicale. Yémen, Israël, Indes, Pakistan, Sri Lanka, Indochine, Indonésie, Australie, Guadeloupe. Iles Canaries, Egypte, Erythrée, Ethiopie, Somalie, Kenya, Tanzanie, Burkina Faso, Ghana, Mali, Mauritanie, Niger, Nigeria, Botswana, Afrique du Sud, Swaziland, Madagascar

Au Sénégal, dans les « Niayes », Cap Vert, Sine Saloum, Basse et Haute Casamance.

Fréquente dans le lac de Guiers, le fleuve Sénégal et ses affluents et dans les rizières mal entretenues.

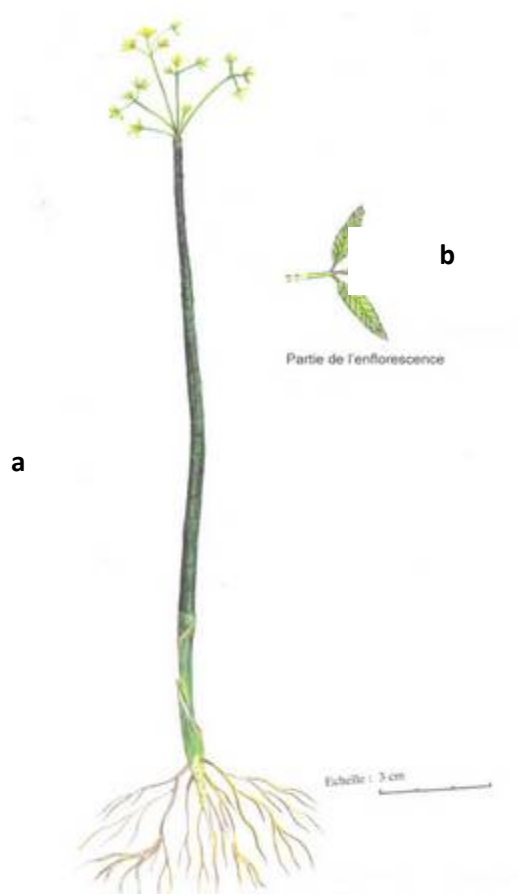
Ecologie

La plante se développe dans les eaux douces stagnantes par pieds isolés ou en peuplements étendus sur des sols plus ou moins argileux. Fleurie en octobre-novembre (Vanden Berghen, 1988).

***Cyperus articulatus* L.**

CYPERACEAE

Synonymes: *Cyperus borbonicus* STEUD.; *Cyperus corymbosus* ROTTB.; *Cyperus niloticus* FORSK.



Cyperus articulatus L.

a. plante entière, b. Epillets

Description

Plante vivace à longs rhizomes horizontaux. Tiges dressées avec des articles visibles notamment quand la plante est sèche, glabres, hautes de 80- 150 cm, cylindriques, creuses. Feuilles insérées sur la partie inférieure de la tige, réduite à une gaine ou à limbe linéaire. Inflorescence en forme de pseudo-ombelle simple ou composée

Distribution

Espèce pantropicale et subtropicale.

Pousse un peu partout au Sénégal (Bas Sénégal, région des « Niayes », Sine Saloum, Basse Casamance à l'Est).

Ecologie

La plante constitue çà et là des ilots de végétation quelquefois denses aussi bien dans le lac de Guiers que dans les endroits calmes du fleuve et ses affluents.

La plante peut être également observée dans les parcelles irriguées. Hydro-géophyte poussant sur des sols périodiquement inondés, dans les eaux stagnantes ou faiblement courantes, souvent alternativement douces et salées. Floraison : août-octobre. Son système racinaire robuste rend difficile son élimination dans les parcelles

***Cyperus difformis* L.**

CYPERACEAE

Synonymes: *Cyperus complanatus* FORSK., *Cyperus holoschoenoides* JAN., *Cyperus oryzetorum* STEUD., *Cyperus protractus* L.

Description

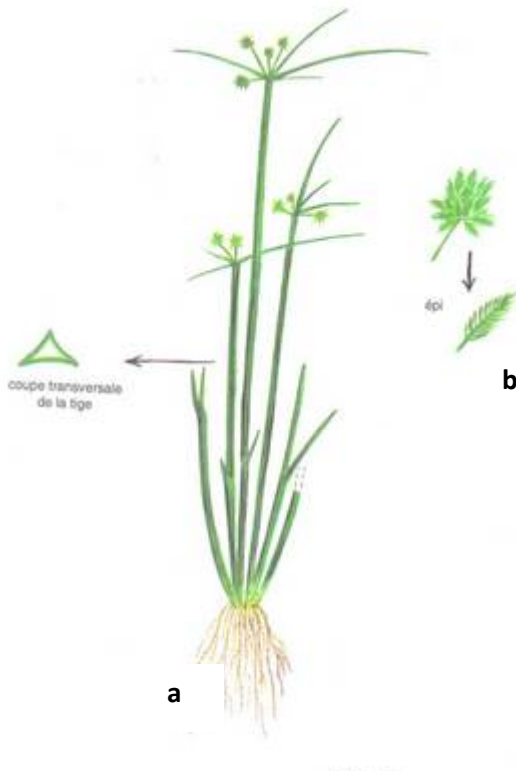
Herbe annuelle avec des inflorescences globuleuses, encadrées par quelques bractées. La section de la tige est triangulaire. Feuilles linéaires de 3-4 mm de large, à ligule membraneuse. L'inflorescence est une ombelle composée, munie d'une bractée beaucoup plus longue que les autres.

Distribution

Pantropicale et subtropicale. Connue partout en Afrique (Lebrun, 1947) ; Madagascar, Maurice et la Réunion, répandue en Europe du Sud, Asie, Amérique du Nord et Centrale (Wild, 1961).

Ecologie

Répandue, commune et souvent dominante ; sa croissance rapide et sa production précoce de graines font d'elle une des plus sérieuses adventices du riz en Afrique de l'Ouest (Johnson, 1997). Gênant dans les champs de riz à Madagascar.



Cyperus difformis L.

a. plante entière, b. épillets

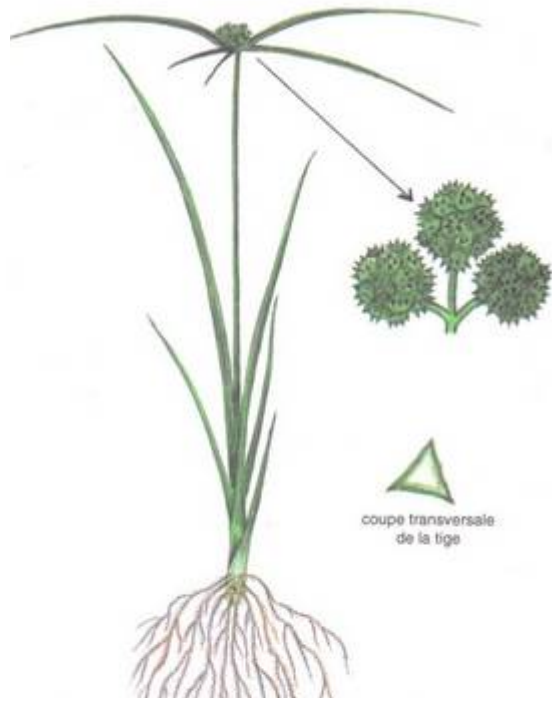
Aux Philippines, il a été signalé que les infestations des rizières par *Cyperus difformis* peuvent régresser en augmentant la profondeur de l'eau (Wild, 1961).

Dans le Delta, on la rencontre au bord des mares vaseuses, sur des sols humides et inondés des rizières, les fossés et les mares à la lisière des terres salées. Plante nitrophile.

***Oxycaryum cubense* (POEPPIG ET KUNTH) LYE**

CYPERACEAE

Synonyme : *Scirpus cubensis* POEPPIG ET KUNTH



Oxycaryum cubense (POEPPIG ET KUNTH) LYE

Description

Plante vivace à rhizomes longs de 5-20 cm. Tiges dressées, enracinées aux nœuds inférieurs. Feuilles insérées sur la partie inférieure de la tige, à limbe longs de 40 à 90 cm. Inflorescence, un glomérule d'épillets ou, plus fréquemment, une pseudo-ombelle

Distribution

Du Mexique au Paraguay en Amérique, et largement répandue en Afrique Tropicale. Existe aussi à Madagascar (WiId, 1961). *Oxycaryum cubense* est l'une des premières espèces à coloniser *Salvinia auriculata* dans le lac Kariba (Zimbabwe) et forme des radeaux. Elle est aussi connue comme une plante des radeaux flottants dans le nord du Zimbabwe et au Zaïre (WiId, 1961).

Au Sénégal, la plante a été signalée dans le Sine-

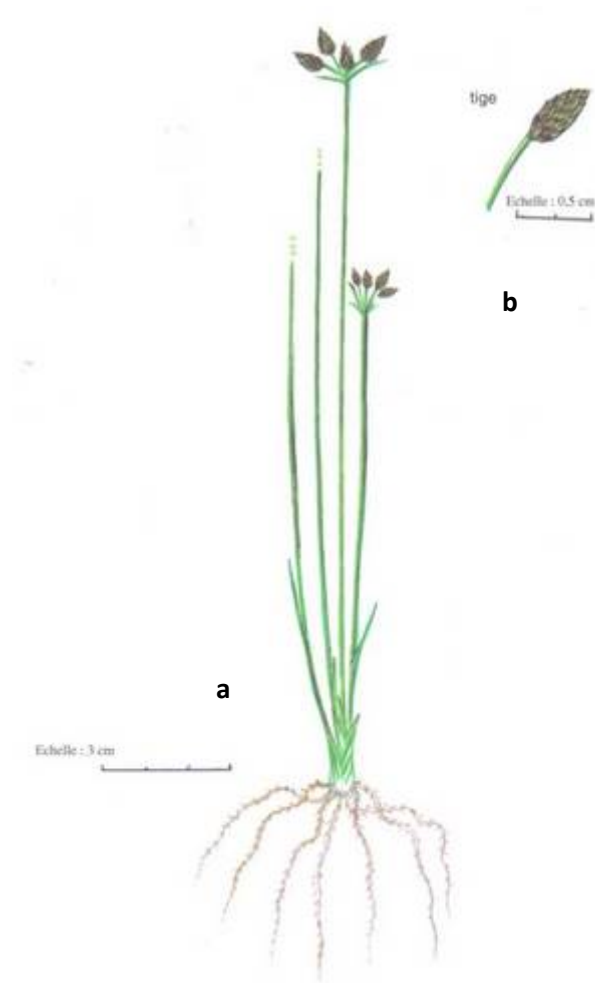
Ecologie

Elle est fréquente dans le fleuve, le lac de Guiers et le Bas Sénégal dans les marécages permanents ou presque, en eaux douces, stagnantes ou faiblement courantes. Floraison : juillet- octobre. Dans le lac de Guiers et le fleuve, elle est souvent associée à *Pistia stratiotes* et fait partie des radeaux flottants fréquents surtout pendant la saison des pluies.

***Schoenoplectus litoralis* (SCHRADER) PALLA**

CYPERACEAE

Synonymes: *Scirpus litoralis* SCHRADER; *Schoenoplectus subulatus* (VAHL) LYE.



Description

Plante pérenne à rhizomes écailleux épais. Tiges dressées solitaire ou groupées en une touffe peu fournie. Feuilles insérées sur la partie inférieure de la tige. L'inflorescence est une pseudo-ombelle.

Distribution

Espèce paléotropicale. Egalement dans tout le bassin Méditerranéen.

Au Sénégal : Sine Saloum, Basse Casamance. Fréquente dans le Bas Sénégal, dans les cuvettes de décantation, les rizières inondées et le lac de Guiers.

Ecologie

La plante préfère des sols légers, humides ; des eaux stagnantes faiblement à fortement saumâtres dans lesquelles elle peut former de vastes peuplements.

Floraison : août-décembre

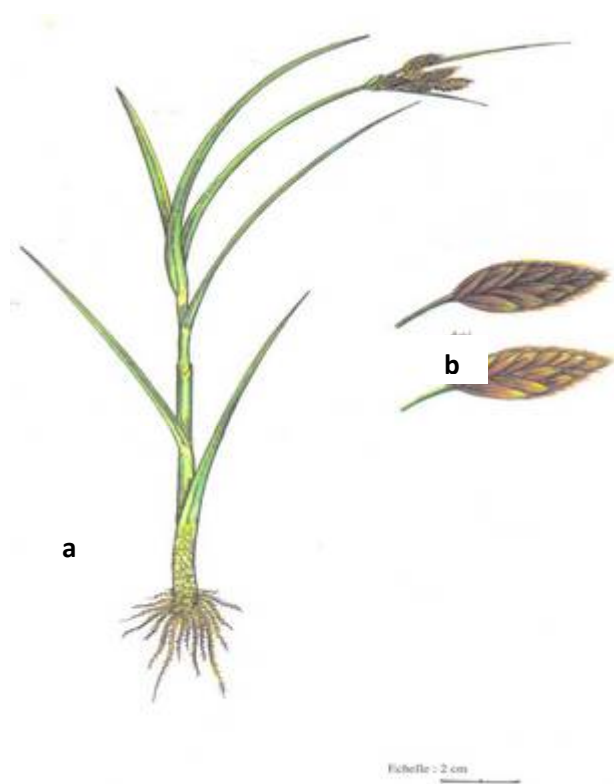
Schoenoplectus litoralis (SCHRADER) PALLA

a. plante entière, b. épillet

***Bolboschoenus maritimus* (L.)PALLA**

CYPERACEAE

Synonymes : *Scirpus maritimus* L.; *Schoenoplectus maritimus* (L.) LYE



Description

Plante pérenne, haute de 30-120 cm. Tige trigone.
Feuilles inférieures à gaine souvent brune ou brun noir.
Inflorescence habituellement une ombelle simple.
Épillets inégalement pédicellés, brun plus ou moins foncé.

Distribution

Pantropicale, subtropicales et régions tempérées.
Au Sénégal : Sine-Saloum, « Niayes ».

Ecologie

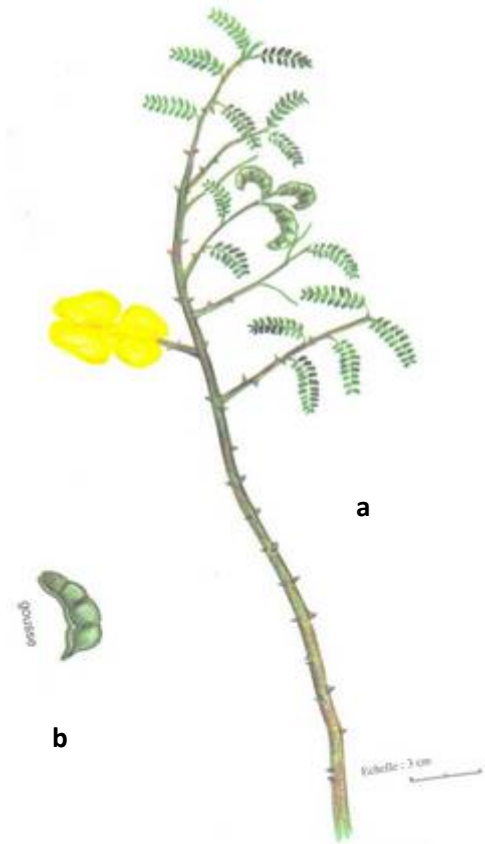
Dans la région du delta, la plante est une adventice des rizières de bas-fonds, des cuvettes de sols salés, les vasières, des marécages côtiers. Elle se développe dans les eaux peu profondes, plus ou moins saumâtres, où la plante peut former des peuplements étendus ; également sur des sédiments temporairement inondés par de l'eau salée ou saumâtre. Floraison : août-octobre. Supporte

Bolboschoenus maritimus (L.) PALLA
a. plante entière, b. épillets

***Aeschynomene elaphroxylon* (GUILL. ET PERR.) TAUB.**

FABACEAE

Synonymes : *Herminiera elaphroxylon* GUILL. ET PERR.; *Smithia grandidieri* BAILLON



Description

Grand arbuste atteignant plusieurs décimètres de diamètre, à bois tendre. Les tiges sont gonflées, aérifères. Feuilles composées. Fleurs en petites grappes, pétales jaunes. Le fruit est une gousse allongée, cloisonnée.

Distribution

La plante serait native de Madagascar. Elle se retrouve à travers l'Afrique tropicale (Nigeria, Ghana, Zimbabwe,...). Elle est caractéristique du lac Tchad.

Ecologie

Dans le delta, la plante se trouve sur les rives du fleuve Sénégal et ses affluents aux environs de la ville de St-Louis. Dans le lac de Guiers, elle est localisée essentiellement à l'entrée de la Taoué dans l'extrême nord. Pendant les hautes eaux, des individus se détachent et sont entraînés par les

Aeschynomene elaphroxylon (GUILL. ET PERR.)

TAUB.

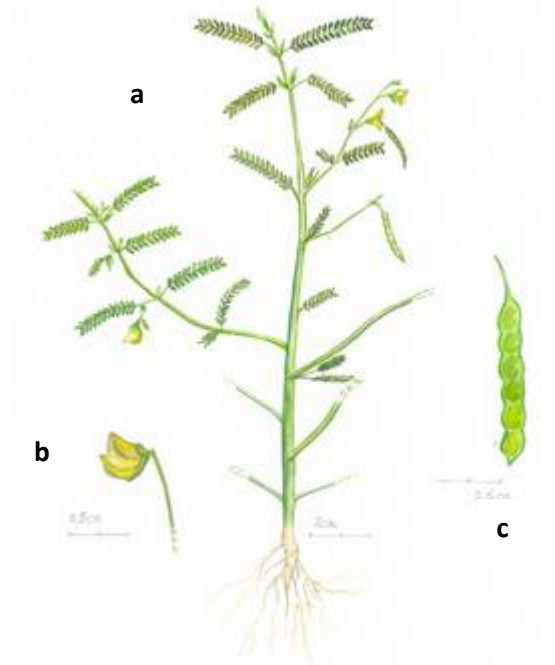
a. rameau fleuri, b. gousse

Description

Herbe dressée avec des feuilles paripennées alternes de 5 à 10 cm de long. Les folioles sont nombreuses, 15-30 paires, linéaires, oblongues, 10 –15 mm de long, arrondies à l'extrémité. La tige est légèrement lignifiée et très ramifiée au sommet. Fleurs jaune pâle. Gousse linéaire, articulée.

Distribution

Originaires probablement d'Amérique. Répandue en Afrique tropicale du Sénégal en Ethiopie et du nord de la Somalie au sud du Transvaal et en Namibie, à travers le Sahel sud jusqu'au Soudan et également à Sao Tomé et Madagascar. La plante est répandue aussi en zone subtropicale et tropicale d'Asie, d'Australie et d'Amérique du Nord.



Aeschynomene indica L.:

a. plante entière, b. fleur, c. gousse

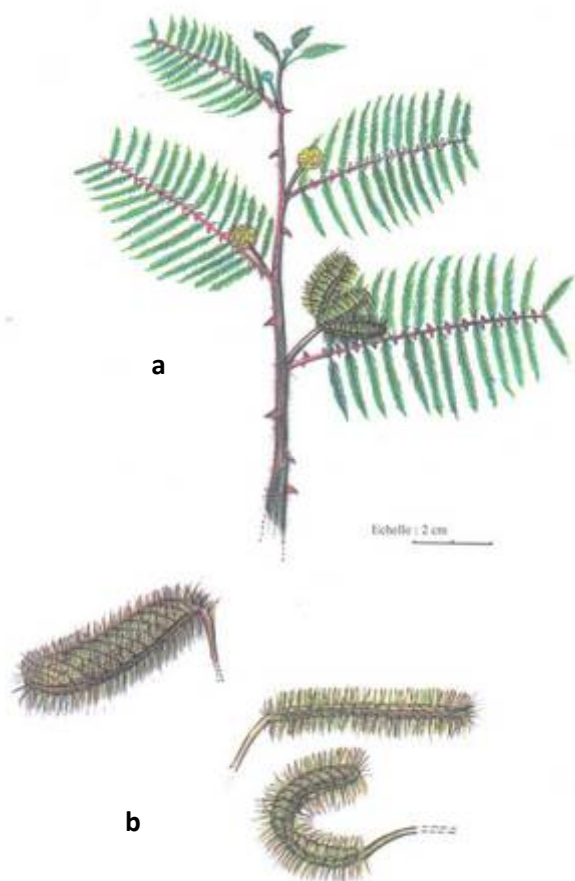
Ecologie

Dans le delta, elle est fréquente dans les rizières et les zones marécageuses. La plante préfère les zones humides et boueuses des plaines d'inondation et le pourtour des pièces d'eau saisonnières. Souvent croît avec *Sesbania* sp et *Acacia nilotica*. Apparaît sur des sols argileux lourds sujets à l'inondation et gorgés d'eau. Utilisée parfois comme engrais vert, pourrait être employée comme fourrage vert dans la rotation avec le riz et servir à piéger de l'eau pour la production de biomasse pour des engrais verts.

***Mimosa pigra* L.**

FABACEAE

Synonyme: *Mimosa asperata* (WILLD.) HUMB.et BONPL.



Mimosa pigra L.

a. rameau avec fleurs et fruits, b. fruits sous différentes formes

Description

Espèce arbustive buissonnante, à branches épineuses, pérenne pouvant atteindre 3 m de haut. Feuilles alternes distiques, bipennées à folioles très nombreuses. Fleurs roses, parfois blanches très petites, groupées en glomérules, disposées à l'aisselle des feuilles hautes. Fruit, longue gousse aplatie, velue.

Distribution

Originaire du Mexique, du sud Venezuela et du Bassin central de l'Amazone (Waterhouse, 1994). Répandue en Amérique Tropicale et Afrique Tropicale; aussi à Madagascar et Maurice (Wild, 1961). Sénégal, Mali, Gambie, Guinée, Sierra-Léone, Côte d'Ivoire, Ghana, Bénin, Nigeria, Cameroun, Tchad, République centrafricaine, Congo, Angola, Afrique orientale, Afrique du Sud, Mozambique (Berhaut, 1967).

Ecologie

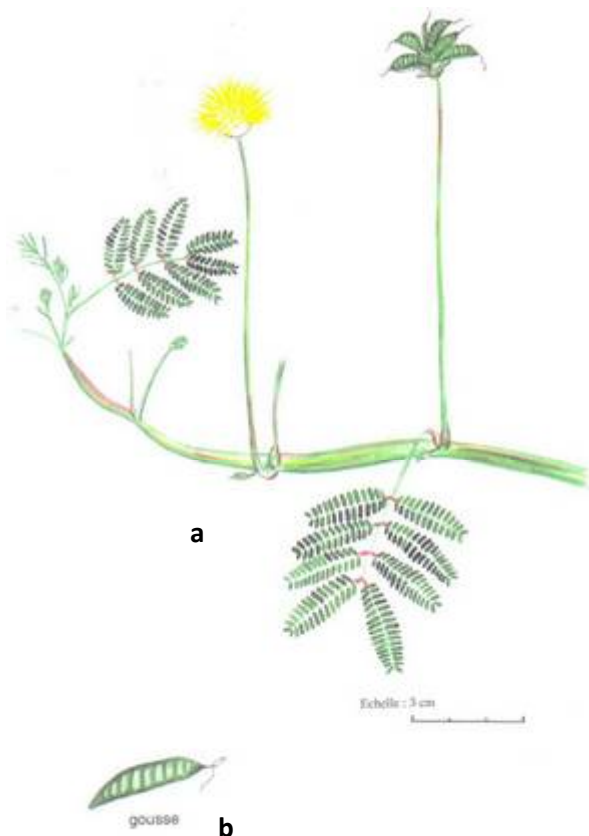
Gêne les cultures de riz à Madagascar. La plante a envahi de nombreuses mares dans le parc national du Niokolo Koba où elle contribue fortement à accélérer la sédimentation et la disparition progressive de ces pièces d'eau essentielles dans l'alimentation en eau de la faune sauvage vivant dans le parc.

Dans le delta, elle se développe dans les marécages et les cours d'eau de faible profondeur. Elle est peu fréquente dans la région.

***Neptunia oleracea* LOUR.**

FABACEAE

Synonymes : *Mimosa natans* ROXB.; *Neptunia natans* (L.F.) DRUCE ; *Neptunia prostrata* (LAM.)BAILL.



Neptunia oleracea LOUR.

a. plante entière avec fleur et fruits, b. gousse

Description

Cette *Fabaceae* flottante se reconnaît avec sa tige spongieuse, rampante à la surface de l'eau, par ses nœuds portant latéralement d'une part des racines adventives nombreuses, par une ou deux feuilles et suivant les époques (novembre à janvier) une fleur longuement pétiolée. Les feuilles composées bipennées sont pourvues à la base d'une stipule membraneuse. Les gousses sont petites, plates et noirâtres à maturité.

Distribution

Largement répandue en Afrique Tropicale et Madagascar. Il existe au Zululand (Natal) et est aussi largement répandue en Asie Tropicale et Amérique (Wild, 1961). Mali, Guinée, Gambie, Sierra-Léone, Côte d'Ivoire, Ghana, Benin, Nigeria, Burkina, Tchad, Niger, Congo, Afrique orientale (Berhaut, 1967).

Ecologie

La plante est très fréquente dans le delta du fleuve et le lac de Guiers ainsi que dans les rizières et les plans d'eau de faible profondeur

***Sesbania leptocarpa* DC.**

FABACEAE

Synonymes: *Sesbania filiformis* GUILL.&PERR. ; *Sesbania mossambicensis* KLOTZSCH. ; *Sesbania aculeata* (WILLD.) PERS.



Description

Plante herbacée annuelle glabre, érigée de 1 à 1,25 m de hauteur. Feuilles paripennées alternes. Rachis long de 8 à 10 cm. Fleurs disposées à deux. Corolle jaune, longue de 10 mm. Fruits : gousses linéaires dressées longues de 10 à 15 cm.

Distribution

Erythrée, Soudan, Mali, Côte d'Ivoire, Ghana, Nigeria, Niger. La plante serait restreinte à la zone des savanes africaines (Raynal Roques, 1980)

Ecologie

Dans la vallée du fleuve, lac de Guiers. Les mares, rizières, bords des cours d'eau, eaux peu profondes, eutrophes. Espèce fourragère et pouvant constituer un excellent engrais vert.

Sesbania leptocarpa DC.

Ammania auriculata WILLD.

LYTHRACEAE

Description

Petite herbe annuelle dressée à feuilles opposées, lancéolées allongées sessiles. Inflorescence simple ou composée. Petites fleurs groupées, calice en cloche. Petite capsule sphérique à graines nombreuses. Herbe dressée, à tiges carrées en section.

Distribution

Originaires d'Afrique du Sud et d'Afrique Orientale. Les espèces africaines occupent surtout la zone des savanes. *Ammania auriculata* est fréquente du Sénégal à l'Afrique Orientale

Ecologie

La plante aime beaucoup de lumière (héliophile), des températures entre 25°C et 28°C et des pH entre 6 et 7. Elle s'installe dans des eaux peu profondes, temporaires, souvent boueuses du delta.



Ammania auriculata WILLD.

***Ludwigia erecta* (L.) H. HARA**

Synonymes: *Jussiaea erecta* L., *Jussiaea altissima* PERR. Ex DC, *Jussiaea linifolia* VAHL., *Oenothera virgata* RUIZ et PAV.

OENOTHERACEAE (=ONAGRACEAE)

Description

Plante érigée, glabre, pouvant atteindre 2 m de haut ; feuilles alternes de 2-13 cm de long, lancéolées à elliptiques ; pétiole 2-15 mm de long ; fleurs solitaires ; fruit, une capsule glabre de 10-19 x 2-2.5 mm brun-pâle

Distribution

Tropiques du Nouveau Monde, à travers toute l'Afrique, Maurice, Soudan, Angola, Botswana, Malawi, Mozambique, Zambie, Zimbabwe, Madagascar, Seychelles. Afrique de l'Ouest (Mali).

Ecologie

Mares, bords des rizières et canaux d'irrigation, milieux humides dans le delta du fleuve Sénégal.



Ludwigia erecta (L.) H. HARA

***Cynodon dactylon* (L.) PERS.**

POACEAE

Description

Herbe rampante, pluriannuelle (vivace), s'enracinant aux nœuds en surface (stolons) ou souterrain (rhizomes).

Feuilles souvent imbriquées et distiques. Les épis sont légèrement aplatis ; inflorescence violacée, digité.

Distribution

Originaire probablement d'Afrique de l'Est où on le trouve du niveau de la mer jusqu'à 2160 m d'altitude. La plante peut être trouvée à travers le monde, dans les régions tempérées et tropicales. Sous les tropiques, la plante se développe dans les zones à pluviométrie comprise entre 670 et 1750 m.

Ecologie

Dans la région du lac de Guiers et dans les périmètres irrigués du delta, la plante est assez commune et peut se développer sur des sols pauvres au bord des cours d'eau. Elle affectionne les endroits humides et forme souvent des peuplements purs. Elle apprécie les climats chauds, les stations sèches et les sols sablonneux ou limoneux secs et bien éclairés. La plante est thermophile avec une tendance xérophytique (Mamarot, 2002). Elle peut résister à de longues sécheresses. Elle est très compétitive et peut être une mauvaise herbe des cultures non irriguées.



Cynodon dactylon (L.) PERS.

a. plante entière, b. épi et détail d'un épillet

***Diplachne fusca* (L.) PAL. BEAUV.**

POACEAE

Synonymes: *Festuca fusca* L.; *Diplachne malabrica* (L.) MERR., *Leptochloa fusca* (L.) KUNTH.



Description

Plante pérenne, cespiteuse aquatique ou semi aquatique, rhizomateuse haute de 60-150 cm; touffue avec des tiges ascendantes dont la hauteur varie entre 60 et 150 cm. Inflorescence en panicule, chaque rameau portant des épillets sessiles disposés en 2 rangs ; épillets longs de 10-15 mm.

Distribution

Paléotropicale et subtropicale, inclut Australie, Asie, Kenya, Tanzanie, Ouganda
Au Sénégal, dans le Bas Sénégal et le lac de Guiers,

Ecologie

La plante se développe sur des bancs de sable, des mares desséchées avec des sols sablonneux à argileux, humides ou mouillés inondés périodiquement par l'eau salée.

Parfois en peuplements étendus. Plante assez tolérante au sel. Il est usuellement le seul macrophyte présent dans les eaux peu profondes, les marais semi permanentes à eaux alcalines (Denny, 1985).

Diplachne fusca (L.) PAL. BEAUV.

Floraison : août-septembre-novembre. Des peuplements importants étaient observés dans la région sud du lac de Guiers dans les années 30 (Trochain, 1940) ainsi qu'au début des années 80 (Thiam, 1984). Ils sont actuellement fortement réduits du fait des hauteurs d'eau élevées pendant toute l'année et de la diminution de la salinité.

***Echinochloa colona* (L.) LINK.**

POACEAE

Synonymes: *Panicum colonum* L., *Echinochloa crus-galli* auct, *Echinochloa verticillata* BERTH.

Description

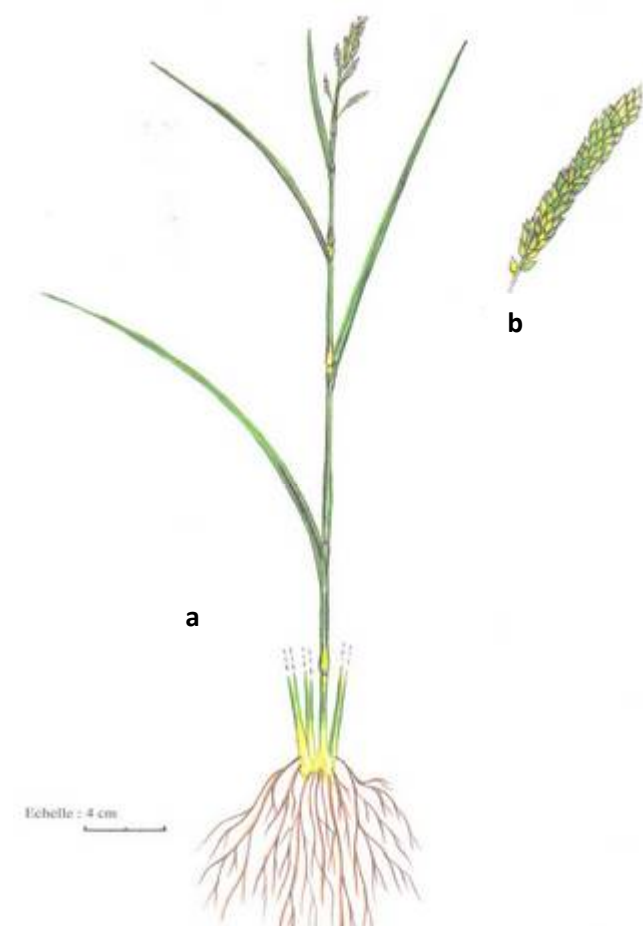
Plante annuelle à tiges ascendantes dressées de 30 à 80 cm de haut, en touffes, à fort tallage. Feuilles alternes sans ligule, à limbe parfois zoné de brun. Inflorescence constituée de racèmes simples ascendants, courts, alternativement disposés sur la tige qui est juteuse. La ligule absente est remplacée par une trace blanchâtre (critère d'identification). Epillets courtement pédicellés sans arête. Talles nombreuses d'abord dressées puis ultérieurement appliquées au sol.

Distribution

Elle est paléotropicale. Plante hygrophile, à tendance silicicole, est présente dans de nombreuses régions et sur divers types de sols, pourvu qu'ils soient suffisamment humides. Signalée dans de nombreuses régions au Sénégal.

Ecologie

Dans le Delta, la plante est répandue dans les milieux humides, hydromorphes et faiblement inondés, dans les rizières et les bas-fonds.



Echinochloa colona (L.) LINK.

a. plante entière, b. racème

***Echinochloa pyramidalis* (LAM.) HITCHC. ET CHASE**

POACEAE

Synonymes : *Panicum spadiciferum* PETER ; *Panicum holubii* STAPF. ; *Echinochloa senegalensis* MEZ; *Echinochloa verticillata* BERHAUT; *Panicum atroviolaceum* A.RICH.



Description

Large herbe pérenne pouvant atteindre 2m de haut. La feuille, glauque, rigide, a plus de 70 cm de long et 1-2 cm de large. La ligule est courte. La tige et les parties inférieures des gaines foliaires sont jaune-vert. Le limbe est plutôt bleu vert. L'inflorescence mesure environ 30 cm, dressée et étalée en pyramide composée de nombreux racèmes. Les épillets sont similaires à ceux de *E. stagnina* mais diffère par l'absence de barbe.

Distribution

Espèce paléotropicale. Répandue à travers l'Afrique tropicale et l'Amérique.

Ecologie

Fréquente dans la région du delta, la plante demande une eau aérée, renouvelée. Elle préfère des terres argileuses inondées des rives et des terres moyennement basses. Au retrait des eaux, la plante développe de nombreux rhizomes et s'enracine profondément.

Echinochloa pyramidalis (LAM.) HITCHC. ET CHASE

***Echinochloa stagnina* (RETZ.) P.BEAUV.**

POACEAE

Synonymes : *E. scabra* (LAM) ROEMER ET SCHULTES; *Panicum scabrum* LAM. subsp. *lelievrei* A. CHEV.; *Echinochloa lelievrei* (A.CHEV.) BERHAUT; *Panicum sacabrum* LAM. subsp. *oryzatorum* A.CHEV.; *Echinochloa oryzetorum* (A.CHEV.) A.CHEV.

Description

Plante pérenne avec des tiges grosses et spongieuses pouvant atteindre 2 m de haut. L'inflorescence est une panicule inclinée avec 5- 15 racèmes, ayant chacun jusqu'à 6 cm de long. Les épillets portent des barbes.

Distribution

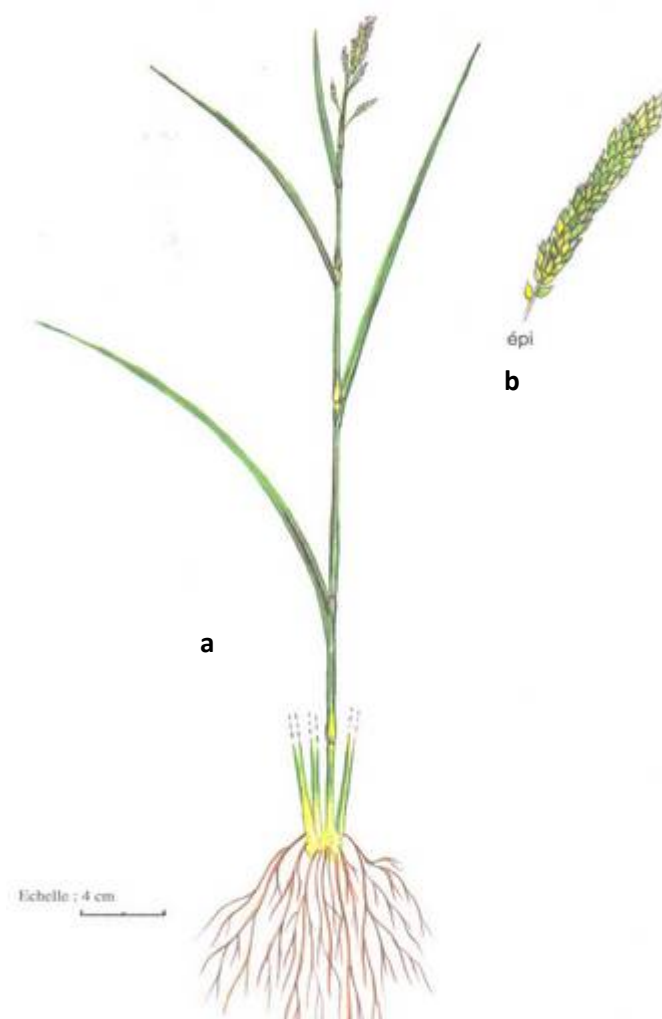
Espèce paléotropicale.

Au Sénégal : Basse Casamance, Haute Casamance, Haute Gambie.

Ecologie

Dans la région du delta du Sénégal, la plante colonise les étangs, mares et rizières à fond argileux, bord des rivières, dans l'eau ou sur la vase récemment exondés. Elle forme parfois des prairies ou des radeaux flottants sur les eaux stagnantes ou faiblement courantes ; espèce faiblement tolérante au sel. Floraison : septembre-novembre-janvier.

Lors de la décrue des eaux, les peuplements d'*E. stagnina* sont recherchés par les bergers des troupeaux nomades car il constitue un excellent fourrage.



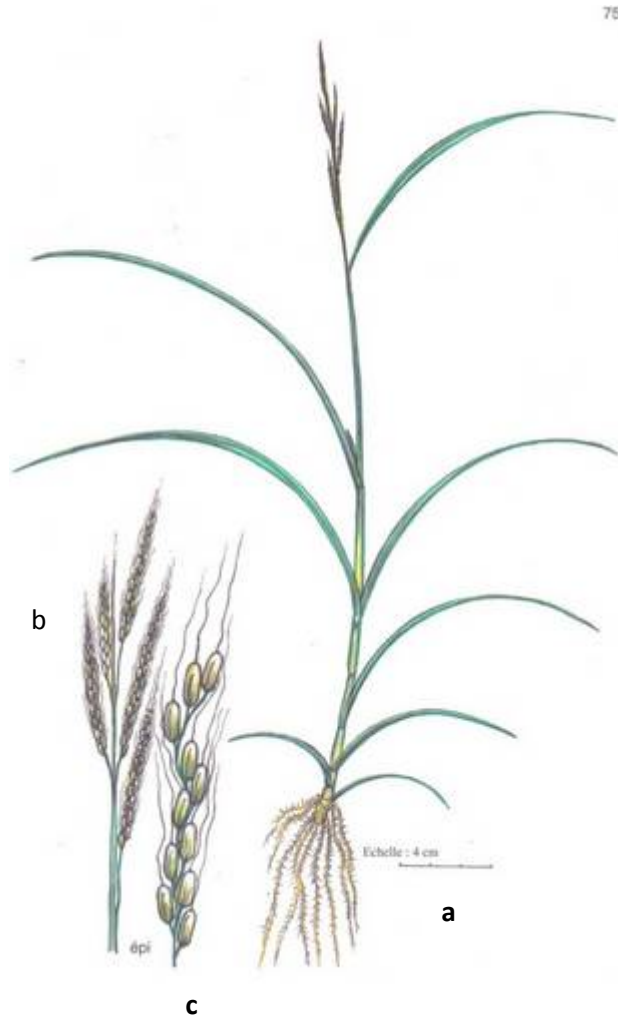
Echinochloa stagnina (RETZ.) P.BEAUV.

a. plante entière, b. un racème

***Oryza longistaminata* A.CHEV. ET ROEHR.**

POACEAE

Synonyme : *Oryza perennis* AUCT.subsp.*barthii* AUCT.



Description

Herbe à tiges dressées ou flottantes pouvant atteindre 2 m de long. Elle se propage par des rhizomes qui se développent horizontalement. Les feuilles ont près de 80 cm de long et 1.3 cm de large. La floraison survient seulement quand la croît en eau profonde. L'inflorescence fait près de 30 cm de long, les épillets ressemblent à ceux du riz cultivé excepté qu'ils ont une barbe de 3 cm long.

Distribution

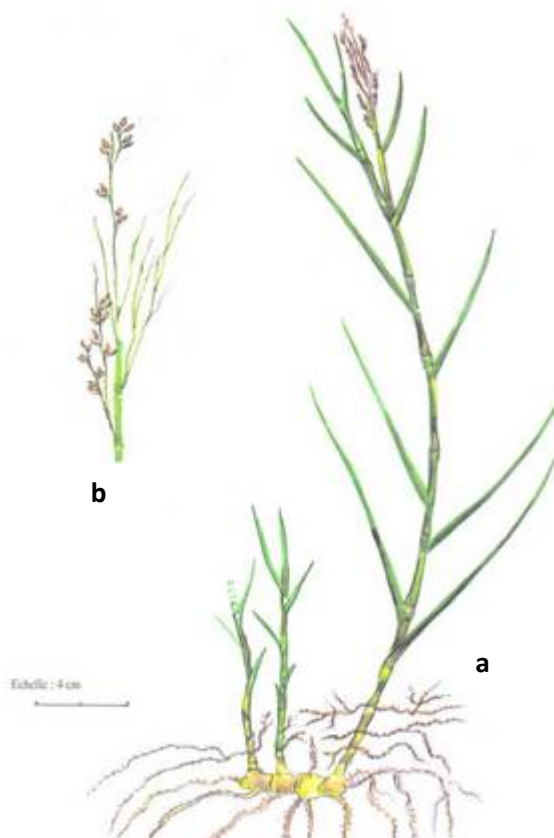
Afrique tropicale et Afrique du Sud, Madagascar ; Bas Sénégal ; régions du fleuve; Sine-Saloum ; Basse Casamance ; Afrique tropicale et du Sud ; Madagascar (Vanden Berghen, 1991). *O. longistaminata* est vivace alors que *O. barthii* est annuelle et spécifiquement africain (Duong-Huu-Thoi, 1950).

Ecologie

Dans le Delta, ce macrophyte s'installe dans les mares, rizières, eaux stagnantes, douces peu profondes (20-60 cm), parfois en peuplements étendus mais toujours lâches, souvent adventice dans les rizières inondées. Floraison : octobre-novembre

Oryza longistaminata A.CHEV. ET ROEHR.

a. plante entière, b. un épi, c. un racème



Panicum repens L.

a. plante entière, b. épi

Description

Herbe pérenne, à rhizomes profonds quelquefois stolonifères, peut atteindre 1 m de haut. Tiges à partie inférieure prostrée et enracinée aux nœuds, à partie supérieure ascendante. Feuilles vertes, sur 2 rangées, à limbe linéaire. Inflorescence en forme de panicule très peu ramifiée ; épillets 2,5-3 mm long.

Distribution

Espèce pantropicale. Rencontrée aussi en Amérique du Sud, en Indochine. Elle est probablement originaire de l'Amérique tropicale et de l'Afrique tropicale, introduite dans de nombreux pays comme plante fourragère et devenue pantropicale. Rencontrée au Sénégal dans la région du fleuve, les « Niayes » et dans de nombreux marécages, mares à plan d'eau variable, rizières inondées ou inondables.

Ecologie

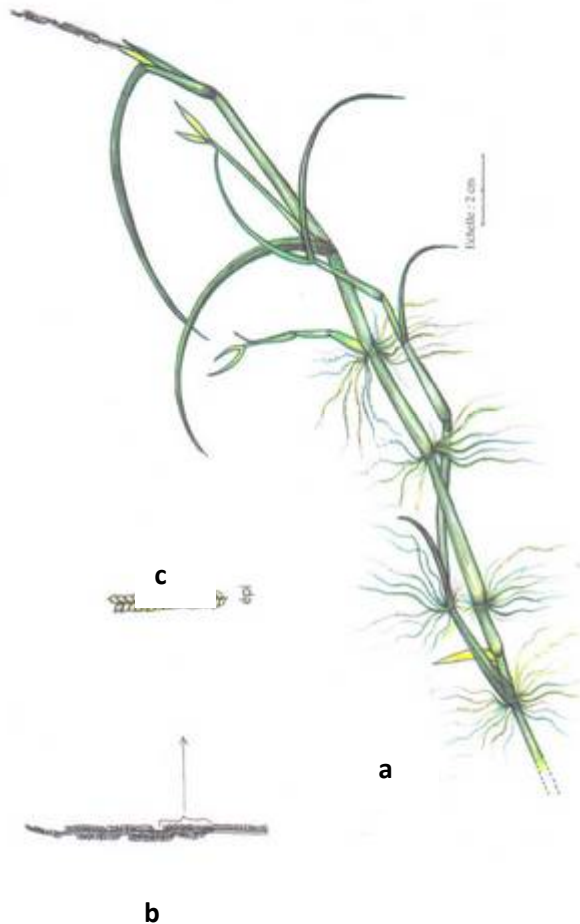
La plante ne subit en général qu'une faible submersion au maximum de la crue et préfère des terres argileuses submergées. Supporte une légère salinité (milieu saumâtre) (Ozenda, 2004).

La plante fournit un excellent fourrage pour le bétail (Adam, 1962a). L'espèce est facilement multipliée soit par les graines soit par des fragments de stolons ou de tiges étalés sur le sol et recouvert d'un peu de terre.

***Paspalidium geminatum* (FORSK.) STAPF.**

POACEAE

Synonymes: *Panicum geminatum* FORSK.; *Panicum paspaloides* PERS.



Description

Plante vivace. Tiges dressées, souvent spongieuses et flottantes dans l'eau, à rhizomes et stolons rampants. L'inflorescence est une panicule d'épis courts disposés alternativement sur 2 rangs ; chaque épi sessile terminé par un petit filament. Epillets longs de 2 à 3 mm, ovoïdes.

Distribution

Pantropicale (Inde, Madagascar, Amérique Tropicale,...)
Au Sénégal, région des «Niayes», Cap Vert, Sine Saloum, Basse Casamance.

Ecologie

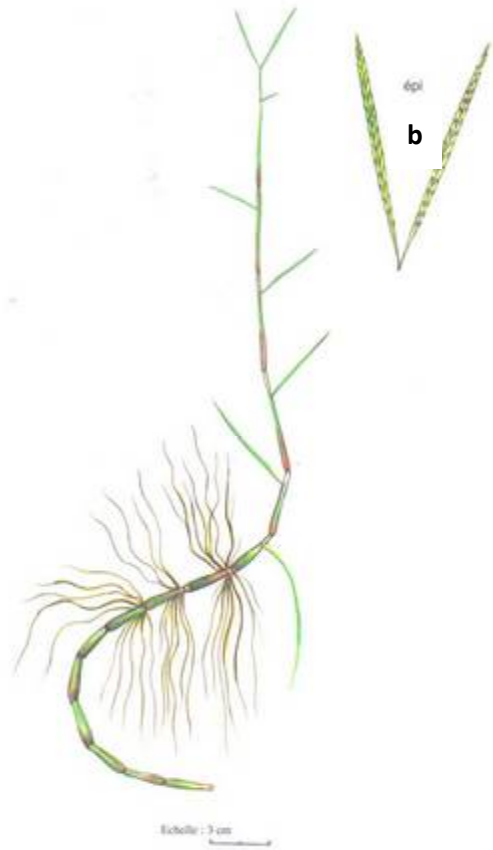
Plante des stations périodiquement inondées du Delta et le lac de Guiers. Espèce pionnière des sables et sables argileux, habituellement humifères, inondés par une nappe d'eau douce ou faiblement saumâtre. La plante participe parfois à la formation de prairies flottantes. Floraison : septembre-novembre. Elle constitue un bon fourrage.

Paspalidium geminatum (FORSK.) STAPF.

a. plante entière, b. inflorescence ; c. racème

***Paspalum vaginatum* SW.**

POACEAE



Paspalum vaginatum SW.
a. plante entière, b. inflorescence

Description

Plante vivace, recouvrant, rhizomateuse, émettant des stolons parfois longs de plusieurs mètres. Tiges rampantes.

Distribution

Espèce pantropicale et subtropicale.
Au Sénégal : Sine-Saloum, régions des Niayes.

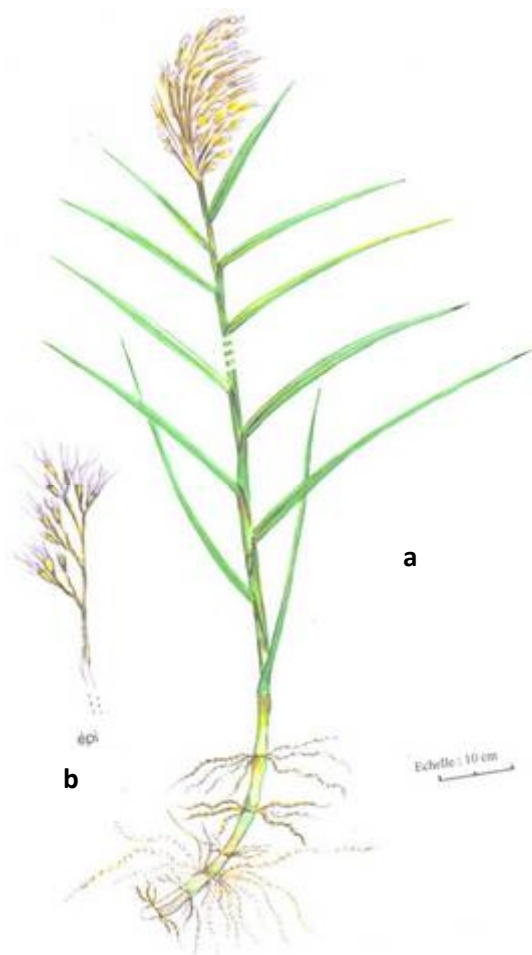
Ecologie

Dans le delta et le lac de Guiers, la plante s'installe dans les prés salés, généralement en vastes peuplements fermés, inondés à marée haute, le cas échéant, par de l'eau saumâtre ou salée. Floraison: mai-août-novembre.

***Phragmites australis* (CAV.) TRIN ex. STEUD.**

POACEAE

Synonymes : *Phragmites communis* TRIN



Phragmites australis (CAV.) TRIN ex. STEUD. a. plante entière, b. inflorescence

Description

Plante vivace à rhizome rampant, très ramifié, émettant des tiges nombreuses, élevées (de 60 cm à 2m), dures et luisantes, feuilles glauques, à ligule courte et ciliée ; inflorescence grande, très étalée, brun-jaunâtre ; épillets très nombreux (1-2 cm) à glumes très inégales

Distribution

Il existerait dans le Monde seulement 3 ou 4 espèces, et toutes sont aquatiques avec une adaptation au cours d'eau permanents et aux sols humides (Denny, 1985) Cosmopolite, bien présente dans les régions subtropicales et tempérées-chaudes de l'Ancien monde.

Au Sénégal : Niayes, Cap-Vert, Sine-Saloum, Basse Casamance.

Ecologie

Dans le Delta, la plante s'installe dans les eaux douces ou faiblement saumâtres, ou alternativement douces et saumâtres, stagnantes ou faiblement courantes, profondes jusqu'à 1m. La plante croît en peuplements ouverts ou en colonies denses et pures (roselières). Floraison : octobre-novembre-janvier. *P.australis* prend souvent un port particulier lorsqu'il croît sur des sables salés, inondés seulement durant une courte partie de l'année.

