

UNIVERSITÉ CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR

FACULTÉ DES SCIENCES ET TECHNIQUES

DÉPARTEMENT DE PHYSIQUE



MEMOIRE DE THESE UNIQUE

Présenté par

IBRAHIMA THIAM

Ingénieur de conception en génie Electromécanique
International MBA Exécutive (IMBA)
MBA en Ingénierie des affaires

POUR OBTENIR LE GRADE DE DOCTEUR EN PHYSIQUE

Option : Hydraulique et Mécanique des fluides

EVOLUTION QUANTITATIVE ET QUALITATIVE DES RESSOURCES EN EAU NATURELLE A USAGE INDUSTRIEL ET AGRICOLE DANS UN CONTEXTE DE CHANGEMENT CLIMATIQUE : CAS DES LACS DE DIAMNIADIO ET DE LA CARRIERE DE BARGNY

Soutenu publiquement le 09 / 12 / 2017 devant le jury composé de :

Président	Grégoire SISSOKO	Professeur Titulaire	FST/UCAD
Rapporteurs	Mamadou Babacar NDIAYE	Maître de Conférences	UIT- UT
	ELHADJI Bamba DIAW	Professeur Titulaire	EPT
Membres	Soussou SAMBOU	Maître de Conférences	FST/UCAD
	Vincent SAMBOU	Maître de Conférences	ESP/ UCAD
	Mamadou SARR	Professeur Titulaire	UFRSET/ UT
Directeur	Séni TAMBA	Maître de Conférences	EPT

Dédicaces

A la mémoire de mon Père El hadji Samba THIAM

Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour toi.

Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation, ma protection et mon bien être. Jusqu'au jour de ta disparition, tu n'as cessé de prier pour moi.

Que Dieu t'accueille dans son paradis céleste.

Amine.

A ma très chère mère Coumba DIAGNE

Affable, honorable, aimable : Tu représentes pour moi le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi.

Tes prières et ta bénédiction m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études.

Aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour exprimer ce que tu mérites pour tous les sacrifices que tu n'as cessé de faire pour moi depuis ma naissance, durant mon enfance et même à l'âge adulte.

Tu as fait plus qu'une mère puisse faire pour que ses enfants suivent le bon chemin dans leur vie et leurs études.

Je te dédie ce travail en témoignage de mon profond amour. Puisse Dieu, le tout puissant, te préserver et t'accorder santé, longue vie et bonheur.

Remerciements

Le présent mémoire de thèse unique est le fruit d'un travail de recherche-action mené pendant près de trois (3) ans mois dans la région de Dakar, singulièrement dans les Communes de Bargny et Diamniadio. Sa réalisation a été possible grâce au soutien permanent et à la collaboration dynamique de plusieurs personnes ressources, institutions et communautés qu'il nous plait de remercier du fond du cœur.

Nous réitérons, ici et maintenant, nos sentiments de profonde gratitude et de reconnaissance à ces hommes et femmes qui, en dépit de leurs responsabilités institutionnelles et de leurs charges professionnelles, nous ont toujours accueilli à bras ouverts et répondu à nos sollicitations. Leur disponibilité, leur écoute attentive, leurs critiques pertinentes et constructives, la qualité de leurs conseils et suggestions, ont été d'un apport inestimable dans la conduite et la réalisation de cette thèse.

Nous voulons nommer:

- Professeur Grégoire SISSOKHO : Professeur Titulaire des Universités au département de Physique de l'Université Cheikh Anta DIOP. Il est des circonstances où aucun mot ni aucun discours ne saurait traduire la force et la quintessence des sentiments éprouvés. Nous lui décernons une palme spéciale et lui exprimons toute notre profonde gratitude. Nous vous disons simplement merci Professeur de nous avoir fait l'honneur de présider ce jury; merci également pour votre assistance active et soutenue pendant toute la préparation de notre thèse. Qu'Allah (SWT) vous accorde longue vie et vous rétribue pour tout le travail abattu.
- Nous formulons nos remerciements et pensées les plus sincères aux rapporteurs de notre thèse pour l'intérêt porté à notre travail, notamment :
 - Professeur EL HADJI Bamba DIAW, Professeur Titulaire des Universités, Directeur de l'Ecole Polytechnique de Thiès, d'avoir accepté d'être le rapporteur de cette thèse. Nous lui adressons aussi nos nécessaires remerciements pour les conseils avisés et l'écoute attentive qui ont été d'un apport significatif pour la bonne conduite de cette thèse. Encore merci Professeur pour votre marque de confiance qui a été, à vrai dire, un puissant catalyseur et une source permanente de motivation pour nous.

- M. Mamadou Babacar NDIAYE, Maître de Conférences à l'IUT de l'université de Thiès.
- Mes remerciements et ma profonde gratitude vont à l'endroit de tous les membres du jury qui ont accepté de sacrifier leur temps précieux pour examiner ce mémoire ; il s'agit de :
 - M. Vincent SAMBOU, Maitre de conférences, département génie civil à l'ESP de Dakar
 - M. Soussou SAMBOU, Maitre de conférences à la Faculté des Sciences et Techniques de l'université Cheikh Anta Diop de Dakar
 - M. Mamadou SARR, Professeur Titulaire des Universités UFR SET Université de Thiès.
- Docteur (Dr) Séni TAMBA, Maître de Conférences à l'Ecole Polytechnique de Thiès, notre Directeur de thèse pour nous avoir encadrés, orienté, aidé et conseillé. Nous vous exprimons notre profonde gratitude pour vos qualités pédagogiques et scientifiques, votre franchise, votre sympathie, mais singulièrement votre disponibilité soutenue et tout ce temps si précieux que vous avez bien voulu accorder à notre modeste personne, en dépit de vos charges socioprofessionnelles. Docteur Séni, nous vous disons simplement merci, merci du fond du cœur.
- Docteur Mamadou WADE, Maître de Conférences à l'Ecole Polytechnique de Thiès, pour votre implication dans le projet, vos conseils éclairés, votre encadrement administratif de proximité, mais encore et surtout votre enthousiasme et sympathie. Grand merci et bonne continuation Docteur Mamadou, nos vœux vous accompagnent.

Nos sincères remerciements et nos sentiments de profonde gratitude s'adressent également aux professeurs responsables de l'Ecole Doctorale PHYSIQUE, CHIMIE, SCIENCES DE LA TERRE, DE L'UNIVERS ET DE L'INGENIEUR pour avoir accepté notre inscription dans cette institution, notamment :

- Professeur Bassirou BA, Directeur de l'Ecole Doctorale,
- Professeur Joseph SARR, Doyen de la faculté des sciences et techniques.
- tous les professeurs, intervenants et personnes ressources qui, en dépit de leurs contraintes professionnelles, ont accepté de nous rencontrer et répondre à nos questions tout au long de la conduite de nos recherches pour l'élaboration de la thèse. Merci Mesdames et

Messieurs pour vos avis, vos annotations, vos conseils et critiques qui ont guidé et éclairé nos réflexions.

Nous exprimons toute notre reconnaissance

- aux Ingénieurs et étudiant en master de l'Ecole Polytechnique de Thiès qui ont accepté de travailler sur notre projet de thèse dans le cadre de leurs mémoires de fin d'études, notamment
 - Messieurs Dame KANE, Babacar NIANG, Cheikh DIENG, Abdou Akim DIOP,
 - Mademoiselle Ndeye Ndjira SENE, Master 2 en génie civil à l'Ecole Polytechnique de Thiès.
- à toute la direction de la SOCOIM Industries en particulier Monsieur Youga SOW Directeur Général, Monsieur Pape MBOW directeur des carrières, Monsieur Abdel Kader SOUMANO Ingénieur des carrières qui nous ont facilités l'accès aux données des lacs.
- à tous ceux qui de près ou de loin sont intervenus dans la rédaction de ce mémoire : Monsieur Abdoul Aziz THIAM ingénieur au CEREQ, Monsieur Babacar SOW, Professeur Ibrahima DIAYE, maître de conférences à l'université de Thiès, qui ont accepté d'examiner ce travail. Nous leurs présentons nos remerciements, notre respect et notre gratitude.

Nous ne saurions oublier des personnes qui nous sont chères et pour lesquelles nous éprouvons les meilleures pensées

- à nos très chers parents, « vous qui avez toujours été là pour nous, vous qui avez tout sacrifié pour vos enfants, ne ménageant ni votre santé ni vos efforts ; vous nous avez offert un magnifique modèle de bonne éducation, d'amour du travail bien fait et de persévérance. Nous en sommes fiers et vous en serons éternellement redevable.
- à notre épouse et mes Trois (3) adorables enfants (à qui nous avons involontairement privé d'un temps familial précieux durant ces trois longues années). Vous constituez pour nous une source permanente de compréhension et de motivation sans laquelle la rédaction de la présente thèse n'aurait, sans nul doute, été possible. Nous formulons nos prières et les vœux les plus ardents.
- à nos plus que frères, sœurs et amis que nous apprécions tant et pour qui nous manifestons notre profonde reconnaissance et notre attachement indéfectible pour leur amitié sincère et leur confiance.

Liste des symboles

A_c : Activité

C_e : Coefficient d'écoulement

C_i : coefficient d'infiltration

C.P : coefficient pluviométrique

C_r : coefficient de ruissellement

D : dénivelée spécifique

E : flux de vapeur d'eau dans l'air (évaporé) ;

e_a : Tension de vapeur de l'air à la T° d'une hauteur choisie

e_s : Tension de vapeur saturante de l'eau à T_{surf} ;

F_d : la fréquence de dépassement ;

F_{nd} : fréquence de non dépassement ;

G : Flux de la chaleur du sol

I_g : indice global

I_p : indice de plasticité ;

K_c : indice de compacité de Gravelius

K_r : coefficient de ruissellement

l : largeur

L : Longueur du rectangle équivalent ;

L_e : La lame d'eau écoulée dans le bassin

L_i : lame d'eau infiltrée

L_r : lame d'eau ruisselée

P : périmètre

pH : Potentiel d'Hydrogène est un Indice permettant de mesurer l'activité de l'ion hydrogène dans une solution. C'est un indicateur de l'acidité (pH inférieur à 7) ou de l'alcalinité (pH supérieur à 7) d'une solution.

P_{moy} : pluviométrie moyenne annuelle

R_H : humidité

R_n : Radiation nette

S : superficie du bassin versant ;

S_{lac} : surface du plan d'eau du lac

S_{up} : supérieur

T : période de retour

u : vitesse du vent

V_d : volume généré par les précipitations directes

W_L : limite de liquidité ;

W_p : limite de plasticité ;

σ : Ecart type ;

Δ : Pente de la courbe de la pression de la vapeur

ΔSt : variations de volume du lac au pas de temps mensuel

γ : Constante psychométrique

Liste des abréviations

ANACIM : Agence Nationale de l'Aviation Civile et de la Météorologie

AR: Arbed

BK6 : Broyeur à ciment N°6 de la SOCOCIM

BV : bassin versant

DBRLA : Direction des Bassins de Rétention et des Lacs Artificiels

Dj : Djouth

Ech: échantillon

ELEX : nom d'un tour de conditionnement à la SOCOCIM

Krup : nom d'un tour de conditionnement à la SOCOCIM

ENP: Echantillon non Pris

EPT : Ecole Polytechnique de Thiès

ES : équivalent sable

ETP : Evapotranspiration

FAO : Food and Agriculture Organization : Organisation des Nation Unis pour agriculture

FIT : Front intertropical

Four 4: Fours de cuisson N°4 de la SOCOCIM

Four 5 : Fours de cuisson N°5 de la SOCOCIM

Inf : inférieur

IRD : Institut de Recherche pour le Développement :

KRUP : nom d'un tour de conditionnement à la SOCOCIM

O.R.S.T.O.M : Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer

P : périmètre

RN1 : Route Nationale n°1

RN2 : Route Nationale n°2

SDE : Sénégalaise des eaux

SOCOCIM : cimenterie de Rufisque

SP: Sébi Ponthy

UV : Ultraviolet

Ce travail a été effectué :

A la Faculté des Sciences et Techniques (FST) de l'Université Cheikh Anta DIOP de Dakar (Sénégal).

A l'Ecole Doctorale Physique, Chimie, Sciences de la Terre, de l'Univers et de l'Ingénieur.

Et particulièrement au Laboratoire des Sciences et Techniques de l'Eau et de l'Environnement de l'Ecole Polytechnique de Thiès.

Sous la direction de Monsieur Sény TAMBA, Maitre de conférences à l'Ecole Polytechnique de Thiès.

Résumé

L'objectif de cette thèse est d'estimer l'évolution volumétrique ainsi que la qualité des eaux stockées par les lacs artificiels dans la zone de Diamniadio et Bargny de manière à davantage maîtriser leur utilisation industrielle et agro-pastorale. Cette étude vise particulièrement les lacs de la carrière de SOCOCIM (Arbed, Gruner et Djoudj) ainsi que les deux (2) barrages de Diamniadio (Banthiar et Sebi-Ponty). Ces bassins sont aujourd'hui confrontés à un grand problème d'alimentation consécutif à la sécheresse qui sévit dans le pays ces dernières années.

Alimentés par un bassin versant de **12,6 km²**, les lacs reçoivent directement, sous forme de précipitations, un volume annuel moyen de **1 351 788 m³** ; par ailleurs, ils perdent **302 172 m³** chaque année par évaporation, **7 466 m³** par infiltration et **69 405 m³** par trop plein.

Malgré le problème de remplissage des bassins, **28,04%** des volumes récupérés sont perdus chaque année, dus essentiellement à l'évaporation qui en représente, à elle seule, **80%**.

Même si ces ressources ne constituent pas un problème particulier pour une utilisation industrielle, elles présentent quelques éléments chimiques relatifs à des taux susceptibles de perturber l'utilisation agro-pastorale. C'est singulièrement le cas du bore, du fer, du nitrite, du phosphate et du potassium dont leurs teneurs respectives excèdent la norme préconisée définie par la FAO.

Les résultats collectés dans la présente étude répertorient les eaux des bassins de la zone d'étude dans la classe de la qualité passable, c'est-à-dire suffisante pour l'irrigation, les usages industriels mais dont l'utilisation pour une eau potable requiert un traitement approfondi.

Différentes solutions techniques ont été abordées dans le cadre de cette étude, allant de l'imperméabilisation à l'aménagement de bassins tributaires avec des techniques de maîtrise du phénomène d'évaporation. Par ailleurs, des solutions susceptibles de réduire considérablement les teneurs des matériaux en excès dans les eaux sont aussi proposées, hormis le cas du bore qui n'est pas encore tout à fait maîtrisé par la technologie actuelle.

Abstract

The following university thesis seeks to contribute to the overall process of assessing the gradual changes in volume and quality of water stored in Diamniadio and Bargny artificial lakes in a way to better control their industrial and agro-pastoral use.

The thesis focus is specially laid on SOCOCIM stone-pits lakes (including Arbed, Gruner and Djouth) as well as Banthiar and Sebi Ponty, two (2) mini-water dams in Diamniadio. These basins are now faced with a great shortage in water supply as a result of the prevailing drought in the country since recent years.

Fed by **12.6 km²** watershed, the target lakes directly receive an average annual volume of **1 351 788 m³** from rainfall. Moreover, they generally undergo annual losses respectively due to water evaporation (**302 172 m³**), infiltration (**7 466 m³**) and overflow as well (**69 405 m³**). Despite the challenge of filling up existing basins, no less than 28.04% of reclaimed water volumes are being lost every year, mainly because of evaporation (representing 80% alone).

Even though these water resources do not stand as a major concern for industrial use, they actually contain chemical elements rates likely to disrupt agro-pastoral use. This is particularly the case of boron, iron, nitrite, phosphate and potassium whose respective rates are far beyond recommended standards set by the United Nations Food and Agriculture Organization (FAO).

The thesis results and findings rank the water basins in the study area within the “fair quality” class, that is to say sufficient quality for irrigation and industrial uses, but likely to undergo a thorough treatment to serve as potable drinking water.

A variety of technical solutions have been addressed through the review study, including, among others, waterproofing, and setting up tributary watersheds along with technical processes to master water evaporation challenges. In addition, relevant solutions to significantly reduce excessive material contents in existing sources of water have been formulated, except for boron, which is not yet fully mastered by current technology

Table des matières

Dédicaces.....	I
Remerciements	II
Liste des symboles.....	V
Liste des abréviations	VII
Résumé.....	IX
Abstract	X
Table des matières	XI
Liste des figures.....	XV
Liste des tableaux.....	XVIII
Liste des annexes.....	XXIII
Introduction générale.....	1
1 Présentation Générale	5
1.1 Les ressources hydriques dans le monde :.....	5
1.1.1 Les réserves d’eaux	5
1.1.2 Propriétés de l’eau	5
1.2 Présentation de la zone d’étude	6
1.2.1 Présentation de la ville de Bargny.....	6
1.2.2 Présentation de la ville de Diamniadio :.....	9
1.2.3 Relief et géologie de la zone d’étude.....	12
1.2.4 Le climat de la zone d’étude.....	13
1.2.5 La pluviométrie de la zone d’étude.....	13
1.2.6 Les températures de la zone d’étude.....	14
1.2.7 La végétation de la zone d’étude	14
1.2.8 Délimitation géographique de la zone d’étude.....	14
1.2.9 La zone Banthiar	16
1.2.10 La zone Sébi-Ponty	17
1.3 Conclusion	18
2 Etudes climatologiques de la zone	20
2.1 La pluviométrie.....	21
2.2 Température.....	25
2.3 Insolation.....	27
2.4 Vitesse des vents	28

2.5	Humidité de l'air	29
2.6	Évaporation	30
2.7	Conclusion	31
3	Etudes géologiques, topographiques et délimitation des bassins versants	34
3.1	Contexte géologique et relief du site naturel de Bargny	34
3.1.1	Contexte géographique du site naturel de Bargny.....	34
3.1.2	Contexte géologique et relief du site naturel de Bargny	35
3.1.3	Contexte lithologique du site naturel de Bargny.....	37
3.1.4	Expérimentation géotechnique du site naturel de Bargny	38
3.1.5	Conclusion	49
3.2	Topographie des bassins versants des lacs de SOCOCIM.....	49
3.2.1	Topographie à l'échelle des bassins versants tributaires des lacs	49
3.2.2	Topographie à l'échelle des lacs.....	57
3.2.3	Conclusion	59
3.3	Topographie des bassins versants du barrage de Banthiar.....	59
3.3.1	Topographie à l'échelle des bassins versants tributaires des lacs	60
3.3.2	Topographie à l'échelle du lac.....	64
3.3.3	Conclusion	64
3.4	Topographie des bassins versants du barrage de Sebi-Ponty.....	64
3.4.1	Caractéristiques physiographiques des bassins versants.....	65
3.4.2	Caractéristiques topographiques des bassins versants.....	65
3.4.3	Conclusion :	66
3.5	Récapitulatif de la topographie des bassins versant des lacs	66
3.6	Conclusion	67
4	Bilan hydrologique.....	69
4.1	Les processus hydrologiques.....	69
4.1.1	Rappels sur le cycle de l'eau.....	70
4.1.2	Précipitations directes sur la surface du cours d'eau.....	71
4.1.3	Ecoulement souterrain ou infiltration.....	71
4.1.4	Ecoulement de surface (ruissellement).....	74
4.1.5	Evaporation et évapotranspiration	77
4.2	Bilan hydrologique.....	84
4.2.1	La zone SOCOCIM	85

4.2.2	Calcul des eaux de pluie collectées	85
4.3	Conclusion	89
5	Qualité des eaux des lacs	92
5.1	Matériels utilisés	92
5.2	Méthodologie	93
5.3	Théorie de la caractéristique des eaux.....	94
5.3.1	Propriétés organoleptiques.....	94
5.3.2	Les caractéristiques physico-chimiques	95
5.3.3	Les paramètres à vérifier pour une eau à usage agricole	98
5.4	Présentation des résultats.....	99
5.4.1	La turbidité	99
5.4.2	La couleur	101
5.4.3	La température.....	103
5.4.4	La conductivité	105
5.4.5	pH	107
5.4.6	La dureté.....	110
5.4.7	L'alcalinité.....	112
5.4.8	Le nitrite	114
5.4.9	Le fer	116
5.4.10	Les phosphates	117
5.4.11	Le Bore.....	119
5.4.12	Le chlore	121
5.4.13	Le potassium.....	123
5.5	Récapitulatif des résultats des analyses chimiques	124
5.6	Conclusion	125
6	Gestion optimale des ressources hydriques	128
6.1	Problématiques	128
6.2	Les solutions préconisées pour une bonne gestion des ressources	130
6.2.1	Imperméabilisation des lacs pour lutter contre l'infiltration	130
6.2.2	Aménagement des bassins versants tributaires des lacs	132
6.2.3	Maitrise du phénomène d'évaporation	133
6.2.4	Augmentation du volume de stockage des lacs.....	133
6.2.5	Élimination des algues.....	134

6.2.6	Réalisation de nouveaux lacs artificiels dans la carrière de Bargny	136
6.2.7	Réalisation de bassin de rétention des eaux pluviales dans la zone de Rufisque et environs	137
6.2.8	Drainage des eaux d'inondation vers les lacs.....	138
6.2.9	La lutte contre le gaspillage.....	139
6.2.10	Recyclage et réutilisation des eaux usées de la SOCOCIM.....	140
6.2.11	Amélioration de la qualité de l'eau	140
6.3	Conclusion	141
	Conclusion générale et perspectives.....	143
	Références bibliographiques.....	i
	Annexes	vi

Liste des figures

Figure 1 : Masse volumique de l'eau en fonction de la température entre 0 et 16°C, à pression normale.	6
Figure 2 : Site des lacs de la zone d'étude (Source Google Maps)	15
Figure 3 : Site des lacs de SOCOCIM (Source Google Maps)	16
Figure 4 : Site du barrage banthiar (Source Google Maps)	17
Figure 5 : Site du barrage Sébi-ponty (Source Google Maps)	18
Figure 6 : Courbe de contrôle par la moyenne mobile	23
Figure 7 : Histogramme de l'évolution interannuelle de la pluviométrie de 1985 à 2014 dans la zone de Bargny.....	23
Figure 8 : Histogramme de la pluviométrie moyenne mensuelle de la station de Dakar-Yoff de 1985 à 2014.....	25
Figure 9 : Histogramme de variabilité mensuelle des températures maximales et minimales de 1985 à 2014 dans la zone de Bargny.....	26
Figure 10 : Histogramme de variabilité mensuelle de l'insolation de 1984 à 2014 dans la zone de Bargny.....	27
Figure 11 : Histogramme de la moyenne mensuelle des humidités maximales et minimales (%) à Dakar sur la période 1985 - 2014 (données météorologiques nationales).....	30
Figure 12 : Histogramme de l'évaporation moyenne journalière par mois de la station de Dakar-Yoff de 1985 à 2014	31
Figure 13 : Carte géologique de la Presqu'île du Cap-Vert (source : I. NDIAYE, IST juin 2000)	36
Figure 14 : Echelle stratigraphique du Cap-Vert (source : I. NDIAYE, IST juin 2000)	36
Figure 15 : Schéma stratigraphique de Bargny	37
Figure 16 : Courbe granulométrique de l'échantillon SP N1 Centre	38
Figure 17 : Courbe granulométrique de l'échantillon SP N2 Ouest	39
Figure 18 : Courbe granulométrique de l'échantillon SP N3 Nord 3.5m.....	39
Figure 19 : Courbe granulométrique de l'échantillon SP N4 4m.....	40
Figure 20 : Diagramme de diamètre des grains décroissant.....	40
Figure 21 : Courbe granulométrique de l'échantillon Arbed ECH 1	41
Figure 22 : Courbe granulométrique de l'échantillon ARBED ECH 2	41

Figure 23 : Courbe granulométrique de l'échantillon DJOUDJ ECH 1	42
Figure 24 : Courbe granulométrique de l'échantillon Djoudj ECH 2	43
Figure 25 : Limite de liquidité de l'échantillon SP N1 Centre	44
Figure 26 : Limite de liquidité de l'échantillon SP N3.....	45
Figure 27 : Limite de liquidité de l'échantillon SP N4.....	45
Figure 28 : Limite de liquidité de l'échantillon Arbed Ech 1.....	46
Figure 29 : Limite de liquidité de l'échantillon Arbed Ech 2.....	46
Figure 30 : Limite de liquidité de l'échantillon Djoudj Ech 1.....	47
Figure 31 : Limite de liquidité de l'échantillon Djoudj Ech 2.....	47
Figure 32 : Interface Global Mapper	51
Figure 33 : Schéma des différents bassins versants élémentaires existant dans la carrière de Bargny	51
Figure 34 : Courbe hypsométrique Arbed.....	54
Figure 35 : Courbe hypsométrique lac Djoudj.....	56
Figure 36 : Panorama du lac Arbed	57
Figure 37 : Le lac Djoudj depuis la station de pompage.....	58
Figure 38 : Photo du barrage de Banthiar	59
Figure 39 : Limites du bassin versant de Banthiar.....	60
Figure 40 : Courbe hypsométrique du bassin de Banthiar	62
Figure 41 : Photo du lac de Sébi-Ponty	64
Figure 42 : Limites du bassin versant de Sébi-Ponty.....	65
Figure 43 : Courbe hypsométrique Sébi Ponty.....	66
Figure 44: Processus de redistribution de l'eau précipitée.....	69
Figure 45 : Vue d'ensemble du cycle de l'eau	70
Figure 46 : Deux situations où la nappe peut contribuer au volume du lac.	72
Figure 47: Couleurs du lac Djoudj entre mai et décembre	101
Figure 48 : Couleurs en pt- co du lac Arbed entre mai et décembre	101
Figure 49 : Couleurs en pt- co du lac Sébi-Ponty entre octobre et décembre.....	102

Figure 50 : Températures en °C du lac Djoudj entre février et décembre	103
Figure 51 : Températures en °C du lac Arbed entre février et décembre	104
Figure 52 : Températures en °C du lac Sébi-Ponty entre octobre et décembre	104
Figure 53 : Conductivité en $\mu\text{s}/\text{cm}$ du lac Djoudj entre février et décembre.....	105
Figure 54 : Conductivité en $\mu\text{s}/\text{cm}$ du lac Arbed entre février et décembre	106
Figure 55 : Conductivités en $\mu\text{s}/\text{cm}$ du lac Sébi-Ponty entre octobre et décembre	106
Figure 56 : pH du lac Djoudj entre février et décembre.....	107
Figure 57 : pH du lac Arbed entre février et décembre	108
Figure 58 : pH du lac Sébi-Ponty entre octobre et décembre.....	108
Figure 59 : Dureté en mg/L (CaCO_3) du lac Djoudj entre février et décembre.....	110
Figure 60 : Dureté en mg/L (CaCO_3) du lac Arbed entre février et décembre	111
Figure 61 : Dureté en mg/L (CaCO_3) du lac Sébi-Ponty entre octobre et décembre.....	111
Figure 62 : Alcalinité en mg/l du lac Djoudj entre février et décembre.....	112
Figure 63 : Alcalinité du lac Arbed entre février et décembre	113
Figure 64 : Alcalinité en mg/l du lac Sébi-Ponty entre octobre et décembre	113
Figure 65 : début d'eutrophisation au bord des lacs	119
Figure 66 : Teneur en chlore (mg/l) du lac Djoudj entre novembre et décembre.....	121
Figure 67 : Teneur en chlore (mg/l) du lac Arbed entre novembre et décembre.....	121
Figure 68 : Teneur en chlore (mg/l) du lac Sébi-Ponty entre novembre et décembre	122
Figure 69 : Teneur en potassium (mg/l) du lac Sébi-Ponty entre novembre et décembre	123
Figure 70 : Etat de dégradation du barrage de Rufisque	129
Figure 71: Pose des géo-membranes EPDM Firestone sur un chantier.....	132
Figure 72 : Bassins versant des zones avoisinant la SOCOCIM.....	136

Liste des tableaux

Tableau 1 : Caractéristiques essentielles de l'eau [2]	6
Tableau 2 : Fiche synoptique de la ville de Bargny.....	7
Tableau 3 : Répartition de la population de Bargny.....	8
Tableau 4 : Projection Population de la commune de Bargny entre 2013 et 2015	8
Tableau 5 : Le taux d'occupation de la population de Bargny	8
Tableau 6 : La population urbaine et les branches d'activités	9
Tableau 7 : Fiche synoptique de la ville de Diamniadio	10
Tableau 8 : Répartition de la population de Diamniadio	10
Tableau 9 : Projection de la population de la Commune de Diamniadio entre 2013 et 2015.....	11
Tableau 10: Taux d'occupation de la population de Diamniadio	11
Tableau 11: Les principales branches d'activités	12
Tableau 12 : Moyennes mobiles sur la période 1985-2014	22
Tableau 13 : Caractérisation des pluies mensuelles en mm à Dakar (Données de la météorologie nationale;1985-2014)	24
Tableau 14 : Pluviométrie moyenne mensuelle de la station de Dakar de 1985 à 2014.....	25
Tableau 15 : Moyenne mensuelle des températures maximales (°C) à Dakar sur la période 1985 - 2014 (données météorologiques nationales)	26
Tableau 16 : Moyenne mensuelle des températures minimales (°C) à Dakar sur la période 1985 - 2014 (données météorologiques nationales)	26
Tableau 17 : Récapitulatif moyenne mensuelle des températures maximales et minimales (°C) à Dakar sur la période 1985 - 2014 (données météorologiques nationales).....	26
Tableau 18 : Insolation moyenne journalière par mois (heures/jour) à Dakar sur la période 1985 - 2014 (données météorologiques nationales)	27
Tableau 19 : Vitesse moyenne des vents (m/s) à Dakar sur la période 1985 à 2014 (Données de la météorologie nationale).....	28
Tableau 20 : Moyenne mensuelle des humidités maximales (%) à Dakar sur la période 1985 - 2014 (données météorologiques nationales)	29
Tableau 21 : Moyenne mensuelle des humidités minimales (%) à Dakar sur la période 1985 - 2014 (données météorologiques nationales)	29

Tableau 22 : Tableau récapitulatif moyenne mensuelle des humidités maximales et minimales (%) à Dakar sur la période 1985 - 2014 (données météorologiques nationales).....	29
Tableau 23 : Moyenne journalière par mois de l'évaporation (mm) à Dakar sur la période 1985 - 2014 (données météorologiques nationales)	31
Tableau 24 : Synthèse de l'analyse granulométrique des sols de Sébi-Ponty	40
Tableau 25 : Synthèse de l'analyse granulométrique des sols du site Arbed	42
Tableau 26 : Synthèse de l'analyse granulométrique des sols du site Djoudj	43
Tableau 27 : Limite de liquidité de l'échantillon SP N4	45
Tableau 28 : Limite de liquidité à Arbed	46
Tableau 29 : limite de liquidité Djoudj	47
Tableau 30 : Synthèse des résultats de limite de liquidité.....	48
Tableau 31 : Poids spécifique des sols étudiés.....	48
Tableau 32 : Classification des sols.....	49
Tableau 33 : Superficie des bassins versants	52
Tableau 34 : Périmètres des bassins versants.....	52
Tableau 35 : Indice de compacité de Gravelius des bassins versants	53
Tableau 36 : Classification du relief selon I_g en m/m.....	54
Tableau 37 : % Surfaces obtenues entre les courbes de niveaux à Arbed	54
Tableau 38 : Tableau récapitulatif des caractéristiques topographiques du lac Arbed.....	55
Tableau 39 : % surfaces obtenues entre les courbes de niveaux à Djoudj	56
Tableau 40 : Tableau récapitulatif des caractéristiques topographiques du lac Djoudj.....	56
Tableau 41 : Indice de pente des bassins versants des lacs de la zone SOCOCIM.....	56
Tableau 42 : Caractéristiques spécifiques du lac Arbed.....	57
Tableau 43 : Caractéristiques spécifiques du lac Gruner	57
Tableau 44 : Caractéristiques spécifiques du lac Djoudj.....	58
Tableau 45 : Récapitulatif des lacs de SOCOCIM.....	58
Tableau 46 : caractéristiques des bassins versants tribulaire du lac Banthiar	60
Tableau 47 : Hypsométrie du bassin de Banthiar.....	61

Tableau 48 : Tableau récapitulatif des caractéristiques topographiques du lac Banthiar.....	63
Tableau 49 : Caractéristiques spécifiques du lac Banthiar.....	64
Tableau 50 : caractéristiques des bassins versants tributaires.....	65
Tableau 51 : % surfaces obtenues entre les courbes de niveaux à Sébi Ponty.....	66
Tableau 52 : Tableau récapitulatif des caractéristiques topographiques du lac Sébi-Ponty.....	66
Tableau 53 : Récapitulatif des caractéristiques spécifiques des lacs.....	67
Tableau 54 : Tableau récapitulatif des caractéristiques topographiques des lacs.....	67
Tableau 55: Classification de la perméabilité d'un bassin versant.....	73
Tableau 56 : Classification de la perméabilité des bassins versants de la zone d'étude.....	73
Tableau 57 : Evaporation par la formule Penman-Monteith.....	80
Tableau 58 : Evaporation par la formule Blaney et Criddle.....	81
Tableau 59 : Evaporation par la formule de Romanenko.....	81
Tableau 60 : Récapitulatif des résultats de la méthode empirique.....	82
Tableau 61 : Tableau des évaporations annuelles.....	83
Tableau 62 : Données de base sur la pluie l'évaporation et l'infiltration.....	85
Tableau 63 : Bilans hydrologiques mensuels au niveau du lac Gruner (valeurs m ³).....	86
Tableau 64 : Bilans hydrologiques mensuels au niveau du lac ARBED en année moyenne (valeurs m ³)	86
Tableau 65 : Bilans hydrologiques mensuels au niveau du lac Djoudj (valeurs m ³).....	87
Tableau 66 : Consommation eau injection.....	87
Tableau 67 : Bilans hydrologiques mensuels au niveau du lac Banthiar (valeurs m ³).....	88
Tableau 68 : Bilans hydrologiques mensuels au niveau du lac Sébi-Ponty (valeurs m ³).....	89
Tableau 69 : Récapitulatif du bilan des bassins.....	89
Tableau 70 : Turbidité en fau du lac Djoudj entre février et décembre.....	99
Tableau 71 : Turbidité en fau du lac Arbed entre Février et Décembre.....	100
Tableau 72 : Turbidité en fau du lac Sébi-Ponty entre octobre et décembre.....	100
Tableau 73 : Couleurs en pt- co du lac Djoudj entre mai et décembre.....	101

Tableau 74 : Couleurs en pt- co du lac Arbed entre mai et décembre	101
Tableau 75 : Couleurs en pt- co du lac Sébi-Ponty entre octobre et décembre	102
Tableau 76 : Températures en °C du lac Djoudj entre février et décembre	103
Tableau 77 : Températures en °C du lac Arbed entre février et décembre	103
Tableau 78 : Températures en °C du lac Sébi-Ponty entre octobre et décembre	104
Tableau 79 : Conductivité en $\mu\text{s}/\text{cm}$ du lac Djoudj entre février et décembre.....	105
Tableau 80 : Conductivité du lac Arbed entre février et décembre.....	105
Tableau 81 : Conductivité en $\mu\text{s}/\text{cm}$ du lac Sébi-Ponty entre octobre et décembre	106
Tableau 82 : pH du lac Djoudj entre février et décembre	107
Tableau 83 : pH du lac Arbed entre février et décembre.....	108
Tableau 84 : pH du lac Sébi-Ponty entre octobre et décembre	108
Tableau 85 : Dureté en mg/L (CaCO_3) du lac Djoudj entre février et décembre.....	110
Tableau 86 : Dureté en mg/L (CaCO_3) du lac Arbed entre février et décembre.....	111
Tableau 87 : Dureté en mg/L (CaCO_3) du lac Sébi-Ponty entre octobre et décembre	111
Tableau 88 : alcalinité en mg/l du lac Djoudj entre février et décembre	112
Tableau 89 : Alcalinité en mg/l du lac Arbed entre février et décembre.....	113
Tableau 90 : Alcalinité en mg/l du lac Sébi-Ponty entre octobre et décembre	113
Tableau 91 : Teneur en nitrite (mg/l) du lac Djoudj entre octobre et décembre	114
Tableau 92 : Teneur en nitrite (mg/l) du lac Arbed entre octobre et décembre	114
Tableau 93 : Teneur en nitrite (mg/l) du lac Sébi-Ponty entre octobre et décembre	114
Tableau 94 : Objectifs des nitrites dans les eaux poissonneuses par rapport à la présence de chlore	115
Tableau 95 : Teneur en fer (mg/l) du lac Djoudj entre mai et décembre	116
Tableau 96 : Teneur en fer (mg/l) du lac Arbed entre mai et décembre	116
Tableau 97 : Teneur en fer (mg/l) du lac Sébi-Ponty entre octobre et décembre.....	116
Tableau 98 : Teneur en phosphate (mg/l) du lac Djoudj entre Février et décembre	117
Tableau 99 : Teneur en phosphate (mg/l) du lac Arbed entre février et décembre.....	118

Tableau 100 : Teneur en Phosphate (mg/l) du lac Sébi-Ponty entre octobre et décembre	118
Tableau 101 : Teneur en bore (mg/l) du lac Djoudj entre novembre et décembre.....	119
Tableau 102 : Teneur en bore (mg/l) du lac Arbed entre novembre et décembre	119
Tableau 103 : Teneur en bore (mg/l) du lac Sébi-Ponty entre novembre et décembre.....	120
Tableau 104 : Tableau de classification de la limite de tolérance du bore pour les plantes	120
Tableau 105 : Teneur en chlore (mg/l) du lac Djoudj entre novembre et décembre	121
Tableau 106 : Teneur en chlore (mg/l) du lac Arbed entre novembre et décembre.....	121
Tableau 107 : Teneur en chlore (mg/l) du lac Sébi-Ponty entre novembre et décembre	122
Tableau 108 : Teneur en potassium (mg/l) du lac Sébi-Ponty entre novembre et décembre.....	123
Tableau 109 : Tableau récapitulatif des résultats d'analyse chimique	124
Tableau 110 : Besoins agricoles et pastoraux	128
Tableau 111 : Comparaison des besoins par rapport à la disponibilité	129
Tableau 112 : Volume moyen annuel de sédiments apporté au niveau de chaque BASSIN	134
Tableau 113 : Bilan Hydrologique du barrage de Bargny.....	136
Tableau 114 : Tableau de superficie des bassins versants autour de la SOCOCIM	137
Tableau 115 : Bilan Hydrologique du barrage de Rufisque.....	139
Tableau 116 : classement par degrés de tolérance des plantes au bore [29].....	140
Tableau 117: Résultats Echantillon 1 ARBED	xx
Tableau 118 : Résultats Echantillon 2 ARBED.....	xx
Tableau 119 : Résultats Echantillon 1 DJOUTH	xxi
Tableau 120 : Résultats Echantillon 2 DJOUTH	xxi
Tableau 121 : Résultats Echantillon 1 Sébi-ponty centre.....	xxii
Tableau 122 : Résultats Echantillon 2 Sébi-ponty Ouest.....	xxii
Tableau 123 : Résultats d'analyses granulométrique ARBED ECH 1	xxiii
Tableau 124 : Résultats d'analyse par sédimentologie ARBED ECH 1.....	xxiii
Tableau 125 : Résultats d'analyses granulométrique ARBED ECH 2	xxiv
Tableau 126 : Résultats d'analyse par sédimentologie ARBED ECH 2.....	xxiv

Tableau 127 : Résultats d'analyses granulométrique DJOUTH ECH 1.....	xxv
Tableau 128 : Résultats d'analyse par sédimentologie DJOUTH ECH 1	xxv
Tableau 129 : Résultats d'analyses granulométrique DJOUTH ECH 2.....	xxvi
Tableau 130 : Résultats d'analyse par sédimentologie DJOUTH ECH 2	xxvi
Tableau 131 : Résultats d'analyse granulométrique SP N1 CENTRE	xxvii
Tableau 132 : Résultats d'analyse par sédimentologie SP N1 centre	xxvii
Tableau 133 : Résultats d'analyse granulométrique SP N2 ouest.....	xxviii
Tableau 134 : Résultats d'analyse par sédimentologie SP N2 OUEST.....	xxviii
Tableau 135 : Résultats d'analyse granulométrique SP N3.....	xxix
Tableau 136 : Résultats d'analyse par sédimentologie SP N3.....	xxix
Tableau 137 : Résultats d'analyse granulométrique SP N4 4m.....	xxx
Tableau 138 : Résultats d'analyse par sédimentologie SP N4 4m.....	xxx
Tableau 139 : limites de plasticité ARBED ech 1	xxxi
Tableau 140 : Limite de liquidité ARBED ech 1.....	xxxi
Tableau 141 : limites de plasticité ARBED ech 2	xxxi
Tableau 142 : Limite de liquidité ARBED ech 2.....	xxxi
Tableau 143 : limites de plasticité DJOUTH Ech 1	xxxii
Tableau 144 : Limite de liquidité DJOUTH Ech 1	xxxii
Tableau 145 : limites de plasticité DJOUTH Ech 2	xxxii
Tableau 146 : Limite de liquidité DJOUTH Ech 2	xxxii
Tableau 147 : limites de plasticité SP Ech 1 centre	xxxiii
Tableau 148 : Limite de liquidité SP Ech 1 centre	xxxiii
Tableau 149 : limites de plasticité SP Ech 3 / 3,5m	xxxiii
Tableau 150 : Limite de liquidité SP Ech 3 / 3,5m	xxxiii
Tableau 151 : limites de plasticité SP Ech 4 / 4m	xxxiv
Tableau 152 : Limite de liquidité SP Ech 4 / 4m	xxxiv

Liste des annexes

ANNEXE 1 : Moyenne mensuelle pluviométrique (mm) à Dakar sur la période de 1985 à 2014 (données météorologiques nationale).....	vi
ANNEXE 2: Moyenne mensuelle des températures maximales (°C) à Dakar sur la période de 1985 à 2014 (données météorologiques nationale).....	vii
ANNEXE 3 : Moyenne mensuelle des températures minimales (°C) à Dakar sur la période de 1985 à 2014 (données météorologiques nationale).....	viii
ANNEXE 4 : Insolation moyenne journalière par mois (heures/jour) à Dakar sur la période de 1985 à 2014 (données météorologiques nationale).....	ix
ANNEXE 5 : Vitesse moyenne des vents (m/s) à Dakar sur la période 1984 à 2013 (Données de la météorologie nationale).....	x
ANNEXE 6 : Moyenne mensuelle des humidités maximales (°C) à Dakar sur la période de 1985 à 2014 (données météorologiques nationale).....	xi
ANNEXE 7 : Moyenne mensuelle des humidités minimales (%) à Dakar sur la période de 1985 à 2014 (données météorologiques nationale).....	xii
ANNEXE 8 : Moyenne journalière par mois de l'évaporation (mm) à Dakar sur la période de 1985 à 2014 (données météorologiques nationale).....	xiii
ANNEXE 9 : valeurs des coefficients d'infiltration.....	xiii
ANNEXE 10 : Clé Pour la région Sahélienne.....	xiv
ANNEXE 11 : Tableau de détermination de P_{med}	xv
ANNEXE 12 : DETERMINATION de Le (Barlo).....	xvi
ANNEXE 13 : DETERMINATION de Le (Gargara).....	xvii
ANNEXE 14 : VALEURS COEFFICIENTS DE RUISSELLEMENTS.....	xviii
ANNEXE 15 : abaque pour la détermination de la hauteur spécifique de stockage d'un bassin de rétention.....	xix
ANNEXE 16 : Poids spécifique.....	xx
ANNEXE 17 : Résultats Limites de plasticité et de liquidité.....	xxxi
ANNEXE 18 : Normes d'interprétation d'une analyse d'eau pour la production de plantes annuelles.....	xxxiv
ANNEXE 19 : Normes chimiques d'une eau potable (normes humaines).....	xxxv
ANNEXE 20 : Calcul de la fréquence des thalwegs d'ordre 1.....	xxxv
ANNEXE 21 : Les classes des qualités d'eau.....	xxxviii

Introduction générale

Liquide incolore, inodore et sans saveur à l'état pur, formé par combinaison d'hydrogène et d'oxygène (de formule chimique H_2O), l'eau est l'un des quatre (4) éléments de la physique ancienne.

Moteur de la vie, l'eau constitue une source indispensable pour fixer une population, la base des activités agricoles et la substance la plus consommée par les industries.

L'eau est une « ressource » vitale et couvre près de 71% de la surface du globe ; elle est stockée « et disponible » sous trois (3) « formes » avec respectivement 98% de liquide, 1,999% de glace et 0,001% de vapeur d'eau [1].

L'eau douce ne représente que 0,32% de la quantité totale d'eau stockée dans le monde, dont 0,02% pour les eaux de surface. Les quantités moyennes respectives sont estimées à 230 000 km³ d'eau des lacs, 1 200 km³ de cours d'eau et 14 000 km³ d'eau dans l'atmosphérique [1]. Le phénomène de réchauffement climatique observé ces dernières années tend à perturber le cycle hydrologique, engendrant ainsi des conséquences désastreuses occasionnées par l'eau à la surface de la terre.

Depuis les années 80, le changement climatique a entraîné une prise de conscience internationale suscitant ainsi bien des questionnements et débats sur les causes subjacentes, les conséquences immédiates et impacts à court, moyen et long termes. Par ailleurs, la communauté internationale semble s'accorder sur une constante, à savoir l'accentuation des événements extrêmes sous l'effet de ce changement climatique. Il en ressort qu'une inquiétude grandissante gagne de plus en plus de l'opinion publique internationale face aux menaces de ces changements sur les ressources naturelles en général, et particulièrement les ressources en eau. Les tendances observées à travers les prévisions prouvent que l'éventualité d'un déficit en eau sur une échelle beaucoup plus large n'est pas à écarter.