La plante émet dans ces stations des stolons longs de plusieurs mètres, courant à la surface du sol, et forme des tiges courtes. Cette forme écologique a été signalée au Sénégal sous le nom de *P. communis* L; var. *pungens* A. Chev. (Vanden Bergen, 1991). La plante serait consommée parfois par des bovins selon Adam bien qu'elle soit considérée comme dangereuse ou même toxique (Kerharo et Adam, 1974).

***Vetiveria nigriflora* (BENTH.) STAPF.**

POACEAE

Synonymes: *Chrysopogon nigriflorus* (BENTH.) VELDKAMP. , *Andropogon nigriflorus* BENTH., *Mandelstamia insignis* STEUD., *Andropogon squarrosus* var *nigriflora* (BENTH) HACK., *Vetiveria zizanioides* var. *nigriflora* (BENTH.) A.CAMUS

Description

Herbe robuste, pérenne pouvant atteindre 2,5 m de haut.

Distribution

Sri Lanka, Malaisie, Philippines.

Afrique Tropicale : Ghana, Guinée Bissau, Burkina faso, Mali, Mauritanie, Niger, Nigeria, Sierra Leone

Au Sénégal : Niokolo-Koba, Tambacouda, Casamance

Ecologie

Plante rustique ayant une forte amplitude écologique. Dans la vallée du fleuve Sénégal et le lac de Guiers, elle s'installe sur un sol argileux vaseux assez longuement submergé. Elle est rencontrée dans les parties basses, dans les plaines d'inondation. Elle aime les sols lourds et riches. Ce macrophyte forme de vastes peuplements dans la plaine dans le lac de Guiers en face du village de Nder. La faible déclivité et les sols limoneux sont des facteurs importants à l'installation des peuplements de Vetiver. La diminution des battements du niveau de l'eau au cours de l'année depuis les aménagements est un facteur défavorable au maintien des vastes peuplements dans le Delta.

***Vossia cuspidata* (ROXB.) GRIFF.**

POACEAE

Synonyme: *Ischaemum cuspidatum* ROXB.

Description

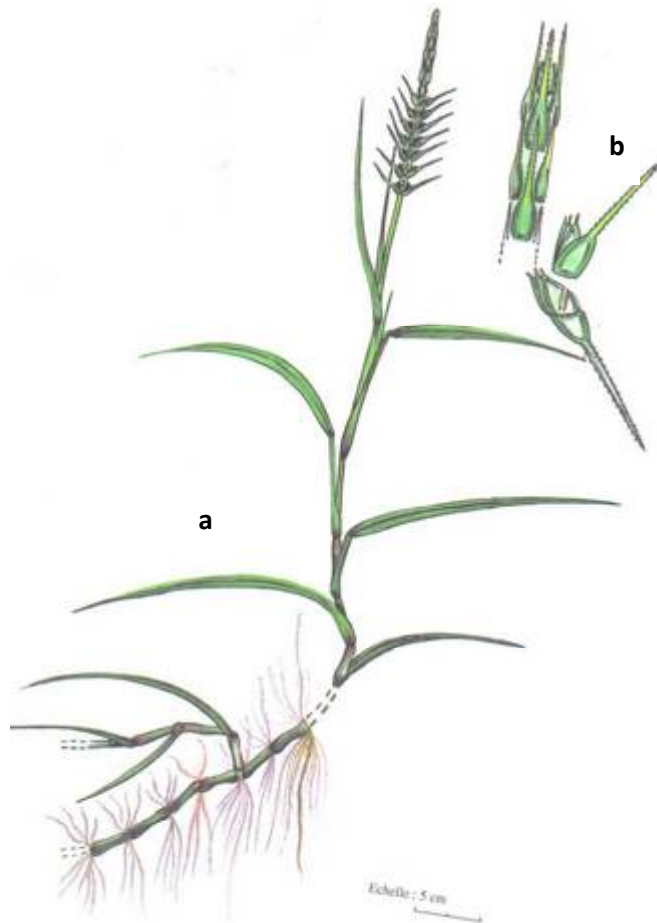
Espèce pérenne. Tige robuste spongieuse, prostrée de 100 à 200 cm de long s'enracinant aux nœuds ; feuilles longues de 30-100 cm et 6-18 mm de large. La nervure médiane de la feuille a une couleur blanche, scabre, saillante ; ligule une frange poilue ; inflorescence composée de racèmes. Epillets avec des barbes rigides aplaties

Distribution

Afrique tropicale ; du Sud et Centre du Soudan à travers l'Afrique Tropicale Jusqu' au Zambèze Burkina Faso, Mali, Ghana, Nigeria Sierra Leone; aussi en Inde où il a été à l'origine décrit par ROXBURGH en Indochine (Wild, 1961).

Ecologie

Dans le Bas Sénégal et le lac de Guiers dans les eaux douces stagnantes ou faiblement courantes, en peuplements parfois denses dans divers plans de l'eau. La plante peut former des radeaux flottants et se propager par des fragments de tige emportés par les eaux courantes (Vanden Berghen, 1991).



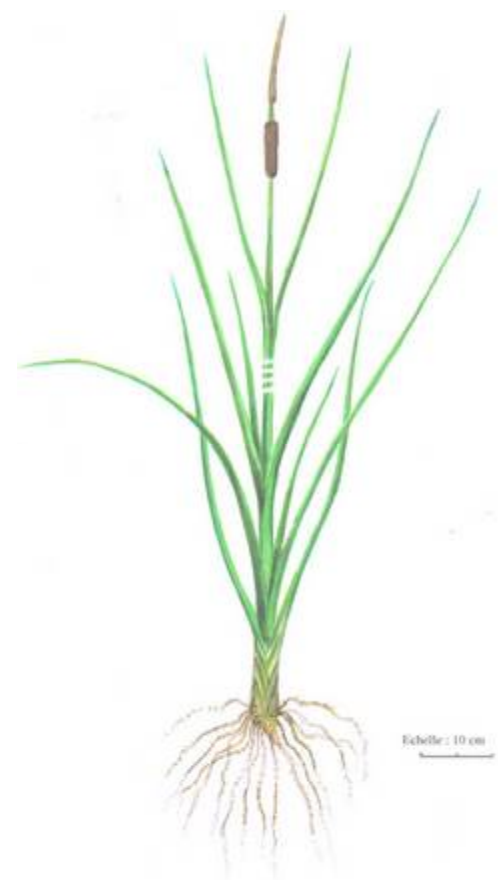
Vossia cuspidata (ROXB.) GRIFF.:

a. plante entière ; b. épillets

***Typha domingensis* PERS.**

TYPHACEAE

Synonymes : *T. australis* SCHUMACHER; *T. angustifolia* L. var. *australis* (SCHUMACHER) ROHRB.; *T. angustata* BORY & CHAUD. incl. var. *aethiopica* ROHRB. et var. *abyssinica* GRAEBN; *T. aequalis* SCHNIZL.



Typha domingensis PERS.

Description

T. domingensis est une plante vivace, rhizomateuse pouvant atteindre 4 m de haut dans le delta et le lac de Guiers. La tige érigée est très courte et les feuilles très longues (dépassant souvent 2 m) sont attachées à la base proche de la surface du sol. L'inflorescence est cylindrique avec un diamètre d'environ 1,5 et 50 cm de long. Il consiste en une partie femelle en dessous et une partie mâle au-dessus qui disparaît lors de la fructification.

Distribution

Espèce pantropicale et subtropicale. La sous espèce est distribuée depuis la région méditerranéenne et la région saharo-sindienne jusqu'à la région du Cap, à travers toute l'Afrique tropicale. Elle est connue également en Asie mineure jusqu'en Mongolie. Ne paraît pas pénétrer dans la région guinéenne (Lebrun, 1947).

Connue au Sénégal depuis les «Niayes» près de Dakar, Kaolack, la basse vallée du Ferlo. L'espèce est absente des mares et marécages du Parc du Niokolo-Koba (Schneider et Sambou, 1982).

Ecologie

T. domingensis préfère des eaux permanentes, profondes d'environ 1 m. Elle est modérément tolérante au sel. Elle se développe dans divers plans d'eau, mares, canaux d'irrigation et de drainage d'eau douce ou saumâtre, stagnante ou faiblement courante. Elle s'installe également sur des sols détrempés, souvent en peuplements purs. *Typha domingensis* est une espèce pionnière qui se multiplie vigoureusement dans le lac de Guiers depuis les années 50 et dans l'ensemble du delta après la mise en eau des barrages de Diama et de Manantali sur le fleuve Sénégal.

2.3.4.2 Les macrophytes fixés à feuilles flottantes

Les macrophytes fixés à feuilles flottantes sont enracinés ou fixés au substratum et produisent des feuilles coriaces qui flottent à la surface de l'eau. Ils portent également souvent quelques feuilles submergées. Les inflorescences et les fleurs émergent usuellement de l'eau. Ces plantes s'établissent sur les fonds submergés entre 0,25 à 3,00 m de profondeur. Il s'agit de plantes particulièrement adaptées à la flottaison par des mécanismes anatomiques et morphologiques.

Sculthrope (1967) distingue dans ce groupe, deux types principaux basés sur leur mode de reproduction végétative. D'une part, le type rhizomateux ou bulbeux avec des feuilles flottantes terminant de longs pétioles flexibles, représentés dans le delta et le lac de Guiers par les Nénuphars (*Nymphaea lotus*, *N. micrantha*) et deux Menyanthaceae (*Nymphoides ezannoi* et *N. indica*). D'autre part, il y a également le type stolonifère avec des tiges rampantes qui produisent des feuilles flottantes. Ce type est représenté notamment par *Ludwigia* (= *Jussiaea*) et diverses espèces de *Polygonum*,

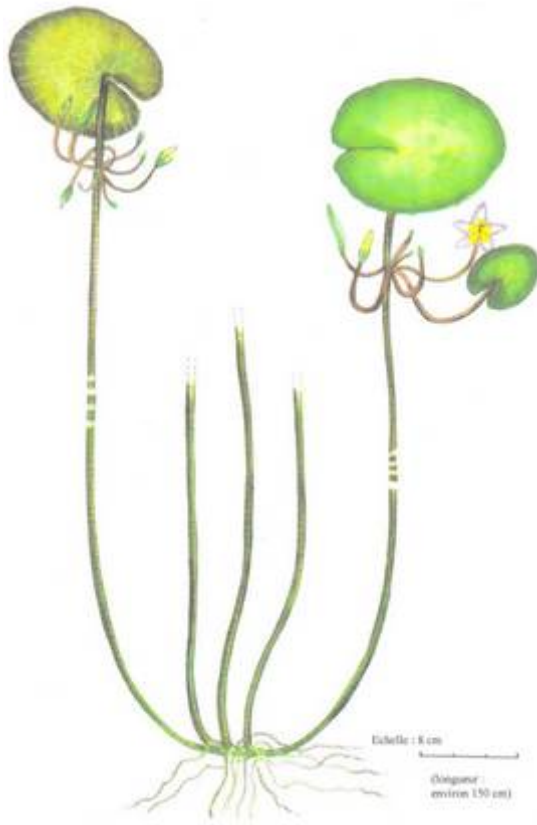
Nous passons en revue successivement :

- | | |
|---------------------------------|---------------|
| 1. <i>Nymphoides indica</i> | Menyanthaceae |
| 2. <i>Nymphaea lotus</i> | Nymphaeaceae |
| 3. <i>Nymphaea micrantha</i> | Nymphaeaceae |
| 4. <i>Ludwigia adscendens</i> | Oenotheraceae |
| 5. <i>Ludwigia leptocarpa</i> | Oenotheraceae |
| 6. <i>Polygonum senegalense</i> | Polygonaceae |

***Nymphoides indica* (L.) KUNTZE**

MENYANTHACEAE

Synonymes: *Limanthemum indicum* (L.) THAIT., *Nymphoides humboldtiana* (KUNTH) KUNTZE, *Menyanthes indica* L.



Nymphoides indica (L.) KUNTZE

Description

Plante aquatique pérenne, enracinée à feuilles flottantes vert clair ; limbe arrondi à marge entière ; base profondément cordée à lobe se chevauchant. Fleur érigée à 5 pétales blancs frangés, velus à l'intérieur.

Distribution

Origine géographique : Inde, Amérique tropicale ; Tanzanie, Soudan, Cameroun.

Au Sénégal, la plante se rencontre dans les mares permanentes, du côté de Saint Louis, au Niokolo-Koba et en Casamance au bord des rizières (Berhaut, 1979).

Ecologie

D'importants peuplements de la plante se trouvent dans la région nord du lac de Guiers. *N. indica* préfère des eaux profondes (jusqu'à 2 m) avec une température relativement élevée (26 à 28 °C), un fort éclairement et une eau riche en éléments nutritifs. La présence massive de la plante, dans les zones de déversement dans le lac de Guiers des eaux de drainage des casiers sucriers de la CSS s'expliquerait par la richesse de ces eaux en nutriments. La plante peut continuer à vivre pendant quelques temps dans la boue après le retrait de l'eau. Se développe dans des endroits qui sont à l'abri des courants et des vagues (Duong-Huu-Thoi, 1950).

Nymphaea lotus L.

NYMPHAEACEAE

Description

Plante facilement reconnaissable par ses larges feuilles quasi circulaires flottant à la surface de l'eau et ses grandes fleurs blanches. Feuille peltée à sinus très aigu. La tige est courte et fermement fixée au substrat par des racines contenant de larges espaces d'air. De la tige partent de longs pétioles mous, flexibles avec des lacunes aérifères. Les fleurs ont des étamines très nombreuses et sont ouvertes aussi la nuit. Fruits globuleux contenant une grande quantité de petites graines

Distribution

Mali, Guinée, Gambie, Sierra Leone, Libéria, Côte d'Ivoire, Ghana, Togo, Benin, Nigeria, Niger, Cameroun, Sao Tomé, Gabon, Zaïre, Angola, Egypte, Ethiopie, Soudan, Afrique orientale, Mozambique, Madagascar, et Inde.

Ecologie

C'est le nénuphar le plus répandu dans la zone. Il se développe dans le lac de Guiers, le fleuve Sénégal et ses dépendances là où le courant n'est pas trop rapide. La plante peut supporter une grande profondeur d'eau (près de 2m). Graines souvent conservées sur place. Elle est indicatrice des eaux profondes non soumises à l'action des courants (Duong-Huu-Thoi, 1950). Plante des milieux eutrophes.

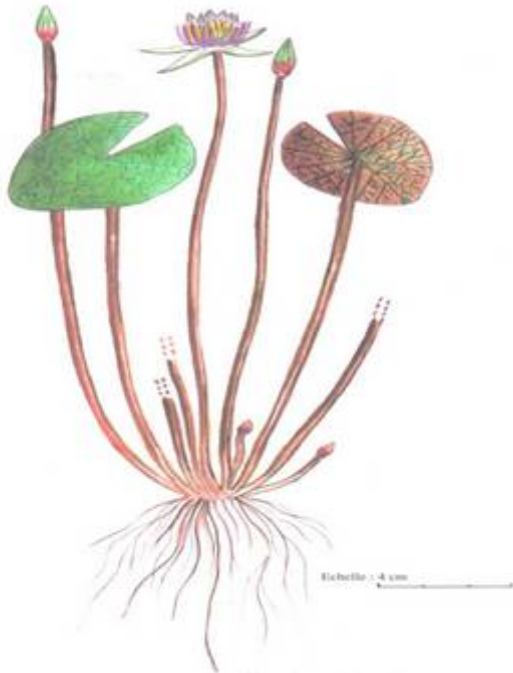


Nymphaea lotus L.

***Nymphaea micrantha* GUILL. ET PERR.**

NYMPHAEACEAE

Synonymes: *Nymphaea rufescens* GUILL et PERR., *Nymphaea guineensis* SCH. et TH., *Nymphaea vivipara* LEHM., *Nymphaea stellata* var. *bulbillifera* PLANCH, *Nymphaea caerulea* GUILL. et PERR., non SAV., *Nymphaea caerulea* var. *albida* GUILL. ET PERR.



Nymphaea micrantha GUILL. ET PERR.

Description

Magnifique plante aux feuilles planes étalées sur l'eau et aux fleurs bleues, blanches ou rose vif. Pétiole plus ou moins long selon la profondeur de l'eau ; limbe légèrement pelté ; au sommet du pétiole des bulbilles prennent racine et développent de nouveaux plants. Contrairement à *N. lotus*, les fleurs de *N. micrantha* sont ouvertes uniquement à la lumière du jour. Fruit globuleux avec de très nombreuses petites graines rougeâtres ou noirâtres.

Distribution

L'espèce est endémique en Afrique de l'Ouest (Portères, 1951). Gambie, Mali, Côte d'Ivoire, Cameroun, Guinée, Niger, Tchad, (Berhaut, 1979). La plante est répandue dans les mares à travers tout le territoire sénégalais. Assez fréquente dans la végétation rivulaire du lac de Guiers et le fleuve Sénégal.

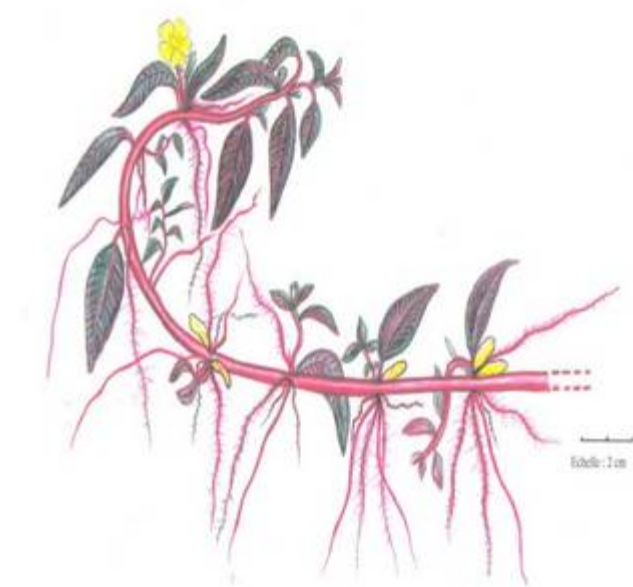
Ecologie

Elle ne supporte pas une grande submersion (Duong-Huu-Thoi, 1950). Elle est indicatrice des eaux peu profondes et paraît moins à la salure. Elle élimine *N. lotus* partout où l'eau est peu profonde et à fond de vase organique. Elle supporte plus facilement l'immersion prolongée. En Casamance, l'apparition de la plante dans les rizières indique aux agriculteurs que le dessalement est suffisamment avancé pour que le riz puisse être repiqué (Vanden Berghen, 1982b).

Ludwigia adscendens (L.) HARA

OENOTHERACEAE(= ONAGRACEAE)

Synonyme: *Jussiaea repens* L.



Ludwigia adscendens (L.) HARA

Description

Herbe vivace de 10 à 30 cm, strictement aquatique, à tiges prostrées et flottant à la surface des eaux grâce à des racines/flotteurs. La plante peut s'enraciner dans la vase au niveau des nœuds ; feuilles opposées, ovales, pétiolées. Fruit cylindrique, long de quelques cm.

Distribution

Pantropicale et subtropicale ; Moyen Orient ; Amérique centrale et du sud ; Asie tropicale et subtropicale ; régions méditerranéennes ; Afrique tropicale jusqu'au Transvaal (Lebrun 1947)..

Ecologie

Dans le delta et le lac de Guiers, ce macrophyte souvent abondant, s'installe au bord des eaux ; les mares à eaux superficielles, dans la vase. La plante se développe dans des conditions similaires à celles d'*Ipomoea aquatica*.

***Ludwigia leptocarpa* (NUTTALL.) H. HARA**

OENOTHERACEAE(= ONAGRACEAE)

Synonyme : *Jussiaea leptocarpa* NUTTALL.



Ludwigia leptocarpa (NUTTALL.) H. HARA

Description

Plante aquatique pérenne, robuste, érigée, ramifiée, ligneuse à la base ; recouverte de poils longs pouvant atteindre 2m de hauteur ; feuilles alternes simples ; limbe pubescent, lancéolé, à linéaire, atténué à la base ; fleurs solitaires à 5 pétales axillaires ; fruit, capsule portant 5 sépales.

Distribution

Caraïbes, Amérique du Nord, Afrique de l'Ouest, Guinée Bissau, Nigeria

Au Sénégal : Niokolo-Koba, Casamance.

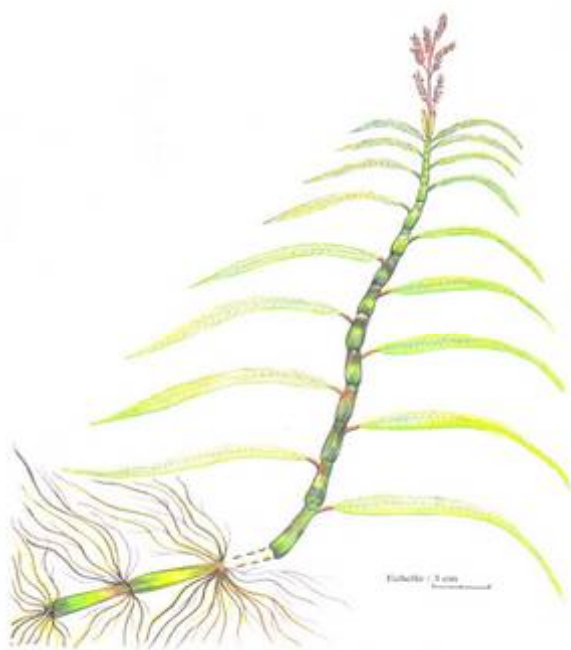
Ecologie

Dans le Delta et le lac de Guiers, ce macrophyte se développe dans les milieux généralement eutrophes ; eaux un peu saumâtres ou oligotrophes.

***Polygonum senegalense* MEISN.**

POLYGONACEAE

Synonymes: *Persicaria senegalensis* (MEISN.) SOJAK, *Polygonum senegalense* var. *usambarense* DAMMER, *Polygonum sambesicum* SCHUSTER,



Description

Plante flottante ou dressée. Dans le premier cas, les entre-nœuds de la tige stolonifère sont gros et creux. Deux formes de la plante sont communes dans le Delta et le lac de Guiers. Pour l'une les feuilles sont vert foncé et peu velues pour la seconde, les feuilles paraissent pales, tomenteuses. Inflorescence axillaire ou axillaire et terminale.

Distribution

Répandue dans toute l'Afrique tropicale et l'Egypte, mais ne sort pas du continent (Raynal-Roques, 1980) : Kenya, Tanzanie, Ouganda, Egypte, Madagascar, Afrique du Sud. Nous l'avons récolté à Niono et à Mopti au Mali.

Polygonum senegalense MEISN.

Ecologie

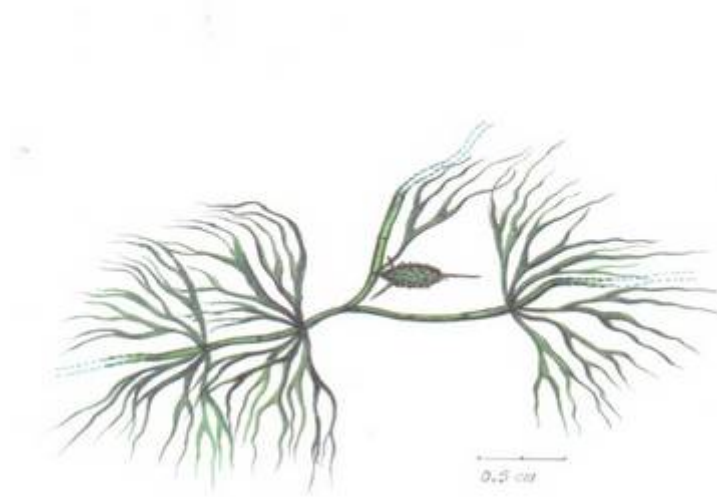
La plante est fréquente le long des rives de la Taoué, le lac de Guiers et le fleuve Sénégal dans les eaux permanentes, les milieux eutrophes, mares, fossés, rizières. Il s'agit d'une plante de zones peu profondes. Elle peut former ou participer aux radeaux flottants ancrés près des rives et qui s'avancent parfois dans des eaux profondes.

2.3.4.3. Les macrophytes submergés

Ces macrophytes ont leurs parties végétatives situées tout le temps en dessous de la surface de l'eau. Ils peuvent coloniser diverses profondeurs jusqu'à une limite qui dépend le plus souvent des conditions de luminosité. Leurs inflorescences et leurs fleurs peuvent émerger. Certains sont enracinés ou fixés au substratum pendant une bonne partie de leur cycle vital d'autres flottent entre deux eaux. Ils comprennent plusieurs angiospermes :

- | | |
|---|------------------|
| 1. <i>Ceratophyllum demersum</i> | Ceratophyllaceae |
| 2. <i>Utricularia stellaris</i> | Lentibulariaceae |
| 3. <i>Najas marina</i> subsp. <i>armata</i> | Najadaceae |
| 4. <i>Najas pectinata</i> | Najadaceae |
| 5. <i>Potamogeton octandrus</i> | Potamogetonaceae |
| 6. <i>Potamogeton schweinfurthii</i> | Potamogetonaceae |

***Ceratophyllum demersum* L.**



Ceratophyllum demersum L.

CERATOPHYLLACEAE

Description

Plante monoïque entièrement submergée d'un vert sombre, sans racines ; tiges ramifiées ; les segments foliaires sont fortement dentés ; fleurs unisexuées, sans sépales ni pétales (rarement observées) ; étamines nombreuses ; ovaire solitaire, presque sessile ; le fruit est une petite capsule, munie de 2 épines basilaires.

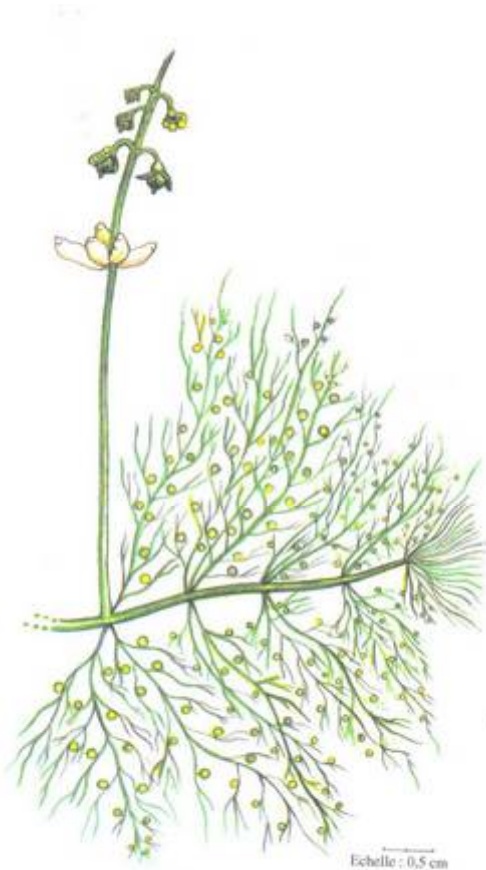
La détermination est difficile (polymorphisme) et se base sur les caractères du fruit dont la valeur taxonomique est insuffisamment connue.

Distribution

Plante cosmopolite (excepté des régions arctique et antarctique). Mali, Mauritanie, Sierra Leone, Togo, Benin, Nigeria, Niger, Afrique Centrale, Gabon, Angola, Afrique Australe, Egypte, Afrique Orientale

Ecologie

La plante préfère les eaux calmes. Elle est obligatoirement submergée et ne supporte pas de périodes d'émergence. Les plantes sont tout d'abord enracinées, puis elles deviennent libres (système racinaire très réduit) ; elles s'amoncellent dans le fond, puis par accumulation de gaz dans leurs tissus, montent à la surface pour flotter.



Utricularia stellaris L.

Description

Plante submergée, munie de flotteurs groupés en verticilles stellaires. Les stolons portent des feuilles serrées munies ayant à leur base une auricule profondément divisée. Les feuilles portent dans leur masse des utricules qui deviennent noires en séchant. Le pédoncule floral peut atteindre 6 cm. Les pétales sont inégaux. La corolle est jaune-clair

Distribution

Espèce paléotropicale. Mali, Mauritanie, Gambie, Sierra-Léone, Côte d'Ivoire, Ghana, Togo, Bénin, Nigeria, Niger, Cameroun, Tchad, République centrafricaine, Congo, Angola, Egypte, Afrique Orientale, Afrique du sud, Mozambique, Madagascar, Asie, Australie (Berhaut, 1967).

Ecologie

Au Sénégal, elle très commune dans les mares et les marécages. Dans notre zone d'étude on la rencontre à différents niveaux d'eau, au bord du fleuve, du lac et dans les canaux d'irrigation et de drainage. Elle affectionne les eaux riches en nutriments. La plante peut se rencontrer dans les eaux profondes comme sur la terre vaseuse exondée (Duong-Huu-Thoi, 1950).

NAJADACEAE

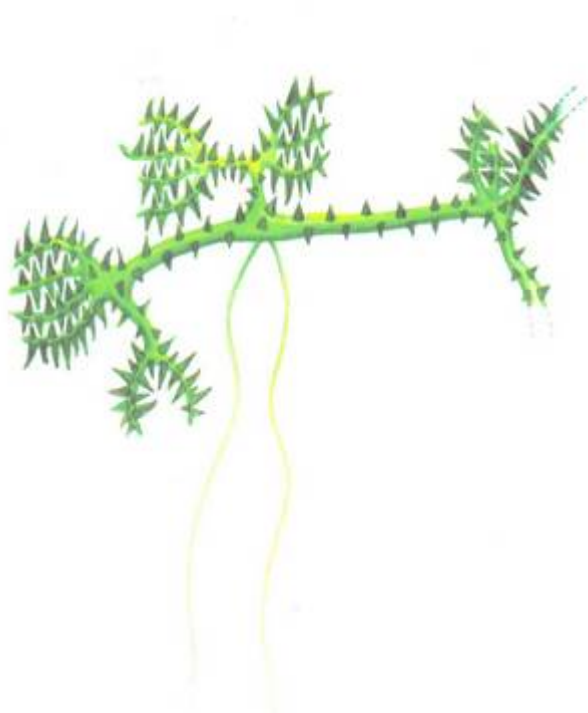
Famille unigénérique connue depuis l'Oligocène (Triest et Symoens, 1983). Les *Najas* sont des herbes annuelles, aquatiques, enracinées, submergées, monoïques ou dioïques ; tiges grêles, ramifiées, lisses ou dentées, radicales aux nœuds. Les feuilles sont sub-opposées ou sub-alternées, sessiles, simples à base engainante, accompagnées de 2 très petites écailles intravaginales ; limbe linéaire, à bords dentés ou sinués.

Fleurs solitaires ou en glomérules à l'aisselle des ramifications de la tige, sessiles ou subsessiles, unisexuées, petites. Les fruits sont des akènes (Triest et Symoens, 1983).

Deux espèces ont été observées dans le Delta du fleuve Sénégal et le lac de Guiers : *Najas marina* et *Najas pectinata*.

Najas marina L. subsp. *armata* (LINDB.F.)

Synonymes : *Najas marina* L. var. *muricata* (DEL.), *N. marina* var. *delilei* (ROUY) MAIRE, *N. marina* AUCT.



Najas marina L. subsp. *armata* (LINDB.F.)

Description

Herbe vivace, rhizomateuse à chaumes généralement prostrés et radicans émettant de nombreux rejets dressés courts et formant des gazonnements étendus. Plante dioïque, tiges à entre-nœuds le plus souvent aiguillonnés. Fleurs solitaires nues. Fruits ovoïdes. Herbe submergée, rampant ou s'enracinant dans la vase, atteignant 1m de haut, vert brunâtre

Distribution

Cosmopolite, largement distribuée dans les régions tempérées et tropicales (Lebrun, 1947). En Afrique du Nord, Ouganda, Congo (Zaïre), Sud du Cap et Natal, Sicile, Centre East, Asie tropicale et Australie (Wild, 1961) ; Afrique de l'Ouest.

Au Sénégal, Basse vallée du Ferlo, lac de Guiers et fleuve Sénégal, surtout dans les canaux d'irrigation.

Ecologie

Préfère les eaux stagnantes ou lentes, fortement minéralisées, voire saumâtres.

***Najas pectinata* (PARL.) MAGNUS.**

NAJADACEAE

Synonymes : *Najas horrida* A.BR. ; *Najas marina* L. subsp. *armata* AUCT non (LINDB.F.)



Najas pectinata (PARL.) MAGNUS.

Description

Herbe aquatique, submergée, vivace, enracinée, de 30 à 100 cm de haut, brunâtre. Plante monoïque parfois dioïque ; tiges lisses. Feuilles sont fermes, falciformes, portant sur chaque bord, 4-10 dents au moins aussi longues que la largeur du limbe.

Distribution

Zaïre, Burundi, Algérie, Egypte, Mali, Guinée, Sierra Leone, Ghana, Nigeria, Cameroun, Tchad, Soudan, Ouganda, Kenya, Tanzanie, Zambie, Namibie, Botswana, Mozambique, Afrique du Sud, Madagascar (Triest et Symoens, 1983).

Ecologie

Lac de Guiers, mares, marais, prairies aquatiques, rives du fleuve Sénégal et ses affluents surtout sur

***Potamogeton octandrus* POIR.**

POTAMOGETONACEAE

Synonymes : *Hydrogeton heterophyllus* LOUR., *Potamogeton javanicus* HASSK., *Potamogeton huillensis* WELW.ex SCHINZ, *Potamogeton Preussii* A. BENN.



Potamogeton octandrus POIR.

Description

Herbe vivace submergée, sempervirente en conditions favorables. Rarement annuelle. Aquatique, rhizome rampant. Dimorphisme foliaire (feuilles inférieures submergées, alternes, étroitement lancéolées à linéaires plus nombreuses, feuilles supérieures flottantes coriaces) (hétérophylle). Inflorescence à pédoncule grêle. Fruits verts, bec styloïde récurvé (Lisowski *et al.*, 1978).

Distribution

Espèce essentiellement paléotropicale non seulement en Afrique et à Madagascar mais également en Asie Tropicale jusqu'au Japon et en Australie.

En Afrique : Mali, Liberia, Sierra Léone, Côte d'Ivoire, Ghana, Nigeria, Cameroun, Tchad, Centrafrique, Egypte, Soudan, Ouganda, Kenya, Tanzanie, Angola, Zambie, Malawi, Zimbabwe,

Au Sénégal : Niokolo-Koba où la plante semble avoir été récoltée pour la première fois (Adam, 1962b).

Ecologie

L'espèce est abondante dans le delta du fleuve Sénégal et le lac de Guiers dans des eaux faiblement courantes. Macrophyte submergé exclusif semble résister plus à la salinité que *P. schweinfurthii*. Floraison : août-novembre.

***Potamogeton schweinfurthii* A.BENNETT.**

POTAMOGETONACEAE

Synonymes : *Potamogeton lucens* ? L., *Potamogeton capensis* SCHEELE ex. A BENN., *Potamogeton repens* HAGSTR., *Potamogeton nodosus* f. *angustissimus* HAGSTR.



Potamogeton schweinfurthii A.BENNETT.

Description

Herbe vivace, aquatique, enracinée, submergée (sauf l'inflorescence). Atteignant 1, 2-3 m de long, vert vif à brunâtre, rhizome rampant, ligneux à entre-nœuds de 4 à 8 cm ; tiges cylindriques ; feuilles toutes submergées, parfois les supérieures flottantes ; limbe lancéolé, membraneux et translucide. Inflorescences émergées, parfois à demi submergées, vertes à vert brunâtre. Fleurs à stigmates blanchâtres devenant brun pourpre. Fruits ovoïdes, lisses, à côté ventral presque droit, bec styloïde court et obtus. (Lisowski *et al.*, 1978).

Distribution

Afrique tropicale et australe. Mali, Côte d'Ivoire, Nigeria, Cameroun, Tchad, Egypte, Soudan, Ethiopie, Erythrée, Ouganda, Kenya, Tanzanie, Zambie, Zimbabwe, Malawi, Mozambique, Namibie, République Sud-Africaine, Rwanda, Burundi, Zaïre. Afrique du Nord (Tunisie).

Ecologie

La plante a été observée dans le Niokolo-Koba dans les rivières, dans les étangs et les mares. Elle est abondante dans le fleuve et le Lac de Guiers depuis la mise en eau du barrage de Diama (Thiam et Ouattara, 1998) dans les eaux faiblement courantes pouvant être très profonde, jusqu'à 3 m dans le lac de Guiers.

2.3.4.4. Les macrophytes libres flottant à la surface

Leur localisation est fortement liée aux mouvements des eaux et à la direction des vents dominants. Les plantes de ce groupe se rencontrent dans les endroits abrités, protégés des vents, des vagues et des courants. Les espaces libres entre les peuplements de *Typha domingensis*, de *Phragmites australis* sont souvent colonisés par les plantes appartenant à ce groupe.

Il s'agit de :

- | | |
|--------------------------------|--------------|
| 1. <i>Pistia stratiotes</i> | Araceae |
| 2. <i>Azolla africana</i> | Azollaceae |
| 3. <i>Lemna aequinoctialis</i> | Lemnaceae |
| 4. <i>Marsilea minuta</i> | Marsileaceae |
| 5. <i>Salvinia molesta</i> | Salviniaceae |



Pistia stratiotes L.

Description

Herbe vivace, sans tige, stolonifère, flottante ou s'enracinant faiblement dans la vase aux basses eaux. Limbes obovales, scabres, à nervures parallèles très marquées

Distribution

Pantropicale. Répandue partout en Afrique tropicale; (origine asiatique, selon De Wildeman, probablement Sud-Américaine d'après Waterhouse, (1994). Il a été signalé abondant dans des fleuves au Bénin, en Guinée, en Côte d'Ivoire, au Mali, en Mauritanie, au Niger, au Burkina Faso (Wild, 1961).

Ecologie

La plante s'installe dans certaines anses calmes du fleuve et le lac de Guiers. Adaptée à la flottaison la plante préfère les eaux douces mais tolère des eaux légèrement saumâtres (Berhaut 1988). Croîtrait mieux dans des eaux acides à pH 4 (Waterhouse, 1994). N'augmenterait pas les pertes d'eau par évapotranspiration (Lallana *et al.*, 1987).

Pistia stratiotes est reconnu comme gênant dans le Haut Nil et particulièrement comme un des constituants majeurs des radeaux flottants dans le Delta du Niger. Comme la jacinthe d'eau cette plante peut bloquer les canaux d'irrigation et est aussi importante dans la formation des radeaux dans les deltas des grandes rivières et fleuves. Actuellement, n'est pas aussi dangereuse que la jacinthe d'eau, probablement parce qu'il n'est pas d'introduction récente en Afrique, mais il peut devenir gênant avec la construction de plus larges barrages et projets d'irrigation.

***Azolla africana* DESV.**

AZOLLACEAE

Synonyme : *Azolla pinnata* var. *africana* DESV.BAK



Azolla africana DESV.

plante entière

Description

Petite fougère aquatique de 1,5 à 2,5 cm de diamètre avec une forme triangulaire ; racines simples portant de nombreux poils ; tiges alternant. Chaque feuille a 1-2 mm de long se chevauchant deux à deux sur deux rangées ; la plante se reproduit végétativement et sexuellement. Les sporocarpes (1-1.5 mm de diamètre) sont formées en dessous des feuilles. La couleur des feuilles varie de vert à marron- rouge

Distribution

Inde, Asie du Sud Est, Chine et Japon, Philippines, Nouvelle Guinée et Australie. Largement répandue en Afrique : Madagascar, Afrique du Sud, Angola, Mozambique, Zambie, Kenya, Ouganda, Burundi, Cameroun, République Centrafricaine, Congo, Gabon, Rwanda, Zaïre, Côte d'Ivoire, Ghana, Guinée, Nigeria, Sierra Leone.

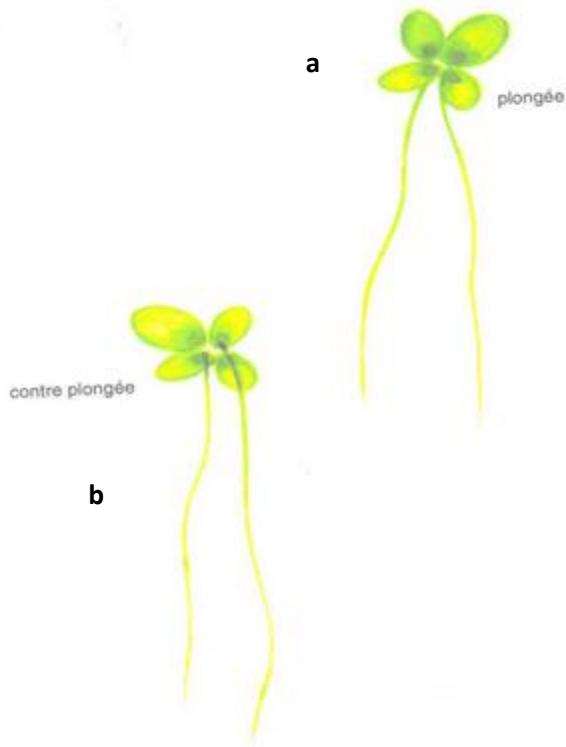
Ecologie

Dans le delta du Sénégal et le lac de Guiers, la plante s'installe dans les endroits calmes non exposés aux vents, dans les eaux à courants faibles et dans les canaux de drainage. Cette fougère aquatique vit en symbiose avec une Cyanobactérie (*Anabaena azollae* STRASBURGER) fixatrice de l'azote atmosphérique. C'est pourquoi, la plante est utilisée comme engrais vert en riziculture. Le végétal peut croître dans les eaux pauvres en azote mais se développe rapidement dans les milieux riches en cet élément.

***Lemna aequinoctialis* WELW.ex.HEGELM**

LEMNACEAE

Synonymes : *Lemna paucicostata* HEGELM., *Lemna trinervis* (AUSTIN) SMALL, *Lemna angolensis* WELW.ex.HEGELM.,



Lemna aequinoctialis WELW.ex.HEGELM

a- vue en plongée ; b- vue en contre plongée

Description

Petite plante aquatique, très petite, réduite à une lame verte ou « fronde » de la forme et de la grosseur d'une lentille, portant en dessous une racine en son centre ; plante se multipliant par bourgeonnement et ne fleurissant pratiquement jamais (Ozenda, 2004) ; peut-être envahissant dans les canaux où elle peut couvrir toute la surface de l'eau.

Distribution

Répandue partout en Afrique tropicale, mais relativement moins fréquente dans la région guinéenne (Lebrun, 1947). Espèce pantropicale, subtropicale et des régions tempérées chaudes du globe.

Au Sénégal, la plante est rencontrée dans les Niayes, le Sine-Saloum, les Basse et Haute Casamance.

Ecologie

Dans le delta du fleuve Sénégal elle se développe dans les eaux stagnantes et dormantes habituellement eutrophes des mares, étangs, rizières inondées et canaux d'irrigation et de drainage.

***Marsilea minuta* L.**

MARSILEACEAE

Synonymes : *Marsilea crenata* ; *Marsilea erosus* ; *Marsilea diffusa* ; *Marsilea perrieriana* ; *Marsilea senegalensis*.



Marsilea minuta L.

Description

Fougère aquatique ou semi-aquatique pérenne très variable dans ses formes. Feuilles ressemblant à un trèfle avec 4 folioles et un pétiole long de 2 à 30 cm. Les folioles flottent à la surface de l'eau. Les sporocarpes ovoïdes, pédicellés, apparaissent à la base du pétiole et usuellement dans la boue ou à la surface de l'eau. La reproduction se fait par des spores ou les rhizomes.

Distribution

La plante serait originaire d'Afrique Tropicale ou d'Asie (Waterhouse, 1994 ; Jacobsen, 1983).

65 espèces de *Marsilea* ont été répertoriées à travers les régions chaudes du monde, *M. minuta* est sans doute la plus répandue.

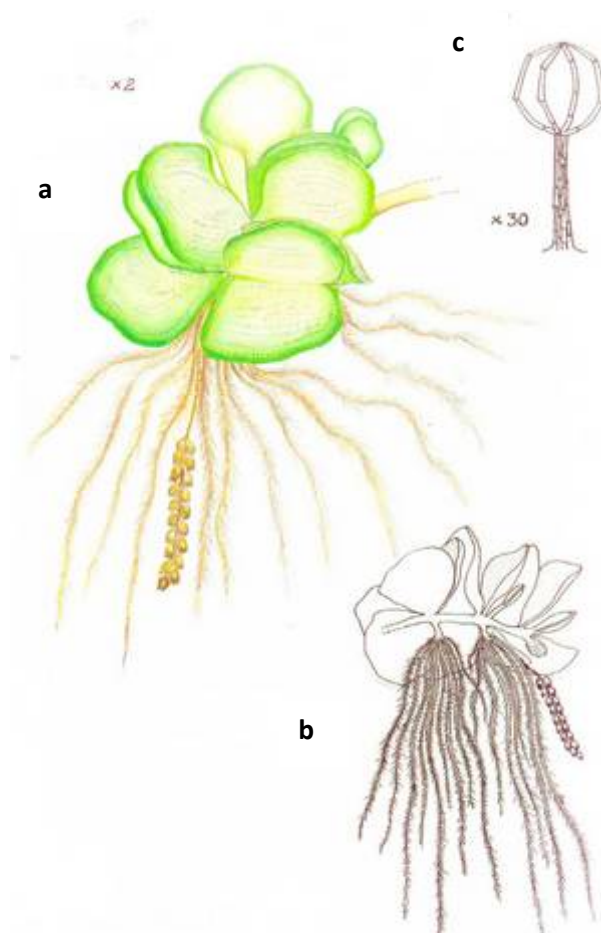
Ecologie

Dans le delta, ce macrophyte s'installe au bord des cours d'eau, dans les rizières, les étangs, les eaux temporaires peu profondes du fleuve et du lac de Guiers et également dans les canaux d'irrigation et de drainage.

***Salvinia molesta* D.S. MITCHELL.**

SALVINIACEAE

Synonyme : *Salvinia auriculata* AUBLET



Salvinia molesta D.S. MITCHELL.

a. plante entière dans sa phase « mature » ;

b. vue des feuilles submergées et des sporocarpes (2 cm) ; c. détail d'un poil (trichome) à la surface d'une feuille flottante

Description

Petite fougère pérenne ou annuelle flottant librement dans des milieux aquatiques variés ; tiges horizontales sans racines portant des feuilles opposées ovales, longues de 1 cm environ, émergées, couvertes de poils alignés (trichome). Les feuilles flottantes sont photosynthétiques alors que les feuilles submergées non photosynthétiques sont finement divisées en filaments ressemblant à des racines. Les sporocarpes naissent d'un filament modifié des feuilles submergées et sont stériles.

Distribution

Plante quasi cosmopolite absente des régions froides. Originaire du Brésil, *S. molesta* est souvent considérée comme un hybride entre 2 espèces américaines de *Salvinia* (Cook, 1996).

Ecologie

D'introduction récente dans le delta du fleuve Sénégal et le lac de Guiers. La plante a été observée pour la première fois dans la région en mai 1999 dans un canal d'irrigation (Kuisseu et al. 2001). *S. molesta* est une espèce stricte d'eau douce qui ne se développe pas dans les eaux saumâtres. La plante croît rapidement dans des milieux nutritifs riches et peut former des colonies importantes et de vastes tapis. La plante est devenue proliférante dans le delta et le lac de Guiers au début des années 2000.

En résumé, les 48 espèces communes recensées dans les milieux humides de la zone se répartissent ainsi :

- macrophytes fixés émergents (31 espèces appartenant à 10 familles),
- macrophytes fixés à feuilles flottantes (6 espèces, 4 familles),
- macrophytes submergés (7 espèces, 5 familles)
- et macrophytes libres flottants (5 espèces, 5 familles).

La répartition en nombres de familles, de genres, d'espèces et de familles dominantes suivant la typologie adoptée pour les 48 espèces retenues est indiquée dans le tableau 8. Poaceae et Cyperaceae dominent sur la berge, Nymphaeaceae et Oenotheraceae dans les eaux peu profondes. Potamogetonaceae et Najadaceae sont immergées dans les eaux pouvant être relativement profondes dans le contexte sahélien (3 m). Aucune famille dominante n'a été observée chez les Macrophytes libres flottant à la surface ; les 5 espèces font partie de 5 genres et de 5 familles différentes.

Tableau 8 - Structure systématique des types de macrophytes

	Macrophytes fixés émergents	Macrophytes fixés à feuilles flottantes	Macrophytes submergés	Macrophytes libres flottant à la surface
Nombre de famille	10	4	4	5
Nombre de genre	25	5	4	5
Nombre d'espèces	31	6	6	5
Familles dominantes	Poaceae Cyperaceae	Nymphaeaceae Oenotheraceae	Potamogetonaceae Najadaceae	

2.4. Conclusion

Du point de vue floristique, les milieux humides du Delta du fleuve Sénégal sont relativement diversifiés comparativement à d'autres milieux à écologie semblable en Afrique sahélienne.

La diversité spécifique est plus élevée dans les zones basses inondables, ensuite dans le lac et après dans le fleuve.

Le spectre chorologique est caractérisé par l'abondance des héliogéophytes et des hydrogéophytes.

Les taxons ont souvent une large distribution géographique pantropical et paléotropical.

La typologie adoptée permet d'organiser, de préciser et d'actualiser la systématique des spermaphytes et ptéridophytes des milieux humides du Nord Sénégal. Sur les rives, Poaceae et Cyperaceae sont dominantes alors que vers les eaux profondes, Potamogetonaceae et Najadaceae sont les seuls macrophytes qui subsistent. Les données sur la distribution, l'écologie des principaux macrophytes sont rares et éparpillées dans de nombreuses publications qui ne sont pas souvent facilement accessibles. Les efforts doivent être poursuivis pour l'assemblage, la synthèse et l'actualisation des informations sur les taxons. La rareté des illustrations des espèces végétales des milieux humides du Sénégal a amené à rassembler des éléments en vue de la préparation d'un recueil de référence sur les macrophytes des milieux humides. Un tel manuel serait un outil qui rendrait d'éminents services aux enseignants des Sciences de la Vie et de la Terre, aux botanistes, aux écologistes et gestionnaires des milieux humides. Il s'agira de poursuivre le travail entrepris en y ajoutant d'autres espèces et en complétant les informations sur la biologie, l'écologie et la distribution des macrophytes. Sans la rendre trop complexe, la diagnose des espèces pourrait également être plus détaillée.

Après cette étude détaillée de la flore et la présentation des principaux types de macrophytes et des espèces communes en milieux humides, nous avons étudié la végétation héliophytique et hydrophytique en examinant la zonation des macrophytes sur les rives du fleuve, le canal de la Taoué et d'autres sites humides et discerné plusieurs groupements végétaux dans les stations humides du Delta et le lac de Guiers.

Chapitre 3 Végétation et groupements végétaux des milieux humides

3.1 Introduction

L'étude des groupements végétaux du Sénégal en relation avec les paramètres édapho-climatiques a été réalisée pour la première fois dans les années 30 par Trochain (Trochain, 1940). Dans cette étude, cet auteur a identifié les groupements d'hydrophytes constitués par les végétations des stations partiellement ou totalement aquatiques. Il a subdivisé ceux-ci en 3 types de végétations : la végétation des eaux douces (limnophytie), la végétation littorale des eaux saumâtres et des sols salins temporairement submergés (halohydrophytie et halophytie) et la végétation des eaux acides et des sols acides temporairement submergés (oxyhydrophytie et oxyphytie). Pour établir la composition floristique des groupements végétaux qu'il a classés dans ces différentes subdivisions, Trochain a effectué près de 53 relevés de végétation dans le delta et le lac de Guiers. Adam (1964) a décrit la zonation de la végétation sur la rive orientale du lac de Guiers à partir d'une douzaine de transects réalisés en 1962 en différents points. Cette description de la végétation rivulaire du lac de Guiers est accompagnée de quelques observations écologiques. Au début des années 80, une dizaine de groupements végétaux ont été reconnus dans le lac de Guiers et dans sa plaine d'inondation (Thiam, 1984). La composition floristique de ces groupements accompagnée d'observations sur les facteurs du sol a été présentée par cet auteur.

Après les barrages, quelques études ont été réalisées sur la végétation des milieux humides du delta et ont concerné notamment les adventices des périmètres agricoles (Diagne, 1991), *Pistia stratiotes* (Guiral, 1993), *Potamogeton schweinfurthii* (Thiam et Ouattara, 1997) *Typha domingensis* ou encore des biotopes particuliers (Thiam, 1993 ; Kuisseu, 1997; Thiam, 1998; Faye, 2007).