C'est dans ce contexte que les hydrologues auront donc la lourde tâche d'élaborer et de mettre en œuvre des solutions alternatives afin d'atténuer ce phénomène inquiétant. Il convient de noter que la méthode de mobilisation des eaux de surface la plus usitée est la construction de barrages de retenue au niveau des bas-fonds afin de collecter les eaux de ruissellement en amont et les utiliser durant la saison sèche ; tel est l'exemple des barrages de Sébi-Ponty et Bantiar qui font l'objet de cette étude.

Ces barrages créent une étendue d'eau communément appelée « lacs », lesquels procurent de nombreux avantages économiques, sociaux et même environnementaux. A titre illustratif, les lacs contribuent à reconstituer les nappes d'eau souterraine, améliorer sensiblement la qualité de l'eau des cours d'eau en aval et préserver l'habitat et la biodiversité de la région.

Par ailleurs, les lacs peuvent constituer une source d'eau potable brute pour une municipalité, un point d'approvisionnement en eau pour une industrie et parallèlement une opportunité d'irrigation pour des activités agricoles.

Mentionnons à ce sujet que diverses études portant sur l'étude hydrologique des bassins versants de Sébikotane, Campagne 1962 par l'ORSTOM-actuel IRD d'une part, et d'autre part, le projet de réhabilitation des barrages de Sébi-Ponty, études préliminaires, ENDA 1997 ; et enfin les études hydrologiques des bassins versants de Sébi-Ponty, Banthiar et Bargny.

Il convient de signaler que, suite à l'impact graduel du phénomène du changement climatique ci-dessus évoqué, le remplissage de ces lacs devient de plus en plus difficile. Dès lors, ces lacs constituent aujourd'hui un véritable problème à résoudre vu l'importance qu'ils peuvent apporter à leurs environnements respectifs.

C'est précisément le contexte dans lequel il convient de situer l'élaboration du présent document de thèse dont l'objectif consiste d'abord à asseoir une bonne compréhension de l'évolution volumétrique des lacs, faciliter ensuite une maîtrise qualitative des eaux stockées par ces lacs artificiels (Arbed, Gruner, Djoudj, Banthiar et Sebi-Ponty), et enfin dégager des solutions techniques pour assurer la satisfaction durable des besoins industriels et agropastoraux attendus.

Pour la commodité de la présentation de notre travail de thèse et en vue d'en faciliter une meilleure lisibilité, six (6) axes majeurs de réflexion seront investis et documentés.

Une première partie sera consacrée à la présentation générale du site et du contexte de l'étude.

Les deuxième et troisième parties présentent les études climatologiques, géologiques et topographiques suivies de la délimitation des bassins versants.

La quatrième partie est consacrée à l'estimation quantitative ou bilan hydrologique des ressources en eaux des cinq (5) lacs faisant l'objet de notre étude. Cette estimation a été réalisée sur la période des trente (30) dernières années (1985-2014).

La cinquième partie traite de l'estimation qualitative des eaux prélevées sur les lacs. Les analyses physico-chimiques ont porté sur treize (13) composants et ont été effectuées sur la période allant de février à décembre 2015.

La sixième partie porte sur la valorisation ou la gestion optimale des ressources hydriques en vue d'une utilisation industrielle et agropastorale. Plusieurs techniques de mobilisation des dites ressources et de traitement sont envisagées.

Une synthèse générale des différents résultats obtenus est proposée en conclusion assortie de recommandations et perspectives.

PREMIER CHAPITRE PRESENTATION GENERALE

1 Présentation Générale

1.1 Les ressources hydriques dans le monde :

1.1.1 Les réserves d'eaux

L'eau est le moteur de la vie, l'élément indispensable à fixer en un lieu toute population, la source des activités agricoles, la substance la plus consommée par les industries et l'économie domestique au quotidien. Mais l'eau sait détruire, ravager les littoraux par ses raz-de-marée ou inonder de vastes portions de terrain lors de ses crues. L'homme sait donc qu'il faut également s'en prévenir [1].

La terre compte environ 1,4 milliards de Km^3 d'eau [1]. Cette eau est stockée et disponible sous différentes formes dans la planète, notamment en :

- ☞ liquide ; dans les mers, fleuves, lacs et réserves sous terrain elle représente 98% des réserve mondiales;
- ☞ glace ; dans les zones polaires, elle représente environ 1,999% des réserve mondiales;
- ☞ vapeur ; dans l'atmosphère, elle représente environ 0,001% des réserves mondiales;

L'océan mondial qui s'étend sur 361 millions de km^2 , stocke, à lui seul, 97,5% des réserves mondiales, soit un volume de 1,32 à 1,38 milliard de km^3 . Après les océans, les glaciers occupent le plus grand stock d'eau avec environ trente (30) millions de km^3 [1].

Les eaux souterraines occupent 0,3% de la réserve avec quatre (4) millions de km^3 , suivies respectivement des lacs avec 0,02% ($230\,000\ \text{km}^3$), des cours d'eaux avec $1\,200\ \text{km}^3$ et enfin de l'atmosphère sous forme gazeuse avec $13\,000$ à $14\,000\ \text{km}^3$ [1].

1.1.2 Propriétés de l'eau

L'eau est un liquide incolore (à de faible épaisseur), bleue verdâtre (à partir d'une certaine épaisseur) et également inodore. Elle est composée d'un assemblage de molécule H_2O avec deux (2) molécules d'hydrogène et une (1) molécule d'oxygène. La découverte de cette composition chimique de l'eau peut être attribuée aux deux (2) savants Antoine Laurent de Lavoisier (1743-1794) et Pierre Simon Laplace (1749-1827) en date du 24 juin 1783.

Les propriétés de l'eau sont beaucoup plus déterminées par sa mobilité, son aptitude à s'écouler, à s'étaler dans l'espace et remplir aisément les récipients, et enfin sa fluidité.

Parmi ces propriétés de l'eau, la masse volumique est de 1000 kg/m^3 à la température de $3,984$ degrés Celsius. Cette valeur de masse volumique est le maximum que l'eau peut avoir à la pression atmosphérique [2]. (Voir courbe de la masse volumique en fonction de la température en figure1)

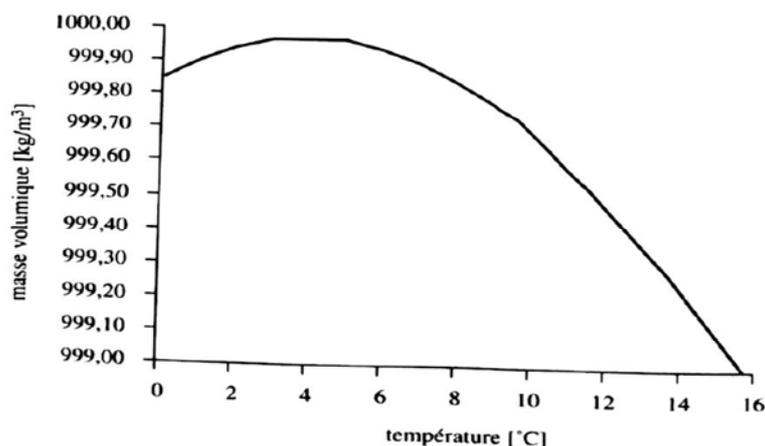


Figure 1 : Masse volumique de l'eau en fonction de la température entre 0 et 16°C, à pression normale.

L'eau possède une très grande chaleur spécifique ; c'est à cet effet qu'il est nécessaire de lui adjoindre une très grande chaleur afin d'augmenter sa température et ainsi faciliter son évaporation. (Voir tableau 1 ci-dessous).

Tableau 1 : Caractéristiques essentielles de l'eau [2]

Paramètres	Valeur numérique
Masse molaire	18,0153 g/mole
Volume molaire	18,0182 cm^3
Masse volumique solide	917 kg/m^3
Masse volumique liquide	998 kg/m^3
Température de fusion	0 °C
Température d'ébullition	100 °C
Chaleur latente de fusion	3,3 10^5 J/kg
Chaleur latente de vaporisation	23 10^5 J/kg
Chaleur massique solide (à 0 °C)	2,06 10^3 J/kg/K
Chaleur massique liquide	4,18 10^3 J/kg/K
Indice de réfraction à 20 °C	1,33

1.2 Présentation de la zone d'étude

Les zones d'études se trouvent dans le département de Rufisque et particulièrement dans les communes de Bargny et Diamniadio.

1.2.1 Présentation de la ville de Bargny

Bargny est une ville située à trente (30) km de Dakar. Elle a été créée en 1589 par une population qui serait venus du Djolof (province intérieure du Sénégal), sous la conduite de

Ndiam Labou Guèye dit le Grand. A l'origine, il s'agissait d'un regroupement de hameaux dont Mboth, Sepp, Wassaway, Tonghor, Minam, Marnane et Lendeng.

Grâce à sa position géographique (située sur la côte occidentale du Sénégal), la ville a connu très tôt le contact du colonisateur. Douze commerçants européens étaient déjà installés à Bargny en 1862 et ont impulsé l'économie de la ville.

La ville de Bargny a été rattachée à la commune mixte de Thiès par l'arrêté N° 18-80 du 1er janvier 1933, jusqu'en 1936, date de son affiliation à Rufisque. Elle jouait un rôle très important dans le désenclavement des villages lébous environnants (Sindou, Yène, etc.). Son intégration effective dans la traite arachidière, a été facilitée par le wharf de Rufisque.

Bargny est devenue maintenant une commune autonome depuis 1990 par le décret N° 90-1134 du 08 Octobre 1990. Ce nouveau statut de commune, lui offre de réelles perspectives de développement surtout dans le contexte actuel de la décentralisation où un accent particulier est mis sur la valorisation des ressources locales.

1.2.1.1 Fiche synoptique de la ville de Bargny

Le tableau 2 donne la fiche synoptique de la ville de Bargny

Tableau 2 : Fiche synoptique de la ville de Bargny

Nom de la Commune	BARGNY
Localisation	Région de Dakar
Fonction Administrative	Commune
Population et taux de croissance annuelle	51188 habitants en 2013
Surface communale urbanisée	450 ha
Quartiers les mieux équipés :	Zone 2 (Ndaldaly), Zone 4 (Mboth), Zone 8 (Ndiolmane)

1.2.1.2 Démographie de la commune

La répartition de la population en fonction de la taille montre que les quartiers de Ndaldaly, Ndiolmane, Mboth, Gouye Daga, Minam et Kip Carrière ont une plus grande concentration d'habitants avec une population supérieure à 2 500 d'individus. Le quartier de Missirah est le moins peuplé avec seulement 540 habitants en 1999. Le tableau 3 donne la répartition de la population.

Tableau 3 : Répartition de la population de Bargny

Zones	Quartiers	Superficie (ha)	Population	Densité
Zone 1	Bargny Guedj	32	2789	87
Zone 2	Ndaldaly	67	8934	133
Zone 3	Missirah	13	540	42
Zone 4	Mboth	45	6387	142
Zone 5	Marnane	10	1001	104
Zone 6	Ndiayène	64	1167	18
Zone 7	Santhiou Nguedj	38	1041	27
Zone 8	Ndiolmane	13	4806	375
Zone 9	Gouye Daga	5	2811	586
Zone 10	Kip Carrière	112	2506	22
Zone 11	Sindou	22	1188	54
Zone 12	Minam	16	3414	214

1.2.1.3 Évolution de la population et projections

Les statistiques de la Direction de la Prévision et de la Statistique (DPS) ont montré l'évolution de la population de Bargny des années 2013 à 2018 (cf. tableau 4).

Tableau 4 : Projection Population de la commune de Bargny entre 2013 et 2015

Indications	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Population	51 188	52 759	54 345	55955	57586	59234
Population additionnelle	-	1 571	1 586	1 610	1 631	1 648

Source : ANSD/MEFP- Juillet 2015

1.2.1.4 La population active

La répartition de la population de Bargny montre que le taux d'occupation est très faible (voir tableau 5): 27% pour l'ensemble de la population active (dont 37% chez les hommes et 17,6% chez les femmes). Le taux de chômage est estimé à 15,2%. Les jeunes, de classe d'âge des moins de 30 ans (73% de la population totale) totalisent le taux de chômage le plus significatif.

Tableau 5 : Le taux d'occupation de la population de Bargny

Statut d'occupation	Pourcentage
Occupés	27
Chômeurs	15,2
Etudiants/élèves	20,5
Femmes au foyer	31,3
Retraités/rentiers	2,4
Autres inactifs	3,5
TOTAL	100

Source : DPS et enquêtes sur le terrain 2003

Le tableau 6 montre la ventilation des emplois urbains selon les branches d'activité et se résume comme suit :

- ☞ le commerce étant le secteur le plus important avec 32,5%, est composé d'un commerce de détail et de petites boutiques répartis dans tous les quartiers de la ville.

Si nous nous intéressons sur la répartition par sexe dans cette branche, nous allons voir il est largement dominé par les femmes (61,2% de la population active féminine travaille dans le commerce contre 8,1% chez les hommes).

- ☞ le secteur public (administration, enseignement, santé etc.) représente 26,9% de la population active totale. Sa répartition par sexe donne également une dominance des femmes (35,3%) par rapport aux hommes (20,6%) dans ce secteur.
- ☞ les secteurs du transport (8,7%), de la mécanique (6,8%) et de la construction (4,9%) suivent respectivement par ordre d'importance
- ☞ Le secteur agricole occupe seulement 4,8%.

Tableau 6 : La population urbaine et les branches d'activités

Branches d'activités	Pourcentage
Commerce	32,5
Services publics	26,9
Transport	8,7
Mécanique	6,8
Construction	4,9
Agriculture	4,8
Bois	4,4
Industries extractives	3,9
Textile	3,2
Travaux publics	2,2
Chimie	1,9
TOTAL	100

Source : DPS et enquêtes sur le terrain 2003

1.2.2 Présentation de la ville de Diamniadio :

Erigée en Commune en février 2002 par décret présidentiel n° 2002-17, Diamniadio est distante de trente-cinq (35) kilomètres de Dakar et est placée sous la supervision administrative du département de Rufisque.

Diamniadio était un village de l'ex-communauté rurale de Sébikotane. Son nouveau statut de commune lui offre de réelles perspectives de développement dans le contexte actuel de la décentralisation. Un contexte dans lequel, un accent particulier est mis sur la valorisation des potentialités locales.

Sa position de carrefour, située à l'intersection de la route nationale RN 1 et de la RN 2, la Commune de Diamniadio est un véritable nœud de communication, il bénéficie de beaucoup d'atouts pour assurer son développement local, à savoir :

- la proximité d'un grand marché de consommation de plus de deux (2) millions d'habitants, constitués par les régions de Dakar et de Thiès ;

- un réseau hydrographique important qui lui permet de développer son agriculture (cas du barrage de Sébi-Ponty qui fait l'objet de cette étude)
- et, last but not least, la commune de Diamniadio doit abriter aujourd'hui la nouvelle ville du plan PSE de l'état du Sénégal.

Il s'y ajoute également que la configuration spatiale et la position stratégique de la Commune de Diamniadio lui offre une multitude d'opportunités relationnelles.

1.2.2.1 Fiche synoptique de la ville de Diamniadio :

Le tableau 7 donne la fiche synoptique de la ville de Diamniadio

Tableau 7 : Fiche synoptique de la ville de Diamniadio

Nom de la Commune	DIAMNIADIO
Localisation	Région de Dakar
Fonction administrative	Commune
Population et taux de croissance annuelle	23 547 habitants en 2013
Surface communale urbanisée	71 ha
Quartiers les mieux équipés :	Zone 1 (Diamniadio Sud) Zone 2 (Diamniadio Nord) Zone 3 (Sébi Ponty)

1.2.2.2 Démographie de la commune

A l'instar de la ville de Bargny, la répartition de la population de la commune de Diamniadio selon la taille montre que les quartiers Diamniadio Sud, Sébi Ponty, Dougar 1 et Diamniadio nord concentrent le plus d'habitants avec une population supérieure à 1300 âmes. Le quartier de Mbounka Bambara est le plus faiblement peuplé avec seulement 134 habitants en 1999. Le tableau 8 donne la répartition de la population.

Tableau 8 : Répartition de la population de Diamniadio

Zones	Quartiers	Superficie (ha)	Population	Densité
Zone 1	Diamniadio Sud	13	1898	146
Zone 2	Diamniadio Nord	9	1616	180
Zone 3	Sébi Ponty	15	1355	90
Zone 4	Dougar 1, Dougar 2 et Dougar	12	2446	204
Zone 5	Den Malick Guéye Déni Demba Codou Déni Babacar Diop	8	1400	175
Zone 6	Ndoyéne Deni Youssou	9	1048	116
Zone 7	Ndoukhoura, Peulh,	4	1135	284

Source : DPS et enquêtes sur le terrain 2003

1.2.2.3 Évolution de la population et projections

Au Sénégal, seuls quatre (4) grands recensements nationaux de la population ont été effectués par la Direction de la Prévision et de la Statistique (DPS), notamment en 1976, 1988, 2002 et 2013. Les autres données de population existantes sont des recensements administratifs ou les résultats de sondage ponctuels.

L'estimation effectuée à partir des projections avec le taux moyen d'accroissement de la population entre 2002 – 2013 (2,7%) donne une population de 13 508 715 habitants pour 2013 [3]. Toutefois, les résultats du recensement de l'année 2013 révèlent un effectif de 23547 habitants pour la Commune de Diamniadio.

Il apparaît ainsi que l'augmentation de la population était plus importante dans la première période. Il convient toutefois de signaler que la réalisation du projet de ville pourrait entraîner une croissance rapide de la population durant les prochaines années. C'est ainsi que, selon les prévisions de l'ANSD sur son rapport de juillet 2015, la population devrait avoisiner 27 248 habitants en 2018 (cf. tableau 9).

Tableau 9 : Projection de la population de la Commune de Diamniadio entre 2013 et 2015

Indications	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Population	23 547	24 270	24 999	25 740	26 490	27 248
Population additionnelle	-	723	729	741	750	758

Source : ANSD/MEFP- Juillet 2015

1.2.2.4 La population active

L'étude de la répartition de la population de la Commune de Diamniadio montre que le taux d'occupation est très faible (cf. tableau 10). Il est de 37% pour l'ensemble de la population active. Cette situation est due au chômage des jeunes de moins de 30 ans, mais aussi à la non prise en compte d'un grand nombre de femmes insérées dans les secteurs de l'agriculture et du commerce qui sont souvent déclarées comme femmes au foyer.

Tableau 10: Taux d'occupation de la population de Diamniadio

Statut d'occupation	Pourcentage
Occupés	37
Chômeurs	26
Etudiants/élèves	15
Femmes au foyer	13
Retraités/rentiers	6
Autres inactifs	3

Source : DPS et enquêtes sur le terrain 2003

Le tableau 11 portant sur la ventilation de l'emploi selon les branches d'activités donne les renseignements suivants :

- ☞ l'agriculture est l'occupation principale et polarise 44% de la population active ;
- ☞ l'artisanat (à savoir la menuiserie, la mécanique, la construction, etc.) se classe en deuxième position avec 26% des actifs ;
- ☞ le commerce suit en troisième position avec 16% des actifs ;
- ☞ l'élevage vient en quatrième position et occupe 7% de la population active ;
- ☞ le secteur public (administration, enseignement, santé, etc.) en dernière position représente 6%.

Tableau 11: Les principales branches d'activités

Branches d'activités	Pourcentage
Agriculture	44
Artisanat	26
Commerce	16
Elevage	7
Services publics	6
Autres	2

Source : DPS et enquêtes sur le terrain 2003

1.2.2.5 Les Groupements de Promotion Féminine (GPF)

La Commune de Diamniadio compte une vingtaine de Groupement de promotion féminine dont onze (11) officiellement déclarés. Ils constituent les organisations les plus dynamiques surtout dans le secteur informel. Les membres sont essentiellement dans le commerce des fruits et légumes et parfois même à l'arboriculture.

1.2.3 Relief et géologie de la zone d'étude

Les communes de Diamniadio et Bargny sont localisées sur un site de plateau faiblement ondulé, et comptant parmi les cinq (5) régions délimitées par TRENOUX (1963) sur la carte géologique de la presqu'île du Cap-Vert que sont :

- l'espace dakarois, à l'ouest d'une ligne Yoff-Hann ;
- la zone sableuse des Niayes à l'Est d'une ligne Yoff-Hann-Mbao et Sangalkam-Kayar ;
- la région de Rufisque ;
- le massif de Ndiass (qui correspond à un horst de terrains crétacés) ;
- la falaise de Thiès.

Le relief est relativement plat et varie entre 25 m au nord jusqu'à 74 m au sud. Dans les de convergence des eaux de ruissellement apparaissent des sols hydromorphes. Les sols de la zone sont de type sablo-argileux (deck-dior).

La nappe phréatique y est très proche et se situe entre 7 et 30 mètres. Elle se renferme dans les sables et argiles avec une présence de calcaires paléocènes du bassin sédimentaire. Cette composition d'argiles et de calcaires rend les sols imperméables, ce qui favorise un ruissellement intense des eaux de pluies.

1.2.4 Le climat de la zone d'étude

Le climat de la zone d'étude est caractéristique du climat tropical. Il est marqué par l'alternance de deux saisons à savoir : une saison sèche qui dure de neuf (9) mois, et une saison des pluies qui ne fait que trois (3) mois.

La saison sèche (Octobre à Juin) est marquée par des vents chauds et secs appelés l'harmattan. Mais l'influence de l'Océan Atlantique sur la zone fait modérées les températures. C'est une période qui enregistre de faibles amplitudes thermiques. La structure verticale de l'alizé maritime ne facilite pas le développement de formations nuageuses, ce qui nécessairement influe sur les précipitations. Cependant, le dépôt de la rosée la nuit contribue à l'humidité de la région pendant toute cette période.

L'hivernage dure trois (3) mois (juillet à septembre), période durant laquelle les vents de la mousson et de l'alizé provenant de Sainte-Hélène pénètrent le pays chargé d'humidité. Cette période est marquée par une faible amplitude thermique assortie, cependant, de températures généralement plus élevées que celles de l'alizé maritime.

Compte tenu des précipitations et de l'importance de l'agriculture sous-pluie dans la commune, l'hivernage reste une période particulièrement attendue par les populations, à dominante paysanne.

1.2.5 La pluviométrie de la zone d'étude

Le potentiel hydrique de la zone est similaire à celui du pays fortement réduit ces dernières décennies. La pluviométrie moyenne annuelle entre 1985 et 2014 est de 401,30 mm, avec une forte variation au cours des dix (10) dernières années. Le nombre de jours de précipitation par an est très faible avec une moyenne de 25 jours.

Suite aux sécheresses cycliques, la pluviométrie s'est fortement réduite et a une grande incidence à la fois sur le couvert végétal et la recharge de la nappe phréatique. Elle se traduit par une dégradation de la végétation et une réduction des productions agricoles.

1.2.6 Les températures de la zone d'étude

Le régime thermique dans la zone est caractérisé par la présence de deux (2) saisons. La saison froide (de décembre à mars) est caractérisée par la faiblesse des températures avec une moyenne de 21°C. Et la saison chaude d'avril à Novembre avec une température moyenne de 28°C.

L'amplitude thermique moyenne annuelle (à savoir la différence entre la température maximale et la température plus faible), est un peu au-dessus de 15°C.

1.2.7 La végétation de la zone d'étude

La végétation est caractérisée par une savane arborée et arbustive dont la composition floristique est dominée par les espèces *Andansonia digitata* et *Euphorbia sp.* Cette végétation est aujourd'hui très peu diversifiée et dégradée en raison des effets conjugués du recul de la pluviométrie, des agressions anthropiques et parallèlement des activités d'extraction du calcaire.

L'existence de sols à forte rétention hydrique favorise le développement du cours d'eau et rend possible l'exploitation de périmètres maraîchers de contre-saison. Toutefois, ces espaces boisés sont progressivement gagnés par l'urbanisation galopante.

La Commune ne dispose pas d'aménagements environnementaux comme les espaces verts. Les plantations d'ornements tel que *Adzarichta indica* et *Khaya senegalensis* ne sont réalisées que le long de certains axes structurants de la ville, notamment le long des routes nationales.

1.2.8 Délimitation géographique de la zone d'étude

Le domaine de la zone d'étude regroupe les secteurs SOCOCIM (constitué de trois (3) lacs) et Diamniadio (Banthiar et Sébi-Ponty). La figure 2 ci-dessous délimite ce domaine.



Figure 2 : Site des lacs de la zone d'étude (Source Google Maps)

1.2.8.1 La zone SOCOCIM

Les bassins de rétention qui seront étudiés dans cette partie se trouvent dans les carrières d'exploitation de la SOCOCIM. La zone est comprise entre les 17° 14 de longitude Ouest et 14° 42 et 14° 43 de latitude Nord.

Ces bassins ont été spécialement créés par la SOCOCIM afin de pouvoir contenir les eaux de pluie pouvant gêner l'exploitation de la carrière pendant la saison des pluies. Cette eau est également utilisée pour l'exploitation industrielle, vu les besoins énormes en eau de ladite société, soit environ cinq cent mille (500 000) m³ par an.

L'image ci-dessous donne un aperçu sur la position de la zone SOCOCIM



Figure 3 : Site des lacs de SOCOCIM (Source Google Maps)

1.2.9 La zone Banthiar

Le bassin se situe tout juste derrière la zone industrielle. Il est précisément confiné entre cette dite zone et les nouvelles cités de la ville émergente de Diamniadio. Le barrage en question se trouve à presque 750 m du côté droit de la voie reliant la route nationale (RN1) à l'autoroute à péage. La zone en question est comprise entre les 17° 11 de longitude Ouest et 14° 43 de latitude Nord.

Le barrage de Banthiar a été construit en 1989 par les populations avec l'aide de l'ONG OXFAM afin de contribuer à l'accroissement des ressources en eau de manière à permettre aux populations locales de renforcer les activités agricoles et d'augmenter la production maraîchère. Les localités concernées par ce projet risquent de se confronter à des difficultés d'approvisionnement en eau, vu que ce barrage est aujourd'hui un ouvrage à moitié enseveli par les promoteurs immobilier.

L'image ci-dessous donne un aperçu sur la position de la zone Banthiar.



Figure 4 : Site du barrage banthiar (Source Google Maps)

1.2.10 La zone Sébi-Ponty

Le bassin se trouve entre la zone industrielle de Diamniadio et le village Déni Mali Gueye. La zone en question (Sébi-Ponty) est comprise entre les 17° 11 de longitude Ouest et 14° 43 de latitude Nord.

Le barrage de Sébi-Ponty a été construit en 1937 en vue de faciliter l’approvisionnement en eau potable et l’arrosage des jardins potagers de l’ex-Ecole William Ponty. L’ouvrage avait cédé en 1952 et a été réparé par le Ministère de la Justice pour l’exploitation d’un périmètre de 20 ha, dans le cadre de la politique de réinsertion sociale de jeunes délinquants.

L’image ci-dessous donne un aperçu sur la position de la zone Sébi - Ponty.



Figure 5 : Site du barrage Sébi-ponty (Source Google Maps)

1.3 Conclusion

Les villes de Diamniadio et Bargny sont de vieux villages caractérisés par une population très active dans la vie économique où l'élevage et l'agriculture occupent une place prépondérante avec 51% de la population active de Diamniadio. Par ailleurs, il convient de signaler que l'agriculture a toujours été l'activité principale dans cette ville de Diamniadio où elle occupe 44% contre 7% pour l'élevage, ce qui explique l'importance primordiale que jouent ces barrages de Sebi-Ponty et Banthiar dans l'activité économique de la zone.

Quant à la ville de Bargny, le commerce y est l'activité principale et polarise 32,5% de la population active suivi du secteur public avec 26,9%.

Sous un autre rapport, il importe de noter que la présence de la SOCOCIM Industries constitue, à n'en pas douter, un facteur très déterminant sur l'activité économique de la ville de Bargny. Plus important encore, la survie de cette entreprise dépendra, en grande partie, de sa capacité à créer les conditions d'une autonomie soutenue pour couvrir ses besoins en eau, et par ricochet, maintenir sa dynamique de productivité, car, la SOCOCIM s'affranchit graduellement du réseau de la SDE qui peine à la satisfaire.

DEUXIEME CHAPITRE ETUDES CLIMATOLOGIQUES

2 Etudes climatologiques de la zone

Cette partie est consacrée à la présentation des études climatologiques conduites sur la période 1985-2014, et portant notamment sur la pluviométrie, le régime des vents, la température, l'hygrométrie et l'évaporation.

Le climat correspond à la distribution statistique des conditions atmosphériques dans une région déterminée selon une période donnée. La climatologie de la zone intertropicale est caractérisée par une dynamique complexe liée à des transferts énergétiques qui sont essentiellement contrôlés par les centres d'action de Sainte Hélène (Atlantique Sud), des Açores (Atlantique Nord) et celui de la zone saharo-libyenne (Nord-Est africain). Les deux (2) centres d'action de Sainte Hélène et des Açores aboutissent à la convergence de deux (2) masses d'air que sont l'harmattan (alizé continental et sec) au nord et la mousson (alizé maritime humide) au sud dont l'épaisseur maximum est d'environ 3000m.

Le contact au sol de la mousson et de l'alizé continental constitue le front intertropical (FIT) qui est très fluctuant tout au long de l'année. Sa surface frontale est très inclinée vers le sud de sorte qu'elle évolue sous l'harmattan. Le FIT se déplace entre les 20ème et 4ème parallèles nord qu'il atteint respectivement en juillet et en janvier. Dans la frange sahélienne, les différentes positions du FIT sont à l'origine des saisons sèches et humides.

Au Sénégal, le climat est de type tropical subdésertique ponctué par des étés humides et des hivers secs. Par contre, la position avancée de la région de Dakar dans l'atlantique lui confère un microclimat de type côtier fortement influencé par les alizés maritimes et la mousson qui sévissent respectivement de novembre à juin et de juillet à octobre suivant des directions N-NW et S-SE.

La caractérisation du climat est effectuée à l'aide de statistiques annuelles, saisonnières et mensuelles établies à partir de mesures atmosphériques locales. Par ailleurs, la période de référence doit être suffisamment longue en vue d'une bonne prise en compte la variabilité interannuelle mise en exergue par divers paramètres météorologiques parmi lesquels les précipitations et la température. La période de référence communément choisie pour cette étude s'étale sur trente (30) années, de 1985 à 2014.

L'objectif visé à travers cette présente partie est de contribuer à établir des courbes d'évolution annuelle des différents paramètres climatiques (pluviométrie, température, insolation, vitesse du vent, humidité de l'air, évaporation) de notre zone d'études au cours des

trente (30) dernières années. Le résultat attendu, à terme, est la disponibilité des valeurs directement utilisables pour le calcul des apports et des pertes par évaporation.

2.1 La pluviométrie

La pluie est une des variables climatiques dont la prise en compte est fondamentale dans le contexte de toute étude traitant de la gestion de ressource en eau. A l'échelle du bassin versant, cette variable est logiquement considérée comme l'élément hydrologique clé à l'origine de la réponse du bassin en terme de débit.

Les précipitations de la saison des pluies sont générées par la mousson (provenant de l'alizé issu de l'anticyclone de Sainte Hélène) qui se charge d'humidité et atteint le Sénégal selon le sens Nord-Est dès le mois d'avril. La durée, l'intensité et la répartition saisonnière des pluies en un endroit donné varient considérablement d'une année à l'autre, en particulier dans les régions où les pluies sont les moins abondantes. Du sud au nord, la durée moyenne de la saison des pluies est respectivement de cinq (5) à trois (3) mois, induisant un gradient latitudinal auquel se surimpose un gradient Est-Ouest avec des pluies qui sont plus abondantes sur la côte qu'à l'intérieur.

A l'instar de l'ensemble des pays de la zone intertropicale, la pluviométrie est l'élément climatique le plus important compte-tenu de sa très grande variabilité spatio-temporelle, singulièrement dans les régions arides et semi-arides, du fait que l'eau y constitue le facteur limitant de premier ordre. Ainsi, il va de soi qu'une bonne connaissance de la distribution pluviométrique, à la fois dans le temps et dans l'espace, constitue un paramètre indispensable pour assurer un suivi effectif de l'évolution interannuelle des pluies.

Les données pluviométriques ont été recueillies à la station de Dakar-Yoff, notre zone d'étude ne disposant pas d'une station dédiée. Le processus de traitement de ces données a consisté à procéder à l'analyse de l'évolution quantitative de la pluie sur une période charnière de trente (30) ans (1985 à 2014).

2.1.1.1 Contrôles des données pluviométriques

Pour les échantillons recueillis sur la même période, un contrôle qualitatif basé sur le calcul de la moyenne mobile sera effectué de manière à amortir les variations brusques, éliminer les

valeurs extrêmes, lamener l'ensemble des valeurs afin de mettre en évidence les tendances longues ou des périodes et, enfin, déceler certaines anomalies.

La moyenne mobile est calculée à partir des pluviométries en utilisant la formule suivante :

$$M_i = \frac{1}{2n+1} (P_{i-n} + P_{i-n+1} + \dots + P_{i+n-1} + P_{i+n})$$

Soit la moyenne des (2n+1) valeurs entourant l'année « i ».

Généralement on prend n = 2 et fait la moyenne sur cinq (5) valeurs.

Le calcul des moyennes mobiles est consigné dans le tableau 12

Tableau 12 : Moyennes mobiles sur la période 1985-2014

Années/mois	Pluviométrie annuelle (mm)	Moyenne mobile (mm)
1985	507,1	
1986	389,8	
1987	443	478,76
1988	458,5	431,12
1989	595,4	408,02
1990	268,9	357,68
1991	274,3	331,16
1992	191,3	262,14
1993	325,9	299,7
1994	250,3	335,84
1995	456,7	337,94
1996	455	341,06
1997	201,8	388,24
1998	341,5	390,04
1999	486,2	355,48
2000	465,7	380,02
2001	282,2	394,74
2002	324,5	343,14
2003	415,1	382,68
2004	228,2	410,46
2005	663,4	398,78
2006	421,1	418,06
2007	266,1	483,48
2008	511,5	466,1
2009	555,3	443,3
2010	576,5	519,76
2011	307,1	530,84
2012	648,4	452,04
2013	566,9	
2014	161,3	
Moyenne	401,3	

La figure 6 ci-dessous représente la pluviométrie annuelle, la moyenne mobile et le module pluviométrique moyen en vue de tester la fiabilité des données recueillies à la station météo de Dakar-Yoff.

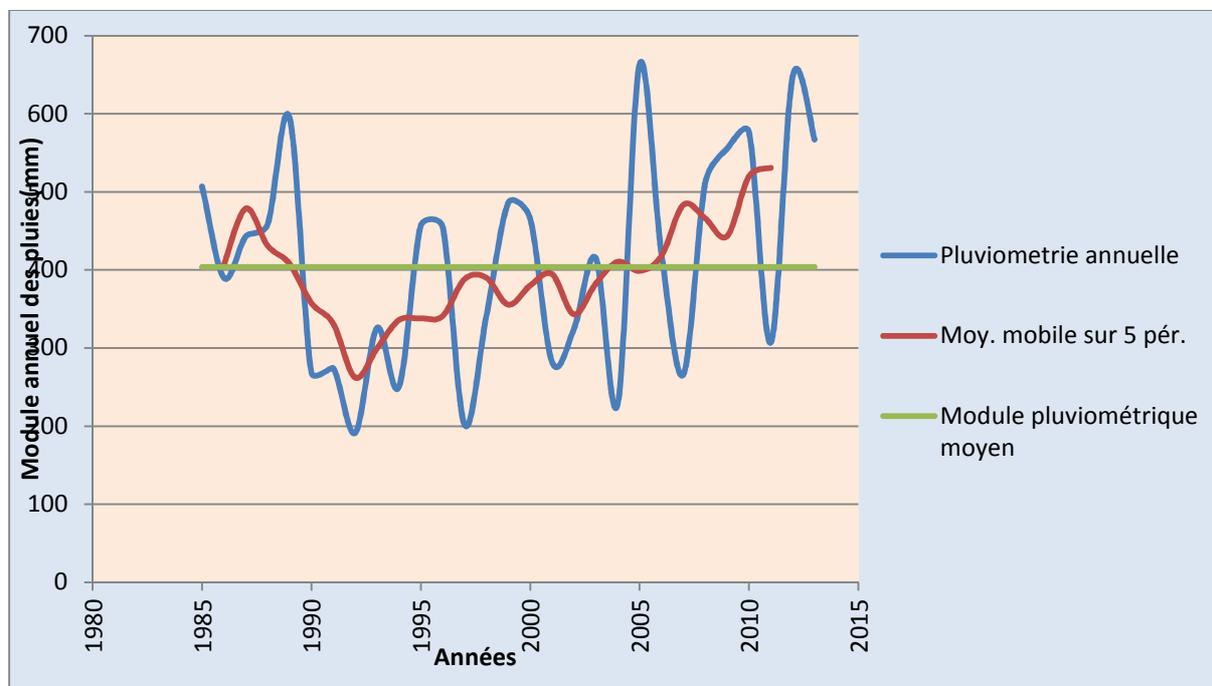


Figure 6 : Courbe de contrôle par la moyenne mobile

L'évolution de la courbe de la moyenne mobile (Tableau12, Figure 6) montre que les données recueillies à la station météo de Dakar-Yoff sont fiables.

2.1.1.2 Evolution interannuelle de la pluviométrie de 1985 à 2014 dans la zone de Bargny

L'histogramme (figure7) présenté ci-dessous porte sur l'évolution interannuelle de la pluviométrie.

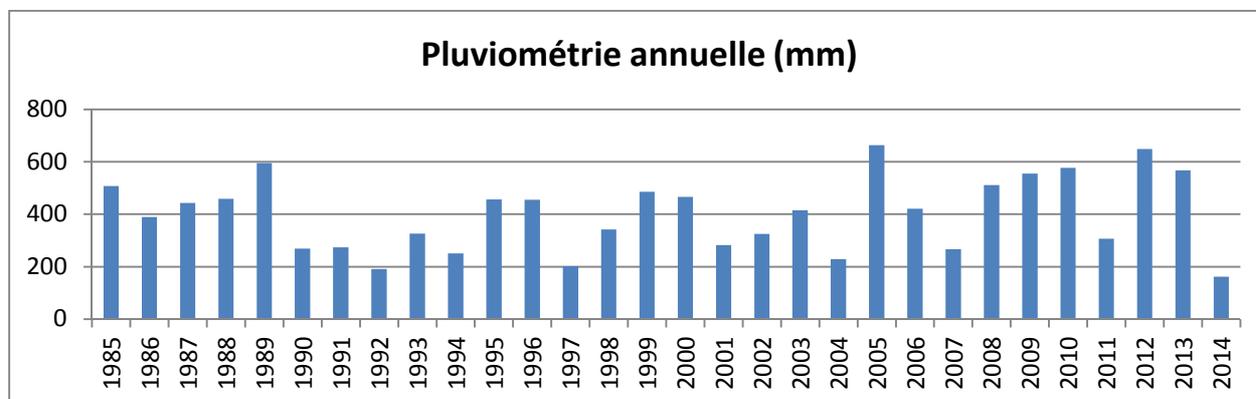


Figure 7 : Histogramme de l'évolution interannuelle de la pluviométrie de 1985 à 2014 dans la zone de Bargny

Il ressort de cet histogramme que les précipitations annuelles dans la région sont très variables et irrégulières d'une année à l'autre. L'évolution des précipitations ne suivant aucun scénario ou loi préétablie, il s'avère, dès lors, difficile de prévoir cette évolution dans le temps.

L'irrégularité de la pluviométrie et sa mauvaise répartition dans le temps et dans l'espace peuvent influencer négativement la survie des lacs à long terme. Dans les trente (30) dernières années, les hauteurs annuelles des pluies sont situées entre 161,3 mm (en 2014) et 663,4 mm (en 2005).

La moyenne annuelle des pluies de la période 1985 à 2014 est évaluée à 399,075mm. Cependant, une légère hausse de la pluviométrie est enregistrée ces dernières années, provoquant ainsi des inondations dans les zones dépressionnaires occupées par les communautés sinistrées pendant la longue période de sécheresse.

2.1.1.3 Evolution inter mensuelle de la pluviométrie de 1985 à 2014 dans la zone de Bargny

Le tableau 13 résume la caractérisation des pluies mensuelles de la région de Dakar au cours des trente (30) dernières années.

Tableau 13: Caractérisation des pluies mensuelles en mm à Dakar (Données de la météorologie nationale;1985-2014)

	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Maximum	34,8	3,9	3,8	0	0,7	83,4	173,8	379,5	279,3	94,6	4,6	9,4
Quartile supérieur	0	0	0	0	0	9,00	74,05	224,55	193,5	30,2	0	0
Moyenne	0	0	0	0	0	9,26	53,38	173,94	139,64	22,86	0	0
Médiane	0	0	0	0	0	3,2	53,8	128,9	123,5	17,5	0	0
Quartile inférieur	0	0	0	0	0	0,00	20,1	99,8	89,1	4,4	0	0

Les paramètres d'intérêt sont successivement les valeurs maximales, les valeurs moyennes, les valeurs médianes et enfin les quartiles supérieurs et inférieurs.

La moyenne mensuelle des précipitations est consignée dans le tableau14 ci-dessous :

Tableau 14 : Pluviométrie moyenne mensuelle de la station de Dakar de 1985 à 2014

Mois	Pluviométrie (mm)
Janvier	0
Février	0
Mars	0
Avril	0
Mai	0
Juin	9,23
Juillet	53,38
Août	173,94
Septembre	139,64
Octobre	22,86
Novembre	0
Décembre	0

La figure 8 ci-dessous présente l’histogramme de la pluviométrie moyenne annuelle.

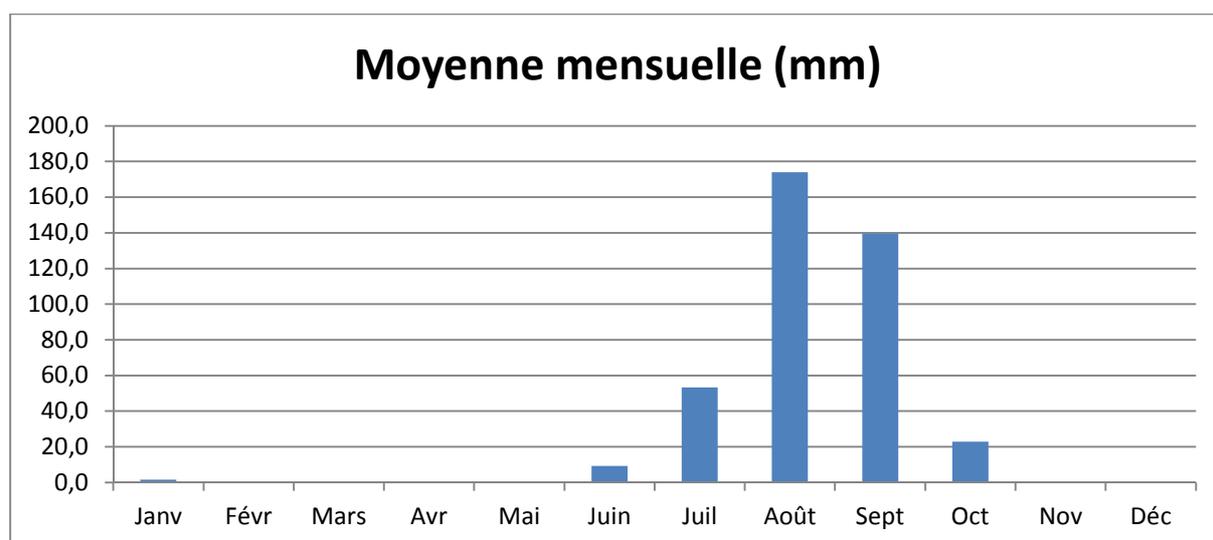


Figure 8 : Histogramme de la pluviométrie moyenne mensuelle de la station de Dakar-Yoff de 1985 à 2014

Il ressort de l’analyse des données collectées que le cœur de la saison des pluies se situe aux mois d’août à septembre avec respectivement des moyennes de 174 mm et 140 mm alors que la saison sèche, soumise aux alizés continentaux, s’étale de novembre à mai.

2.2 Température

La température constitue l’un des facteurs météorologiques les plus importants qui affectent la pluviométrie. Une température élevée représente une cause d’évaporation non négligeable des gouttes, d’autant plus que l’air est sec.

Les températures mesurées au niveau de la station de Dakar-Yoff permettent d'établir les tableaux 15 et 16 représentant respectivement, les moyennes mensuelles des températures maximales et minimales sur les trente (30) dernières années.

Tableau 15 : Moyenne mensuelle des températures maximales (°C) à Dakar sur la période 1985 - 2014 (données météorologiques nationales)

Années/mois	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
Valeurs	25,2	25,3	25,2	25,1	26,2	28,7	30,1	30,3	30,8	31,1	29,7	27,4

Tableau 16 : Moyenne mensuelle des températures minimales (°C) à Dakar sur la période 1985 - 2014 (données météorologiques nationales)

Années/mois	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
Valeurs	18,2	17,8	18,2	19,1	20,7	23,5	25,1	25,2	25,1	25,3	23,3	20,5

Le tableau 17 permet d'établir le récapitulatif des moyennes mensuelles des températures maximales et minimales (en degrés Celsius).

Tableau 17 : Récapitulatif moyenne mensuelle des températures maximales et minimales (°C) à Dakar sur la période 1985 - 2014 (données météorologiques nationales)

MOIS	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
MAXIMA	25,2	25,3	25,2	25,1	26,2	28,7	30,1	30,3	30,8	31,1	29,7	27,4
MINIMA	18,2	17,8	18,2	19,1	20,7	23,5	25,1	25,2	25,1	25,3	23,3	20,5

La figure 9 représente l'histogramme de variabilité mensuelle des températures maximales et minimales.