La végétation des stations humides du delta n'avait pas fait jusqu'ici l'objet d'études détaillées notamment du point de vue de la zonation des macrophytes au niveau des rives du fleuve et de la Taoué et de la composition floristique des groupements végétaux. De plus, avec les grands aménagements sur le fleuve, le milieu a beaucoup changé (Cogels *et al.*, 1993). Les nouvelles conditions hydrologique et de qualité des eaux ont eu une incidence marquée sur la végétation en général et certains macrophytes en particulier (Cogels *et al.*, 1993 ; Thiam *et al.*, 1993 ; Guiral, 1993).

Dans ce travail, nous avons :

- étudié à l'aide de transects, la zonation des macrophytes et analysé quelques paramètres édaphiques au niveau de sept (7) points d'observation ;

- établi la composition floristique des principaux groupements végétaux hélrophytiques et hydrophytiques en relation avec la salinité du sol.

3.2 Matériels et méthodes

La zonation de la végétation a été étudiée en utilisant la technique des transects. Le transect partait de la zone exondée vers la zone inondée. Lorsque le substrat le permet, une corde graduée de 10 en 10 cm est utilisée. Sinon un ruban métallique est employé pour mesurer les distances. Sept (7) transects représentant différentes situations morpho-pédologiques de la zone ont servi à étudier la répartition des principaux groupements végétaux en relation avec l'humidité (Figure 15). La présence de chlorure de sodium dans le sol ou dans l'eau ou encore dans les deux à la fois, constitue un second facteur de répartition de la végétation dans les stations humides du delta.

Tableau 9 - Situation et coordonnées géographiques des transects

Sites	Latitude	Longitude	Transects
1. Fleuve Sénégal (rive gauche amont barrage de Diama)			
Barrage Diama (amont)	N 16°12'72"	W 16°24'46"	Transect C
Djoudj	N 16°24'72"	W 16°18'31"	Transect D
Ouassoul	N 16°28'86"	W 16°01'64"	Transect F
2. Taoué			
Taoué 1 (Richard-Toll)	N 16° 26' 96"	W 15° 41' 79"	Transect G
3. Zones basses inondables			
Guembeul (vasière, ancienne mangrove)	N 15°57'10"	W 16°28'47"	Transect A
Savoigne (plaine inondable)	N 16°09'37"	W 16°18'31"	Transect B
Débi (rizière abandonnée)	N 16°30'70"	W 16°16'20"	Transect E

En vue d'intégrer les modifications saisonnières, deux transects ont été réalisés respectivement en saison sèche (février et mars) et en saison des pluies (août) au niveau de quelques sites.

Pour faciliter le repérage des points de réalisation des transects pour l'étude ultérieure de l'évolution du tapis végétal, des bornes fixes en béton ont été installées au niveau des 7 sites (tableau 9 et Figure 15).

Les relevés phytosociologiques ont été effectués en fonction de la physionomie du groupement étudié, le long des transects. Un quadrat en bois de 1m² posé en plusieurs points sur le tapis végétal a été utilisé. Toutes les espèces présentes à l'intérieur du quadrat sont notées, avec pour chacune d'elles une appréciation quantitative suivant l'échelle classique d'abondance dominance de Braun-Blanquet (1932) :

+ = peu abondant

1 = abondant mais avec un faible recouvrement ou assez peu abondant mais avec un recouvrement plus grand.

2 = Très abondant ou recouvrement supérieur à 5%

3 = Recouvrement de 25 à 50%, abondance quelconque

4 = Recouvrement de 50 à 75%, abondance quelconque

5 = Recouvrement supérieur à 75%, abondance quelconque

Nous avons réalisé près de 160 relevés dans les différents sites étudiés.

La méthode des tableaux, détaillée par Gounot (1969) et Vanden Berghen (1982a), a été utilisée pour comparer les relevés et calculer les coefficients de recouvrement des espèces.

La hauteur de la lame d'eau a été mesurée dans les sites inondés avec un mètre ruban métallique ou en eau profonde avec une perche graduée.

Le pH, la conductivité, la température, l'oxygène dissous dans l'eau ont été analysés *in situ* avec des appareils portatifs.

Dans certains sites, des échantillons de sol ont été prélevés en surface (dans les 30 premiers cm). Un échantillon moyen est préparé sur place pour chaque site et mis dans des sachets plastiques étiquetés. Les échantillons de sol ont été analysés par le laboratoire du bureau pédologique de Hann à Dakar.

Les méthodes et techniques employés pour les analyses de sols ont été les suivants :

- le pH : deux types de pH sont déterminés, le pH (eau) et le pH (KCl) (méthode électrométrique). Le pH eau correspond à la concentration en hydrogène (H⁺) de la solution du sol. Il est appelé ainsi car il est mesuré dans un mélange terre/eau. Le pH KCl correspond à la concentration en hydrogène (H⁺) du sol obtenu après ajout de KCl. Le KCl a pour effet de chasser les H⁺ fixés sur le complexe argilo-humique, ce qui permet de déterminer l'acidité totale ou acidité de réserve du sol. Le PH KCl est donc un pH «théorique » qui permet de connaître l'acidité potentielle du sol. Il correspond au pH vers lequel tendent tous les sols à cause du processus d'acidification. Le pH KCl est toujours inférieur au pH eau, l'écart entre les 2 varie de 0,2 à 1,5 :

Ecart < 0,5 acidité de réserve faible

Ecart < 1 acidité de réserve moyenne

Ecart > 1 acidité de réserve élevée

- la conductivité électrique traduit la minéralisation totale de l'eau. Sa valeur varie en fonction de la température. Elle est donnée à 20 °C. Elle est exprimée en micro-Siemens par cm ($\mu\text{S} / \text{cm}$). Approximativement la valeur en $\mu\text{S}/\text{cm}$ correspond à la salinité en mg/l.

La norme de salinité utilisée est celle de Le Brusq (1984) :

$0,5 < \text{CE} < 2 \text{ mmho}$: sol salé

$\text{CE} > 4 \text{ mmho}$: sol sursalé

- les matières organiques (%) : somme hétérogène de composés carbonés d'origine végétale et animale (débris en cours de décomposition, humus,...). Elles stimulent l'activité biologique du sol
- l'azote total (N) en % (méthode Kjeldahl) : le dosage de N repose sur la transformation des composés azotés dosables par minéralisation. L'azote Kjeldahl représente les formes réduites de l'azote, soit l'azote organique et l'azote ammoniacal
- le carbone organique (C) en % (méthode Anne) : l'oxydation du carbone s'effectue à chaud avec le bichromate de potassium
- le phosphore assimilable (P) en ppm (méthode Bray 1) :
- la granulométrie (méthode par pipette de Robinson) : elle indique la texture du sol qui est la proportion relative des différentes fractions solides du sol.
- les bases échangeables (méq/100g) : sont des éléments directement disponibles pour les plantes (méthodes à l'acétate d'ammonium à l'acétate sodium).
- la capacité d'échange cationique T (méq/100g) c'est la capacité pour un sol à capter les cations (méthode de saturation NH_4)
- le taux de saturation $V (\%) = (\text{somme bases échangeables (S)} \times 100) / T$
- le bilan ionique (méthodes spectrophotométrique et titrimétriques) : il n'a été déterminé que lorsque le sol est salé. Il permet de déterminer le type de salinité du sol. Le diagramme de Piper est utilisé à cet effet.

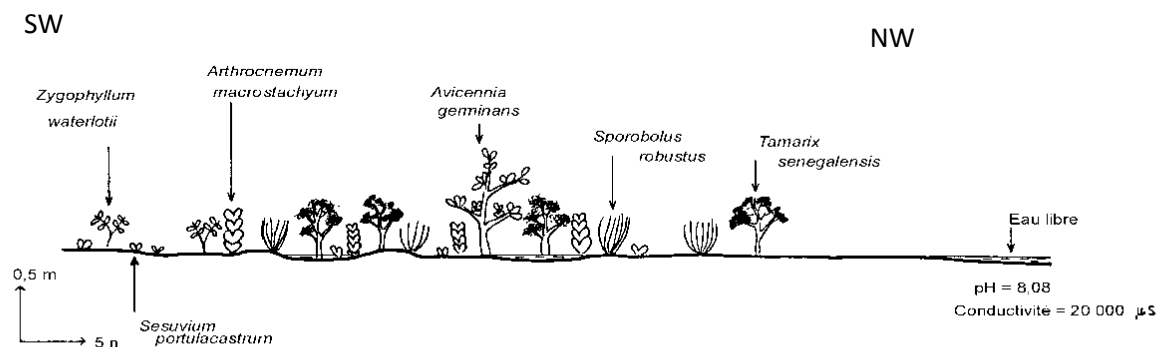
3.3 Résultats et discussion

3.3.1 Zonation de la végétation

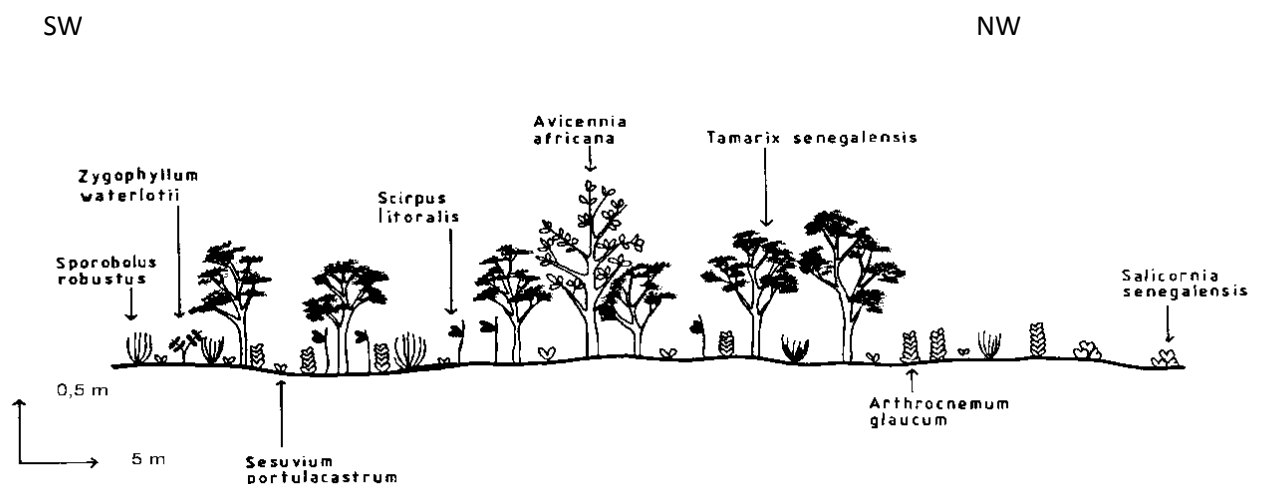
Les Figures 16, 17, 18, 19, 20, 21 et 22 présentent les résultats obtenus des transects A, B, C, D E, F et G, effectués respectivement à Guembeul, Savoigne, Diama, Djoudj, Débi Ouassoul et sur le canal de la Taoué (Figure 15).

Figure 16 - Transect A, à Guembeul, en août 1996 et en février 1997

Août 1996



Février 1997



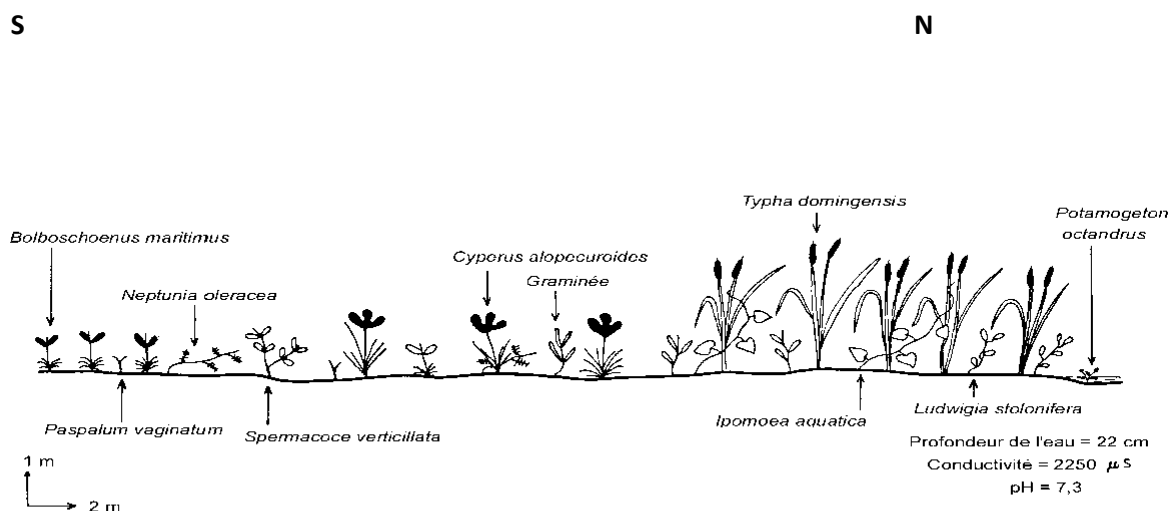
Il s'agit d'une ancienne mangrove avec une dominance de plantes halophiles et sub-halophiles. Le

site est complètement asséché en février. *Cressa cretica*, *Salicornia senegalensis* et *Blutaparon vermiculare* apparaissent pendant cette période. Le sol, salé, reste très humide en surface.

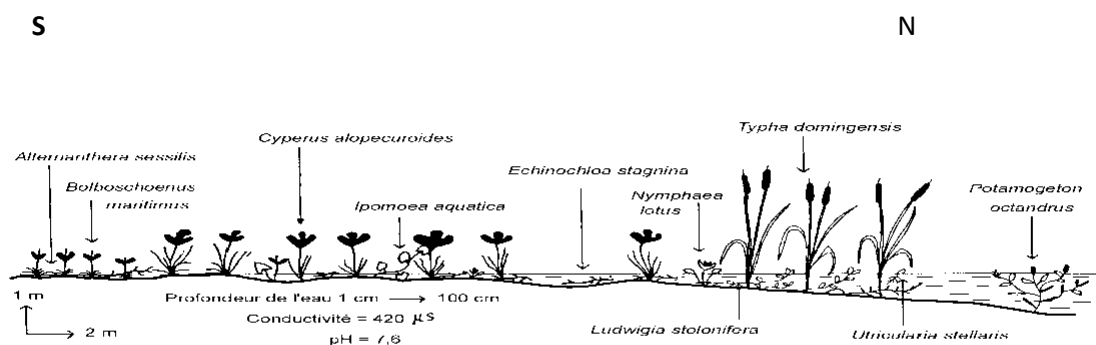
En août, l'eau dans le site a une conductivité élevée (18000 μS) et un pH de 8,2. La végétation se développe sur un sol sablo-argileux relativement neutre (pH = 6,5) et pauvre en matière organique (0,84 %).

Figure 17 - Transect B, à Savoigne (Lampsar) en août 1996 et en février 1997

Août 1996



Février 1997

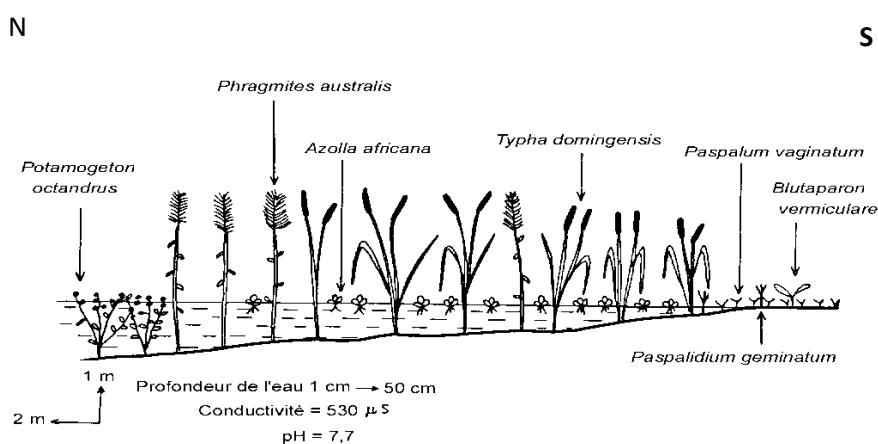


Echinochloa stagnina et *Nymphaea lotus* apparaissent en février. Le niveau de l'eau est plus élevé

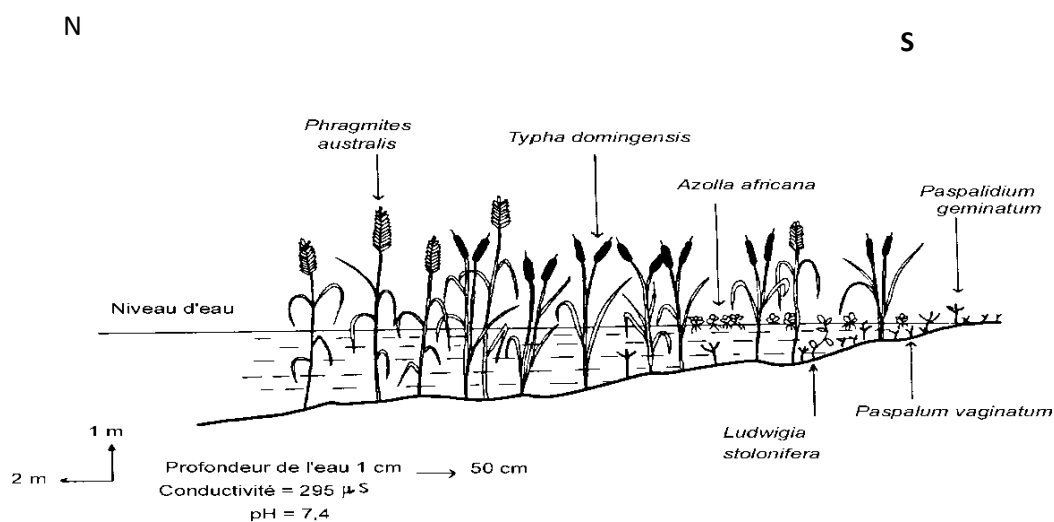
qu'en août probablement à cause de l'arrivée tardive de la crue et le maintien d'un niveau d'eau élevé pendant une bonne partie de l'année. Les Cyperaceae sont bien représentées pendant cette période. Le sol est très argileux et acide (pH 4,14) avec une teneur en matière organique relativement élevée (4,22 %). La fréquentation par le bétail est attestée par le fort piétinement de la végétation. Des coupes importantes de *Typha domingensis* sont également effectuées par les populations.

Figure 18 - Transect C, amont barrage de Diama sur la rive gauche du fleuve en août 1996 et en février 1997

Août 1996

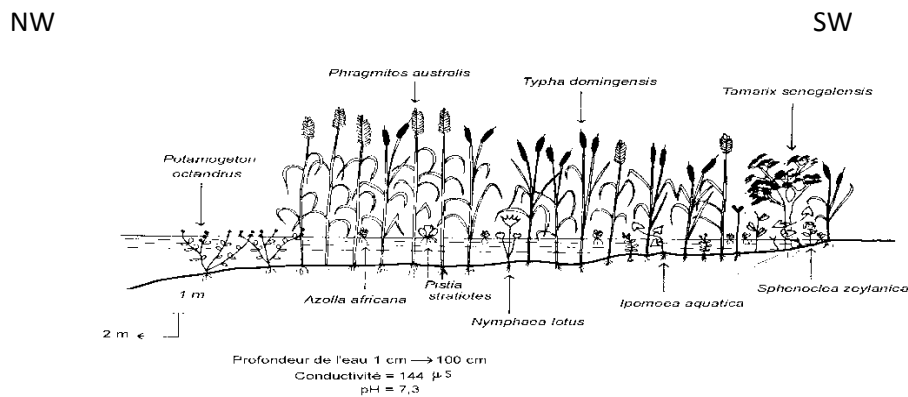


Février 1997



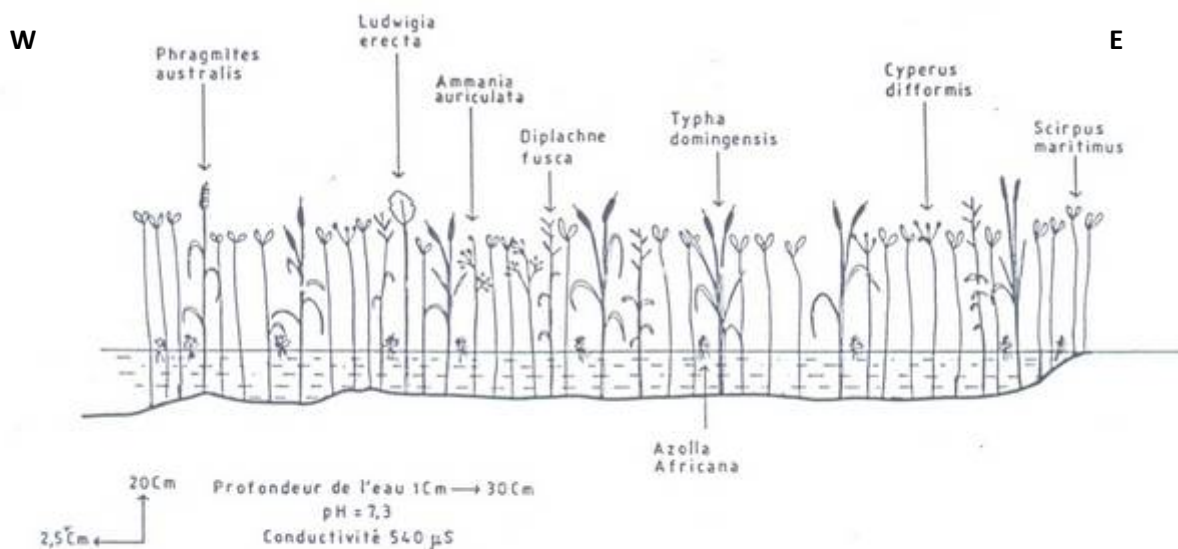
Le sol est sableux, alcalin (pH = 8,3) avec un taux de matière organique de 0,81 % et salé de type sulfaté chloruré sodique. Le taux de sodium échangeable dans le complexe absorbant est élevé (37,31 %) ce qui pourrait réduire la perméabilité du sol. Les individus de *Pistia stratiotes* qui apparaissaient tout le long du transect pendant la saison des pluies, se cantonnent en février vers le rivage à cause principalement des vents qui soufflent très forts en saison sèche.

Figure 19 -Transect D, Parc du Djoudj, rive gauche du fleuve Sénégal en février 1997



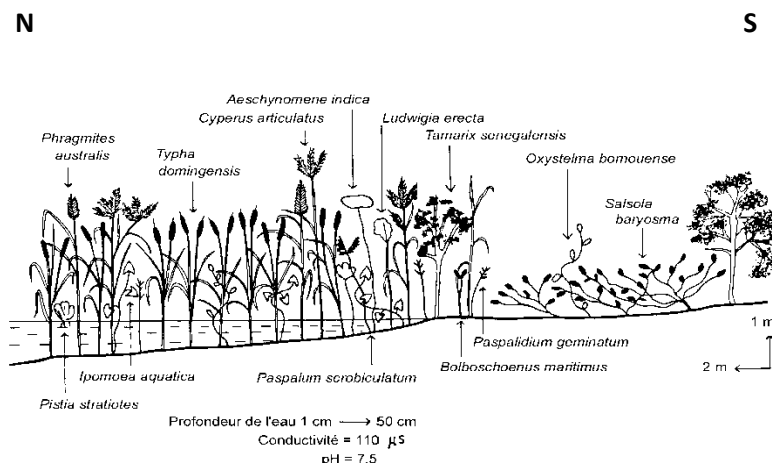
Le sol est très argileux, acide (pH = 5,8) et assez pourvu en matière organique (2,93 %). La présence de *Sphenoclea zeylanica* est remarquable dans cette zone. *Typha domingensis* avec de place en place *Phragmites australis* forment un rideau serré impénétrable. Ce rideau se développe densément plus en amont tout le long de la digue rive gauche jusqu'à Rosso Sénégal.

Figure 20 - Transect E, à Débi, rive gauche du fleuve Sénégal en février 1997



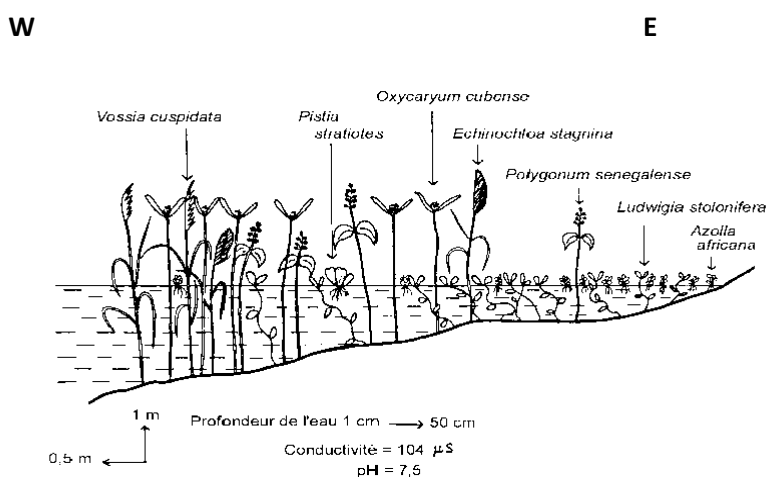
Zone de culture en jachère attestée par une très grande diversité floristique et l'abondance des Cypéracées. Dans ces zones abandonnées *Typha* s'installe rapidement et élimine les autres espèces concurrentes. Le sol est très argileux, acide (pH = 5,6) et moyennement pourvu en matière organique.

Figure 21 - Transect F, à Ouassoul, rive gauche du fleuve Sénégal en février 1997



Le sol est très argileux, acide (pH = 5,6) et assez pourvu en matière organique (2,43%). La salinité est de type chloruré sulfaté sodique. Elle est très élevée (CE = 13 600 $\mu S/cm$). Malgré cette salinité plusieurs macrophytes prolifèrent à cause probablement de la forte hétérogénéité du substrat : des endroits peu ou pas salés se retrouvant à proximité de sols salés. Par ailleurs, la permanence de l'eau douce amoindrirait le taux sels.

Figure 22 -Transect G, canal de la Taoué en février 1997



La végétation est très semblable à celle des rives du fleuve malgré le caractère artificiel du canal qui a été creusé dans les années 70. On y remarque l'abondance de *Polygonum senegalense* et de *Vossia cuspidata*.

Le sol est sableux avec une prédominance de sable fin, à pH acide (5,2) et moyennement pourvu en matière organique.

La synthèse des résultats des analyses de sol des sites des transects est présentée dans le tableau 10.

Les sols des sites de Ouassoul, de Diama et de Guembeul sont salés. La conductivité varie de 13 600 μS dans le premier à 6 600 μS dans le dernier en passant par 1120 μS à Diama.

De façon générale, la texture varie d'argileuse, à sableuse et sablo-argileuse. La texture argileuse est dominante.

En dehors du site Diama où il est nettement alcalin, le pH du sol est souvent légèrement acide. La matière organique est généralement faible.

La capacité d'échange la plus élevée a été observée à Savoigne et le taux de saturation le plus élevé a été trouvé à Diama.

Quant à la capacité d'échange cationique, elle a été plus élevée à Savoigne, ensuite au Djoudj, Débi, Diama et la Taoué.

Tableau 10 - Synthèse des résultats des analyses de sols dans les sites d'étude de la végétation

Paramètre		Taouey	Debi	Djoudj	Ouassoul	Diamma	Savoigne	Guembeul
pH eau (1/2,5)		5,24	5,6	5,8	5,58	8,28	4,14	6,46
pH KCl (1/2,5)		4,82	5,06	5,26	5,4	8,14	3,64	6,14
Conductivité électrique (1/5) en μS		50	182	245	13 600	1 120	158	6 600
Carbone organique (%)		0,94	1,15	1,7	1,41	0,47	2,45	0,49
Matière organique (%)		1,62	1,98	2,93	2,43	0,81	4,22	0,84
Azote total (%)		0,07	0,14	0,13	0,11	0,04	0,2	0,04
Phosphore assimilable (ppm)		21,77	0,5	0,1	8,74	8,08	0,08	9,18
Bases Echan. (meq/100mg)	Ca^{++}	5,96	7,77	15,87	7,95	11,54	12,39	1,89
	Mg^{++}	3,54	10,88	8,45	9,15	3,66	11,55	7,23
	Na^+	0,35	2,33	2,55	2,4	7,5	0,89	0,45
	K^+	0,82	1,19	1,44	1,25	1,41	0,92	1,53
	Somme	10,67	22,14	28,31	20,75	24,11	25,75	11,1
Capacité d'éch. cat. (meq/100g)		13,52	27,6	32,8	27,5	20,1	53,26	12,6
Taux de saturation (%)		78,92	80,21	86,31	75,45	Saturé	48,34	88,1
Granulométrie (%)	Argile	22,5	49,05	67,2	42	21,5	61,7	26,4
	Limon grossier	3,6	9,53	3,72	11,91	3,01	5,7	1,18
	Limon fin	1,79	16,92	20,59	13,78	1,96	19,29	3,11
	Sable grossier	2,28	0,13	0,23	0	4,97	0	0,38
	Sable moyen	13,27	0,32	0,94	0,53	35,88	0,57	37,93
	Sable fin	56,56	24,05	7,32	31,88	32,68	12,74	31
Texture		sableuse	argileuse	argileuse	argileuse	sableuse	argileuse	sablo-argileuse
Bilan ionique (sur sols salés uniquement) (meq/100g)	Ca^{++}				11,28	0,76		2,36
	Mg^{++}				13,8	1,14		10,91
	Na^+				109,6	8,6		50,3
	K^+				1,3	0,62		2,37
	Somme				135,98	11,12		65,97
	HCO_3^-				0,25	0,75		0,5
	SO_4^{--}				65,05	6,45		41,26
	Cl^-				70,5	4		23,94
	Somme				135,8	11,2		65,7

Tableau 11 - Occurrence des principaux macrophytes sur les transects

Transect

Espèces	A	B	C	D	E	F	G	Fréquence (%)
Hydrophytes et hélophytes								
<i>Typha domingensis</i>		+	+	+	+	+		70
<i>Polygonum senegalense</i>							+	14
<i>Ludwigia adscendens</i>		+					+	28
<i>Potamogeton octandrus</i>		+		+				28
<i>Azolla pinnata</i>			+				+	28
<i>Phragmites australis</i>			+	+				28
<i>Cyperus alopecuroides</i>		+						14
<i>Pistia stratiotes</i>				+		+	+	42
<i>Nymphaea lotus</i>		+		+				28
<i>Neptunia oleracea</i>		+						14
<i>Ipomoea aquatica</i>		+		+		+		42
<i>Utricularia stellaris</i>		+						14
<i>Cyperus articulatus</i>						+		14
<i>Echinochloa stagnina</i>		+					+	28
<i>Alternanthera sessilis</i>		+						14
<i>Vossia cuspidata</i>							+	14
<i>Spermacoce verticillata</i>		+						14
<i>Oxycarium cubense</i>							+	14
<i>Aeschynomene indica</i>						+		14
<i>Paspalum scorbiculatum</i>						+		14
<i>Oxystelma bornouense</i>						+		14
<i>Sphenoclea zeylanica</i>				+				14
<i>Cyperus difformis</i>					+			14
<i>Ludwigia erecta</i>					+	+		28
Subhalophytes								
<i>Schoenoplectus litoralis</i>	+							14
<i>Sporobolus robustus</i>	+							14
<i>Paspalum vaginatum</i>			+					14
<i>Paspalidium geminatum</i>			+			+		28
<i>Bolboschoenus maritimus</i>				+	+			28
<i>Diplachne fusca</i>					+			14
<i>Ammania auriculata</i>					+			14
Halophytes								
<i>Tamarix senegalensis</i>	+					+		28
<i>Sesuvium portulacastrum</i>	+							14
<i>Arthrocnemum macrostachyum</i>	+							14
<i>Zygophyllum waterlotii</i>	+							14
<i>Avicennia germinans</i>	+							14
<i>Salicornia senegalensis</i>	+							14
<i>Salsola baryosma</i>						+		14
<i>Blutaparon vermiculare</i>			+					14

Les espèces les plus fréquentes sur les transects sont (tableau 11) : *Typha domingensis*, *Pistia stratiotes*, *Ipomoea aquatica*. En terme d'occurrence, ces espèces sont suivies par un deuxième groupe constitué par *Echinochloa stagnina*, *Nymphaea lotus*, *Potamogeton octandrus*, *Azolla pinnata*, *Phragmites australis*, *Ludwigia adscendens*, *Ludwigia erecta*,

Paspalidium geminatum et *Bolboschoenus maritimus* et *Tamarix senegalensis*. Les autres espèces n'ont été observées que sur un seul transect et peuvent être considérées comme moins fréquentes. Il s'agit dans les hydrophytes de *Polygonum senegalense*, *Neptunia oleracea*, *Vossia cuspidata*, *Sphenoclea zeylanica*, et d'halophytes comme *Salicornia senegalensis*, *Salsola baryosma*, *Arthrocnemum macrostachyum*, *Zygophyllum waterlotii*, *Butapuron vermiculare*, ... Cependant, nombre d'espèces mentionnées ci-dessus peuvent constituer par endroits des peuplements relativement étendus.

Les principaux groupements reconnus après l'analyse des relevés floristiques sont présentés ci-après.

3.3.2 Les groupements végétaux

A- Milieux salés humides

1. Groupement à *Tamarix senegalensis*

Tamarix senegalensis est un arbuste qui s'installe sur les sols salés temporairement inondés à Ouassoul et à Guembeul. Il a été également rencontré au Djoudj à une profondeur d'eau de 10 cm. Le cortège floristique du groupement est indiqué dans le tableau 12.

Tableau 12 - Groupement à *Tamarix senegalensis*

	A			B			
Numéro de relevé	3	11	15	39	103		
Recouvrement en %	70	60	40	80	30		
Hauteur du plan d'eau(cm)	0	0	0	0	0		
Nombre des espèces	4	4	4	3	2		
Strate haute						P	CR
Ligneux caractéristique							
<i>Tamarix senegalensis</i>	4	3	3	5	3	5	5250
Autre ligneux							
<i>Arthrocnemum macrostachyum</i>	.	+	.	.	.	1	4
Strate basse							
Chaméphyte rampant							
<i>Sesuvium portulacastrum</i>	2	+	+	.	.	3	308
Hémicryptophyte							
<i>Sporobolus robustus</i>	+	3	.	.	.	2	754
Géophyte							
<i>Cressa cretica</i>	.	.	+	.	.	1	4
Thérophytes							
<i>Salicornia senegalensis</i>	.	.	1	.	.	1	50
Herbacée volubile							
<i>Oxystelma bornouense</i>	.	.	.	.	1	1	50
Hélophytes de la phase d'inondation							
<i>Schoenoplectus litoralis</i>	2					1	300
<i>Typha domingensis</i>				1			50
<i>Bolboschoenus maritimus</i>				1		1	50

A : Relevés sur les sols salins, 6 mars 1997 (anciennes mangroves). B : relevés en amont du barrage de Diama, 5 mars 1997 (sur des sols non salins)

A Guembeul, zone anciennement occupée par une mangrove, on rencontre également dans le groupement, *Sesuvium portulacastrum*, *Arthrocnemum macrostachyum*, *Sporobolus robustus*, *Avicennia germinans*, *Zygophyllum waterlotii*, *Cressa cretica*, *Blutaparion vermiculare*, *Salicornia senegalensis*. Ces espèces indiquent qu'il subsiste dans le sol d'importantes quantités de sels.

La mangrove atteint à cette latitude son extension la plus septentrionale en Afrique de l'ouest. *Tamarix senegalensis* couvrirait actuellement les vastes surfaces qu'occupaient jadis *Avicennia* à des époques plus humides (Marius, 1985). *Avicennia germinans* et surtout *Rhizophora racemosa* sont en régression nette.

2. Groupement à *Arthrocnemum macrostachyum*

Arthrocnemum macrostachyum est une plante ligneuse, haute de 10 cm à 1 m, avec des tiges à rameaux semblant articulés. Les articles sont les uns au bout des autres. La plante est très fréquente dans le delta. La composition du groupement est donnée dans le tableau 13.

Tableau 13 - Groupement à *Arthrocnemum macrostachyum*

Numéro de relevé	10	2	5	13	17		
Recouvrement en %	80	40	70	40	20		
Hauteur du plan d'eau(cm)	0	0	0	0	0		
Nombre des espèces	6	4	3	3	3	P	CR
Strate haute							
Ligneux caractéristique							
<i>Arthrocnemum macrostachyum</i>	2	2	3	2	1	5	1700
Autres ligneux							
<i>Tamarix senegalensis</i>	1	.	.	+	1	3	104
<i>Avicennia germinans</i>	+	.	.	.	+	2	8
Strate basse							
Chaméphyte rampant							
<i>Sesuvium portulacastrum</i>	+	+	2	.	.	3	308
Hémicryptophyte							
<i>Sporobolus robustus</i>	2	+	2	.	.	3	604
Thérophyte							
<i>Salicornia senegalensis</i>	.	.	.	+	.	1	4
Géophyte							
<i>Cressa cretica</i>	.	+	.	.	.	1	4
Hélophyte de la phase d'inondation							
<i>Schoenoplectus litoralis</i>	3	.	.	.	.	1	750

Relevés sur les sols salins, ancienne mangrove (Guembeul, 6 mars 1997) ; P = Présence et CR = Coefficient de recouvrement.

Adam (1965) a signalé, en plus du groupement à *Arthrocnemum macrostachyum*, le groupement à *Sesuvium portulacastrum* qu'il considère comme très voisin. *Sesuvium portulacastrum* forme effectivement de petites pelouses discontinues surtout vers la terre ferme. Trochain (1940) a observé ce groupement, avec quasiment la même composition, végétant sur un sol argileux. Kassas (1977) a mentionné ce groupement dans la région côtière de la Mer Rouge au Sahara (Schnell 1977).

B. Milieux d'eau douce

1. Groupement à *Bolboschoenus maritimus*

Bolboschoenus maritimus est une plante vivace par ses rhizomes. Elle s'installe généralement dans les zones marécageuses. Elle a été rencontrée à Savoigne dans la frange externe de la végétation soumise à une submersion temporaire. La plante a été également observée dans une ancienne rizière à Débi où elle paraît atteindre son développement optimal dans notre zone d'étude. La composition du groupement est indiquée dans le tableau 14. Le groupement s'installe dans un plan d'eau d'environ 30 cm de profondeur.

Tableau 14 - Groupement à *Bolboschoenus maritimus*

Numéro de relevé	126	127	124	129	125	140	135	137	41		
Recouvrement en %	90	90	90	80	90	70	70	70	80		
Hauteur du plan d'eau (cm)	25	25	25	28	26	23	22	30	0		
Nombre des espèces	5	3	4	4	3	6	5	3	2	P	CR
Hélophytes de la phase d'inondation											
Géophytes à rhizome											
<i>Bolboschoenus maritimus</i>	5	5	5	4	4	3	3	3	3	9	5972
<i>Typha domingensis</i>	.	.	1	+	3	2	2	.	.	5	780
<i>Cyperus alopecuroides</i>	1	1	.	.	.	+	+	.	.	4	60
<i>Phragmites australis</i>	.	.	.	1	.	.	.	.	.	1	28
Chaméphytes rampants											
<i>Aeschynomene indica</i>	2	.	.	.	.	.	+	.	.	2	168
<i>Echinochloa pyramidalis</i>									1	1	28
Autres hélophytes											
<i>Diplachne fusca</i>	.	.	.	.	.	1	.	.	.	1	28
<i>Ammania auriculata</i>	+	.	.	.	.	.	.	1	.	2	30
<i>Cyperus difformis</i>	.	.	+	.	.	+	.	.	.	2	4
Hydrophyte flottant en surface											
<i>Azolla pinnata</i>	+	.	+	2	+	.	1	+	.	6	203
Strate Haute											
<i>Tamarix senegalensis</i>	.	.	.	.	.	1	.	.	.	1	28
<i>Ludwigia erecta</i>	.	1	.	.	.	.	.	.	.	1	28

Relevés 124, 125, 126, 127, 129, 135, 137, 140, 141 et 142 (Débi, 5 mars 1997). Relevé 41 (Savoigne, près de St Louis, 4 mars 1997) ; P = Présence et CR = Coefficient de recouvrement.

Adam (1960) a mentionné que *Bolboschoenus maritimus* ne semble pas s'installer dans les rizières normalement entretenues. L'espèce a été signalée comme ubiquiste des stations marécageuses et faciès du groupement à *Echinochloa stagnina* et *Vossia cuspidata* (Trochain, 1940). Cette Cyperaceae a été mentionnée dans le groupement à *Nymphaea lotus* dans la région du lac de Guiers s'installant dans la frange externe vers la terre ferme (Thiam, 1984). Sarr (1996) a signalé ce groupement dans la basse vallée du Ferlo récemment mise en eau.

2. Groupement à *Cyperus alopecuroides*

Cyperus alopecuroides, un macrophyte émergent, vivace de 1 à 1,15 m de haut (Lebrun, 1947), se développe dans une lame d'eau comprise entre 0 et 50 cm. La composition du groupement est donnée dans le tableau 15.

Tableau 15 - Groupement à *Cyperus alopecuroides*

Numéro de relevé	99	45	43	134	22	42		
Recouvrement en %	100	50	60	70	70	50		
Hauteur du plan d'eau(cm)	25	37	17	30	39	0		
Nombre des espèces	8	4	5	5	4	2	P	CR
Strate basse								
Géophytes à rhizome								
<i>Cyperus alopecuroides</i>	3	3	3	3	3	3	6	3750
<i>Typha domingensis</i>	.	.	.	.	2	.	1	250
<i>Bolboschoenus maritimus</i>	.	.	.	2	.	.	1	250
Hémicryptophyte								
<i>Oxycaryum cubense</i>	1	.	.	.	.	.	1	42
Chaméphytes rampants								
<i>Ludwigia stolonifera</i>	2	1	+	.	.	.	3	295
<i>Vossia cuspidata</i>	2	.	.	.	.	.	1	250
<i>Ipomoea aquatica</i>	+	.	.	.	1	.	2	45
<i>Polygonum senegalense</i>	1	.	.	.	+	.	2	45
<i>Neptunia oleracea</i>	.	.	1	.	.	.	1	42
<i>Echinochloa pyramidalis</i>	.	.	+	.	.	.	1	3
Autres Hélophytes								
<i>Oryza longistaminata</i>	+	.	.	.	.	.	1	3
<i>Diplachne fusca</i>	.	.	.	1	.	.	1	42
Hydrophytes								
Hydrophyte flottante libre								
<i>Azolla pinnata</i>	2	+	.	+	.	+	4	260
Hydrophyte flottante immergée								
<i>Utricularia stellaris</i>	.	+	+	.	.	.	2	6
Strate Haute								
<i>Ludwigia erecta</i>	.	.	.	1	.	.	1	42

Relevés 42, 43, 45 (Savoigne, 4 février 1997). Relevé 99 (Taoué, 5 mars 1997). Relevé 22 (Djoudj, 5 mars 1997). Relevé 134 (Debi, 5 mars 1997) : P = Présence et CR = Coefficient de recouvrement.

3. Groupement à *Cyperus articulatus*

Cyperus articulatus est une Cyperacée à tige cylindrique articulée ayant l'apparence et la consistance d'un jonc, présente un aérénchyme bien développé. Son envahissement est à éviter, surtout dans les rizières du fait de cet aérénchyme robuste difficile à éliminer (Adam, 1960). *Cyperus articulatus* a été rencontré surtout à Diama dans un plan d'eau n'excédant pas 50 cm de profondeur. A Ouassoul, il est clairsemé dans le peuplement à *Typha domingensis*. La composition du groupement est indiquée dans le tableau 16.

Tableau 16 - Groupement à *Cyperus articulatus*

Numéro de relevé	63	112	81	111	80		
Recouvrement en %	90	70	100	80	100		
Hauteur du plan d'eau (cm)	22	45	34	57	53		
Nombre d'espèces	6	5	5	4	4	P	CR
Strate basse							
Géophytes à rhizome							
<i>Cyperus articulatus</i>	3	3	3	3	4	5	4250
<i>Phragmites australis</i>	.	2	.	.	+	2	304
<i>Cyperus alopecuroides</i>	.	2	.	2	.	2	600
<i>Typha domingensis</i>	1	.	.	+	.	2	754
Chaméphytes rampants							
<i>Paspalum vaginatum</i>	1	.	2	.	.	2	350
<i>Paspalidium geminatum</i>	+	1	+	+	+	5	66
<i>Ludwigia stolonifera</i>	2	.	.	.	.	1	300
<i>Ipomoea aquatica</i>	.	+	1	.	.	2	54
Hydrophyte flottante libre							
<i>Azolla pinnata</i>	1	.	3	.	3	3	1550

Relevés 63, 80, 81 (Diamas, 2 février 1997). Relevés 111, 112 (Ouassoul, 5 mars 1997) ;
P = Présence et CR = Coefficient de recouvrement.

Cyperus alopecuroides figure dans le cortège floristique de l'association à *Cyperus articulatus* et *Asteracantha longifolia* décrit par Lebrun (1947) au Zaïre, qui la considère comme une espèce ubiquiste des régions tropicales et caractéristique préférée du *Cypereto-Asteracanthetum*.

Cyperus articulatus a été mentionné par Trochain (1940) comme espèce compagne du groupement à *Paratheria prostrata*.

4. Groupement à *Phragmites australis*

Phragmites australis est un héliophyte, vivace, à rhizomes profonds, dressé et atteignant 4m de haut. Il a été observé dans la végétation du fleuve à une profondeur d'eau de 0,75 à 1 m. Le cortège floristique est donné dans le tableau 17.

Tableau 17 - Groupement à *Phragmites australis*

Numéro de relevé	118	116	69	30	26	68	33	28	27	25	76	32		
Recouvrement en %	90	90	90	30	50	90	100	80	70	100	90	70		
Hauteur du plan d'eau (cm)	46	44	100	115	94	92	74	90	89	93	81	113		
Nombre des espèces	6	4	4	5	4	3	3	3	3	3	3	2	P	CR
Strate basse														
Géophytes à rhizome														
<i>Phragmites australis</i>	4	4	4	2	3	4	5	4	3	4	5	4	12	5854
<i>Typha domingensis</i>	1	2	2	2	1	.	2	.	.	3	.	+	8	856
<i>Cyperus articulatus</i>	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	125
<i>Cyperus alopecuroides</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	1	3
Hémicryptophyte														
<i>Oxycarium cubense</i>	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	2
Chaméphytes rampants														
<i>Paspalidium geminatum</i>	.	.	1	.	.	1	.	.	.	.	1	.	3	62
<i>Ipomoea aquatica</i>	.	+	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	2	3
<i>Ludwigia stolonifera</i>	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	20
Herbacée volubile														
<i>Oxystelma bornouense</i>	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	20
Hydrophytes														
Hydrophytes flottantes libres														
<i>Azolla pinnata</i>	+	.	+	+	+	+	.	+	+	.	1	.	8	32
<i>Pistia stratiotes</i>	.	.	.	.	+	.	.	3	.	.	.	.	2	314
Hydrophytes flottantes immergées														
<i>Potamogeton schweinfurthii</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	+	1	.	.	2	22
<i>Potamogeton octandrus</i>	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	1	3
Hydrophytes feuilles flottantes en surface														
<i>Nymphaea micrantha</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	1	20

Relevés 116, 118 (Ouassoul, 5 mars 1997). Relevés 33, 30, 28, 27, 26, 25, 32 (Djoudj, 5 mars 1997). Relevés 76, 69, 68 (Diama, 5 février 1997) ; P = Présence et CR = Coefficient de recouvrement.

Thiam (1984) a décrit un groupement analogue à *Phragmites australis* dans le lac de Guiers.

5. Groupement à *Typha domingensis*

Typha domingensis est également un héliophyte émergent et robuste dépassant 3 m de haut sur les rives du fleuve et des cours d'eau dans le delta. La typhaie donne une physionomie particulière au paysage végétal. Elle occupe de vastes étendues. La composition floristique du groupement est donnée dans le tableau 18. Le groupement se développe dans un plan d'eau de 0 à plus d'1 m de profondeur. L'exubérance de l'héliophyte est tel qu'il pose des problèmes

d'accès à l'eau et constitue un gîte recherché par les oiseaux granivores. Depuis quelques années, des actions de lutte contre la plante sont mises en œuvre dans le Delta.

Tableau 18 - Groupement à *Typha domingensis*

Numéro de relevé	38	117	34	109	52	67	54	24	29	123	78	23		
Recouvrement en %	60	100	100	90	90	90	90	100	60	60	60	100		
Hauteur du plan d'eau (cm)	25	28	40	59	34	77	63	70	96	16	67	76		
Nombre des espèces	7	7	6	6	5	4	4	4	4	3	3	2	P	CR
Strate basse														
Géophytes à rhizome														
<i>Typha domingensis</i>	3	5	3	4	4	4	5	5	4	2	3	3	12	5646
<i>Phragmites australis</i>	+	+	1	.	.	1	.	1	1	.	.	.	6	88
<i>Cyperus alopecuroides</i>	.	1	.	2	2	.	.	.	.	.	.	.	3	271
<i>Cyperus articulatus</i>	.	1	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	2	146
<i>Bolboschoenus maritimus</i>	1	.	2	.	.	.	.	.	.	1	.	.	3	167
Hémicryptophyte														
<i>Sporobolus robustus</i>	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	2
<i>Oxycarium cubense</i>	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	21
Chaméphytes rampants														
<i>Paspalidium geminatum</i>	.	.	.	1	.	2	.	.	.	.	1	.	3	166
<i>Ipomoea aquatica</i>	.	.	1	.	+	.	.	+	.	.	.	.	3	24
<i>Ludwigia stolonifera</i>	.	1	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	2	42
<i>Echinochloa stagnina</i>	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	1	21
<i>Commelina sp</i>	.	.	.	.	1	.	1	.	.	.	.	.	2	42
Herbacée volubile														
<i>Oxystelma bornouense</i>	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	1	2
Hydrophytes														
Hydrophyte flottante libre														
<i>Azolla pinnata</i>	+	+	+	+	+	+	.	+	+	2	2	+	11	268
Hydrophyte fixée à feuilles flottantes														
<i>Nymphaea lotus</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	2	.	.	.	1	125
Strate haute														
<i>Tamarix senegalensis</i>	2	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	250
<i>Ludwigia erecta</i>	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	125

Relevés 23, 29, 24, 34, 38 (Djoudj, 5 mars 1997). Relevés 67, 78, (Diamas, 5 février 1997). Relevé 123 (Debi, 5 mars 1997). Relevés 54, 52 (Savoigne, 4 février 1997). Relevés 117, 109 (Ouassoul, 5 mars 1997) ; P = Présence et CR = Coefficient de recouvrement.

Le groupement à *Typha domingensis* a été signalé par plusieurs auteurs en plusieurs endroits au Sénégal et en Afrique: Trochain (1940), Adam (1964), Thiam (1984) dans le lac de Guiers, Sarr (1996) dans la basse vallée du Ferlo récemment mis en eau et Raynal (1963) dans le lac Tanma. Des peuplements de *Typha domingensis* ont été signalés dans le Nil (Zaharan & Willis, 2003), le delta du fleuve Niger (Wild, 1961), le Bas - Bénin occidental (Paradis, 1981).

6. Groupement à *Azolla pinnata* et *Ludwigia stolonifera*

Azolla pinnata est une petite fougère qui flotte librement à la surface de l'eau. *Ludwigia stolonifera* est une herbe vivace enracinée dans la vase ou le sable à tiges rampantes qui flottent également à la surface de l'eau grâce à des racines transformées en organes flotteurs blanchâtres.

Ces deux espèces caractéristiques du groupement préfèrent les eaux relativement calmes. La composition floristique du groupement est donnée dans le tableau 19. Dans les zones de Savoigne, Richard Toll, Diama et Ouassoul fréquentées par les populations locales, il y a une importante extension d'*Azolla pinnata* et de *Ludwigia adscendens*. *Azolla pinnata* constitue ça et là un tapis flottant duquel émergent les tiges de *Ludwigia stolonifera* et bien d'autres herbes de grande taille. Cependant, *Azolla africana* est entraîné par le vent dans les eaux plus profondes où il est retenu par *Phragmites* et *Typha domingensis* formant une strate discontinue de très faible recouvrement. Le groupement se développe dans un plan d'eau variant entre 0 et 0,75 m de profondeur. *Pistia stratiotes* fait partie de ce groupement.

Le groupement à *Azolla pinnata* n'avait pas été signalé jusqu'ici dans le delta.

Lebrun (1947) mentionne au Zaïre *Ludwigia stolonifera* (= *Jussieua repens*), une caractéristique locale de l'association à *Pistia stratiotes* et *Lemna paucicostata*. Il a également mentionné que cette espèce paraît bien adaptée aux conditions synécologiques propres au *Lemno-Pistietum*. Schnell (1977) a décrit une association à *Jussieua repens* et *Enhydra fluctuans* au Zaïre. *E. fluctuans* n'a pas été rencontrée dans le delta du fleuve Sénégal. Thiam (1984) a décrit un groupement à *Pistia stratiotes* et *Ludwigia stolonifera* dans le lac de Guiers.

Tableau 19 - Groupement à *Azolla pinnata* et *Ludwigia stolonifera*

Numéro de relevé	91	21	47	46	95	87	120	90	89	44	98	62	51	61	83	93	50	82		
Recouvrement %	100	60	80	80	100	90	100	90	90	70	100	100	90	70	100	90	80	80		
Hauteur du plan d'eau cm	8	15	65	61	25	130	24	24	47	25	7	16	66	68	69	8	73	23		
Nombre d'espèces	7	7	6	6	6	6	6	5	5	5	5	5	5	5	4	4	3	3	P	CR
Strate basse																				
Chaméphytes rampants																				
<i>Ludwigia stolonifera</i>	1	1	3	3	2	3	3	3	3	3	2	2	5	3	3	3	4	2	18	3278
<i>Vossia cuspidata</i>	1	.	.	.	.	2	.	+	+	.	.	.	.	.	+	2	.	1	7	197
<i>Ipomoea aquatica</i>	.	1	1	.	+	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	4	43
<i>Echinochloa pyramidalis</i>	1	3	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3	305
<i>Echinochloa stagnina</i>	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	1	1	.	.	.	.	3	42
<i>Polygonum senegalense</i>	.	.	.	.	2	+	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	3	85
<i>Commelina sp</i>	3	.	.	.	.	.	.	+	+	.	.	.	+	.	.	.	.	.	4	211
<i>Ipomoea asarifolia</i>	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	14
<i>Paspalum vaginatum</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	1	83
<i>Paspalidium geminatum</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	1	1
<i>Neptunia oleracea</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	1	.	.	.	.	2	15
Hémicryptophyte																				
<i>Sporobolus robustus</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	1	1
<i>Oxycaryum cubense</i>	+	.	.	.	2	1	+	2	3	.	1	.	.	.	1	+	.	.	9	420
Thérophyte																				
<i>Eragrostis gangetica</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	1	14
Géophytes à rhizome																				
<i>Cyperus alopecuroides</i>	.	.	1	1	+	.	.	.	.	2	.	.	1	.	.	.	.	.	5	126
<i>Typha domingensis</i>	.	+	.	.	.	.	2	.	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	3	167
<i>Phragmites australis</i>	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	1
<i>Bolboschoenus maritimus</i>	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	14
<i>Cyperus articulatus</i>	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	14
Hydrophytes																				
Hydrophyte flottant en surface																				
<i>Azolla pinnata</i>	3	.	2	1	+	4	3	3	3	1	+	4	3	+	+	4	3	+	4	18
Hydrophyte fixée à feuilles flottantes																				
<i>Nymphoides indica</i>	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	83
<i>Nymphaea lotus</i>	.	.	.	.	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	208
Hydrophytes flottantes immergées																				
<i>Utricularia stellaris</i>	.	.	.	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	2
Strate Haute																				
<i>Tamarix senegalensis</i>	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	83

Relevé 21 (Djoudj, 5 mars 1997). Relevé 62 (Diama, 5 février 1997). Relevé 120 (Ouassoul, 5 mars 1997). Relevés 87, 93, 90, 91, 98, 95, 89, 83 et 82 (Taoüey, 5 mars 1997). Relevés 47, 46, 51, 61, 50 et 44 (Savoigne, 4 février 1997) ; P= Présence et CR = Coefficient de recouvrement.

7. Groupement à *Potamogeton octandrus*

Potamogeton octandrus est une hydrophyte immergée, avec des tiges avec des entre-nœuds et des feuilles souples souvent très longues. Les épis sont dressés au-dessus de l'eau.

La plante s'installe dans un plan d'eau profond dépassant quelquefois 1,50 m dans les plaines inondées du fleuve et des marigots dans le delta. Il peut cependant en période de décrue

subsister à une faible profondeur d'eau. Le cortège floristique du groupement est donné dans le tableau 20.

Tableau 20 - Groupement à *Potamogeton octandrus*

Numéro de relevé	58	60	122	31		
Recouvrement en %	90	80	70	60		
Hauteur du plan d'eau (cm)	100	110	70	120		
Nombre des espèces	3	2	2	2	P	CR
Hydrophyte fixée immergée						
<i>Potamogeton octandrus</i>	5	3	4	4	4	6250
Hydrophyte fixées à feuilles flottantes						
<i>Nymphoides indica</i>	.	3	.	.	1	938
Hydrophyte flottante immergée						
<i>Utricularia stellaris</i>	1	.	.	.	1	62
Hélophytes de la phase d'inondation						
Chaméphyte rampant						
<i>Echinochloa stagnina</i>	+	.	.	.	1	5
Géophytes à rhizome						
<i>Typha domingensis</i>	.	.	1	.	1	62
<i>Phragmites australis</i>	.	.	.	+	1	5

Relevé 31 (Djoudj, 5 mars 1997). Relevés 58, 60 (Savoigne, 4 mars 1997). Relevé 122 (Ouassoul, 5 mars 1997) ; P = Présence et CR = Coefficient de recouvrement.

Les fragments de *Potamogeton schwenfurthii* ont été observés uniquement au niveau du Djoudj. Les deux espèces *Potamogeton schwenfurthii* et *Potamogeton octandrus* n'ont pas été signalées par Trochain (1940 ; 1956), Adam (1964), Thiam (1984). L'envahissement du lac de Guiers par *Potamogeton schweinfurthii* a été étudié (Thiam et Ouattara, 1997). *Potamogeton schweinfurthii* et *Potamogeton octandrus* ont été observés dans la basse vallée du Ferlo (Sarr, 1996). Les *Potamogeton* sont en expansion rapide dans l'ensemble du delta. Ceci est à mettre en relation avec l'adoucissement progressif des eaux et leur stabilité dans le temps.

L'analyse des groupements végétaux des milieux humides a permis de reconnaître sept groupements végétaux qui se répartissent en végétation des milieux salés et en végétation des eaux douces. La végétation des milieux salés comprend le groupement à *Tamarix senegalensis* et à *Arthrocnemum macrostachym*. Le premier occupait naguère de vastes étendues dans le delta mais subit actuellement une régression importante dans les zones envahies par l'eau douce. La végétation des milieux d'eaux douce comprend dans les parties hautes des rives du fleuve le groupement à *Phragmites australis*, suivent ensuite, en eau peu profonde le groupement à *Cyperus alopecuroides*, le groupement à *Cyperus articulatus*, le groupement à *Bolboschoenus maritimus*. Les peuplements à *Typha* se développent à des

hauteurs d'eau variable pouvant aller jusqu'à 1,5 m. En avant de la ceinture à *Typha*, se développe le groupement à *Azolla pinnata* et *Ludwigia stolonifera* qui peut être fragmenté par l'action des vents et des vagues. Ceux-ci peuvent déplacer *Azolla* sur de grandes distances. Le groupement à *Potamogeton octandrus* se situe vers le large. Les potamots se développent massivement dans le fleuve et le lac et indiquent une baisse importante de la salinité des eaux. *Potamogeton octandrus* semble plus étendu dans le fleuve alors que dans le lac de Guiers, c'est *Potamogeton schweinfurthii* qui est en pleine extension.

Une synthèse des principales caractéristiques des groupements reconnus en milieu salé et en milieu faiblement salé ou non est présentée dans le tableau 21.

Pour les groupements halophiles, le sol peut être basique ou acide. La matière organique est relativement élevée; les sols sont souvent lourds, riches en argile avec de faible quantité de matière organique.

Les groupements des milieux humides faiblement salés et doux sont les plus étendus ; il y a un dessalement progressif des sols dans les milieux humides.

Les groupements dominés par les Cyperaceae se développent dans les eaux peu profondes, la lame d'eau oscille entre 30 et 60 cm pour ces groupements.

Les macrophytes flottants se développent dans les eaux douces faiblement courantes. Les espaces vides entre les peuplements constituent les zones où s'installent ces plantes qui voguent au gré des vents et des courants d'eau.

Les potamots sont les seuls macrophytes que l'on rencontre dans les eaux très profondes (3m).

Tableau 21- Quelques caractéristiques des groupements végétaux en milieux humides salés et très faiblement salés/doux

Type de milieux	Groupe végétal	Caractéristiques écologiques	
Humides et salés	Gr. à <i>Tamarix senegalensis</i>	Sol humide pouvant être sec. Faible lame d'eau temporaire	Eau : conductivité élevée pH =8,2 Sol : sablo-argileux ; pH= 6,5 ; matière organique = 0,84 %
	Gr. à <i>Arthrocnemum macrostachyum</i>	Sol humide pouvant être sec. Faible lame d'eau, temporaire	Mêmes caractéristiques que précédemment. Substrat plus sec plus salé
Très faiblement salé/doux	Gr. à <i>Bolboschoenus maritimus</i>	Hauteur d'eau environ 30 cm	Supporte une légère salinité. Humidité du sol élevée et permanente. Lame d'eau
	Gr. à <i>Cyperus alopecuroides</i>	Hauteur d'eau environ 50 cm	Eaux douces faiblement courantes
	Gr. à <i>Cyperus articulatus</i>	Hauteur d'eau environ 60 cm	Eaux douces faiblement courantes
	Gr. à <i>Phragmites australis</i>	Hauteur d'eau jusqu'à 1 m	Eaux douces. Supporte une légère salinité
	Gr. à <i>Typha domingensis</i>	Hauteur d'eau jusqu'à 1,5m	Eaux douces. Supporte une légère salinité
	Gr. à <i>Azolla pinnata</i> et <i>Ludwigia stolonifera</i>	Hauteur d'eau indifférente (0 - 0,75m)	Eaux douces faiblement courantes
	Gr. à <i>Potamogeton octandrus</i>	Hauteur d'eau jusqu'à 1,5 m	Eaux douces faiblement courantes

3.4 Conclusion

La zonation de la végétation dépend fortement de la salinité du substrat, de la déclivité, de la hauteur d'eau et de la durée de la submersion. A la typhaie succède généralement la nymphea ensuite les potamots en eaux profondes. Les Cyperaceae et Poaceae peuvent être dominants de place en place.

Quelques groupements des milieux salés humides subsistent mais ceux des milieux faiblement salés voire doux sont en extension rapide.

La faible pente dans le delta et sur les rives du lac ainsi que l'abondance de l'eau douce ont été favorables à l'extension des peuplements de *Typha domingensis* qui imprime sa physionomie à la végétation des milieux humides de la zone. Il occupe de grandes étendues au détriment d'autres macrophytes notamment *Tamarix senegalensis* qui est éliminé progressivement. L'agressivité de *Typha domingensis* vis-à-vis des principaux macrophytes restent à préciser.

L'observation des groupements végétaux des milieux humides du delta indique que l'évolution des peuplements de macrophytes aquatiques est sous-tendue par plusieurs facteurs qui dépendent :

- de la dessalure du sol par avancée de la lame d'eau et la submersion du substrat plus ou moins longuement ;
- du comblement progressif des dépressions par sédimentation ;
- des vents et des courants d'eau ;
- de la dégradation du milieu et de la couverture végétale suite aux interventions de l'homme.

La prépondérance de l'un ou de l'autre de ces facteurs à un moment donné reste à établir et à étayer avec plus de données scientifiques.

En tout état de cause, les nouvelles conditions du milieu consécutives aux grands aménagements ont provoqué à des périodes différentes, l'importante extension des peuplements de *Typha domingensis*, *Pistia stratiotes*, *Potamogeton schweinfurthii*, et *Salvinia molesta*.

Nous étudions ci-après quelques aspects de la biologie et de l'écologie de ces macrophytes.

Chapitre 4 Macrophytes aquatiques proliférants

4.1. Introduction

Le développement excessif de certaines espèces végétales peut être source de problème plus ou moins sérieux dans les habitats aquatiques et les milieux humides dans plusieurs régions d'Afrique et du Monde (Holm *and al.*, 1977 ; Kornas, 1990; Anonyme, 1995b ; Diop et Triplet, 2000 ; Dutartre, 2004 ; Myers and Bazely, 2005 ; Beauvais *et al.*, 2006 ; Muller, 2006). Une multitude de problèmes environnementaux leurs sont associés. Le changement rapide des conditions environnementales entraînent généralement une augmentation de la diversité, de l'étendue et des impacts des espèces dites « envahissantes », invasives, proliférantes, etc. On se heurte ici aussi comme dans d'autres disciplines scientifiques à des problèmes de sémantiques et de définitions. Une terminologie précise et homogène serait nécessaire en matière d'introduction des espèces (Beisel et Levêque, 2010). La croissance excessive des macrophytes aquatiques entraîne également une augmentation des risques pour la santé à travers la formation d'habitats propices au développement de vecteurs de maladies humaines telles que le paludisme et la schistosomiase. Par ailleurs, la prolifération des végétaux augmente l'évapotranspiration accélérant ainsi les pertes d'eau dans une région semi aride où les végétaux, le bétail, la faune sauvage et les hommes en ont d'importants besoins en eau.

Nous qualifions dans ce travail de **proliférant** toute espèce végétale aquatique (autochtone, allochtone, exotique, importée,...) dont la pullulation dans les milieux naturels ou semi-naturels, provoque ou est susceptible de provoquer des nuisances. Nous appliquons le terme **invasion** à *Salvinia molesta*, la fougère exotique aquatique introduite volontairement dans la région. La prolifération des macrophytes est un élément de changement et est susceptible d'avoir des incidences sur la diversité biologique (espèces, populations et/ou écosystèmes).

Les nouvelles conditions écologiques dans le Delta depuis la mise en service des barrages ont été favorables à la prolifération excessive à des dates différentes de :

- *Typha domingensis* (hélrophyte) sur les berges et les rives du fleuve et du lac de Guiers, en eau peu profonde et également dans les zones basses inondables faiblement salées depuis le début des années 50;
- *Pistia stratiotes* (plante flottante libre) au début des années 90 dans le lac de Guiers et le Parc du Djoudj ;

- *Potamogeton schweinfurtii* (plante submergée) dans le lac de Guiers à des profondeurs d'eau de plus de 3 m ; elle est en extension dans les différents plans d'eau également depuis le début des années 90;
- et, *Salvinia molesta*, introduite dans la région à la fin des années 90 ; elle est devenue invasive.

En dehors de *Salvinia molesta*, les trois autres espèces sont autochtones.

Des données sur la biologie, notamment la reproduction, la multiplication, la phytomasse et l'écologie de ces macrophytes sont nécessaires dans la mise au point de méthodes de contrôle efficaces des plantes aquatiques proliférantes.

4.2 Multiplication et phytomasse de *Typha domingensis* Pers. dans le lac de Guiers

Typha domingensis Pers. a été signalé dans la région du delta en 1828 par Heudelot et Lelièvre et en 1833 par Perrottet (Trochain, 1940). La plante est très fréquente dans les différents milieux humides de la zone. Les observations au début des années 90 indiquent une extension importante du macrophyte dans le delta, le lac de Guiers et la Basse vallée du Ferlo (Sarr, 1996 ; Kuiseu, 1997 ; Thiam, 1998 ; Sarr, 2003). Les typhaies ont été estimées à 125 km² soit 12 500 ha dans le delta dans les années 90 (Hellsten *et al.*, 1999). A la même période, la propagation des peuplements de *Typha* a été de 8-10 % par an dans le Bas delta du fleuve Sénégal (GTZ, 2001). Ce développement exubérant des typhaies est consécutif à la mise en service des barrages de Diama et de Manantali sur le fleuve Sénégal qui ont occasionné, un adoucissement important des eaux et des hauteurs limnimétriques élevées toute l'année (Cogels *et al.*, 1993 ; Kuiseu, 1997 ; Thiam, 1998 ; Kuiseu *et al.*, 2001) (Figure 23 et Figure 24) mais également aux potentialités biologiques intrinsèques de reproduction et de multiplication par les voies sexuée et asexuée du macrophyte. Ces facteurs ont favorisé la prolifération de la plante (Cogels *et al.*, 1993 ; Thiam, 1998 ; GTZ, 2001).

Les typhaies produisent une phytomasse très importante (Thiam, 1998 ; GTZ, 2001). Elles obstruent les canaux, les plans d'eau, rendent difficile la navigation sur le fleuve et le lac et détruisent les habitats des poissons. Les peuplements de *Typha* qui colonisent les divers milieux humides de la région constituent également d'excellents gîtes pour les oiseaux granivores comme le *Quelea quelea* qui causent des dégâts sur les cultures ; et des vecteurs de maladies telles que la bilharziose et le paludisme (Grosmaire, 1957 ; Busnel et Grosmaire, 1958 ; Mullié *et al.*, 1999 ; GTZ, 2001).

Ainsi, le développement massif de *Typha domingensis* constitue une contrainte importante à l'exploitation et la valorisation des ressources en eau et en sols de vastes territoires aménagés ou aménageables du delta du fleuve et du lac de Guiers (Trochain, 1956 ; Grosmaire, 1957 ; Thiam, 1982 ; Thiam, 1998 ; GTZ, 2001). Il est dès lors important de rechercher des moyens efficaces de contrôle et écologiquement acceptables pour limiter les incidences négatives liées à la prolifération de la plante. Pour concevoir des méthodes de lutte appropriées, il est nécessaire de disposer de connaissances approfondies sur la biologie et l'écologie de la plante dans l'environnement particulier du delta et du lac de Guiers. C'est pourquoi, nous avons entrepris d'étudier :

- l'importance des différents modes de reproduction notamment à partir des graines contenues dans les sédiments du lac (reproduction sexuée) et des rhizomes (multiplication végétative) dans la prolifération de *Typha domingensis* ;
- la dynamique de la croissance et la phytomasse de la plante dans les conditions naturelles et expérimentales au niveau d'un dispositif installé sur les rives du lac de Guiers.



Figure 23 - Rideau dense de *Typha domingensis* dans le lac de Guiers (Ngnith, mai 1996)



Figure 24- Peuplement de *Typha domingensis* dans le fleuve Sénégal (mars 2002)

4.2.1 Matériels et méthodes

4.2.1.1 Dispositif expérimental

Le dispositif utilisé est constitué de bacs métalliques identiques, étanches, de dimension 1m x 1m (volume 1m³) et confectionnés à cette fin (Figure 25). Il est installé dans un champ protégé sur les rives du lac de Guiers aux environs du village de Ngnith dans la région centrale du lac. Le site est dégagé et aucun obstacle ne freine l'incidence des rayons solaires sur les bacs.

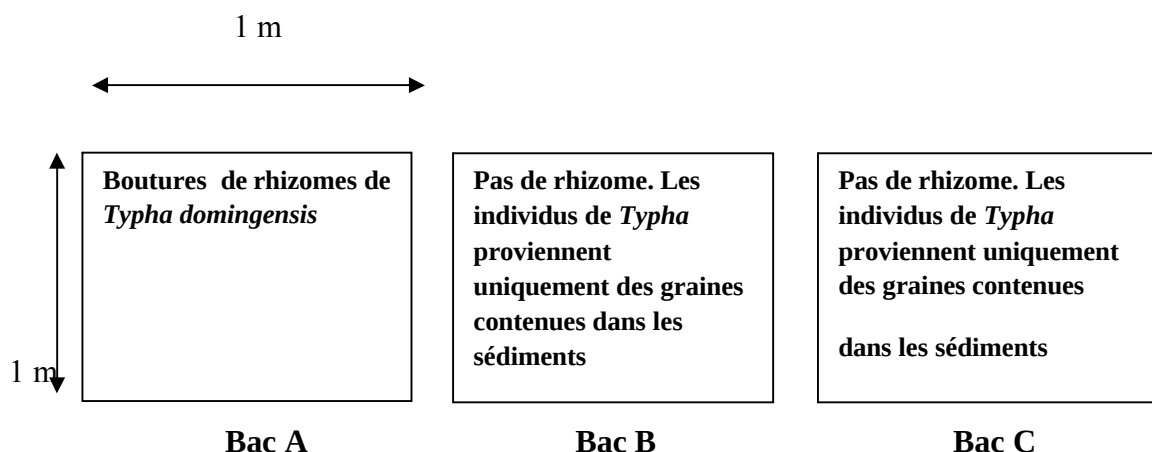


Figure 25 - Schéma du dispositif pour l'étude de *T. domingensis*.

Une couche de sédiments d'environ 15 cm d'épaisseur préparée en mélangeant plusieurs échantillons prélevés en divers endroits dans le lac aux alentours du village de Ngnith est déposée au fond de chaque bac. Un échantillon du mélange de sédiments mis dans les bacs a été analysé au laboratoire pour déterminer la granulométrie, la conductivité, le pH, la capacité d'échange cationique.

Après la mise en place du substrat, il a été apporté dans chaque bac de l'eau prélevée dans le lac et nécessaire pour maintenir le sol saturé d'eau. Pendant tout le déroulement des observations, les 3 bacs sont maintenus constamment saturés par apport d'eau du lac en fonction des besoins. La lame d'eau au-dessus du sol dans les bacs était toujours d'environ 10 cm. Aucun nutriment n'a été ajouté dans les bacs. Les plantes ont germé et se sont développées uniquement à partir des diaspores et des éléments nutritifs contenus dans les sédiments ou apportés lors des arrosages périodiques. L'eau apportée dans les bacs au début des observations avait les caractéristiques suivantes: Température= 26 °C; Conductivité: 379 µS; pH = 5,91.

4.2.1.2 Multiplication et croissance

- Reproduction végétative par les rhizomes

Dans le bac A, 2 rhizomes de *Typha domingensis* prélevés sur des individus vivants dans le lac ont servi d'ensemencement. Les caractéristiques des rhizomes sont les suivantes :

- rhizome 1: Ø= 22 mm; longueur = 59 cm ; poids = 96 g; 6 nœuds
- rhizome 2: Ø= 30 mm; longueur = 32,5 cm; poids = 65 g; 3 nœuds

- Reproduction sexuée par les graines

Dans les bacs B et C le seul maintien en permanence de l'humidité a provoqué la germination de graines de *Typha* contenues dans les sédiments. Aucun fruit, aucune graine ou rhizome de *Typha* n'ont été apportés. Tous les *Typha* des bacs B et C proviennent des graines (Figure 26).

Les autres espèces sont éliminées au fur et à mesure de leur apparition dans les bacs ; seuls les *Typhas* sont maintenus.

Pour les deux formes de reproduction, les observations ont consisté à noter environ tous les 10 jours l'apparition des *Typha* et de déterminer la hauteur maximale des plants dans les bacs.

- Croissance

Pour l'étude de la croissance, environ tous les 10 jours également, la hauteur, le nombre de feuille, la longueur, la largeur moyenne des feuilles, le diamètre à la base et la taille d'une dizaine d'individus retenus dès le début des observations dans le bac B, ont été mesurés. Les individus suivis sont identifiés au moyen d'une lettre de l'alphabet indiquée sur une étiquette attachée à la plante avec un fil.

Un ruban métallique est utilisé pour mesurer les hauteurs et un pied à coulisse pour déterminer la largeur des feuilles et le diamètre à la base des tiges.

Des mesures biométriques ont été effectuées également sur des individus dans des peuplements de *Typha* se développant dans le lac. Les comptages ont été faits dans des peuplements ouverts et accessibles ; il est impossible de pénétrer les peuplements denses surtout en pleine eau.

4.2.1.3 Phytomasse

Toute la matière végétale, aussi bien aérienne que souterraine du bac C a été récoltée après 151 jours de développement tandis que celles des bacs A et B ont été collectées après 248 jours. La phytomasse de *Typha domingensis* récoltée dans chaque bac est séparée en deux lots ; le premier lot est constitué par les feuilles et les tiges (phytomasse aérienne) et le second par les racines et les rhizomes (phytomasse souterraine). Le poids frais de chacun des lots est déterminé ainsi que le poids sec après séchage dans une étuve ventilée maintenue à la température de 85°C pendant 4

à 5 jours. Les poids secs obtenus permettent d'évaluer la phytomasse produite. En comparant les phytomasses de deux périodes, la productivité peut être estimée. En effet, la productivité des macrophytes est communément évaluée par la mesure des changements dans la biomasse (Westlake, 1965). Rappelons que les bacs ont été tout le temps maintenus dans les mêmes conditions au cours des observations.

Pour l'évaluation de la phytomasse en milieu naturel lacustre, des piquets en bois sont utilisés pour délimiter les placettes de 1 m² dans lesquelles sont effectuées les évaluations de la phytomasse (aérienne et souterraine). Quinze (15) placettes réparties sur l'ensemble du lac ont été échantillonnées. Des comptages et des mesures biométriques avec un ruban métallique ont été réalisés également sur les individus dans les placettes.



Figure 26 - Vue du bac B pour le suivi de la croissance de *Typha domingensis* provenant des graines.

Les individus suivis sont identifiés au moyen d'étiquettes attachés aux plantes.

4.2.2 Résultats et discussion

4.2.2.1 Caractéristiques pédologiques du substrat dans les bacs de culture

Les résultats des analyses pédologiques indiquent que le substrat des bacs dans lesquels les *Typha* se sont développés est à dominance de limon grossier. Il est moyennement pourvu en matières organiques qui ne s'accumulent pas ; la minéralisation est rapide. Les taux élevés en Mg et Na ont un effet dispersant sur les colloïdes (organiques et minéraux).

Le sol dans les bacs est faiblement acide à neutre. Il est bien pourvu en bases. La capacité d'échange est faible (texture sableuse). Il est moyennement pourvu en Ca et Mg. La teneur en potassium est normale cependant l'absorption de cet ion peut être entravée par l'excès relatif du Mg. En effet, la teneur en Mg dépasse de loin la norme qui est d'environ 0,17 méq. Le taux de sodium trouvé peut être relativement gênant pour les plantes. La carence en phosphore est prononcée.

En définitive, le sol mis dans les bassins d'expérimentation est à dominance de limons grossiers faiblement acide à neutre et moyennement pourvu en matière organique, saturé en bases. Il a une bonne saturation en Ca et K. Le sol est bien pourvu en azote mais l'absorption de cet élément par les plantes peut être entravée par le déficit relatif en phosphore. Il s'agit d'un sol hydromorphe minéral sur matériau sableux alluvionnaire.

4.2.2.2 Multiplication et croissance

Le nombre d'individus apparus est situé entre 110 et 250 plants par m² dans les bacs. Le plus grand nombre a été observé dans le bac où il y a eu transplantation de rhizome. Cela confirme la rapidité et le potentiel de la reproduction végétative par rapport à la reproduction sexuée. Sur la base des chiffres obtenus on peut estimer la densité potentielle du nombre d'individus par hectare entre 1 100 000 et 2 500 000. Bien entendu, dans la nature les densités sont beaucoup plus faibles compte tenu de la compétition entre les individus (compétition intraspécifique) et la concurrence d'autres espèces (compétition interspécifique) la disponibilité des nutriments et de l'eau indispensables au développement des plantes.

Les densités varient entre trente (30) et soixante-dix (70) individus par m² soit 300 000 et 400 000 individus à l'hectare dans les conditions naturelles lacustres où les peuplements paraissent stabilisés. La densité des *Typha* est très variable et dépend de la vigueur des individus qui s'installent, de la permanence de l'humidité et de la disponibilité des nutriments dans le sol.

Typha peut produire entre 70 000 et 700 000 fruits par inflorescence (Yeo, 1964). Un akène de *Typha domingensis* est présenté sur la Figure 74. La diaspore est pourvue d'un faisceau de poils légers qui favorisent la dissémination anémochore de la plante sur de grandes distances.

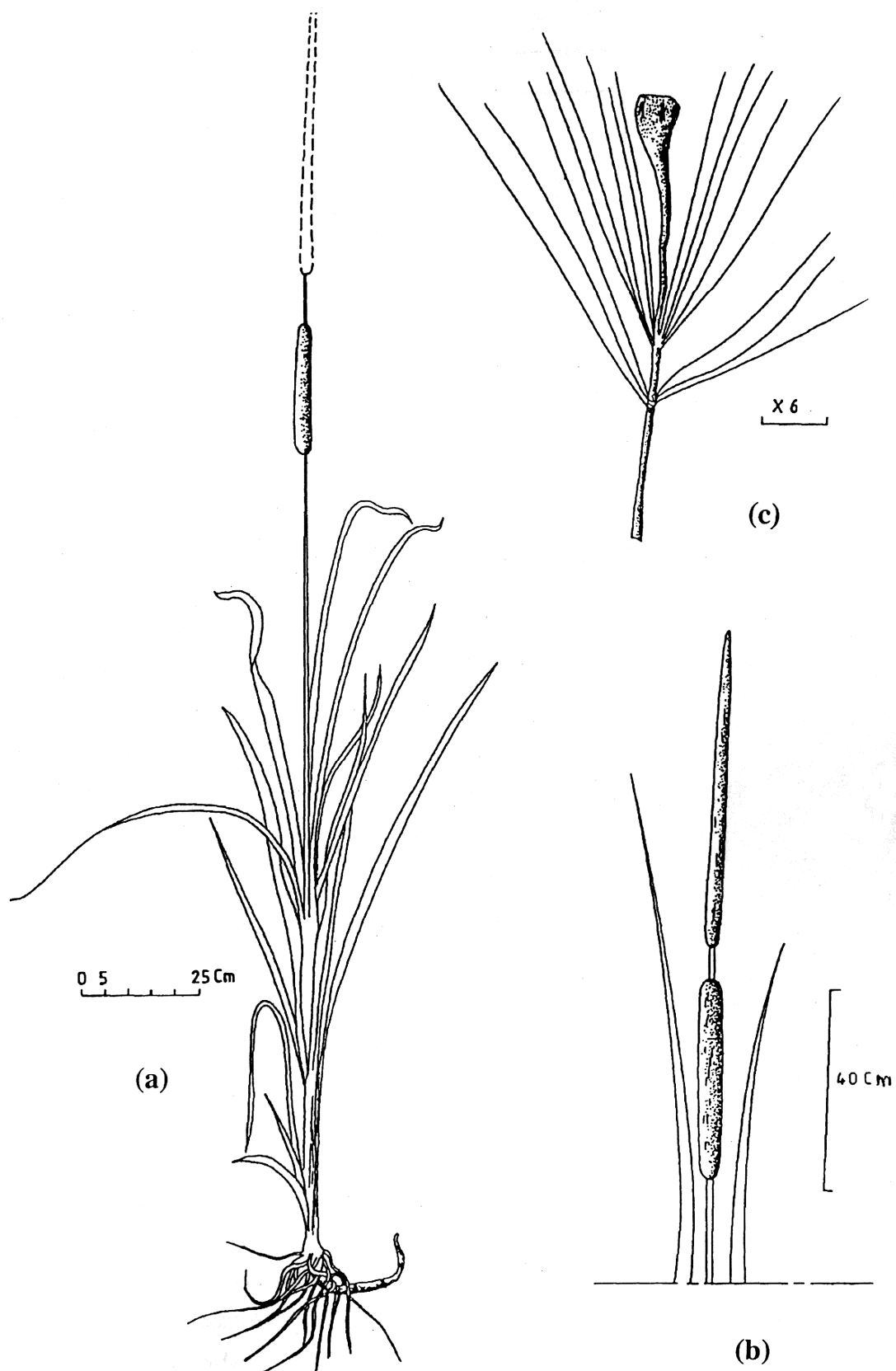


Figure 27 - *Typha domingensis* Pers. (a) Plante entière ; (b) Inflorescence : le gynécée se trouve en dessous de l'androcée qui disparaît à la maturité de l'épi ; (c) Fruit : un akène

Evans & Etherington (1991) ont rapporté que la moyenne du poids d'une graine de *T. latifolia* est de 0.03 mg. Les petites graines de *Typha* produites en abondance sont dispersées sur de grandes distances par le vent.

Les graines ont souvent un pouvoir germinatif élevé atteignant les 100% dans les bonnes conditions d'humidité et de luminosité (Faye, 2004). Pour germer, les graines ont besoin d'une humidité élevée du sol, d'une température élevée et d'une intense luminosité (Sifton, 1959 ; Lorenzen *et al.*, 2000). Une intensité lumineuse supérieure à 2500 lux est nécessaire pour une bonne germination et un bon développement de la plantule (Sharma and Gopal, 1979b). Les graines ne germent pas sous une lame d'eau de 50 cm à cause certainement d'un déficit en lumière (Gopal, 1982). Elles peuvent demeurer viables pendant une longue période (Bedish, 1967). La température optimale pour la germination de *Typha* se situe entre 25 et 35 °C (Sifton, 1959). L'oxygène n'est pas nécessaire à la germination (Sifton, 1959) ; en revanche, il est indispensable à la multiplication végétative par les rhizomes. Le pouvoir des graines à germer en anaérobiose constitue l'une des raisons de la dominance de *Typha* dans les biotopes aquatiques dulçaquicoles. La germination commence rapidement en milieu ouvert, aéré, ensoleillé avec une humidité élevée. Les conditions de luminosité et de température optimales pour une bonne germination de *Typha* sont remplies quasiment toute l'année dans la région du delta et le lac de Guiers.

Typha domingensis se propage rapidement au moyen des graines (Sharma & Gopal, 1979a). Des plants de *Typha* nés des graines ont fleuri la seconde année (Yeo, 1964). La reproduction par les graines paraît être limitée aux premiers stades de l'installation de la plante ; ensuite, la multiplication est surtout végétative.

La multiplication végétative à partir des rhizomes est prépondérante dans les peuplements déjà en place alors que la colonisation de nouveaux espaces s'effectue en grande partie par les graines qui sont produites en abondance dans toute la région durant la longue saison sèche et disséminées largement par les vents et les eaux. Des observations similaires ont été effectuées dans des typhaies aux Etats Unis. En effet, là également, les *Typha* colonisent les nouveaux sites par la dispersion des graines (Grace, 1987).

Dykyjova & Kvet (1978) ont indiqué qu'après la germination de *Typha domingensis*, la plante se multiplie par rhizomes sur des superficies atteignant 60 m² en l'espace de 2 ans. McNaughton (1966) et Grace (1984) ont trouvé qu'après l'occupation complète du milieu par *Typha*, la germination des graines peut être inhibée, le peuplement se maintient alors par multiplication

végétative. Les typhaies produisent de nombreux rhizomes et une litière très dense ; ce qui réduit l'opportunité pour d'autres plantes de s'établir ou de survivre dans le même espace.

Ainsi, la reproduction sexuée est essentielle pour la colonisation de nouveaux espaces mais les peuplements se maintiennent et s'étendent ensuite principalement par multiplication végétative.

Un sol saturé d'eau, pauvre en oxygène ne permettra pas le développement de nouveaux rhizomes à moins que l'oxygène soit acheminé en profondeur par les feuilles (GTZ, 2001). Pour se développer les rhizomes de *T. domingensis* ont besoin d'une humidité constante et un sol inondé pendant plusieurs mois. La plante préfère une eau calme de 1 m de profondeur environ (Adam, 1961). L'augmentation graduelle de la profondeur favorise le développement des rhizomes (Gopal, 1982). Dans le fleuve et le lac, la plante est rencontrée jusqu'à des profondeurs d'eau de 1,50 m.

S'il est vrai que le macrophyte disparaît des stations trop acides, elle résiste bien à un degré de salure des eaux ou du sol relativement élevé pourvu que les rhizomes soient toujours dans un sol saturé d'eau ; Trochain (1940) a trouvé des *Typha* dans des eaux à 5,8 pour mille de Na Cl. Différentes espèces de *Typha* sont connues comme modérément tolérant au sel (McMillan, 1959 ; Lombardi *et al.*, 1996).

Quand les peuplements sont bien établis, la plante tolère de conditions écologiques plus larges.

Le développement des *Typha* dans le delta et le lac de Guiers se fait activement aussi bien par voie sexuée que par la voie végétative.

Les hauteurs minimales, moyennes et maximales des plantes sont indiquées dans le tableau 22.

Tableau 22- Hauteurs minimales, moyennes et maximales de *Typha* dans les bacs de culture

	Bac A	Bac B	Bac C
	(rhizome <i>Typha</i>)	(graine <i>Typha</i>)	(graine <i>Typha</i>)
Hauteur moyenne (cm)	90	94,1	55
Hauteur minimale (cm)	20	18	13,5
Hauteur maximale (cm)	206	180	144
Ecart type	36,5	36,4	23,4

La hauteur maximale atteinte par *Typha* dans l'ensemble des bacs a été de 2 m au bout de 248 jours (Figure 28). Celle-ci est bien en deçà des 3,5- 4 m, mesurés en milieu naturel.

Au plan de la hauteur maximale atteinte par les plantes, il n'apparaît pas de différences significatives entre les bacs ensemencés et non ensemencés avec *Typha*.

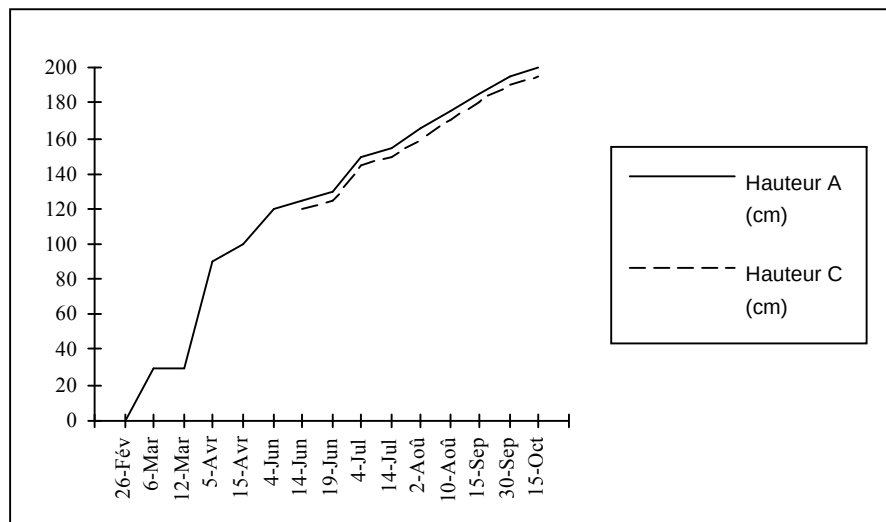


Figure 28 - Evolution de la hauteur maximale de *T. domingensis* dans les bacs A et C

Durant les 8 premiers jours après la germination, les plantes croissent peu. Il s'agit sans doute d'une période d'adaptation aux conditions expérimentales. Jusqu'au 20^{ème} jour la croissance est relativement faible. A partir de cette date, les plants se développent rapidement (près de 1 cm par jour). Elles restent cependant chétives dans les bacs car elles se développent uniquement à partir des réserves contenues dans le substrat qui s'épuisent progressivement. De nombreux individus meurent avant l'âge adulte.

Les mesures biométriques effectuées sur 10 individus suivis dans le bac C où les *Typha* proviennent uniquement des graines contenues dans le substrat ont donné les résultats présentés sur les graphiques ci-après :

Le nombre moyen maximal de feuille par individu a été de 9,8 (Ecart type 1,9) (Figure 29)

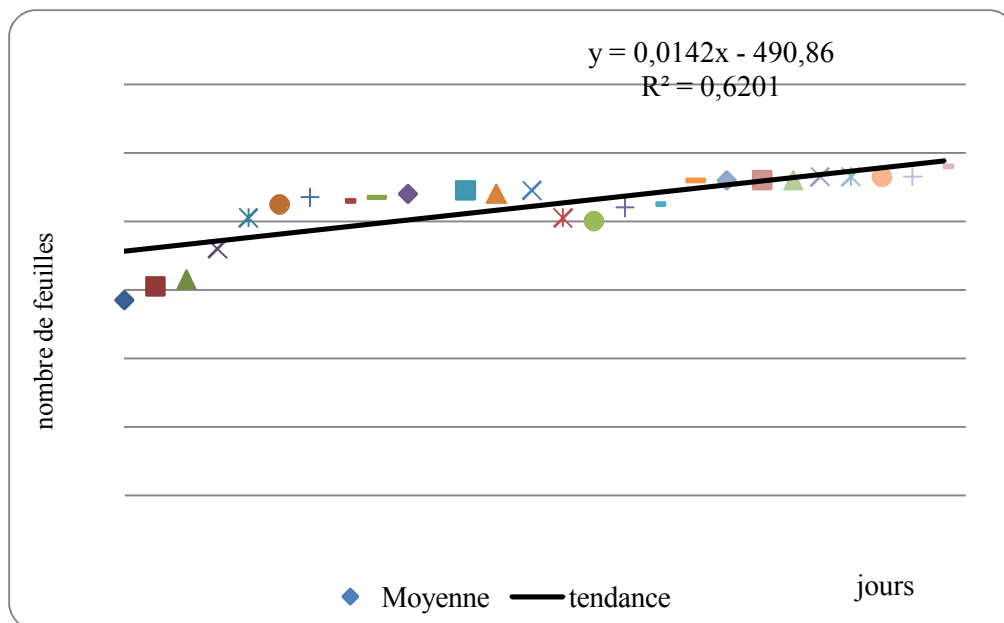


Figure 29 - Evolution moyenne du nombre de feuilles par individu de *Typha du bac C*

Il y a de grandes disparités entre les individus. La moyenne est de 10 feuilles par individus à l'âge adulte. Elle paraît fort variable.

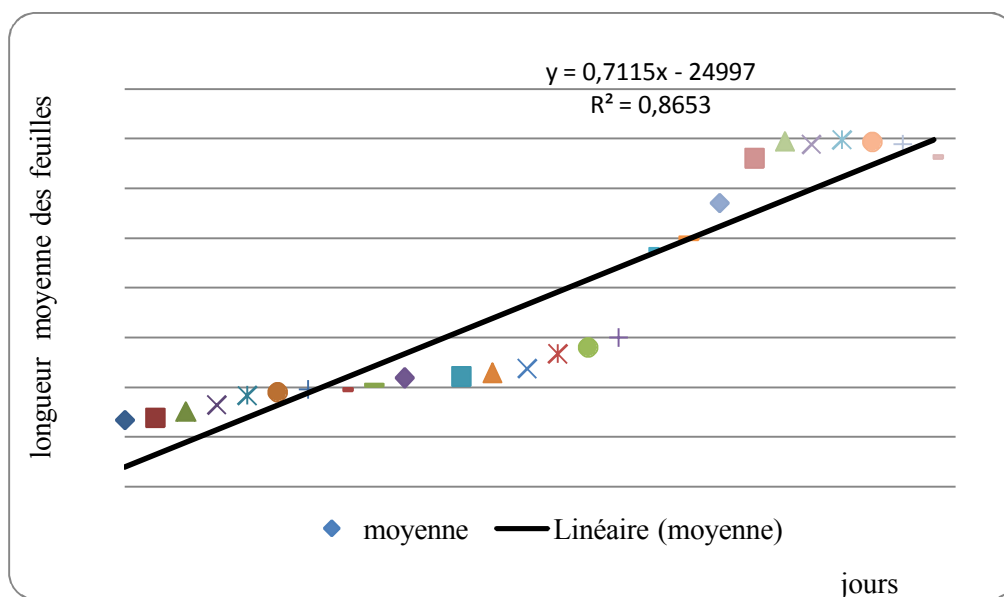


Figure 30 - Evolution moyenne de la longueur maximale des feuilles de *Typha du bac C*

La moyenne des longueurs maximales a été de 157,5 cm (Figure 30). Elle présente une bonne corrélation dans le temps.

La largeur maximale des mêmes feuilles a été de 8,43 mm (Ecart type 3,37) (Figure 31). Elle est atteinte rapidement et ensuite elle varie faiblement au cours du temps.

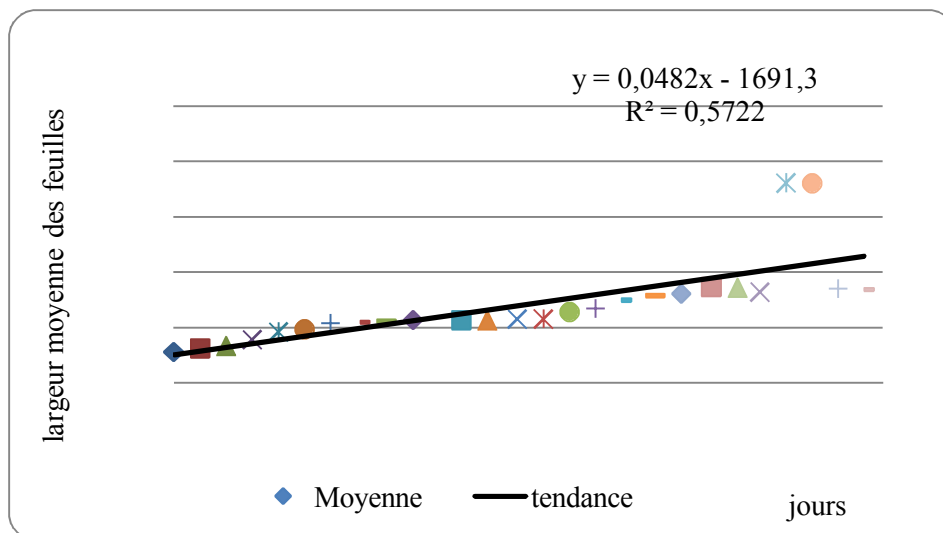


Figure 31 - Evolution de la largeur moyenne des feuilles de *Typha* du bac C

Le diamètre moyen à la base des individus de *Typha* est de 26,8 mm (Ecart type 6,7) (Figure 32). Il s'accroît au fur et à mesure du développement des plantes. Il est fortement corrélé à l'âge de la plante.

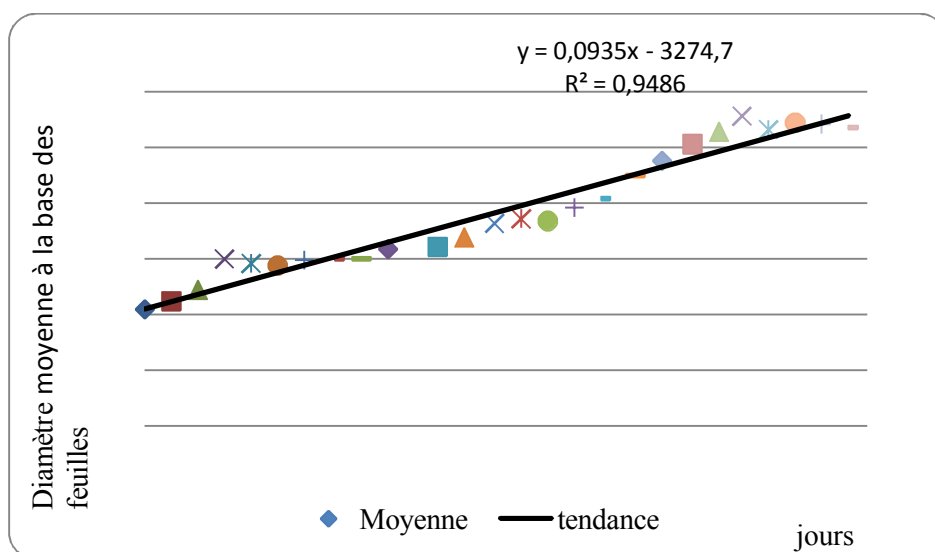


Figure 32 - Evolution moyenne du diamètre à la base de *Typha* du bac C

De façon générale, il y a une grande similarité dans l'évolution des paramètres de croissance des différentes parties suivies. L'accroissement le plus rapide a été observé au niveau de la longueur des feuilles, suivie du diamètre à la base des plantes. Les feuilles atteignent rapidement leur largeur maximale et ensuite celle-ci varie faiblement. La richesse du substrat en éléments

nutritifs et l'humidité sont des facteurs importants qui permettent au potentiel de croissance de la plante de s'exprimer.

4.2.2.3 Phytomasse

Les résultats des mesures de phytomasse de *Typha* dans les conditions expérimentales et les conditions naturelles sont indiqués dans le tableau 23.

Les accroissements de phyomasse obtenue dans les bacs où les *Typha* proviennent uniquement des graines a été de 7 g de matières sèches par m²/jour pendant les 5 premiers mois. La phytomasse aérienne était alors près de 3 fois plus faible que la phytomasse souterraine. Au 8^{ème} mois, les phyomasses souterraine et aérienne sont devenues pratiquement égales et représentaient respectivement 48% et 52%. La masse végétale totale produite est d'environ de 12 g/m²/jour.

Le développement des *Typha* à partir des rhizomes a montré une production végétale 2,5 fois plus importante soit près de 17 g de matières sèches/m²/jour au bout de 248 jours (8 mois).

En conditions naturelles dans le lac de Guiers, la production annuelle de *Typha domingensis* a été de 82 tonnes de matières sèches par hectare en moyenne dont 57 % est constituée par la phytomasse aérienne et 43 % par la phytomasse souterraine.

La comparaison des phytomasses de *Typha* obtenues dans les bacs B et C permet d'estimer la productivité de *Typha domingensis* dans nos conditions expérimentales sur les rives du lac de Guiers à **6590 g de matières sèches par m² et par an** (soit 65,9 tonnes par hectare et par an). L'estimation de la productivité des typhaies est beaucoup plus aisée dans les pays tempérés que dans les pays tropicaux, car dans les premiers la saison de végétation est bien délimitée dans le temps.

Les *Typha* se développant à partir des rhizomes produisent une masse végétale beaucoup plus importante et plus rapidement.

Tableau 23 – Phytomasse de *T. domingensis* en conditions expérimentales et naturelles

	Poids frais (g/m ²)	Poids sec (g/m ²)	Hydratation (% d'eau)	Phytomasse sèche (%)
BAC C (<i>Typha</i> à partir de graine) récolte après 150 jours				
Phytomasse aérienne (g/m ²)	1 164	245	79 %	23,30
Phytomasse souterraine (g/m ²)	3 580	809	77 %	76,70
Phytomasse totale (g/m ²)	4744	1 054	78 %	100,00
.....				
Accroissement moyen journalier				
Phytomasse (g/m ²)	32	7		
Moyenne phytomasse (g/m ²)	11 680	2 555		
.....				
Moyenne phytomasse (tonnes/ha)	116,8	25,5	78 %	
BAC B (<i>Typha</i> à partir de graines, récolte après 248 jours)				
Phytomasse aérienne (g/m ²)	3 909	1 410	79 %	48,28
Phytomasse souterraine (g/m ²)	12 881	1 510	88 %	51,72
Phytomasse totale (g/m ²)	16 790	2 920	83 %	100,00
.....				
Accroissement moyen journalier de la phytomasse (g/m ² /jour)	67,7	11,7		
Moyenne phytomasse (g/m ² /an)	24 820	4 380		
.....				
Moyenne phytomasse (tonnes/ha)	248,2	43,8	83 %	
BAC A (<i>Typha</i> à partir de rhizome, récolte après 248 jours)				
Phytomasse aérienne (g/m ²)	4 393	1 281	71 %	30,80
Phytomasse souterraine (g/m ²)	12 099	2 881	77 %	69,20
Phytomasse totale (g/m ²)	16 492	4 162	75 %	100,00
.....				
Accroissement moyen journalier				
Phytomasse (g/m ² /jour)	67	17		
Moyenne phytomasse (g/m ² /an)	24 455	6 205		
.....				
Moyenne phytomasse (tonnes/ha)	244,5	62,05	75 %	
<i>Typha</i> en conditions naturelles dans le lac de Guiers				
Phytomasse aérienne (g/m ²)	13 446	4 641	65,5 %	56,60
Phytomasse souterraine (g/m ²)	15 490	3 563	77 %	43,40
Phytomasse totale (g/m ²)	28 936	8 204	72 %	100,00
.....				
Moyenne phytomasse (tonnes/ha)	290	82	72 %	



Figure 33 - La phytomasse hypogée *in situ* de *T. domingensis* est également très importante

Les phytomasses mesurées en milieu naturel sont beaucoup plus élevées que celles obtenues dans les bacs d'expérimentation en raison certainement de la plus grande disponibilité des nutriments dans la nature et de la densité plus faible des individus.