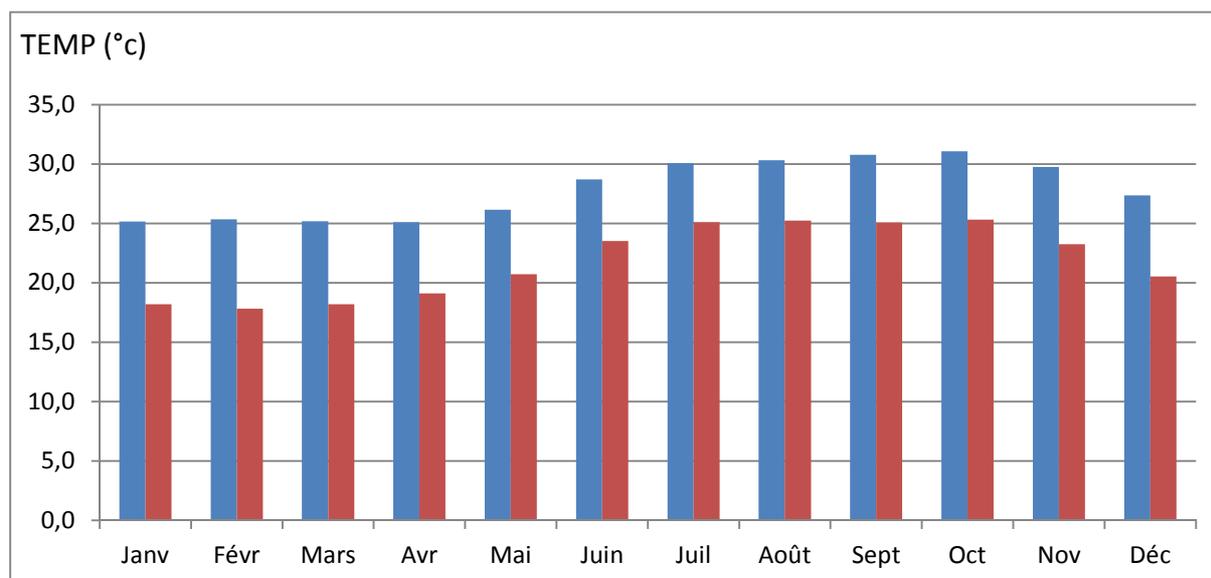


Figure 9 : Histogramme de variabilité mensuelle des températures maximales et minimales de 1985 à 2014 dans la zone de Bargny

Il ressort de l'analyse des données collectées que les températures suivent le rythme des saisons ; leur évolution et leur distribution résultent de la conjonction des facteurs cosmiques, météorologiques et géographiques. Les minima thermiques sont atteints pendant le mois de janvier et les maxima pendant la saison des pluies. La température moyenne annuelle calculée sur la période 1985-2014 est de 24,88°C ; elle est inférieure à celle de la zone nord (estimée à 29°C) et fortement influencée par l'effet de la mer.

Par rapport au reste du pays, l'influence maritime entraîne une faible différence de régime saisonnier marquée par une période chaude étalée de mars à octobre et une période froide allant de novembre à février.

2.3 Insolation

Contrairement à son acception dans le lexique médical, l'insolation, au sens météorologique, signifie la durée pendant laquelle le soleil a brillé pendant une journée. Il peut être synonyme d'ensoleillement, c'est-à-dire la durée d'exposition d'un site au soleil. L'insolation est exprimée en heures et minutes et constitue également un paramètre qui peut servir, entre autres, dans la quantification des phénomènes de l'évapotranspiration.

Le tableau 18 récapitule les moyennes mensuelles de l'insolation (heures/jour) sur les trente dernières années.

Tableau 18 : Insolation moyenne journalière par mois (heures/jour) à Dakar sur la période 1985 - 2014 (données météorologiques nationales)

Années/Mois	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
Valeurs	7,4	7,9	8,7	9,2	8,8	7,7	7,1	7,0	6,9	8,2	8,1	7,4

La figure 10 présente l'histogramme de la variabilité journalière de l'isolation.

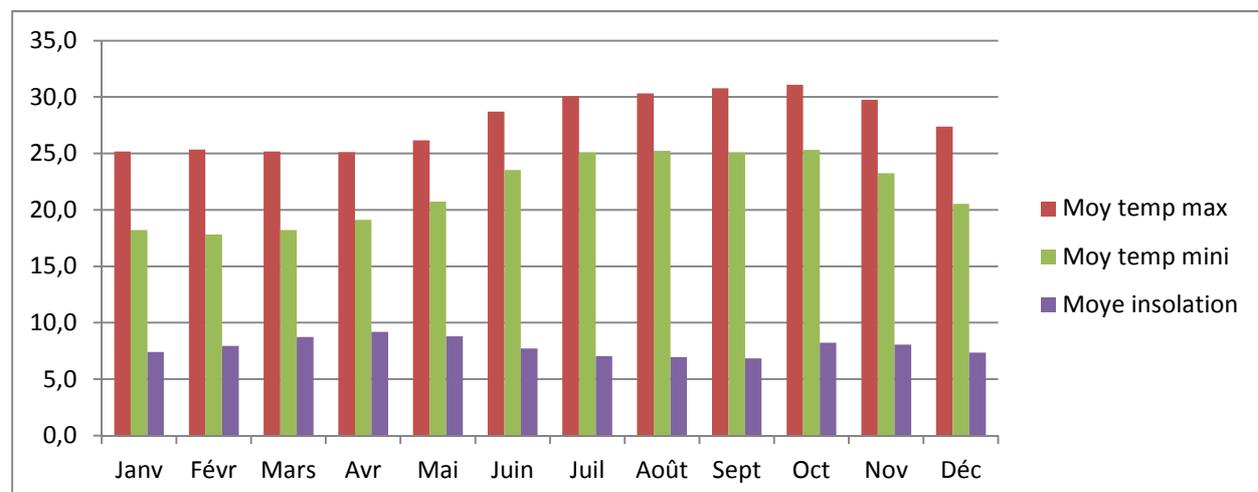


Figure 10 : Histogramme de variabilité mensuelle de l'insolation de 1984 à 2014 dans la zone de Bargny

Les fortes valeurs d'insolation correspondent à des températures très élevées et les faibles valeurs à des températures basses et inversement. Sur la période de 1985 à 2014, l'insolation moyenne varie de 7,1 heures/jour pendant la saison pluvieuse où le ciel est toujours nuageux à 9,2 heures/jour durant la saison sèche où le ciel est bien dégagé.

2.4 Vitesse des vents

Le vent est le mouvement d'une partie des masses de gaz au sein d'une atmosphère, située à la surface d'une planète. Les vents sont globalement provoqués par un réchauffement inégalement réparti à la surface de la planète provenant du rayonnement stellaire (énergie solaire), et par la rotation de la planète. Sur terre, ce déplacement est essentiel à l'explication de tous les phénomènes météorologiques. Le vent est mécaniquement décrit par les lois de la dynamique des fluides, comme les courants marins. Il existe une interdépendance entre ces deux (2) circulations de fluides.

Les vents sont généralement classés selon leur ampleur spatiale, leur vitesse (ex : échelle de Beaufort), leur localisation géographique, le type de force qui les produit et leurs effets. La vitesse du vent est mesurée avec un anémomètre.

Le tableau 19 fournit les vitesses moyennes mensuelles du vent (m/s) sur la période 1985-2014.

Tableau 19 : Vitesse moyenne des vents (m/s) à Dakar sur la période 1985 à 2014 (Données de la météorologie nationale)

Années	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Dec
Valeurs	5,0	5,1	5,4	5,5	4,8	3,8	3,5	3,3	3,1	3,5	4,5	5,0

Le régime des vents est caractérisé par une variation saisonnière des directions dominantes avec des vents du nord ou alizés (novembre à mai) et des vents du nord-est ou harmattan. A partir de la période avril-mai, c'est le vent de mousson qui s'installe. Les vitesses moyennes mensuelles évoluent entre 3.1 m/s pendant le mois de septembre et 5,5 m/s pendant le mois d'Avril.

2.5 Humidité de l'air

L'hygrométrie caractérise l'humidité de l'air, à savoir la quantité d'eau sous forme gazeuse présente dans l'air humide.

En météorologie, l'humidité relative (souvent appelée degré hygrométrique) fait partie des principales quantités relevées et modélisées. Elle se mesure avec un hygromètre ou avec un thermo hygromètre (car température et humidité de l'air sont deux paramètres pour partie interdépendants).

Les variations de l'humidité relative dépendent en partie de la température de l'air et des caractéristiques hygrométriques des masses d'air.

Les tableaux 20 et 21 qui suivent présentent respectivement les moyennes mensuelles de l'humidité maximale et minimale de l'air sur les trente dernières années.

[Tableau 20](#) : Moyenne mensuelle des humidités maximales (%) à Dakar sur la période 1985 - 2014 (données météorologiques nationales)

Années/Mois	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
Valeurs	87	90	91	93	91	89	87	90	93	91	89	87

[Tableau 21](#) : Moyenne mensuelle des humidités minimales (%) à Dakar sur la période 1985 - 2014 (données météorologiques nationales)

Années/Mois	Janv.	Févr.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept	Oct.	Nov.	Déc.
Valeurs	47	52	58	66	67	67	67	71	72	65	53	46

Le tableau 22 récapitule la moyenne mensuelle des humidités maximales et minimales.

[Tableau 22](#) : Tableau récapitulatif moyenne mensuelle des humidités maximales et minimales (%) à Dakar sur la période 1985 - 2014 (données météorologiques nationales)

Mois	Janv.	Févr.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept	Oct.	Nov.	Déc.
maxima	87	90	91	93	91	89	87	90	93	91	89	87
minima	47	52	58	66	67	67	67	71	72	65	53	46

La figure 11 représente l'histogramme de la moyenne mensuelle des humidités maximales et minimales (en %).

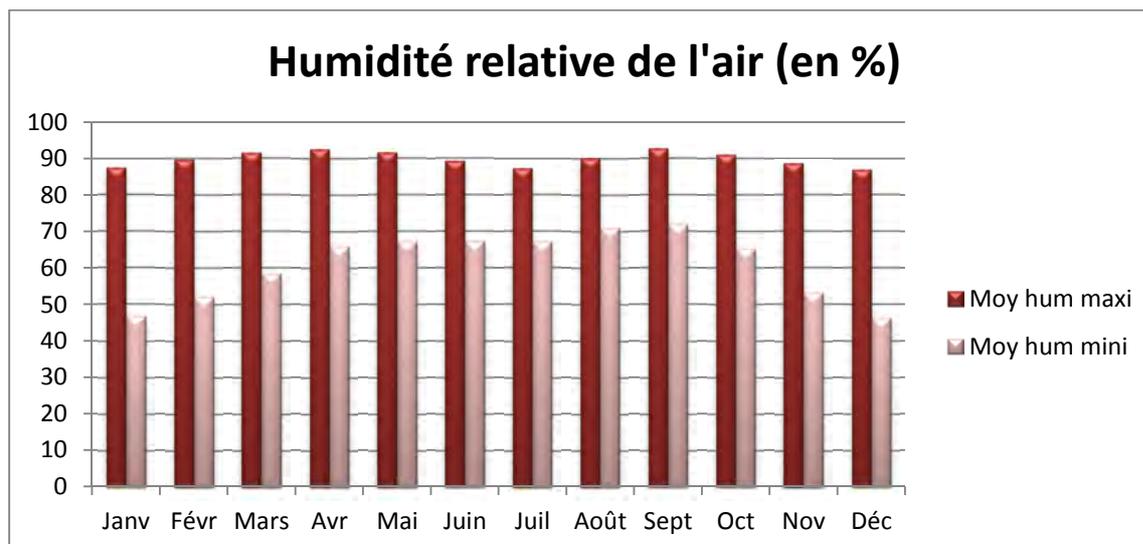


Figure 11 : Histogramme de la moyenne mensuelle des humidités maximales et minimales (%) à Dakar sur la période 1985 - 2014 (données météorologiques nationales)

Il convient de noter que l'évolution annuelle de l'humidité relative de l'air est aussi tempérée par l'influence maritime et la moyenne annuelle se situe autour de 75,42 %. Les valeurs les plus élevées sont enregistrées au cœur de la saison des pluies et les plus faibles aux mois d'avril-mai et octobre à décembre-janvier.

L'humidité dépend surtout de la température et de la continentalité ; elle augmente lors d'un passage d'orage, mais chute brusquement par temps chaud. Par ailleurs, l'humidité est susceptible de dépasser 97 % en période humide avec les rentrées d'air humide provenant de l'anticyclone de Sainte-Hélène. Elle peut également être sujette à une baisse jusqu'à 23 % lorsqu'une masse d'air saharienne couvre la région.

2.6 Évaporation

L'évaporation correspond à des phénomènes de perte de l'eau sous forme de vapeur sous l'effet de facteurs physiques et physiologiques. Lorsqu'un volume libre existe au-dessus d'un liquide, une fraction des molécules composant ce liquide est disponible sous une forme gazeuse. En situation d'équilibre, la quantité de matière sous forme gazeuse définit la pression de vapeur saturante, laquelle dépend de la température. Lorsque la pression partielle de la vapeur dans le gaz est inférieure à la pression de vapeur saturante et que celle-ci est elle-même inférieure à la pression totale ambiante, une partie des molécules passe de la phase liquide à la phase gazeuse : c'est ce qu'il convient d'appeler l'évaporation.

Le tableau 23 consigne les moyennes journalières par mois de l'évaporation dans les trente (30) dernières années.

Tableau 23 : Moyenne journalière par mois de l'évaporation (mm) à Dakar sur la période 1985 - 2014 (données météorologiques nationales)

Mois	Janv.	Févr.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept	Oct.	Nov.	Déc.
Moyenne	3,5	3,0	2,8	2,4	2,3	2,5	2,7	2,2	1,9	2,5	3,3	3,7

La figure 12 représente l'histogramme de l'évaporation moyenne journalière et par mois.

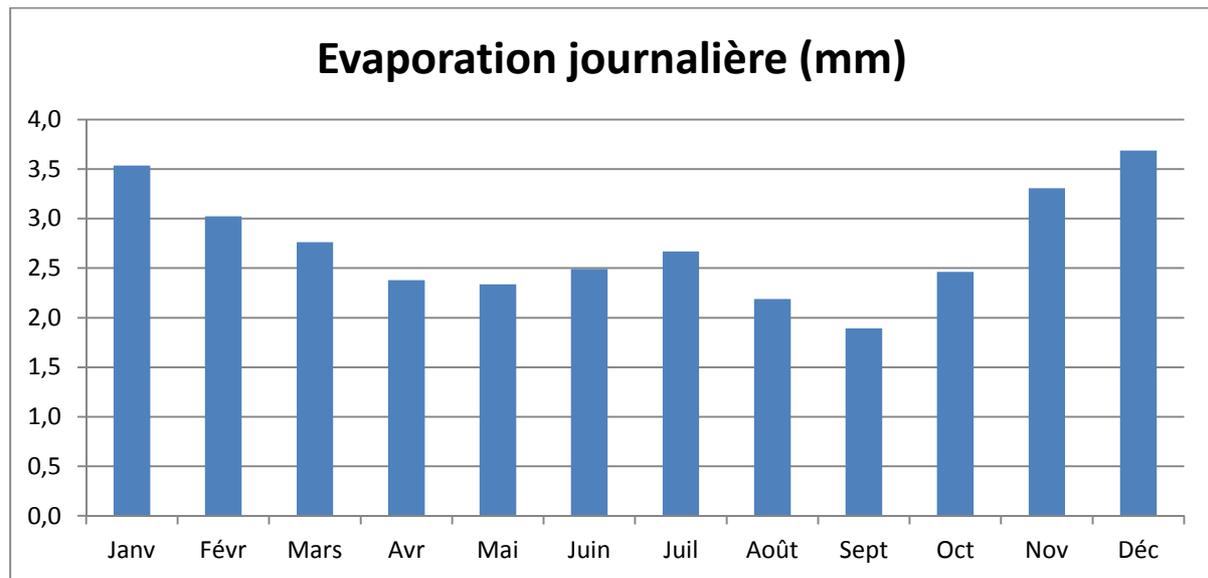


Figure 12 : Histogramme de l'évaporation moyenne journalière par mois de la station de Dakar-Yoff de 1985 à 2014

Il ressort de l'analyse des statistiques disponibles que les valeurs de l'évaporation oscillent entre 1,9 mm en septembre, et 3,7 mm en décembre - janvier. Il importe de signaler que l'évaporation annuelle moyenne s'élève à 990,2 mm avec un maximum de 1160,2 mm et qu'une forte évaporation impacte nécessairement sur le tarissement des nappes.

2.7 Conclusion

Il ressort de cette étude que le climat de la zone de Bargny est déterminé par une alternance saisonnière de quatre (4) mois de pluie (avec un maximum en août) et sept (7) à huit (8) mois de saison sèche. En termes de pluviométrie, les hauteurs annuelles des pluies enregistrées évoluent entre 161 et 663 mm.

Les **températures** moyennes mensuelles varient entre un maximum en octobre (31,1°C) et un minimum en février (17,87°C) tandis que l'humidité relative présente un maximum de 93 % septembre et un minimum de 46 % en décembre - janvier.

L'insolation varie également entre un maximum en avril/mai et un minimum en septembre avec respectivement une moyenne mensuelle de 9,2 heures et 6,9 heures d'ensoleillement.

Le **vent** enregistre une vitesse moyenne de l'ordre de 4,4 m/s. Les vents les plus forts sont répertoriés en saison sèche : ce sont les alizés du Nord ou du Nord-Est (Harmattan) dont la vitesse dépasse souvent 5 m/s. En hivernage, les vents deviennent beaucoup plus faibles avec une vitesse souvent inférieure à 4 m/s. Ce sont les vents d'Ouest ou du Sud qui soufflent de l'anticyclone de Sainte-Hélène et qui sont chargés d'humidité.

L'humidité relative moyenne oscille autour de 80% pendant l'hivernage (août à octobre) et entre 66% et 80% pendant la saison sèche (novembre à juillet). Le climat est donc moyennement humide.

L'évaporation moyenne mensuelle est de 114,3 mm en décembre (maximum) et de 56,8 mm en septembre (minimum) ; l'évaporation annuelle, elle, s'élève à 990,2 mm/an.

A titre de rappel, les données moyennes collectées et traitées proviennent de la série 1985-2014 disponibles à la Station de Dakar-Yoff.

Les études géologiques et topographiques seront abordées dans la prochaine étape en vue d'aboutir à une caractérisation physique et hydraulique des bassins versants.

**TROISIEME
CHAPITRE
ETUDES
GEOLOGIQUES
TOPOGRAPHIQUES
ET DELIMITATION
DES BASSINS
VERSANTS**

3 Etudes géologiques, topographiques et délimitation des bassins versants

La présente partie porte sur l'étude géologique, topographique et la délimitation des bassins versants abritant les lacs des trois (3) zones, à savoir : SOCOCIM (Arbed et Djoudj), Banthiar et Sébi-Ponty.

L'objectif visé à travers la présente étude géologique et topographique du site est de contribuer, d'une part à une meilleure connaissance des pentes topographiques drainant les eaux de ruissellement vers les bassins de collecte et d'autre part à la disponibilité des informations nécessaires relatives aux caractéristiques des lacs et des bassins versants (notamment l'altitude, la superficie, la capacité, perméabilité, etc.).

Dans un bassin versant, la topographie permet de définir la trajectoire des écoulements et l'organisation du drainage ou réseau hydrographique ; parallèlement, la géologie renseigne sur l'histoire des matériaux existant dans cette zone.

3.1 Contexte géologique et relief du site naturel de Bargny

3.1.1 Contexte géographique du site naturel de Bargny

La ville de Bargny est assise sur un plateau marno-calcaire d'âge lutétien. Il s'agit d'un plateau faiblement ondulé, d'une altitude moyenne d'environ vingt mètres. Il aboutit à des pentes faibles qui ne permettent pas aux thalwegs de s'encaisser, le ruissellement ne peut aboutir à un réseau hiérarchisé.

Cette zone correspond à l'une des cinq (5) régions délimitées par TRENoux sur la carte géologique de la presqu'île du Cap-Vert (1963), à savoir :

- la région de Dakar à l'ouest d'une ligne Yoff-Hann ;
- la région sableuse qui s'étale des Niayes à l'est d'une ligne Yoff-Hann jusqu'à Mbaou puis remonte vers Sangalkam et Kayar ;
- la région de Rufisque-Bargny ;
- le massif de Ndiass (qui correspond à un horst de terrains crétacés) ;
- la falaise de Thiès.

Au Nord, le plateau de Bargny présente un modèle aux formes molles marquées par des vallons peu incisés. La faiblesse des pentes ne permet pas aux thalwegs (les lignes rejoignant

les points les plus bas d'une vallée ou du lit d'un cours d'eau) de s'encaisser, le ruissellement ne pouvant aboutir à un réseau hiérarchisé.

Au sud, le plateau de Bargny à un relief plus diversifié et disséqué. Cependant, ce plateau calcaire ne parvient toujours pas jusqu'à l'océan. Il se termine par un talus isolé du rivage, par un petit cordon littoral et un système de lagunes dans lesquelles s'accumulent les eaux de ruissellement. Autrement, un système de failles d'orientation SW-NE y est rencontré, il découpe ainsi cette région en compartiments divers.

3.1.2 Contexte géologique et relief du site naturel de Bargny

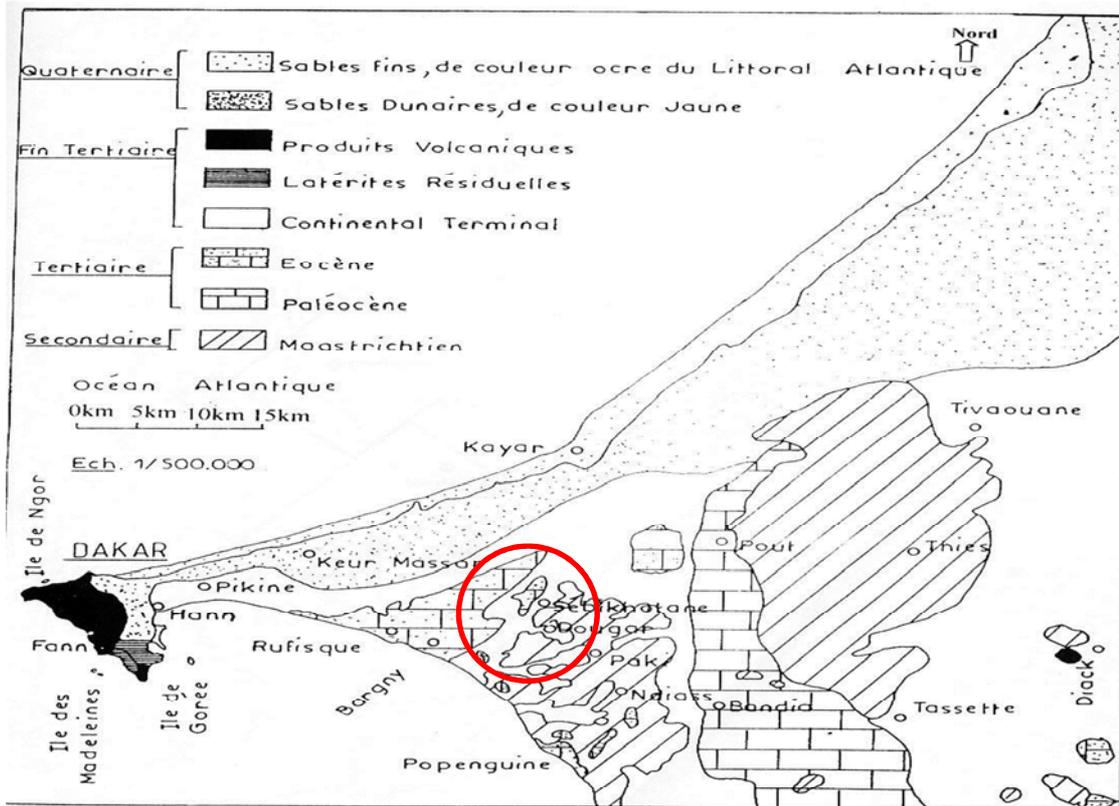
L'histoire géologique de cette partie du pays s'inscrit dans celle générale de la région de dakar et est marquée par une tectonique cassante [4] (voir figures 13 et 14).

C'est ainsi que l'examen de la structure géologique à la fin du tertiaire montre qu'à l'éocène supérieur, le compartiment de Rufisque semble s'être affaissé de façon plus prononcée tandis que celui de Bargny paraît se relever légèrement.

La configuration actuelle du relief et cette histoire géologique récente permettent de mieux comprendre les données physiques caractéristiques du milieu, lesquelles ont une incidence directe sur la vie des populations de Bargny.

Par exemple, la forte présence de terrains marneux de l'éocène pose de sérieux problèmes pour la stabilité des sols avec comme corollaire de réelles difficultés pour la viabilité des constructions.

Aussi, la faiblesse des pentes ne permet pas un drainage rapide des eaux de ruissellement, entraînant ainsi une stagnation de ces eaux dans certaines zones de la ville, surtout pendant l'hivernage. Il s'y ajoute la nature des terrains (marneux) caractérisée par une faible capacité d'infiltration. Par ailleurs, l'absence de réseau d'assainissement impacte négativement sur les problèmes d'aménagement et de salubrité de la ville.



Carte Géologique de la Presqu'île de Dakar. (I. N'Diaye, I.S.T. juin 2000)

Figure 13 : Carte géologique de la Presqu'île du Cap-Vert (source : I. NDIAYE, IST juin 2000)

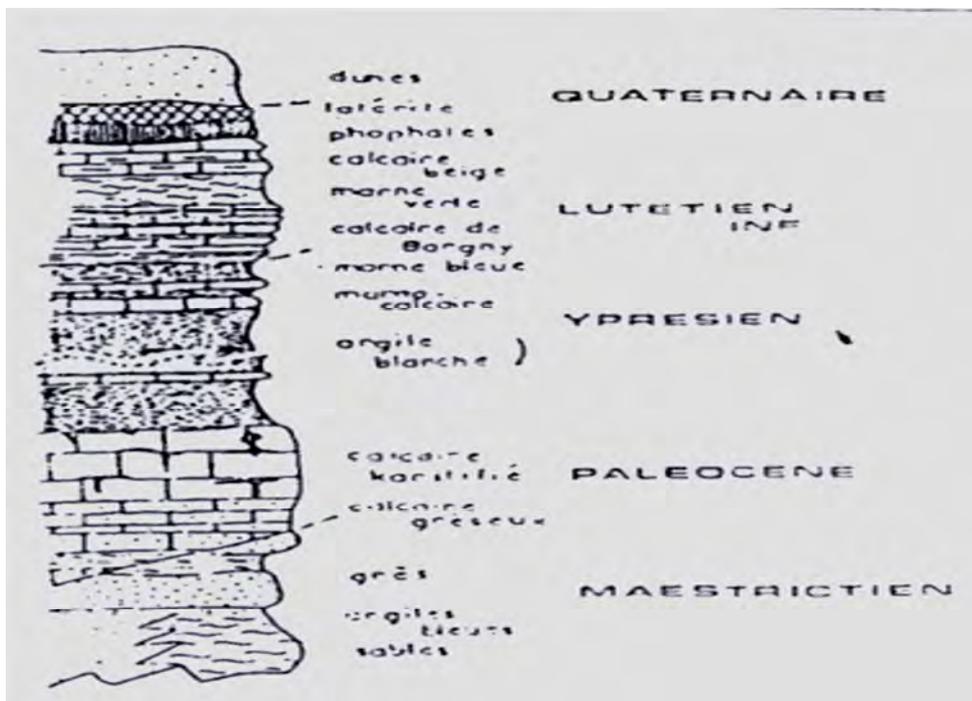


Figure 14 : Echelle stratigraphique du Cap-Vert (source : I. NDIAYE, IST juin 2000)

En référence à la carte géologique de la Presqu'île du Cap-Vert (figure1), il ressort clairement que les trois zones d'étude ont une même caractéristique géologique. En effet, le contexte géologique de la zone d'étude est caractérisé par des roches essentiellement marneuses de l'éocène, recouvert par des sables argileux noirs du Continental Terminal. Il présente des roches massives d'une grande extension vers le Nord-Est, avec des alternances de marnes et de calcaires caractérisés par des niveaux solidifiés bien visibles.

Dans la plupart des sondages géologiques (figure 15), les trois (3) niveaux décrits ci-dessous sont répertoriés :

- marnes supérieures,
- marno-calcaires à titre plus élevé (C1et C2 selon Loth),
- marnes inférieures magnésiennes (8% de MgO),

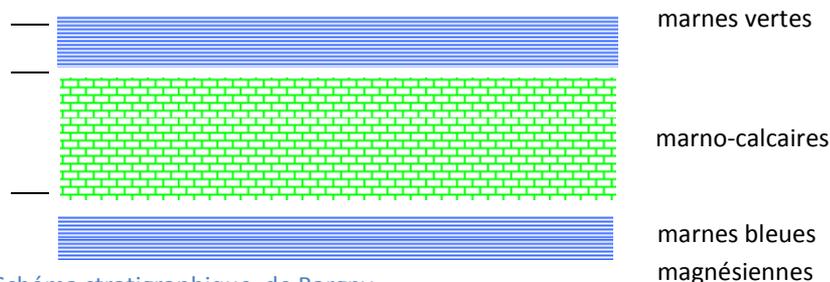


Figure 15 : Schéma stratigraphique de Bargny

3.1.3 Contexte lithologique du site naturel de Bargny

A partir du schéma lithologique d'ensemble des coupes de sondages carottés (figure 14), les 4 niveaux lithologiques ont pu être identifiés, de bas en haut [4]:

- ☞ un calcaire gris homogène, riche en microfossiles et qui se présente sous forme de bancs avec des épaisseurs allant de 30 à 60 cm environ. Ce niveau repose, de manière irrégulière et discordante, sur des marnes bleues qui forment le substratum du gisement. Sa puissance moyenne est de 10 m.
- ☞ un calcaire jaune également riche en microfossiles : lorsque ce niveau se retrouve au sommet du front (c'est le cas dans la partie nord du gisement), il se caractérise par la présence de puits de dissolution. Ce calcaire se présente sous forme de bancs avec des intercalations de bancs de silexite (roche sédimentaire siliceuse à grains très fins). Ces derniers apparaissent à 5 m du toit du massif et ont une épaisseur globale de 1,5 m répartie en bancs de 10 et 20 cm.

- ☞ Une alternance de calcaire et de marnes riches en microfossiles, présentant, par endroits, des nodules de silex et assurant la transition entre la couche calcaire précipitée et la strate de marnes.
- ☞ Un niveau de marne présentant quelques rares bancs de calcaire et dont l'épaisseur diminue fortement jusqu'à extinction complète en se dirigeant vers l'Est.

3.1.4 Expérimentation géotechnique du site naturel de Bargny

Suite à nos recherches sur la géologie du site, nous avons mené des expérimentations au laboratoire de l'Ecole Polytechnique de Thiès sur les caractéristiques physiques du sol qui compose la zone d'étude. Les échantillons sont pris sur le lac de Sebi-Ponty pour la zone de Diamniadio et sur les lacs Arbed et Djouth pour la zone SOCOCIM.

Les différents résultats de ces essais d'identification physique des sols (à savoir la *granulométrie*, les *limites de consistance*, le *poids spécifique des grains solides*, la *sédimentométrie* ...) sont analysés et présentés pour les trois (3) lacs (Arbed, Djouth et Sebi-Ponty).

Les prélèvements se font sur quatre (4) échantillons pour Sébi-Ponty et deux (2) pour Arbed et Djouth.

3.1.4.1 Granulométrie

3.1.4.1.1 Sébi-Ponty

TAMIS	% PC
9,500	100
4,250	99,948
2,000	99,633
0,950	98,876
0,420	96,438
0,250	84,902
0,102	62,82
0,075	52,796
0,039	35,2006
0,028	33,2718
0,018	30,3786
0,011	28,4498
0,008	27,4854
0,005	26,521
0,004	25,5566



Figure 16 : Courbe granulométrique de l'échantillon SP N1 Centre

0,003	24,5922
0,003	23,6278
0,001	24,01356
TAMIS	% PC
9,5	100
4,25	99,749
2	99,561
0,95	98,901
0,42	95,438
0,25	68,869
0,102	35,687
0,075	23,83
0,046	21,340
0,033	19,355
0,021	18,363
0,012	17,370
0,009	16,874
0,006	16,378
0,004	15,385
0,004	15,782
0,003	15,782
0,001	15,782

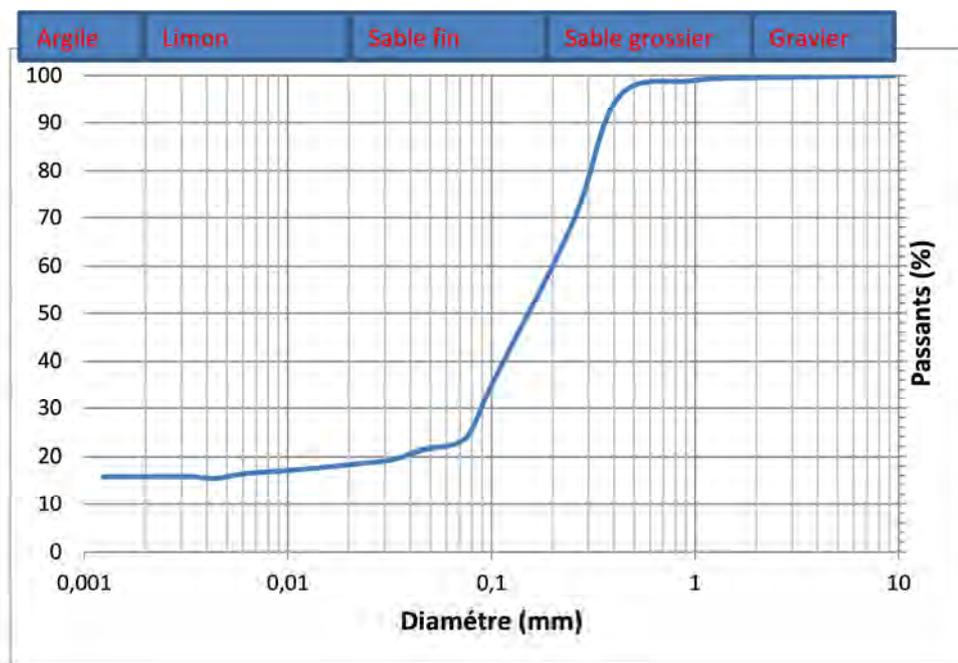


Figure 17 : Courbe granulométrique de l'échantillon SP N2 Ouest

TAMIS	% PC
9,5	100
4,25	99,935
2	99,753
0,95	99,556
0,42	98,47
0,25	66,73
0,102	59,816
0,075	59,716
0,037	38,897
0,027	36,947
0,017	34,997
0,010	33,048
0,007	31,098
0,005	29,733
0,004	27,783
0,003	26,808
0,003	25,834
0,001	25,249

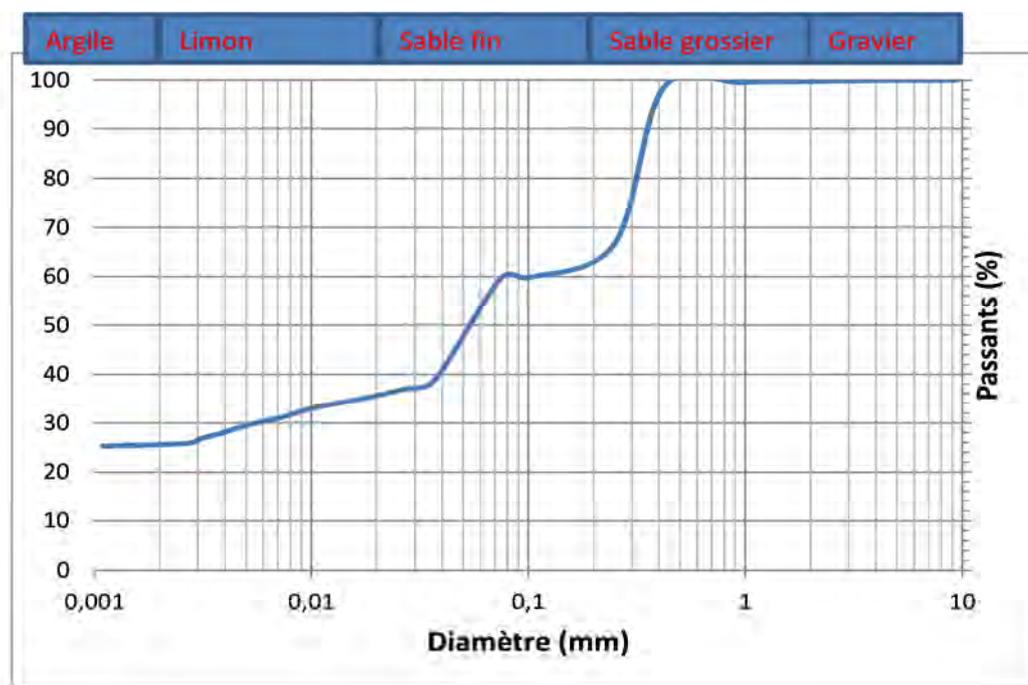


Figure 18 : Courbe granulométrique de l'échantillon SP N3 Nord 3.5m

TAMIS	% PC
9,500	100
4,250	99,778
2,000	99,403
0,950	98,453
0,420	95,226
0,250	73,442
0,102	47,977
0,075	33,651
0,0419	22,532
0,0303	19,704
0,0193	18,761
0,0112	17,818
0,0080	16,876
0,0058	15,556
0,0041	14,613
0,0033	14,613
0,0029	14,613
0,0012	14,990

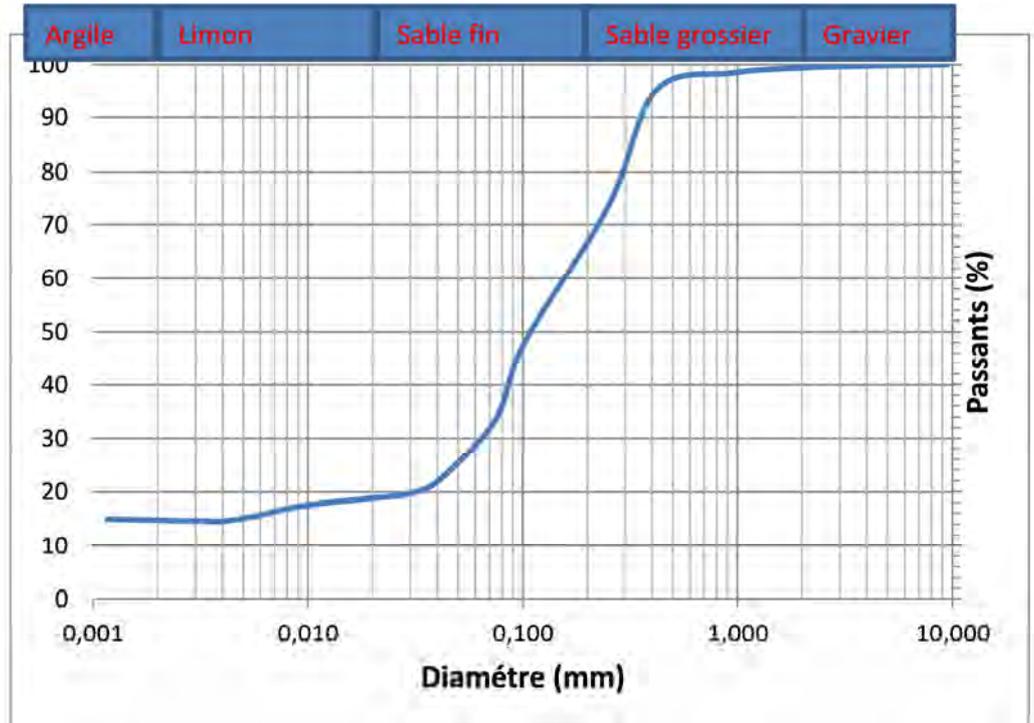


Figure 19 : Courbe granulométrique de l'échantillon SP N4 4m

La courbe de granulométrie permet de sortir le tableau de synthèse des sols selon le diagramme de diamètre des grains décroissant ci-dessous [5].

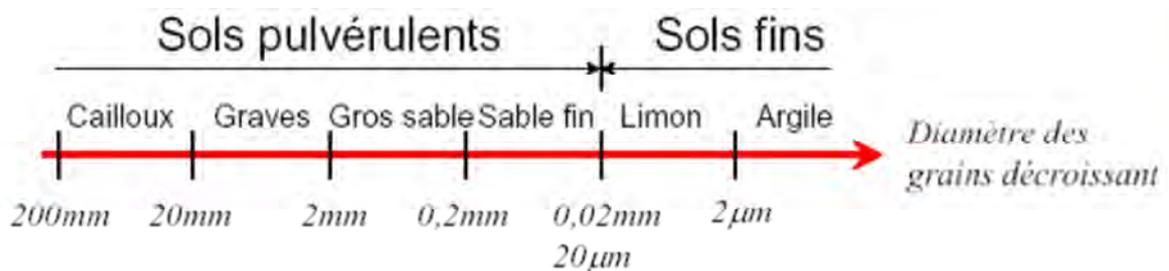


Figure 20 : Diagramme de diamètre des grains décroissant

Ce diagramme sera utilisé pour la classification des autres zones.

Tableau 24 : Synthèse de l'analyse granulométrique des sols de Sébi-Ponty

Classe Granulométrique	SP N1 Centre	SP N2 Ouest	SP N3 Nord 3.5m	SP N4 4m
Graviers	0.37	0.44	0.25	0.6
Sables grossiers	21.63	10.56	19.75	27.4
Sables fins	47	22	44	53
Limons	7	15	10	4
Argiles	24	52	26	15

La composition du sol de Sébi-Ponty est dominée, dans son ensemble, par du sable fin à 41,5% en moyenne et 29,25% d'argile. En outre, la présence de sable grossier est également notée avec une moyenne de 19,835%, des limons à 9% et des traces de gravier.

3.1.4.1.2 Lac Arbed

TAMIS	% PC
4,25	100
2	99,961
0,95	99,844
0,42	99,758
0,25	99,681
0,102	99,575
0,075	99,288
0,033	54,308
0,024	50,278
0,016	45,240
0,010	40,202
0,007	36,172
0,005	32,142
0,004	29,119
0,003	27,608
0,003	26,600
0,001	25,089

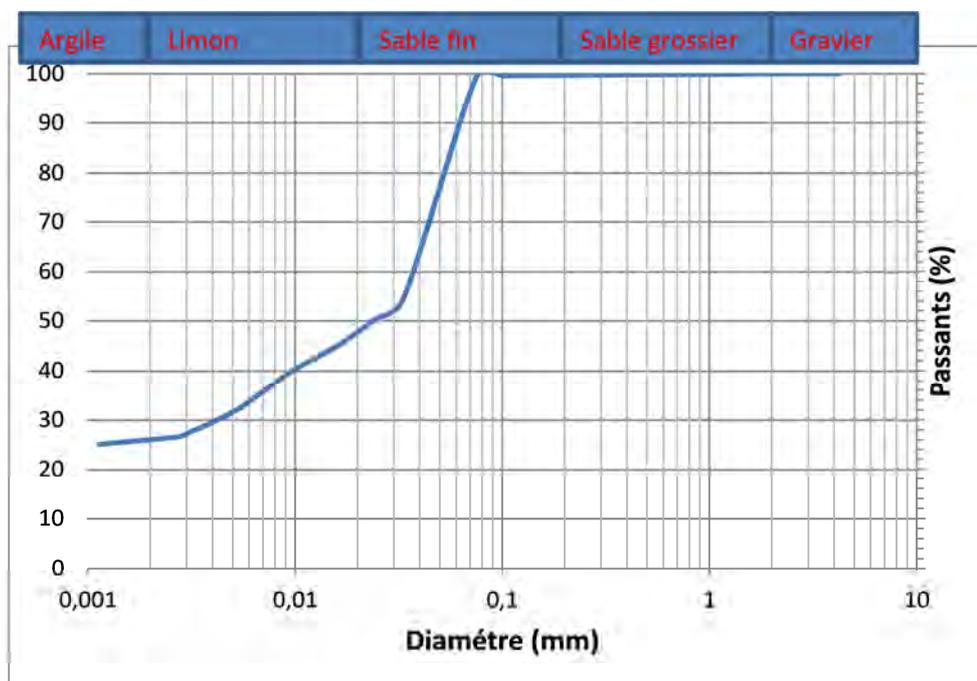


Figure 21 : Courbe granulométrique de l'échantillon Arbed ECH 1

TAMIS	% PC
9,5	100
4,25	99,943
2	99,899
0,95	99,856
0,42	99,832
0,25	99,773
0,102	99,678
0,075	99,485
0,032	57,371
0,023	55,355
0,015	52,330
0,009	45,272
0,007	42,247
0,005	36,197
0,004	34,181
0,003	33,677
0,003	32,668
0,001	31,156

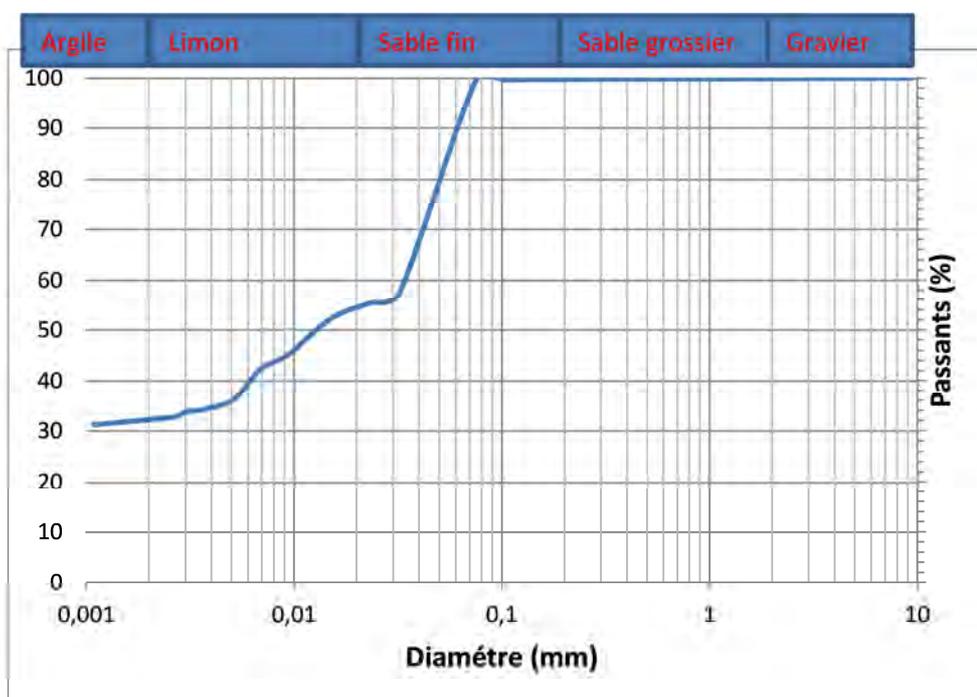


Figure 22 : Courbe granulométrique de l'échantillon ARBED ECH 2

Tableau 25 : Synthèse de l'analyse granulométrique des sols du site Arbed

Classe Granulométrique	Arbed Ech 1	Arbed Ech 2
Graviers	0.04	0.1
Sables grossiers	14.96	12.899
Sables fins	37	33
Limons	22	22
Argiles	26	32

La composition des sols du lac Arbed est dominée, dans son ensemble, par du sable fin à 35% en moyenne, 29 % d'argile et 22% de limons. Par ailleurs, la présence de sable grossier est également notée avec une moyenne de 13,93% et des traces de gravier.