L'utilisation du Système d'Information Géographique (SIG) de la SAED a permis d'estimer sur 40 km, entre le village de Diama et Débi-Tiguet, 7000 ha infestés entre le fleuve Sénégal et la digue de protection. Ce qui représenterait une phytomasse totale comprise entre 840 000 tonnes et 1 050 000 t de matières fraîches (estimation entre 120 et 150 tonnes de matières sèches par hectare) (GTZ 2001).

Diop (2002) a mesuré à Cambéréne aux environs de Dakar (Sénégal), une productivité de 180 t/ha/ an avec des *Typha domingensis* alimentés exclusivement avec des eaux usées domestiques. Cette valeur représente près de 2,5 fois la productivité que nous avons obtenue en milieu naturel plus au nord du pays. *Typha domingensis* paraît avoir une grande capacité de fixation dans sa biomasse, des nutriments contenus dans les eaux usées, et par ce fait, de pouvoir épurer celles-ci (Diop, 2002).

La biomasse de *Typha domingensis* a été estimée entre 1122 et 2537 g de matières sèches/m² et la productivité à 1580 g de matière sèche/m²/an en Afrique de l'Est et du Sud (Howard Williams & Lenton, 1975).

En Inde, la biomasse aérienne de *Typha angustata* L. (syn. de *T. domingensis* Pers.) varie entre 1468 à 4147 g/m² dans différentes populations de *Typha* sous des conditions d'humidité diverses (Gopal, 1982).

En Caroline du Sud aux Etats Unis, la productivité de *Typha australis* Schumacher (syn. de *T. domingensis* Pers.) a été estimée à 1483 g/m²/an (Bradbury & Grace, 1983).

Les valeurs de biomasse de *Typha domingensis* trouvées dans le lac de Guiers et les productivités estimées dans le delta, comparées à celles signalées dans la littérature, montrent que les typhaies du delta du fleuve Sénégal et du lac de Guiers sont parmi les plus productives au Monde.

La prolifération de *Typha domingensis* dans le delta a été accompagnée dans le parc du Djoudj et le lac de Guiers, par celle de *Pistia stratiotes*, un macrophyte libre flottant. L'étude qui suit porte sur cette espèce qui a envahi la région sud du lac de Guiers au début des années 90.

4.3 Multiplication et phytomasse de *Pistia stratiotes* L. dans le lac de Guiers

Alors qu'en 1980, *Pistia stratiotes* n'était représenté que par quelques tapis dérivants (Thiam, 1984), l'espèce couvrait en 1992 de vastes étendues et obstruait toute l'extrémité sud du lac de Guiers (Figure 34). Le développement du végétal a été soudain, rapide et massif. Il est également consécutif à la mise en place de grands barrages sur le fleuve Sénégal. La prolifération de la plante a constitué une nuisance pour les populations riveraines dans la région sud du lac de Guiers (Thiam *et al.*, 1993 ; Cogels *et al.*, 1993). En effet, le développement de vastes tapis de *Pistia* a rendu difficile l'accès à l'eau par les populations et le bétail ainsi que l'exercice de la pêche. De plus, d'importantes masses végétales de la plante venaient s'échouer sur la digue de Keur Momar Sarr et constituaient un frein au transit de l'eau vers la basse vallée du Ferlo.

A la même période, *Pistia stratiotes* s'est développé également de façon soudaine et vigoureuse dans le parc national des oiseaux du Djoudj (Guiral, 1993 ; Schenk *et al.*, 1998 ; Den Hollander *et al.*, 1999). Ce parc, un sanctuaire pour les oiseaux, couvre 16 000 ha et correspond au site le plus important pour l'hivernage des oiseaux migrateurs venant d'Europe. Plus de 360 espèces résidentes ou migratrices fréquentent annuellement le parc (Tréca *et al.*, 1992). Par cette richesse spécifique et par l'importance des populations recensées (plus de 3

millions d'individus), le Djoudj occupe la troisième place mondiale pour les oiseaux d'eau. De ce fait, il est inscrit sur la liste de l'UNESCO des sites du patrimoine mondial de l'humanité et est protégé par la convention internationale des Zones Humides d'importance internationale dite convention de Ramsar (Guiral, 1993). En mars 1993, plusieurs petits marigots et des chenaux du parc étaient obstrués par des populations de *Pistia stratiotes* alors que seuls quelques tapis isolés de la plante étaient observés pendant le même temps dans le fleuve Sénégal.

La multiplication rapide et excessive de *Pistia* dans le lac de Guiers (Figure 34, Figure 35 et Figure 36) et dans le parc du Djoudj a suscité des inquiétudes et a amené les autorités politiques et administratives à réagir. Divers traitements furent appliqués (ramassage, lutte biologique) ou envisagés (lutte chimique par des herbicides-traitement par le feu après déversement d'hydrocarbures) pour lutter contre la plante considérée comme un véritable fléau. Ces actions ont été entreprises ou préconisées sans connaître les caractéristiques biologiques de l'espèce (Guiral, 1993) et en oubliant que le lac de Guiers et le Djoudj font partie d'écosystèmes plus vastes (delta, vallée du Sénégal....) qui peuvent être affectés négativement par les actions de lutte mises en œuvre.

Cette étude a été conduite pour comprendre quelques aspects de la biologie et de l'écologie de l'espèce qui aideraient à mieux connaître la plante en vue de trouver de meilleurs moyens de contrôle de sa prolifération. Il donne, pour la première fois pour la zone du delta et le lac de Guiers, des informations détaillées sur :

- la biométrie de différents organes, la multiplication végétative, les densités propices à la pullulation de la plante,
- la qualité de l'eau au moment de la prolifération de *Pistia* ;
- et la phytomasse aérienne et submergée du macrophyte aussi bien en conditions naturelles qu'expérimentales.



Figure 34- Envahissement de la région sud du lac par *P. stratiotes* (mai 1992)



Figure 35 - Radeau flottant de *P. stratiotes* avec *Oxycarym cubense* (Cyperaceae), lac de Guiers (mai 1992)

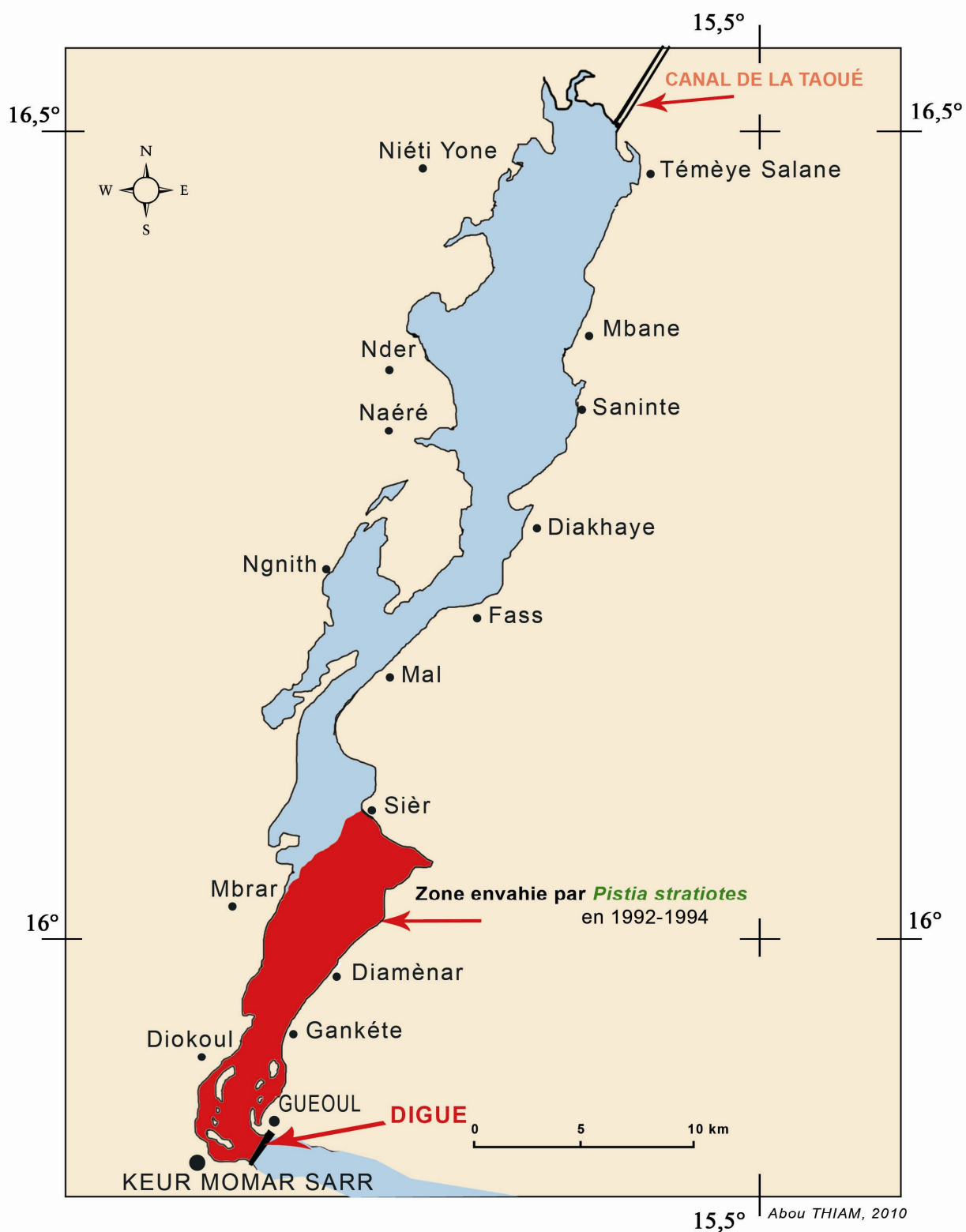


Figure 36 – Zone de pullulation de *P. stratiotes* dans le lac de Guiers, 1992-1994

4.3.1 Matériels et Méthodes

4.3.1.1 Multiplication

La multiplication végétative par des stolons est la plus fréquente dans le delta et le lac de Guiers.

L'étude de la multiplication végétative de *Pistia* a été réalisée dans des bassins flottants. Des chevrons en bois léger de 4 m X 4m ont servi à confectionner 4 blocs (A, B, C et D) de 1 m² de surface (Figure 37 et Figure 38). Le cadre est peint avec de la peinture à l'huile pour protéger le bois en vue d'un séjour prolongé dans l'eau. Des flotteurs en polystyrène sont placés en divers endroits en dessous du cadre afin qu'il puisse flotter librement sur l'eau. Un grillage de maillage moyen a été fixé tout autour du cadre afin que les plantes ne sortent pas des bassins par vents forts ou par mouvements brusques des eaux. La hauteur du grillage au-dessus de la surface de l'eau est de 20 cm alors que la partie immergée est de 10 cm.

Le cadre flotte librement sur l'eau. Il est relié avec une corde d'environ 5 m à un piquet fixé dans la vase dans le lac. Il peut se déplacer au gré des vents et les mouvements des eaux près du rivage et s'adapter continuellement aux variations de niveau de l'eau. Ce dispositif simple et peu onéreux a été installé près du village de Ngnith dans la région centrale du lac pas très loin du rivage où ont été installés les bacs pour les observations sur *Typha domingensis*.

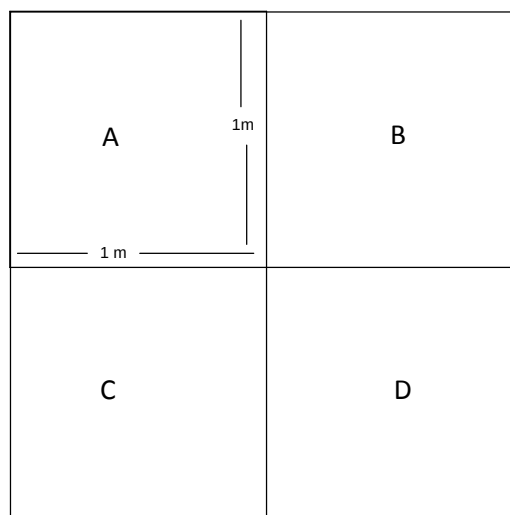


Figure 37 - Schéma des bassins flottants pour l'étude sur *Pistia*, 1994



Figure 38- Vue du dispositif au démarrage de l'étude sur *Pistia* (Lac de Guiers, 1994)



Figure 39 - Vue du dispositif, 60 jours après le début des observations (Lac de Guiers, 1994)

Un nombre déterminé de jeunes individus vivants de *Pistia stratiotes* sont placés dans les bassins A, B, C, D. Il est de 4 pour le bassin A, 8 pour le bassin B, 12 pour le bassin C et 16 individus pour le bassin D.

Le comptage périodique du nombre d'individus dans les bassins permet d'apprécier la multiplication de la plante (Mitchell and Turner, 1975). L'expérience a duré 6 mois, d'Avril à Décembre 1994.

Des échantillons d'eau ont été prélevés périodiquement dans le site d'expérimentation au moment des comptages des individus de *Pistia* dans les bassins flottants. Les échantillons sont conservés dans la glace avant leur analyse au laboratoire où le pH, la conductivité, le chlore, les sulfates, les carbonates, les phosphates, le magnésium, le sodium et le potassium sont mesurés. Les prélèvements et analyses d'eau ont été réalisés d'Avril à Octobre 1994.

Lors de la prolifération de la plante dans le parc du Djoudj en 1993, quelques paramètres physico-chimiques de l'eau ont été mesurés dans 5 sites dans le parc en mars 1993 (saison sèche).

4.3.1.2 Phytomasse

Le dénombrement périodique du nombre de feuille dans les bassins A, B, C et D permet d'évaluer l'évolution de la phytomasse aérienne dans les bassins d'expérimentation.

La phytomasse de *Pistia stratiotes* a été évaluée en milieu naturel lacustre en effectuant des prélèvements en plusieurs points dans des tapis monospécifiques et denses de la plante dans la région sud du lac. La profondeur de l'eau dans les sites se situait entre 40 et 60 cm. Un cadre en bois de 1 m² a été utilisé pour délimiter la surface de récolte des individus de *Pistia*. Le nombre d'individu a été déterminé dans les placettes. Les récoltes sont mises dans des sacs en jute tarés et étiquetés. Pour chaque placette de 1m², les racines et les feuilles sont séparées au laboratoire avant leur séchage dans une étuve ventilée à 85°C pendant 4 à 6 jours. Après séchage, les poids secs des racines et des feuilles sont déterminés.

4.3.2 Résultats et discussion

4.3.2.1 Multiplication

La Figure 40 montre l'évolution du nombre d'individu dans les 4 bassins.

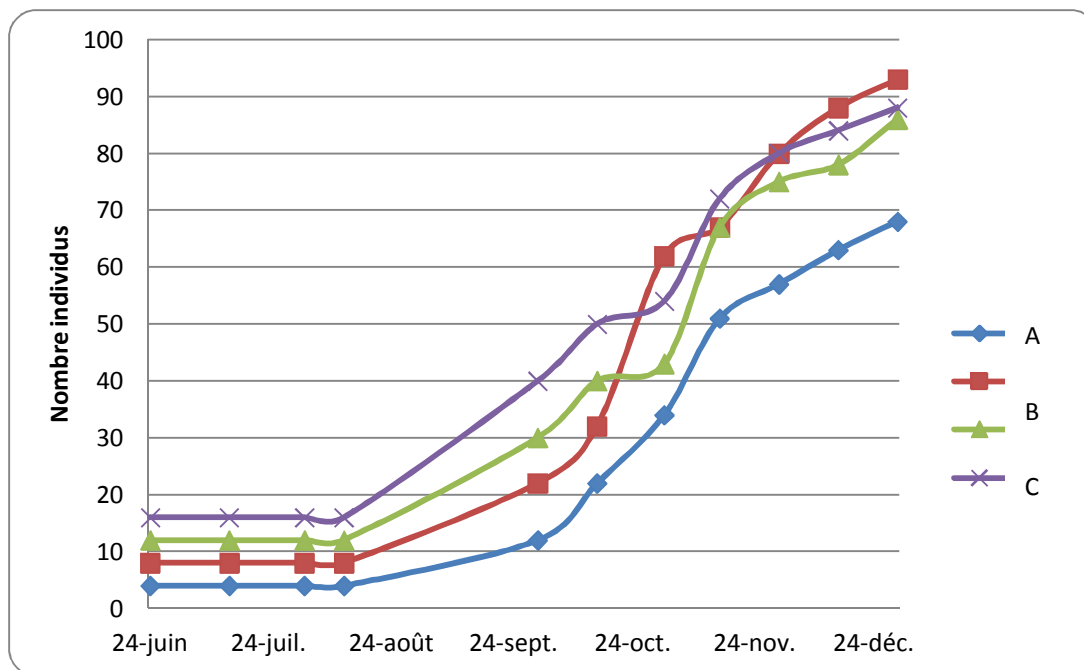


Figure 40 - Evolution du nombre d'individus de *Pistia* dans les bassins (juin - décembre 1994).

Les équations des courbes de tendance du nombre d'individus dans les bassins A, B, C et D se présentent ainsi :

$Y_A = 0,3756X - 15164$	$R^2_A = 0,8825$	$Y_C = 0,4322X - 17443$	$R^2_C = 0,9153$
$Y_B = 0,5096X - 20573$	$R^2_B = 0,8998$	$Y_D = 0,4398X - 17742$	$R^2_D = 0,9473$

Le nombre le plus élevé d'individus de *Pistia* a été observé dans le bassin B contenant initialement 8 individus tandis que le nombre le plus faible a été trouvé dans le bassin A contenant au départ 4 individus.

La vitesse de multiplication de *Pistia stratiotes* est semblable dans les quatre bassins tant en ce qui concerne le nombre d'individus que des feuilles (Figure 40). Elle n'est perceptible dans tous les bassins que 45 jours après le début des expériences. Les augmentations du nombre d'individus sont relativement similaires dans tous les bassins. Cependant, les plus importantes variations des paramètres suivis sont observées dans les bassins où il y avait au départ 8 et 12 individus. Les droites de tendance établies montrent une forte corrélation, entre 0,8 et 0,9.

Pendant les deux premiers mois, l'augmentation du nombre d'individus et de feuilles dans les bassins est faible. Il s'agit sans doute d'une période d'adaptation des plantes aux conditions expérimentales. A partir du 3ème mois, le nombre des individus augmente plus rapidement.

Les densités initiales de 8 et 12 individus sont apparues les plus favorables à la multiplication rapide de la plante.

La densité a paru être un facteur important dans la rapidité de prolifération de la plante. En tenant compte des conditions de qualité d'eau du lac pendant la période, les densités de 8 à 12 individus par m² sont parues favorables à la prolifération de *Pistia* dans le lac de Guiers.

Les comptages d'individus effectués en milieu naturel en Mai 1992 dans le lac de Guiers dans la zone de Keur Momar Sarr ont donné en moyenne 119 individus par m² (avec un écart type de 16,1) alors que le nombre total d'individus par mètre carré a été de 93 dans les bassins d'expérimentation.

Les observations sur le développement de *Pistia stratiotes* dans des bassins d'expérimentation dans le jardin botanique du département de biologie végétale de l'université C.A. Diop de Dakar en 1992 ont permis d'estimer l'augmentation des superficies occupées par la plante à environ 327 cm² par jour. Le temps de doublement de surface serait alors de 15 jours (Thiam *et al.*, 1993). Au lac Cabora Bassa, ce temps est de 11 jours (Dejoux, 1988). En Côte d'Ivoire, en milieu de culture non renouvelé, constitué d'eau du fleuve Comoé, la croissance de *P. stratiotes* est parue linéaire sur une dizaine de jours, avec un taux d'accroissement constant (égal à 0,85 g/jour de biomasse fraîche) et indépendant du poids initial des plantes testées. Le temps de doublement est ainsi de 11 jours pour de jeunes plantes, de 19 jours pour des plantes adultes (Guiral et Etien, 1994). Comparativement à d'autres plantes aquatiques envahissantes, *Pistia* a une croissance relativement lente.

En milieu tropical où il y a suffisamment de nutriments, *Pistia stratiotes* se reproduit rapidement et produit à partir de ses stolons de nouveaux individus. La dispersion de la plante est facilitée par l'action des oiseaux, de l'eau et des plantes elles-mêmes. Les plantes peuvent également se reproduire à partir des graines. Fernandez O.A., Sutton D.L. *et al* (1990) ont remarqué en Amazonie que 13 à 65 % des fruits de *Pistia stratiotes* ont des graines et qu'il y a en moyenne 2300 graines par m² de végétation. Bien que la plante produit de nombreuses graines dans le lac de Guiers, la multiplication végétative par les stolons paraît y être la forme de propagation la plus fréquente et la plus importante. Les graines de *Pistia stratiotes* libérées peuvent flotter plus de deux jours avant de tomber au fond de l'eau. La lumière est importante pour la germination des graines (Datta and Biswas, 1969). Pieterse *and al.* (1981) ont montré que les graines submergées peuvent germer quand elles sont soumises à des intensités lumineuses élevées. La viabilité des graines est réduite par séchage à 30°C,

mais certaines peuvent survivre ce qui suggère que *Pistia stratiotes* a un potentiel d'endurance à la sécheresse par l'intermédiaire de ses graines (den Hollander *et al.* 1999).

Les principaux paramètres physico-chimiques de l'eau dans le site d'expérimentation se sont présentés ainsi :

- le pH : son évolution est présentée sur la Figure 41.

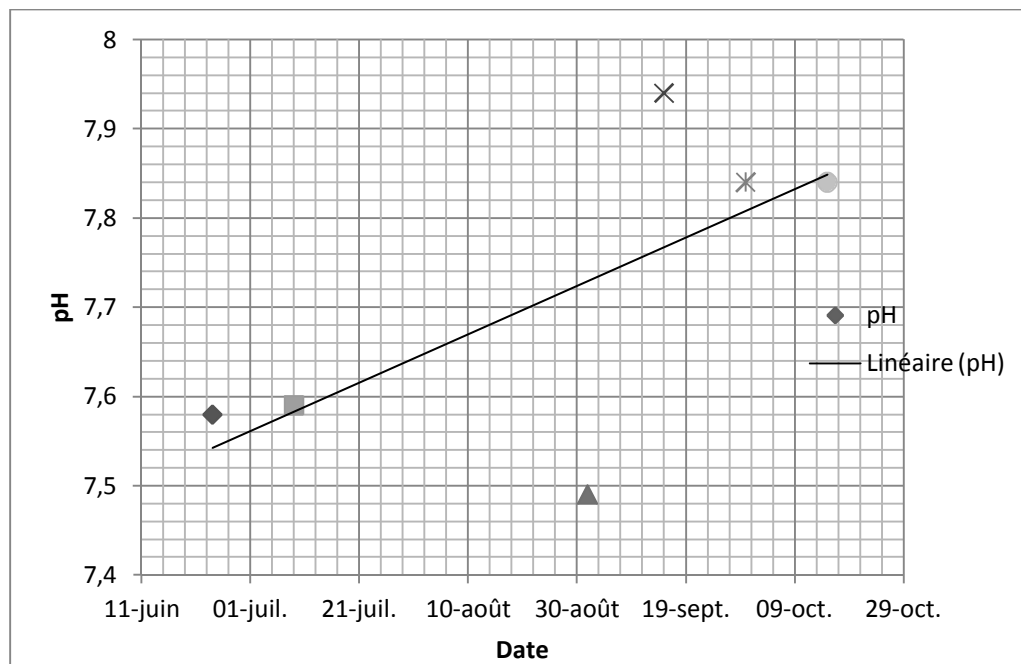


Figure 41 - Evolution du pH de l'eau du lac de Guiers (juin- octobre 1994)

L'eau du lac varie de neutre à légèrement alcaline. Le pH n'a pas subi de variations importantes. Il est toujours demeuré entre 7 et 8 (Figure 41).

- la conductivité : ses valeurs sont indiquées sur la Figure 90.

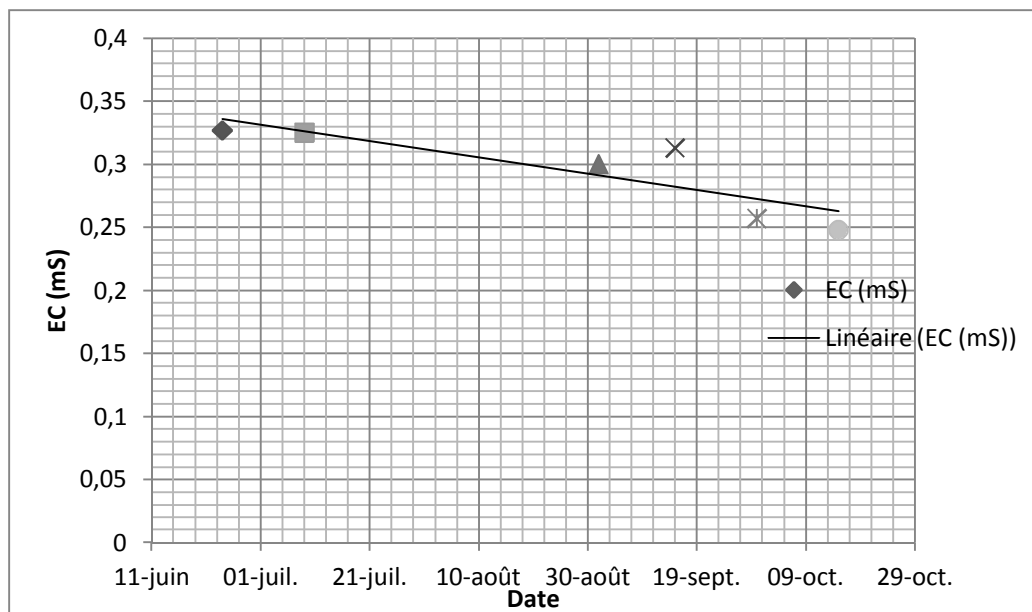


Figure 42 - Evolution de la conductivité (en mS) de l'eau du lac (juin- octobre 1994)

La conductivité a également légèrement baissé au cours du temps. Cependant, elle est toujours restée aux environs de 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Figure 89).

La baisse de la salinité est corroborée par la diminution des ions chlorures et sodium (Figure 43 et Figure 44). Les chlorures et le sodium ont également subi une légère baisse en septembre probablement à cause de la saison des pluies et l'arrivée dans le lac de l'eau moins minéralisée provenant du fleuve Sénégal.

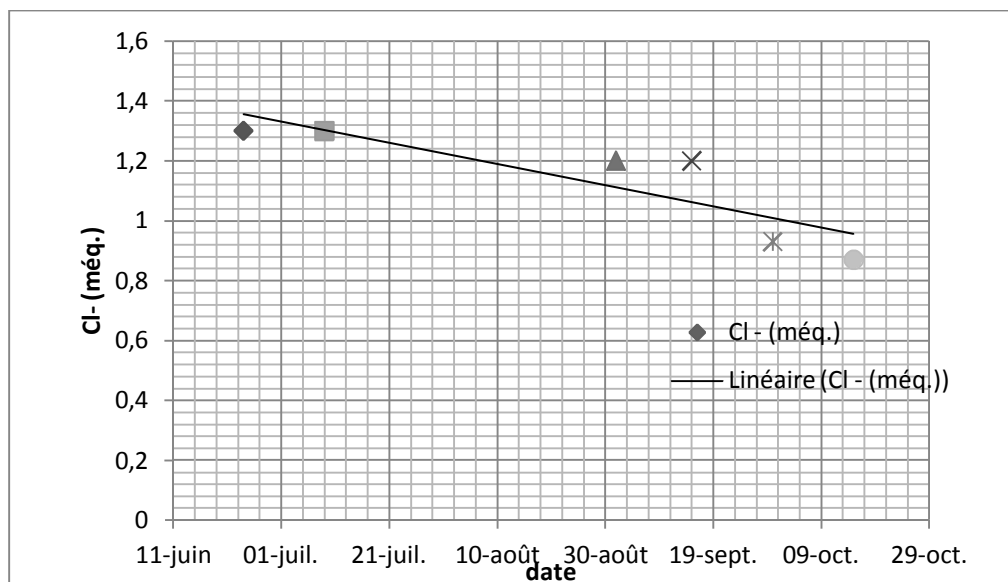


Figure 43 - Evolution des ions chlorures (Cl^-) dans l'eau du lac (juin- octobre 1994)

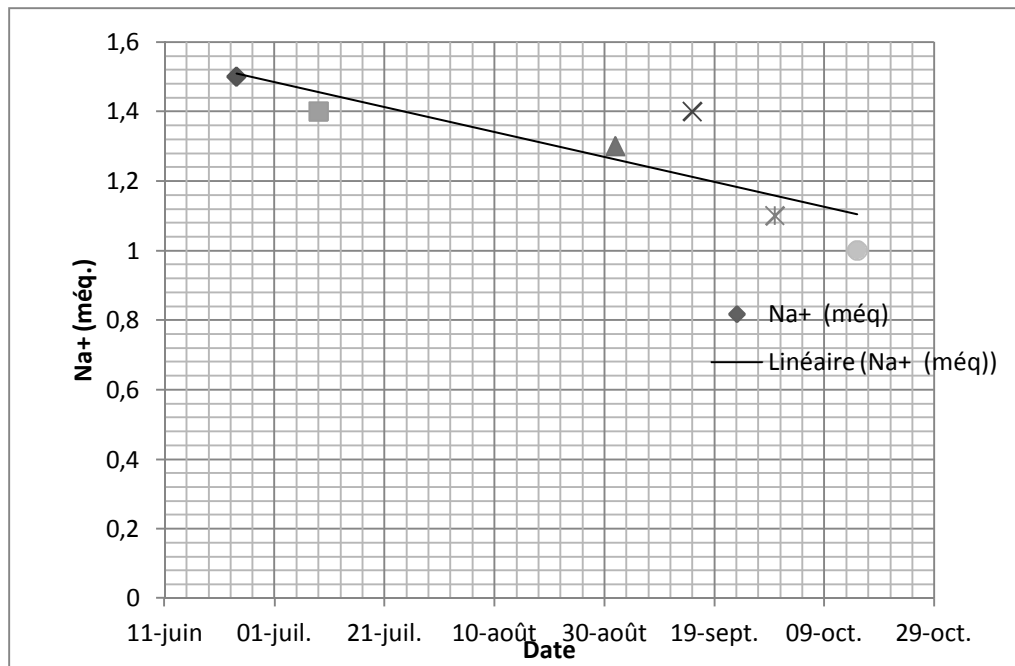


Figure 44 - Evolution des ions sodium (Na^+) dans l'eau (juin- octobre 1994)

Les sulfates, les carbonates, le calcium et le potassium ont très faiblement varié dans l'eau au cours du temps (Figure 45, Figure 46, 47 et Figure 48) alors que le magnésium a très sensiblement diminué (Figure 49)

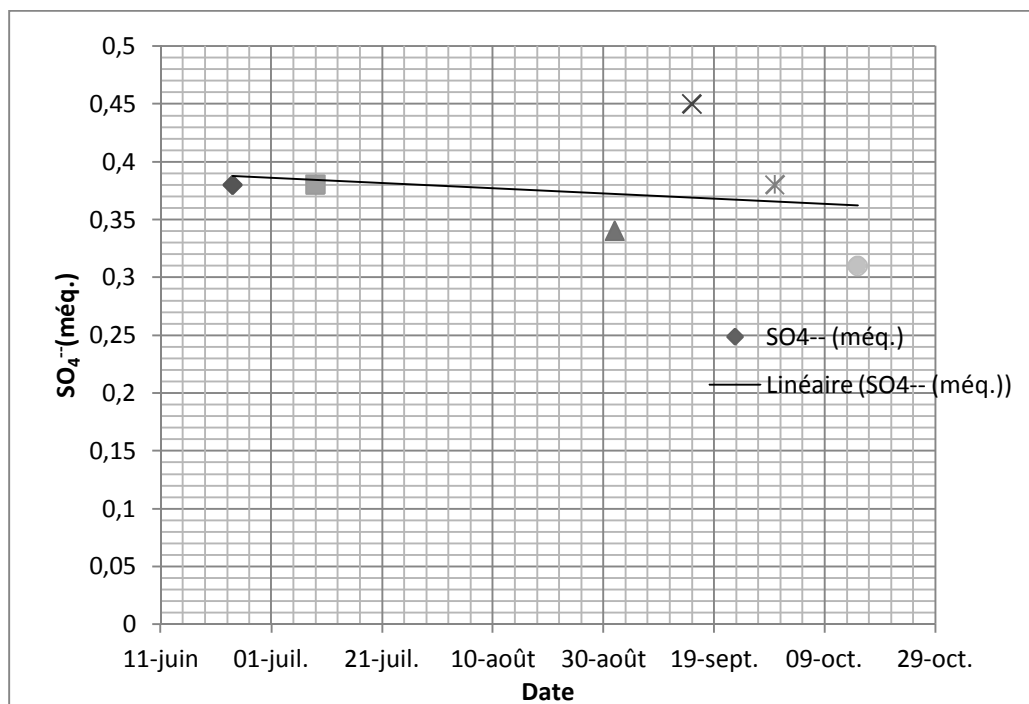


Figure 45 - Evolution des ions sulfates (SO_4^{2-}) dans l'eau du lac (juin- octobre 1994)

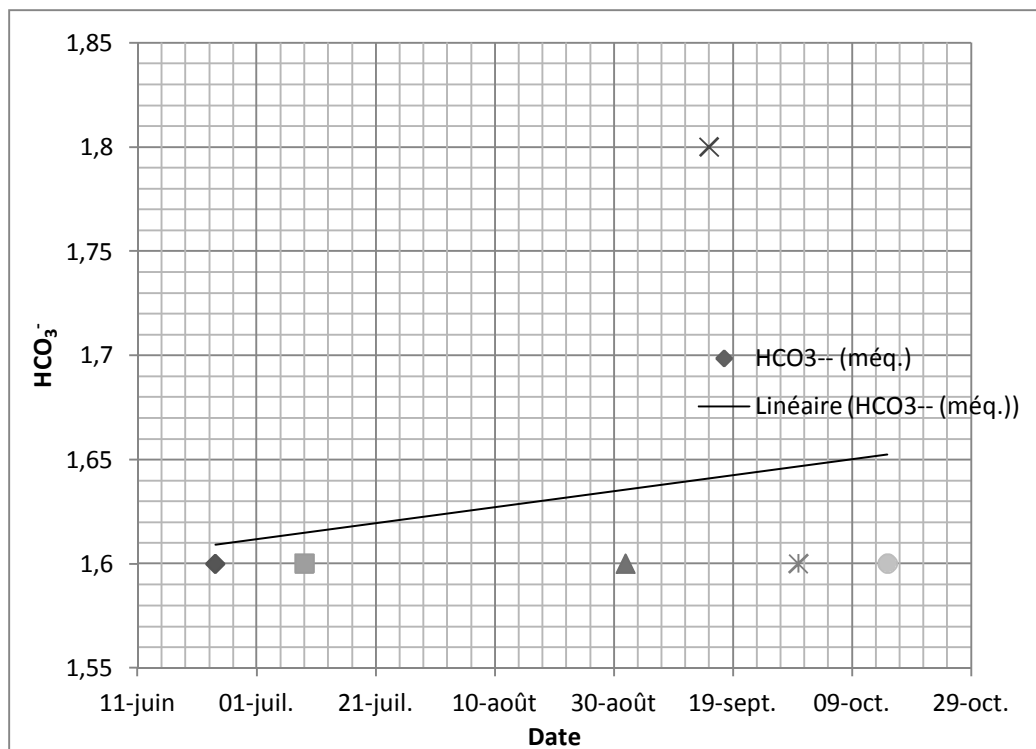


Figure 46 - Evolution des ions carbonates (HCO_3^-) dans l'eau du lac (juin- octobre 1994)

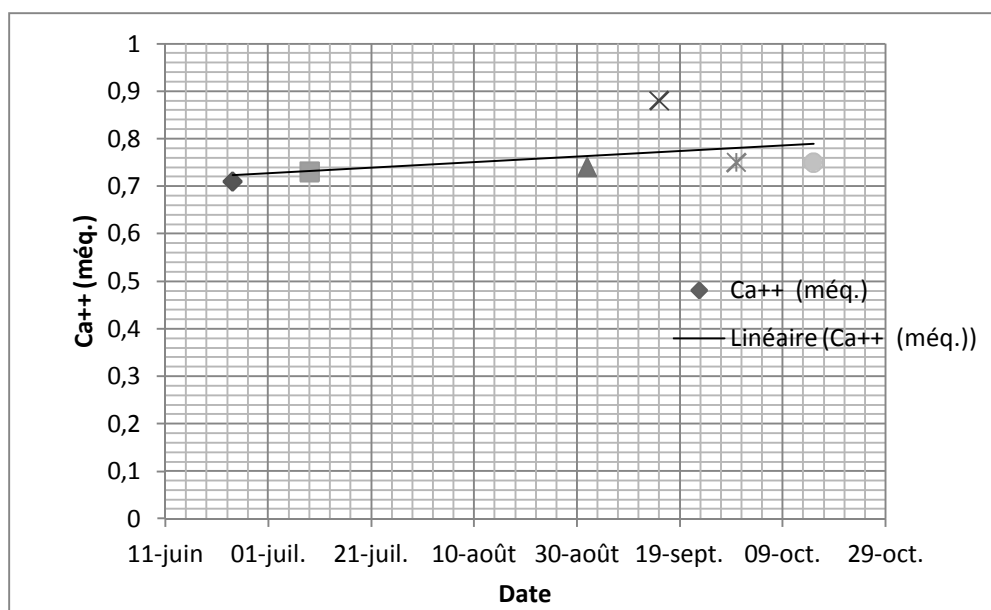


Figure 47- Evolution des ions calcium (Ca^{++}) dans l'eau du lac (juin- octobre 1994)

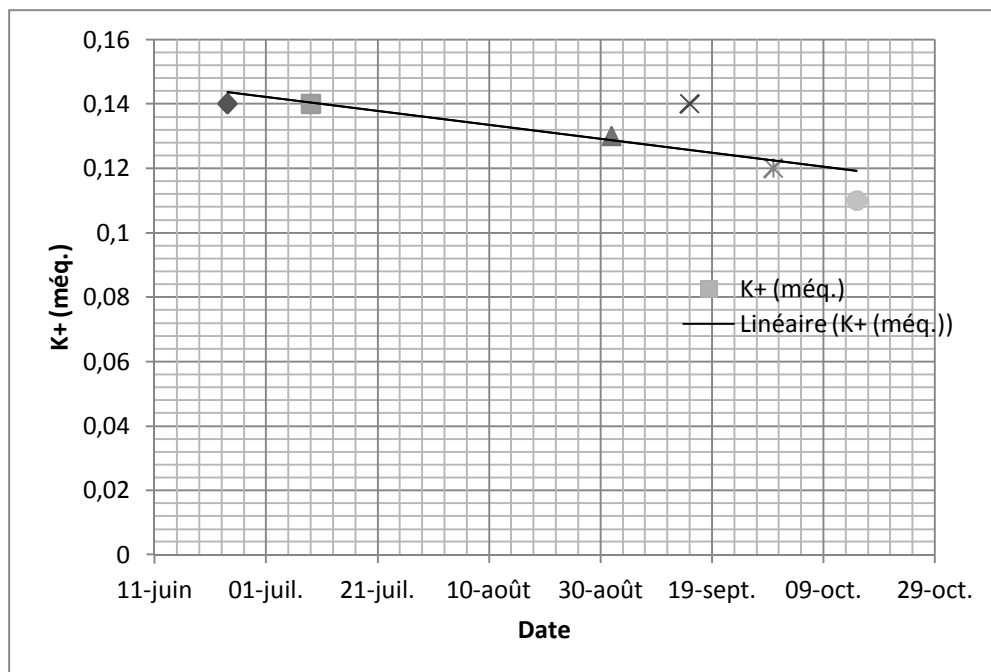


Figure 48 - Evolution des ions potassium (K^+) dans l'eau du lac (juin- octobre 1994)

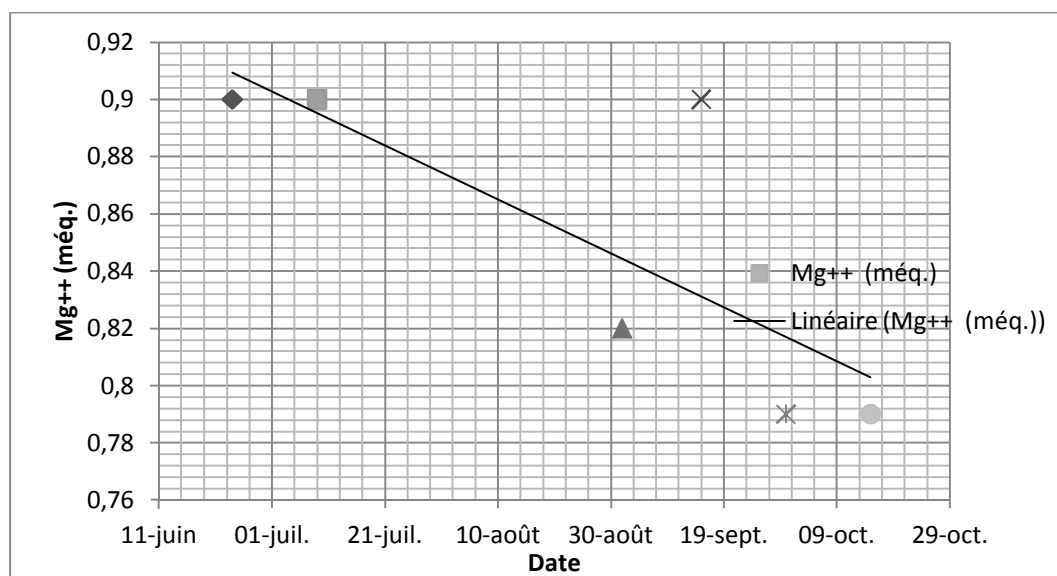


Figure 49 - Evolution des ions magnésium (Mg^{++}) dans l'eau du lac (juin- octobre 1994)

Les résultats des analyses des eaux de surface dans plusieurs sites du parc du Djoudj pendant la pullulation de *Pistia* en 1993 sont indiqués dans le tableau 24.

Tableau 24 - Physico-chimie de l'eau dans quelques sites du parc du Djoudj en mars 1993

Stat.	Prof. E(cm)	Oxy.(ppm)	Cond. (μ S)	pH	Cl	SO4	HCO3	CO3	Ca	Mg	Na	K	Σ anions	Σ cations
D1	114	5,5	244	6,7	1,0	0,1	0,8	0	0,4	0,5	0,9	0,0	1,9	1,8
D2	123	8,0	234	7,3	1,0	0,1	0,7	0	0,3	0,4	0,9	0,1	1,8	1,7
D3	40	8,8	172	7,3	0,5	0,1	0,6	0	0,3	0,3	0,5	0,0	1,3	1,1
D4	40	8,4	136	7,3	0,2	0,1	0,6	0	0,3	0,3	0,3	0,0	0,9	0,8
D5	30	7,9	143	7,3	0,3	0,1	0,6	0	0,3	0,3	0,3	0,0	1,0	0,9
Moyenne		7,7	185,8	7,2	0,6	0,1	0,7	0	0,3	0,3	0,6	0,0	1,4	1,3
Ecart Type		1,2	50,5	0,3	0,4	0,0	0,1	0	0,1	0,1	0,3	0,0	0,5	0,5

Stat.= station; Prof. E= profondeur de l'eau Oxy.=oxygène; Cond.= conductivité

Légende : D1: Marigot de Djoudj après les nichoirs; D2: Embarcadère du Djoudj ; D3: Fleuve Sénégal, marigot de N'Dépélour (pas de *Pistia stratiotes*) ; D4: Fleuve Sénégal, « ouvrage du crocodile » ; D5 : « Canal du crocodile »

Dans tous les sites du Djoudj, la conductivité de l'eau est également faible, inférieure à 250 μ S (moyenne = 185 μ S). L'eau y est plus douce que dans le lac de Guiers. Le pH est neutre ou légèrement basique comme dans le lac. La teneur en oxygène est élevée. Les ions chlorures, carbonates, sulfates, carbonates, magnésium, calcium et potassium sont plus faibles que dans le lac de Guiers.

Dans les secteurs du Djoudj où la conductivité est supérieure à 2 mS/cm, *P. stratiotes* présente des populations très dégradées, caractérisées par un jaunissement important des feuilles et par le dessèchement de la partie supérieure des limbes. La plante meurt au-delà d'une conductivité supérieure à 3,85 mS/cm (Guiral, 1993). A une conductivité de l'eau de 7000 μ S, les individus adultes de *Pistia* meurent dans le parc du Djoudj (den Hollander *et al.* 1999).

Ainsi, des conductivités inférieures à 200 μ S et la richesse de l'eau en divers nutriments tels que le magnésium, les carbonates et le potassium sont favorables au développement et à l'expansion de la plante dans le lac. *Pistia* se développe préférentiellement en eau douce, mais tolère des eaux légèrement saumâtres (Obeid and Chadwik, 1966 ; Vanden Berghen, 1988). *Pistia* est sensible à de faibles taux de salinité de 2,5 pour mille (Haller *et al.*, 1974). La salinité relativement élevée des eaux du lac avant 1985 et ses importantes variations dans le temps agissait probablement comme facteur limitant le développement excessif de la plante. Ceci est confirmé par les essais menés en 1993 dans des bassins en terre creusés le long du lac qui ont montré que le développement de *Pistia* était ralenti dans des eaux de conductivité

supérieure à 2000 μS correspondant à une minéralisation globale de 1400 mg/l environ. Si la diminution de la salinité constitue la condition nécessaire pour la colonisation, la richesse nutritive des eaux conditionne l'intensité du phénomène de prolifération (Guiral, 1993). Selon Holm et al.(1977) cité par Waterhouse (1994), *Pistia stratiotes* croîtrait mieux à pH 4. Le pH neutre à légèrement basique des eaux du lac pourrait être le facteur qui a déclenché le déclin des populations de *Pistia* dans le lac et dans le delta.

4.3.2.2 Phytomasse

L'évolution du nombre de feuille dans les bassins d'expérimentation est présentée sur la Figure 50.

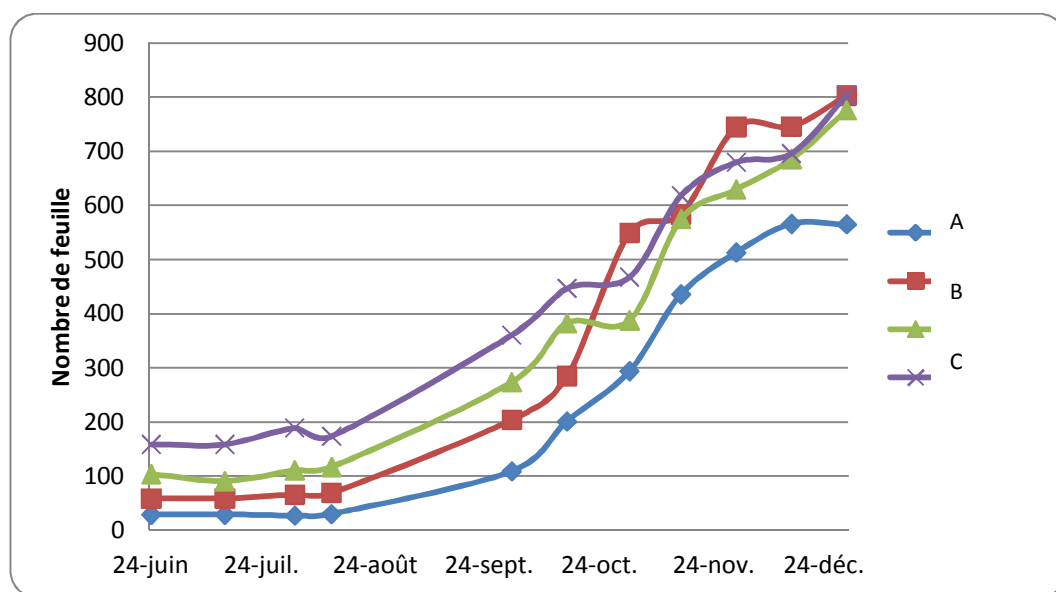


Figure 50.- Evolution du nombre de feuilles de *Pistia* dans les bassins (juin-décembre 1994)

Les équations des courbes de tendance du nombre de feuilles dans les bassins A, B, C et D :

$$Y_A = 3,3019X - 133320 \quad R^2_A = 0,8884$$

$$Y_C = 3,8112X - 153803 \quad R^2_C = 0,9326$$

$$Y_B = 4,5129X - 182186 \quad R^2_B = 0,9061$$

$$Y_D = 3,6138X - 145762 \quad R^2_D = 0,9513$$

Les pesées de phytomasse ont donné les résultats consignés dans le tableau 25.

Tableau 25 - Phytomasse de *Pistia stratiotes* dans le lac de Guiers

	Poids Frais (en g/m ²)	Poids Frais. F (en g/m ²)	Poids Frais R. (en g/m ²)	Poids Sec. F. (en g/m ²)	Poids Sec R. (en g/m ²)	Eau (en g/m ²)	Phytomasse totale (g/m ²)
1 F	15 091,4	n.d	n.d	1 543,5	1 383,8	12 164,1	2 927,3
2 F	14 694,5	n.d	n.d	1 144,1	1 344,5	12 205,9	2 488,6
3 F	16 295,9	n.d	n.d	1 545,9	2 091,4	12 658,6	3 637,3
4 F	15 086,8	7 548,7	6 992,1	498,7	542,1	13 500,0	1 040,8
5 F	15 388,8	7 091,0	6 998,9	541,0	898,9	12 650,0	1 439,9
6 F	13 481,1	n.d	n.d	538,4	589,0	n.d	1 127,4
7 F	16 888,9	8 144,5	7 786,8	844,5	1 086,8	14 000,0	1 931,3
8 F	15 893,9	6 381,1	7 399,1	981,2	1 549,2	11 249,8	2 530,4
9 F	16 092,8	7 378,6	7 133,8	384,7	441,1	13 686,6	825,8
10 F	15 378,5	6 393,9	6 995,9	543,9	546,0	12 299,9	1 089,9
MOY.	15 429,3	7 156,3	7 217,8	856,6	1 047,3	12 712,8	1 903,9
MAX	16 888,9	8 144,5	7 786,8	1 545,9	2 091,4	14 000,0	3 637,3
MINI.	13 481,1	6 381,1	6 992,1	384,7	441,1	11 249,8	825,8

Légende: - P.F: Poids Frais ; P.F.F.: Poids Frais Feuille ; P.F.R.: Poids Frais Racine ; P.S.F.: Poids Sec Feuille ; P.S.R.: Poids Sec Racine ; n.d: non déterminé

La phytomasse moyenne de *Pistia* est de l'ordre de 1900 g de matières sèches par m² soit 19 tonnes de matières sèches par hectare. La phytomasse souterraine est légèrement plus élevée que la phytomasse aérienne. Elles représentent respectivement 55 % et 45 % de la phytomasse sèche totale. Le poids sec représente en moyenne le 1/10 ème du poids frais. Petr (1968) a trouvé des valeurs de phytomasse fraîche variant entre 169 g et 505,8 g par m² dans le Lac Volta. En revanche en Inde, des valeurs de phytomasses sèches de *Pistia* variant entre 1198 et 1840 g/m² ont été rapportées (Rao and Reddy, 1984). Ces valeurs sont proches de celles trouvées dans le lac de Guiers. Odum (1957) a estimé à 15,3 g/m²/jour la productivité de *Pistia stratiotes* à Silver Spring en Floride aux Etats Unis. Petr (1968) a trouvé une productivité de 7,1 g/m²/jour dans le Lac Volta

Très peu de données ont été trouvées dans la littérature sur les valeurs de la phytomasse de *Pistia* en milieu naturel. Celle-ci a surtout été évaluée dans des expériences de détermination de la valeur épuratrice des eaux usées domestiques par la plante (Agendia *et al.*, 1997 ; Diop 2002 ; Koné 2002). Une productivité de 144 tonnes/ha/an pour des *Pistia* vivant d'eaux usées a été trouvée à Cambéréne aux environs de Dakar (Diop, 2002). Au Cameroun, des *Pistia stratiotes* soumis à des effluents d'eaux usées domestiques ont montré des croissances de l'ordre de 8.5 g de matières sèches par jour et une productivité annuelle de 3 102 g de matières sèches par m² (Fonkou *et al.* 2002).

Pistia stratiotes est une espèce commune des cours d'eau tropicaux et on la trouve en abondance dans de nombreux lacs africains (Cabora Bassa, Kariba, Volta, partie nord des lacs de Kossou, Taabo, Buyo, Ayamé,... Elle se développe également dans les plaines d'inondation des fleuves d'Afrique centrale et d'Afrique du Sud (Dejoux, 1988). Des situations de développement exubérant de la plante ont été signalées dans différentes régions en Afrique et dans le Monde à différentes époques. C'est ainsi, qu'une forte expansion de l'espèce a eu lieu dans la lagune Ebrié en Côte d'Ivoire lors d'une crue exceptionnelle du Comoé en 1933. Le niveau de la lagune se situait alors à 1,4 m au-dessus de son niveau normal (Guiral et Etien, 1991). Le lac Ayamé, un lac de barrage au sud-est de la Côte d'Ivoire, a été complètement couvert par *Pistia stratiotes* causant ainsi un manque d'oxygène dans l'eau et une production de H₂S (Mulligan, 1972). Au sud du Tchad dans les années 80, *Pistia* s'est beaucoup étendue et est devenue gênante dans les canaux d'irrigation. Elle a complètement recouvert les canaux diminuant ainsi l'écoulement des eaux. Il a été signalé des problèmes de *Pistia stratiotes* et de *Nymphaea sp* dans les canaux d'irrigation dans les champs de riz en Gambie (Mitchell *et al.*, 1990). Au Togo, la plante a envahi de nombreux plans d'eau à la fin des années 80 (Akpagana, 1993). Le macrophyte peut également constituer un problème sérieux de mauvaises herbes par endroits. On la retrouve dans les champs de riz au Vietnam, en Inde, aux Philippines (Gopal, 1990a). *Pistia stratiotes* est un support pour les populations de moustiques. Selon Gangstad et Cardelli (1990), les moustiques *Mansonia*, responsables de la transmission de filariose et d'encéphalite ont des larves et des nymphes qui prélèvent leur oxygène en piquant les flotteurs situés sur la tige et la racine des plantes au moyen d'un tube à air spécial. Le moustique *Anophèle*, responsable de la transmission du paludisme, trouve dans les masses de *Pistia* un abri approprié (Dunn, 1934; Bennett, 1975; Holm *and al.*, 1977; Lounibos and Dewald, 1989). Au même moment, des peuplements étendus de *Potamogeton*

schweinfurthii, un macrophyte aquatique fixé et submergé, sont également apparus massivement dans la région centrale et nord du lac de Guiers. Nous les étudions ci-après.

4.4 Morphologie, distribution et phytomasse de *Potamogeton schweinfurthii* A. Bennett dans le lac de Guiers

En 1991-92, pendant que *Pistia* se développait dans la région sud, des peuplements importants de *Potamogeton schweinfurthii* sont apparus massivement dans la région centrale et nord lac de Guiers (Figure 51).

Deux espèces de *Potamogeton* sont connues en Afrique de l'Ouest : *Potamogeton octandra* (= *P. octandrus*) et *Potamogeton schweinfurthii* (John, 1986).

Dans la flore du Sénégal, 1 genre et 2 espèces de *Potamogeton* ont été mentionnées par Berhaut (1967) alors que Lebrun (1973) en a cité 3. Deux espèces sont présentes dans la région du delta et le lac de Guiers : *Potamogeton octandrus* et *Potamogeton schweinfurthii* (Thiam, 1998). La première a été signalée comme espèce nouvelle pour le Sénégal au début des années 60 à partir d'un échantillon récolté au Niokolo-Koba (Adam, 1962) alors que *Potamogeton schweinfurthii* a été collecté dans le lac de Guiers depuis bien longtemps, au moins depuis le 19^{ème} siècle, en 1819 par Roger et en 1826 par Leprieur (Dandy, 1937 ; Hutchinson and Dalziel, 1954-1972).

La prolifération de *P. schweinfurthii* est également l'une des conséquences des nouvelles conditions hydrologiques et de qualité des eaux à la suite de la mise en eau des barrages sur le fleuve Sénégal (Cogels et al., 1993). Les peuplements de *P. schweinfurthii* rendent difficiles la navigation et les déplacements sur le lac et le fleuve. Ils accélèrent également la sédimentation.

Il est apparu intéressant d'étudier :

- des aspects de la biologie de la plante en effectuant des mesures biométriques sur différents organes de la plante,
- de suivre la distribution de *Potamogeton schweinfurthii* dans le lac de Guiers
- et d'évaluer la phytomasse du macrophyte en milieu naturel lacustre..

Des connaissances sur la biologie et l'écologie de la plante sont nécessaires pour contrôler sa multiplication et développer des méthodes de contrôle qui réduiraient les gênes occasionnées par la plante.



Figure 51 - Peuplements de *P. schweinfurthii* , nord lac de Guiers, septembre 1993



Figure 52 -Vue de près de *Potamogeton schweinfurthii*, 1995

4.4.1 Matériels et méthodes

4.4.1.1 Morphologie et distribution

La morphologie de *P. schweinfurthii* (Figure 99) a été étudiée en effectuant des mesures de longueur de la tige, de largeur des feuilles, des entre-nœuds de la tige, des inflorescences et le nombre de fruits par inflorescence sur du matériel frais récolté dans divers sites dans lac de Guiers. Pour les inflorescences et le nombre de fruits, deux séries de 36 mesures ont été faites. En Janvier 1993, avec un bateau à moteur, un GPS de type Garmin, les principaux peuplements de *P. schweinfurthii* de diamètres se situant entre 7 et 10 m ont été géo-référenciés et reportés ultérieurement sur une carte.

4.4.1.2 Phytomasse

Des prélèvements sur 1 m² ont été réalisés en plein eau dans différents points du lac sur des tapis de *P. schweinfurthii*. Les sites échantillonnés dans le lac ont été : en face des villages de Mbane, de Temeye Salame sur la rive Est et les villages de Nder et de Ngnith sur la rive Ouest.

Le poids du matériel frais après égouttage est déterminé avant d'être mis à déshydrater dans une étuve ventilée à la température de 85 ° C jusqu'à stabilisation du poids (3 à 4 jours). Le poids de la matière sèche (la phytomasse végétale) est ensuite évalué avec un peson à ressort.

4.4.2 Résultats et discussion

4.4.2.1 Morphologie et distribution

Les résultats des mesures de tige, de feuille, d'épi, de fruit et de plante entière de *Potamogeton schweinfurthii* sont portés dans le tableau 26.

Tableau 26 - Biométrie de quelques organes de *Potamogeton schweinfurthii*

Organes	Feuilles		Entre-nœuds	Epis
	L (cm)	l (cm)	(cm)	L (cm)
n	100	100	100	36
Moyennes	22,2	1,6	10,2	6,3
Maximum	40,0	2,3	48,5	9,0
Minimum	9,1	0,9	0,5	2,5
Ecart-type	6,5	0,3	11,3	1,4

n = nombre d'échantillon

Les feuilles mesurent de 9 à 40 cm (moyenne= 22 cm) de long et de 1 à 2 cm de large (moyenne= 1,6 cm). La longueur des entre-nœuds varie entre 0,5 à 48,5 cm (moyenne = 10,2 cm). L'épi est cylindrique, compact et mesure en moyenne 10 cm avec des variations allant de 0,5 à 48,5 cm. Il comporte de nombreuses graines: 167 en moyenne (72 à 264). Le pédoncule des inflorescences mesure en moyenne 7,5 cm (3,7 à 25,2 cm). Il y a une corrélation assez significative ($r = 0,56$) entre la longueur et la largeur d'une feuille donnée (Figure 53).

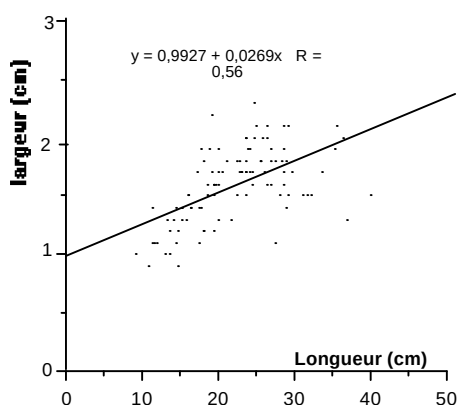


Figure 53 - Largeur en fonction de la longueur des feuilles (droite de régression).

Les mesures effectuées sur les épis donnent une longueur moyenne de 6,3 cm avec des extrêmes de 2,5 et 9,0 cm. Entre la longueur des épis et le nombre de fruits qu'ils portent, la corrélation est plus forte ($r = 0,75$) (Figure 54).

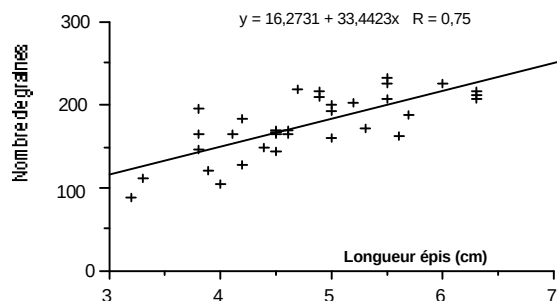


Figure 54 - Nombre de fruits en fonction de la longueur des épis (droite de régression).

Les tiges de *Potamogeton schweinfurthii* portent des feuilles très longues, souples. La longueur de la tige varie entre 0,60 et 3,10 m. Les plus longues tiges, dans le lac de Guiers, sont localisées à la sortie du canal de la Taoué où la profondeur de l'eau dépasse 3 mètres. Elles sont ramifiées.

La feuille est entière, sessile ou non, amplexicaule, membraneuse ou coriace, linéaire, lancéolée ou oblongue ou subarrondie au sommet à bords ondulés-denticulés (Lemée, 1934). Les limbes sont étalés sur l'eau (Raynal-Roques, 1980). Le limbe des feuilles est membraneux et translucide (Figure 52).

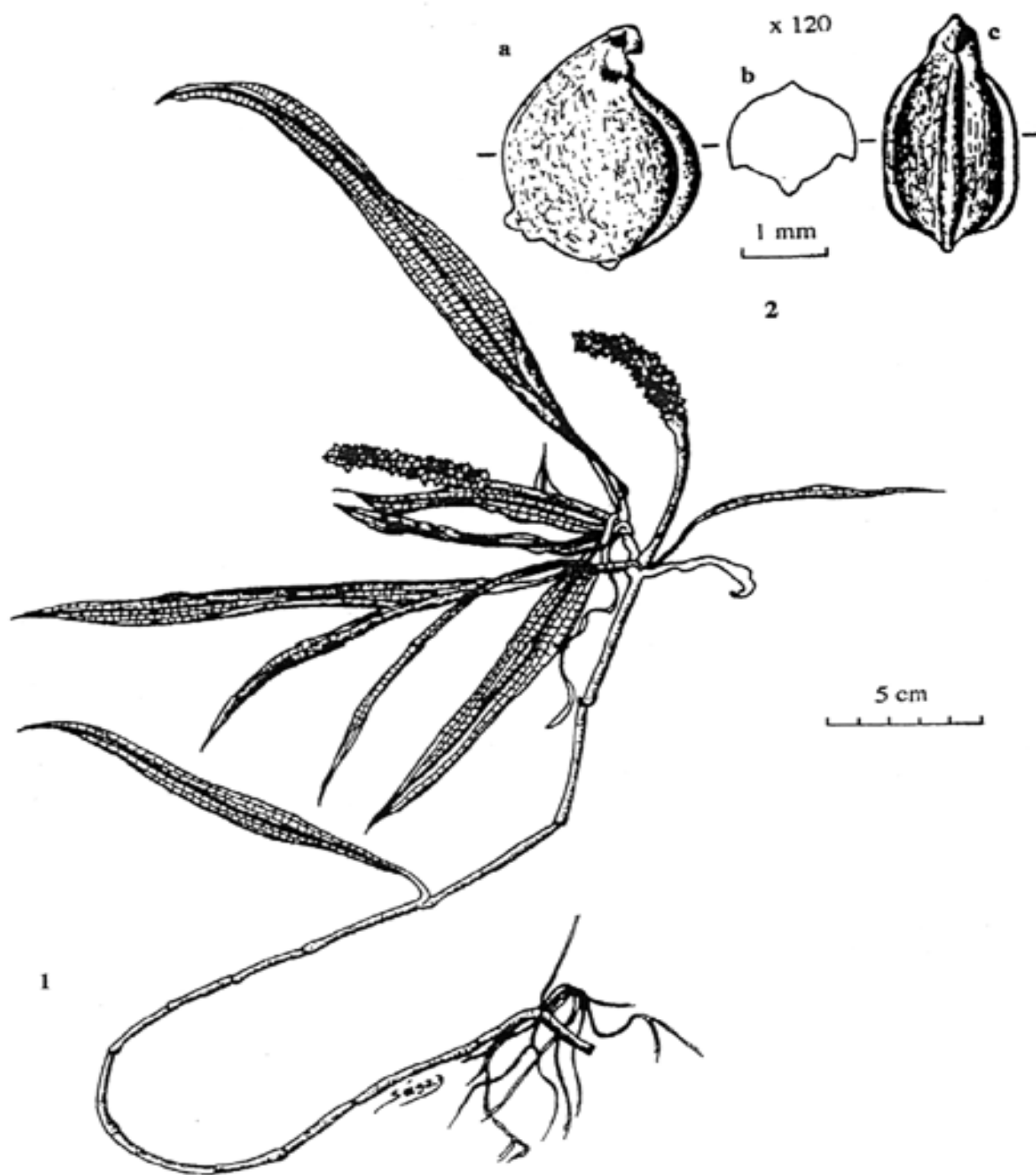


Figure 55- *Potamogeton Schweinfurthii* A. Bennett (1) Plante entière avec feuilles, deux inflorescences, racines et rhizome; (2) Graine (x 12) (a- vue de face; b- coupe transversale; c- vue de profil).

Les feuilles sont plus abondantes au sommet des tiges si bien que la plupart d'entre elles sont effectivement étalées sur le plan d'eau.

Les limbes foliaires, lancéolés, sont près de 14 fois plus longs que larges. Leur longueur varie considérablement (9 à 40 cm), tandis que leur largeur paraît plus homogène (0,9 à 2,3 cm) avec un écart-type de 0,3. Les chiffres obtenus sur la longueur des feuilles sont assez différents de ceux de Berhaut (1967) (8 - 15 cm), tandis que ceux de la largeur semblent plus conformes à nos observations (1-2cm). Les limbes comportent, presque invariablement, 4 nervures latérales.

Potamogeton schweinfurthii est une plante aquatique des eaux profondes et calmes (Raynal-Roques, 1980). La colonisation de la partie méridionale du lac se poursuivra rapidement sans doute au cours des années à venir compte tenu des niveaux d'eau élevés et de leur adoucissement progressif. Des peuplements ont été observés entre 0,60 et 3,10 mètres de profondeur. Ils forment dans le plan d'eau des plages plus ou moins individualisées, dont l'aspect, lié au stade végétatif de la plante, change en fonction de la période de l'année. La plante se comporte dans le lac comme une plante vivace.

La multiplication végétative de *Potamogeton schweinfurthii* est très active par les portions de tiges que l'on observe souvent dans le lac se déplaçant au gré des vents et des courants d'eau.

Les essais de germination au laboratoire ont montré que les graines maintenues dans une humidité permanente germent au bout de 4 mois.

Les *Potamots* sont dans leur grande majorité des plantes d'eau douce ; aucune d'elle ne vit en milieu marin.

La plupart des espèces de *Potamogeton* croissent dans les régions climatiques tempérées. Environ une dizaine d'espèces se rencontrent en Afrique. *Potamogeton schweinfurthii* est géographiquement limité à l'Afrique tropicale selon Raynal-Roques (1980). Des travaux récents ont signalé l'espèce en Europe (Kaplan, 2005). Pour l'ensemble du territoire sénégalais, trois espèces du genre *Potamogeton* sont signalées : *Potamogeton schweinfurthii*, *Potamogeton octandrus* et *Potamogeton nodosus* (Berhaut, 1967; Adam, 1962 ; Lebrun, 1973).

Jusqu'à la mise en place des grands barrages sur le Sénégal, *Potamogeton* n'a pas été mentionné dans le lac de Guiers par les auteurs qui ont étudié la flore la région (Trochain, 1940 ; Trochain, 1956 ; Adam, 1964 ; Thiam, 1984). Adam (1960) a indiqué un *Potamogeton* dans les rizières de Richard-Toll malheureusement l'espèce n'a pas été identifiée. *Potamogeton schweinfurthii* a été

récoltée dans le lac de Guiers il y a plus d'un siècle par Roger (1819) et Leprieur (1826) (Dandy, 1937). *P. schweinfurthii* a dû disparaître par la suite à cause des eaux saumâtres venant de la mer pendant les étiages et pénétrant dans le lac. Il est probable que les conditions hydrologiques et de qualité des eaux étaient similaires à celles d'aujourd'hui. Les eaux devraient être très douces. Quoiqu'il en soit, *Potamogeton schweinfurthii* et *Potamogeton octandrus* sont actuellement abondantes dans le lac de Guiers et dans le delta du fleuve Sénégal (Thiam, 1993 ; Thiam et Ouattara, 1997; Thiam 1998).

Les observations sur la répartition et le comportement des deux espèces montrent que *P. octandrus* supporte une salinité de l'eau plus élevée que *P. schweinfurthii*.

P. schweinfurthii supporte les hauteurs d'eau plus élevées que *P. octandrus*. Il a été observé à des profondeurs de plus de 3 m alors que *P. octandrus* ne dépasse guère 1,5 m.

En Afrique du Sud, *P. schweinfurthii* constitue souvent une entrave à la navigation et représente une première étape vers la disparition de nombreux petits cours d'eau (Dejoux, 1988). Il en est actuellement de même dans le lac de Guiers en ce qui concerne la navigation. Il est très difficile de se déplacer avec un bateau à moteur sur le lac à cause des peuplements submergés très importants surtout dans les régions centrale et nord du lac. La plante a développé des herbiers importants dans le lac Tchad (Dejoux et Saint-Jean, 1972).

Plusieurs missions au lac de Guiers entre 1993 et 1995 ont permis de suivre la distribution des peuplements de *Potamogeton schweinfurthii* dans le plan d'eau et de suivre leur évolution saisonnière.

Les peuplements de *Potamogeton schweinfurthii* forment des tapis immergés circulaires. Ces tapis de végétation retiennent parfois, dans des endroits calmes, d'autres plantes aquatiques flottantes libres, en particulier *Azolla africana* et *Pistia stratiotes*.

La Figure 56 montre la localisation des principaux groupements à *Potamogeton schweinfurthii* dans le lac de Guiers en janvier 1993. Les tapis de la plante se concentrent essentiellement dans la moitié nord, depuis l'embouchure de la Taoué jusqu'au niveau du village de Ngnith. Toutefois, il y a un début d'extension dans la région méridionale, jusqu'au niveau du village de Sier. Les superficies du lac occupées par les tapis de *Potamogeton Schweinfurthii* au moment de nos observations peuvent être estimées à 500 ha.

Les valeurs moyennes du pH et de la conductivité électrique mesurées dans les groupements à *P. schweinfurthii* dans la région Nord et centrale du lac en janvier 1993 étaient respectivement de 8,1 et de 264,1 $\mu\text{S/cm}$.

Pendant la même période, *Potamogeton schweinfurthii* n'a pas été observé dans le canal de la Taoué qui alimente le lac à partir du fleuve Sénégal. Cela est probablement dû à la vitesse rapide des courants d'eau dans le canal.

Les peuplements de *Potamogeton schweinfurthii* se présentent dans le lac de Guiers sous des états différents selon la période de l'année. La période février à avril correspond à celle de la pleine fructification, accompagnée d'une perte progressive du feuillage qui, très abondant en décembre – janvier, diminue progressivement pour être à son minimum pendant l'hivernage (juillet à septembre). La chute des feuilles est plus marquée au centre des peuplements parce que le développement des tapis est centrifuge, les individus les plus âgés se trouvent au centre.

En février 1995, des groupements épars ont également été rencontrés dans l'extrême sud du lac, aux environs de Keur Momar Sarr et dans la basse vallée du Ferlo, laquelle a été remise en eau au début des années 90. L'extension de la plante dans l'ensemble du delta et la basse vallée du Ferlo est en cours (Thiam 1998 ; Sarr *et al.*, 2001).

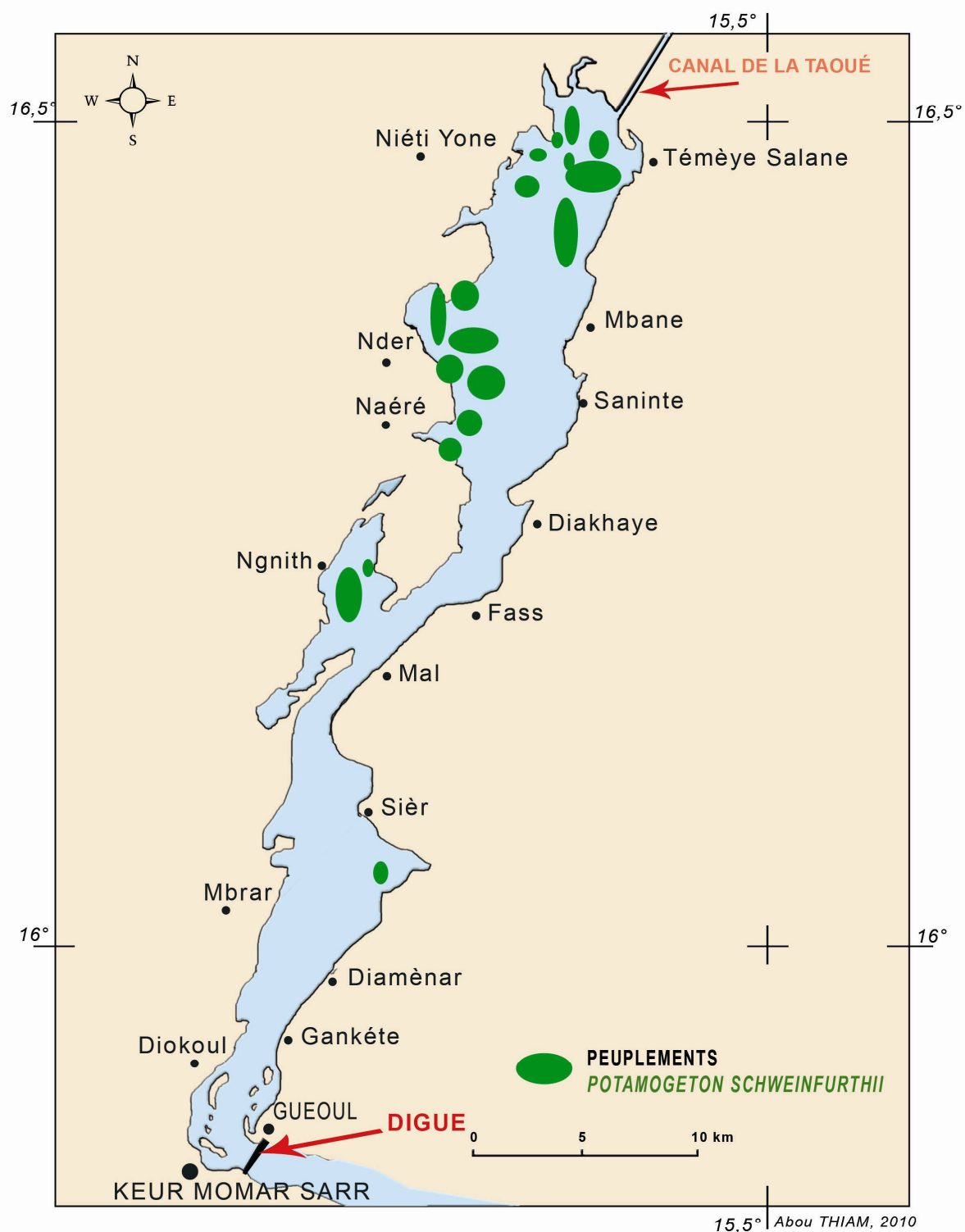


Figure 56 - Principaux peuplements de *P. schweinfurthii* dans le lac de Guiers, janvier 1993

La présence massive des *Potamots*, surtout de *Potamogeton schweinfurthii* dans le lac et le fleuve est sans nul doute le signe le plus évident de l'adoucissement important des eaux consécutivement aux barrages.

4.4.2.2 Phytomasse

Les valeurs de phytomasses obtenues sur différents organes de la plante sont consignées dans le tableau 27.

Tableau 27- Eau et matières sèches dans quelques organes de *Potamogeton schweinfurthii*

ECHANTILLONS	ORGANES	Poids frais (g)	Poids sec (g)	Eau (g)	(%)	Matières sèches (%)
1	épis	190	29	161	84,74	15,26
	tiges	597	64	533	89,28	10,72
	feuilles	1031	219	812	78,76	21,24
2	épis	288	39	249	86,46	13,54
	tiges	491	65	426	86,76	13,24
	feuilles	636	123	513	80,66	19,34
3	épis	243	30	213	87,65	12,35
	tiges	871	87	784	90,01	9,99
	feuilles	1528	233	1295	84,75	15,25
4	épis	475	59	416	87,58	12,42
	tiges	732	75	657	89,75	10,25
	feuilles	887	139	748	84,33	15,67

MOYENNES

épis	299	39,25	259,75	86,87	13,13
tiges	672,75	72,75	600	89,19	10,81
feuilles	1020,5	178,5	842	82,51	17,49
Total	1992,3	290,5	1701,8	85,42	14,58

La phytomasse mesurée est en moyenne de 290 g de matière sèche au m² soit 2,9 tonnes par ha. La matière sèche est plus importante dans les feuilles, les épis et ensuite dans les tiges. Comparée à *Typha* et à *Pistia*, la phytomasse de *P. schweinfurthii* est nettement plus faible.

La Figure 57 montre l'importance relative de l'eau et de la matière sèche dans différents organes de *Potamogeton schweinfurthii*.

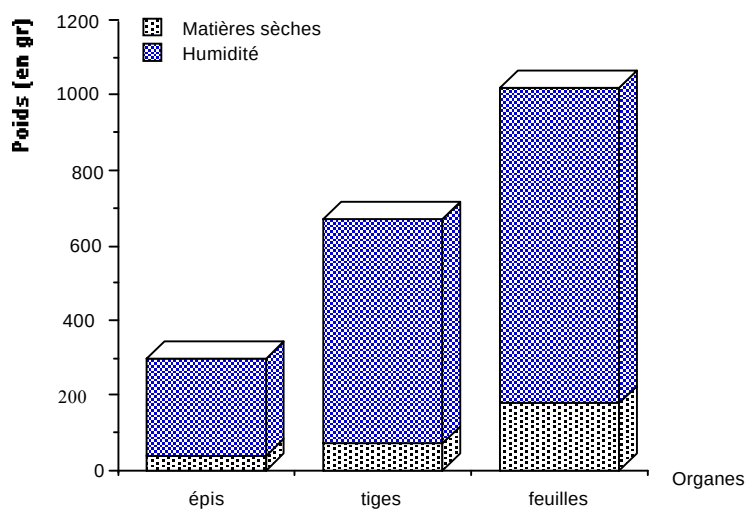


Figure 57 - Matières sèches et eau dans différents organes de *P. schweinfurthii*.

P. schweinfurthii est très riche en eau avec plus de 85 % d'humidité. Les feuilles sont les organes qui en contiennent le plus et les épis le moins d'eau.

Pendant que le développement important de *Typha*, de *Pistia* et de *Potamogeton* constituait des préoccupations majeures et a commencé à attirer l'attention sur les macrophytes

aquatiques de la région, en 1999 d'importants tapis de *Salvinia molesta* apparurent soudainement et envahirent d'abord le delta ensuite le lac de Guiers.

4.5 Invasion du delta du fleuve Sénégal par *Salvinia molesta* D.S. Mitchell.

Salvinia est nommé d'après Antonio Maria Salvini (1633-1729), un professeur de grec à l'Université de Florence qui aidait le botaniste Pier Antonio Micheli (1679-1737) dans ses études ; *molesta* vient du Latin *molestus* qui signifie «gênant » ou «ennuyant » et se réfère au comportement de mauvaise herbe dans les canaux et les systèmes de stockage de l'eau (Parsons W.T. & Cuthbertson, 2001).

Salvinia molesta est originaire du sud-est du Brésil (Forno and Harkey, 1979). Depuis 1930, la plante a été introduite dans les régions tropicales et subtropicales variées où elle est devenue une menace sérieuse comme *Eichhornia crassipes* (la jacinthe d'eau) (Room et al., 1981). La plante a été signalée dans plus de 20 pays dans le Monde (Olivier, 1993). Elle a été mentionnée dans plusieurs pays en Afrique du Sud (Guillarmod, 1979). *S. molesta* a eu un développement explosif dans le lac Kariba (Zimbabwe) au début des années 60 après la mise en place de barrages (Boughey, 1963 ; Mitchell, 1969). Depuis 1984, elle figure sur la liste des plantes nuisibles aux Etats-Unis et il est prohibé de l'importer dans le pays (McFarland et al., 2004).

La plante n'est pas mentionnée dans les flores autochtones et introduites du Sénégal (Adam, 1962; Berhaut, 1967 ; Berhaut, 1971-1979; Lebrun, 1973). Cette fougère aquatique de la famille des Hydroptéridées n'a pas été citée non plus dans les études anciennes et récentes de la flore aquatique de la région du delta du fleuve Sénégal et le lac de Guiers (Trochain, 1940 ; Adam, 1960 ; Adam, 1964 ; Thiam, 1984 ; Thiam et al., 1993 ; Thiam et Ouattara, 1997; Thiam, 1998).

Au cours d'une mission botanique dans la région, nous avons récolté le 18 mars 1999, pour la première fois, *Salvinia molesta* D.S. Mitchell dans un canal d'irrigation communiquant avec le fleuve Sénégal aux environs du village de Ronkh (N 16°31'388 et W 16° 06'346). A partir de ce site, la plante s'est rapidement propagée sur de nombreux plans d'eau et bassins du delta et le lac de Guiers. Dans les premiers mois de 2000, la situation a empiré ; toutes les surfaces d'eau en contact direct avec le fleuve ont été infestées. En fin septembre 2000, *Salvinia* est présente partout dans le delta et le lac de Guiers et menace les périmètres hydro-agricoles, le barrage de Diama (Figures 58 & 59) et le parc national du Djoudj. L'envahissement des plans d'eau par *Salvinia molesta* a notamment eu pour conséquences (Triplet et al. 2001) :

- le blocage des pompes pour l'irrigation ;
- l'augmentation des zones favorables au développement des moustiques et certains mollusques vecteurs de maladies liées à l'eau ;
- l'impossibilité pour les oiseaux d'eau de se poser ;
- les risques d'invasion des rizières qui sont connues comme des zones de développement privilégiées pour l'espèce ;
- les difficultés de navigation sur le fleuve et le lac (Figure 59) ;
- les difficultés voire l'impossibilité de pêcher ;
- les difficultés pour le bétail d'accéder à l'eau ;
- les risques de manque d'eau potable pour les villes de Dakar et de Saint Louis qui dépendent grandement du fleuve et du lac de Guiers pour leur alimentation en eau ;

A ces menaces au plan local et national s'ajoutent d'autres conséquences graves au plan mondial car le delta du fleuve Sénégal joue un rôle irremplaçable pour de nombreuses espèces d'oiseaux migratrices. Ce rôle a été reconnu de longue date et a abouti à la création dans la région en plus du Parc national des oiseaux du Djoudj, le Parc national de la Langue de Barbarie, la réserve de faune de Gueumbeul et la réserve de faune du Ndiel (Anonyme, 1998). En définitive, le développement explosif de *Salvinia molesta* est devenu une contrainte supplémentaire à l'exploitation des ressources agricoles et halieutiques de la région et un frein aux activités touristiques génératrices de revenus importants pour les populations de la région et l'Etat sénégalais.

Face à la menace et aux nuisances provoquées par la plante, différents moyens de lutte ont été mis en œuvre pour contrôler l'expansion de la fougère. Il s'est agi de la lutte manuelle, mécanique et biologique. La lutte biologique avec *Cyrtobagous salviniae* a freiné l'extension de la peste végétale (Pieterse *et al.* 2003; Diop 2006).

Compte tenu des problèmes posés par la prolifération de la fougère, nous avons étudié, au moment de l'invasion, la présence, l'abondance de la plante et analysé quelques paramètres de l'eau dans laquelle se développaient les tapis de *Salvinia*. L'objectif visé était d'avoir une meilleure connaissance des conditions de qualité d'eau favorables à la pullulation de la fougère dans le delta et le lac de Guiers.



Figure 58 - Envahissement des écluses du barrage de Diama par *S. molesta*, Novembre 1999



Figure 59 - Masse dense de *S. molesta*, barrage de Diama, Novembre 1999

4.5.1 Matériels et méthodes

En novembre 1999, soit six mois après la récolte de la plante pour la première fois, nous avons remonté le fleuve de Diama à Débi pour évaluer l'extension de la plante et analyser quelques paramètres physico-chimiques de l'eau qui baigne les peuplements de *Salvinia*. Il a été procédé à l'inventaire et à l'estimation de l'abondance des macrophytes aquatiques au niveau de 11 sites (Tableau 29) Deux années plus tard, en mars 2001, nous avons de nouveau parcouru la région du delta et le lac de Guiers. En plus des sites visités en 1999, nous avons observé la plante au niveau de 13 autres stations situés plus en aval.

Pour l'estimation de l'abondance des macrophytes, l'échelle suivante a été utilisée :

+++ = Très abondant (supérieur à 75 %)

++ = Abondant (entre 30 et 75 %)

+ = Peu abondant (inférieur à 30 %)

- = Rare

Les coordonnées géographiques des sites ont été établies avec un GPS Panasonic model KX-G5500.

Le pH et la conductivité de l'eau ont été déterminés sur place avec des appareils portatifs. Les nitrates, les nitrites et les phosphates ont été analysés au laboratoire sur des échantillons d'eau prélevés et conservés dans une glacière avant acheminement au laboratoire. Les analyses de la qualité des eaux ont été effectuées dans les 11 sites d'observation visités lors de la mission effectuée en 1999.

4.5.2 Résultats et discussion

4.5.2.1 Abondance des macrophytes

La synthèse des observations effectuées sur la présence et l'abondance de *Salvinia molesta* et d'autres macrophytes dans plusieurs sites sur le fleuve Sénégal sont indiquées dans le tableau 28.

Tableau 28 - Abondance des macrophytes dans le fleuve Sénégal, Novembre 1999

Site	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Coordonnées N	16° 12' 53"	16° 12' 50"	16° 21' 51"	16° 21' 51"	16° 24' 34"	16° 28' 50"	16° 30' 54"	16° 28' 24"	16° 24' 06"
Géographiques W	16° 25' 05"	16° 24' 50"	16° 16' 31"	16° 16' 31"	16°18' 07"	16° 16' 34"	16°13' 56"	16° 02' 50"	16° 04' 34"
Macrophytes									
1. Flottants									
<i>Salvinia molesta</i>	+++	+++	+++	-	+++	+++	+++	+++	+++
<i>Azolla africana</i>	+	+	+	++	+		+	+	
<i>Pistia stratiotes</i>							-	-	
Utricularia stellaris				-					
2. Fixés									
<i>Typha domingensis</i>		++	++	+	++	++	++	++	
<i>Ludwigia adscendens</i>		+					+		
<i>Ludwigia Leptocarpa</i>							+		
<i>Najas pectinata</i>		+							

Légende : +++ = Très abondant ; ++ = Abondant ; + = Peu abondant ; - = rare

1: En aval du barrage de Diama (500 m) (27/11/99) ; 2. En amont du barrage de Diama environ 1 km du barrage (27/11/99) ; 3. Parc du Djoudj côté fleuve Sénégal au près des vannes du pont de l'embarcadère (27/11/99); 4. Parc du Djoudj côté parc près des vannes du pont de l'embarcadère (27/11/99) ; 5. Embarcadère du Djoudj (27/11/99) ; 6. Village de Débi (27/11/99); 7. Près de la station de pompage de Débi (27/11/99) ; 8. Près de la station de pompage de Diawar (27/11/99) ; 9. Aux environs de Boundou Barrage (27/11/99).

Les tapis de *Salvinia* sont abondants dans l'ensemble des sites visités sauf au niveau du Parc du Djoudj où les entrées d'eau sont contrôlées par un système de vannes qui régulent le passage de l'eau du fleuve dans le Djoudj. Tous les espaces rivulaires inoccupés par les peuplements de *Typha domingensis* sont colonisés par la plante. D'autres macrophytes flottants tels que *Pistia*, *Azolla* sont étouffés et progressivement éliminés par les tapis de *Salvinia*.

Dans le tableau 29, les valeurs des paramètres physico-chimiques des eaux dans lesquelles baignent les tapis denses de *Salvinia* sont indiquées.

Tableau 29 - Physico-chimie de l'eau dans quelques sites envahis par *Salvinia molesta*

Site	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Moyenne
Coordonnées N W	16° 12' 53"	16° 12' 50"	16° 21' 51"	16° 21' 51"	16° 24' 34"	16° 28' 50"	16°30'54"	16° 28' 24"	16°24' 06"	
	16° 25' 05"	16° 24' 50"	16° 16' 31"	16°16'31"	16°18' 07"	16° 16' 34"	16°13' 56"	16° 02' 50"	16° 04'34"	
Paramètres										
pH	6	6	6	7	6	6	7	6	6	6,2
Conductivité (μ S/cm)	182	156,3	249	314	163,3	243	190	220	340	228,6
Nitrates (mg/l)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nitrites (mg/l)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Phosphates (mg/l)	0	0	0	0	0	0	0,25	0,25	0,25	0,08

Légende

1 : En aval du barrage de Diama (500 m) (27/11/99) ; 2 : En amont du barrage Diama à environ 1 km du barrage (27/11/99) ; 3 : Parc du Djoudj côté fleuve Sénégal près des vannes du pont de l'embarcadère (27/11/99) ; 4 : Parc du Djoudj côté fleuve (27/11/99) ; 5 : Embarcadère du Djoudj (27/11/99) ; 6. Village de Débi (27/11/99) ; 7 : Près de la station de pompage de Débi (27/11/99) ; 8 : Près de la station de pompage de Diawar (27/11/99) ; 9. Aux environs de Boundou Barrage (27/11/99).

La conductivité de l'eau est partout très faible. La moyenne est de 228 μ S. Le pH est neutre ou très légèrement acide. L'eau est très douce. Les taux de phosphates et de nitrates sont pratiquement nuls. Il n'y a pas de signe d'eutrophisation.

La faible salinité, le pH neutre ajoutés à l'ensoleillement et aux vents forts paraissent être les conditions qui ont été favorables à l'invasion du delta par la plante.

Les effets de la salinité sur *Salvinia molesta* ont été étudiés en détail : Samuel *et al.* (1975), ont montré qu'il survenait une mortalité de 90 % des plantes placées dans l'eau de mer (3,5 ‰) en 24 heures. Georges (1976) a observé la mort rapide de *Salvinia molesta* dans les eaux saumâtres et de mer. Divakaran *et al.* (1980), ont rapporté qu'une salinité au-dessus de 7 ‰ est nuisible à *Salvinia molesta* ; la plante est complètement fanée à une salinité de 11 ‰ et au-dessus. Elle meurt à une salinité de 34 ‰ et 11 ‰ respectivement en 30 mn et 20 heures. La température est également un facteur important au développement de la plante ; au laboratoire la plante meurt en 2-3 heures en dessous de -3°C et au-dessus de 43°C (Whiteman and Room, 1991).

4.5.2.2 Systématique et distribution

Il y a une très grande confusion dans la systématique des *Salvinia*. Sur les 10 espèces que renferme le genre, une seule espèce *Salvinia nymphellula* Desv. se trouve en Afrique Occidentale (Aké Assi, 1977). *Salvinia nymphellula* a été signalée à une date récente dans la région des « Niayes » au Sénégal (Sanokho, 1977). *S. nymphellula* a été également observée en Côte d'Ivoire, au Ghana, au Bénin, au Niger, au Nigeria, au Cameroun, au Gabon et au Congo (Aké Assi, 1977). *Salvinia nymphellula* et *S. hastata* sont endémiques en Afrique (Mitchell, 1985). *Salvinia hastata* Desv. a été signalée à Madagascar et en Afrique de l'Est Tropicale (Wild, 1961). Il y aurait deux centres majeurs de distribution du genre *Salvinia* ; l'un en Afrique et l'autre en Amérique centrale et du sud. Il y aurait une affinité entre *Salvinia* et *Azolla* ; mais du fait de la différence de plusieurs caractères, les deux plantes ne paraissent vraiment pas proches. Leur inclusion dans le même ordre, *Salviniales*, a été indiquée (Kubtziki, 1990). La dérivation phylogénique de *Salvinia* est encore inconnue. Takhtazan (1953) les suppose dériver des *Hymenophyllaceae*. *Salvinia molesta* D.S Mitchell est la même espèce que *Salvinia auriculata* Aubl. (John, 1991). Elle paraît avoir une origine hybride (Mitchell, 1970 ; 1972). La plante ne se multiplie que par la voie végétative. Les sporocarpes d'environ

1mm de diamètre contiennent le plus souvent des sporanges vides (Webb et al., 1988). *Salvinia molesta* est devenue pantropicale par l'action de l'homme. La plante se trouve dans d'autres pays d'Afrique de l'Ouest. J'ai récolté des individus isolés en février 2000 sur les rives du fleuve Niger à Bamako (Mali). Actuellement, toute la zone rizicole de l'Office du Niger dans le delta central nigérien au Mali est infestée par la fougère. Celle-ci est entrée en compétition avec l'autre espèce aquatique envahissante redoutée, *Eichhornia crassipes* (la jacinthe d'eau), un fléau dans de nombreux cours d'eau d'Afrique de l'Ouest notamment le fleuve Niger.

4.5.2.3 Ecologie et multiplication

S. molesta est une espèce étrangère invasive introduite dans la zone (Kuisseu et al. 2001). En effet, selon les villageois interrogés, la plante a été introduite dans la vallée du fleuve par un entrepreneur qui projetait de produire de l'aliment de volaille avec la plante. L'entrepreneur n'a pas pu contrôler les individus qui ont été installés dans un canal aux environs du village de Ronkh. A partir de là les plantes ont envahi les nombreux cours d'eau et les canaux d'irrigations dans l'ensemble du delta et le lac de Guiers.

L'extension de l'espèce n'a pas été freinée par le barrage de Diama. En octobre 1999, nous avons retrouvé quelques individus isolés de la plante sur la langue de Barbarie en aval de Saint Louis, à plus d'une vingtaine de km du village de Ronkh où elle avait été introduite. Cependant, les masses importantes de la plantes ne sont pas observées en aval du barrage de Diama. Elles ne survivent sans doute pas à l'eau saumâtre qui envahit la région aval du barrage pendant la saison sèche. En novembre 1999, les environs immédiats du barrage de Diama sont infestés par la plante (Figure108) dont l'extension s'est poursuivie très rapidement vers l'aval, Rosso et Richard Toll.

L'invasion rapide du delta du fleuve Sénégal par la plante est survenue en un laps de temps très court. Les conditions hydrologiques et de qualité des eaux ont été particulièrement favorables. Deux raisons possibles à l'explosion de la plante : (a) le barrage de Diama a réduit en amont la vitesse des courants et les eaux sont devenues très calmes. Les importants rideaux de *Typha* contribuent fortement au ralentissement des mouvements des eaux ; et (b) la mise en eau des barrages a contribué à très sensiblement à la baisse de la salinité et l'enrichissement en nutriments des eaux du fleuve.

La plante a une multiplication végétative importante et une vitesse de propagation très élevée. Les études sur la vitesse de multiplication de *Salvinia molesta* par Mitchell (1970), Gaudet (1974) ont montré que dans des conditions de température optimale (25-30 °C), d'intensité lumineuse élevée et de non limitation d'apport en nutriments, l'accroissement de la population est exponentielle, et la plante est capable de doubler en terme de nombre de feuille en 2 ou 3 jours et occasionnellement en moins de 2 jours (Mitchell, 1985). Dans le lac Kariba, situé entre la Zambie et le Zimbabwe en Afrique du sud, la plante doublait ses feuilles tous les 8 à 12 jours (Mitchell and Tur, 1975). *Salvinia molesta* est considérée comme l'une des espèces végétales les plus envahissantes au Monde.

La fougère aquatique montre trois formes distinctes de multiplication (Ashton & Mitchell, 1989 ; Mitchell and Tur 1975) :

- une forme délicate et fragile « forme primaire d'invasion » avec de longs inter-nœuds et de petites feuilles atteignant 1,5 cm et qui flottent à la surface de l'eau ;
- la forme de colonisation des eaux vives avec des feuilles qui atteignent 2 cm de large ;
- une forme de tapis denses avec normalement de larges feuilles flottantes (atteignant jusqu'à 6 cm), que l'on rencontre quand les plantes commencent à se serrer les unes contre les autres et constituer des masses denses étouffant toutes les autres espèces.

Les caractéristiques écologiques qui permettent à la plante d'être invasive sont notamment (Cronk et Fuller, 1995) :

- plasticité morphologique, avec l'habileté de modifier ses structures végétatives en réponse aux conditions environnementales ;
- rapidité de propagation végétative ;
- potentiel élevé de multiplication et d'accroissement ;
- dispersion rapide par l'intermédiaire de différents organes qui se détachent facilement suite à l'action des vents, les vagues provoquées par les pirogues et les bateaux ; la dispersion sur de longues distances peut résulter du transport de matériel de plante vers l'aval où de nouvelles colonies peuvent démarrer.

La hauteur d'eau ne paraît pas être un facteur limitant le développement de la plante alors que les conditions d'humidité et d'eutrophisation des eaux dans les rizières suite à des apports d'engrais chimiques sont favorables à l'extension du macrophyte.

Plusieurs facteurs sont parus importants dans la formation et le développement de communautés stables de la plante dans le Delta :

- colonisation rapide des espaces libres disponibles;
- emboîtement d'individus dans les tapis constitués par la plante ;
- eau très douce à pH proche de la neutralité ;
- température optimale entre 25 °C et 35 °C quasiment toute l'année ;
- forte luminosité pendant la majeure partie de l'année;
- et, les vents forts qui soufflent dans la région surtout pendant la saison sèche, facilitent la dissémination de la plante sur de grandes distances.

Les conditions écologiques résultant de l'après barrage et le climat ont été favorables au développement explosif de *Salvinia molesta* dans le Delta. La prolifération de la plante a rendu difficile l'accès à l'eau par les hommes et le bétail et l'exercice de la pêche. De plus, de nombreux périmètres irrigués et les canaux d'amenée d'eau ont été envahis par la fougère. Les espaces libres non occupés par les peuplements de *Typha* ont été rapidement occupés par *Salvinia* qui a supplanté d'autres plantes flottantes telles que *Pistia* et *Azolla*.

Salvinia molesta n'a pas été éradiquée. Elle fait maintenant partie de la flore aquatique de la région et est susceptible de pulluler et devenir gênant à la faveur de nouvelles conditions favorables. Par exemple, la diminution des peuplements de *Typha* pourrait libérer des espaces qui pourraient être occupés par des tapis de *Salvinia molesta* ou d'autres macrophytes et pourraient redevenir gênant.

La multiplication et l'extension rapide de *Salvinia molesta* dans tout le système hydrographique du delta du fleuve Sénégal a montré combien il peut être grave et onéreux d'introduire les espèces exotiques dans de nouveaux écosystèmes.

4.6 Conclusion

Les sédiments du lac de Guiers contiennent d'importantes quantités d'akènes de *Typha domingensis* avec un pouvoir germinatif élevé. La croissance de la plante est très rapide dans les conditions du delta et le lac de Guiers ce qui la rend envahissant. Elle peut croître de près d'1cm par jour. La multiplication végétative à partir des rhizomes est importante et domine dans les

peuplements déjà installés alors que la colonisation des espaces vierges se fait par l'intermédiaire des grandes quantités de fruits produits et disséminés pendant la majeure partie de l'année particulièrement durant la longue saison sèche.

La phytomasse produite est très élevée et atteint plus de 80 t de matières sèches par hectare. Les investigations devraient être poursuivies en vue d'une modélisation des processus de croissance et de multiplication de la plante en fonction notamment des hauteurs d'eau et de la salinité du sol et de l'eau. Les possibilités de valorisation de l'importante phytomasse du macrophyte devront recevoir également plus d'attention.

Une bonne connaissance de la dynamique des peuplements de *T. domingensis* permettra certainement d'établir des programmes de gestion de la plante dans les réservoirs et les milieux humides et augmenter l'utilisation de la phytomasse tout en réduisant les effets négatifs liés à l'accumulation de la matière organique produite par la plante dans les plans d'eau.

La multiplication végétative est la principale forme de reproduction de *Pistia stratiotes* dans le lac de Guiers. La vitesse d'accroissement est en relation avec la densité. Les densités de 4 à 8 individus au mètre carré sont favorables à la pullulation de la plante. La phytomasse sèche produite en milieu naturel est en moyenne de 1900 g de matières sèches par m².

Pistia ne présente pas actuellement de risques de prolifération depuis que les niveaux sont devenus plus stables et les eaux moins turbides. Cependant, d'autres grands ouvrages sont en chantier en amont sur le fleuve Sénégal (barrages hydroélectriques de Félou et de Gouina notamment). La mise en service de ces ouvrages pourrait créer de nouvelles conditions favorables à l'extension de la plante. Il s'agira de préciser dans l'avenir les facteurs propices au développement de l'espèce dans le delta notamment en ce qui concerne la qualité et la hauteur des eaux. La reproduction sexuée de *Pistia* mériterait également d'être étudiée car celle-ci joue un rôle fondamental dans l'adaptation de la plante aux conditions écologiques changeantes de la zone.

Les mesures biométriques de différents organes de *P. schweinfurthii* ont permis d'obtenir des données originales sur la morphologie de la plante dans le lac. Les principaux sites d'extension du macrophyte dans le lac ont été localisés sur une carte. Celle-ci qui pourrait aider dans le suivi du développement des herbiers de la plante dans le lac. La phytomasse produite est très faible, environ 290 g de matière sèche par m². La plante est constituée à plus de 85 % d'eau que l'on trouve beaucoup plus dans les feuilles.

Il serait intéressant de suivre le développement des tapis de *P. schweinfurthii* dans le lac et étudier les effets des peuplements de *P. schweinfurthii* sur le processus et la vitesse de sédimentation dans le lac de Guiers.

Le développement rapide de *Salvinia molesta* a montré quelques problèmes que peuvent engendrer l'introduction d'espèces exotiques invasive surtout lorsqu'elles sont douées d'un important potentiel de multiplication. Certes, la lutte biologique avec *Cyrtobagous salviniae* a permis de contrôler la plante. Cependant, les conséquences de l'introduction de l'insecte n'ont pas été évaluées. L'agent biologique a été utilisé dans l'urgence. Il n'y a pas eu au préalable d'études d'impacts de l'insecte sur l'écosystème du delta. En tout état de cause, il est impératif de suivre les populations de *S. molesta* dans la zone.

La diminution de la salinité de l'eau et celle des terres dans certains cas ainsi que les hauteurs d'eau élevées toute l'année ont été les principaux facteurs qui ont provoqué l'extension des macrophytes étudiés. La mise en valeur des terres irrigables, la bonne gestion de l'eau, et l'entretien régulier des canaux aideraient sans doute à maintenir les macrophytes de la zone à des niveaux qui ne gênent pas trop les activités humaines et ne posent pas de graves problèmes environnementaux. Cela doit se faire dans un cadre politique bien déterminé et suivi.

Chapitre 5 Discussion générale

Au terme de ce travail, il a paru utile de revenir sur le contexte et la justification et de discuter les principaux résultats obtenus de l'étude de la flore, de la végétation et des groupements végétaux, ainsi que des aspects liés à la prolifération des espèces majeures pour comprendre le problème, son évolution et son impact sur l'environnement, et dégager quelques perspectives dans le cadre de la gestion durable des macrophytes aquatiques proliférants dans le delta et le lac de Guiers.