3.1.4.1.3 Lac Djoudj

TAMIS	% PC
19	100
9,5	98,52
4,25	96,084
2	93,319
0,95	91,579
0,42	89,111
0,25	85,137
0,102	80,024
0,075	74,08
0,032	49,844
0,023	48,079
0,015	45,433
0,009	42,786
0,007	38,375
0,005	35,729
0,003	34,846
0,003	33,964
0,002	33,082
0,001	33,435

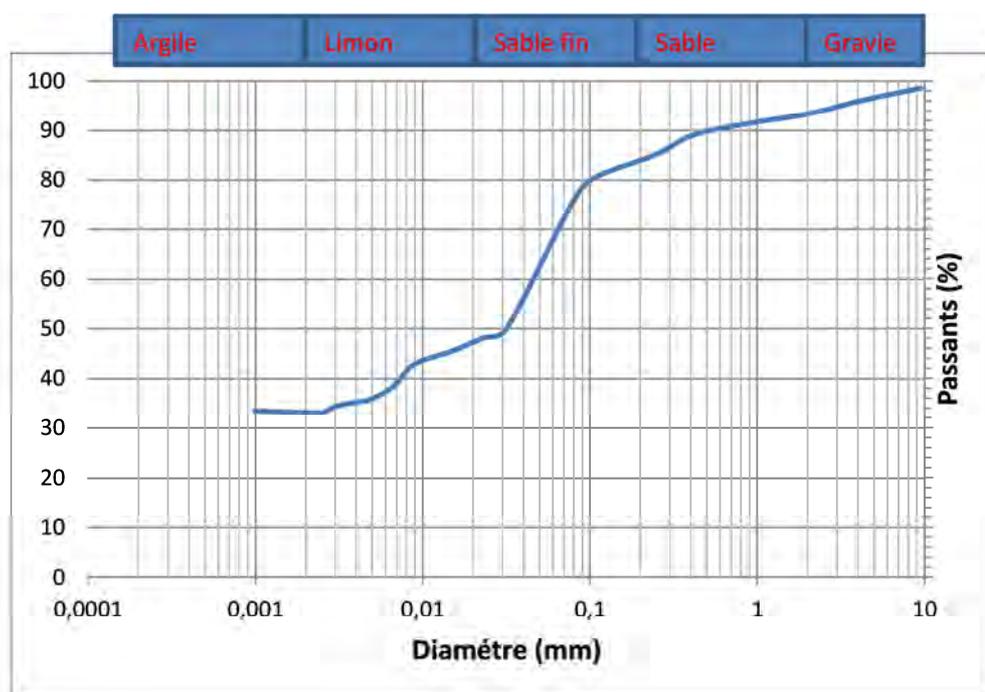


Figure 23 : Courbe granulométrique de l'échantillon DJOUDJ ECH 1

TAMIS	% PC
19	100
9,5	99,033
4,25	97,424
2	95,076
0,95	93,71
0,42	91,722
0,25	89,654
0,102	84,992
0,075	80,404
0,032	48,448
0,023	46,651
0,015	43,954
0,009	40,359
0,007	36,763
0,005	34,606
0,003	33,707
0,003	32,808
0,002	32,808
0,001	33,168

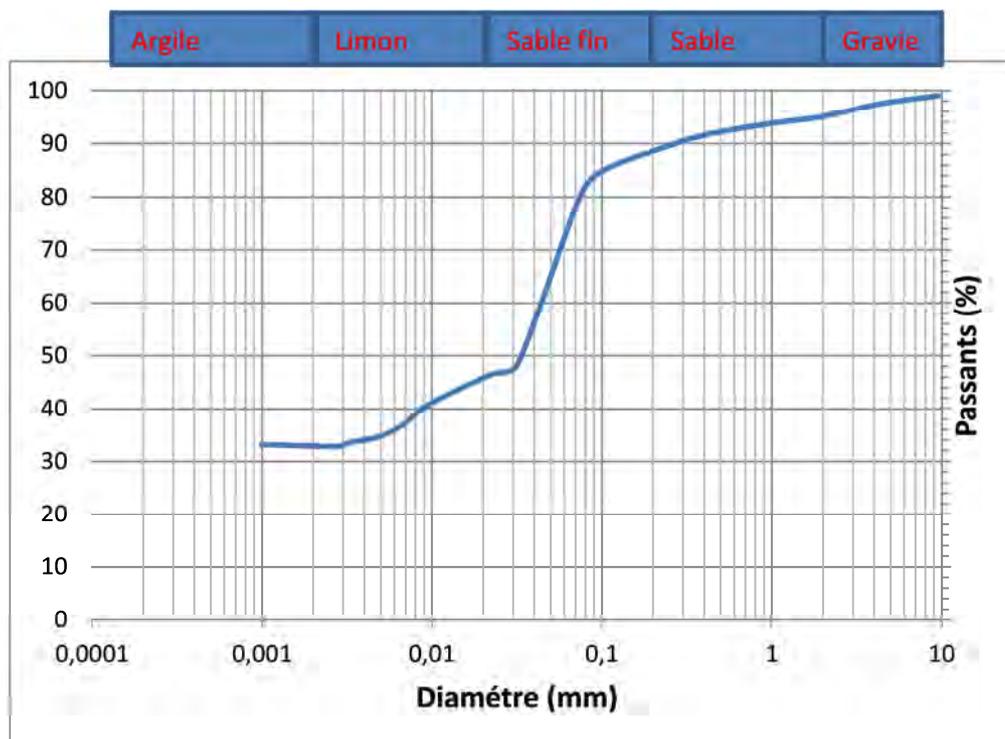


Figure 24 : Courbe granulométrique de l'échantillon Djoudj ECH 2

Tableau 26 : Synthèse de l'analyse granulométrique des sols du site Djoudj

Classe Granulométrique	Djoudj Ech1	Djoudj Ech 2
Graviers	6.68	3.924
Sables grossiers	16.32	16.076
Sables fins	29	32
Limons	14	14
Argiles	34	33

La composition des sols du lac Djoudj est dominée, dans son ensemble, par l'argile à 33,5% en moyenne et 30,5 % de sable fin. A l'instar des autres lacs, le sable grossier est présent avec une moyenne de 16,2%, tout comme les limons (14%) et 5,3% de graviers.

3.1.4.2 Limites de consistance

Les limites d'Atterberg seront utilisées ici pour la classification. Elles constituent un indice important en géotechnique et sont mesurées avec un appareillage normalisé, sur le mortier, c'est-à-dire la fraction de sol qui passe au tamis de 0,4 mm. Par ailleurs, ces limites sont définies sur trois (3) catégories : limite de liquidité (W_L), limite de plasticité (W_p), limite de retrait (W_s) [6].

Vu qu'il est juste nécessaire de définir l'indice d'élasticité (I_P) pour procéder à la classification, les deux (2) premières limites W_L et W_P ont été déterminées. L'IP mesure l'étendue de la plage de teneur en eau dans laquelle le sol se trouve à l'état plastique. Il est très fortement lié à la quantité et à la nature des minéraux argileux présents dans le sol et à la surface spécifique des sols.

Les formules ci-dessous permettront de calculer :

☞ l'indice de plasticité :

$$I_P = W_L - W_P$$

☞ l'activité

$$A_c = \frac{I_P}{\text{teneur en eau granulo } < 2\mu\text{m}}$$

3.1.4.2.1 Lac Sebi-Ponty

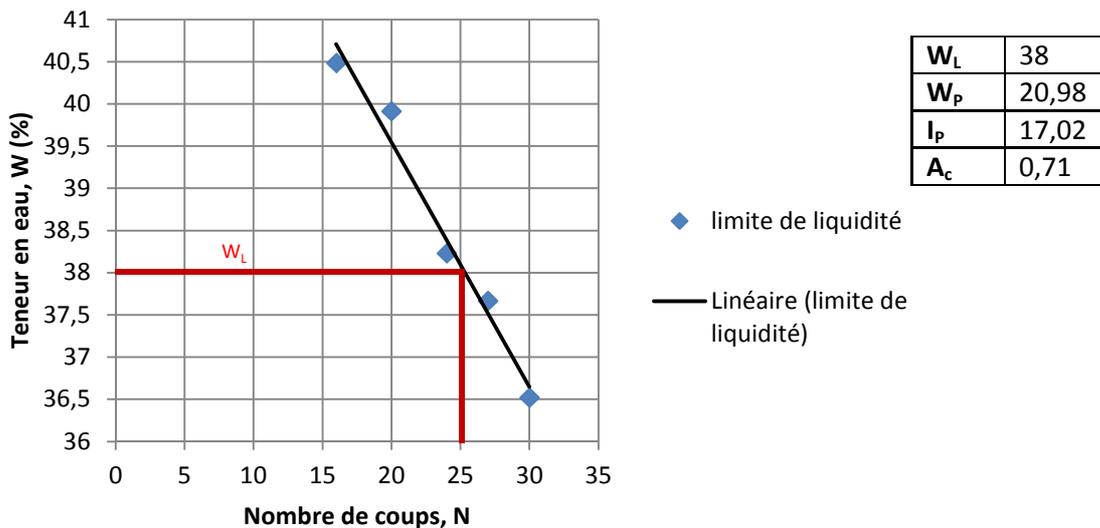


Figure 25 : Limite de liquidité de l'échantillon SP N1 Centre

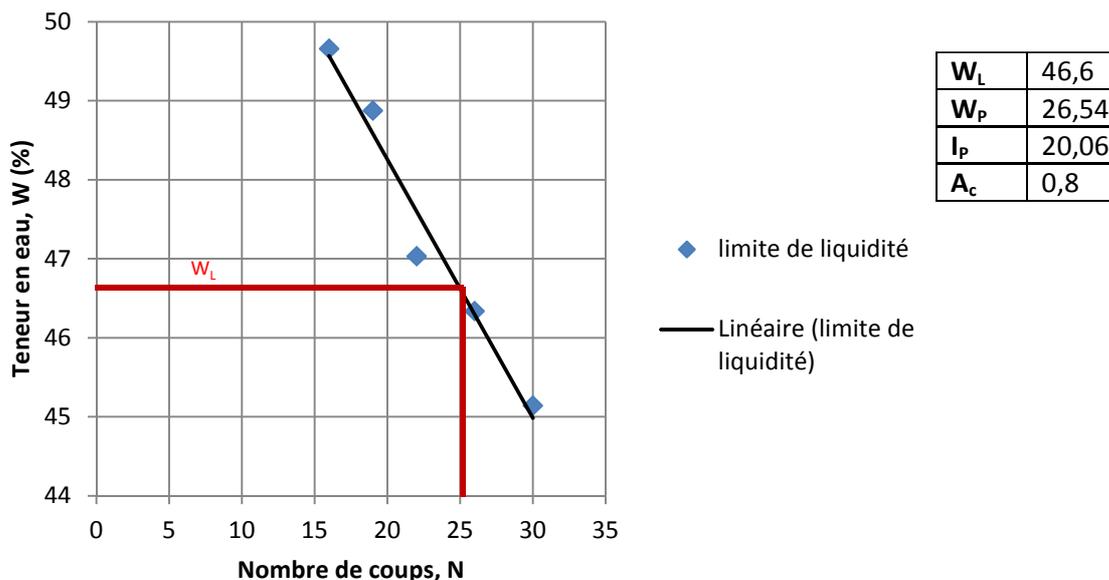


Figure 26 : Limite de liquidité de l'échantillon SP N3

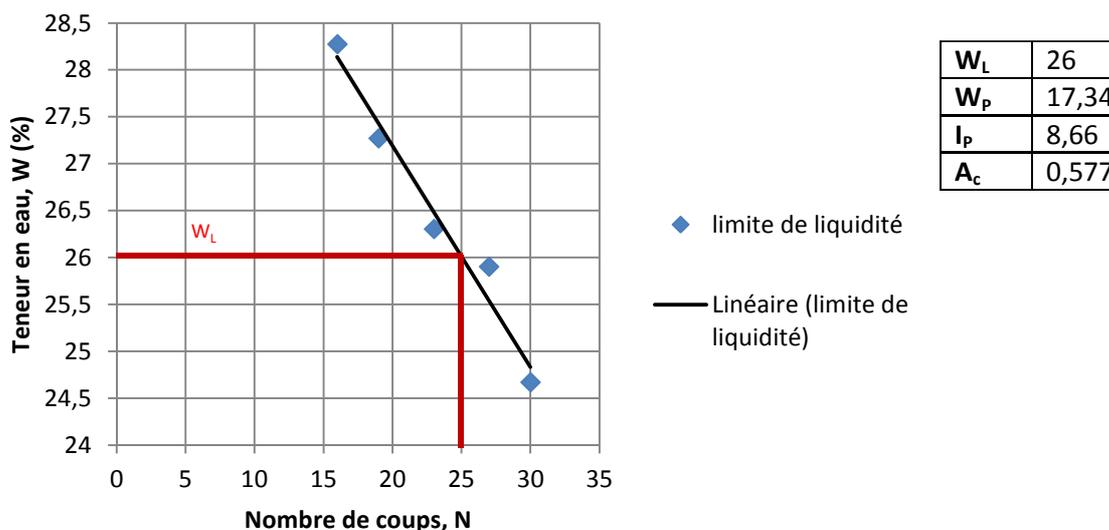


Figure 27 : Limite de liquidité de l'échantillon SP N4

Tableau 27 : Limite de liquidité de l'échantillon SP N4

Désignation	W_L	I_p	A_c	classifications
SP N1 centre	38	17.02	0,71	Plastique et peu actif
SP N3 Nord	46.6	20.06	0,8	Plastique et normal
SP N4	26	8.66	0,577	Peu plastique et peu actif

Ces résultats permettent de classer les sols de la zone de Sébi-Ponty dans la classe des sols argileux, plastiques et peu actifs.

3.1.4.2.2 Arbed

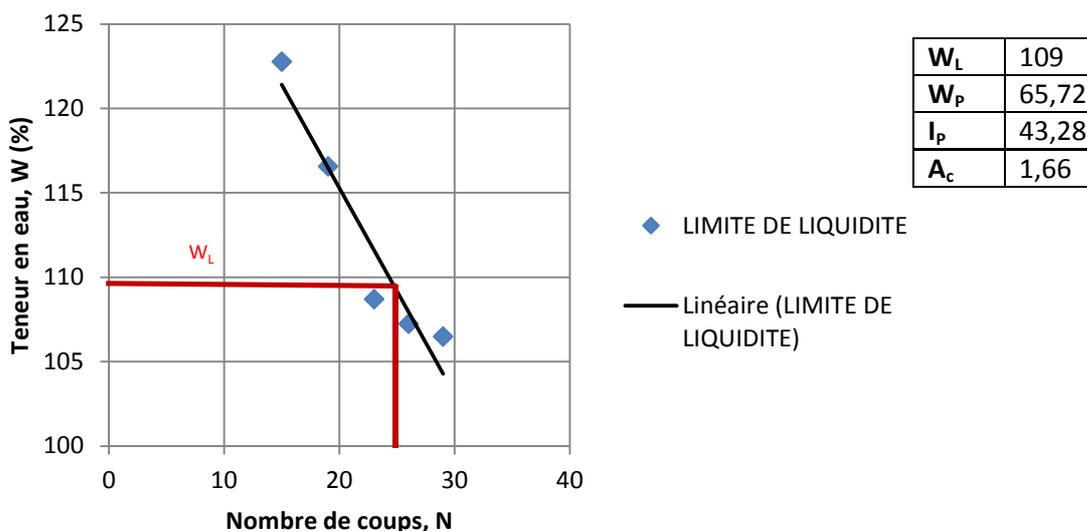


Figure 28 : Limite de liquidité de l'échantillon Arbed Ech 1

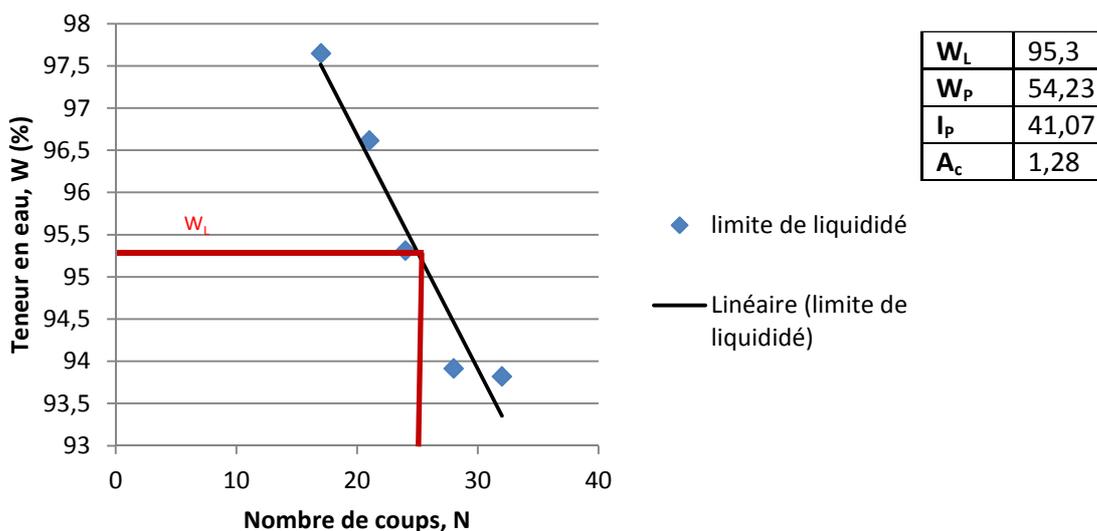


Figure 29 : Limite de liquidité de l'échantillon Arbed Ech 2

Tableau 28 : Limite de liquidité à Arbed

Désignation	W_L	I_p	A_c	Classifications
Arbed Ech 1	109	43.28	1,66	Très plastique et actif
Arbed Ech 2	95.3	41.07	1,28	Très plastique et actif

Ces résultats permettent de classer les sols du lac Arbed dans la classe des sols argileux, très plastiques et actifs.

3.1.4.2.3 Lac Djoudj

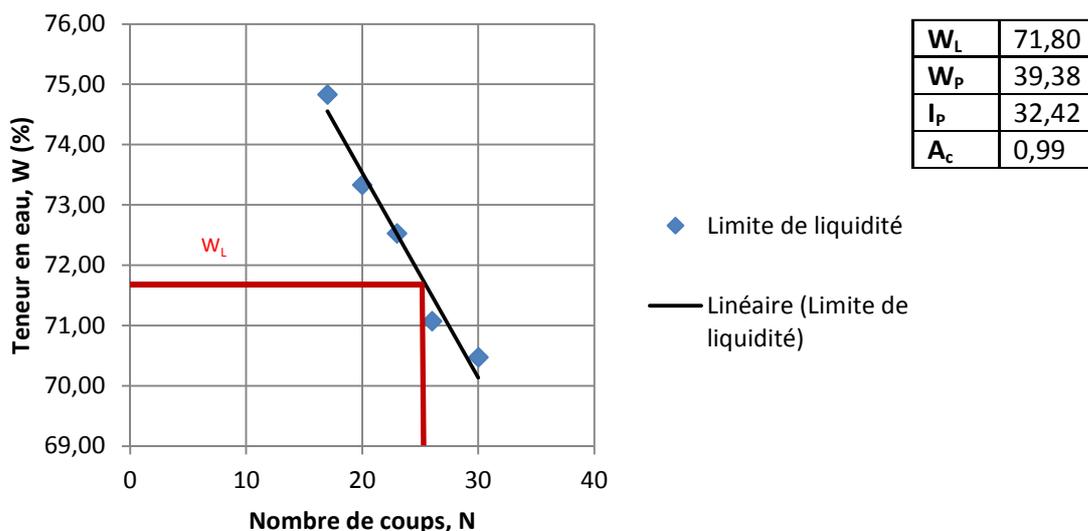


Figure 30 : Limite de liquidité de l'échantillon Djoudj Ech 1

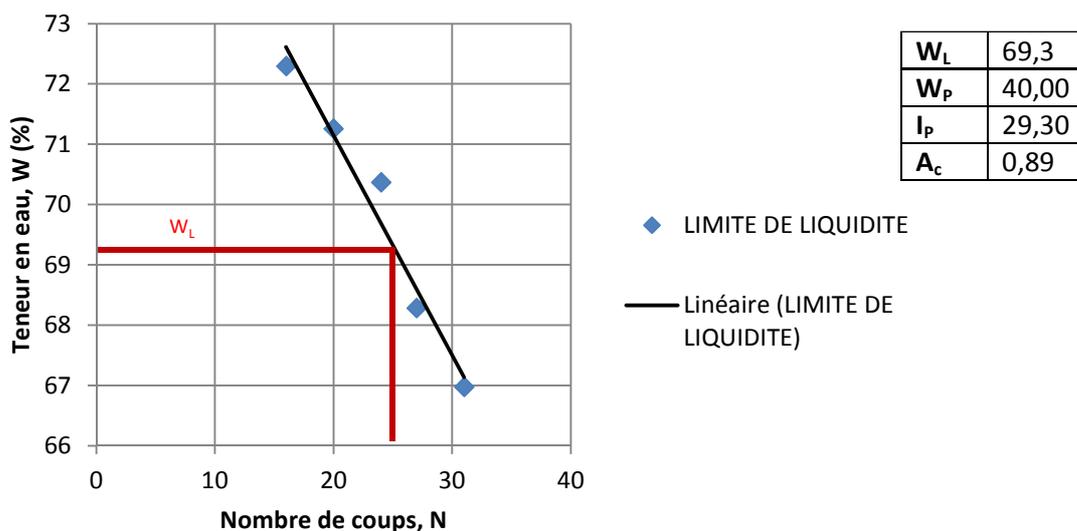


Figure 31 : Limite de liquidité de l'échantillon Djoudj Ech 2

Tableau 29 : limite de liquidité Djoudj

Désignation	WL	IP	A_c	classifications
Djoudj Ech 1	71.80	32.42	0,99	Plastique et normal
Djoudj Ech 2	69.3	29.30	0,89	Plastique et normal

Ces résultats permettent de classer les sols du lac Djoudj dans la classe des sols argileux, plastiques et normaux.

3.1.4.2.4 Conclusion

La classification à laquelle nous avons procédé en fonction des Indices de Plasticités (I_p), montre que la caractéristique du sol de notre zone d'étude est essentiellement plastique à très plastique [6].

L'état de plasticité désigne la propriété des matériaux mouillés du sol de changer de forme d'une façon continue (mais non de volume), sous l'effet d'une pression constante et de garder la nouvelle forme acquise quand la pression disparaît. Cette caractéristique permet aux lacs de disposer d'une grande capacité de rétention des eaux pluviales du fait de leur faible infiltration.

Le tableau suivant représente la synthèse récapitulative des résultats

Tableau 30 : Synthèse des résultats de limite de liquidité

	SP N1 Centre	SP N2 Ouest	SP N3 Nord 3,5	SP N4 Nord 4	Djoudj Ech 1	Djoudj Ech 2	Arbed Ech 1	Arbed Ech 2	
γ_s (kN/m ³)	26,6	20,66	27,15	26,75	27,18	27,52	26,17	26,18	
Granulométrie	< 2 mm	99,63	99,56	99,75	99,4	93,32	95,076	99,96	99,89
	< 60 μ m	44	80	49	32	58	60	64	68
	< 2 μ m	24	52	26	15	34	33	26	32
W_L	38		46,6	26	71,8	69,3	109	95,3	
I_p	17,02		20,06	8,66	32,42	29,3	43,28	41,07	
A_c	0,71		0,8	0,577	1,66	1,28	0,99	0,89	

3.1.4.3 Poids spécifique des grains solides

Tableau 31 : Poids spécifique des sols étudiés

Site Paramètre	SP N1 centre	SP N2 Ouest	SP N3 Nord 3,5 m	SP N4 Nord 4 m	Djoudj ech 1	Djoudj ech 2	Arbed ech 1	Arbed ech 2
γ_s (kN/m ³)	26,60	20,66	27,15	26,75	27,18	27,52	26,17	26,18

La classification géotechnique est la classification de base pour l'identification et la description des sols, en mécanique des sols comme en géotechnique routière. C'est dans ce cadre que la classification LCP a été utilisée dans les cas où le pourcentage de passant au

tamis 0,075 mm est inférieur à 50% et le diagramme de Casagrande le cas contraire. Ainsi, suite à la disponibilité des résultats des principaux essais, le tableau suivant a été élaboré en guise de synthèse [6]:

Tableau 32 : Classification des sols

Site	Nature du sol
SP N1 centre	<i>argile plastique peu actif</i>
SP N3 Nord	<i>argile plastique normal</i>
SP N4	<i>argile faiblement plastique peu actif</i>
Arbed Ech 1	<i>limon très plastique et sol organique très plastique</i>
Arbed Ech 2	<i>limon très plastique et sol organique très plastique</i>
Djoudj Ech1	<i>limon très plastique et sol organique très plastique</i>
Djoudj Ech2	<i>limon très plastique et sol organique très plastique</i>

3.1.5 Conclusion

Les différents essais graduellement effectués afin de classier les différents sols de la zone d'étude (granulométrie par lavage, sédimentométrie, poids spécifique, limite de liquidité, limite de plasticité, indice de plasticité et activité), permettent d'aboutir aux conclusions suivantes :

- ☞ le sol de la carrière de SOCOCIM qui abrite les lacs est composé de limon très plastique et de sol organique très plastique ;
- ☞ le sol de la zone de Diamniadio est caractérisé par la présence d'argile peu active, rendant ainsi l'exploitation agricole ardue du fait de la lourdeur de la matière (argile) difficile à remanier. Il en résulte donc qu'il importe de réfléchir sur le type de culture maraichère le plus adéquat en vue de produire les meilleurs rendements agricoles possibles.

3.2 Topographie des bassins versants des lacs de SOCOCIM

3.2.1 Topographie à l'échelle des bassins versants tributaires des lacs

Le bassin versant représente, en principe, l'unité géographique sur laquelle se base l'analyse du cycle hydrologique et de ses effets. Plus précisément, le bassin versant considéré comme un " système " est une surface élémentaire hydrologiquement close, c'est-à-dire qu'aucun écoulement n'y pénètre de l'extérieur et que tous les excédents de précipitations s'évaporent ou s'écoulent par une seule section à l'exutoire.

Le bassin versant en une section droite d'un cours d'eau, est donc défini comme la totalité de la surface topographique drainée par ce cours d'eau et ses affluents à l'amont de cette section. Il est entièrement caractérisé par son exutoire, à partir duquel peut être tracé le point de départ et d'arrivée de la ligne de partage des eaux qui le délimitent. Généralement, la ligne de partage des eaux correspond à la ligne de crête. On parle alors de bassin versant topographique.

Le travail consiste ici à déterminer les différents bassins versants élémentaires présents sur la zone d'étude.

A l'aide du logiciel Global Mapper, il a été possible de repérer les points hauts et les points bas pour ensuite tracer les bassins versants en reliant les points hauts de chaque zone.

3.2.1.1 Délimitation des bassins versants

Le bassin versant en une section d'un cours d'eau est défini comme la surface drainée par ce cours d'eau et ses affluents situés en amont de la section considérée. Tout écoulement prenant naissance à l'intérieur de cette surface doit donc traverser la section considérée, appelée exutoire, pour poursuivre son trajet vers l'aval.

Un bassin versant est toujours associé à :

- un cours d'eau ;
- une section de ce cours d'eau : l'exutoire ou émissaire.

Le rôle d'un bassin versant est de collecter les eaux de pluie et concentrer les écoulements vers les cours d'eau. Il permet ainsi la mise en relation des précipitations au sol et des volumes d'eau stockés dans ces lacs artificiels [2].

La connaissance d'un bassin versant est fondamentale dans toute étude hydrologique et/ou de risque naturel ou de vulnérabilité de la ressource en eau. C'est pourquoi, il nous est apparu nécessaire de déterminer les bassins versants de cette zone représentant l'aire de réception des précipitations et d'alimentation de ces lacs artificiels en vue d'estimer les apports d'eau.

La procédure de la délimitation des frontières de ces bassins versants s'opère comme suit :

- identification de l'exutoire ;
- reconnaissance du réseau hydrographique (principal au minimum) rattaché à l'exutoire ;
- éventuellement, repérage du réseau hydrographique des bassins alentours (surtout en zones plates) ;
- identification des points culminants sur la zone ;

- traçage du contour en bassin à 90° des lignes de niveau (ligne de crêtes) : l'ensemble du tronçon amont est contourné, incluant tous ses tributaires ; après, c'est le retour au point de départ.

Ainsi, la commande **Generated Watershed** du menu **Analysis** de **Global Mapper** nous a facilité la détermination de la limite des bassins versants existant dans cette zone.

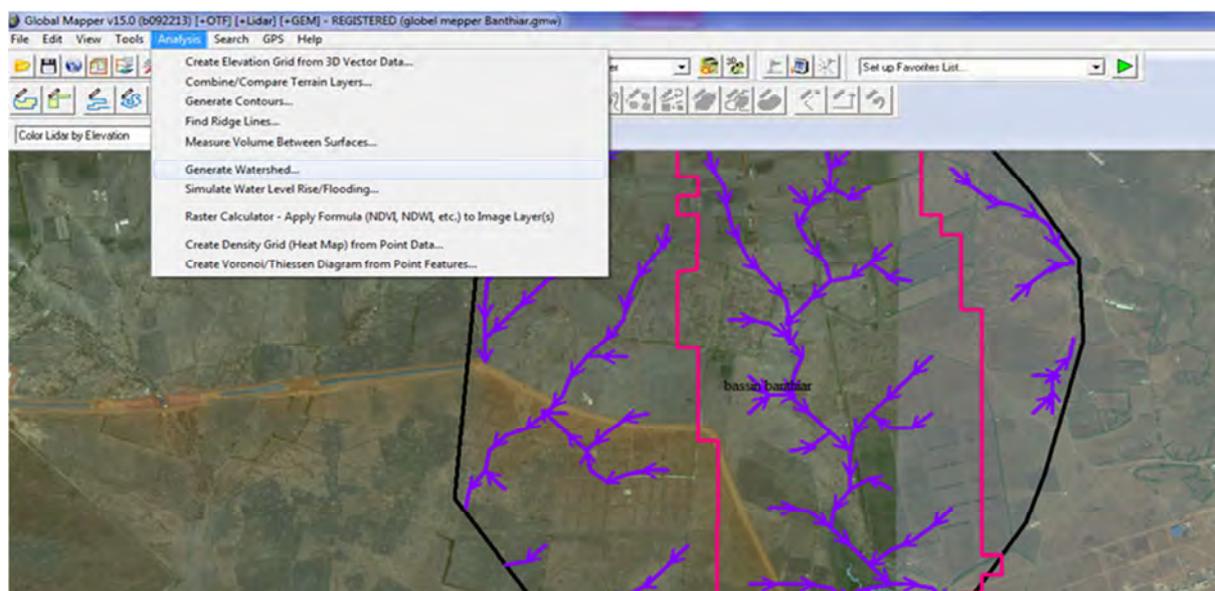


Figure 32 : Interface Global Mapper

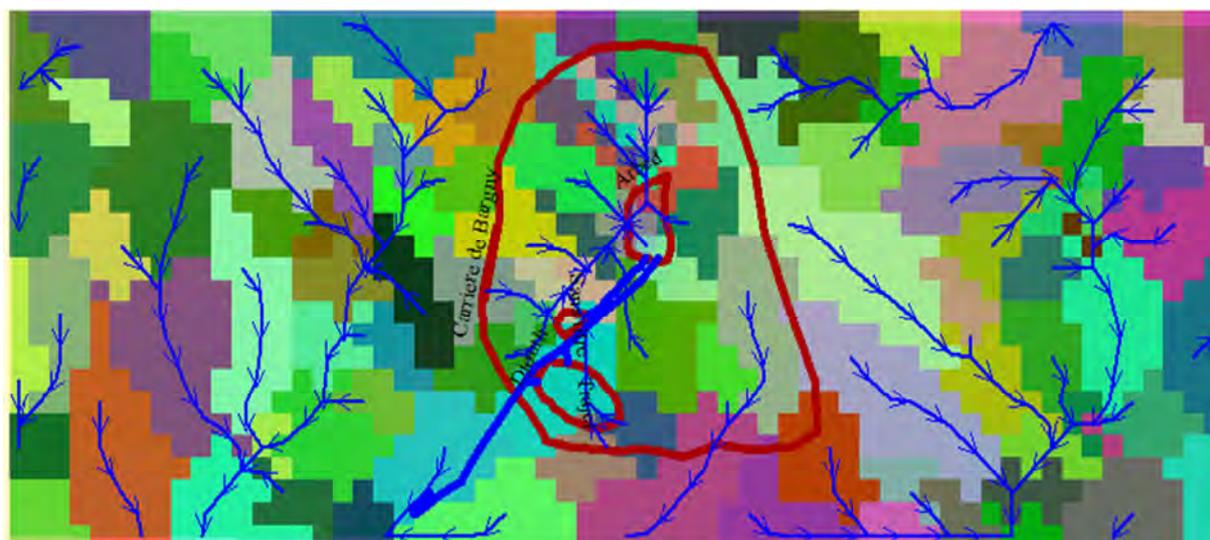


Figure 33 : Schéma des différents bassins versants élémentaires existant dans la carrière de Bargny

3.2.1.2 Caractéristiques physiographiques des bassins versants

Les caractéristiques physiographiques d'un bassin versant influencent fortement sa réponse hydrologique et, notamment, le régime des écoulements en période de crue et d'étiage.

Une fois les bassins versants obtenus, leurs caractéristiques physiographiques ont pu être déterminées, à savoir, la surface, la pente moyenne et enfin la longueur hydraulique du bassin.

3.2.1.2.1 Superficie des bassins versants tributaires des lacs

L'aire est la portion du plan délimitée par la ligne de crête, ou contour du bassin ; elle est exprimée en m^2 . L'aire du bassin versant est une grandeur intervenant dans la détermination du volume collecté dans chacun des lacs et également dans la définition de l'indice de forme du bassin versant.

Pour la zone SOCOCIM, après avoir procédé au traçage des limites topographiques, au niveau des trois (3) lacs, les superficies des bassins versants ont été obtenues grâce au logiciel Google Mapper et Google Earth.

Les superficies des différents bassins versants sont consignées dans le tableau 33.

[Tableau 33 : Superficie des bassins versants](#)

Désignations	Surfaces (m^2)
Lac Arbed	950 497
Lac Djoudj	155 270

3.2.1.2.2 Périmètres des bassins versants tributaires des lacs

Le périmètre est la longueur, généralement exprimée en kilomètre, de la ligne de contour du bassin. Il intervient aussi dans la définition de l'indice de forme du bassin versant.

Les périmètres des différents bassins versants sont consignés dans le tableau ci-dessus :

[Tableau 34 : Périmètres des bassins versants](#)

Désignations	Périmètres (m)
Lac Arbed	6 125
Lac Djoudj	2 169

3.2.1.2.3 Indice de pente des bassins versants tributaires des lacs

La pente est une caractéristique importante qui renseigne sur la topographie du bassin. Elle donne une bonne indication sur le temps de parcours du ruissellement direct, donc sur le temps de concentration et elle influence directement le débit de pointe lors d'une averse [7]. Elle gouverne la vitesse du ruissellement, qui à son tour, détermine le pouvoir érosif et la capacité de transport de celui-ci.

3.2.1.2.4 Indice de compacité des bassins versants tributaires des lacs

La forme d'un bassin versant influence l'allure de sa réponse hydrologique à l'exutoire. Sa forme allongée induit de faibles débits de pointe de crue. A l'opposé, une forme curviligne entraînera un fort débit de pointe en période de hautes eaux. Plusieurs coefficients sont utilisés pour déterminer la forme d'un bassin. Cependant, l'indice de compacité de Gravelius est le plus usité. L'indice de compacité de Gravelius compare le périmètre du bassin P à celui d'un cercle qui aurait la même superficie A que le bassin considéré.

Cet indice de compacité de Gravelius noté Kc se définit comme le rapport du périmètre du bassin versant au périmètre du cercle ayant la même surface [8 - 11]. Il est donné par la formule :

$$Kc = \frac{P}{2\sqrt{\pi S}} = 0,28 \frac{P}{\sqrt{S}}$$

S : la surface du bassin versant (km²) ;

P : le périmètre du bassin versant (km).

Les résultats des calculs sont représentés dans le tableau 35.

Tableau 35 : Indice de compacité de Gravelius des bassins versants

Désignations	Indice de compacité
Lac Arbed	1,759
Lac Djoudj	1,541

3.2.1.2.5 Classification du relief en fonction de l'indice de pente globale Ig des bassins versants tributaires des lacs

Cette classification permet de caractériser le relief du bassin versant de *faible à fort* ou R1 à R7. Le tableau 36 donne la classification du relief des bassins selon ORSTOM (actuel IRD) [9].

Tableau 36 : Classification du relief selon I_g en m/m

R1	Relief très faible	$I_g < 0,002$
R2	Relief faible	$0,002 < I_g < 0,005$
R3	Relief assez faible	$0,005 < I_g < 0,01$
R4	Relief modéré	$0,01 < I_g < 0,02$
R5	Relief assez fort	$0,02 < I_g < 0,05$
R6	Relief fort	$0,05 < I_g < 0,1$
R7	Relief très fort	$0,1 < I_g$

3.2.1.2.5.1 Bassin versant du lac Arbed

Tableau 37 : % Surfaces obtenues entre les courbes de niveaux à Arbed

Altitudes	sur KM	sur m ²	superficie en %	% cumulé
0	0,019	18 990	1,66	100
5	0,145	144 800	12,69	98,34
10	0,181	181 100	15,88	85,64
15	0,269	269 100	23,59	69,76
20	0,196	196 300	17,21	46,17
25	0,164	163 600	14,34	28,96
30	0,167	166 800	14,62	14,62

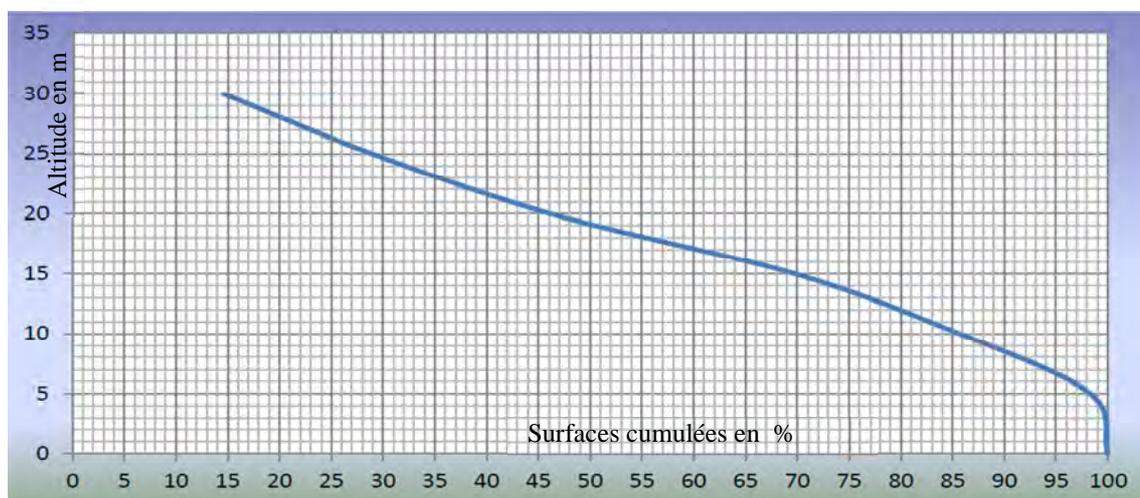


Figure 34 : Courbe hypsométrique Arbed

Cette courbe peut être obtenue :

$$H_{5\%} = 32,5 \text{ m ;}$$

$$H_{95\%} = 7 \text{ m.}$$

L'indice de pente I_g est donné par la formule ci-dessous.

La pente du bassin versant est de [8] [9]: $I_g = \frac{H_{5\%} - H_{95\%}}{L}$

Avec

L : longueur du rectangle équivalent (m)

$$L = \sqrt{S} \cdot \frac{K_c}{1,128} \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,128}{K_c} \right)^2} \right)$$

L : la longueur du rectangle équivalent (km) ;

S : la surface du bassin versant (km²) ;

K_c : indice de compacité.

Après résolution dans notre cas (K_c = 1,759 et S = 0,950497 Km²), la valeur suivante a été trouvée :

Longueur L = 2,6869 km ;

L'indice de pente I_g peut être calculé avec les données H_{5%} et H_{95%} ;

$$I_g = \frac{H_{5\%} - H_{95\%}}{L}$$

$$I_g = \frac{32,5 - 7}{2686,9} = 9,491 \cdot 10^{-3} \text{ m/m} \quad \text{Soit} \quad I_g = 9,5 \text{ m/km}$$

Tableau 38 : Tableau récapitulatif des caractéristiques topographiques du lac Arbed

S	Kc	L	H _{95%}	H _{5%}	I _g
0,950 Km ²	1,8	2,7 Km	7 m	32,5 m	9,5 m/Km

La même démarche a été utilisée pour le lac Djoudj. Les résultats de l'indice global de pente sont documentés ci-dessous.

3.2.1.2.5.2 Bassin versant du lac DJOUDJ

Sur le tableau 39 ci-dessous nous allons présenter les données utilisés pour tracer la courbe hypsométrique du lac djoudj de la figure 35.

Tableau 39 : % surfaces obtenues entre les courbes de niveaux à Djoudj

Altitudes	sur KM	sur m ²	superficie en %	% cumulé
10.5	0.003621	3621	1.63	100.00
11.5	0.01884	18840	8.49	98.37
12.5	0.01089	10890	4.91	89.88
13.5	0.01386	13860	6.24	84.98
14.5	0.01236	12360	5.57	78.73
15.5	0.01525	15250	6.87	73.17
16.5	0.01315	13150	5.92	66.30
17.5	0.01386	13860	6.24	60.37
18.5	0.01893	18930	8.53	54.13
19.5	0.02537	25370	11.43	45.60
20.5	0.0515	51500	23.20	34.17
21.5	0.02436	24360	10.97	10.97

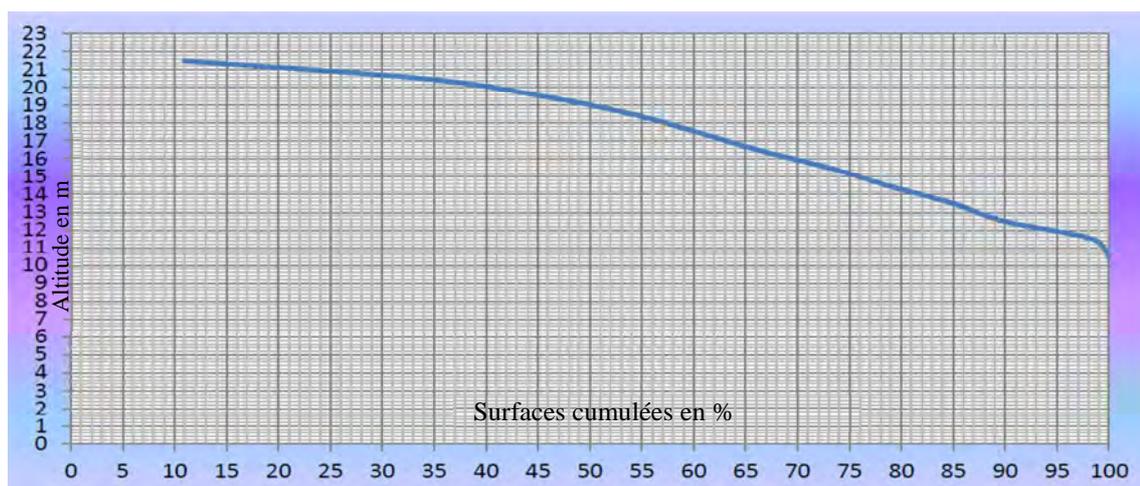


Figure 35 : Courbe hypsométrique lac Djoudj

Ce qui nous permet de tirer les résultats consignés sur le tableau 40 ci-dessous

Tableau 40 : Tableau récapitulatif des caractéristiques topographiques du lac Djoudj

S	K _c	L	H _{95%}	H _{5%}	I _g
0,155 Km ²	1,541	0,905 Km	11,800 m	21,800 m	11,049 m/Km

Les résultats obtenus sont récapitulés dans le tableau 41 ci-dessous :

Tableau 41 : Indice de pente des bassins versants des lacs de la zone SOCOCIM

Désignations	Indice de pente (m/km)	Type de relief
Lac Arbed	9,491	Relief modéré
Lac Djoudj	11,049	Relief modéré

3.2.2 Topographie à l'échelle des lacs

Dans cette partie, les caractéristiques géométriques de chacun des trois (3) lacs sont mises à disposition, à savoir : l'altitude de remplissage (m), la hauteur maximum de remplissage (m), la surface de remplissage (m²) et le volume de remplissage (m³).

3.2.2.1 Le lac Arbed

Le lac Arbed connaît l'altitude la plus basse sur le plateau calcaire, il possède une grande surface et une profondeur importante. Ce lac se situe au nord de l'exploitation.



Figure 36 : Panorama du lac Arbed

Les caractéristiques spécifiques au lac Arbed sont résumées dans le tableau 42

Tableau 42 : Caractéristiques spécifiques du lac Arbed

PARAMETRES	VALEURS
Altitude de remplissage en (m)	-4
Hauteur maximum de remplissage (m)	4,98
Surface de remplissage (m ²)	36 490
Volume de remplissage (m ³)	77 330

3.2.2.2 Le lac Gruner

Selon la topographie étudiée, le lac Gruner se déverse gravitairement dans le lac Arbed.

Les caractéristiques spécifiques au lac Gruner sont résumées dans le tableau 43.

Tableau 43 : Caractéristiques spécifiques du lac Gruner

Paramètres	Valeurs
Altitude de remplissage en (m)	5,16
Hauteur maximum de remplissage (m)	1,77
Surface de remplissage (m ²)	5 840
Volume de remplissage (m ³)	4 690

3.2.2.3 Le lac Djoudj

Ce lac est situé au sud du lac Arbed. Le lac Djoudj à l'altitude la plus haute sur le plateau calcaire, une faible surface et une profondeur importante.



Figure 37 : Le lac Djoudj depuis la station de pompage

Les caractéristiques spécifiques au lac Djoudj sont portées dans le tableau ci-après :

Tableau 44 : Caractéristiques spécifiques du lac Djoudj

PARAMETRES	VALEURS
Altitude de remplissage en (m)	12,582
Hauteur maximum de remplissage (m)	7,46
Surface de remplissage (m ²)	46 550
Volume de remplissage (m ³)	208 050

Ci-dessous le tableau récapitulatif des trois lacs de la zone SOCOCIM.

Tableau 45 : Récapitulatif des lacs de SOCOCIM

PARAMETRES	Lac Arbed	Lac Djoudj	Lac Gruner
Altitude de remplissage en (m)	-4	12,582	5,16
Hauteur maximum de remplissage (m)	4,98	7,46	1,77
Surface de remplissage (m ²)	36 490	46 550	5 840
Volume de remplissage (m ³)	77 330	208 050	4 690

3.2.3 Conclusion

Les caractéristiques géologiques et topographiques des trois (3) lacs ont ainsi été déterminées.

Le lac Arbed draine un bassin versant de **950 497 m²** de superficie et de **6 205 m** de périmètre. Le bassin versant du lac Djoudj possède une superficie de **155 270 m²** et son périmètre est évalué à **2 169 m**. Le coefficient de compacité révèle une forme plutôt allongée du bassin.

Enfin, les bassins versants drainés par les lacs de la zone SOCOCIM disposent d'indices de pente compris entre **0,01** et **0,02**, ce qui permet de répertorier ces bassins selon la classification de l'ORSTOM dans la classe modérée.

3.3 Topographie des bassins versants du barrage de Banthiar

Le barrage de Banthiar couvre une grande superficie utilisée par la population pour des besoins agro-pastoraux. Le barrage est aujourd'hui menacé par l'invasion des promoteurs immobiliers dans le cadre la nouvelle ville de Diamniadio.



Figure 38 : Photo du barrage de Banthiar

3.3.1 Topographie à l'échelle des bassins versants tributaires des lacs

3.3.1.1 Délimitation des bassins versants

La figure 39 donne la délimitation des bassins versants de la zone Banthiar.

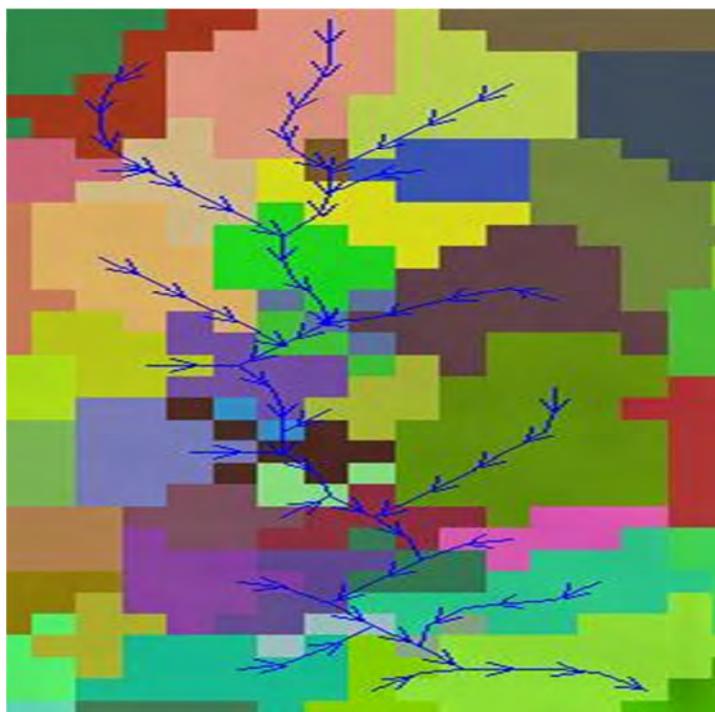


Figure 39 : Limites du bassin versant de Banthiar

3.3.1.2 Caractéristiques physiographiques des bassins versants

En nous appuyant sur la même démarche, les caractéristiques physiographiques des bassins versants de la zone ont été déterminées.

Tableau 46 : caractéristiques des bassins versants tributaire du lac Banthiar

Périmètres (m)	Surfaces (m ²)
9 029	2 403 000

3.3.1.3 Caractéristiques topographiques des bassins versants

3.3.1.3.1 Indice de pente des bassins versants tributaires des lacs

L'indice de pente ici sera déterminé à partir du tracé de la courbe hypsométrique

3.3.1.3.1.1 Courbe hypsométrique

Les différences d'élévation réfèrent à la distribution de la surface du bassin versant en fonction de l'altitude. Cette distribution, souvent appelée courbe hypsométrique, décrit le pourcentage de l'aire totale du bassin au-dessus ou au-dessous d'une élévation donnée. Les courbes hypsométriques demeurent un outil pratique pour comparer plusieurs bassins entre eux ou les diverses sections d'un seul bassin. Elles fournissent une vue synthétique de la pente du bassin.

Les différences d'élévation sont indicatrices de la rapidité avec laquelle le bassin versant draine les précipitations, particulièrement en rapport avec les écoulements. Plus le différentiel entre les élévations maximales et minimales est élevé, plus le temps de drainage sera rapide.

3.3.1.3.1.2 Tracé de la courbe hypsométrique

Pour tracer cette courbe, les altitudes sont portées en abscisses et les surfaces entre les courbes du bassin en ordonnées. Enfin, la courbe hypsométrique s'établit en planimétrant les surfaces correspondant à la définition de l'ordonnée pour chacune des courbes de niveau [9] [10].

Le tableau 48 présente les résultats de la répartition de la surface totale (Km²) du bassin versant de Banthiar sur les différentes tranches d'altitude avec une équidistance de 5 m.

Tableau 47 : Hypsométrie du bassin de Banthiar

Tranches d'altitudes(m)	Superficie entre courbes (Km ²)	Pourcentage du total	Pourcentage au-dessus de la limite inférieure
40-45	0,3042	13	13
35-40	0,548	23	36
30-35	0,704	29	65
25-30	0,748	31	96
20-25	0,0988	4	100

Ce tableau a permis de tracer la courbe hypsométrique représentée à la figure 40 ci-dessous.

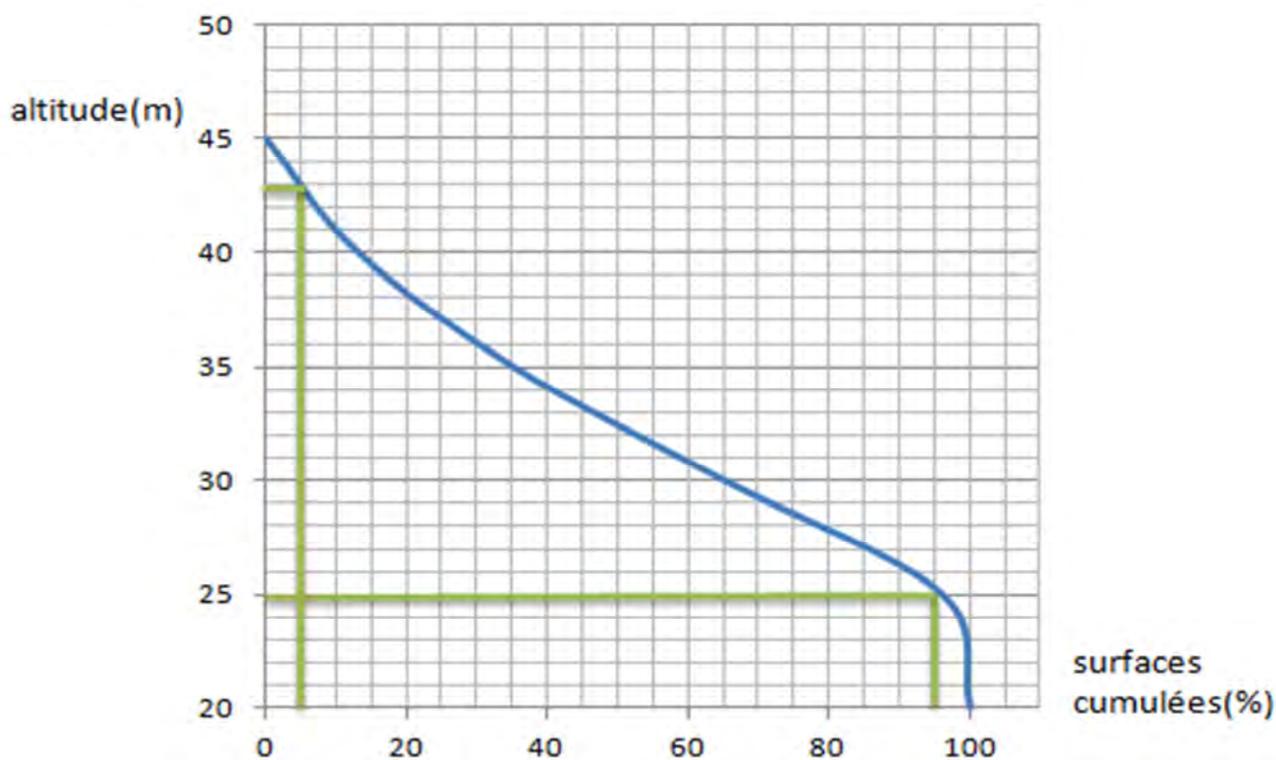


Figure 40 : Courbe hypsométrique du bassin de Banthiar

3.3.1.3.1.3 Analyse de la courbe hypsométrique

L'analyse de la courbe hypsométrique donne les résultats ci-dessous :

$$H_{5\%} = 43\text{m} ;$$

$$H_{95\%} = 25\text{m}.$$

3.3.1.3.1.4 Indice de compacité des bassins versants tributaires des lacs

$$Kc = \frac{P}{2\sqrt{\pi S}} = 0,28 \frac{P}{\sqrt{S}}$$

S : la surface du bassin versant (km²) ;

P : le périmètre du bassin versant (km).

En utilisant la formule ci-dessus, nous obtenons comme résultat :

Indice de compacité de Gravelius des bassins versants du lac Banthiar = 1,64

3.3.1.3.1.5 Longueur du rectangle équivalent

La longueur du rectangle équivalent se calcule par la formule ci-dessous.

$$L = \sqrt{S} \cdot \frac{K_c}{1,128} \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,128}{K_c} \right)^2} \right)$$

L : la longueur du rectangle équivalent (km) ;

S : la surface du bassin versant (km²) ;

K_c : indice de compacité.

Après résolution dans notre cas (K_c = 1,64 et S = 2,403 Km²), la valeur suivante a été trouvée :

Longueur L = 3,890 km

3.3.1.3.1.6 Indice de pente globale I_g

L'indice de pente globale est donné par la relation suivante $I_g = \frac{D}{L}$

D : dénivelée spécifique (H_{5%} - H_{95%}) définie sur la courbe hypsométrique ;

L : longueur du rectangle équivalent.

Cet indice sert de base à l'une des classifications ORSTOM (actuel IRD) pour des bassins versants dont la surface est de l'ordre de 25 km².

Selon la courbe hypsométrique

$$I_g = \frac{D}{L} = \frac{H_{5\%} - H_{95\%}}{L} = \frac{43 - 25}{3890}$$

$$I_g = 4,7 \text{ m / km}$$

Le résultat 0,002 m/m < I_g < 0,005 m/m est obtenu ; donc, d'après la classification d'ORSTOM, il est possible d'en conclure que notre relief est faible.

Le tableau 48 ci-dessous donne le récapitulatif des caractéristiques topographique des bassins versant du lac banthiar

Tableau 48 : Tableau récapitulatif des caractéristiques topographiques du lac Banthiar

S	Kc	L	H95%	H5%	Ig
2,403 Km ²	1,640	3,890 Km	25 m	43 m	4,627 m/Km

3.3.2 Topographie à l'échelle du lac

Le tableau 49 fournit les caractéristiques géométriques et topographiques du lac.

Tableau 49 : Caractéristiques spécifiques du lac Banthiar

Paramètres	Valeurs
Altitude de remplissage en (m)	25
Hauteur maximum de remplissage (m)	4
Surface de remplissage (m ²)	41 045
Volume de remplissage (m ³)	164 180

3.3.3 Conclusion

L'indice global de pente du bassin de Banthiar est égal à 4,7 m/km, soit 0,0047 m/m : il en ressort donc, que son relief est de type faible, caractérisé par une surface plane, des pentes relativement faibles et une basse altitude.

3.4 Topographie des bassins versants du barrage de Sebi-Ponty

Le barrage de Sébi - Ponty dispose de la plus grande surface de rétention de la zone. L'eau collectée dans ce barrage est essentiellement utilisée par les populations pour des besoins agro-pastoraux, mais des projets de pisciculture sont en vue avec la commune de Diamniadio.



Figure 41 : Photo du lac de Sébi-Ponty

La figure 42 ci-dessous donne un aperçu des bassins versant du lac de sébi-ponty

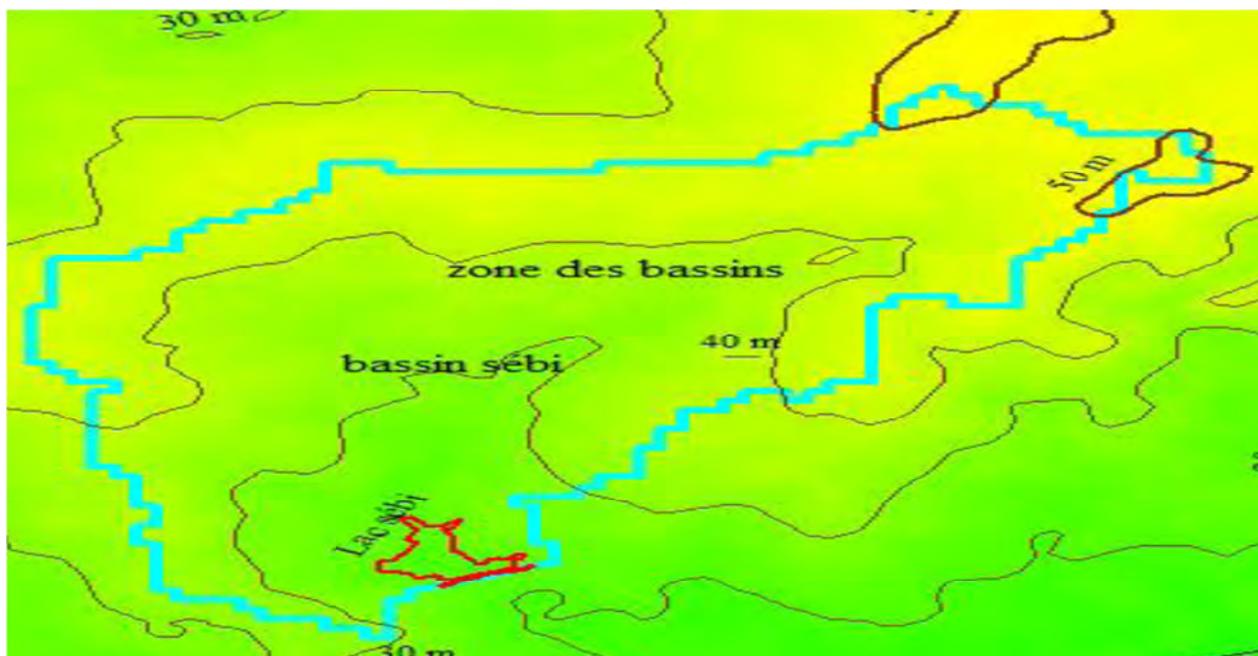


Figure 42 : Limites du bassin versant de Sébi-Ponty

3.4.1 Caractéristiques physiographiques des bassins versants

Toujours avec la même démarche, les caractéristiques physiographiques des bassins versants de la zone ont été déterminées.

Tableau 50 : caractéristiques des bassins versants tributaires

Périmètres (m)	Surfaces (m ²)
17 845	8 910 000

3.4.2 Caractéristiques topographiques des bassins versants

Nous avons utilisé le logiciel global mapper combiné à google earth pour déterminer les caractéristiques topographiques des bassins versants, à savoir, l'indice de pente et le tracé de la courbe hypsométrique

3.4.2.1 Indice de pente des bassins versants tributaires des lacs

L'indice de pente sera déterminé ici à partir du tracé de la courbe hypsométrique.

3.4.2.2 Tracé de la courbe hypsométrique

Sur le tableau 51 ci-dessous nous allons présenter les données utilisés pour tracer la courbe hypsométrique du lac sébi-ponty de la figure 43.

Tableau 51 : % surfaces obtenues entre les courbes de niveaux à Sébi Ponty

Altitudes	Surfaces	sur km	Superficie en %	% cumulé
22.5	0.506	0.506	5.531868372	100
27.5	1.124	1.124	12.28818192	94.47
32.5	1.93	1.93	21.09981415	82.18
37.5	1.993	1.993	21.78856456	61.08
42.5	2.124	2.124	23.22072811	39.291
47.5	1.47	1.47	16.0708429	16.07

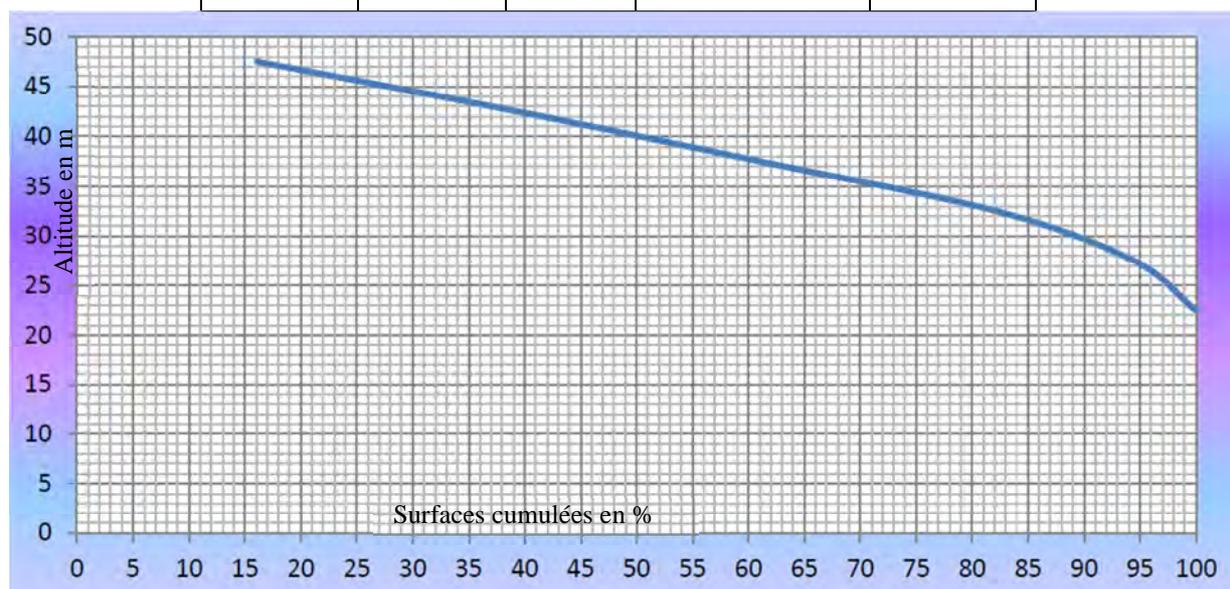


Figure 43 : Courbe hypsométrique Sébi Ponty

D'après la courbe hypsométrique, les résultats suivants ont été obtenus : $Z_{5\%} = 49,5$ m et

$Z_{95\%} = 27$ m

Tableau 52 : Tableau récapitulatif des caractéristiques topographiques du lac Sébi-Ponty

S	K_c	L	$H_{95\%}$	$H_{5\%}$	Ig
8,91 Km ²	1,674	7,700 Km	27,000 m	49,500 m	2,922 m/Km

3.4.3 Conclusion :

L'indice global de pente du bassin de Sébi-Ponty est égal à 2,922 m/km, soit 0,00292 m/m; il en découle donc, que son relief est de type faible, caractérisé par une surface plane, des pentes relativement faibles et une basse altitude.

3.5 Récapitulatif de la topographie des bassins versant des lacs

Les récapitulatifs des différents paramètres topographiques ci-dessous donnent la nature des bassins tributaires ainsi que les capacités des lacs.

Tableau 53 : Récapitulatif des caractéristiques spécifiques des lacs

Lacs	Altitude de remplissage en (m)	Hauteur maximum de remplissage (m)	Surface de remplissage (m ²)	Volume de remplissage (m ³)
Arbed	-4	4,98	36 490	77 330
Gruner	5,16	1,77	5 840	4 690
Djoudj	12,582	7,46	46 550	208 050
Banthiar	25	4	41 045	164 180
Sebi-Ponty	23	6,5	108 600	434 400

Tableau 54 : Tableau récapitulatif des caractéristiques topographiques des lacs

	S (Km ²)	K _c	L (Km)	H _{95%} (m)	H _{5%} (m)	I _g (m/Km)
Arbed	0,950	1,759	2,687	7,000	32,500	9,491
Djoudj	0,155	1,541	0,905	11,800	21,800	11,049
Sébi-Ponty	8,910	1,674	7,700	27,000	49,500	2,922
Banthiar	2,403	1,640	3,890	25,000	43,000	4,627

3.6 Conclusion

La connaissance du bassin versant revêt une importance capitale dans l'étude du lac. Elle permet d'avoir une vision globale sur les capacités de collecte en tenant compte de l'ensemble des activités agropastorales et industrielles développées le long de ces bassins versants qui ont un impact effectif sur l'alimentation du cours d'eau, laquelle est dictée par le déroulement des processus hydrologiques tributaires de la morphométrie et de la géologie du bassin versant.

QUATRIEME

CHAPITRE

BILAN

HYDROLOGIQUE

4 Bilan hydrologique

4.1 Les processus hydrologiques

L'étude d'un lac ne saurait se limiter essentiellement à l'évaluation critique des conditions climatiques et morphographiques, lesquelles influent sur la façon dont les phénomènes surviennent dans le bassin, entraînant ainsi une dynamique différente d'un bassin à un autre. En d'autres termes, les conditions climatiques et morphographiques impactent les principaux processus susceptibles de contribuer à la redistribution (tant verticale que latérale) des précipitations et à la genèse des composantes du bilan hydrologique.

La présente partie vise à procéder à une étude sommaire des processus conduisant au bilan hydrologique. Un accent particulier sera mis sur les forces, les paramètres en jeu et leurs interactions, tout en s'appuyant sur les principaux cheminements de l'eau comme fil conducteur, contribuant ainsi à déterminer comment les lacs s'alimentent.

Les précipitations directes constituent essentiellement la principale source d'eau suivies des écoulements souterrains, les écoulements de surface.

Dans les prochains paragraphes, ces phénomènes (à savoir es précipitations directes, les écoulements souterrains et de surface) seront caractérisés, les paramètres auxquels ils seront rattachés quantifiés afin de calculer les volumes générés en faisant le bilan hydrologique, ce qui nécessitera de déterminer chacune des différentes composantes du cycle de l'eau dans le bassin versant.

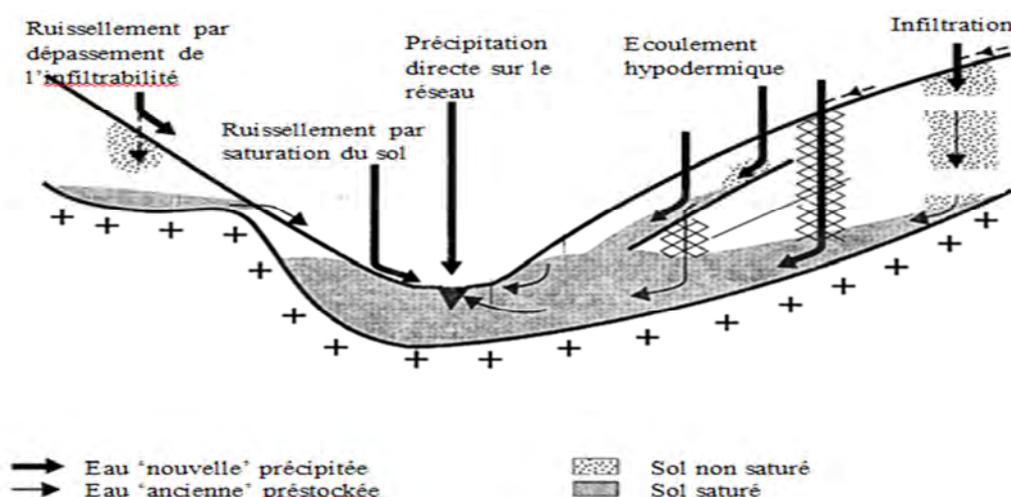


Figure 44: Processus de redistribution de l'eau précipitée

4.1.1 Rappels sur le cycle de l'eau

Le cycle de l'eau, aussi dénommé cycle hydrologique, correspond à l'ensemble des mouvements ou cheminements que peut prendre une particule d'eau, lesquels sont accompagnés de changements d'état, susceptibles de s'effectuer dans l'atmosphère, à la surface du sol et dans le sous-sol.

Les mécanismes régissant le cycle hydrologique ne surviennent pas seulement les uns à la suite des autres, mais également de manière concomitante. Il en découle, donc, que le cycle hydrologique ne connaît ni de commencement ni une fin. La vitesse avec laquelle l'eau circule est très variable, l'année étant généralement prise comme période de référence.

Ce cycle hydrologique peut commencer par la pluie qui tombe à la surface du sol et prendre plusieurs destinations :

- ☞ l'évaporation qui est la première priorité à satisfaire ;
- ☞ l'infiltration et le ruissellement (en fonction de l'intensité de la pluie et de la faculté du sol à absorber cette pluie) ;
- ☞ le ruissellement qui s'effectue suivant la ligne située sur la plus grande pente du sol qui s'achemine vers les cours d'eau et les mers, entraînant ainsi un phénomène de reprise par évaporation.

En sus de la pluie, ces trois (3) destinations représentent, en général, les termes du bilan hydrologique représenté à la figure 45.

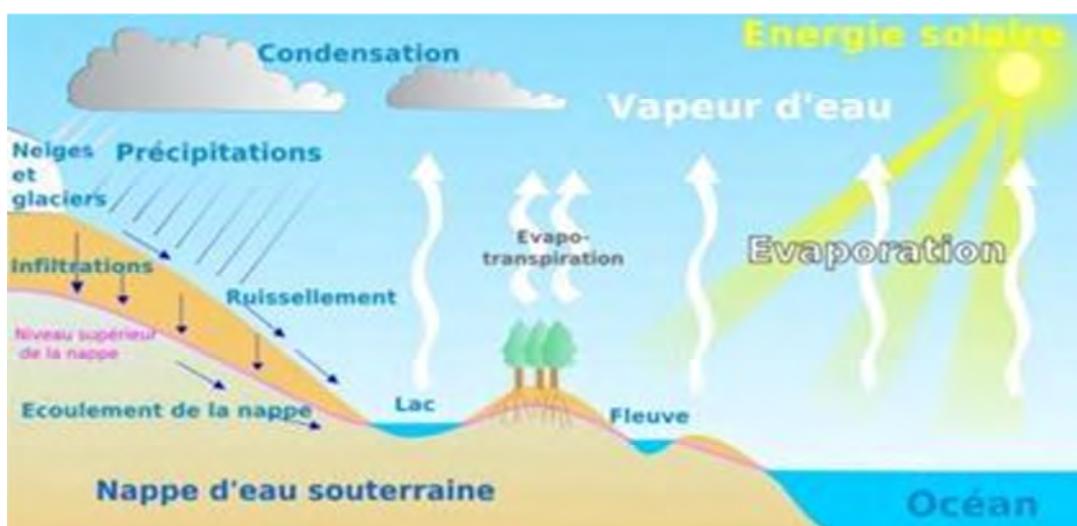


Figure 45 : Vue d'ensemble du cycle de l'eau

4.1.2 Précipitations directes sur la surface du cours d'eau

Parmi les processus de génération de crue, le premier qui peut être souligné est, à coup sûr, la contribution directe des précipitations sur la surface du cours d'eau. Ce type de processus reste, néanmoins, considéré comme marginal du fait que la surface couverte par le cours d'eau ne représente qu'une infime portion de la surface totale du bassin.

Dans le cas où le bassin versant développe un réseau hydrographique important suite à des précipitations de longue durée, cette composante peut devenir considérable.

Il convient de mentionner, toutefois, que le volume généré par ce processus reste évaluable via un calcul approximatif en utilisant la formule ci-dessous [12]:

$$V_d = P_{moy} \cdot S_{lac}$$

Avec V_d correspondant au volume généré par les précipitations directes en m^3 ;

P_{moy} représentant la pluviométrie moyenne annuelle en m;

S_{lac} : la surface du plan d'eau du lac en m^2 ;

4.1.3 Ecoulement souterrain ou infiltration

4.1.3.1 Le mécanisme

L'eau souterraine joue un rôle important dans la génération des écoulements. C'est sous ce rapport que plusieurs processus ont été invoqués afin de mettre en exergue la contribution de l'eau du sol. Il importe également de comprendre, sur un autre registre, comment l'eau, en se déplaçant lentement dans les sols, pouvait répondre à une sollicitation du bassin versant par un évènement pluvieux.

Les échanges souterrains qui se font avec la nappe sont essentiellement latéraux, sous l'effet des gradients de potentiel hydraulique total (gravitaire + hydrostatique) avec une conductivité hydraulique toujours constante et maximale tant que le milieu poreux est saturé. Ces échanges souterrains peuvent rejoindre le réseau hydrographique de surface à l'endroit où la topographie recoupe la surface piézométrique. Il peut s'avérer également que, dans certaines situations, la nappe souterraine n'apporte aucune contribution à la recharge du lac, notamment dans des climats semi-arides à arides où le module pluviométrique est faible. Lors des échanges souterrains, deux (2) cas de situation sont possibles (figure 47) : le cours d'eau peut alimenter la nappe (cas b) ou la drainer (cas a).

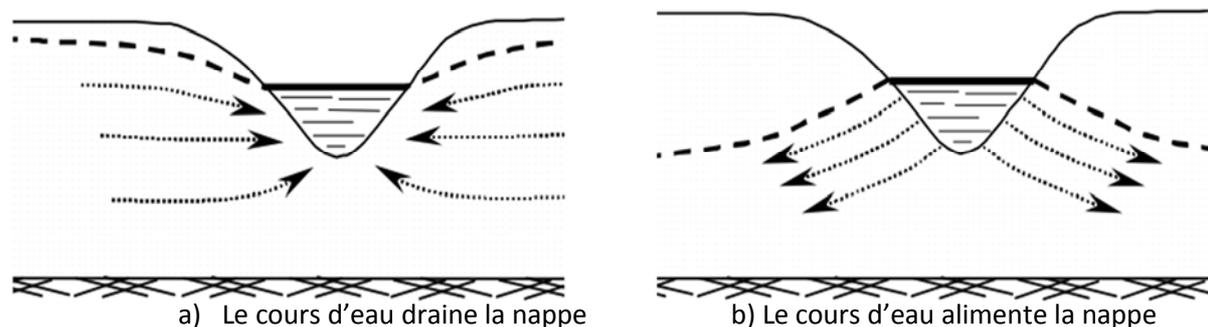


Figure 46 : Deux situations où la nappe peut contribuer au volume du lac.

Il convient de signaler, cependant, que ces échanges souterrains ne sont pas observés dans notre zone d'étude en raison de l'absence de nappe. Toutefois, cela ne signifie pas, pour autant, qu'il n'y a pas d'infiltration. En effet, le lac perd de l'eau par infiltration au courant de l'année du fait de la perméabilité de son lit.

4.1.3.2 Capacité d'infiltration du bassin

Le phénomène d'infiltration influe également sur les apports d'eau dans toute l'étendue du bassin versant durant les précipitations. Cette fraction de la pluie infiltrée dépend de la capacité d'infiltration du sol.

Dans des conditions déterminées, la capacité d'infiltration f d'un sol donné correspond à l'intensité maximale de pluie que ce sol est capable d'absorber lorsque l'intensité i de la pluie est supérieure ou égale f . L'excédent éventuel dû au débit pluvial sur le débit d'infiltration est utilisé d'abord pour compléter le stockage superficiel et ensuite ruisseler vers le réseau hydrographique. Cette capacité d'infiltration dépend du coefficient d'infiltration du terrain qui, par essence, se définit comme le rapport de la quantité de pluie infiltrée sur la quantité totale précipitée $C_i = \frac{L_i}{P}$ avec L_i correspondant à la lame d'eau infiltrée. Le coefficient d'infiltration dépend de plusieurs paramètres [2].

Pour un terrain, cette lame d'eau infiltrée se détermine grâce à deux (2) types de méthodes : les méthodes directes (infiltro-mètres) et les méthodes indirectes (analyse hydrographique). Par contre, s'il s'agit d'un bassin, la classification proposée par l'ORSTOM (actuel IRD) est utilisée voir (tableau 55).

Tableau 55: Classification de la perméabilité d'un bassin versant

Classe de perméabilité	Description
P1	Bassins rigoureusement imperméables (roches ou argiles)
P2	Bassins imperméables avec quelques zones perméables de faible étendue ou bassins homogènes presque imperméables.
P3	Bassins assez imperméables avec des zones perméables d'étendue notable ou bassins homogènes assez peu perméables.
P4	Bassins assez perméables (zone de décomposition granite avec abondance d'arènes).
P5	Bassins perméables (sable ou carapace latéritique très fissurée)

Au regard de cette classification (tableau 56), les différents bassins versants de notre zone peuvent être caractérisés.

Tel que mentionné précédemment dans l'étude géologique, l'importance de la proportion d'argile et la proximité du substratum marneux permettent de répertorier et catégoriser nos bassins selon leur degré de perméabilité P2 (bassin imperméable).

Tableau 56 : Classification de la perméabilité des bassins versants de la zone d'étude

Bassin	Description
Arbed	Bassins imperméables avec quelques zones perméables de faible étendue ou bassins homogènes presque imperméables.
Djoudj	Bassins imperméables avec quelques zones perméables de faible étendue ou bassins homogènes presque imperméables.
Gruner	Bassins imperméables avec quelques zones perméables de faible étendue ou bassins homogènes presque imperméables.
Banthiar	Bassins imperméables avec quelques zones perméables de faible étendue ou bassins homogènes presque imperméables.
Sebi-Ponty	Bassins imperméables avec quelques zones perméables de faible étendue ou bassins homogènes presque imperméables.

Il ressort que, pour toute notre zone d'étude, les bassins versants sont imperméables avec quelques zones perméables de faible étendue.

4.1.4 Ecoulement de surface (ruissellement)

4.1.4.1 Le mécanisme

Le terme ruissellement renvoie à l'écoulement par gravité à la surface du sol suivant la pente du terrain, et dans le micro-réseau hydrographique des eaux météoriques qui ont échappé à l'infiltration, à l'évaporation et au stockage superficiel [2].

Le ruissellement peut s'écouler durant un bout de temps entre l'instant où les premières gouttes d'eau d'une averse tombent en un point du bassin versant et celui où, corrélativement, une augmentation du débit à l'exutoire de celui-ci est observée.

Le processus se décline comme suit :

- Un premier temps correspond à la saturation progressive, mais jamais absolument complète, du terrain. Aucun ruissellement ne se produit tant que le taux de pluie ne dépasse pas la capacité d'infiltration du sol. Le temps de submersion t_s est ainsi défini comme la durée entre le début de la précipitation et le moment où la surface du sol est saturée. Il marque ainsi le début de l'écoulement. Pour un sol donné, il est d'autant plus court que l'intensité de la pluie est grande et que l'humidité initiale du sol est importante.
- Si l'intensité de la pluie excède cette capacité, un film d'eau se forme et s'écoule par gravité le long des pentes où son mouvement est plus ou moins freiné par les irrégularités et la couverture végétale du terrain. Une partie de cette eau qui ruisselle s'accumule d'abord dans les dépressions de la surface, les remplit, puis continue sa course en empruntant des micro-canaux dont la jonction forme des rigoles de plus en plus importantes, lesquelles se déversent à leur tour dans le réseau hydrographique proprement dit du bassin.
 - La dernière phase correspond à l'écoulement de l'eau dans le réseau hydrographique qui évacue vers le l'exutoire (vers le lac) le débit ruisselé.

La vitesse de ruissellement est beaucoup plus grande dans le réseau hydrographique que dans le film liquide qui s'écoule sur le sol, de sorte qu'une forte densité du réseau tendra à exalter la soudaineté et la violence des crues.

Le débit à l'exutoire croit avec l'arrivée successive de ruissellement provenant de zones du

bassin versant de plus en plus éloignées. Si l'averse dure suffisamment longtemps, il arrive un moment où l'ensemble du bassin versant « débite en ruissellement » vers le lac.

4.1.4.2 Détermination du coefficient de ruissellement

Pour un bassin versant donné, le coefficient de ruissellement varie d'une crue à une autre. Si des observations de pluie P et de lame d'eau ruisselée L_r sont disponibles pour plusieurs averses différentes, une relation $C_r = \frac{L_r}{P} = f(P)$ peut être établie à partir d'un graphique où sont reportées les observations [2].

Ce coefficient de ruissellement C_r est fonction de la pente du terrain, de la nature du sol, de la superficie du bassin versant et du couvert végétal.

Dans notre cas, la pluviométrie, les caractéristiques géologiques et pédologiques étant les mêmes pour toute la zone d'étude, le coefficient de ruissellement sera supposé constant. Il peut être déterminé selon plusieurs méthodes dont :

- la méthode de Rodier ;
- la modèle de Girard ;
- la méthode Dubreuil-Vuillaume ;
- la méthode basée sur le bilan d'eau des retenues.

Ces quatre (4) méthodes, aux caractéristiques et approches très différentes, sont présentées dans le bulletin d'irrigation et drainage de la FAO [13].

4.1.4.3 La méthode de Rodier

C'est la méthode qui a été utilisée pour déterminer le coefficient de ruissellement des bassins versants de notre zone d'étude. Elaborée dans les années 1970, la méthode de Rodier permet d'obtenir des informations sur les écoulements annuels de petits bassins versants de la zone tropicale et sahélienne ou du Sahel pour lesquels aucune observation n'est disponible.

La méthode de Rodier se fonde sur le concept de « bassin-type ». L'ensemble des bassins expérimentaux pour lesquels des informations étaient disponibles a été classé en fonction du régime hydrologique, de la surface du bassin, des caractéristiques des terrains et de la physiographie.

La méthode consiste à identifier, dans le catalogue des bassins-types, celui ou ceux ayant les

mêmes caractéristiques les plus voisins du bassin étudié pour estimer ainsi l'écoulement annuel de ce dernier.

La lame d'eau L_e écoulée dans le bassin de Sébikotane est donnée par :

$$L_e = \frac{3}{4}L_e(\text{Barlo}) + \frac{1}{4}L_e(\text{Gagara})$$

L'annexe 10 fournit les détails de calcul de L_e

Les lames d'eau $L_e(\text{Barlo})$ et $L_e(\text{Gagara})$ sont déterminées grâce à la médiane des trente (30) dernières années et l'abaque de Rodier.

P_{med} est calculé par la formule ci-dessous :

$$\text{C'est ainsi que } P_{med} = \frac{421,1 + 415,1}{2} = 418,1mm$$

L'annexe 11 fournit les détails de calcul de P_{med}

Avec cette valeur de P_{med} et la fréquence cumulée au dépassement = 0,5, les figures des annexes 12 et 13 ont été utilisées pour obtenir les valeurs de $L_e(\text{Barlo})$ et $L_e(\text{Gagara})$.

Ces valeurs lues donnent : (annexe 12 : $L_e(\text{Barlo}) = 46,74mm$ et annexe 13 : $L_e(\text{Gagara}) = 73,44mm$).

$$\text{Il en découle que } L_e = \frac{3}{4}.46,74 + \frac{1}{4}.73,44 = 53,415mm$$

$$\text{Donc } C_e = C_r = \frac{L_e}{P_{med}}$$

$$C_e = C_r = \frac{53,415}{418,1}$$

$$C_e = C_r = 12,8\%$$

4.1.5 Evaporation et évapotranspiration

Qu'elle soit retenue ou en transit dans les réservoirs de surface ou proches de la surface, l'eau superficielle ou subsuperficielle peut être reprise en partie, voire même en totalité par l'évapotranspiration, pour peu que l'énergie nécessaire soit disponible.

Ce retour différé de l'eau précipitée à l'atmosphère, sous forme de vapeur, joue un rôle majeur dans le cycle de l'eau. A tout moment et à tout endroit, les quantités d'eau ou d'énergie constituent un facteur limitant pour le flux évapotranspiré, selon leur disponibilité locale et/ou leur taux de renouvellement.

L'évaporation est contrôlée par le bilan radiatif des surfaces évaporantes ainsi que par les gradients des potentiels énergétiques que sont les températures (de l'air, de la surface, du sol), la vitesse de l'air, sa pression de vapeur, et le potentiel hydrique de l'eau dans le sol.

Elle combine en fait deux (2) processus élémentaires et complémentaires :

- la vaporisation de l'eau liquide est un processus de transformation consommant une quantité d'énergie mesurée par la chaleur latente de vaporisation. Elle nécessite une source importante, essentiellement radiative (rayonnement solaire) mais aussi thermique, ce qui dénote l'importance capitale de la durée d'insolation. La vaporisation tend à maintenir entre la surface évaporante et l'air ambiant un état d'équilibre, dans lequel l'air reste à une pression de vapeur saturante, laquelle, associée à l'humidité spécifique ainsi que le déficit de saturation augmente avec la température.
- l'évacuation de la vapeur d'eau produite dans l'atmosphère, nécessite un déséquilibre pour entretenir la vaporisation au niveau de la surface évaporante. : même si l'énergie est disponible, l'évaporation est nulle si l'air ambiant est saturé. Ce processus de transfert de vapeur s'opère par diffusion moléculaire et surtout par convection turbulente dans l'atmosphère.

En présence d'un couvert végétal qui intercepte une partie de l'énergie disponible, ce retour vers l'atmosphère de l'eau du sol inclut la transpiration de la végétation. C'est précisément ce qui explique l'origine du terme global d'évapotranspiration qui peut être quantifiée en utilisant différentes méthodes à caractère soit empirique (évapotranspiration potentielle) ou

expérimentale (évapotranspiration réelle).

La détermination des formules empiriques comme celle de Dalton-Rohwer, Penman-Monteith-FAO, Blaney-Criddle et de Romanenko est basée sur les conditions climatiques.

4.1.5.1 Les formules de Dalton (1802), Rohwer

$$E = f(u) * (e_s - e_a)$$

avec

E = flux de vapeur d'eau dans l'air (évaporé) ;

e_s = Tension de vapeur saturante de l'eau à T_{surf} ;

e_a = Tension de vapeur de l'air à la température T° à une hauteur choisie.

Cette équation a été simplifiée par Rohwer avec :

$$E = 0,484 * (1 + 0,6 * u) * (e_s - e_a) ;$$

u = vitesse du vent à la hauteur choisie.