5.1. Sur les problèmes du milieu

Le delta du fleuve Sénégal et le lac de Guiers ont subi de profonds changements avec la mise en place des barrages de Manantali et de Diama et les différents aménagements qui en ont résulté (endiguements, aménagements de périmètres irrigués, Parcs nationaux,...). Ces ouvrages ont perturbé de manière très sensible les régimes hydrauliques et le fonctionnement général des écosystèmes aquatiques (Cogels *et al.*, 1993; Kane, 1997). Il est bien connu, que la transformation d'un système d'eau courante en un système d'eau dormante qui survient avec les barrages, influe sur le peuplement végétal et peut entraîner l'extension rapide de certaines espèces (Boughey, 1963 ; Cook, 1968 ; Gaudet, 1974 ; Dejoux, 1988).

Les grands ouvrages sur le fleuve Sénégal ont eu des impacts indéniables sur l'environnement, parfois positifs, mais souvent négatifs (BDPA/Coyne et Bellier, 1999). Certains effets prévisibles ont été cités dans différentes études d'impacts (Gannett Fleming, 1980) ainsi que l'étude des problèmes environnementaux et de protection des milieux naturels (République du Sénégal, 1994; BDPA *et al.*, 1995b). Les principaux problèmes environnementaux posés par les ouvrages sont une salinisation accrue des sols en aval de Diama ; en amont avec une recharge plus importante des nappes il y a par endroits des remontées de sels par capillarité, la baisse importante de la production piscicole, la perturbation des pratiques traditionnelles de cultures de décrue, la dégradation de la qualité des eaux dans les secteurs de production intensive, la pression croissante et les conflits liés à l'usage des eaux, les problèmes de santé,...(BDPA *et al.*, 1995a ; BDPA *et al.*, 1995b). Les incidences négatives des barrages sur les systèmes de production traditionnels et sur les cultures irriguées ont également été analysées (Adams, 2000 ; Dumas et Mietton, 2006).

Malgré les nombreuses études réalisées, certains impacts restent encore moins bien connus et de façon générale, les effets en termes quantitatifs sont mal évalués (Diakhaté, 1986). Il est ainsi difficile d'en mesurer exactement les risques.

Il faut reconnaître que les données de base sur la gestion et l'impact environnemental des barrages sont très limitées et insuffisantes pour :

- gérer les ouvrages conformément à leurs objectifs ;
- moduler ces objectifs et cette gestion dans le cadre plus général du développement durable et économiquement acceptable de la vallée, respecter l'environnement au sens large et réaliser des programmes de développement compatibles avec notamment la santé des populations (BDPA/Coyne et Bellier, 1999).

L'adoucissement important des eaux ainsi que la stabilité des hauteurs d'eau suite aux ouvrages ont entraîné la multiplication excessive de certaines espèces végétales (Anonyme, 1995b). Les principaux effets négatifs suivants sont observés :

- difficultés pour les populations humaines et les animaux d'accéder à l'eau douce pour s'abreuver ;
- entrave à l'écoulement des eaux pour les besoins d'irrigation agricole ;
- difficultés de déplacements sur les plans d'eau envahis par la végétation aquatique ;
- limitation des activités de pêche sur le fleuve, les affluents et le lac de Guiers ;
- recrudescence de maladies liées à l'eau douce comme le paludisme et la bilharziose ;
- augmentation des peuplements de macrophytes qui constituent des dortoirs et des zones de nidification pratiquement inviolables pour les oiseaux granivores néfastes aux cultures ;

Il s'agit là des principaux effets négatifs. Ils se sont manifestés ou se sont amplifiés après la construction des barrages. Ces effets ne paraissent pas avoir été suffisamment pris en compte dans les études d'impacts réalisées avant la construction des ouvrages (Gannett Fleming, 1980).

Pour pallier l'insuffisance d'informations sur l'environnement de la vallée du fleuve et de ses dépendances, l'OMVS a préconisé la mise en place d'un Observatoire sur l'environnement qui assurerait le suivi environnemental des zones affectées par les barrages et permettrait aux décideurs de disposer d'informations utiles à la mise en œuvre d'actions d'atténuation des effets négatifs sur l'environnement (BDPA/Coyne et Bellier, 1999 ; O.M.V.S, 2003).

Des modèles de gestion des eaux du lac de Guiers ont été proposés (Cogels, 1997). La mise en place en 2010 par les autorités sénégalaises de l'Office du lac de Guiers (O.L.A.G), chargée de

la gestion du plan d'eau constitue une décision politique et administrative importante dans le sens d'un meilleur suivi, du contrôle et de la protection du lac. Il faut espérer que la structure disposera des moyens nécessaires à l'accomplissement de sa mission.

5.2 Sur la flore vasculaire

L'inventaire des macrophytes dans les milieux humides du Delta et le lac de Guiers a permis de recenser 151 espèces réparties dans 47 familles et 105 genres. Dans cette flore les dicotylédones (85 espèces) sont plus importantes en nombre d'espèces que les monocotylédones (63 espèces).

En absence de données précises à l'échelle du delta sur la situation avant les barrages, il est impossible de comparer la flore actuelle avec la période antérieure. Cependant, certaines tendances peuvent être envisagées en terme d'évolution de la flore.

Du point de vue du spectre taxonomique, le *coefficient générique*, c'est-à-dire le rapport du nombre de genre au nombre d'espèces est particulièrement élevé ; il atteint 67 % alors qu'il est de 40 % pour la flore générale du Sénégal sur la base des données établies par Ba et Noba (2001). Ce coefficient est de 72 % pour le Sahara ; de fortes valeurs de ce coefficient sont caractéristiques de flores appauvries (Ozenda, 2004).

Le rapport du nombre de familles au nombre d'espèce est également élevé ; il est de 31 % tandis qu'il est de 7 % seulement pour la flore du Sénégal (Ba et Noba, 2001). De sorte que la grande majorité des familles dans le delta et le lac de Guiers ne sont représentées que par un ou deux genres et la plupart des genres par une ou deux espèces. Comparée, à la flore vasculaire du Sénégal qui compte 182 familles, 1022 genres et 2499 espèces (Ba et Noba, 2001), la flore vasculaire recensée dans les milieux humides et aquatiques du delta du fleuve Sénégal, représente 25,8 % des familles, 9,9 % des genres et 6 % des espèces répertoriées sur le territoire sénégalais.

Cette particularité floristique du delta pourrait être expliquée par la dominance des espèces dans les zones basses inondables, consécutivement à la mise en place des barrages, qui sont à l'interface des milieux aquatiques et des milieux terrestres ainsi qu'à la forte artificialisation liée à la multiplication des périmètres irrigués et les nombreux troupeaux de bétails qui parcourent la région tout le long de l'année. Les activités agricoles et le bétail participent sans doute à la dissémination des diaspores des macrophytes (par anthropochorie et zoochorie).

Les hydrophytes *stricto sensu* répertoriées sont au nombre de 21 espèces (3 ptéridophytes, 8 dicotylédones et 10 monocotylédones). Le nombre total des familles est de 15 (3

ptéridophytes, 6 dicotylédones et 6 monocotylédones) et celui des genres est de 16 (3 ptéridophytes, 6 dicotylédones et 7 monocotylédones). Les quinze (15) familles représentent 15 % des taxons recensés.

- Les espèces de plantes aquatiques vasculaires appartenant à des familles non strictement aquatiques sont au nombre de 66 (24 dicotylédones et 42 monocotylédones). Le total des familles est de 13 (10 dicotylédones et 3 monocotylédones) et les genres est de 39 (17 dicotylédones et 22 monocotylédones).
- treize (13) espèces recensées sont fréquentes dans les zones salées humides avec 4 espèces de la famille des *Chenopodiaceae*.

Cinquante-cinq (55) taxons sont des espèces accidentelles ou ubiquistes de terrains humides faiblement salés ou non. L'importance de ces taxons dénote d'une forte artificialisation du milieu avec introduction d'espèces venant d'autres régions avec le développement des transports et des échanges entre les régions et les pays.

Quelques 2600 macrophytes d'eau douce ont été répertoriées dans le Monde (Beisel et Lévêque, 2010). Ils ne représentent qu'entre 1% à 2% du nombre total des plantes vasculaires connues (Cook, 1990). Les Angiospermes sont dominantes dans les végétaux aquatiques vasculaires (Dodds, 2002). Dans ce groupe, les espèces de plantes aquatiques ont été trouvées dans 396 genres appartenant à 78 familles (Cook, 1990). Du point de vue des familles, 35 % des monocotylédones ont des espèces aquatiques tandis qu'il y a seulement 12,1 % chez les dicotylédones (Waridel, 2003). Les monocotylédones semblent relativement plus importantes dans les habitats aquatiques que dans les habitats terrestres (Hutchinson, 1975).

Les *hélogéophytes* constituent la moitié des types biologiques (49 %), suivent les *hydrogéophytes* (19 %), les *hydrophytes nageants* (13 %) et les *hélothérophytes* (12%). Ces 4 types biologiques constituent plus de 90 % des formes biologiques des macrophytes aquatiques. Les *hydrohémicryptophytes* et les *hydrothérophytes* sont les moins représentées dans la flore des milieux humides et aquatiques.

Compte tenu de la réduction des courants des eaux voire leur stagnation ainsi que le développement des périmètres irrigués, il est probable que les hélogéophytes et les hydrogéophytes continueront à augmenter. De nombreuses Cyperaceae font partie de ces types, ce qui pourrait poser des problèmes importants de contrôle des adventices dans les cultures irriguées.

Au plan de la répartition géographique des taxons, les espèces pantropicales, paléotropicales et cosmopolites représentent ensemble près de 70 %. Les espèces ont donc une très large

répartition géographique. Cela est en concordance avec les observations effectuées par de nombreux auteurs (Fassett, 1956 ; Sculthorpe, 1967 ; Denny, 1985 ; Cook, 1990; Cook, 1996 ; Raynal-Roques, 1980). Les plantes aquatiques ont souvent une vaste extension géographique car le milieu aquatique amortit bien des variations écologiques majeures comme les éléments du climat et de ce fait sont relativement homogènes (Raynal-Roques, 1980). En effet, plusieurs espèces de plantes aquatiques sont largement distribuées à travers le monde et sont relativement bien connues dans la littérature botanique et écologique. Ces plantes ont souvent acquis une distribution globale avec l'aide de l'homme (anthropochorie intentionnelle ou fortuite) à travers les siècles, moteur de dissémination par excellence de ces plantes. Certaines espèces sont natives d'Afrique de l'Ouest, d'autres sont allochtones pour la région. L'origine de beaucoup d'espèces n'est pas encore clairement établie. Cook (1985) a établi la liste de 26 espèces des milieux aquatiques dont l'origine est inconnue ou douteuse. Certaines d'entre elles sont observées dans la zone du delta et le lac de Guiers. Il s'agit de : *Ceratophyllum demersum*, *Eclipta prostrata*, *Ipomoea aquatica*, *Marsilea minuta*, *Nymphoides indica*, *Phragmites australis*, *Pistia stratiotes*, *Bolboschenus maritimus*, *Vallisneria aethiopica*.

Du point de vue de la typologie, des représentants de tous les grands groupes et catégories de macrophytes aquatiques signalés dans plusieurs régions du monde ont été trouvées dans le Delta et le lac de Guiers, (Aber, 1920 ; Fassett, 1956 ; Sculthorpe, 1967; Cook *et al.*, 1974; Denny, 1985; Cook, 1990 ; Cook, 1996 ; Cook, 2004). Les macrophytes fixés émergents sont nettement dominant dans la végétation rivulaire et des zones basses marécageuses. La diversité spécifique y est élevée. Les macrophytes fixés submergés prennent de plus en plus d'ampleur avec la diminution de la salinité des eaux et le ralentissement des courants des eaux. Quant au macrophytes libres flottants, le grand développement des hélrophytes freinent souvent leur extension dans le fleuve et le lac de Guiers.

5.3 Sur la végétation et les groupements végétaux

En partant de la terre ferme vers le milieu des cours d'eau, la végétation présente une répartition dépendant de plusieurs facteurs : nature du substrat, hauteur d'eau, action des vagues, teneur de l'eau en substances minérales, etc.

Les séquences végétales suivantes peuvent souvent être distinguées dans les conditions actuelles :

- la *typhaie*, caractérisée par *Typha domingensis* est parfois associée à *Phragmites australis* ; cette zone peut s'avancer dans l'eau jusqu'à 1,50 m de profondeur. La typhaie

constitue souvent une barrière impénétrable et joue de ce fait un rôle important dans la protection des rives et des digues contre l'érosion. Elle est également un lieu de frai et de nidification pour de nombreux oiseaux et de dortoir aux oiseaux granivores qui font beaucoup de dégâts dans les cultures ;

- la *nymphaie*, s'étend jusqu'à 3m de profondeur ; *Nymphaea lotus* est la principale caractéristique ; la *nymphaie* apparaît en avant de la *typhaie* vers le large. Les tiges immergées des nénuphars servent souvent de support à diverses espèces de mollusques dont certaines transmettent la bilharziose ;

- la zone à plantes submergées (fixées ou non) est dominée par les Potamots et est observée entre 0,5 m jusqu'à plus de 3 m de profondeur de l'eau ; sur les deux espèces de potamots recensées dans la région, *P. schweinfurthii* peut s'avancer aux plus grandes profondeurs alors que *P. octandrus* se cantonne sur les berges à de faibles niveaux d'eau ; les herbiers à *Ceratophyllum demersum*, *Utricularia sp*, *Najas sp* peuvent également apparaître à de faibles profondeurs dans des eaux calmes, faiblement chargées en éléments minéraux ;

- la zone à plantes flottantes libres (*Pistia*, *Salvinia*,...), est fonction de la direction des vents dominants et des vagues ; les macrophytes flottants peuvent se retrouver dans les espaces vides apparaissant dans les zones précédentes. Si la densité des espèces flottantes devient importante et les peuplements stables, les herbiers submergés disparaissent en dessous car ils ne reçoivent plus assez de lumière. Cette zone constitue également une zone de frai pour différentes espèces de poisson et d'autres espèces animales qui y trouvent nourriture et support.

La ceinture de végétation présentée ci-dessus change fréquemment d'un point à un autre en raison de particularités mésologiques locales.

D'autres macrophytes comme *Phragmites australis*, *Cyperus articulatus*, *Cyperus alopecuroides*, peuvent devenir dominant localement à la faveur de conditions particulières surtout en ce qui concerne le substrat, la pente, le degré d'humidité et la salinité.

Plusieurs groupement végétaux ont été reconnus et décrits en milieux humides (Trochain, 1940 ; Adam, 1964 ; Thiam, 1984). Les groupements végétaux des milieux d'eau douce sont plus nombreux que ceux observés dans les milieux salés du delta. Cela n'est pas surprenant compte tenu des difficultés physiologiques que les plantes doivent surmonter pour vivre dans des conditions imposées par le sel dans le sol et dans les eaux. Malgré le dessalement en cours dans de nombreux sites, les groupements halophiles occupent encore d'importantes superficies ; la nappe souterraine d'eau salée sous-jacente qui parcourt la région contribue

certainement à leur maintien. De plus, le dessalement des terres, un des objectifs visés par la construction des barrages, se poursuit en un rythme lent. Les aménagements à réaliser pour cela demeurent encore faibles. Certaines infrastructures comme l'« émissaire du delta », qui devraient contribuer à éliminer vers l'aval, les sels provenant du lessivage des terres ne sont pas encore entièrement opérationnelles. De façon générale, la végétation des zones humides soumises aux sels, montre que la salinité des terres demeure encore relativement élevée. Par endroits, les *Tamarix senegalensis* disparaissent et sont remplacés par *Typha domingensis*.

Par rapport aux écosystèmes terrestres, les écosystèmes aquatiques présentent en général une variation plus faible des différents paramètres de l'environnement en raison de l'effet modérateur de l'eau en relation avec ses propriétés particulières (chaleur spécifique élevée et très faible conductibilité thermique) ; ceci se traduit par un plus grand nombre d'espèces cosmopolites.

Aujourd'hui, il est admis que les angiospermes aquatiques ont évolué à partir des angiospermes terrestres (Cook, 1990). L'immigration des plantes terrestres dans des milieux d'eaux douces présentent de nombreuses barrières physiologiques. Finalement, très peu d'angiospermes (< 1 %) et de ptéridophytes (< 2 %) ont pu s'adapter à une submersion totale dans l'eau (Wetzel, 1983). C'est pourquoi, certaines angiospermes émergentes croissant en continu dans les milieux saturés en eau sont-elles bien adaptées et sont parmi les plantes les plus productives de la biosphère.

5.4 Sur la prolifération des macrophytes aquatiques

A la faveur de l'important adoucissement des eaux en amont du barrage de Diama et les niveaux limnimétriques élevés et stables toute l'année, quatre espèces végétales aquatiques proliférantes se sont manifestées comme majeures dans la zone :

- *Typha domingensis* ;
- *Pistia statiotes* ;
- *Potamogeton schweinfurthii* ;
- et *Salvinia molesta*.

L'extension de *Typha* dans le delta a commencé d'abord dans le lac de Guiers avec la construction d'un barrage en béton sur la Taoué à Richard Toll en 1947 qui transforma le lac de Guiers en réservoir d'eau douce (Trochain, 1956; Grosmaire, 1957). Les typhaies ont continué leur extension jusqu'au début des années 70 (Brigaud, 1961 ; Adam, 1964). Les peuplements de *T. domingensis* du lac de Guiers souffriront des grandes sécheresses des

années 1970 (Thiam, 1983 ; Thiam, 1984). L'expansion de la plante reprendra plus tard et sera accélérée dans le lac ainsi que quasiment dans tous les cours d'eau et milieux humides du delta avec la mise en service des grands barrages sur le fleuve Sénégal. Ainsi, la typhaie constitue depuis plus d'une vingtaine d'année, la végétation aquatique proliférante majeure des milieux humides du delta et suscite beaucoup d'inquiétudes (Trochain, 1956 ; Adam, 1964; Thiam, 1983 ; Anonyme, 1995b).

T. domingensis montre une très grande plasticité écologique et un potentiel d'accroissement très élevé. La prolifération rapide du végétal est liée à sa grande capacité de multiplication végétative et sexuée dans différents milieux humides. Les *Typha* produisent de nombreux rhizomes et une litière très dense, ce qui réduit l'opportunité pour d'autres plantes de s'établir ou de survivre dans le même espace. La multiplication végétative à partir des rhizomes est prépondérante dans les peuplements déjà en place alors que la colonisation de nouveaux espaces s'effectue en grande partie par les graines. Celles-ci sont produites en abondance dans la zone et disséminées sur de grandes distances par les vents forts, très fréquents durant la longue saison sèche. Aux Etats Unis, les *Typha* colonisent également les nouveaux sites par la dispersion anémochore des graines (Grace, 1987). *Typha domingensis* est sans doute l'espèce qui produit la plus grande phytomasse à l'hectare avec une productivité très élevée.

Face aux importantes superficies occupées par les peuplements de *T. domingensis* et les nuisances occasionnées, des programmes de lutte et d'essais de valorisation de la phytomasse de la plante ont été menés au cours des dernières décennies. En 1999, des essais de contrôle mécanique avec fauchage des parties aériennes de *Typha domingensis* ont été réalisés dans le lac de Guiers ; les résultats obtenus ont montré qu'il est possible de faucher par heure entre 6600 kg/ha et 7260 kg/ha avec une consommation de 6 litres de gasoil. Sur cette base, 35 heures sont nécessaires pour faucher 1 ha de *Typha*. La méthode est donc limitée et peut être intéressante pour dégager de petites voies d'eau au bénéfice des communautés villageoises et des pêcheurs (Hellsten *et al.* 1999). Sale & Wetzel (1983) ont indiqué qu'au Michigan (Etats Unis), le fauchage des feuilles de *Typha latifolia* L. et *Typha angustifolia* L. en dessous du niveau de l'eau empêche le transport de l'oxygène vers la tige et les rhizomes ; ce qui provoque une respiration en milieu anaérobie des racines et des rhizomes. Dans ces conditions, les auteurs ont mesuré une production d'éthanol dans les rhizomes qui a par la suite provoqué un affaiblissement de la matière végétale en dessous de la surface de l'eau. Les essais ont montré que trois coupes pendant la saison de végétation ont été suffisantes pour

tuer toute la biomasse sous l'eau. Dans le lac de Guiers, une seule coupe effectuée durant la saison de floraison des épis a suffi (Hellsten *et al.* 1999).

Dans le Delta, *Typha* fait l'objet de nombreuses utilisations : artisanat, matériau pour l'habitat (clôture, toiture,...). Traditionnellement en Chine, en Australie et en Amérique, la farine extraite des rhizomes séchés est consommée. Les jeunes pousses de *Typha* sont consommées fraîches ou bouillies et les jeunes feuilles sont utilisées comme condiments (Theuerkorn et Henning, 2005).

Des essais de valorisation de la biomasse de *Typha*, notamment comme source de production d'énergie (charbon biologique) ont été menés au Sénégal et au Mali (GTZ, 2001). Les résultats paraissent intéressants mais les briquettes de charbon à base de *Typha* ne sont pas encore disponibles sur le marché.

Une autre technique de lutte contre la plante serait la mise à sec des périmètres occupés par *Typha* pendant une longue période pour assécher les rhizomes. Ceci constitue certainement un moyen de lutte efficace. L'utilisation de cette méthode paraît actuellement impossible dans le Delta ; elle nécessiterait des moyens colossaux difficilement mobilisables.

Des essais ont été menés avec le 2,4-D, le Dalapan, le MCPA, le glyphosate, etc. sur *Typha* dans plusieurs contrées à travers le monde (Wild, 1961). La lutte chimique contre *Typha* ne saurait être conseillée dans le delta car comportant beaucoup trop de risques en milieu aquatique. De plus elle est très chère.

Aucune lutte biologique contre *Typha domingensis* n'a été tentée jusqu'ici dans la zone. Celle-ci, ne sera pas simple compte tenu de la grande plasticité de l'espèce, de son fort enracinement, de ses rhizomes très puissants et de son installation dans des eaux relativement profondes. *Bracharia mutica*, une *Poaceae*, a été suggérée comme agent de contrôle biologique de *Typha* en Inde (Gopal 1982).

Un contrôle efficace de la plante devrait prendre en compte les possibilités de multiplication végétative et de reproduction sexuée.

Pistia stratiotes fait partie de la flore autochtone de la région. L'extraordinaire développement de l'espèce dans la partie sud du lac au début des années 1990 est également une manifestation des changements écologiques survenus dans la région après les barrages. L'adoucissement des eaux, l'orientation des vents dominants, l'existence de nombreux îlots qui favorisent de faibles déplacements des masses d'eau, la remise en suspension d'éléments minéraux par les fréquentes ouverture-fermeture de la vanne de la digue de Keur Momar Sarr,

sont autant de facteurs qui ont permis à *Pistia stratiotes* d'avoir une multiplication fulgurante au point de constituer une nuisance pour les populations riveraines dans la zone du sud de lac de Guiers et rendre difficile l'exercice de la pêche (Thiam *et al.*, 1993 ; Cogels *et al.*, 1993). Bien que *Pistia* produise de nombreuses graines dans la région, la multiplication végétative par les stolons est la forme de reproduction la plus fréquente. La plante a une très grande capacité de mobilisation des ressources nutritives en suspension dans les eaux (Guiral, 1993). Ce qui expliquerait sa prolifération temporaire, très souvent observée consécutivement à des perturbations et des altérations récentes de l'environnement (construction de canaux, de drains, de barrages hydroélectriques..) ou à des enrichissements anthropiques des eaux par des usines polluantes (Hall et Okali, 1974 ; Mitchell, 1985 ; Thiam *et al.*, 1993). Après l'invasion « explosive » observée dans le lac de Guiers et le Parc du Djoudj entre 1992 et 1994, les populations de *Pistia* ont par la suite rapidement baissé. En fin 1998, l'espèce n'est plus représentée que par quelques individus dérivants à la faveur des courants et des vents. Elle ne présente pas actuellement de risque de prolifération. Cependant, compte tenu de l'intensification agricole en cours dans la région dont l'une des conséquences pourrait être l'eutrophisation des eaux, les populations de *Pistia* pourraient amorcer un nouveau cycle de développement explosif.

Pour lutter contre la prolifération de *Pistia stratiotes* dans le lac de Guiers, l'enlèvement manuel a été pratiqué de manière localisée par les populations pour dégager des espaces et accéder à l'eau du lac. Des tentatives pour faire du biogaz et du compost avec la plante ont également eu lieu ; les résultats obtenus ont été très mitigés. La lutte mécanique a été fréquemment employée contre la plante. Elle est difficile et peu efficace quand il s'agit de superficies relativement importantes. Cependant, Varshney et Singh (1976) considèrent qu'en Inde, l'enlèvement manuel de *Pistia stratiotes* est efficace dans 65 à 90 % des cas d'infestation (Wade, 1990).

Des tests de laboratoire menés en Côte d'Ivoire ont démontré qu'il était possible d'éliminer chimiquement *P. stratiotes* avec des herbicides utilisés en agriculture. Les meilleurs résultats ont été obtenus avec le glyphosate-N-phosphonométhyl-glycine, un inhibiteur de la biosynthèse d'acides gras aromatiques et de certaines enzymes. La dose efficace déterminée pour l'espèce a été de 0,63 g par m² (Etien *et al.*, 1991). Le diquat et le paraquat sont deux herbicides qui ont été employés à la dose de 0,6 à 1 kg/ha dans certains pays d'Asie pour combattre *Pistia stratiotes* (Gopal, 1990b). L'efficacité de ces traitements n'a pas été indiquée par les auteurs.

La lutte biologique contre *Pistia* avec *Neohydronomus affinis*, un arthropode importé d'Afrique du Sud, a été réalisée au Nord Sénégal par la Direction de la Protection des végétaux (Anonyme, 1994). Des évaluations positives de ce contrôle ont été rapportées (Anonyme, 1994 ; Anonyme ,1995a ; Diop, 2006). En plus de *Neohydronomus affinis*, des essais de contrôle biologique de *Pistia stratiotes* avec *Proxenus hennia* en Indonésie et en Malaisie ont été rapportés (Mangoendihardjo and Nasroh, 1976 cité par Gopal 1990).

Sur la base des récoltes dans le lac de Guiers de *Potamogeton schweinfurthii* par Roger et Leprieur respectivement en 1819 et en 1826 (Dandy, 1937 ; Hutchinson and Dalziel, 1954-1972), il faut admettre que les eaux du lac devaient être au moins aussi douces qu'actuellement. Les deux derniers siècles sont marqués par de fréquentes sécheresses au Sénégal et en Afrique de l'Ouest (Henry, 1918 ; Hubert, 1921 ; Hubert, 1934). A cause de ces sécheresses et en absence de barrages à l'époque, la salinité des eaux du fleuve et du lac devait être trop élevée pour permettre le développement de *Potamogeton schweinfurthii*.

L'envahissement du lac de Guiers par les espèces de Potamots dès les débuts des années 90, pose de sérieux problèmes à la navigation et à l'exercice de la pêche (Thiam et Ouattara, 1997). Les observations récentes confirment la poursuite du développement des peuplements de *P. schweinfurthii*. Cette multiplication favorise par ailleurs la sédimentation et contribue au comblement progressif du lac et les autres cours d'eau affectés par la pullulation de la plante.

L'extension des Potamots se poursuivra très certainement si des mesures de gestion adéquates des eaux et de contrôle du macrophyte ne sont pas rapidement mises en œuvre.

L'apparition massive de *P. schweinfurthii*, après la mise en service des barrages, est une preuve de l'adoucissement très important des eaux. La plante est un bon indicateur de la baisse significative de la salinité des eaux et de niveaux limnimétriques élevés et stables dans le temps.

A notre connaissance aucune tentative de lutte contre les potamots n'a été jusqu'ici mise en œuvre dans le delta et le lac de Guiers. Le contrôle de cette plante ne sera pas facile compte tenu de son immersion et de son enracinement dans des eaux pouvant être très profondes.

Dans le contexte du lac, jusqu'à plus de 3 m.

L'introduction de la fougère invasive *Salvinia molesta* à la fin des années 90, a créé un problème supplémentaire de plante proliférante dans la zone. Il s'agit là d'une espèce exotique d'origine sud-américaine. La qualité des eaux et les vents favorables ont provoqué la multiplication de la plante et l'invasion rapide du delta. *S. molesta* est une plante invasive très redoutée qui a envahi depuis des décennies de nombreux fleuves, lacs et lagunes en Afrique

(Boughey, 1963 ; Mitchell, 1970 et 1972 ; Anonyme, 1995b ; Salvina Task Force USA, 1999).

Le retrait manuel de *Salvinia molesta* a souvent été utilisé au moment de l'invasion du Delta. Il a consisté à pousser les masses de *Salvinia* vers le rivage, à les sortir de l'eau et à les laisser pourrir sur place (Figure 60). L'efficacité de cette méthode est faible. Des barrières en grillage ont été installées afin de contenir les plantes et éviter qu'elles ne se propagent dans les différents marigots, et en particulier dans le Parc National des Oiseaux du Djoudj (Figure 61). Mais les oiseaux et autres animaux qui se déplacent entre le fleuve et le parc peuvent transporter des fragments de plantes qui pourraient favoriser leur prolifération dans le parc du Djoudj. Le coût de la lutte manuelle a été élevé et a nécessité la mobilisation de moyens importants sur une période relativement longue et de façon régulière (Triplet *et al.*, 2001).

De nombreux pesticides chimiques ont été employés avec succès contre *Salvinia molesta*, dans plusieurs régions à travers le monde (Thomas & Room, 1986). Dans le delta, la lutte chimique contre la plante a été exclue d'emblée par le Comité national chargé de la lutte contre *Salvinia molesta* compte tenu des risques écologiques que présentent l'utilisation des produits chimiques de synthèse en milieu aquatique et dans les zones humides. Cependant, un test avec le Roundup (glyphosate) a été autorisé sur 70 m² sous le contrôle de la Société d'Aménagement de d'Exploitation des Terres du Delta (SAED) et de la Direction de la Protection des Végétaux (DPV) du Sénégal. Nous n'avons pas pu disposer des résultats de ces tests qui somme toute ont été limités dans le temps et très localisés.

La lutte biologique contre *Salvinia molesta* dans le Delta a été menée avec un charançon importé également d'Afrique du Sud, *Cyrtobagous salviniae*. Cet insecte est entièrement dépendant de *Salvinia molesta* pour sa survie. La lutte a été un succès (Pieterse *et al.*, 2003 ; Diop, 2006). Dix ans après, le niveau d'infestation reste faible. Cependant, il y a lieu de rester vigilant car à la faveur d'autres modifications du milieu, une prolifération de la plante est toujours possible. De nombreux exemples de réussite de la lutte avec *Cyrtobagous salviniae* ont été signalés, au Ghana, en Afrique du Sud, en Zambie, au Zimbabwe, en Inde, au Botswana, en Namibie, au Sri Lanka, en Malaisie, en Papouasie Nouvelle Guinée, en Australie, aux îles Fidji (USA *Salvinia* Task Force, 1999).

En terme de nuisance, *S. molesta* est souvent comparée à *Eichhornia crassipes*, une « peste végétale » très redoutée qui s'est installée dans de nombreux plans d'eau en Afrique (Chadwick et Obeid, 1966 ; Batanouny, 1975). *E. crassipes* est très tolérante en ce qui concerne les variations en nutriments et le pH de l'eau ; mais la plante meurt à une salinité

supérieure à 0,06 % (Penfound and Earle, 1948). Les conditions optimales de croissance sont pour le pH environ 7, avec une concentration en phosphore de 20 ppm (Chadwick and Obeid, 1966 ; Haller and Sutton, 1973) et un niveau adéquat d'azote. La température optimale de croissance de la plante se situe entre 28 °C et 30 °C (Knipling *et al*, 1970). Du point de vue du pH et de la salinité, de la température et des nutriments, les eaux du fleuve et du lac de Guiers sont actuellement favorables à l'installation et à la prolifération de la jacinthe d'eau. C'est pourquoi la présence d'*E. crassipes* chez les fleuristes à Saint Louis, constitue une menace très sérieuse. Il faut éviter à tout prix que cette autre plante à fort potentiel d'invasion ne s'installe dans le système hydrographique du Delta et le lac de Guiers car les conséquences pour l'environnement et le développement de la région pourraient être désastreuses.

L'intensification de la production agricole amorcée depuis quelques décennies avec une utilisation accrue d'intrants, notamment les engrais chimiques, pourrait contribuer à enrichir les eaux (eutrophisation) et favoriser la multiplication de certains macrophytes.

Le contrôle des plantes aquatiques doit être abordé de manière globale. L'approche espèce par espèce peut être très onéreuse avec des résultats souvent aléatoires.

Les moyens de lutte testés ou proposés jusqu'à présent ont certainement chacun des avantages et des inconvénients. La difficulté réside dans la mise au point et l'application de méthodes qui tiennent compte du contexte écologique et du coût/bénéfice des interventions.

En tout état de cause, la lutte contre les plantes proliférantes devrait être appliquée sous forme de mesures de prévention en rendant moins favorables les conditions de multiplication des végétaux aquatiques en alternant, par exemple, le niveau des eaux. Mais ce type de gestion est difficile à mettre en œuvre compte tenu des besoins et des multiples usages des eaux. Très souvent les actions de lutte contre les végétaux « envahissants » ne commencent pas avant que la multiplication de la plante ne soit évidente voire explosive.

L'accélération des aménagements et la mise en culture d'importantes superficies irrigables disponibles au cours des prochaines années pourront constituer des éléments de contrôle non négligeable de *Typha domingensis* dans le Delta et le lac de Guiers.



Figure 60 - Enlèvement manuel de *Salvinia molesta*, Fleuve Sénégal, novembre 2000



Figure 61 – Grille installée pour empêcher l'entrée de *S. molesta* dans le Parc du Djoudj, novembre 2000

Conclusions et perspectives

Dans les années 1980, des Etats riverains du fleuve Sénégal dans le cadre de l'OMVS, ont construit à grand frais des ouvrages très importants pour maîtriser l'eau et promouvoir le développement socio-économique de la vallée dans son ensemble. Bien que les aménagements effectués à ce jour, aient atteint certains objectifs de développement, ils ont malheureusement eu des effets négatifs sur l'environnement, les systèmes de production et les populations. La pullulation de certains macrophytes aquatiques fait partie de ces conséquences négatives. Les incidences des ouvrages sur le milieu naturel et le développement socio-économique ne sont pas jusqu'ici suffisamment bien connues et bien maîtrisées.

La présente étude est une contribution à la connaissance de la flore, de la végétation et des principaux macrophytes aquatiques du Delta du Fleuve et le lac de Guiers. Ces importantes composantes du milieu naturel ont été très affectées par les changements engendrés par la mise en place des barrages.

La zone d'étude est assez complexe et présente une grande diversité liée aux disparités des différents milieux et écosystèmes qui la composent. En effet, elle se situe à l'interface de l'eau salée et de l'eau douce. Elle comporte des milieux secs voire désertiques au nord, des zones relativement plus humides au sud et subit les influences du climat océanique sur le littoral. Cette position influe grandement sur la diversité des espèces végétales, la végétation et les écosystèmes.

Au plan floristique, les milieux humides du Delta du fleuve Sénégal et le lac de Guiers sont relativement diversifiés, comparativement à d'autres milieux à écologie semblable en Afrique sahélienne. Au total, 151 espèces réparties en 102 genres et 47 familles ont été recensées. Les dicotylédones représentent 56,2%, les monocotylédones 41,7% et les ptéridophytes 2,1%. Les familles les plus diversifiées sont les Poaceae, les Cyperaceae, les Fabaceae et les Amaranthaceae principalement, auxquelles on peut ajouter les Asteraceae, les Chenopodiaceae et les Convolvulaceae. Les zones basses inondables sont les plus riches en espèces, suivent ensuite le lac et le fleuve. Cette grande diversité est liée aux changements hydrologiques et de qualité des eaux. Elle se manifeste souvent par l'apparition de nouvelles espèces qui n'avaient pas été signalées auparavant et à la prolifération des plantes aquatiques comme *Typha domingensis*. La plupart de ces espèces sont de thérophytes, des phanérophytes et des héliogéophytes qui sont les types biologiques dominants dans la composante terrestre et semi-aquatique (zones basses inondables). Mais cette flore est surtout caractérisée par les

hydrophytes sensu stricto (18%) constitués de taxons exclusivement aquatiques et regroupées dans les familles des Alismataceae, Hydrocharitaceae, Lemnaceae, Najadaceae, Potamogetonaceae et Pontedariaceae chez les Monocotylédones, des Avicenniaceae, Ceratophyllaceae, Lentibulariaceae, Menyanthaceae, Nympheaceae et Rhyzophoraceae chez les dicotylédones. Il s'agit généralement d'espèces à large répartition géographique pantropicales, paléotropicales ou cosmopolites bien adaptées aux écosystèmes aquatiques et aux variations du climat.

La typologie basée sur le mode de développement et le type de relation avec le substratum a permis d'organiser les macrophytes aquatiques en :

- macrophytes fixés,
 - o émergents sur les rives, plus nombreux, avec principalement des Poaceae et Cyperaceae,
 - o submergés, en eaux profondes constitués par les Potamogetonaceae et Najadaceae,
- macrophytes flottants,
 - o fixés à feuilles flottantes avec les Nympheaceae et Oenotheraceae comme composantes majeures,
 - o libres avec des espèces comme *Pistia stratiotes*, *Azolla*, *Lemna*, *Marsilea* et *Salvinia molesta*.

L'étude de la végétation a montré qu'il existe une zonation qui dépend fortement de la salinité du substrat, de la déclivité, de la hauteur d'eau et de la durée de la submersion. A la typhaie succède généralement la nymphaeie ensuite les potamots en eaux profondes. Neuf groupements végétaux ont été identifiés dont deux des milieux salés humides et sept des milieux faiblement salés voire doux. Ces derniers sont en extension rapide. La faible pente dans le delta et sur les rives du lac et l'abondance de l'eau douce ont été favorables à l'extension des peuplements de *Typha domingensis* qui imprime sa physionomie à la végétation des milieux humides. Il occupe de grandes étendues au détriment d'autres macrophytes notamment *Tamarix senegalensis*. L'agressivité de *Typha domingensis* vis-à-vis des principaux macrophytes restent à préciser.

Par manque d'information sur la période avant les barrages, il est impossible de faire une étude diachronique des macrophytes des milieux humides du Delta. Toutefois, les données présentées sur la flore et la végétation ainsi que celles sur la typologie et l'étude de chacune des 48 espèces recensées, permettent de saisir les grands traits de la diversité végétale et l'écologie des milieux humides de la zone, au moins durant les deux premières décennies

après les barrages. Ces données constituent un référentiel qui peut aider dans le suivi de l'évolution des taxons et les groupements végétaux des milieux d'eaux douces et salées de la région. De plus, les renseignements fournis sur les espèces végétales peuvent constituer la base pour la réalisation d'un manuel pratique simple d'identification et de détermination des macrophytes d'eau douce en milieux secs sahéliens.

Concernant la biologie et l'écologie des macrophytes aquatiques, la croissance de *Typha domingensis* paraît très rapide dans les conditions actuelles dans le Delta. La multiplication végétative à partir des rhizomes est importante et domine dans les peuplements déjà installés alors que la colonisation des espaces vierges humides se fait par l'intermédiaire des grandes quantités de fruits produits et disséminés par le vent surtout pendant la longue saison sèche. De tous les macrophytes aquatiques de la région, *Typha* produit certainement la plus grande phytomasse. Les possibilités de valorisation de celle-ci devront recevoir plus d'attention. Des projets pilotes soutenus devraient être mis en œuvre afin de valoriser davantage cette importante biomasse. Les investigations devraient être poursuivies en vue d'une modélisation des processus de croissance et de multiplication de la plante en fonction notamment des hauteurs d'eau et de la salinité du sol et de l'eau.

La multiplication végétative est la principale forme de reproduction de *Pistia stratiotes* dans le lac de Guiers. Après une phase explosive juste après la mise en service des barrages, la pullulation de la plante s'est rapidement arrêtée avec la stabilisation des niveaux limnimétriques et des eaux moins turbides. D'autres projets de construction de barrages importants sont en chantier en amont sur le fleuve Sénégal (barrages hydroélectriques de Félou et de Gouina notamment). La mise en service de ces ouvrages pourrait créer de nouvelles conditions favorables à l'extension de la plante. Il s'agira de préciser dans l'avenir les facteurs propices au développement de l'espèce dans le delta notamment en ce qui concerne la qualité de l'eau.

L'apparition et le développement massif de *P. schweinfurthii* dans le lac de Guiers est sans doute la plus grande manifestation de l'adoucissement des eaux. Des données originales sur la morphologie de la plante dans le lac ont été obtenues et les principaux sites d'extension du macrophyte ont été localisés. Il serait intéressant de suivre le développement des tapis de *P. schweinfurthii* dans le lac et d'étudier les effets des peuplements de *P. schweinfurthii* sur le processus et la vitesse de sédimentation.

L'invasion du Delta par *Salvinia molesta* a montré en grandeur réelle les problèmes que peuvent engendrer sur les écosystèmes, l'introduction d'espèces douées d'un important

potentiel de multiplication. Cette fougère aquatique hybride fait maintenant partie de la flore des milieux humides du Delta. Malgré le succès de son contrôle biologique avec *Cyrtobagous salviniae*, il est important de suivre la dynamique des populations de *S. molesta* au regard des aménagements en cours. Une pullulation de la plante est encore tout à fait plausible.

En plus du contrôle biologique de *S. molesta* et de *P. stratiotes*, d'autres tentatives de lutte contre les macrophytes aquatiques ont été menées dans la région avec des succès mitigés.

T. domingensis, *P. octandrus* et *P. schweinfurthii* sont actuellement les espèces qui posent le plus de problème et pour lesquelles il est urgent de trouver de méthodes et techniques de contrôle appropriées. Ces moyens de lutte, en plus d'être écologiques doivent être financièrement et économiquement supportables. La technique de contrôle idéale ayant l'ensemble de ces caractéristiques n'est pas encore disponible. Elle doit être recherchée et adaptée aux réalités du Delta. Elle résultera très certainement d'une combinaison judicieuse de différents moyens, méthodes et approches de contrôle des macrophytes aquatiques.

Les efforts pour réunir des informations scientifiques détaillées sur le fonctionnement et la dynamique des écosystèmes limniques du Delta et le lac de Guiers doivent être poursuivis.

Plus spécifiquement, il serait intéressant dans le court terme en plus des suggestions faites ci-dessus de :

- faire une cartographie précise et détaillée des principaux peuplements de macrophytes (y compris les macrophytes submergés) avec l'aide des photographies aériennes et d'images satellitaires pour le suivi des peuplements. En effet, il est indispensable, en matière de gestion, de disposer de supports cartographiques régulièrement mis à jour;
- étudier la synécologie de *T. domingensis* en conditions lacustre et fluviale ;
- étudier la reproduction et la multiplication de macrophytes submergés comme *Potamogeton octandrus*, *Najas marina* et *N. pectinata* qui constituent par endroits des peuplements importants et sont des zones de frai et de refuge pour de nombreux animaux aquatiques ;
- rechercher les meilleures techniques de récolte, d'utilisation et de valorisation de la biomasse de *T. domingensis*.

Au total, pour que le présent travail prenne sa pleine signification, nous formulons le souhait qu'il soit à nouveau réalisé d'ici 5 à 10 ans. La comparaison des deux situations permettra alors de dire si la santé générale du delta du fleuve Sénégal et le lac de Guiers s'est améliorée ou s'est dégradée dans ce laps de temps. Elle permettra sans doute, à travers le suivi de l'évolution des espèces végétales aquatiques sensibles aux facteurs de salinité et de pollution, de voir dans quelle mesure les efforts déployés pour la sauvegarde ou l'amélioration de la

biodiversité du Delta et la promotion du développement socio-économique de la zone auront été ou non récompensés.

Références bibliographiques

- Aber A., 1920. Water plants: a study of aquatic angiosperms. Cambridge University Press, 436 p.
- Adam J.G. 1960. Quelques plantes adventices des rizières de Richard-Toll. *Bull. IFAN* 22, (1) : 361-384.
- Adam J.G. 1961. Eléments pour l'établissement d'une carte des groupements végétaux de la presqu'île du Cap Vert. 2^e Note. Présence de deux espèces de *Typha* dans la presqu'île du Cap Vert *Typha australis* Schum. et Thonn. et *Typha elephantina* Roxb. *Bull. IFAN* 23 (1) : 399-405.
- Adam J.G., 1962a. Pâturages irrigués de saison sèche en zone sahélo-soudanaise. Composition possible avec des plantes annuelles locales. *Notes Africaines*, 96 : 117-119.
- Adam J.G., 1962b. Plus de cent plantes nouvelles pour le Sénégal. *Bull. IFAN* 24 (1) A, n°4 : 939-954.
- Adam J.G., 1964. Contribution à l'étude de la végétation du lac de Guiers (Sénégal). *Bull. IFAN* 26 (1) : 1-72.
- Adam J.G., 1965. La végétation du Delta du Sénégal en Mauritanie (Le cordon littoral et l'île de Thiong). *Bull. IFAN* 27 (1) A, Dakar : 121-138.
- Adam J.G., Brigaud F., Charreau C. et Fauck R. (éds), 1965. Connaissance du Sénégal. Climat-Sols-Végétations. *Etudes sénégalaises* 9 (3), Centre Documentation et de la Recherche Scientifique (CDRS), Saint Louis, Sénégal, 214 p.
- Adams A., 2000. Fleuve Sénégal : gestion de la crue et avenir de la Vallée. International Institute for Environment and Development, Dossier n° 93, London, 27 p.
- Adanson M., 1757. Histoire Naturelle du Sénégal. Paris.
- Agendia P.L, Kengne Noumsi Y.M, Fonkou T., Mefenya R. et Sonwa J.D., 1997. Production du compost à partir de la biomasse de *Pistia stratiotes* : l'épuration des eaux usées domestiques à Yaoundé (Cameroun). *Cahiers Agricultures* 6 : 15-19
- Aké Assi L., 1977. *Salvinia nymphellula* Desv. (Salviniacées) fléau en extension vers l'ouest de l'Afrique intertropicale. *Bulletin de l'IFAN* 39 (1) A, Dakar : 555- 562.
- Akpagana K., 1993. *Pistia stratiotes* L. (Araceae), une adventice aquatique en extension vers le nord Togo. *Acta bot. Gallica*, 140 (1) Paris : 91-95.
- Albergel J., Bader J.-C., Lamagat J.-P., Séguis L., 1984. Crues et sécheresses sur un grand fleuve tropical de l'Ouest africain : application à la gestion de la crue du fleuve Sénégal. *Sécheresse* 3, vol.4 : 143-152.

Anonyme, 1994. Rapport technique, Projet lutte biologique, Direction Protection des Végétaux, Ministère de l'Agriculture, Sénégal, 42 p.

Anonyme, 1995 a. Rapport technique, Projet lutte biologique, Direction Protection des Végétaux, Ministère de l'Agriculture, Sénégal, 28 p.

Anonyme, 1995b. Lutte contre les végétaux flottants dans les pays membres de la CEDEAO. Document de projet, projet de rapport final, novembre 1995- volume 2, CEDEAO et BAD.

Anonyme, 1998. Plan de gestion de la réserve de faune du Ndiael (1999-2003). Direction Générale des Eaux et Forêts du Sénégal et Oiseaux Migrateurs du Paléarctique Occidental, 21p.

Asthor P.J. & Mitchell D.S., 1989. Aquatic plants: patterns and modes of invasion, attributes of invading species and assessment of control programs, In: Biological Invasions: a global perspective, (ed. J.A.Drake et al.), John Wiley & Sons, Chichester: 111-54.

Ba A.T. & Noba K., 2001. Flore et biodiversité végétale au Sénégal. *Sécheresse* 12 (3) : 149-155.

Barbe J., 1984. Les végétaux aquatiques - données biologiques et écologiques- Clé de détermination des macrophytes de France. *Bull. Français de Pisciculture*, Juin 1984, 42 p.

Batanouny K.H. El-Fiky, 1975. The water hyacinth (*Eichhornia crassipes* Solms) in the Nile system, Egypt. *Aquatic Botany* 1: 243-262.

BDPA/Coyne et Bellier, 1999. Etude pour la mise en place de l'observatoire de l'Environnement du Fleuve Sénégal. OMVS, Ministère Coopération France, 110 p.

BDPA, ORSTOM, SECA, AFID, SERADE, 1995a. Etude des problèmes d'environnement et de protection des milieux naturels dans le delta du fleuve Sénégal. Synthèse générale. OMVS et Ministère de la Coopération Française.

BDPA, ORSTOM, SECA, AFID, SERADE, 1995b. Etude des problèmes d'environnement et de protection des milieux naturels dans le delta du fleuve Sénégal. Phase I ; i) Bilan et Diagnostic-Bilan et analyse des causes évolutives. ii) Synthèse et recommandations. iii) Annexes. OMVS et Ministère de la Coopération Française.

Beadle L.C., 1974. The inland waters of tropical Africa. An introduction to tropical limnology. Longman Group Limited, London, 365 p.

Beauvais M.-L., Coléno A. et Jourdan H., 2006. Les espèces envahissantes dans l'archipel néo-calédonien : un risque environnemental et économique majeur. IRD Editions, Institut de Recherche pour le Développement, Paris, 259 p.

Bedish J.W., 1967. Cattail moisture requirements and their significance to marsh management. *Amer. Midland Naturalist*. 78: 289-300.

Beisel J.-N. et Lévêque C., 2010. Introductions d'espèces dans les milieux aquatiques. Faut-il avoir peur des invasions biologiques ? Ed. Quae, INRA, 78026 Versailles Cedex, 232 p.

Bennett F.D., 1975. Insects and plant pathogens for the control of *Salvinia* and *Pistia*. pp 28-35. In: T.E. Freedman (eds). Proceedings, Symposium on Water Quality Management and Biological Control. Department of Environmental Engineering Sciences, Gainesville, University of Florida, January 23-30, 166 p.

Berhaut J., 1967. Flore du Sénégal. 2^e Ed., Clairafrique, Dakar, 485 p.

Berhaut J., 1971-1979. Flore illustrée du Sénégal. 6 tomes

Boughey A.S., 1963. The explosive development of a floatting weed vegetation on Lake Kariba. *Adansonia*, 3: 49- 61.

Bromilow C., 2001. Problem plants of South Africa: a guide to the identification and control of more than 300 invasive plants and other weeds. Briza Publications, Pretoria, South Africa, 258 p.

Bradbury I.K. & Grace J., 1983. Primary production in wetlands. In: Ecosystems of the World. (eds.) Gore A. J.P., Elsevier Scientific publishing company, New York, 440 p.

Brasseur G., 1952. Le problème de l'eau au Sénégal. *Etudes Sénégalaises* 4, CDRS, Saint Louis, Sénégal, 99 p.

Braun-Blanquet J., 1932. Plant Sociology (English translation by Fuller G.D. and Conrad H.S.). McGraw-Hill, New York, 439 p.

Brigaud F., 1961. Connaissance du Sénégal : hydrographie. *Etudes Sénégalaises* 9, fascicule 2, Centre Documentation et de la Recherche Scientifique (CDRS), Saint Louis, Sénégal, 102 p.

BRGM, 1967. Notice explicative de la carte géologique au 1/200 000- Saint Louis. BRGM, Dakar, 33 p.

Busnel R.G. et Grosmaire P., 1958. Enquêtes auprès des populations du fleuve Sénégal sur leur méthode acoustique de lutte traditionnelle contre le *Quelea*. *Bull. de l'IFAN* 20, A (2) : 623-633.

Camefort H., 1996. Morphologie des végétaux vasculaires- cytologie, anatomie, adaptations. Ed. Doin, Paris, 432 p.

Ceuppens J., Wopereis M., et Kane M., 1997. Etude de la salinité des sols en riziculture non drainée dans le delta du fleuve Sénégal- Zone du Gorom aval. Projet Gestion de l'Eau Coopération Scientifique KULeuven-SAED, Bull. Technique n°13, Saint Louis, Sénégal, 39 p.

Chadwick M.J. and Obeid M., 1966. A comparative study of the growth of *Eichhornia crassipes* and *Pistia stratiotes* in water culture. *Journal of Ecology* 54: 563-575.

Cogels F.X., 1984. Etude limnologique d'un lac sahélien : le lac de Guiers (Sénégal). Vol. I. Thèse en Sciences de l'Environnement FUL, Arlon - Belgique, 158 p.