Pour les calculs des pressions de vapeur saturante, la formule de Rankine peut être utilisée :

a. La formule de Rankine

La formule de Rankine (qui constitue une simplification de la formule de Dupré) donne des valeurs pour la pression de vapeur saturante de l'eau avec des coefficients légèrement différents (écart de 0,39 à 4,1 % sur la plage de 5 à 140 °C par rapport aux tables thermodynamiques):

$$\ln e_s = 13,7 - \frac{5120}{T}$$

avec :

- e_s : pression de vapeur saturante de l'eau, en atmosphères ;
- T : température absolue, en °K.

4.1.5.2 Les formules de Penman-Monteith-FAO (1998)

$$E = \frac{0,408\Delta(Rn - G) + \gamma \cdot \frac{900}{t + 273} \cdot u \cdot (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma \cdot (1 + 0,34u)}$$

E : Evaporation du plan d'eau (mm/j) ;

R_n : Radiation nette (MJm⁻² j⁻¹) ;

G : Flux de la chaleur du sol (MJm⁻² j⁻¹) ;

T : Température moyenne journalière (°C) ;

e_s : Pression saturante de la vapeur d'eau (KPa) ;

e_a : Pression actuelle de la vapeur d'eau (KPa) ;

Δ : Pente de la courbe de la pression de la vapeur (KPa⁰C⁻¹) ;

γ : Constante psychométrique (KPa⁰C⁻¹) ;

u : Vitesse moyenne du vent (m/s)

Détermination des paramètres de calcul :

$$\Rightarrow R_n = (1 - \alpha) * R_s - \sigma T_a^4 \left[0,34 - 0,139(e_a)^{0,5} \right] * \left(0,1 + 0,9 * \frac{n}{N} \right);$$

$$\Rightarrow R_s = \text{Illumination (MJ m}^{-2}\text{j}^{-1}) = \left(0,35 + 0,61 * \frac{n}{N} \right) * R_{so};$$

$\Rightarrow \alpha$ = valeur de l'albédo compris entre 0,03 et 0,1 ;

$\Rightarrow \sigma$ = Coefficient de S Boltzmann = $4,903 \times 10^{-9}$ MJ m⁻² jour⁻¹°K⁻⁴ ;

$\Rightarrow T_a$ = Température absolue (°K) = (T°C + 273) ;

$\Rightarrow n/N$ = Heures d'ensoleillement/heures ;

$\Rightarrow G$: flux de chaleur horaire dans le sol, il est fonction du rayonnement net (R_n) :

$$G = 0,1.R_n \text{ durant la journée (Rad} > 0) ;$$

$$G = 0,5.R_n \text{ durant la nuit (Rad} = 0) ;$$

$\Rightarrow e_s$: se calcule avec la formule de Rankine citée ci-dessus ;

$$\Rightarrow e_a = e_s \times Hr / 100 ;$$

$$\Rightarrow \gamma = 0,665 \times 10^{-3} \times P \quad (\text{en kPa} \cdot \text{°C}^{-1}) ;$$

$$\Rightarrow P = 101,3 * \left(\frac{293 - 0,0065 * z}{293} \right)^{5,26} \quad (P \text{ en kPa, } z \text{ l'altitude en m}) ;$$

$$\Rightarrow \Delta = \frac{4098 * \left[0,6108 * \exp\left(\frac{17,27 * T}{T + 237,3}\right) \right]}{(T + 237,3)^2} \quad (\Delta \text{ en kPa} \cdot \text{°C}^{-1}, T \text{ en °C.})$$

L'utilisation de la méthode de Penman-Monteith donne les valeurs ci-dessous qui sont très loin de celles mises à disposition par l'ANACIM.

Tableau 57 : Evaporation par la formule Penman-Monteith

	Δ	λ	γ	Ta	n/N	R _s	R _n	G	u
Janvier	0,16	2,45	0,07	294,68	0,31	23,27	20,35	2,04	5,04
Février	0,16	2,45	0,07	294,59	0,33	23,84	20,86	2,09	5,12
Mars	0,16	2,45	0,07	294,70	0,36	24,72	21,63	2,16	5,35
Avril	0,16	2,45	0,07	295,12	0,38	25,21	22,14	2,21	5,47
Mai	0,17	2,45	0,07	296,44	0,37	24,77	21,88	2,19	4,75
Juin	0,20	2,44	0,07	299,11	0,32	23,55	21,08	2,11	3,76
Juillet	0,22	2,44	0,07	300,58	0,29	22,87	20,61	2,06	3,55
Août	0,22	2,44	0,07	300,78	0,29	22,76	20,62	2,06	3,32
Septembre	0,22	2,44	0,07	300,92	0,29	22,65	20,56	2,06	3,05
Octobre	0,22	2,43	0,07	301,20	0,34	24,17	21,76	2,18	3,45
Novembre	0,20	2,44	0,07	299,50	0,34	23,96	21,25	2,13	4,54
Décembre	0,18	2,44	0,07	296,96	0,31	23,20	20,39	2,04	4,98

	T (°C)	RH (%)	e _s	e _a	ETP (mm/j)	ETP (mm/mois)
Janvier	21,7	67,0	2,5	1,7	8,1	251,8
Février	21,6	71,0	2,5	1,8	8,3	232,1
Mars	21,7	75,0	2,5	1,9	8,6	266,0
Avril	22,1	79,0	2,6	2,1	8,8	262,6
Mai	23,4	79,0	2,8	2,2	8,4	260,0
Juin	26,1	78,0	3,3	2,6	7,8	234,2
Juillet	27,6	77,0	3,6	2,8	7,6	236,0
Août	27,8	81,0	3,7	3,0	7,5	233,8
Septembre	27,9	82,0	3,7	3,0	7,4	223,2
Octobre	28,2	78,0	3,8	2,9	7,9	245,3
Novembre	26,5	70,0	3,4	2,4	8,1	243,8
Décembre	24,0	66,0	2,9	1,9	8,1	250,3
TOTAL						2938,96

4.1.5.3 Les formules de Blaney et Criddle (1950)

Cette méthode de Blaney-Criddle, fait intervenir la température moyenne mensuelle et le pourcentage d'éclairement du mois considéré. L'évapotranspiration (ETP) exprimée en mm/mois est la suivante :

$$ETP = 0,254 \times K \times P (1,8 T + 32).$$

T: Température moyenne mensuelle en °C ;

P: Pourcentage d'éclairement mensuel, fonction de la latitude de la zone d'étude ;

K : Coefficient fonction de la culture et de la zone climatique. (K=0,254)

Tableau 58 : Evaporation par la formule Blaney et Criddle

	T (°C)	nb heures diurnes du mois (-)	P (%)	ETP (mm/mois)
Janvier	21,7	230	8,1	145,3
Février	21,6	222	7,8	140,1
Mars	21,7	271	9,5	171,3
Avril	22,1	264	9,2	168,5
Mai	23,4	273	9,5	179,9
Juin	26,1	230	8,1	161,9
Juillet	27,6	219	7,7	158,9
Août	27,8	216	7,6	157,3
Septembre	27,9	206	7,2	150,5
Octobre	28,2	256	9,0	188,1
Novembre	26,5	242	8,5	171,3
Décembre	24,0	228	8,0	152,4
TOTAL				1945,55

4.1.5.4 La formule de Romanenko

$$ETP(mm) = 0,0018 * (T + 25)^2 * (100 - RH)$$

T = température moyenne mensuelle en °C ;

RH = humidité moyenne en %.

Le tableau ci-dessous répertorie les résultats des calculs fournis par la méthode de Romanenko

Tableau 59 : Evaporation par la formule de Romanenko

	T (°C)	RH (%)	ETP (mm/mois)
Janvier	21,7	67	129
Février	21,6	71	113
Mars	21,7	75	98
Avril	22,1	79	84
Mai	23,4	79	89
Juin	26,1	78	103
Juillet	27,6	77	114
Août	27,8	81	95
Septembre	27,9	82	91
Octobre	28,2	78	112
Novembre	26,5	70	143
Décembre	24,0	66	147
TOTAL			1319,37

Le récapitulatif des résultats obtenus via les formules empiriques est consigné dans le tableau ci-dessous :

Tableau 60 : Récapitulatif des résultats de la méthode empirique

Méthode	<i>Penman-Monteith</i>	<i>Blaney et Criddle</i>	<i>Romanenko</i>	<i>ANACIM</i>
Evaporation annuelle (mm)	2938,96	1945,55	1319,37	990,2

4.1.5.5 Conclusion

L'évaporation est un paramètre très difficile à maîtriser et souvent déterminée par calcul ou mesure. Il s'y ajoute que les formules utilisées pour la calculer sont souvent empiriques.

Dans le cadre de la conduite de notre thèse, nous avons pu procéder à des calculs avec quelques-unes de ces formules. Les résultats suivants ont été trouvés : i) 2938,96 mm par an avec la formule de Penman-Monteith ; ii) 1945,55 mm par ans avec Blaney et Criddle ; iii) 1319,37 mm avec Romanenk, iv) au moment où les valeurs de l'ANACIM collectées par mesure à la station de Dakar Yoff donnent 990,2 mm par an.

Les calculs du bilan hydrologique seront poursuivis avec les valeurs de l'ANACIM, lesquelles ont été mesurées pour Dakar - Yoff et consignées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 61 : Tableau des évaporations annuelles

Années	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Annuel
1984	4,8	4,8	2,8	2,9	2,5	2,5	2,5	2,6	2,5	2,6	3,9	3,9	38,3
1985	2,6	3,2	3,8	3,2	2,3	2,6	3,0	2,0	1,9	2,4	3,2	4,8	35,0
1986	3,8	2,6	3,2	2,6	2,4	2,4	2,9	2,2	1,4	2,1	3,8	3,9	33,3
1987	2,8	3,3	3,2	2,7	2,5	2,6	2,6	2,2	1,7	2,2	3,3	4,7	33,8
1988	3,2	2,0	2,7	2,2	2,3	2,2	2,6	1,9	1,4	1,9	3,2	3,8	29,4
1989	2,7	2,7	2,4	2,4	2,2	2,4	2,0	1,5	1,6	2,0	1,8	3,1	26,8
1990	2,7	2,8	2,4	2,5	2,3	2,4	2,0	1,6	1,6	2,0	1,8	3,2	27,3
1991	2,7	2,7	2,2	2,3	2,1	2,0	2,7	2,3	1,9	2,9	3,8	3,6	31,2
1992	3,1	2,3	3,0	2,3	2,1	2,5	2,5	2,3	2,0	3,1	4,5	3,3	33,0
1993	3,4	2,6	2,4	2,2	2,7	2,3	2,7	2,4	2,1	2,4	3,0	3,5	31,7
1994	3,7	3,1	2,6	2,7	2,0	2,3	2,8	1,9	2,0	2,6	3,1	4,3	33,1
1995	4,1	3,1	2,1	2,2	2,1	2,2	2,8	2,1	1,9	2,6	2,9	2,8	30,9
1996	2,5	2,3	2,1	1,8	2,8	2,7	2,7	2,3	2,0	2,3	3,7	3,4	30,6
1997	3,0	3,9	3,3	2,0	2,2	2,3	2,5	2,3	1,9	2,3	3,2	3,0	31,9
1998	3,1	2,4	2,7	2,6	2,4	2,3	2,6	2,3	1,8	2,5	3,6	3,3	31,6
1999	2,7	2,7	2,0	1,7	1,8	2,3	2,3	2,0	1,6	2,2	2,1	3,4	26,8
2000	2,6	3,3	3,1	2,4	1,9	2,0	2,2	1,4	1,7	1,6	2,8	3,0	28,0
2001	2,6	3,4	2,5	2,3	2,1	2,2	2,1	2,2	1,9	2,3	3,8	3,1	30,5
2002	2,9	3,0	2,6	2,1	2,1	2,5	2,9	2,3	2,0	2,1	3,4	3,1	31,0
2003	5,3	2,2	2,7	2,6	2,3	2,4	2,6	2,3	1,9	2,5	3,6	4,0	34,4
2004	3,7	3,0	3,1	2,4	2,4	x	2,9	2,4	2,0	2,5	3,5	3,3	31,2
2005	3,7	3,0	2,7	2,7	2,7	3,3	2,8	2,4	2,0	2,1	3,8	4,1	35,3
2006	3,9	3,0	2,9	2,0	2,4	2,6	2,8	2,6	1,8	2,9	1,6	4,4	32,9
2007	4,4	3,4	3,2	2,2	2,5	2,1	2,7	2,2	2,1	2,8	3,6	4,1	35,3
2008	5,3	3,4	2,6	2,3	2,7	2,6	2,8	2,4	2,5	2,6	3,5	4,2	36,9
2009	4,1	2,6	2,2	2,2	2,2	2,5	2,7	1,9	1,7	2,8	3,5	2,9	31,3
2010	3,2	2,8	2,9	2,2	2,6	2,8	2,9	2,4	1,7	2,5	3,6	2,9	32,5
2011	4,3	4,0	2,3	2,2	2,4	2,8	3,0	2,2	2,1	3,3	3,6	3,2	35,4
2012	5,1	2,4	4,3	2,7	2,4	2,4	2,8	2,3	1,8	2,6	3,7	5,5	38,0
2013	4,6	3,9	3,0	2,5	2,7	3,0	3,0	2,1	1,9	2,7	3,5	3,6	36,5
2014	3,0	3,8	2,6	2,6	2,3	3,5	3,3	2,8	2,3	2,9	4,1	4,9	38,1

Il s'avère donc important de bien connaître les relations entre les niveaux des lacs d'une part mais également les paramètres climatiques actuels d'autre part afin de gérer, au mieux, cette ressource naturelle. Sous ce rapport, l'ensemble de données qui précèdent facilite l'établissement du bilan hydrologique pour chacun des lacs.

4.2 Bilan hydrologique

L'estimation des bilans hydrologiques des différents lacs est réalisée dans ce chapitre. Le remplissage de ces bassins de rétention s'effectue principalement par ruissellement des précipitations reçues par leurs bassins-versants respectifs.

Les variations (moyenne annuelle et interannuelle) d'un niveau lacustre, et les variations consécutives du volume des eaux résultent de l'équilibre réalisé dans la cuvette entre les apports et les pertes en eau. Dès lors, il s'avère utile d'établir, comme pour les cours d'eau, un bilan hydrologique annuel, saisonnier, voire mensuel, à l'échelle d'une longue période d'observations (1985-2014). Les apports et pertes en eau peuvent être schématisés avec la formule ci-dessous :

Dans le cadre des lacs étudiés, les précipitations constituent l'apport hydrologique du plan d'eau. Au pas de temps mensuel, le bilan hydrologique peut s'écrire ainsi :

$$P + R - E - I + / - \Delta St = 0$$

Où :

P : volume d'eau équivalent aux précipitations reçues par le plan d'eau en m³;

R : volume d'eau issu du ruissellement sur le bassin-versant en m³;

E : volume d'eau équivalent aux pertes par évaporation du plan d'eau en m³;

I : volume d'infiltration en m³;

ΔSt : variations de volume du lac au pas de temps mensuel (en m³) : lorsque ΔSt est positif, le niveau du lac a augmenté, les apports sont supérieurs aux pertes ; cependant, lorsque ΔSt est négatif, le niveau du lac a diminué, les pertes deviennent prépondérantes.

Les bilans hydrologiques seront établis pour deux (2) périodes de l'année médiane et de l'année moyenne.

4.2.1 La zone SOCOCIM

4.2.2 Calcul des eaux de pluie collectées

4.2.2.1 Données climatiques de Dakar (météorologie nationale (1984-2013) prises en compte pour les calculs)

Tableau 62 : Données de base sur la pluie l'évaporation et l'infiltration

PLUIE (mm)	
Valeur Médiane	418,1 mm/an
Valeur Moyenne	399,075 mm/an
EVAPORATION (mm)	
Moyenne annuelle	990,2 mm/an
INFILTRATION	
Coefficient d'infiltration	7,2%
Coefficient d'apport	25%

NB : Le coefficient d'infiltration de 7,2% a été fourni par la cartographie du potentiel d'infiltration des sols. Dans les calculs, cette valeur a été adoptée comme étant le coefficient d'infiltration des parois de chacun des lacs.

4.2.2.2 Calcul des volumes des eaux collectées dans chaque lac

Il s'agit de faire le bilan hydrologique au niveau de chaque lac successivement, pour une année médiane et pour une année moyenne.

4.2.2.2.1 Lac Gruner

Le bilan hydrologique a été établi à l'aide des données pluviométriques d'une année moyenne pour la période allant du mois de mai au mois d'octobre.

Pour ce lac Gruner signalons qu'il déverse gravitairement son volume vers le lac Arbed, ce qui fait le phénomène d'évaporation a été négligé.

Le tableau 63 donne le bilan hydrologique du lac Gruner

Tableau 63 : Bilans hydrologiques mensuels au niveau du lac Gruner (valeurs m3)

Mois	Volume Ruisselé (m ³)	Bilan (m ³)
Mai	2	2
Juin	446	446
Juillet	2573	2 573
Août	8385	8 385
Septembre	6732	6 731
Octobre	1102	1 102
Année	19 240	19 240

4.2.2.2.2 Le lac Arbed

Le bilan hydrologique a été établi à l'aide des données pluviométriques d'une année moyenne pour la période allant du mois de mai au mois de décembre.

Le volume moyen disponible au niveau de la retenue du lac Arbed pour une année moyenne est fourni dans le tableau 64.

Tableau 64 : Bilans hydrologiques mensuels au niveau du lac ARBED en année moyenne (valeurs m³)

Mois	Volume Ruisselé (m ³)	Evaporation (m ³)	Infiltration (m ³)	Bilan (m ³)
Mai	12	-	-	12
Juin	2537	-	24	2 959,3
Juillet	14633	-	140	20 025,5
Août	47678	2 451	457	73 180,7
Septembre	38276	2 058	367	115 763,4
Octobre	6267	2 768	60	120 304,6
Novembre	0	3 591	-	116 714,0
Décembre	0	4 125	-	112 588,9
Année	109 404	14 992	1 049	112 589

4.2.2.2.3 Le lac Djoudj

Le bilan hydrologique a été établi à l'aide des données pluviométriques d'une année moyenne pour la période allant du mois de Juin au mois de Mai.

Le volume moyen disponible au niveau de la retenue du lac Djoudj pour une année moyenne est fourni dans le tableau 65.

Tableau 65 : Bilans hydrologiques mensuels au niveau du lac Djoudj (valeurs m³)

Mois	Volume Ruisselé (m ³)	Evaporation (m ³)	Infiltration (m ³)	Bilan (m ³)
Juin	794	-	-	794
Juillet	4559	444	319	4 590
Août	14845	2 565	583	16 288
Septembre	11917	2 625	468	25 112
Octobre	1955	3 531	77	23 459
Novembre	0	4 581	-	18 879
Décembre	0	5 262	-	126 206
Janvier	0	5 128	-	121 078
Février	0	3 906	-	117 172
Mars	0	3 992	-	113 180
Avril	0	3 310	-	109 870
Mai	0	3 372	-	106 498
Année	34 070	38 716	1 447	106 498

Le tableau 65 appelle les commentaires suivants :

- ☞ du mois de juin au mois de novembre, le volume accumulé dans le lac Djoudj est dû essentiellement au ruissellement du bassin versant dont le lac est tributaire.
- ☞ du mois de décembre au mois de janvier, le volume accumulé tient compte des apports du lac Arbed par pompage et refoulement.
- ☞ du mois de février au mois de mai le volume accumulé dans le lac Djoudj baisse du fait du prélèvement pour l'utilisation industrielle et des pertes (infiltration et évaporation).

4.2.2.2.3.1 Besoins en eau industriels de la SOCOCIM :

Les débits relevés au niveau du compteur de la SDE s'étendent sur la période du 15 février 2012 au 05 décembre 2012 et représentent un volume journalier moyen de **1376 m³**, ce qui équivaut à un volume mensuel de **41 295 m³** et un volume annuel moyen de **502 417 m³**.

Tableau 66 : Consommation eau injection

Machine	Besoin horaire (m ³ /h)	Besoin horaire moyenne (m ³ /h)
BK6	4,5	4,5
Four 5	10 - 30	20
Four 4	0 - 30	15
KRUP	0 - 30	15
ELEX	0 - 16	8
TOTAL		62,5

Ce débit horaire de **62,5 m³/h** correspond à un besoin journalier de **1500 m³** d'eau pour injection au BK6, Four 5, Four 4, KRUP, ELEX, ce qui donne un besoin mensuel de **45 000 m³** et un besoin annuel de **547 500 m³**.

4.2.2.2.3.2 Conclusion :

Il importe de signaler que le besoin en eau de la SOCOCIM est largement supérieur à la capacité de collecte et de stockage de ses lacs. Pour un besoin annuelle de 547 500 m³, ces lacs ont un bilan global de collecte de 106 498 m³.

4.2.2.2.4 Le lac Banthiar

Il a été constaté qu'au niveau du lac Banthiar, sur un volume moyen de 256 000 m³ capturé par le barrage, seuls 117 000 m³ est utilisable par les cultivateurs et les éleveurs. Plus de 54% (138 000 m³) est perdu par évaporation (26% du volume global) et par trop plein (27% du volume globale), le volume perdu par infiltration étant négligeable (1 180 m³).

Les bilans hydrologiques mensuels du lac Banthiar sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 67 : Bilans hydrologiques mensuels au niveau du lac Banthiar (valeurs m³)

Mois	Volume Ruisselé (m ³)	Evaporation (m ³)	Infiltration (m ³)	Perte par trop plein (m ³)	Bilan (m ³)
Juin	5969	242	27		5 700
Juillet	34272	906	158		38908
Août	111672	6 457	514		143 610
Septembre	89659	6 177	413	62 498	164 180
Octobre	14697	7 722	68	6 907	164 180
Novembre	0	7 030	-		157 149
Décembre	0	6 255	-		150 895
Janvier	0	5 966	-		144 929
Février	0	5752	-		139 177
Mars	0	7030	-		132 147
Avril	0	6917	-		125 231
Mai	0	7383	-		117 848
Année	256 268,74	67 836	1 180	69 405	117 848

4.2.2.2.5 Le lac Sébi Ponty

Sur un volume moyen de 932 000 m³ capturé par le barrage, 748 000 est utilisable pour les besoins agropastoraux, ce qui représente 80%.

Les bilans hydrologiques mensuels du lac de Sébi-Ponty sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 68 : Bilans hydrologiques mensuels au niveau du lac Sébi-Ponty (valeurs m³)

Mois	Volume Ruisselé (m ³)	Evaporation (m ³)	Infiltration (m ³)	Bilan (m ³)
Juin	21726	879	73	20 774
Juillet	124748	3301	418	141803
Août	406481	17 083	1 360	529 841
Septembre	326353	16 345	1 092	838 757
Octobre	53497	20 432	179	871 642
Novembre	0	18 602	668	852 372
Décembre	0	16 550	-	835 822
Janvier	0	15 785	-	820 038
Février	0	15219	-	804 819
Mars	0	18600	-	786 219
Avril	0	18300	-	767 919
Mai	0	19534	-	748 385
Année	932 805	180 629	3 790	748 385

4.2.2.2.6 Récapitulatif

Ci-dessous le tableau récapitulatif des bilans des différents bassins de la zone d'étude

Tableau 69 : Récapitulatif du bilan des bassins

	Gruner	Djoudj	Arbed	Banthiar	Sebi-Ponty
Bilan hydrologique en m ³ (annuel)	19 240	106 498	112 589	117 848	748 385

4.3 Conclusion

L'existence des lacs dépend d'un équilibre entre les apports hydriques et les pertes par évaporation. La détermination du bilan hydrologique permet ainsi de mettre en avant le caractère aride de cette région par l'existence d'un déficit pluviométrique important couplé à des données climatiques aggravantes (insolation élevée, températures fortes...). Ainsi par les bassins versants, les lacs reçoivent directement, par le biais des précipitations, **1 351 788 m³** d'eau alors que **302 172 m³** sont prélevés chaque année par évaporation, **7 466 m³** par infiltration et **69 405 m³** par trop plein.

Sur l'ensemble des lacs, l'apport d'eau annuel lié aux précipitations est d'environ **1 351 788 m³**, mais seulement **972 745 m³** sont directement utilisables, soit **71,96 %** d'apport d'eau annuel. Ce rapport est probablement variable d'une année à l'autre, mais il doit conserver cet ordre de grandeur.

L'évaporation, largement tributaire de facteurs astronomiques, est probablement peu variable d'une année à l'autre. Elle constitue le facteur de pertes le plus élevé entraînant l'essentiel des

fluctuations du niveau des lacs. Cette évaporation dépend fortement du niveau des lacs, et du volume lié aux apports pluviaux.

Le bilan des lacs (Arbed, Gruner, Djoudj, Banthiar, Sebi-Ponty) est donc pluvial et évaporatif parce que dominé par la pluie et l'évaporation qui conditionnent l'ensemble des fluctuations de leur niveau.

CINQUIEME CHAPITRE QUALITE DES EAUX DES LACS

5 Qualité des eaux des lacs

Malgré la connaissance de l'importance de l'eau aussi bien dans la vie humaine, animale, industrielle que végétale, l'homme continue à la polluer de manière volontaire. L'utilisation d'engrais excessifs, la pollution atmosphérique, le lessivage des sols, le mauvais traitement des eaux usées se classent parmi les principales sources de pollution. Or les précipitations constituent la principale source de vie pour les agriculteurs, leur bétail, leurs cultures et exigent une certaine qualité. Elles dépendent des conditions atmosphériques du secteur et exigent normalement la construction de barrages et de réservoirs pour un stockage à long terme. L'eau, cette ressource vitale est au centre de nombreux processus industriels et agricoles, notamment via le lavage, l'arrosage, l'évacuation des déchets, le refroidissement des installations ou le fonctionnement des chaudières dans l'industrie. Cependant, le refroidissement des gaz représente la principale source de consommation dans les cimenteries comme la SOCOCIM et n'exige pas une très grande qualité. La présente partie est consacrée à l'étude des propriétés physico-chimiques et organoleptiques des lacs artificiels de Djoudj, Arbed et Sébi-Ponty.

Certains paramètres jugés importants ou néfastes pour l'agriculture ou le développement agricole, pastoral et piscicole seront analysés afin de pouvoir apprécier la qualité de l'eau.

Suite à l'inventaire des appareils utilisés, il sera ensuite procédé à la présentation de la théorie générale des caractéristiques des eaux notamment les propriétés organoleptiques, les caractéristiques physiques ainsi que les paramètres requis pour un usage agricole de l'eau. A terme, les résultats des analyses seront présentés pour chaque lac.

Il convient, toutefois, de signaler que l'examen microscopique et les analyses bactériologiques ne sont pas abordés dans cette partie.

5.1 Matériels utilisés

Plusieurs appareils ont été utilisés lors des prélèvements et des essais parmi lesquels figurent respectivement :

Appareils de prélèvements

- ☞ une glacière pour la conservation des échantillons ;
- ☞ une mallette d'analyse d'eau comprenant un conductimètre assortie d'un thermomètre incorporé ;

- ☞ un pH mètre de marque Hanna ;
- ☞ un appareil photo numérique ;
- ☞ un water samplers pour les prélèvements en profondeur ;
- ☞ des flacons de 500 ml étiquetés mentionnant l'origine, le lieu, la date et l'heure de prélèvement.

Appareil d'analyse au laboratoire

- ☞ un spectrophotomètre AL 800 ;
- ☞ des réactifs pour les différents dosages ;
- ☞ des cuvettes ;
- ☞ des agitateurs ;
- ☞ des béchers, des fioles et des pipettes.

5.2 Méthodologie

Dans le cadre de cette étude, des prélèvements d'eau ont été effectués dans les lacs à différents endroits pour l'obtention de résultats représentatifs des milieux. Pour ce faire, cinq (5) campagnes de prélèvement ont été effectuées à la SOCOCIM dont la première a eu lieu en février et la deuxième en mai. Ces deux (2) premières campagnes ont été faites entre 18h 30 et 20h. Les échantillonnages restants se sont déroulés entre 11h et 13h en octobre, novembre et décembre. A la SOCOCIM, tous les prélèvements ont eu lieu à Djoudj et Arbed à des profondeurs différentes grâce au water samplers en prenant toujours appui sur le dock flottant des différents lacs. Des prélèvements superficiels ont également été faits au tour des lacs dans les zones accessibles.

Cette année, du fait de l'absence d'eau dans la retenue du Sébi-Ponty à partir du mois de février, trois (3) campagnes de prélèvements sont effectuées entre 15h et 19h au début des mois d'octobre, novembre et décembre. Ils ont été effectués à différents endroits caractérisés par de fortes activités humaines comme les zones de baignade et les lieux de prélèvement sur une profondeur maximale de 1m. Pour des raisons de sécurité et de manque de matériel de navigation, cette profondeur de 1m n'a pas été dépassée.

L'ancienne station de prise se situant au centre du lac devrait servir de support ; cependant, elle est devenue impraticable suite au vol de ferraille ; ce qui explique la contrainte de se limiter à cette profondeur.

Après l'échantillonnage, les flacons sont conservés dans une glacière afin d'éviter les réactions éventuelles pouvant changer la composition chimique de l'eau. Hormis le pH, la conductivité et la température effectués sur place, tous les essais ont été faits au laboratoire de l'Ecole Polytechnique de Thiès avec le spectrophotomètre. Ce travail a été mené avec une étudiante en Master 2 en Génies et Energies renouvelables du nom de Ndèye Ndira SENE.

5.3 Théorie de la caractéristique des eaux

5.3.1 Propriétés organoleptiques

5.3.1.1 La turbidité

Les deux (2) propriétés les plus importantes des eaux naturelles sont la turbidité et la couleur. La turbidité est une notion encore plus subjective que la notion de couleur. Elle est définie comme l'inverse de la limpidité ou de la transparence. Une eau turbide est donc plus ou moins trouble. En limnologie (étude physico-chimique et biologique des lacs), on mesure la transparence d'une eau en fonction de la profondeur maximale à laquelle un objet immergé peut être perçu distinctement. Elle résulte de la présence de matière en suspension dans l'eau. Ces matières peuvent être de la vase, de l'argile, du limon, du plancton, de fines particules de matières organiques et inorganiques ainsi que des organismes microscopiques. Déterminer la turbidité, c'est mesurer une propriété optique de l'eau résultant de la dispersion et de l'absorption de la lumière par les particules présentes.

5.3.1.2 La couleur

Les eaux naturelles sont toujours plus ou moins colorées. Leurs couleurs varient du jaune paille à peine perceptible au brun rougeâtre, selon la nature et la concentration des matières colorantes. Ces matières sont le plus souvent d'origine naturelle ou proviennent de la dégradation des matières végétales : bois, lignine, écorce, tanin. Le degré de couleur d'une eau dépend non seulement de la concentration en matières colorantes, mais aussi du pH et la conductivité. Les substances colorantes ont souvent un caractère acide faible et à pH plus élevé, leur dissociation s'accompagne de variations de couleur (l'unité de la couleur 1mg/l de platine ou encore platino-cobalt ou unité de couleur vrai uCV).

5.3.1.3 La température

C'est un paramètre important pour la solubilité des sels et des gaz dans l'eau, notamment l'oxygène qui est fondamental pour les organismes vivants et l'oxydation des déchets. La

température de l'eau est un élément de confort pour les usagers. Elle permet également de corriger les paramètres d'analyse dont les valeurs sont liées à la température (conductivité notamment) et est déterminée sur le terrain à l'aide du conductimètre. Dans les eaux naturelles et au-dessus de 20°C, elle entraîne un risque de croissance accélérée de micro-organismes, d'algues, entraînant des goûts et des odeurs désagréables ainsi qu'une augmentation de la couleur et de la turbidité. De plus, comme la solubilité des gaz diminue quand la température augmente, la teneur d'oxygène dissous diminue, affectant l'autoépuration des lacs, ce qui est néfaste pour la faune. De même, une augmentation de température provoque l'accélération des réactions chimiques et une forte consommation en oxydation. Les données de températures disponibles sont fragmentaires et ne peuvent pas donner une idée sur les variations à court terme (variations journalières), ainsi que celles à moyen terme (variations saisonnières).

5.3.2 Les caractéristiques physico-chimiques

5.3.2.1 La conductivité

La conductivité électrique traduit la capacité d'une solution aqueuse à conduire le courant électrique. La conductivité électrique donne une indication sur la minéralisation globale de cette eau. Les molécules de sels se dissocient en paires d'ions lorsqu'elles entrent en solution dans l'eau. Ces paires d'ions sont porteuses de charges électriques et de ce fait, autorisent le passage du courant dans l'eau. Plus l'eau est minéralisée, plus il y'a d'ions et, par conséquent, plus la conductivité sera élevée. Cette mesure ne permet pas la détermination des ions responsables de la conductivité mais plutôt les constituants globaux dissous dans l'eau. Généralement, le calcium et le magnésium contribuent le plus à la conductivité et cette propriété augmente avec la température, ce qui dénote de l'importance de procéder à des tests planifiés à des heures fixes et sur le terrain. L'unité de mesure communément utilisée est le Siemens (S/cm) souvent exprimé en micro siemens/cm ($\mu\text{S/cm}$) ou milli-siemens (mS/cm).

5.3.2.2 Le pH

Le pH mesure la concentration des ions H⁺. L'eau naturelle pure est neutre, c'est à dire qu'elle a un pH égal à 7. Le pH d'une eau représente son acidité ou son alcalinité, il varie entre 0 - 14 et est un indicateur important de la qualité d'une eau. Ce paramètre conditionne un grand nombre d'équilibres physico-chimiques entre l'eau, le gaz carbonique dissous, les carbonates et les bicarbonates qui constituent des solutions tamponnées conférant à la vie

aquatique un développement favorable. Le pH dépend de facteurs multiples, dont l'origine de l'eau, la nature géologique des sols traversés et du bassin versant. Les organismes vivants sont très sensibles aux variations brutales, même limitées. C'est un paramètre physico-chimique qui influe sur l'équilibre ionique des autres éléments en augmentant ou diminuant leur toxicité.

5.3.2.3 La dureté

Les eaux naturelles contiennent toujours des sels minéraux et une grande part de l'analyse chimique consiste à doser les cations et les anions les plus abondantes. Dans les eaux naturelles, ces cations sont le calcium et le magnésium, le sodium Na^+ enfin le potassium K^+ . Ce sont essentiellement les ions Ca^{2+} et Mg^{2+} qui sont responsables de la dureté et agissent avec le savon. La dissolution du calcaire et du magnésium résulte principalement de l'infiltration des eaux de surface à travers des formations rocheuses calcaires et dolomitiques. Le carbonate de calcium dissous dans l'eau a naturellement tendance à se précipiter, c'est-à-dire qu'il reprend sa forme solide sous certaines conditions parmi lesquelles la température aura l'influence la plus importante. En effet, lorsqu'une eau dure est chauffée au-delà de 60°C , un précipité insoluble appelé tartre ou calcaire se forme et se dépose ainsi sur les résistances des appareils comme les bouilloires, chauffe-eau, lave-linge, lave-vaisselle... Lorsque les résistances chauffantes de ces appareils sont entartrées, la consommation énergétique s'élève parfois très fortement, altérant ainsi à la fois la qualité de fonctionnement et à la durée de vie des appareils. L'efficacité des détergents diminue également avec la dureté de l'eau ; il faudra donc en utiliser une quantité toujours plus importante, entraînant ainsi une augmentation accrue de la pollution des eaux et les coûts.

5.3.2.4 L'alcalinité

L'alcalinité est une mesure de la capacité de l'eau à neutraliser les acides, un peu comme le pouvoir tampon de l'eau. En d'autres termes, l'alcalinité mesure la résistance à tout changement de pH. Le pouvoir neutralisant de l'eau est attribué principalement à la présence de bicarbonates de calcium et de magnésium dissous dans l'eau (également dans une moindre mesure, des hydroxydes, des bases organiques, des borates, des ions ammoniums, phosphates et silicates). Tant que les ions responsables de l'alcalinité ne sont pas maîtrisés par l'acide, le pH ne bouge pratiquement pas. Une fois le processus d'acidification enclenché, la réaction produit alors de l'eau (H_2O), du dioxyde de carbone (CO_2) qui est libéré dans l'air ainsi que le

cation accompagnateur (soit le calcium ou le magnésium). L'alcalinité de l'eau est généralement exprimée en ppm (mg/L) de carbonate de calcium (CaCO_3). Lorsque de l'acide est ajouté pour neutraliser l'alcalinité, il s'en suit une libération subséquente du calcium et du magnésium qui, le cas échéant, restent emprisonnés par le carbonate. C'est ce qui justifie l'importance de casser cette alcalinité qui empêche le calcium et le magnésium d'être disponibles à la plante. Si tel n'est pas le cas, tous les carbonates se transforment automatiquement en chaux calcique et dolomitique en séchant, entraînant ainsi des dépôts calcaires susceptibles de colmater les systèmes d'aspersion ou de goutte à goutte ou encore des traces blanchâtres sur les feuilles si le système d'arrosage se fait par aspersion.

5.3.2.5 La nitrite

Les nitrites sont de puissants oxydants qui ont la capacité de transformer l'hémoglobine en méthémoglobine, rendant le sang incapable de transporter l'oxygène jusqu'aux tissus. De tels effets ont été observés chez de nombreuses espèces animales mais également chez l'homme. Les nitrites sont toxiques pour l'organisme humain, leur présence en quantité importante dégrade la qualité de l'eau. Ils sont considérés comme polluants très nuisibles à la santé humaine et animale (le taux de NO_2 devient nocif quand il dépasse 0,5 mg/l), ce qui explique l'intérêt de les contrôler régulièrement. Les fertilisants agricoles, le fumier, les rejets domestiques d'eaux usées et la décomposition d'organismes végétaux et animaux figurent parmi les sources les plus importantes de nitrates-nitrites. Compte tenu de leur très grande solubilité dans l'eau, les sels de nitrates et de nitrites peuvent s'infiltrer facilement dans le sol et se retrouver dans les eaux souterraines servant généralement de sources d'approvisionnement en eau potable à la nappe phréatique.

5.3.2.6 Le fer

Le fer est un paramètre naturellement retrouvé dans l'eau soit sous forme soluble comme le fer ferreux (fer bivalent existant sous forme dissoute Fe^{2+} ou $\text{Fe}(\text{OH})^+$ ou complexe comme le fer ferrique (fer trivalent : Fe^{3+} existant à l'état précipité $\text{Fe}(\text{OH})_3$) qui peut également être d'origine industrielle via l'exploitation minière, la sidérurgie, la corrosion des métaux. Le fer n'a pas d'impact majeur sur la santé humaine mais présente plutôt des désagréments d'ordre esthétique et organoleptique.

5.3.2.7 Le phosphate

Le phosphate intervient dans les transferts énergétiques, la transmission des caractères héréditaires (acides nucléiques), la photosynthèse et la dégradation des glucides. Il constitue un élément essentiel pour la floraison, la nouaison, la précocité, le grossissement des fruits et la maturation des graines. Le phosphate n'a pas de toxicité propre, c'est sa présence en excès et notamment dans le milieu aquatique qui peut être la cause de l'eutrophisation des milieux aquatiques, laquelle entraîne une prolifération des végétaux aquatiques, d'algues et de cyanobactéries.

5.3.3 Les paramètres à vérifier pour une eau à usage agricole

Certains éléments de l'eau d'irrigation peuvent être directement toxiques pour la culture. Établir des limites de toxicité pour l'eau d'irrigation s'avère compliqué compte tenu des réactions possibles quand l'eau atteint le sol. Les éléments potentiellement dangereux de l'eau sont alors susceptibles d'être inactivés par des réactions chimiques ou bien s'accumuler dans le sol jusqu'à atteindre des niveaux de toxicité pour les plantes.

5.3.3.1 Le chlore

Le chlore est un élément omniprésent dans la nature et disponible en solution aqueuse comme anion de chlorure (Cl^-) et c'est sous cette forme même qu'il est absorbé par les plantes. Étant donné que les plantes sont alimentées en chlore à partir de différentes sources (sol, eau d'irrigation, pluie, fertilisants, pollution de l'air), le risque d'un sur-approvisionnement (toxicité) est plus potentiel que celui d'une carence en chlore. En cas d'excès, le chlore peut nuire au développement de la population bactérienne, des micros algues et autres microorganismes.

5.3.3.2 Le bore

Le bore est un oligo-élément nécessaire à la croissance de la plante, mais à faible quantité. Il joue un rôle important lors de la fécondation de la plante mais également dans le transport et l'utilisation du sucre. Sa présence dans l'environnement s'observe suite à l'érosion de roches riches en bore, à l'évaporation de l'eau de mer sous forme de vapeur d'acide borique, à l'activité volcanique et d'autres activités géothermiques telles que la vapeur géothermique et l'activité humaine.

5.3.3.3 L'aluminium

L'aluminium peut s'accumuler dans les plantes, être consommé par les animaux et, par ricochet, provoquer ainsi des problèmes de santé chez ces derniers. Dans les lacs acides, les concentrations en aluminium sont très élevées contrairement aux lacs basiques.

5.3.3.4 Le potassium

Le potassium (K) est le troisième des trois (3) nutriments primaires requis par les plantes, avec l'azote (N) et le phosphore (P). Il facilite l'absorption des cations dans l'accumulation des hydrates des protéines, le maintien de la pression de la turgescence de la cellule (empêchant ainsi les plantes de se faner) et la régulation de l'économie en eau de la plante. Il facilite la capacité de résistance de la plante face à la sécheresse et aux maladies. Par ailleurs, le potassium joue un rôle dans le bon fonctionnement des stomates (cellules situées sur la face inférieure des feuilles qui s'ouvrent et se referment pour permettre à la vapeur d'eau et aux gaz résiduels de s'échapper) et agit comme activateur d'enzymes. Cet élément indispensable à la croissance et au développement des plantes, permet donc à la fois des synthèses dans les cellules, des transports entre cellules végétales, la régulation de l'eau dans la plante et la résistance au stress.

Les résultats des analyses effectuées en laboratoire et in situ seront présentés dans les prochains paragraphes.

L'échantillonnage a été fait sur les trois lacs (Arbed, Djoudj et Sébi - Ponty). Les deux autres lacs (Banthiar et Gruner) étaient asséchés au début des opérations de prélèvement.

5.4 Présentation des résultats

5.4.1 La turbidité

Le lac Djoudj

Le tableau 70 ci-dessous présente les résultats de mesure sur la turbidité de l'eau du lac Djoudj de Février à décembre.

Tableau 70 : Turbidité en fau du lac Djoudj entre février et décembre

Profondeur	Février	Mai	Octobre	Novembre	Décembre
Surface	13	29	> 500	> 500	> 500
0,5m	14	29	> 500	> 500	> 500
1m	7	-	> 500	> 500	> 500
1,5m	22	-	> 500	> 500	> 500

Lac Arbed

Le tableau 71 ci-dessous présente les résultats de mesure sur la turbidité de l'eau du lac Arbed de Février à Novembre.

Tableau 71 : Turbidité en fau du lac Arbed entre Février et Décembre

Profondeur	Février	Mai	Octobre	Novembre
Surface	> 500	> 500	> 500	> 500
0,5 m	> 500	ENP	> 500	> 500
1 m	ENP	ENP	> 500	> 500
2 m	ENP	ENP	> 500	> 500
4 m	ENP	ENP	> 500	ENP

ENP= Echantillons non pris

Le lac Sébi-Ponty

Le tableau 72 ci-dessous présente les résultats de mesure sur la turbidité de l'eau du lac Sébi-ponty d'octobre à décembre.

Tableau 72 : Turbidité en fau du lac Sébi-Ponty entre octobre et décembre

Profondeur	Octobre	Novembre	Décembre
Surface	> 500	> 500	> 500
0,5 m	> 500	> 500	> 500
1 m	> 500	> 500	> 500

Analyse des résultats de la turbidité

Hormis le lac Djoudj qui présente une turbidité moyenne de 19 FAU entre février et mars, les autres lacs ont une turbidité supérieure à 500 FAU. Cette hausse de turbidité est causée par la présence des matières en suspension dans l'eau. Il convient de souligner, cependant, que cette assertion n'a pas pu être vérifiée du fait que le numéro préconisé par le catalogue n'est pas cohérent avec le spectrophotomètre ; ceci explique le fait que les valeurs exactes n'ont pu être obtenues au-delà de 500. Il s'y ajoute qu'à Sébi-Ponty, cette turbidité provient également de l'érosion ponctuelle des sols nus traversés et de l'accès du bétail à l'eau. En effet, de par son emplacement, ce lac artificiel est un lieu d'abreuvoir du bétail des villages environnants. Par contre à Djoudj, on retrouve une multitude d'espèces aviaires provenant du parc Djoudj de Saint-Louis qui séjournent au bord du lac, d'où son nom.

5.4.2 La couleur

La couleur est exprimée en unités platino-cobalt (pt-co).

Le lac Djoudj

Le tableau 73 ci-dessous présente les résultats de mesure sur la couleur de l'eau du lac Djoudj de mai à décembre.

Tableau 73 : Couleurs en pt- co du lac Djoudj entre mai et décembre

Profondeur	Mai	Octobre	Novembre	Décembre
Surface	135	20	21	50
0,5 m	62	20	21	45
1 m	ENP	20	22	47
1,5 m	ENP	21	22	49

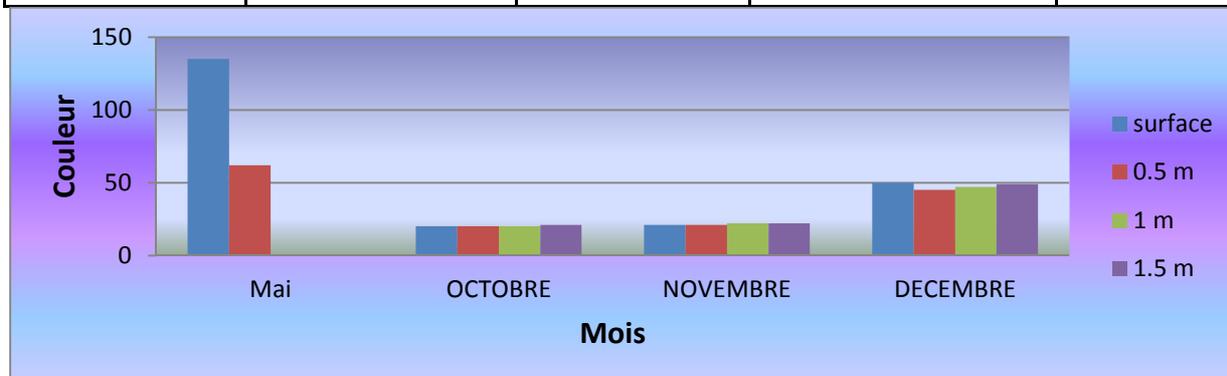


Figure 47: Couleurs du lac Djoudj entre mai et décembre

Lac Arbed

Le tableau 74 ci-dessous présente les résultats de mesure sur la couleur de l'eau du lac Arbed de mai à décembre.

Tableau 74 : Couleurs en pt- co du lac Arbed entre mai et décembre

Profondeur	Mai	Octobre	Novembre	Décembre
Surface	25,2	23	23	26
0,5 m	ENP	21	29	28
1 m	ENP	24	25	27
2 m	ENP	23	22	ENP
4 m	ENP	27	ENP	ENP

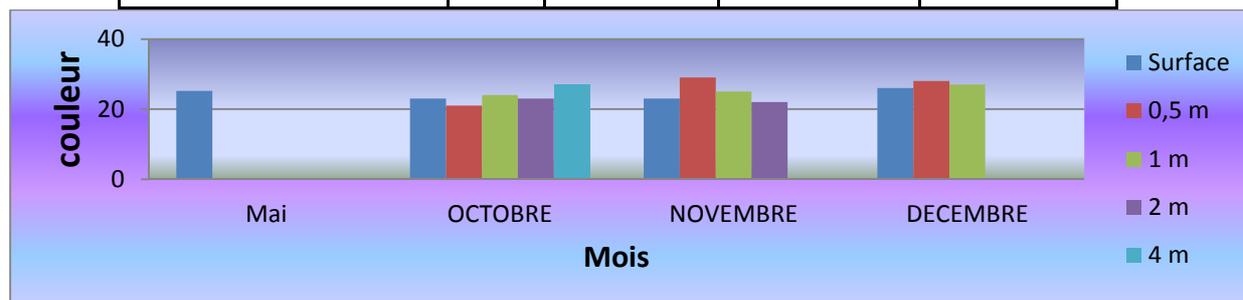


Figure 48 : Couleurs en pt- co du lac Arbed entre mai et décembre

Le lac Sébi-Ponty

Le tableau 75 ci-dessous présente les résultats de mesure sur la couleur de l'eau du lac Sébi-ponty d'octobre à décembre.

Tableau 75 : Couleurs en pt- co du lac Sébi-Ponty entre octobre et décembre

Profondeur	Octobre	Novembre	Décembre
Surface	56	46	49
0,5 m	42	42	48
1 m	47	47	48

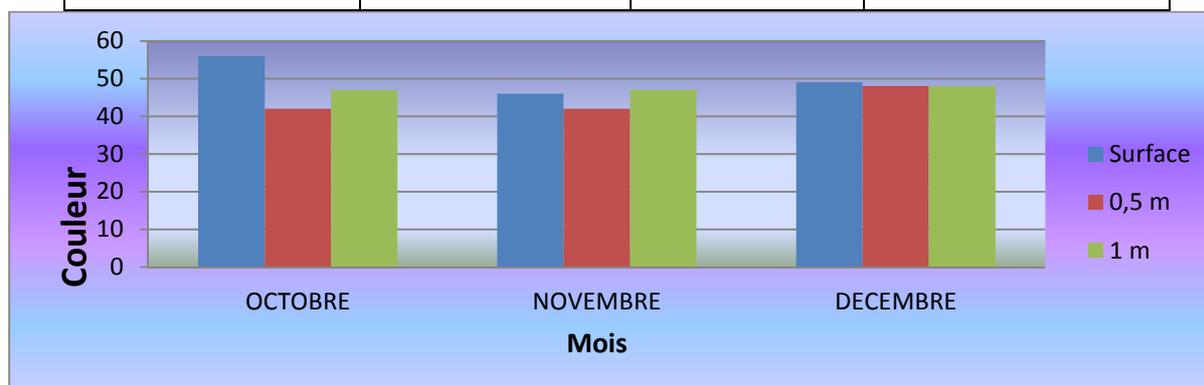


Figure 49 : Couleurs en pt- co du lac Sébi-Ponty entre octobre et décembre

Analyse des résultats de couleur

D'après les résultats obtenus, l'intervalle de la coloration observée varie d'un lac à l'autre ; ainsi à Djoudj, Arbed et Sébi Ponty, les données recueillies sont respectivement de 20 -135 (pt-Co), 21 - 25 (pt-Co) et 42 - 56 (pt-Co). Toutes ces valeurs sont supérieures à 15 (pt-Co) représentant la valeur limite acceptable pour juger qu'une eau est potable pour le bétail [21].

En revanche pour les eaux avec lesquelles le public est en contact direct (baignade) la limite est fixée à 100.

En ce qui concerne la couleur, elle passe inaperçue en dessous de 10 pt-co, mais se colore et se rapproche davantage de la couleur du thé noir lorsque qu'on atteint 100 pt-co.

Dans les lacs, cette coloration est due aux minéraux et matières organiques colorées provenant de la décomposition ou de l'extraction aqueuse de la végétation naturelle comme dans le lessivage des sols, la présence de métaux tels que le fer, le manganèse et le cuivre. Ces minéraux et matières organiques sont abondants dans la nature et se retrouvent dans l'eau en raison de l'érosion des roches ou de la corrosion des canalisations (pour le transfert entre lacs à la SOCOCIM), ce qui altère la couleur de l'eau. En effet, tout comme une eau turbide, une

eau colorée est suspecte pour la consommation, quelles que soient ses qualités sur le plan bactériologique.

5.4.3 La température

Le lac Djoudj

Le tableau 76 ci-dessous présente les résultats de mesure sur la température de l'eau du lac Djoudj de février à décembre.

Tableau 76 : Températures en °C du lac Djoudj entre février et décembre

Profondeur	Février	Mai	Octobre	Novembre	Décembre
Surface	22	28,5	33	31,05	27,6
0,5 m	22,2	27,5	32,4	31,2	28,3
1 m	22	ENP	31,6	30	26,4
1,5 m	22	ENP	31,9	30,7	27,4

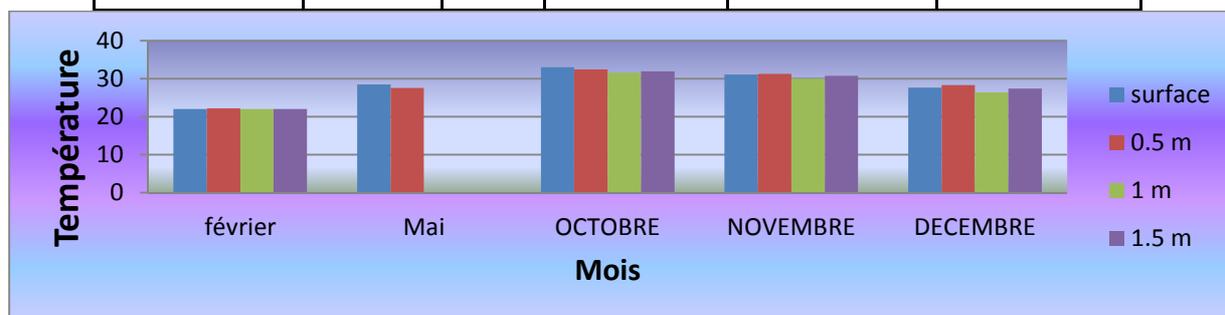


Figure 50 : Températures en °C du lac Djoudj entre février et décembre

Le lac Arbed

Le tableau 77 ci-dessous présente les résultats de mesure sur la température de l'eau du lac Arbed de février à décembre.

Tableau 77 : Températures en °C du lac Arbed entre février et décembre

Profondeur	Février	Mai	Octobre	Novembre	Décembre
Surface	21,9	28	32,2	31,3	28,6
0,5 m	21,9	ENP	33,1	32,1	28,2
1 m	ENP	ENP	32,8	31,8	27,8
2 m	ENP	ENP	32	31,1	ENP
4 m	ENP	ENP	32,1	ENP	ENP

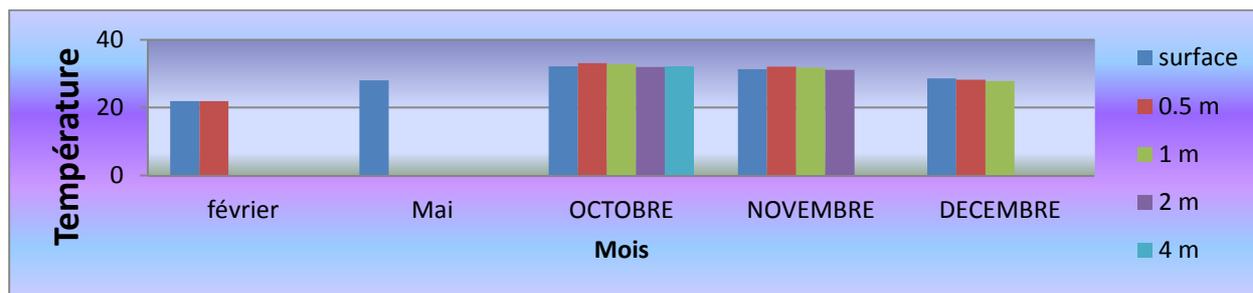


Figure 51 : Températures en °C du lac Arbed entre février et décembre

Le lac Sébi-Ponty

Le tableau 78 ci-dessous présente les résultats de mesure sur la température de l'eau du lac Sébi-ponty d'octobre à décembre.

Tableau 78 : Températures en °C du lac Sébi-Ponty entre octobre et décembre

Profondeur	Octobre	Novembre	Décembre
Surface	31,4	32,5	25,3
0,5 m	31,4	31,9	25,7
1 m	30,9	33,3	25,2

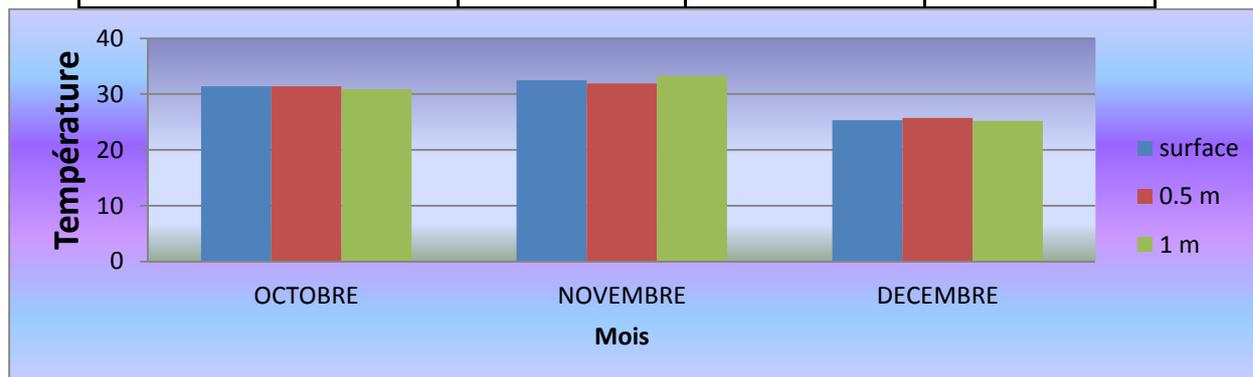


Figure 52 : Températures en °C du lac Sébi-Ponty entre octobre et décembre

Analyse des résultats de la température

La température est un paramètre physique clé, en ce sens qu'elle agit de manière déterminante sur les processus chimiques et, plus encore, biologiques au sein des lacs. Tel est le constat fait, par exemple, pour les nitrates, dont la teneur est fortement influencée par l'activité biologique des sols.

Entre février et mai, les essais sont singulièrement opérés au niveau de SOCO CIM car il n'y avait plus d'eau à Sébi Ponty et une moyenne de 24°C a été enregistrée. Les observations effectuées entre octobre et décembre présentent une moyenne de 31,2 °C à Djoudj, 32°C à Arbed et Sébi Ponty. Ces valeurs diminuent légèrement durant le mois de décembre pour

atteindre 27, 28 et 25 °C respectivement à Djoudj, Arbed et Sébi Ponthy avec l'arrivée du froid au Sénégal

Ces variations du régime thermique de l'eau agissent fortement sur la distribution des espèces vivantes, mais n'ont pas d'effet particulier sur l'utilisation industrielle ou agricole.

Au regard de l'impérieuse nécessité de préserver l'environnement et de développer l'exploitation piscicole, toute intervention susceptible de modifier sensiblement les écarts de température devrait être évitée.

5.4.4 La conductivité

Le lac Djoudj

Le tableau 79 ci-dessous présente les résultats de mesure sur la conductivité de l'eau du lac Djoudj de février à décembre.

Tableau 79 : Conductivité en $\mu\text{s}/\text{cm}$ du lac Djoudj entre février et décembre

Profondeur	Février	Mai	Octobre	Novembre	Décembre
Surface	5260	7025	1385	1407	1518
0,5 m	5210	6730	1370	1390	1520
1 m	5200	ENP	1366	1403	1515
1,5 m	5220	ENP	1364	1401	1511

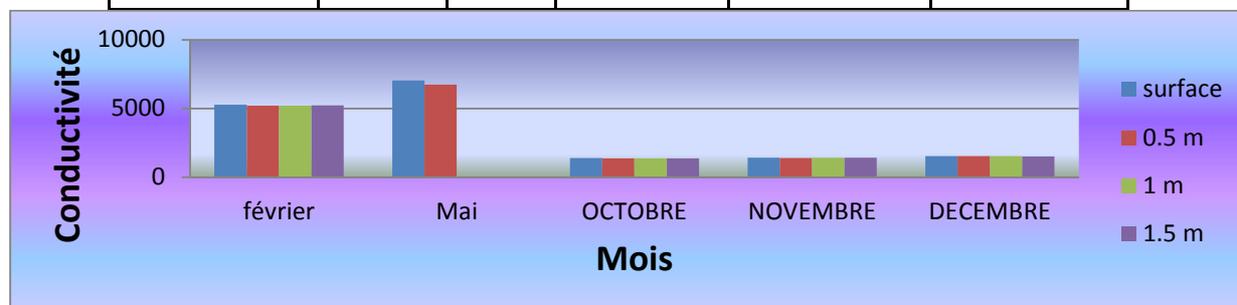


Figure 53 : Conductivité en $\mu\text{s}/\text{cm}$ du lac Djoudj entre février et décembre

Le lac Arbed

Le tableau 80 ci-dessous présente les résultats de mesure sur la conductivité de l'eau du lac Arbed de février à décembre.

Tableau 80 : Conductivité du lac Arbed entre février et décembre

Profondeur	Février	Mai	Octobre	Novembre	Décembre
Surface	5182	5550	1193	1293	1517
0,5 m	5930	ENP	1195	1281	1513
1 m	ENP	ENP	1195	1291	1517
2 m	ENP	ENP	1197	1288	ENP
4 m	ENP	ENP	1187	ENP	ENP

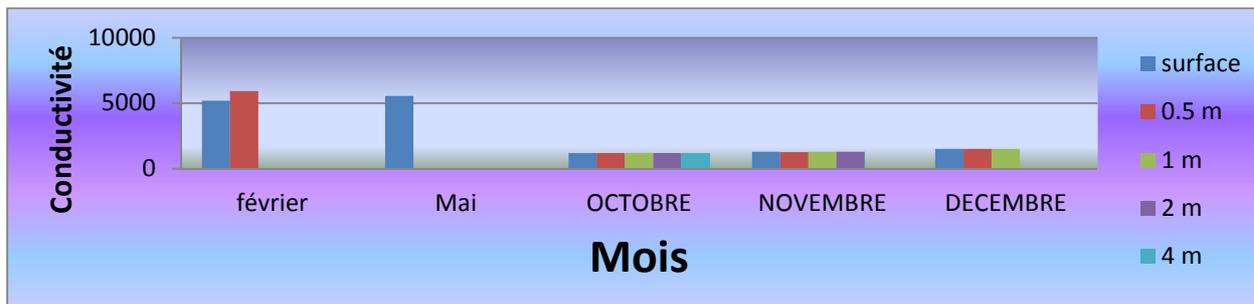


Figure 54 : Conductivité en µs/cm du lac Arbed entre février et décembre

Le lac Sébi-Ponty

Le tableau 81 ci-dessous présente les résultats de mesure sur la conductivité de l'eau du lac Sébi-ponty d'octobre à décembre.

Tableau 81 : Conductivité en µs/cm du lac Sébi-Ponty entre octobre et décembre

Profondeur	Octobre	Novembre	Décembre
Surface	481	501	543
0,5 m	484	500	541
1 m	484	492	540

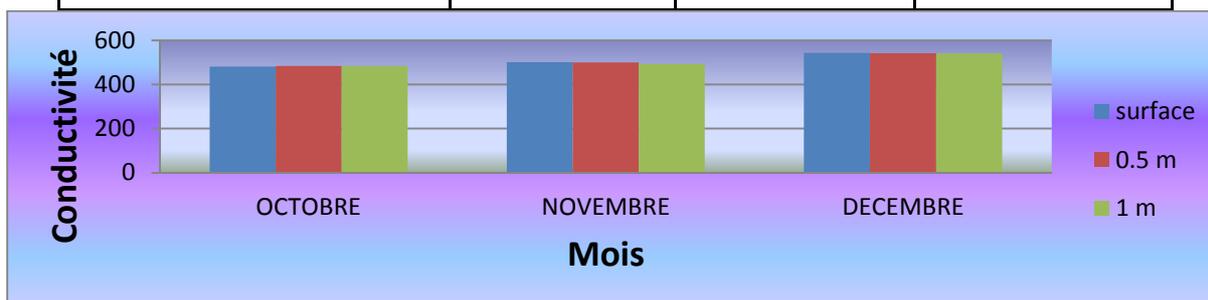


Figure 55 : Conductivités en µs/cm du lac Sébi-Ponty entre octobre et décembre

Analyse des résultats de la conductivité

La conductivité est un indicateur de la teneur en sels dissous. Elle dépend essentiellement de la nature géochimique des roches rencontrées dans le bassin versant, en particulier des substances provenant de l'altération de ces roches. Elle est d'abord fonction de la dureté de l'eau (calcium, magnésium, bicarbonates), c'est ce qui explique les fortes valeurs de conductivité enregistrées sur le site de SOCOCIM par rapport au site de Sébi-Ponty. Le bassin versant des lacs de SOCOCIM est essentiellement dominé par la présence de calcaire riche en calcium. Le calcaire est une **roche sédimentaire** qui se forme essentiellement en **milieu marin**, par accumulation des débris de coquilles. Certains organismes marins utilisent le **calcium** dissout dans l'eau (Ca^{2+}) et l'**hydrogénocarbonate** (HCO_3^-) pour former leurs coquilles, lesquelles seront constituées de **carbonate de calcium** (CaCO_3)).

Comme le ph, la conductivité varie en fonction de l'équilibre calcocarbonique ; de sorte qu'elle dépend également de la température et des processus biologiques [22] [23]. C'est pourquoi nos valeurs de conductivité sont plus faibles en saison de pluies dues à la dilution par la pluie.

Cette augmentation de la conductivité pendant la saison sèche peut s'expliquer par l'évaporation et la forte activité biologique entre décembre et avril à cause du climat plus favorable. Cet effet se trouve renforcé dans les émissaires des lacs en raison de la production primaire lacustre et de la précipitation de calcite qui en résulte.

La conductivité n'est pas directement proportionnelle à la minéralisation du fait qu'elle dépend non seulement de la composition chimique, mais aussi de la mobilité des ions et du phénomène de complexations.

5.4.5 pH

Le lac Djoudj

Le tableau 82 ci-dessous présente les résultats de mesure sur le pH de l'eau du lac Djoudj de février à décembre.

Tableau 82 : pH du lac Djoudj entre février et décembre

Profondeur	Février	Mai	Octobre	Novembre	Décembre
Surface	7,01	8,91	9,5	9,05	8,89
0,5 m	7,05	9,11	9,5	9,09	8,82
1 m	7,07	ENP	9,7	9,09	8,95
1,5 m	6,97	ENP	9,7	9,12	8,92

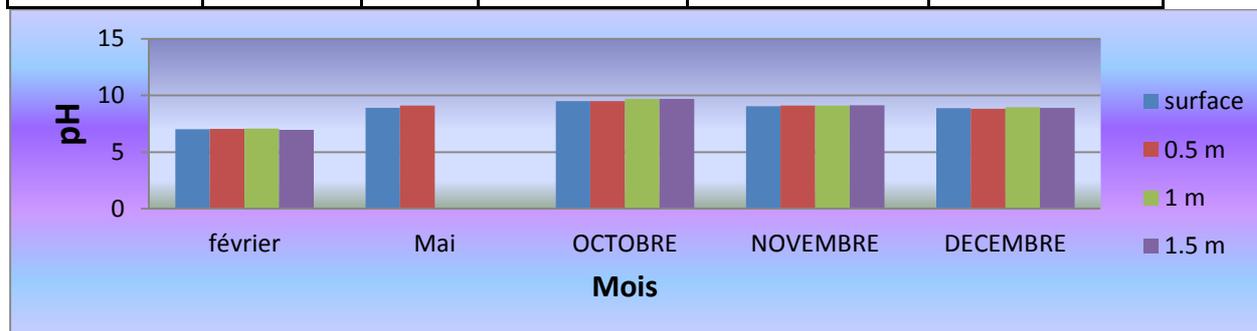


Figure 56 : pH du lac Djoudj entre février et décembre

Le lac Arbed

Le tableau 83 ci-dessous présente les résultats de mesure sur le pH de l'eau du lac Arbed de février à décembre.

Tableau 83 : pH du lac Arbed entre février et décembre

Profondeur	Février	Mai	Octobre	Novembre	Décembre
Surface	7,37	8,74	9,63	9,54	10,44
0,5 m	7,37	ENP	9,46	9,58	10,46
1 m	ENP	ENP	9,53	9,6	10,5
2 m	ENP	ENP	9,51	9,6	ENP
4 m	ENP	ENP	9,51	ENP	ENP

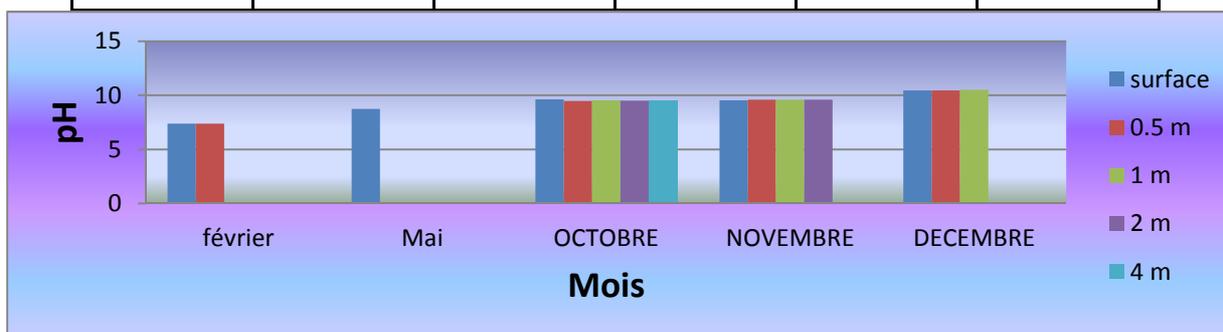


Figure 57 : pH du lac Arbed entre février et décembre

Le lac Sébi-Ponty

Le tableau 84 ci-dessous présente les résultats de mesure sur le pH de l'eau du lac Sébi-ponty de février à décembre.

Tableau 84 : pH du lac Sébi-Ponty entre octobre et décembre

Profondeur	Octobre	Novembre	Décembre
Surface	7,9	9,4	9,00
0,5 m	8,47	9,27	9
1 m	8,42	9,22	9,01

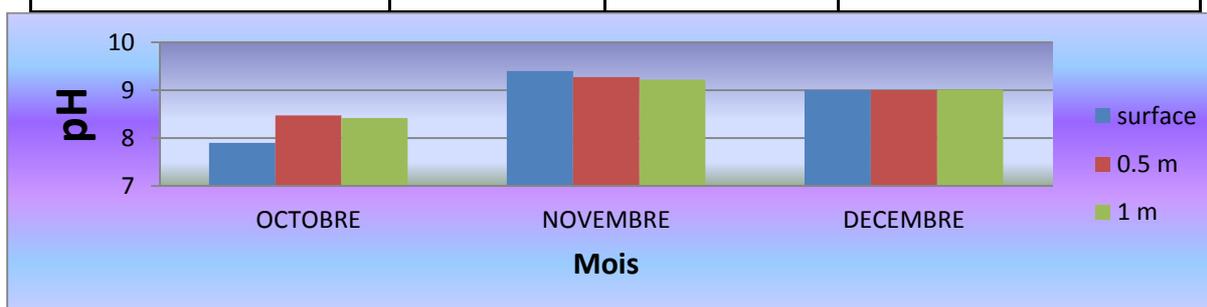


Figure 58 : pH du lac Sébi-Ponty entre octobre et décembre

Analyse des résultats de pH

Le pH d'un cours d'eau est déterminé principalement par les équilibres calco-carboniques et les conditions géochimiques du bassin versant [24]. Les zones très calcaires se caractérisent par une capacité tampon de l'eau élevée.

C'est le cas de notre zone d'étude avec la présence de calcaire à Sébi-Ponty comme dans les carrières de SOCOCIM, ce qui explique les pH élevés enregistrés dans les différentes analyses.

Une variation du pH est constatée avec une courbe croissante entre février et décembre et une chute entre décembre et février pour les lacs de SOCOCIM. Ce même phénomène est noté avec le lac de Sébi-Ponty. Il convient de mentionner que les mesures ont été prises seulement sur une période de trois (3) mois pour des raisons de tarissement du lac durant les prises de février et avril), ce qui montre une croissance du pH entre octobre et novembre, puis une légère baisse entre novembre et décembre.

Cette situation peut s'expliquer par le fait que d'autres facteurs agissent sur le pH en l'occurrence la température et les processus biologiques tels que la photosynthèse ou la décomposition de matériel organique. Une température croissante diminue la solubilité du CO_2 et fait baisser la valeur du pH. La photosynthèse prend à l'eau du CO_2 et du HCO_3^- , ce qui accroît le pH [24].

Il en ressort que la courbe de variation annuelle du pH dans un lac connaît souvent une allure sinusoïdale due aux corrélations entre pH, température et processus biologiques à caractère saisonnier.

Des valeurs de pH inférieures à cinq (5) favorisent la désagrégation des minéraux argileux par exemple, entraînant ainsi des concentrations excessives en substances toxiques contenant de l'aluminium tout en favorisant l'apparition d'acidose métabolique qui constitue un danger pour les bovins et caprins.

Le pH acide critique est voisin de 4,5 pour la plupart des poissons [25] ; la limite supérieure serait de 9,2 pour les truites [25].

Nos tableaux de mesures montrent qu'il n'existe pas de pH acide dans nos lacs, ce qui signifie donc l'absence de problèmes liés à ces acidités de l'eau sur l'agriculture, l'élevage et la pisciculture.

Par contre, des valeurs de pH supérieures à neuf (9) favorisent la dissociation d'ammonium, donc la formation d'ammoniac (des concentrations d'ammoniac durablement égales ou supérieures à 0,008 mg/L peuvent s'avérer toxiques pour les œufs et les alevins de poissons ; c'est ainsi qu'il est recommandé que les concentrations d'ammoniac sous forme toxique ne

dépassent pas 0,003 mg/L pour les alevins et 0,006 à 0,010 mg/L pour les plus gros poissons [24]. Les trois (3) lacs qui constituent l'objet de notre étude sont tous confrontés à ce problème:

- pH élevé en novembre pour le lac Sébi-Ponty
- pH élevé sur les trois (3) mois d'octobre, novembre et décembre pour les lacs de SOCOCIM.

Le pH doit être maintenu dans une fourchette de 6,5 à 8,5 du fait que sa valeur peut devenir critique en cas de production végétale excessive, notamment sur les tronçons à écoulement lent dont les rives n'offrent pas d'ombrage.

Cependant, il est établi que le pH de nos lacs est conforme aux normes pour l'abreuvement du bétail qui exige un pH entre 6,5 et 9,5. Seul le lac Arbed présente un pH hors norme à partir du mois de décembre [26].

5.4.6 La dureté

Le lac Djoudj

Le tableau 85 ci-dessous présente les résultats de mesure sur la dureté de l'eau du lac Djoudj de février à décembre.

Tableau 85 : Dureté en mg/L (CaCO₃) du lac Djoudj entre février et décembre

Profondeur	Février	Mai	Octobre	Novembre	Décembre
Surface	29	14	24	45	45
0,5 m	25	28	46	43	47
1 m	27	ENP	< 2	37	39
1,5 m	34	ENP	< 2	46	40

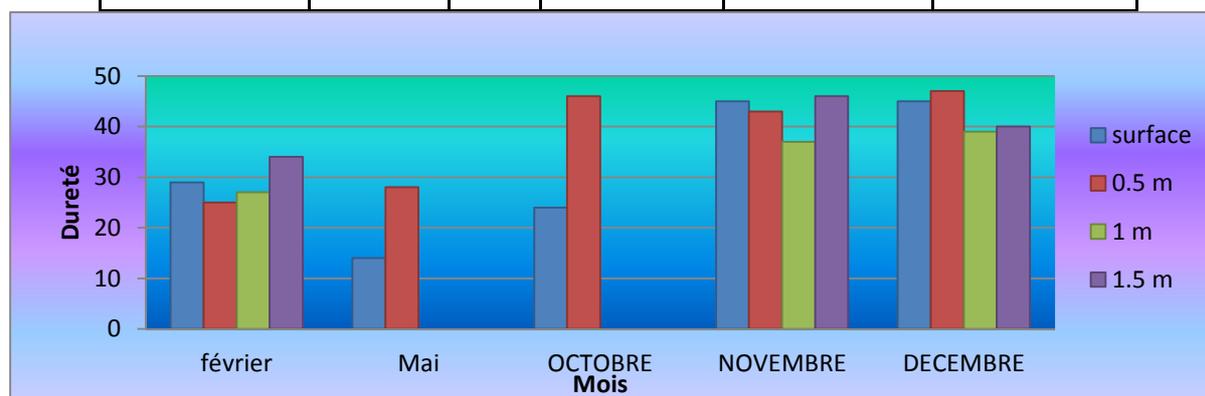


Figure 59 : Dureté en mg/L (CaCO₃) du lac Djoudj entre février et décembre

Le lac Arbed

Le tableau 86 ci-dessous présente les résultats de mesure sur la dureté de l'eau du lac Arbed de février à décembre.

Tableau 86 : Dureté en mg/L (CaCO3) du lac Arbed entre février et décembre

Profondeur	Février	Mai	Octobre	Novembre	Décembre
Surface	37	43	< 2	48	46
0,5 m	35	ENP	< 2	40	46
1 m	ENP	ENP	< 2	46	45
2 m	ENP	ENP	< 2	46	ENP
4 m	ENP	ENP	46	ENP	ENP

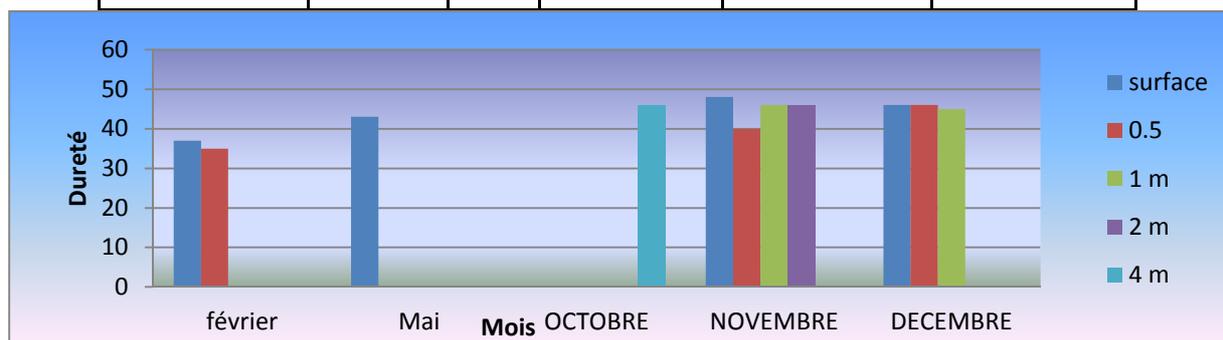


Figure 60 : Dureté en mg/L (CaCO3) du lac Arbed entre février et décembre

Le lac Sébi-Ponty

Le tableau 87 ci-dessous présente les résultats de mesure sur la dureté de l'eau du lac Sébi-ponty d'octobre à décembre.

Tableau 87 : Dureté en mg/L (CaCO3) du lac Sébi-Ponty entre octobre et décembre

Profondeur	Octobre	Novembre	Décembre
Surface	48	50	50
0,5 m	48	49	50
1 m	49	49	49

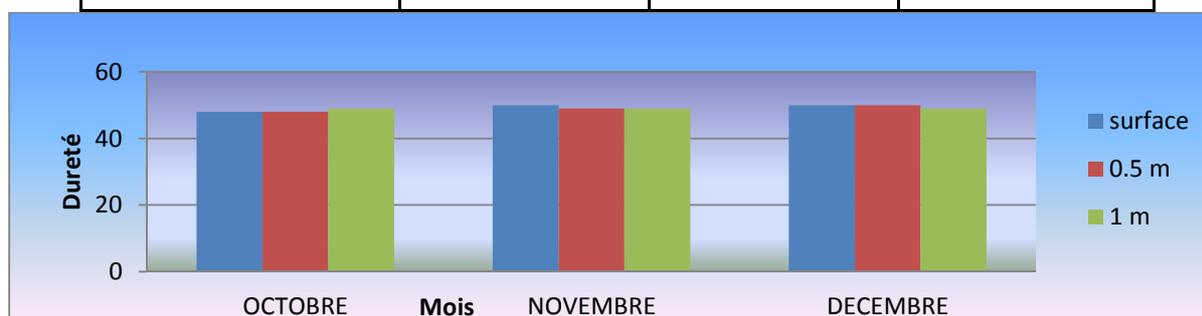


Figure 61 : Dureté en mg/L (CaCO3) du lac Sébi-Ponty entre octobre et décembre

Analyse des résultats de dureté

L'alcalinité et la dureté sont deux (2) notions intimement liées au risque de colmatage du système goutte-à-goutte. La dureté fait référence à la quantité de calcium et de magnésium

contenue dans l'eau. Ces deux (2) éléments proviennent de l'altération de la roche mère. Une eau riche en calcium et en magnésium possède généralement des quantités équivalentes de bicarbonate ou de carbonate, lesquelles lui confèrent une dureté élevée [27].

Lorsque l'eau des goutteurs s'évapore, ou bien quand le pH ou la température de l'eau d'irrigation change un peu, le bicarbonate de calcium et de magnésium se précipite sous forme de paillettes, lesquelles migrent à travers le réseau et se déposent à l'intérieur des goutteurs, provoquant leur colmatage de manière graduelle. Le même phénomène est observé pour l'utilisation industrielle de l'eau, surtout dans les conduites de transport. Ce colmatage corrode le métal et crée des usures prématurées.

Globalement, les lacs de notre zone d'étude sont caractérisés par l'existence d'une eau très dure (entre 24 et 50 mg/L de CaCO₃), à l'exception d'Arbed, qui, pour le mois d'octobre, présente une eau douce, entre la surface et une profondeur de deux (2) mètres.

Cette dureté de l'eau peut avoir un goût désagréable pour les animaux et induire une sous-consommation. Dès lors, il convient d'être vigilant avec les vaches taries dont les besoins en calcium sont minimes. Le programme alimentaire devra être adapté si nécessaire [28].

5.4.7 L'alcalinité

Le lac Djoudj

Le tableau 88 ci-dessous présente les résultats de mesure sur l'alcalinité de l'eau du lac Djoudj de février à décembre.

Tableau 88 : alcalinité en mg/l du lac Djoudj entre février et décembre

Profondeur	Février	Mai	Octobre	Novembre	Décembre
Surface	10	21	18	16	20
0,5 m	6	21	20	16	12
1 m	6	ENP	18	15	12
1,5 m	10	ENP	17	11	19

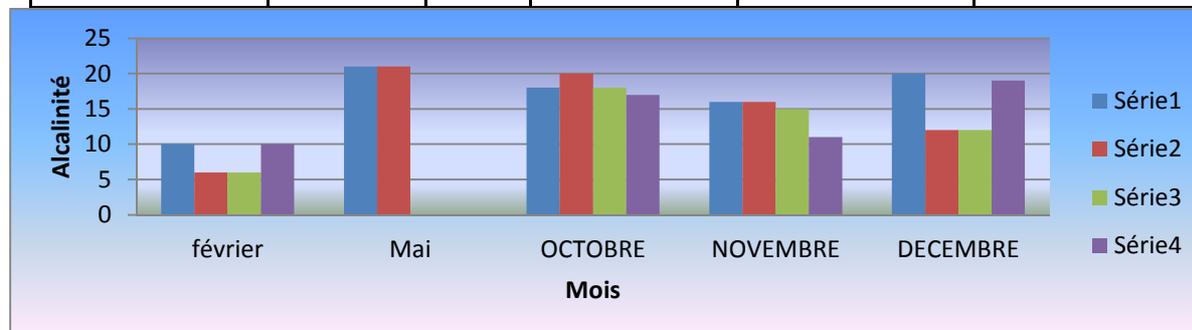


Figure 62 : Alcalinité en mg/l du lac Djoudj entre février et décembre

Le lac Arbed

Le tableau 89 ci-dessous présente les résultats de mesure sur l'alcalinité de l'eau du lac Arbed de février à décembre.

Tableau 89 : Alcalinité en mg/l du lac Arbed entre février et décembre

Profondeur	Février	Mai	Octobre	Novembre	Décembre
Surface	16	39	13	10	20
0,5 m	11		14	16	19
1 m	ENP	ENP	15	16	20
2 m	ENP	ENP	14	13	ENP
4 m	ENP	ENP	16	ENP	ENP

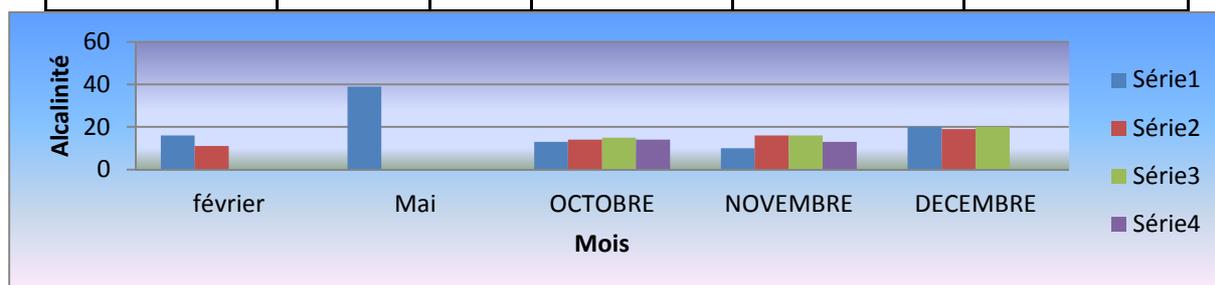


Figure 63 : Alcalinité du lac Arbed entre février et décembre

Le lac Sébi-Ponty

Le tableau 90 ci-dessous présente les résultats de mesure sur l'alcalinité de l'eau du lac Sébi-ponty d'octobre à décembre.

Tableau 90 : Alcalinité en mg/l du lac Sébi-Ponty entre octobre et décembre

Profondeur	Octobre	Novembre	Décembre
Surface	253	14	16
0,5 m	237	17	15
1 m	253	14	18



Figure 64 : Alcalinité en mg/l du lac Sébi-Ponty entre octobre et décembre

Analyse des résultats de l'alcalinité

L'alcalinité et la dureté sont deux (2) notions intimement liées au risque de colmatage. La limite de tolérance en irrigation est de 200 mg/L [29] et de 400 mg/L [30] pour les animaux aquatiques.

Seules les mesures du mois d'octobre du lac Sébi-Ponty dépassent la limite d'irrigation. Ce phénomène d'alcalinité est, cependant, très importante en matière de pisciculture pour tamponner le pH et empêcher les variations brusques de ce dernier. Quand le pH de l'eau est, à la limite, inférieure de 6,5, l'alcalinité doit être au moins de 15 à 20 mg/L afin d'être acceptable pour la production piscicole [31]. Par contre, une étendue désirable d'alcalinité pour l'élevage des poissons se situe entre 75 et 200 mg/L [32].

5.4.8 Le nitrite

Le lac Djoudj

Le tableau 91 ci-dessous présente les résultats de mesure sur le nitrite de l'eau du lac Djoudj d'octobre à décembre.

Tableau 91 : Teneur en nitrite (mg/l) du lac Djoudj entre octobre et décembre

Profondeur	Octobre	Novembre	Décembre
Surface	> 0,5	> 0,5	> 0,5
0,5 m	> 0,5	> 0,5	> 0,5
1 m	> 0,5	> 0,5	> 0,5
1,5 m	> 0,5	> 0,5	> 0,5

Le lac Arbed

Le tableau 92 ci-dessous présente les résultats de mesure sur le nitrite de l'eau du lac Arbed d'octobre à décembre.

Tableau 92 : Teneur en nitrite (mg/l) du lac Arbed entre octobre et décembre

Profondeur	Octobre	Novembre	Décembre
Surface	0,02	0,015	> 0,5
0,5 m	0,02	> 0,5	> 0,5
1 m	0,01	0,02	> 0,5
2 m	0,01	> 0,5	ENP
4 m	0,02	ENP	ENP

Le lac Sébi-Ponty

Le tableau 93 ci-dessous présente les résultats de mesure sur le nitrite de l'eau du lac Sébi-ponty d'octobre à décembre.

Tableau 93 : Teneur en nitrite (mg/l) du lac Sébi-Ponty entre octobre et décembre

Profondeur	Octobre	Novembre	Décembre
Surface	> 0,5	> 0,5	> 0,5
0,5 m	> 0,5	> 0,5	> 0,5
1 m	> 0,5	> 0,5	> 0,5

Analyse des résultats du Nitrite

Les nitrites sont des produits intermédiaires de la nitrification, c'est-à-dire la transformation oxydative par voie biologique de l'ammonium en nitrate. C'est un composant très toxique pour les plantes et les animaux. Lorsque les nitrites entrent dans l'organisme sanguin, ils réagissent avec l'hémoglobine et forment un composant appelé méthémoglobine. Ce composé réduit la capacité sanguine pour transporter l'oxygène.

La toxicité des nitrites est intimement liée à la concentration de chlore dans l'eau.

Le tableau 94 ci-dessous propose l'appréciation de la teneur en nitrite en corrélation avec celle du chlorure [24]:

Tableau 94 : Objectifs des nitrites dans les eaux poissonneuses par rapport à la présence de chlore

Teneur en chlore (mg/l)	Objectif en nitrite (mg/l)
< 10	0,02
10 – 20	0,05
>20	0,10

La limite de tolérance pour la potabilité animale de l'eau est beaucoup plus grande, elle est de l'ordre de 3 mg/l [33].

A Arbed, des valeurs admissibles sont répertoriées en octobre avec une moyenne de 0,016 mg/L, lesquelles augmentent graduellement durant le mois de novembre puisque des teneurs de 0,015 et 0,02 mg/L sont enregistrées respectivement à la surface et à 1 m de profondeur d'une part, et parallèlement supérieures à 0,5 mg/L à 0,5m et 2m avec une profondeur maximale à cette période de 2,5 m d'autre part. En décembre, la teneur en nitrite excède 0,5 mg/L. Par contre, tous les prélèvements effectués à Sébi Ponty et Djoudj entre octobre et décembre présentent des teneurs en nitrite supérieures à 0,5 mg/L.

La concentration de chlore dans le lac la étant inférieure à 10 mg/l (entre 0,1 et 0,19 mg/l voir paragraphe 5.4.12), nous devons nous retrouver avec une concentration en nitrite inférieure à 0,02 mg/l pour une meilleure utilisation à la pisciculture. Malheureusement certains prélèvements présentent des teneurs en nitrite supérieures à 0,5 mg/l (valeur limite de notre appareil de mesure).

Ce qui signifie que l'activité piscicole est très risquée sur ce lac si des solutions ne sont pas trouvées au préalable.

5.4.9 Le fer

Le lac Djoudj

Le tableau 95 ci-dessous présente les résultats de mesure sur le fer de l'eau du lac Djoudj de mai à décembre.

Tableau 95 : Teneur en fer (mg/l) du lac Djoudj entre mai et décembre

Profondeur	Mai	Octobre	Novembre	Décembre
Surface	0,12	> 3	> 3	> 3
0,5 m	0,12	> 3	> 3	> 3
1 m	ENP	> 3	> 3	> 3
1,5 m	ENP	> 3	> 3	> 3

Le lac Arbed

Le tableau 96 ci-dessous présente les résultats de mesure sur le fer de l'eau du lac Arbed de mai à décembre.