Cogels F.X., 1997. Suivi et gestion de l'hydrologie et de la qualité des eaux du lac de Guiers (Sénégal). Freshwater Contamination (Proceedings of Rabat Symposium, April-May 1997 : 277- 286.

Cogels F.X. et Gac J.Y., 1982. Le lac de Guiers : fonctionnement, bilans hydriques-Evaporation d'une nappe d'eau libre en zone sahélienne (Sénégal). *Cah. Orstom*, sér. Géol., XII (1): pp 41-60.

Cogels F.X. et Gac J.Y., 1987. Evolution spatio-temporelle de la chimie des eaux du lac de Guiers (Sénégal). *Géodynamique*, 1 (2) :121-134.

Cogels F.X., Thiam A., Gac J.Y., 1993. Premiers effets des barrages de la vallée du fleuve Sénégal sur l'hydrologie, la qualité des eaux et la végétation aquatique du lac de Guiers. *Rev. Hydrobiol. trop.* 26 (2), 105-117.

Cogels F.X., Niang A., Coly A., Gac J.Y., 1994. Le lac de Guiers: étude du système lacustre et problématique de gestion. Rapport ORSTOM, Dakar, 68 p.

Cook C.D.K., 1968. The vegetation of the Kainji reservoir site in northern Nigeria. *Vegetatio* 15: 225-243.

Cook C.D.K., 1990. Aquatic Plant Book. SPB. Academic Publishing, The Hague (The Netherlands), 288 p.

Cook C.D.K., 1996. Aquatic and Wetland Plants of India. Oxford University Press, 385 p.

Cook C.D.K., 2004. Aquatic and Wetland plants of Southern Africa. Backhuys Publishers, 281p.

Cook C.D.K., Gut, B.J., Rix E.M., Schneller J. and Seitz M., 1974. Water Plants of the world: a manual for the identification of the genera of freshwater macrophytes. Junk, The Hague, I -viii, 1-561.

Cronck J.K. & Fennessy M.S., 2001. Wetland plants: Biology and Ecology. CRC Press, New York, USA, 462 p.

Cronk Q.C.B. & Fuller J.L. 1995. Plant invaders. Chapman & Hall, Londres, 241p.

Dandy J.E., 1937. The genus *Potamogeton* L. in Tropical Africa. *J. of the Linnean Soc. of London*, botany, vol.1: 507-541.

Datta S.C. and Biswas K.K. 1969. Physiology of germination in *Pistia stratiotes* seeds. *Biologia*, Bratislava, 24 (1): 70-78

Deckers, J. *et al.*, 1996. Evolution de l'acidité dans les sols du delta du fleuve Sénégal sous influence anthropogène. *Etude et Gestion des Sols*, 3,3, :151-166.

Dejoux C. 1988. La pollution des eaux continentales africaines. Ed. ORSTOM, Travaux et Documents n°213, Paris, 513p.

Dejoux C et Saint-Jean L., 1972. Etude des communautés d'invertébrés d'herbiers du lac Tchad : recherches préliminaires. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Hydrobiol.*, vol.VI, n°1: 67-83.

den Hollander N.G., Schenk I.W., Diouf S., Kropff M.J. & Pieterse A.H., 1999. Survival strategy of *Pistia stratiotes* L. in the Djoudj National Park in Senegal. *Hydrobiologia* 415: 21-27

Denny P.,1985. (ed.) The ecology and management of African wetland vegetation. *Geobotany* 6, Dr W. Junk Publishers, Netherlands, 344 p.

Diakhaté M., 1986. Le barrage de Diama : essai sur l'évaluation de ses impacts potentiels. *Revue de Géographie de Lyon*, 1986/1, Lyon France : 43-61

Diagne M., 1991. Contribution à l'étude de la flore adventice et des pratiques de désherbage chimique dans les rizières irriguées du delta du fleuve Sénégal. Mem. DEA, ISE, Faculté des Sciences, Dakar, 97 p.

Diop. B.S., 2002. Les écosystèmes aquatiques et semi-aquatiques dans l'épuration des eaux usées domestiques et urbaines par mosaïques hiérarchisées d'écosystèmes artificiels en Afrique tropicales sèche. Thèse doctorat 3^{ème} cycle, Institut des Sciences de l'Environnement, Faculté des Sciences et Techniques, Université C.A.Diop de Dakar (Sénégal), 197 p.

Diop M. et Triplet P., 2000. Un fléau végétal menace le delta du fleuve Sénégal. *Bull. OMOPO*.

Diop O., 2006. Management of invasive Aquatic Weeds with Emphasis on Biological Control in Senegal. Ph.D. Thesis, Rhodes University, South Africa, 187 p.

Divakaran O., Arunachalam M., Murugan T. & Nair N.B., 1980. Studies on the life cycle and ecology of *Salvinia molesta* Mitchell. *Proc. Indian Acad. Sci.* 89: 519-528.

Dodds W.K., 2002. Freshwater ecology. Concepts and environmental applications. Academic Press, Elsevier CA, USA, 569 p.

Doyen A., 1983. Forêt-Conservation-Développement. Actes colloque ISE, Université de Dakar: Lac de Guiers : problématique d'environnement et de développement : 147-191

Doyen A. et Thiam A., 1980. Etude du potentiel des arbres semenciers de la région du lac de Guiers (Sénégal). Rapport Multigra. Institut des Sciences de l'Environnement (ISE), Faculté des Sciences, Université de Dakar, Sénégal), 34 p.

Dumas D. et Mietton M., 2006. Fonctionnement des hydrosystèmes et gestion de l'eau dans le bas delta du fleuve Sénégal : ruptures et adaptations. *Interactions Natures-Société*, analyse et modèles. UMR6554 LETG, la Baule, 5 p.

Dunn L.H., 1934. Notes on water lettuce, *Pistia stratiotes* L., as a nursery of insect life. *Ecology* 15 :329-331.

Duong-Huu-Thoi, 1950. Etude préliminaire de la végétation du delta central nigérien. Ministério das colonias, Junta de investigações coloniais, Lisboa, 156 p.

Dutartre A., 2004. De la régulation des plantes aquatiques envahissantes à la gestion des hydrosystèmes. *Ingénieries* n° spécial : 87-100

Dykyjova D. and Kvet J., 1978. Pond littoral ecosystem. Springer, Berlin.

Etien N., Kaba N. et Amon Kothias J.B., 1991. Doses efficaces en glyphosate et en 2,4-D pour le contrôle chimique des laitues d'eau (*Pistia stratiotes* L.) et toxicité du glyphosate vis-à-vis des tilapias (*Sarotherodon melanotheron*). *J. Ivoir. Oceanol. Limnol.*, 1 (2): 119-123.

EUROCONSULT-RIN, 1990. Profil de l'environnement de la vallée du fleuve Sénégal. Direction Générale de la Coopération au Développement (DGIS), Ministère des Affaires Etrangères, Pays-Bas, 68p.

Evans, C.E. & Etherington J.R., 1991. The effect of soil water potential on seedling growth of some British plants. *New Phytologist*, 118:571-579,

Fassett N.C., 1956. Manual of aquatic plants. University of Wisconsin Press, 405 p.

Faye M. N., 2007. Etude écologique des zones humides: cas du Parc National des Oiseaux du Djoudj et de la Réserve de Biosphère du Delta du Saloum. Thèse doctorat 3^{ème} Cycle Biologie Végétale, Faculté des Sciences et Techniques, Université C.A. Diop Dakar, Sénégal, 96 p. + annexes.

Faye V.M., 2004. Etat actuel des peuplements de *Typha domingensis* Pers. dans le delta du fleuve Sénégal et étude au laboratoire de la germination de la plante. Mém. DEA, ISE, Faculté des Sciences, Université C. A. Diop de Dakar, 52 p.

Fonkou T., Agendia P. Kengne I., Akoa A., Nya J., 2002. Potential of water lettuce (*Pistia stratiotes*) in domestic sewage treatment with macrophytes logoon systems in Cameroon. *Proceedings of International Symposium on Environmental Pollution Control and Waste Management* 7-10 January 2002, Tunis: 709-714.

Forno I.W. and Harkey K.L.S., 1979. The occurrence of *Salvinia molesta* in Brazil, *Aquatic Botany* 6, 185-7

Gangstad E.O. et Cardelli N.F., 1990 . The relation between aquatic weeds and public health. In: *Aquatic Weeds. The Ecology and Management of Nuisance Aquatic vegetation*. Ed. by Pieterse A. and Murphy K.J. Oxford Science Publications, Oxford, 593 p.

Gannet Fleming, Cordy and Carpentier, 1980. Evaluation des effets sur l'environnement d'aménagements prévus dans le bassin du fleuve Sénégal, Rapport final. OMVS.

Garba M., 1984. Contribution à l'étude de la flore et de la végétation des milieux aquatiques et des sols hydromorphes de l'ouest de la République du Niger, de la longitude de Dougoudoutchi au fleuve Niger. Thèse de doctorat 3ème cycle, Université de Bordeaux/Université de Niamey.

Gaudet J.J., 1974. The normal role of the vegetation in water. In D.S. Mitchell (ed.), *Aquatic vegetation and it's use and control*: 24-37. UNESCO, Paris.

Germain P. et Thiam A., 1983. Les pesticides au Sénégal : une menace ? *Etudes et Recherches* 83-83, ENDA Tiers Monde, Dakar, 57p.

Germain R., 1965. Les biotopes alluvionnaires herbeux et les savanes intercalaires du Congo équatorial. Académie Royale des Sciences d'Outre-mer, Bruxelles, 379 p.

Georges K., 1976. Studies on the chemical control of some important aquatic weeds of Kerala, *Salvinia*, *Ludwigia* and *Cyperus*. In Varshney C.K.& Rzoska J. (eds). *Aquatic weeds in South East Asia*. Junk, the Hague.

Giffard P.L., 1974. L'arbre dans le paysage sénégalais. Sylviculture en zone tropicale sèche. Centre Technique Forestier Tropical, Dakar, 431p.

Gopal B., 1982. Ecology of *Typha* species in India. *Proceedings EWRS 6th Symposium on Aquatic Weeds*: 20-27.

Gopal B., 1990a. Aquatic weed problems and management in Asia. In: *Aquatic Weeds. The Ecology and Management of Nuisance Aquatic vegetation*. Ed. by Pieterse A. and Murphy K.J. Oxford Science Publications, Oxford, 593 p.

Gopal B., 1990b. Ecology and management of aquatic vegetation in India subcontinent. *Geobotany* 19, Kluwer Academia Publisher, 257 p.

Gopal B. and Sharma K.P., 1990. Ecology and population. I : Growth. In: Gopal B. (1990). Ecology and management of aquatic vegetation in India subcontinent. *Geobotany* 19, Kluwer Academia Publisher : 79-106

Gounot M. 1969. Méthodes d'étude quantitative de la végétation. Ed. Masson & Cie, Paris, 314 p.

Grace J.B., 1984. Effects of turbificid worms on the germination and establishment of *Typha*. *Ecology* 65: 1689-1693.

Grace J.B., 1987. The impact of preemption on the zonation of two *Typha* species along lakeshores. *Ecol. Monogr.* 57 : 283-303.

Grosmaire P., 1957. Eléments de politique sylvo-pastorale au Sahel sénégalais. Partie 2 : Les conditions du milieu. Fasc. 10 A- Le milieu physique. Service des Eaux et Forêts, Saint Louis, Sénégal, 56 p.

GTZ, 2001. Valorisation de *Typha* comme combustible domestique en Afrique de l'Ouest. Rapport de synthèse. Weissenberg (Allemagne).

Guillarmod A.J., 1979. Water weeds in Southern Africa. *Aquatic Botany* 6 (1979): 377-391.

Guillemin J.-A., Perrottet S. et Richard A., 1830-1833. Florae Senegambiae Tentamen. Paris, 322 p. + pl.

Guiral D., 1993. Situation, étude et contrôle des végétations aquatiques dans le parc national du Djoudj (Sénégal). Rapport mission Djoudj 2 au 18 décembre 1993, ORSTOM, Montpellier, 33 p.

Guiral D. et Etien N., 1991. Les macrophytes aquatiques des berges lagunaires. *J. Ivoir.Océanol.*, Abidjan vol. I, n°2, novembre 1991: pp 25-40.

Guiral D. et Etien N., 1994. Les macrophytes. In : Environnement et ressources aquatiques de Côte d'Ivoire. Tome II : les milieux lagunaires (eds. Durand J.R, Dufor Ph., Guiral, D. et Zabi S. G.F.), ORSTOM, Paris, 546 p.

Hall B.H, Pierce P.C. and Lawson G.W., 1971. Common plants of Volta Lake. Department of Botany, University of Ghana Legon, 123 p.

Hall J.B. and Okali D.D.U., 1974. Phenology and productivity of *Pistia stratiotes* L. on the Volta lake, Ghana. *Journal of Applied Ecology* 11 (2): 709-725.

- Haller W.T. and Sutton D.L., 1973. Effects of pH and high phosphorus concentration on the growth of water hyacinth. *Hyacinth Control Journal* 11: 59-67.
- Haller T.H., Sutton D.L. and Barlowe W.C. 1974. Effects of salinity on growth of several aquatic macrophytes. *Ecology* 55: 891-894.
- Hardy G., 1921. La mise en valeur de la vallée du Sénégal de 1817 à 1854. Ed. Larose, Paris, 376 p.
- Hartog C. den and Segal S., 1964. A new classification of the water plant communities. *Acta. Bot.Neerl.*13: 367-393.
- Hellsten S., Dieme C., Mbengue M., den Hollander N.G. Janauer G.A. and. Pieterse A.H., 1999. *Typha* control efficiency of a weed-cutting boat in the Lac de Guiers in Senegal: a preliminary study on mowing speed and re-growth capacity. *Hydrobiologia* 415: 249-255.
- Henry Y., 1918. Irrigations et cultures irriguées en Afrique Tropicale. Ed. Larose, Paris, 296 p.
- Heudelot M. et Lelièvre M., 1828. Journal d'un voyage au lac de N'ghier ou Paniéfole. Manuscrit original des Archives Nationales du Sénégal, 14 p.
- Holm L.G., Plucknett D.L, Pancho J.V., Herberger J.P., 1977. The World's Worst Weeds: distribution and biology. University Press of Hawaii, Honolulu, 609 p.
- Howard-Williams C & Lenton G.M., 1975. The role of the littoral zone in the functioning of a shallow tropical lake ecosystem. *Freshwater Biology* 5: 445-459.
- Hubert H., 1918. Le dessèchement progressif de l'A.O.F. *Bull. Com. Et. Hist. Sc. A.O.F.* : 401-407.
- Hubert H., 1921. Eaux superficielles et souterraines au Sénégal. Ed. Larose, Paris, 30 p.
- Hubert H. 1934. Etude comparative des climats des Colonies françaises. *Ann. Phy. Globe France Outre-Mer*, I, n°1 : 33-62.
- Hutchinson G.E., 1975. A treatise on Limnology. Vol. III Limnological botany. John Wiley & Sons, New York-London- Sydney-Toronto, 660 p.
- Hutchinson J. and Dalziel J.M., 1954-1972. Flora of West Tropical Africa. 2nd ed., London, 3 vol.
- Iltis A. and Lemoalle J.,1983. The main types of communities and their evolution during a drought period. 5. The aquatic vegetation of Lake Chad. In. J.P. Carmouze, J.R. Durand, and C Lévêque (Eds), Lake Chad : Ecology and Productivity of a Shallow Tropical Ecosystem, pp. 125-143. W. Junk, The Hague, Boston, Lancaster.

Jacobsen W.B.C., 1983. Ferns and Fern Allies of Southern Africa. Durban, Butterworths, 542 p.

John David M., 1986. Aquatic vegetation. In Plant ecology in West Africa : systems and Processes. Ed. By George W. Lawson, Elsevier: 183- 194.

Johns R.J., 1991. Pteridophytes of Tropical East Africa. A preliminary check-list of the species. Royal Botanic Gardens. Kew England, 131 p.

Johnson D.E., 1997. Les adventices en riziculture en Afrique de l'Ouest. ADRAO/WARDA, Bouaké (Côte d'Ivoire), 312 p.

Kane A., 1997. L'Après-barrage dans la vallée du fleuve Sénégal: modifications hydrologiques, morphologiques, géochimiques et sédimentologiques : conséquences sur le milieu naturel et les aménagements hydro-agricoles. Thèse Doctorat d'Etat Géographie, Université C.A. Diop de Dakar, 551p.

Kaplan Z., 2005. *Potamogeton schweinfurthii* A. Benn., a new species for Europe. *Preslia, Praha*, 77:419-431.

Kerharo J. et Adam J.G., 1974. La pharmacopée sénégalaise traditionnelle. Plantes médicinales et toxiques. Ed. Vigot Frères, Paris, 1011 p.

Knipling E.B., West S.H. and Haller W.T. 1970. Growth characteristics, yield potential and nutritive content of water hyacinths. *Proceedings of the Soil Science Society, Florida* 30: 51-63.

Kone D., 2002. Epuration des eaux usées par lagunage à microphytes et à macrophytes en Afrique de l'Ouest et du Centre: état des lieux, performances épuratoires et critères de dimensionnement. Thèse doctorat Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (Suisse) n°2653, 170 p.

Kornas J., 1990. Plant invasions in Central Europe: historical and ecological aspects, in Di Castri F., Hansen A.J. & Debussche M (eds), *Biological invasions in Europe and the Mediterranean Basin*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht: 19-36.

Kubtziki K., 1990. The Families and Genera of Vascular Plants. I Pteridophytes and Gymnosperms. Springer-Verlag, Paris-London, 404 p.

Kuiseu J., 1997. Flore et végétation aquatiques dans le delta du fleuve Sénégal. Mém. DEA, ISE, Faculté des Sciences, Université de Dakar, 56 p.

Kuiseu J., Thiam A. et Ba A.T., 2001. Impacts de deux barrages sur les végétations héliophytique et hydrophytique du delta du fleuve Sénégal. *J. Bot. Soc. bot. France* 14: 85-101

Lallana V.H., Sabbatini R.A., and Lallana M.C., 1987. Evapotranspiration from *Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes*, *Salvinia herzogii* and *Azolla caroliniana*. *Journal of Aquatic Plant Management* 25: 48-50.

Lebrun J., 1947. La végétation de la plaine alluviale au Sud du lac Edouard (exploration botanique du Parc National Albert, mission J. LEBRUN 1937-1938). Inst. Parc. Nat. Congrès Belge. Tomes 1 et 2, Bruxelles, 800 p.

Lebrun J. 1966. Les formes biologiques dans les végétations tropicales. *Bull. Soc. Bot. France* : 164-176.

Lebrun J.P., 1973. Enumération des plantes vasculaires du Sénégal. Paris, 1 Vol. miméogr. IEMVT, 209 p.

Lebrun J.P. & Stork A.L., 1991-1997. Enumération des plantes à fleurs d'Afrique Tropicale. Vol. I (1991) 249 p. ; Vol. II (1992) 257 p.; Vol III. (1995) 341 p. ; Vol. IV (1997) 712 p. Conservatoire Jardin Botanique Genève.

Le Brusq J.Y., 1984. Evolution de la salinité des sols et des eaux en relation avec la riziculture submergée dans le Delta du fleuve Sénégal. Dakar, ORSTOM.

Lemée A., 1934. Dictionnaire descriptif et synonymique des genres de plantes phanérogames. Tome V, BREST, 525 p.

Lemmet J. et Scordel, M., 1918. Contribution à l'étude agrologique de la vallée du Bas Sénégal. *Bull. Com. et Hist. Sc. AOF* : 17-56.

Lisowski S., Malaisse F., Symoens J.J. and van de Velden J. 1978. Flore d'Afrique Centrale (Zaire, Rwanda, Burindi) : Spermatophytes : Potamogetonaceae. Jardin Botanique National de Belgique, Bruxelles.

Lombardi T., Fochette T., Bertacchi A & Onnis A., 1996. Germination requirement in a population of *Typha latifolia*. *Aquatic Botany* 56: 1-10

Lorenzen B., Brix H., McKee K.L., Mendelssohn I. A. et Miao S., 2000. Seed germination of two Everglades species, *Cladium jamaicense* and *Typha domingensis*. *Aquatic Botany* 66 (3): 169-180.

Lounibos L.P., Dewald L.B., 1989. Oviposition site selection by *Mansonia* mosquitoes on water lettuce. *Ecological Entomology* 14: 413-422.

Loyer J.Y., 1989. Les sols salés de la basse vallée du fleuve Sénégal. ORSTOM, Collection Etudes et Thèses, Paris, France, 137 p.

McMillan C., 1959. Salt tolerance within *Typha* population. *Amer. Jour. Bot.* 46 (7): 521-526.

McNaughton S.J., 1966. Ecotype function in the *Typha* community type. *Ecol. Monogr.*, 36: 297-325.

Mainguet M., 1995. L'homme et la sécheresse. Masson Géographie, Paris, 335 p.

Mamarot J., 2002. Mauvaises herbes des cultures. Association de Coordination Technique Agricole (ACTA), Paris, 540 p.

Marche-Marchard J., 1967. Etude dynamique de la biologie d'une mare temporaire de la région tropicale ouest-africaine. *Notes Africaines* n°114, IFAN Dakar : 55-69

Marius C., 1985. Mangroves du Sénégal et de la Gambie. Ecologie-Pédologie-Géochimie. Mise en valeur et aménagement. *Travaux et Documents* 193, ORSTOM, Paris, 357 p.

Marnotte P., Carrara A., Dominati E. et Girardot F., 2006. Plantes des rizières de Camargue. Parc naturel régional/CIRAD, Montpellier, 262 p.

Maynard J., 1955. Les sols du pseudo-delta du Sénégal. Saint-Louis, ORSTOM, 40 p.

McFarland, D.G., Nelson L.S., Grodowitz M.J., Smart R.M. & Owens C.S., 2004. *Salvinia molesta* D.S. Mitchell (Giant Salvinia) in the United-States: A Review of Species Ecology and Approches to Management. Engineer Research and Development Center Vicksburg Ms Environmental lab, USA, June 2004, 41 p.

Michel P. 1973. Les bassins du fleuve Sénégal et de la Gambie. Etude géomorphologique. *Mémoire ORSTOM* n° 63, Tome 1, Tome 2 et Tome 3. Paris, 752 p.

Michel P., Naegelé A. et Toupet Ch., 1969. Etude biologique du Sénégal septentrional. 1. Le milieu naturel. *Bull. I.F.A.N.* 31 A (3) : 756-839.

Mitchell D.S., 1969. The Ecology of vascular Hydrophytes on Lake Kariba (Rhodesia). *Hydrobiologia* 34, Vas. 3-4: 448-464.

Mitchell D.S., 1970. Autoecological studies of *Salvinia auriculata* Aubl. Ph.D. Thesis, University of London, 669 p.

Mitchell D.S., 1972. The Kariba weed: *Salvinia molesta*, *Bristish Fern Gazette*, 10: 251-2.

Mitchell D.S. et Tur N.M., 1975. The rate of growth of *Salvinia molesta* (*S. auriculata* auct.) in laboratory and natural conditions. *Journal of Applied Ecology*, 12: 213-225.

Mitchell, D.S., 1985. African aquatics weeds and their management. In Aquatic weed problems and management in Africa. In: Aquatic Weeds. The Ecology and Management of Nuisance Aquatic vegetation: P. Denny (eds). The ecology and management of African wetland vegetation. W. Junk publication, Dordrecht: 177-202.

- Mitchell D.S., Pieterse A.H. and Murphy K.J., 1990. Aquatic weed problems and management in Africa. In: Aquatic Weeds. The Ecology and Management of Nuisance Aquatic vegetation. Ed. by Pieterse A.H. and Murphy K.J. Oxford Science Publications, Oxford, 593 p.
- Montégut J., 2003. Le milieu aquatique. Tome 1, Milieu aquatique et flore. Ed. ACTA, Paris. 2ème édition, 60 p.
- Muller S. (coord.), 2006. Plantes invasives en France. Muséum national d'Histoire naturelle, Paris, (*Patrimoines naturels* 62), 168 p.
- Mullié W. C., Diallo A.O., Gadjé B. and Ndiaye M.D., 1999. Environmental Hazards of Mobile Ground Spraying with Cyanophos and Fenthion for *Quelea* control in Senegal. *Ecotoxicology and Environment Safety*. Vol.43, Issue 1 May 1999: 1-10
- Mulligan H.F., 1972. Report on growth of *Pistia stratiotes* in Kossou Lake (Ivory Coast), FAO, Rome, 7 p.
- Myers J.H. and Bazely D.R., 2005. Ecology and control of introduced plants. (Ecology, Biodiversity and Conservation), Cambridge University Press United Kingdom, 313 p.
- N'Diaye A., 1978. Les vallées du Lampsar-Djeuss (Sénégal) : le milieu naturel dans les rapports avec l'aménagement rural. Thèse Doctorat 3^{ème} cycle, Université Louis Pasteur de Strasbourg, France.
- Noba K. *et al.*, 2004. Flore adventice des cultures vivrières dans le sud du Bassin arachidier (Sénégal). *Webbia* 59 (2) : 293-308.
- Noba K. *et al.* 2010. La flore du Parc national des oiseaux du Djoudj-une zone humide du Sénégal. *Sécheresse* 21 (1): 71-78.
- Obeid M. & Charwick M.J., 1966. A comparative study of the growth of *Eichhornia crassipes* Solms and *Pistia stratiotes* L. in water culture. *J.Ecol.* 54: 563-575.
- Odum H.T., 1957. Trophic structure and productivity of Silver Springs, Florida. *Ecol. Monogr.* 27: 55-112.
- Olivier J.D., 1993. A review of the Biology of Giant *Salvinia* (*Salvinia molesta* Mitchell). *Journal of Aquatic Plant Management*, Vol.31, N°2, July 1993: 227-231.
- Olivry J.C., Choumet A., Villaume G., Lomoalle J. et Briquet J.P., 1996. Hydrologie du lac Tchad. Monographie hydrologique n°12, Editions ORSTOM, 266 p.
- O.M.V.S., 1979. Evaluation des effets sur l'environnement d'aménagements prévus dans le bassin du fleuve Sénégal. Rapport O.M.V.S., Dakar, 183 p.
- O.M.V.S., 1995. Etude de l'Environnement du Delta du Fleuve Sénégal. Rapport BDPA-SCETAGRI/ORSTOM/SECA/AFID/SERADE.

O.M.V.S., 2003. Etudes de base pour la phase initiale de mise en place de l'Observatoire de l'Environnement. Rapport technique V.2.0. Groupe SIEE, 295 p.

Ouedraogo R.L., 1994. Etude de la végétation aquatique et semi-aquatique de la mare aux hippopotames et des mares d'Oursi et de Yomboli (Burkina Faso). Thèse doctorat 3ème cycle, Université de Ouagadougou, 191 p. + annexes.

Ozenda P., 2004. Flore et végétation du Sahara. CNRS Editions, Paris, 660 p.

Paradis G., 1981-Ecologie et géomorphologie en climat subéquatorial sec : la végétation côtière du Bas-Bénin occidental. *Ann. Univ. Abidjan, E, XIV*: 7-63

Parsons W.T. & Cuthbertson E.G., 2001. Noxious Weeds of Australia. C.S.I.R.O, 2nd Edition, 712 p.

Penfound W.T. and Earle T.T., 1948. The biology of water hyacinth. *Ecological Monographs*, 18: 449-472.

Perrottet, 1833. Relation d'un voyage au lac de N'Gher en Sénégal et excursions botaniques dans les environs. *Nouvelles Ann. Des Voyages*, LVII: 26-88.

Petr T., 1968. Population changes in aquatic invertebrates living in two water plants in a tropical man-made lake. *Hydrobiologia* 32:449-485.

Pieterse A.H., de Lange L., and Verhagen L., 1981. A study of certain aspects of seed germination and growth of *Pistia stratiotes* L. *Acta Botanica Neerlandica* 30: 47-57.

Pieterse A.H., Kettunen M., Diouf S., Ndao S., Sarr K., Tarvainen A., Kloff S., Hellsten S., 2003. Effective biocontrol of *Salvinia molesta* in the Senegal river by means of Weevil *Cyrtobagous salviniae*. *Ambio*, vol. N° 7 (Nov., 2003): 458-462.

Plasencia Fraga J.M. and Kevet J., 1993. Production Dynamics of *Typha domingensis* (Pers.) Kunt Populations in Cuba. *J. Aquat. Plant Manage.* 31: 240-243.

Plaud M. 1966. Pose de piézomètres et étude de la nappe phréatique autour du lac de Guiers (Sénégal). B.R.G.M., Dakar, 20 p.+ annexes.

Portères R. 1951. Les variations des ceintures hydrophytiques et graminéo-hélophytiques des eaux vives du système lagunaire de la Côte d'Ivoire. *Bull. I.F.A.N.* Tome XIII, n° 4, octobre 1951:1011-1028.

Rao P.N. and Reddy A.S., 1984. Studies on the population biology of water lettuce: *Pistia stratiotes* L. *Hydrobiologia* 119: 15-19.

Raunkiaer S., 1934. The life forms of plants and statistical Plant Geography. Oxford, Clarendon Press, 623 p.

- Raynal A., 1963. Flore et végétation des environs de Kayar (Sénégal) de la côte au lac Tamna. Extrait des *Annales de la Faculté des Sciences*, Université de Dakar, Tome 9: 121-231.
- Raynal-Roques A., 1980. Les plantes aquatiques (plantes à fleur et fougères). In Flore et Faune aquatiques de l'Afrique sahélo-soudanienne, Tome 1 Ed. Durand J.R. et Lévêque C., ORSTOM, collection *Initiations-Documentations Techniques* 44, Paris, 389 p.
- Reizer C., 1974. Définition d'une politique d'aménagement des ressources halieutiques d'un écosystème aquatique complexe par l'étude de son environnement abiotique, biotique et anthropique. Le fleuve Sénégal moyen et inférieur. Thèse doctorale. Fondation Universitaire Luxembourgeoise, Arlon, Belgique, 563 p.
- République du Sénégal, 1994. Synthèse du Plan Directeur Rive Gauche (P.D.R.G.). Ministère de l'Economie, des Finances et du Plan, 34 p.
- Rochette C., 1974. Le bassin du fleuve Sénégal. *Monographies Hydrologiques* n° 1, ORSTOM Paris, 325 p.+ annexes
- Sale P.J.M. & Wetzel R.G., 1983. Growth and metabolism of *Typha* species in relation to cutting treatments. *Aquatic botany* 15: 335-348.
- Salvinia Task Force Action Plan Sub-Committee, USA, 1999. *Salvinia molesta*, status Report and Action Plan.
- Samuel S., Mathew K. and Antony, 1975) Observations on the African weed *Salvinia auriculata* Aublet with special reference to salinity tolerance. *Bull. Dept. Marine Sci. Univ. Cohn* 7:913-917
- Sanokho A., 1977. *Salvinia nymhellula* Desv. au Sénégal. *Bulletin I.F.A.N.* 38 A (1): 16 - 19.
- Sarr A., 1996. Les groupements végétaux de la basse vallée du Ferlo (Sénégal). Mém. DEA, Institut des Sciences de l'Environnement, Fac. Sciences et Techniques. Université C. A. Diop Dakar, 57 p.
- Sarr A., 1997. Etude des graminées du complexe écologique Niokolo-Badiar. Programme régional d'aménagement des bassins versants du Haut Niger et de la Haute Gambie. Publication n°8, Centre de Recherche Ecologique Niokolo-Badiar, Direction des Parcs Nationaux, Sénégal, 52 p.+ annexes.
- Sarr A., Thiam A. et Ba A.T., 2001. Macrophytes et groupements végétaux aquatiques et amphibies de la basse vallée du Ferlo. *Africa Journal of Sciences and Technology (AJST)* Vol. 2, n° 1, pp.89-97.

Sarr D.L., 2003. Aspects socio-économiques de la prolifération de *Typha domingensis* dans le delta du fleuve Sénégal. Mém. DEA, Institut des Sciences de l'Environnement, Fac. Sciences et Techniques, Université C.A.Diop, Dakar, 57 p.

Schenk I.W., den Hollander N.G., Diouf S., Kropff M.J., Hellsten S., Janauer G.A. et Pieterse A.H., 1998. Seasonal advance and retreat of *Pistia stratiotes* in the Djoudj National Park in Senegal: a race between seed formation and increasing salt concentration. *Proceedings of the 10th International Symposium of aquatic weeds, European Weed Research Society (EWRS)*, Lisbon 21-25 September 1998, 444 p.

Schneider A. et Sambou K., 1975. Prospection botanique dans les parcs nationaux du Niokolo-Koba et de Basse Casamance. In : Recherches scientifiques dans les Parcs nationaux du Sénégal. IFAN 92, Dakar, 366 p.

Schnell R., 1977. Introduction à la phytogéographie des pays tropicaux. La flore et la végétation de l'Afrique tropicale. Paris, Gauthier - Villars, tome 4, 378 p.

Sculthorpe C.D., 1967. The biology of aquatic vascular plants. Edward Arnold (Publishers) Ltd. London, 610 p.

SEDAGRI/IRAT, 1972. Carte des Sols et d'utilisation des Sols, 1/50.000. Bassin du fleuve Sénégal, Bakel à Saint Louis. SEDAGRI.

Sène F., 1987. Les pesticides utilisés par l'agro-industrie (C.S.S. et SAED) dans la région du lac de Guiers. Analyse de l'accumulation de la dieldrine et de la toxicité du carbofuran et du propanil. Mémoire de DEA, Institut des Sciences de l'Environnement, Université de Dakar, 105 p.

Sharma K.P. and Gopal B., 1979a. Effect of water regime on the growth and establishment of *Typha angustata* seedlings. *Int. J. of Ecology and Env. Sc.*, 5, 69-74

Sharma K.P. and Gopal B., 1979b. Effect of light intensity on seedling establishment and growth in *Typha angustata* Bory & Chaub. *Polskie Archiwum Hydrobiologii* 26: 495-500.

Sifton H.B., 1959. The germination of light-sensitive seeds of *Typha latifolia* L. *Canadian Journal of Botany* 64: 443-435

Spichiger R-E, Savolainen V-V. et Figeat M., 2000. Botanique systématique des plantes à fleurs. Une approche phylogénétique nouvelle des Angiospermes des régions tempérées et tropicales. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne (Suisse), 372 p.

Tardieu-Blot, 1953. Les ptéridophytes de l'Afrique intertropicale française. *Mémoires de l'IFAN* 28, Dakar, 241 p.

Tardieu-Blot, 1957. Les ptéridophytes de l'Afrique intertropicale française (suite). *Mémoires de l'IFAN* 50: 8-49.

Theurkorn W. et Henning R.K., 2005. *Typha australis* : menace ou richesse ? PREDAS/CILSS et PSACD/GTZ, Ougadougou, Burkina Faso, 28 p.

Thiam A., 1982. La flore ligneuse et ses utilisations dans la région du lac de Guiers. Mém. DEA, Dakar, Institut des Sciences de l'Environnement, Faculté des Sciences, Université de Dakar, 73 p.

Thiam A., 1983. *Typha australis* Schum. Thonn.: une contrainte au développement socio-économique des rives du lac de Guiers ? Actes colloque ISE, Université de Dakar : Lac de Guiers: problématique d'environnement et de développement : 133-138

Thiam A., 1984. Contribution à l'étude phyto-écologique de la zone de décrue du lac de Guiers. Thèse de doctorat de 3^{ème} cycle en Sciences de l'environnement. ISE, Faculté des Sciences, Université de Dakar, 105 p.

Thiam A., 1996. Les produits phytosanitaires dans le delta du fleuve Sénégal. *Cahiers Agricultures* 5 : 112-7.

Thiam A., 1998. Flore et végétation aquatiques et des zones inondables du delta du fleuve Sénégal et le lac de Guiers. Ed. A.T.Ba, J.E. Madsen et B. Sambou. AAU Reports 39, Aarhus University Press, Denmark: 245-257.

Thiam A., Ndiaye R. et Ouattara M. 1993. Macrophytes aquatiques et zooplancton du lac de Guiers (Sénégal). Rapport projet de recherche, ISE/FUL, Université. C. A. Diop, Dakar, 53 p.

Thiam A et Ouattara M., 1997. Un macrophyte en voie d'envahissement du lac de Guiers (Sénégal): *Potamogeton Schweinfurthii* A. Bennett (Potamogetonaceae). *J. Bot. Soc. bot. France* 4: 71- 78.

Thoen D. et Thiam A., 1990. Utilisations des plantes ligneuses et subligneuses par les populations de la région sahélienne du lac de Guiers (Sénégal). *Bull. Médecine Traditionnelle et Pharmacopée* 4 (2) : 169-179.

Thomas P.A. & Room P.A., 1986. Taxonomy and control of *Salvinia molesta*, *Nature*, 320: 581-4

Thompson K. and Hamilton A.C., 1983. Peatlands and swamps of the African continents. In A.J.P Gore (Ed.), *Ecosystem of the World*. 4B. Mires : Swamps, Bog, Fen and Moor. Regional Studies, pp.331-373. Elsevier, Amsterdam.

Tilmans G., 1998. Makhana, la plus ancienne usine à vapeur d'Afrique noire. C.D.R.S., Saint-Louis, numéro hors série, 63 p.

Traoré D., 1985. Etude de la végétation des milieux hydrophytiques ouverts de la Côte d'Ivoire. Thèse doctorat d'Etat, Université Bordeaux III, 394 p.

Tréca B. 1989. Les dégâts aux semis de riz causés par les oiseaux d'eau dans le Delta du fleuve Sénégal. Dakar. ORSTOM, 13 p.

Tréca B., Sylla S.I. et Ndiaye A., 1992. SOS Djoudj. *Prc.VIII PAN-Afr.ORN. Congr.* : 503-507

Tricart J., 1961. Notice explicative de la carte géomorphologique du delta du fleuve Sénégal. *Mémoires B.R.G.M.* n°8, Paris.

Triest L. et Symoens J.J., 1983. Flore d'Afrique Centrale (Zaïre, Rwanda, Burundi) Spermatophytes, Najadaceae. Jardin botanique national de Belgique, août 1983, 9 p.

Triplet P., Tiéga A. et Pritchard D., 2001. Rapport de mission au parc National des Oiseaux du Djoudj, Sénégal et au Parc National du Diawling, Mauritanie du 14 au 21 septembre 2000. Mission consultative Ramsar : Rapport 42.

Trochain J.-L., 1940. Contribution à l'étude de la végétation du Sénégal. *Mém. IFAN* 2 Dakar, 433 p. + 30 p. photos

Trochain J.-L., 1956. Rapport préliminaire de mission botanique au Sénégal. Paragraphe I : Le problème de la pullulation des *Typha* dans le lac de Guiers : 1 fasc. Miméogr, Montpellier.

Trochain J.-L., 1957. Accord interfarcain sur la définition des types de végétation de l'Afrique Tropicale. *Bull. Inst. Etud. Centrafr.*: 139-157.

Trochain J.-L., 1966. Types biologiques chez les végétaux intertropicaux (Angiospermes). *Bull. Soc. Bot. France* : 187- 196.

Vanden Berghen C., 1979. La végétation des sables maritimes de la Basse Casamance méridionale (Sénégal). *Bull. Jard. Bot. Nat. Belg.*, 49 :185-238.

Vanden Berghen C., 1982a. Initiation à l'étude de la végétation. 3 ème édition. Jardin Botanique National de Belgique, Meise, 263 p.

Vanden Berghen C., 1982b. Premier aperçu sur la végétation aquatique de la Basse Casamance (Sénégal méridional). In: Symoens, J.J., Hooper S.S. and Compère P. (eds.), *Studies on Aquatic Vascular Plants*. Roy. Bot. Soc. Belgium, Brussels : 266-271.

Vanden Berghen C., 1988. Flore illustrée du Sénégal. Tome IX. Berhaut J. (Ed.), Imp. Maisonneuve. France

Vanden Berghen C., 1990. La végétation des mares temporaires au Sénégal oriental. *Rev. Hydrobiol. Trop.* 23 (2) : 95-103

Vanden Berghen C., 1991. Flore illustrée du Sénégal. Tome X. (draft non publiée).

Wade P.M., 1990. Physical control of aquatic weeds. In: Aquatic Weeds. The Ecology and Management of Nuisance Aquatic vegetation. Ed. by Pieterse A. and Murphy K.J. Oxford Science Publications, Oxford, 593p.

Waridel P., 2003. Investigation phytochimiques des plantes aquatiques *Potamogeton pectinatus* L., *P. Lucens* L., *P. perfoliatus* L. et *P. crispus* L. (Potamogetonaceae). Thèse doctorat, Institut de Pharmacognosie et Phytochimie, Faculté des Sciences, Université de Lausanne, Suisse.

Waterhouse D.F. 1994. Biological control of Weeds: Southeast Asian Prospects. ACIAR, Canberra, Australia, 302 p.

Webb C.J., Sykes W.R. and Garnock-Jones P.J., 1988. Flora of New Zealand: naturalized pteridophytes, gymnosperms, dicotyledons, Vol. 4, DSIR, Christchurch.

Westlake D.F., 1965. Theoretical aspects of comparability of productivity data. Mem. Ist. Ital. Idrobiol. 18 (suppl.): 229-248.

Wetzel, 1983. Limnology, 2nd edition, Philadelphia: Saunders College Publishing, 860 p.

Whiteman J.B. and Room P.M., 1991. Temperature lethal to *Salvinia molesta* Mitchell, *Aquatic Botany*, 40, 27-35.

Wild H., 1961. Harmful aquatic plants in Africa and Madagascar. Joint CCTA/CSA Project N°14. *Journal of the Federal Herbarium* 2, Salisbury Rhodesia and Nyasaland, 66 p.

Yeo R.R., 1964. Life history of common cattail. *Weeds*. 12: 284-288.

Zahran M.A., 2009. Hydrophytes of the Nile in Egypt. *Monographiae Biologicae* 89:463-4

Zahran M.A. & Willis A.J., 2003. Plant life in the river Nile in Egypt. Mars Publishing House, Riyadh, 531p.

Annexe 1- Définition des principaux termes utilisés pour désigner les « plantes aquatiques »

- **Hydrophyte:** dans le sens littéral et général, il s'agit de plante vivant dans l'eau ou dominant dans des zones humides. Une limite exacte, franche ne les sépare pas des plantes terrestres.

Nous les subdivisons en quatre types :

- Hydrophytes nageants (Hyd na) : bourgeons et appareil végétatif flottent sur ou dans l'eau ;
- Hydrogéophytes (Hyd gé) : plantes aquatiques vivaces fixées, subsistent sous forme de rhizome situé dans le substrat et porteur de bourgeons ;
- Hydrohémicryptophytes (Hyd hé) : plantes vivaces aquatiques fixées, subsistent sous forme de souche portant des bourgeons à la surface du substrat solide ou vaseux ;
- Hydrothérophytes (Hyd th) : plantes aquatiques fixées, subsistent sous forme de graines ou de boutures à valeur de bourgeons.

- **Hélophytes** : Plante développant un appareil aérien dépassant la surface de l'eau.

Nous distinguons deux types :

- Hélogéophytes (Hé gé) : plantes dont les bourgeons sont dans la vase ; l'appareil végétatif est aérien ;
- Hélothérophytes (Hé th) : plantes amphibies annuelles ; les graines subsistent dans la vase.

-**Macrophytes aquatiques** : terme général qui englobe les macrophytes d'eau douce et les plantes marines et des eaux saumâtres (estuaires).

- **Macrophytes d'eau douce** : comporte les charophytes, les bryophytes, les ptéridophytes (fougères) et des spermaphytes dont les parties végétatives sont en permanence ou saisonnièrement submergées et /ou émergent à la surface des eaux douces, ou encore flottant à la surface de l'eau.

- **Macrophytes émergents:** ces macrophytes aquatiques sont généralement enracinés ou fixés au substrat et produisent des tiges végétatives qui sortent de l'eau (sens de hélophyte).

-Macrophytes flottant à la surface : Il s'agit de plantes particulièrement adaptées à la flottaison par des mécanismes anatomiques. Leur localisation est fortement dépendante des mouvements des eaux et de la direction des vents.

-Macrophytes à feuilles flottantes : ces macrophytes sont enracinés ou fixés au substratum et produisent des feuilles coriaces qui flottent à la surface de l'eau. Ils portent également souvent quelques feuilles submergées. Les inflorescences et les fleurs émergent usuellement de l'eau. Exemples : *Nymphaea*, *Nymphoides*, etc.

-Macrophytes submergés : ce sont des macrophytes aquatiques dont les parties végétatives sont situées tout le temps en dessous de la surface de l'eau. Leurs inflorescences et leurs fleurs peuvent émerger. Ils peuvent être enracinés ou fixés au substratum pendant une bonne partie de leur cycle vital. Ils comprennent plusieurs angiospermes telles que *Ceratophyllum*, *Vallisneria*, *Najas*, *Potamogeton*, etc. Une situation particulière est celle de *Potamogeton octandrus* qui est abondant dans notre zone d'étude. En effet, elle montre un polymorphisme foliaire ; les feuilles submergées sont filiformes de coloration rougeâtre alors que les feuilles aériennes, plus courtes et plus coriaces présentent un limbe lancéolé avec souvent des taches vertes de chlorophylle. Denny (1985) a proposé le terme d'**Euhydrophytes** pour désigner les plantes complètement submergées ou accrochées à un substratum avec des feuilles flottantes ou ayant aussi bien des feuilles flottantes que des feuilles émergentes. Dans le cadre de ce travail, nous avons préféré inclure ce cas particulier dans le groupe des macrophytes submergés.

Annexe 2- Quelques éléments chronologiques sur l'exploration et les aménagements dans la région du delta du fleuve et le lac de Guiers

- 1686 - Reconnaissance du lac de Guiers ou Paniéfoul par Jajolet de la Courbe.
- 1822 - Le jardinier Richard s'installe le long du fleuve, dans un site qui deviendra Richard Toll («Le jardin de Richard »). Nombreuses introductions de plantes exotiques et indigène (cf. catalogue publié par Monod, 1951).
- 1823 - Voyage au lac de N'gher du botaniste M. Perrottet renseignant sur de nombreux aspects des sciences naturelles...
- 1828 - Voyage au lac de N'gher ou Paniéfoul (Walo) des Sieurs Heudelot et Lelièvre, jardiniers du gouvernement ; nombreux renseignements botaniques.
- 1839 - Voyage au lac Paniéfoul et au pays Yolof de René Caille, Huard-Bessinière, Potin-Patterson et Paul Holle.
- 1861 - Une crue extraordinaire permet au vapeur « Crocodile », commandé par le lieutenant de vaisseau le Braouëzec de remonter le Bounoum jusqu'à N'diayène.
- 1870 - L'eau du lac est douce, selon Henry (1918).
- 1883 - Le botaniste Perrottet est dérangé dans ses occupations par de nombreux éléphants (*Loxodonta africana*) qui viennent boire au lac.
- 1890 - Crue exceptionnelle du Fleuve Sénégal
- Avant 1890, alimentation exclusive du lac en eau douce
 - Après 1890, remontée saline dans le fleuve et possibilités de pénétration de sel dans le lac
- 1892- La crue du fleuve atteint Ngoui-Diéri, à 40 km de l'E.S.E. du lac et à 20 km du NW de Linguère.
- 1903-1904- Construction du barrage en dur de Boundoum
- 1914 - Les missions Younes et Henry prospectent la région du lac de Guiers.
- 1916 - Henry publie une carte de la salure du lac de Guiers.

- L'ingénieur Younes fait construire le premier barrage en terre sur la Taoué. Ce barrage, emporté chaque année par la crue du fleuve est reconstruit par les populations à la décrue.
- 1920 - début de la politique de fixation des éleveurs.
- 1920 à 1956 - Fondation des villages wolof du Diéri ; progression rapide des cultures pluviales dans les zones du Diéri.
- 1934- Création de la Mission d'Aménagement du Sénégal (MAS)
- 1936 - La crue du Fleuve atteint Yang-Yang.
- 1939-1940- Construction du barrage en dur de Dakar-Bango
- 1940- Construction du barrage en dur de Diaoudoun
- 1940 - Trochain publie un important travail sur la végétation du Sénégal et décrit plusieurs groupements végétaux des abords du lac.
- 1947 - 1948 - Construction du premier pont barrage de Richard-Toll. La communication du fleuve et du lac est limitée à la période de crue.
- 1949 - Création du casier rizicole de Richard-Toll.
- 1951 - Endiguement du marigot de Niet Yone (au NW du lac) entraînant l'assèchement de la dépression du N'Diael.
- Premiers champs de riz à Richard-Toll
- 1953 - Début de la lutte intensive contre les mange-mil (*Quelea quelea*) par l'O.C.L.A.L.A.V.
- 1954 - Création des premiers forages dans la région, notamment celui de Mbar Toubab.
- 1954 - Première (?) couverture aérienne au 1/50 000 de la région.
- 1955 - Les chefs de cantons fixent définitivement les voies d'accès des troupeaux au lac de Guiers.
- 1956 – Construction de la digue de Keur Momar Sarr qui isole le lac du Ferlo

- 1956 - Trochain publie un rapport sur le développement de la typhaie dans le lac de Guiers. Il estime à 1000 ha les superficies occupées par les typhaies
- 1957- Grosmaire constate une prolifération spectaculaire de *Typha australis* au lac de Guiers.
- 1957- Sainton publie une étude géologique sur la région du lac.
- 1957 - Implantation de casiers rizicoles à Colонат par la S.A.E.D.
- 1958 - Création du centre de pêche de Guidick.
- 1960 - Début des campagnes de pêche dans le lac pour approvisionner Dakar.
- 1964- Construction des premiers éléments de la « digue rive gauche »
- 1964 - Etude de la végétation des rives est du lac par Adam.
- 1965 - La zone du N'Diael est classée en réserve sylvo-pastorale.
- 1965 - Publication d'une carte pédologique au 1/1000 000 englobant la région du lac.
- 1965 -Le centre de pêche est transféré à Mbane, considéré comme site plus favorable.
- 1966 - Installation de piézomètres par le B.R.G.M.
- 1967 - Création du puits-forage de Diaglè, équipé d'une pompe solaire.
- 1967- Publication de la carte géologique au 1/200 000, feuille de Dagana, établie par le B.R.G.M.
- 1968- Création de l'Organisation des Etats Riverains du Sénégal (OERS) qui sera dissoute en fin 1971 et remplacée par l'OMVS.
- 1969 -1971 - Construction de l'usine de traitement des eaux à Ngnith par la S.O.N.E.E.S.
- 1970 - Création d'un réseau de pare-feux dans la région.
- 1970 - Transformation des casiers rizicoles de Richard-Toll en casier de canne à sucre par la C.S.S.
- 1972- Création de la Maison Familiale Rurale de Nder.

1972- La cuvette de Mbane est transformée en rizière par la S.A.E.D. avec l'aide d'une mission chinoise de Taïwan.

1972- Création de l'Organisation pour la Mise en Valeur du Fleuve Sénégal (OMVS)

1974 - Creusement du canal de la Taoué

1975 à 1978 - Expérimentation de la riziculture dans la cuvette de Nder.

1979- Installation d'un 2^{ème} pont barrage à Richard Toll à 500 m en aval du premier pont barrage. La première fermeture eut lieu le 27 septembre 1979.

1981 - La C.S.S. s'étend sur près de 6 400 ha.

1982- Abaques de surface et volume du lac de Guiers présentés par Cogels et Gac (1982).

1983-1984- Réalisation de barrage en terre à Kheune situé à 50 km en aval de Richard Toll pour empêcher une intrusion marine suite à un déficit d'écoulement du Sénégal

Novembre 1985- Mise en service du barrage de Diama sur le fleuve Sénégal

1986- Fin de la construction du barrage anti-sel de Diama

Mars 1988- Mise en eau du barrage hydro-électrique de Manantali (capacité 11 000 Mm³)

- Finalisation de la digue rive gauche

Septembre 1988- Remise en eau du Bas-Ferlo (Vallée du Bounoum) après 32 ans d'alimentation exclusive par les eaux de pluie

Mars 1992- Réouverture précoce de la liaison avec le fleuve et maintien depuis lors d'un niveau élevé dans le lac

1993- Restauration complète de la digue de Keur Momar Sarr

1994- Remise en eau de la dépression du Ndiaël

Octobre 2003- Ouverture d'une brèche sur la Langue de Barbarie pour lutter contre les inondations dans la ville de St Louis

2003 à 2004 - Construction de la station de traitement des eaux de Keur Momar Sarr d'une capacité de 65 000 m³ jour