Tableau 96 : Teneur en fer (mg/l) du lac Arbed entre mai et décembre

Profondeur	Mai	Octobre	Novembre	Décembre
Surface	> 3	0,16	> 3	> 3
0,5 m	ENP	> 3	> 3	> 3
1 m	ENP	> 3	> 3	> 3
2 m	ENP	> 3	> 3	ENP
4 m	ENP	> 3	> 3	ENP

Le lac Sébi-Ponty

Le tableau 97 ci-dessous présente les résultats de mesure sur le fer de l'eau du lac Djoudj d'octobre à décembre.

Tableau 97 : Teneur en fer (mg/l) du lac Sébi-Ponty entre octobre et décembre

Profondeur	Octobre	Novembre	Décembre
Surface	> 3	> 3	> 3
0,5 m	0,5	> 3	> 3
1 m	0,15	> 3	> 3

Analyse des résultats du Fer

Le fer constitue un élément important pour les plantes ; cependant, il est susceptible de boucher les émetteurs dans certaines conditions, Des niveaux de fer se situant entre 1 et 2 mg/L sont considérés optimaux pour la nutrition de la plante [27] (même si ce taux est jugé élevé pour la reproduction des poissons dont la limite de tolérance est de 0,3 mg/L pour les petits poissons et 0,5 mg/L pour les gros poissons [30]. Il en est de même de l'abreuvement des

animaux avec un taux obligatoirement inférieur à 0,2 mg/L [34]. Il s’y ajoute qu’une forte concentration de fer peut également provoquer un goût désagréable et induire une baisse de consommation des animaux.

La forme précipitée du fer (Fe^{+3}) n’est pas toxique, mais elle affecte le métabolisme des poissons. Son effet adverse provient de l’interférence qu’il fait au niveau de la respiration [31]. En effet, ce métal précipité se dépose sur les œufs et les branchies sous la forme de particules fines. Il bouche ainsi les pores de la membrane de l’œuf et l’épithélium des branchies, ce qui a pour effet de faire interférence aux échanges gazeux. Le fer détériore aussi les branchies par abrasion, lesquelles deviennent vulnérables à des infections secondaires par des bactéries et des champignons. Plus les structures des branchies sont fines et plus elles sont fragiles et faciles à colmater ; or les petits poissons sont plus sensibles à la présence des fines particules de fer dans l’eau et supportent des concentrations moins élevées que les gros poissons.

Du fait d’un taux moyen supérieur à 3 dans tous les lacs, une solution doit être prise pour ramener ce taux à la norme acceptable.

5.4.10 Les phosphates

Le lac Djoudj

Le tableau 98 ci-dessous présente les résultats de mesure sur les phosphates de l’eau du lac Djoudj de février à décembre.

Tableau 98 : Teneur en phosphate (mg/l) du lac Djoudj entre Février et décembre

Profondeur	Février	Mai	Octobre	Novembre	Décembre
Surface	> 80	> 80	> 80	> 80	> 80
0,5 m	> 80	> 80	> 80	> 80	> 80
1 m	> 80	ENP	> 80	> 80	> 80
1,5 m	> 80	ENP	> 80	> 80	> 80

Le lac Arbed

Le tableau 99 ci-dessous présente les résultats de mesure sur les phosphates de l’eau du lac Arbed de février à décembre.

Tableau 99 : Teneur en phosphate (mg/l) du lac Arbed entre février et décembre

Profondeur	Février	Mai	Octobre	Novembre	Décembre
Surface	> 80	> 80	> 80	> 80	> 80
0,5 m	> 80	ENP	> 80	> 80	> 80
1 m	ENP	ENP	> 80	> 80	> 80
2 m	ENP	ENP	> 80	> 80	ENP
4 m	ENP	ENP	> 80	ENP	ENP

Le lac Sébi-Ponty

Le tableau 100 ci-dessous présente les résultats de mesure sur les phosphates de l'eau du lac Sébi-ponty d'octobre à décembre.

Tableau 100 : Teneur en Phosphate (mg/l) du lac Sébi-Ponty entre octobre et décembre

Profondeur	Octobre	Novembre	Décembre
Surface	> 80	> 80	> 80
0,5 m	> 80	> 80	> 80
1 m	> 80	> 80	> 80

Analyse des résultats du phosphate

Le phosphate est un des éléments majeurs indispensables à la croissance et au développement des végétaux. Il joue en particulier un rôle essentiel dans la mise en place du système racinaire, la photosynthèse et la reproduction du végétal dont la variation dépend des propriétés physico-chimiques du sol [35]. Ce qui nécessite une fertilisation phosphatée raisonnable. Dans l'ensemble un taux de phosphate reste élevé sur les lacs de la zone d'étude, ce qui constitue un avantage comparatif pour le maraichage.

Par contre, la présence excessive de phosphates, et de nitrates en particulier, favorise le phénomène d'eutrophisation qui consiste en une prolifération anarchique des algues. Les conséquences peuvent être la disparition progressive de la faune, de la flore ou la création de barrières infranchissables minimisant notamment le déplacement des espèces aquatiques. Sur place, un début d'eutrophisation des lacs a pu être constaté, comme illustré par la figure suivante.



Figure 65 : début d'eutrophisation au bord des lacs

5.4.11 Le Bore

Le lac Djoudj

Le tableau 101 ci-dessous présente les résultats de mesure sur le bore de l'eau du lac Djoudj de novembre à décembre.

Tableau 101 : Teneur en bore (mg/l) du lac Djoudj entre novembre et décembre

Profondeur	Novembre	Décembre
Surface	> 2	> 2
0,5 m	> 2	> 2
1 m	> 2	> 2
1,5 m	> 2	> 2

Le lac Arbed

Le tableau 102 ci-dessous présente les résultats de mesure sur le bore de l'eau du lac Arbed de novembre à décembre.

Tableau 102 : Teneur en bore (mg/l) du lac Arbed entre novembre et décembre

Profondeur	Novembre	Décembre
Surface	> 2	> 2
0,5 m	> 2	> 2
1 m	> 2	> 2
2 m	> 2	ENP
4 m	ENP	ENP

Le lac Sébi-Ponty

Le tableau 103 ci-dessous présente les résultats de mesure sur le bore de l'eau du lac Sébi-ponty de novembre à décembre.

Tableau 103 : Teneur en bore (mg/l) du lac Sébi-Ponty entre novembre et décembre

Profondeur	Novembre	Décembre
Surface	> 2	> 2
0,5 m	> 2	> 2
1 m	> 2	> 2

Analyse des résultats du Bore

Le bore est un nutriment essentiel pour la plante, mais à faible concentration dans l'eau. Il est impliqué dans la translocation des sucres (pour former un complexe sucres-bore) afin de traverser les membranes et se rendre jusqu'aux racines de manière à faciliter la respiration. Il joue un rôle dans la floraison, le métabolisme de l'azote et surtout dans la synthèse des protéines. Le bore peut-être toxique pour les plantes à une certaine concentration dans l'eau.

Une étude américaine donne les tolérances sur le tableau ci-dessous :

Tableau 104 : Tableau de classification de la limite de tolérance du bore pour les plantes

< 0,5 mg/L	Satisfaisant pour toutes les espèces
0,5 à 1 mg/L	Satisfaisant pour la plupart des cultures (les plantes sensibles peuvent, toutefois, voir leurs feuilles affectées)
1 à 2 mg/L	Convient encore à certaines espèces : la production des espèces sensible est réduite
> 2 mg/L	Seule les plantes très tolérantes donnent des productions satisfaisantes

Source : [36]

Le constat est établi que dans tous les lacs ciblés et en toutes périodes, la concentration de bore dans l'eau est supérieure à la limite de tolérance. Malheureusement, aucune technologie économique n'est encore disponible pour éliminer le bore de l'eau d'irrigation tout comme un dispositif d'amendement capable d'annihiler son effet toxique.

La teneur en bore du lac Sébi-Ponty est supérieure à 2 mg/L qui est la valeur maximale que peut sortir le spectrophotomètre. La norme exige une concentration maximale en bore de 0,8 mg/L pour éviter une accumulation toxique chez les cultures sensibles telles que l'ail, le haricot, le citronnier, la cerise, l'oranger, le blé, le sésame, l'avocatier, etc. [29].

Ce bore inhalé ou absorbé par les animaux va se disperser dans le corps avant d'être excrété rapidement, une partie sera incorporée dans les os et prendra plus de temps à être éliminée. Parfois, il peut perturber la reproduction et le développement du fœtus.

Les espèces telles que les bactéries, les algues, les invertébrés et les poissons adultes sont tolérantes aux excès de bore.

Pour prévenir les risques liés au bore, il importe de cultiver les espèces tolérants tels que le chou, le céleri, le navet, le maïs, l’artichaut, la tomate, la luzerne, le persil, l’asperge, le poivron rouge, la carotte, le radis, la pomme de terre, le concombre [36].

5.4.12 Le chlore

Le lac Djoudj

Le tableau 105 ci-dessous présente les résultats de mesure sur le chlore de l’eau du lac Djoudj de novembre à décembre.

Tableau 105 : Teneur en chlore (mg/l) du lac Djoudj entre novembre et décembre

Profondeur	Novembre	Décembre
Surface	0,19	0,14
0,5 m	0,13	0,14
1 m	0,19	0,13
1,5 m	0,11	0,1

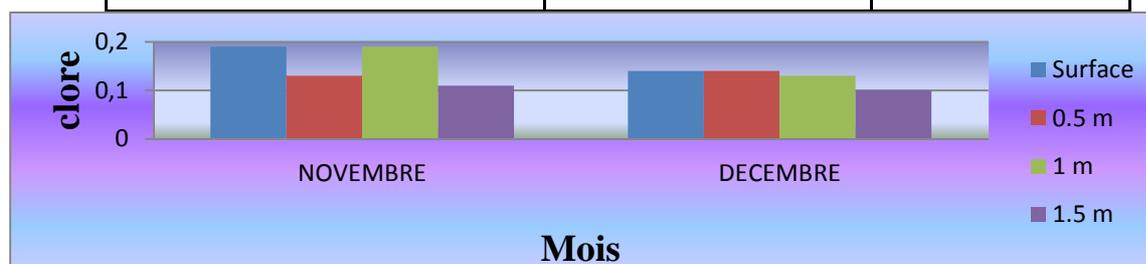


Figure 66 : Teneur en chlore (mg/l) du lac Djoudj entre novembre et décembre

Le lac Arbed

Le tableau 106 ci-dessous présente les résultats de mesure sur le chlore de l’eau du lac Arbed de novembre à décembre.

Tableau 106 : Teneur en chlore (mg/l) du lac Arbed entre novembre et décembre

Profondeur	Novembre	Décembre
Surface	0,11	0,12
0,5 m	0,13	0,12
1 m	0,12	0,1
2 m	0,14	ENP
4 m	ENP	ENP

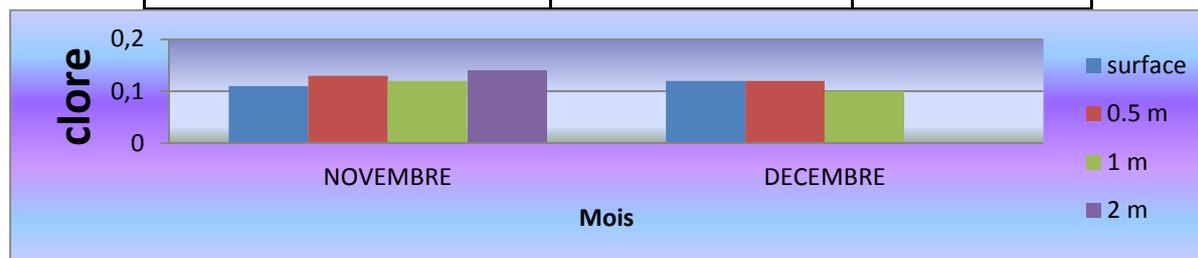


Figure 67 : Teneur en chlore (mg/l) du lac Arbed entre novembre et décembre

Le lac Sébi-Ponty

Le tableau 107 ci-dessous présente les résultats de mesure sur le chlore de l'eau du lac Arbed de novembre à décembre.

Tableau 107 : Teneur en chlore (mg/l) du lac Sébi-Ponty entre novembre et décembre

Profondeur	Novembre	Décembre
Surface	0,19	0,12
0,5 m	0,19	0,13
1 m	0,21	0,13

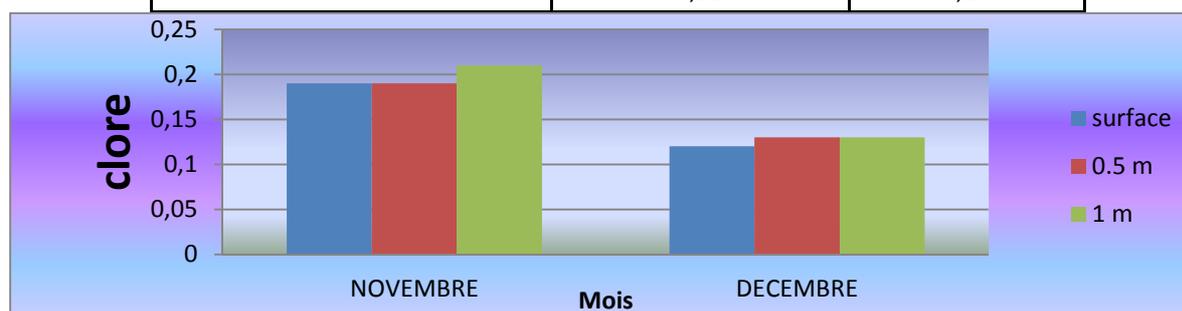


Figure 68 : Teneur en chlore (mg/l) du lac Sébi-Ponty entre novembre et décembre

Analyse des résultats du chlore

Le chlore possède un rôle de régulateur osmotique. Il contribue à maintenir l'hydratation et la turgescence ; il est également impliqué dans l'élongation cellulaire et l'ouverture des stomates.

Pour une bonne utilisation de la plante, sa teneur doit être comprise entre 0 et 100 mg/L (et jamais supérieure à 140) [27].

Le chlore présent en forte concentration peut provoquer un goût désagréable et induire une baisse de consommation en eau des animaux. Dans les trois (3) lacs, la teneur en chlore varie entre 0,1 et 0,21. Ces valeurs sont largement inférieures à la valeur maximale de 140 mg/L que peuvent contenir les eaux d'irrigation et donc la teneur actuelle du chlore ne présente aucun danger pour les plantes cultivées. De même, il ne présente pas de risque pour le développement des espèces dépendant des lacs, et surtout des espèces aquatiques dont la prolifération est bloquée par ce paramètre. Enfin, l'eau chlorée peut perturber la croissance bactérienne saine et nuire aux micro-organismes.

5.4.13 Le potassium

L'échantillonnage répertorié ici ne concerne que le lac Sébi-Ponty.

Lac Sébi-ponty

Le tableau 108 ci-dessous présente les résultats de mesure sur le potassium de l'eau du lac Sébi-ponty de novembre à décembre.

Tableau 108 : Teneur en potassium (mg/l) du lac Sébi-Ponty entre novembre et décembre

Profondeur	Novembre	Décembre
Surface	6,3	6,2
0,5 m	6,6	6,8
1 m	6,1	6,3

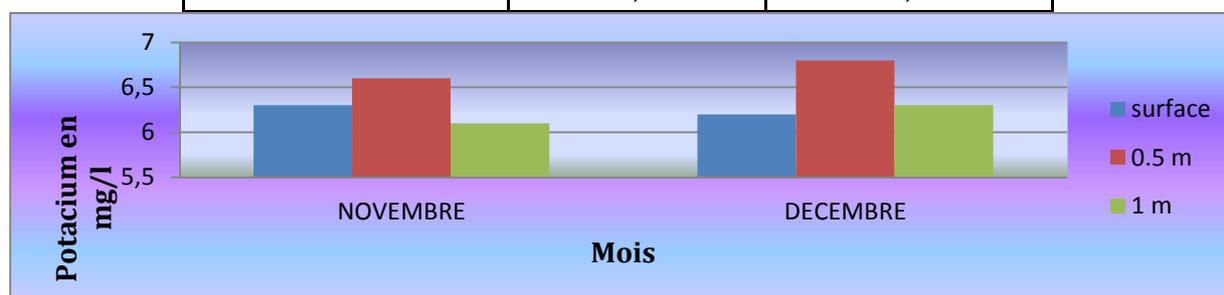


Figure 69 : Teneur en potassium (mg/l) du lac Sébi-Ponty entre novembre et décembre

Analyse des résultats du potassium

Cet élément nutritif intervient dans les parois des stomates qui sont des ouvertures (situées sur la face interne des feuilles) par lesquelles les plantes absorbent le CO₂ et d'autres gaz. Le potassium facilite la circulation des sels minéraux dans les tissus végétaux par le phénomène de l'osmose. Ce faisant, il contribue à l'équilibre ionique au niveau des cellules. Il sert également d'activateur à un certain nombre d'enzymes. Par ailleurs, le potassium réduit la transpiration des plantes et leur confère une plus grande résistance à la sécheresse. Le potassium intervient dans le renforcement des parois des cellules végétales. Une carence en potassium se traduit par un désordre physiologique et une plus grande susceptibilité des plantes à la verse et aux maladies.

Pour une bonne utilisation du potassium par la plante, le taux de cet élément dans l'eau d'irrigation doit être compris dans l'intervalle de 0,5 à 5 mg/L [27].

Le lac Sebi-Ponty se situe légèrement au-dessus de cet intervalle, contrairement aux lacs de SOCOCIM qui se trouvent dans l'intervalle. Il en ressort un risque d'antagonisme par concurrence ionique. Les racines auront tendance à absorber le potassium au détriment du magnésium et du calcium.

5.5 Récapitulatif des résultats des analyses chimiques

Les résultats des analyses chimiques sont répertoriés ci-dessous (tableau 109).

Tableau 109 : Tableau récapitulatif des résultats d'analyse chimique

Nutriment	Arbed	Djoudj	Sébi-Ponty
Turbidité	Elevée par rapport à la norme standard.	Elevée par rapport à la norme standard.	Elevée par rapport à la norme standard.
Couleur	21 - 25 (pt-Co) > 15 (pt-Co) donc suspecte pour la consommation, quelles que soient ses qualités sur le plan bactériologique.	20 -135 (pt-Co) > 15 (pt-Co) donc suspecte pour la consommation, quelles que soient ses qualités sur le plan bactériologique.	42 - 56 (pt-Co) > 15 (pt-Co) donc suspecte pour la consommation, quelles que soient ses qualités sur le plan bactériologique..
Température	Variations de 32 °C à 28 °C : peuvent agir fortement sur la distribution des espèces vivantes	Variations de 31,2 °C à 27 °C : peuvent agir fortement sur la distribution des espèces vivantes	Variations de 32 °C à 25 °C : peuvent agir fortement sur la distribution des espèces vivantes
Conductivité	Forte conductivité due à la présence de calcaire et moins forte pendant la saison des pluies	Forte conductivité due à la présence de calcaire et moins forte pendant la saison des pluies	Faible conductivité avec de faibles variations
PH	Croissante, neutre en février et fortement basique en décembre, ce qui favorise la dissolution de l'ammoniac dont l'excès peut s'avérer toxique pour les œufs et les alevins de poissons.	Croissante, neutre en février et un pic basique en octobre ; favorise la dissolution de l'ammoniac dont l'excès peut s'avérer toxique pour les œufs et les alevins de poissons.	Tendance basique, avec ph supérieur à la norme en novembre ; favorise la dissolution de l'ammoniac dont l'excès peut s'avérer toxique pour les œufs et les alevins de poissons.
Dureté	Très dure dans son ensemble (entre 0 et 48) ; peut entraîner des problèmes de tartes dans les tuyauteries de transport, un goût désagréable pour les animaux et induire une sous-consommation.	Très dure dans son ensemble (entre 0 et 47) ; peut entraîner des problèmes de tartes dans les tuyauteries de transport, un goût désagréable pour les animaux et induire une sous-consommation.	Très dure dans son ensemble (entre 48 et 50); Peut entraîner des problèmes de tartes dans les tuyauteries de transport, un goût désagréable pour les animaux et induire une sous-consommation.
Alcalinité	Entre 11 et 39 mg/l, elle est dans la limite de tolérance pour l'agriculture mais sort de l'intervalle de tolérance pour la pisciculture qui est entre 75 à 200 mg/L.	Entre 06 et 21 mg/l, elle est dans la limite de tolérance pour l'agriculture mais sort de l'intervalle de tolérance pour la pisciculture qui est entre 75 à 200 mg/L.	Elle est très forte au mois d'octobre. Elle sort l'intervalle de tolérance pour la pisciculture qui est entre 75 à 200 mg/l.
Nitrite	Teneur acceptable en octobre (0,2 mg/L) mais forte en novembre et décembre (>5 mg/L) ; toxique pour les animaux si >0,1 mg/L.	Teneur forte en octobre, novembre et décembre (>5 mg/L) ; toxique pour les animaux si >0,1 mg/L.	Teneur forte en octobre, novembre et décembre (>5 mg/L) ; toxique pour les animaux si >0,1 mg/L.
Fer	Forte (>3mg/L), supérieure	Forte (>3mg/L), supérieure à	Forte (>3mg/L), supérieure

	à la valeur limite de l'intervalle de tolérance pour la nutrition des plantes (1 à 2 mg/L).	la valeur limite de l'intervalle de tolérance pour la nutrition des plantes (1 à 2 mg/L).	à la valeur limite de l'intervalle de tolérance pour la nutrition des plantes (1 à 2 mg/L).
Phosphate	Forte (>80mg/L), très profitable pour la nutrition des plantes mais favorise l'eutrophisation	Forte (>80mg/L), très profitable pour la nutrition des plantes mais favorise l'eutrophisation	Forte (>80mg/L), très profitable pour la nutrition des plantes mais favorise l'eutrophisation
Bore	Forte (>2mg/L), excès toxique pour les plantes et difficilement éliminé par le corps des animaux ; peut avoir même des conséquences sur leur reproduction.	Forte (>2mg/L), excès toxique pour les plantes et difficilement éliminé par le corps des animaux ; peut avoir même des conséquences sur leurs reproductions.	Forte (>2mg/L), excès toxique pour les plantes et difficilement éliminé par le corps des animaux ; peut avoir même des conséquences sur leurs reproductions.
Chlore	la teneur en chlore varie entre 0,1 et 0,14. Ces valeurs sont largement inférieures à la valeur maximale de 140 mg/l que peuvent contenir les eaux d'irrigation et donc la teneur actuelle du chlore ne présente aucun danger pour les plantes cultivées.	la teneur en chlore varie entre 0,1 et 0,19. Ces valeurs sont largement inférieures à la valeur maximale de 140 mg/l que peuvent contenir les eaux d'irrigation et donc la teneur actuelle du chlore ne présente aucun danger pour les plantes cultivées.	la teneur en chlore varie entre 0,12 et 0,21. Ces valeurs sont largement inférieures à la valeur maximale de 140 mg/l que peuvent contenir les eaux d'irrigation et donc la teneur actuelle du chlore ne présente aucun danger pour les plantes cultivées.
Potassium	Non étudié	Non étudié	Valeur entre 6,1 et 6,8 mg/L. Pour une bonne utilisation du potassium par la plante, le taux de cet élément dans l'eau d'irrigation doit être compris dans l'intervalle de 0,5 à 5 mg/L.

5.6 Conclusion

Les résultats obtenus par cette étude montrent que les concentrations en bore, en fer, en nitrite, en phosphate et en potassium excèdent la teneur préconisée par la norme pour les besoins agropastoraux. Cependant, ces concentrations sont acceptables pour les besoins de fabrication du ciment qui est pour le moment le seul besoin industriel de la zone.

Face à ces problèmes de qualité d'eau surtout à Sébi-Ponty qui est le plus exploité pour les besoins agropastoraux, des solutions idoines doivent être étudiées. Une campagne de sensibilisation des exploitants est aussi nécessaire afin de les aider à une meilleure exploitation.

Par ailleurs, les résultats de cette étude permettent de classer les eaux des lacs Arbed, Djoudj et Sébi-Ponty dans la classe de la qualité passable, c'est-à-dire suffisante pour l'irrigation, les

usages industriels. Toutefois, leur utilisation pour une eau potable requiert un traitement poussé.

L'abreuvement des animaux est généralement toléré. Le poisson y vit normalement ; mais, en raison de la présence de nitrites, sa reproduction peut être aléatoire.

Cette eau ne peut être utilisée pour usage domestique et la baignade y est dangereuse. Néanmoins, les loisirs liés à l'eau y sont possibles lorsqu'ils ne nécessitent que des contacts exceptionnels avec elle.

SIXIEME CHAPITRE

GESTION

OPTIMALE

DES RESSOURCES

HYDRIQUES

6 Gestion optimale des ressources hydriques

De nos jours, le maintien de la qualité de l'eau, la sauvegarde et la protection des espèces aquatiques représente une nécessité pour la biodiversité des espèces halieutiques. Il en est de même pour la pérennisation des retenues naturelles ou artificielles qui constitue un impératif en vue de pallier le manque criard de l'eau, ce liquide précieux, observé ces dernières années.

Pour éviter de répercuter fatalement ce déficit en eau dans le futur, il urge de mobiliser le maximum des ressources superficielles, en chercher de nouvelles, lutter contre les pertes et améliorer la qualité des eaux disponibles. En effet, cette qualité est aujourd'hui devenue un problème crucial, car elle se dégrade de plus en plus. Les paramètres ne subissant pas l'influence de l'activité humaine présente aux environs des lacs sont en dessous de la norme ; parallèlement, ceux pouvant être influencés par ces activités voient leurs concentrations augmenter jusqu'à dépasser parfois la valeur limite.

L'augmentation des besoins en eau de la zone exige la recherche d'autres ressources hydriques. Il est clair que la zone de Bargny-Diamniadio enregistre d'un côté un manque énorme en ressources, au même moment où les besoins en eau pour une utilisation industrielle, maraichère et pastorale augmentent, et de l'autre côté le volume d'eau mobilisable est en baisse.

Partant de ce constat, une série de suggestions a été proposée afin de sauvegarder les ressources mobilisées actuellement, tout en essayant de les accroître au maximum, dans la mesure du possible.

6.1 Problématiques

Les lacs de Diamniadio (Sébi-ponty et Banthiar) sont, en majorité, utilisés pour des besoins agricoles et pastoraux estimés à 5 540 700 m³ par an (voir tableau 110). Dans ce tableau les besoins totaux concernent respectivement l'arrosage normal, par goutte à goutte, et également l'abreuvement des bovins et des ovins.

Tableau 110 : Besoins agricoles et pastoraux

Besoins agricoles et pastoraux en m ³						
	Arrosage	Arrosage goutte à goutte	Bovins	Ovins	Total Besoins 1	Total Besoins 2
Journalier	1 800	900	12 500	880	15 180	14 280
Annuel	657 000	328 500	4 562 500	321 200	5 540 700	5 212 200

(Ces estimations sont faites en concertation avec le président de la commission agriculture et élevage de la commune de Diamniadio)

Quant aux lacs de la SOCOCIM, les besoins concernent le process de fabrication du ciment. Selon les relevés de compteur de cette cimenterie, sur la période du 15 février 2012 au 05 décembre 2012, la consommation moyenne journalière de l'usine peut être estimée à 1 376,5 m³ ; ce qui équivaut à un volume mensuel de 41 294,6 m³ et un volume annuel moyen de 502 417,4 m³.

A l'insuffisance de la capacité de réserve des lacs, s'ajoutent, d'une part les pertes par évaporation (équivalant à 32% du volume de tous les lacs) et d'autre part, les pertes par trop plein au niveau du lac Banthiar, correspondant à 27% de son volume.

Au moment où les collectes d'eau peinent à satisfaire le besoin industriel de la cimenterie, une grande quantité d'eau traverse l'ancien barrage de Rufisque (voir figure70) pour inonder le quartier Gouye Mouride. Il convient de signaler que ce barrage, en état de dégradation très avancée, est à seulement 200 m à vol d'oiseau du lac Arbed.

Hormis les dégâts matériels importants causés à la population de Gouye Mouride, cette catastrophe a également entraîné un mort durant la saison des pluies de l'année 2015.



Figure 70 : Etat de dégradation du barrage de Rufisque

Au vu de ces différents problèmes d'inondation et des besoins à satisfaire (agricoles, pastoraux et industriels), il urge d'initier des solutions afin de réduire les problèmes, voire même les éliminer définitivement. Le tableau ci-dessous fait l'état des besoins annuels.

Tableau 111 : Comparaison des besoins par rapport à la disponibilité

Zone	Besoins annuels	Bilans annuels nets disponibles	Déficit
Diamniadio	5 540 700 m ³	866 233 m ³	4 647 467 m ³
SOCOCIM	502 417 m ³	106 498 m ³	395 919 m ³

En sus de ces problèmes de déficit d'eau, s'ajoute un excès de certains minéraux : concentration en bore, en fer, en nitrite, en phosphate et en potassium excédant la norme préconisée en matière de teneur. Il serait important de dégager des solutions techniques à ces problèmes ou de suggérer des comportements à adopter.

6.2 Les solutions préconisées pour une bonne gestion des ressources

A l'issue de la première phase de diagnostic qui a permis d'évaluer la quantité des ressources disponibles en eau naturelle et l'ensemble des besoins actuels de la zone, **onze (11) solutions majeures** ont été dégagées et ci-dessous répertoriées :

6.2.1 Imperméabilisation des lacs pour lutter contre l'infiltration

Dans notre cas, les études ci-dessus montrent que les pertes par infiltration sont relativement minimales et insignifiantes. Toutefois, quelques techniques d'imperméabilisation seront abordées en vue de prendre en compte les besoins futurs, comme, par exemple, le recours aux produits géo-synthétiques comme l'argile benthonique et la géo-membrane EPDM Firestone.

6.2.1.1 Imperméabilisation avec l'argile benthonique.

L'argile benthonique est une argile qui agit grâce à ses propriétés colloïdales et gonflantes. C'est à cet effet qu'elle est utilisée pour l'étanchéité des plans d'eau (étangs, bassins) :

- ✓ elle permet d'améliorer jusqu'à 90% l'étanchéité d'une réserve d'eau ;
- ✓ elle assure une longévité de l'efficacité du processus d'étanchéité dont l'effet s'accroît d'année en année.

Le travail d'étanchéité doit obligatoirement se faire lorsque le lac est à sec ou lors de sa création.

Des essais effectués au laboratoire montrent que l'imperméabilité d'un sol est fonction de la quantité d'argile benthonique apportée, ainsi que de la pression effectuée sur cette couche. Pour avoir un coefficient de perméabilité inférieur à 10^{-9} m/s, il est nécessaire d'avoir une pression sur la couche mise en place d'environ 1 bar (1tonne de terre sur 1m^2).

6.2.1.1.1 Dose d'utilisation recommandée

Le dosage est fonction de la nature des sols (environ 5 cm dans le cas de sols très sableux (3 cm de hauteur d'argile = 30 kg/m^2)).

6.2.1.1.2 Méthodes d'application

La couche d'argile doit être comprise entre deux (2) couches de terre fortement tassées (technique du sandwich). En règle générale, une couche d'argile de **3 à 5 cm** est suffisante pour les lacs artificiels afin d'assurer une bonne étanchéité. Cette quantité d'argile varie avec la structure plus ou moins sableuse du sol et du sous-sol. En fonction de la texture, la composition lithologique et la granulométrie, chaque sol aura un comportement différent en mélange avec les argiles benthoniques.

6.2.1.2 *Imperméabilisation avec la géo-membrane EPDM Firestone.*

Pour l'étanchéité des lacs, un recours peut être fait à l'utilisation de géo-membranes qui offrent des performances exceptionnelles pour un grand nombre d'applications de génie civil telles que les lacs artificiels, les bassins d'aquaculture ou de décantation.

Le dispositif d'étanchéité réalisé avec géo-membrane est facile à installer. Le choix préconisé porte sur la **géo-membrane EPDM Firestone**. Ce choix est guidé par les caractéristiques suivantes :

6.2.1.2.1 Grande souplesse à la variation de température

Les géo-membranes **EPDM Firestone** sont extrêmement souples même à des températures agressives, ce qui leur permet aux d'épouser des formes irrégulières et de reposer à plat sur le support. Leur mise en œuvre est donc possible toute l'année.

6.2.1.2.2 Haute élasticité et résistance à la traction

Les géo-membranes **EPDM Firestone** peuvent avoir une capacité d'allongement considérable dans toutes les directions, ce qui leur permet d'absorber les mouvements du support.

6.2.1.2.3 Haute résistance aux pressions hydrostatiques

Ces géo-membranes ont une résistance quasi-illimitée aux pressions hydrostatiques, ce qui permet leur utilisation dans des bassins profonds de très grande capacité.

6.2.1.2.4 Haute stabilité dimensionnelle

Les géo-membranes **EPDM Firestone** peuvent être facilement déformables, mais elles reprennent systématiquement leur taille et forme initiales, contrairement aux géo-membranes thermoplastiques qui conservent leurs déformations et la réduction d'épaisseur associée.

6.2.1.2.5 Longévité exceptionnelle

Le bon fonctionnement constaté sur les premiers bassins réalisés en 1973 constitue la preuve de leur extrême durabilité. La composition chimique de la géo-membrane **EPDM Firestone** lui confère une résistance quasi-illimitée aux rayons UV, à l’ozone et aux conditions climatiques sévères, sans altérer ses caractéristiques physiques, que la membrane soit exposée ou recouverte. La géo-membrane **EPDM Firestone** ne contient aucun plastifiant susceptible de migrer et de provoquer un vieillissement prématuré de la géo-membrane qui peut facilement être réparée, même après des dizaines d’années d’exposition.

6.2.1.2.6 Installation simple

Les géo-membranes **EPDM Firestone** sont disponibles en panneaux de grande dimension jusqu’à 15 m de large et 61 m de long en une seule pièce (930 m²), ce qui permet une installation rapide et une réduction significative du nombre de joints in situ.

La bande de joint auto-adhésive **Firestone QuickSeam Splice Tape** permet un assemblage de haute qualité sans outillage particulier.



Figure 71: Pose des géo-membranes EPDM Firestone sur un chantier

6.2.2 Aménagement des bassins versants tributaires des lacs

Pour augmenter l’apport de ces différents bassins versants tributaires des lacs, un remodelage du terrain et l’imperméabilisation des berges de chacun des lacs sont nécessaires. Pour y arriver, des études topographiques approfondies doivent être conduites en vue de réaliser des travaux de terrassements appropriés. Cette solution est, cependant, onéreuse.

6.2.3 Maitrise du phénomène d'évaporation

Le phénomène d'évaporation pourra être maîtrisé par l'une des deux (2) méthodes ; à savoir le décapage du fond des lacs et la pose d'une couverture de feuille de polystyrène:

6.2.3.1 Décapage du fond des lacs

Il s'agit de procéder au décapage du fond des lacs en vue de privilégier le stockage en profondeur. Cette technique diminue la surface d'ensoleillement et, par voie de conséquence, la quantité d'évaporation.

6.2.3.2 Pose de feuilles de polystyrène

Cette technique consiste à poser sur la surface de l'eau des feuilles de polystyrène qui vont flotter sur le lac de manière à couvrir environ la moitié de la surface exposée à l'ensoleillement. Cependant, il convient d'éviter de couvrir à 100% la surface du lac pour des raisons environnementales. Les poissons et autres espèces vivant dans ce lac auront besoin de ces rayons. Le gain attendu de cette solution est une réduction de la surface d'évaporation de 50%.

6.2.4 Augmentation du volume de stockage des lacs

L'augmentation de la capacité de stockage des lacs peut être obtenue par dragage et par décapage.

6.2.4.1 Dragage des différents bassins

Un dragage des différents bassins est nécessaire, vu le volume annuel de dépôts sédimentaires donné par la relation ci-dessous :

$$V_{séd} = B \times V_r$$

Où

- $V_{séd}$ est le volume des sédiments déposés dans la retenue sur un intervalle de temps (m^3);
- V_r le volume ruisselé sur le même intervalle de temps ;
- B étant un coefficient adimensionnel qui représente la teneur moyenne en sédiments des eaux ruisselées.

La valeur de B est comprise entre **3,4%** et **6,7%** pour un sol marneux ou argileux (ce qui est le cas dans la zone d'étude). En prenant une valeur moyenne de **5,05%**, les volumes moyens annuels de sédiments apportés par les eaux de ruissellement au niveau des lacs sont consignés dans le tableau ci-dessous

Tableau 112 : Volume moyen annuel de sédiments apporté au niveau de chaque BASSIN

Bassin	Volume ruisselé (m ³)	Volume de sédiments (m ³)
Arbed	63 997	3 232
Djoudj	34 143	1 724
Banhair	239 744	12 107
Sebi-Ponty	932 805	47 107
TOTAL	337 884	17 063

D'après ce tableau, il est constaté, chaque année, une perte d'un volume total approximatif de **17 063 m³** en termes de capacité de stockage, ce qui justifie le dragage périodique recommandé tous les cinq (5) ans.

6.2.4.2 Décapage du fond des bassins

Malgré son coût onéreux, la technique de décapage est aussi que plus que nécessaire sur ces bassins. En effet, le décapage permet aux bassins de maintenir et/ou d'augmenter leur capacité initiale qui ne cesse de se réduire à cause des apports solides importants enregistrés chaque année.

6.2.5 Élimination des algues

Il est important de réfléchir soigneusement sur les actions d'élimination des algues des plans d'eau car ces dernières participent considérablement à l'eutrophisation des bassins. Les principaux effets causés par ces eutrophisations peuvent être résumés comme suit :

- ✓ l'augmentation de la turbidité qui n'est pas un bon indicateur pour la qualité de l'eau.
- ✓ l'augmentation du taux de sédiments dans le lac, ce qui réduit la capacité des lacs.

En termes de lutte contre l'eutrophisation, il existe de très nombreuses méthodes pour lutter contre ce phénomène parmi lesquelles mention peut être faite :

- ✓ du dragage des sédiments
- ✓ du faucardage et de la récolte des plantes aquatiques

Les moyens de lutte pour faire face au développement algues sont divers et variés, notamment, entre autres:

6.2.5.1 Le traitement chimique

Les composés chimiques utilisés sont des herbicides et traitent le problème du développement des macrophytes en s'attaquant directement aux plantes aquatiques. Les méthodes répertoriées ci-dessous utilisent des produits chimiques, à savoir :

6.2.5.1.1 L'inactivation du phosphore par coagulation/floculation

Certains agents chimiques introduits dans le plan d'eau sont capables de diminuer la concentration en phosphore soluble à partir duquel les algues peuvent synthétiser leurs tissus. En le précipitant ou en le piégeant par absorption sur les sédiments, le phosphore n'est, dès lors, plus disponible. Il est possible, dans ce cas, d'utiliser les sels d'aluminium (aluminat de sodium), les sels de fer (chlorure ferrique) et les sels de calcium tel que la chaux.

6.2.5.1.2 Épandage d'argile à la surface de l'eau

L'argile a une action comparable aux coagulants et présente l'avantage d'être un produit naturel. L'action de l'argile pulvérisée à la surface de l'eau est de se fixer sur les algues qui, ainsi lestées, tombent au fond des eaux. Dans leur chute, les particules d'algue-argile se heurtent et recueillent plus d'algues, formant ainsi des masses de débris pelucheux appelées neige marine.

6.2.5.2 Le traitement physique

Pour le traitement physique, deux (2) procédés peuvent être cités, à savoir l'action sur l'énergie lumineuse reçue par les eaux et les ondes ultrasons.

6.2.5.2.1 Action sur l'énergie lumineuse reçue par les eaux

6.2.5.2.1.1 Les bâches de recouvrement des eaux

Le but de cette technique est d'empêcher le développement des algues en les privant de la lumière du soleil nécessaire à leur croissance. A cet effet, une couverture opaque (qui peut être de nature diverse) est ainsi placée à la surface de l'eau.

6.2.5.2.1.2 Les encres spéciales

Cette technique repose sur l'utilisation de teintures ou d'encres pour stopper la croissance des plantes aquatiques nuisibles. Ces encres ont pour but de limiter la quantité de lumière qui parvient aux algues.

6.2.5.2.2 Ondes ultrasons

Les ultrasons fonctionnent en envoyant des ondes sonores qui résonnent à la fréquence des cellules d'algues réelles. Le choix de la fréquence est fonction du type d'algue. Comme ces vibrations s'accumulent dans les cellules, les algues seront endommagées et meurent souvent,

ou verront, tout au moins, leur cycle de vie perturbé pour qu'elles ne puissent pas se reproduire. Finalement, la floraison diminue voire disparaît.

6.2.6 Réalisation de nouveaux lacs artificiels dans la carrière de Bargny

Afin de récupérer un volume d'eau beaucoup plus important, il s'avère indispensable de procéder à la prospection des meilleurs sites et la réalisation de nouveaux lacs artificiels. Pour ce faire, la SOCO CIM doit développer un programme ambitieux de construction de nouveaux lacs artificiels.

Un bilan hydrologique de la zone a montré une importante surface de bassin versant derrière la carrière de SOCO CIM (BV12) qui couvre une superficie de 1 232 ha environ. Ce bassin versant draine plus d'un millions deux cent mille mètres cubes d'eau vers le barrage de Bargny. Il convient de signaler qu'une partie de cette surface de bassin versant se trouve dans le domaine du titre foncier de la société.

Pour la réalisation de ces lacs, il est nécessaire de déterminer les limites du titre foncier avant de définir l'implantation de l'exutoire le plus adéquat.

Tableau 113 : Bilan Hydrologique du barrage de Bargny.

Mois	Volume Ruisselé (m ³)	Bilan (m ³)
Juin	28 642	28 642,45
Juillet	164 463	164 463,11
Août	535 891	535 891,03
Septembre	430 253	430 252,74
Octobre	70 528	70 528,19
Année	1 229 777,52	1 229 777,52

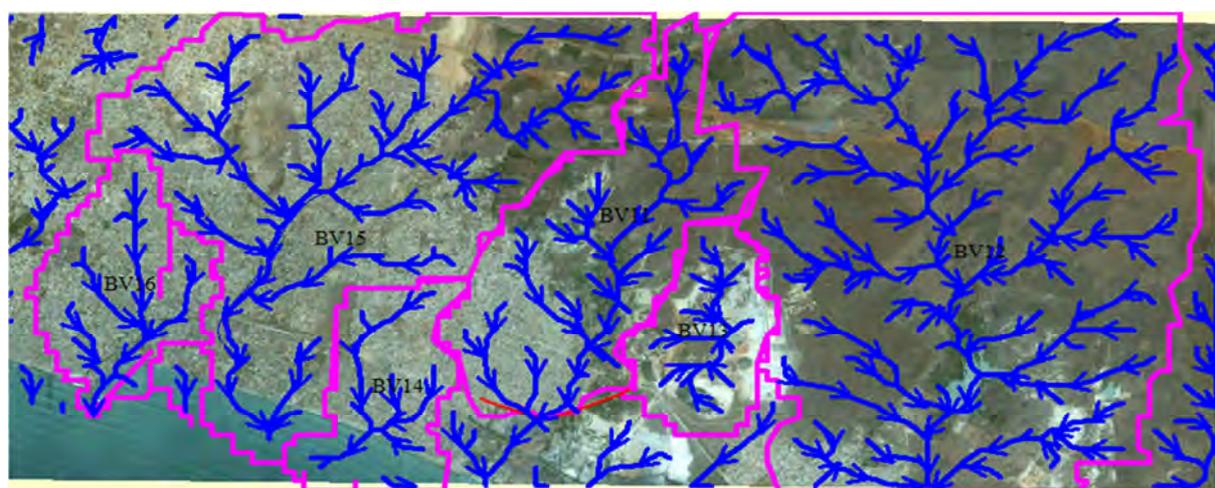


Figure 72 : Bassins versant des zones avoisinant la SOCO CIM

Tableau 114 : Tableau de superficie des bassins versants autour de la SOCOCIM

Bassin versant	Surface en m ²	Périmètre en km
BV11: bassin versant traversant Gouye Mouride et SOCOCIM	3 608 349	10,451
BV12: bassin versant du barrage de Bargny	12 319 334	16,546
BV13: bassin versant Arbed, Djouth et Gruner	1 370 776	6,244

6.2.7 Réalisation de bassin de rétention des eaux pluviales dans la zone de Rufisque et environs

Le principe du bassin de rétention des eaux pluviales est simple. Il s'agit d'un espace de stockage des eaux de pluie avant leur rejet dans le milieu naturel ou dans le réseau d'eaux usées. Il peut être enterré ou à ciel ouvert. Dans le cas d'espèce, des bassins à ciel ouvert sont recommandés pour des problèmes de coût. Ces types de retenue (les bassins à ciel ouvert ou enterrés) doivent être implantés à proximité immédiate des bassins versants qui occasionnent des débits importants.

L'emplacement de ces retenues doit être compatible avec le site environnant, compte tenu des conditions naturelles qu'il offre. Son implantation est fonction de la topographie du site, de l'urbanisation, de l'importance et de la localisation des exutoires urbains, du volume d'eau présumé à collecter. Faute d'études préalables, il nous sera impossible de procéder au dimensionnement proprement dit d'un bassin de rétention. Cependant, il sera proposé une présentation succincte d'une des méthodes de dimensionnement de tel ouvrage de collecte :

METHODE DE DIMENSIONNEMENT DES BASSINS DE RETENTION

Après avoir rassemblé les principaux éléments nécessaires à la conception d'un tel projet comme :

- la topographie,
- la délimitation des bassins versants,
- les caractéristiques mécaniques et hydrauliques des sols,
- les caractéristiques de la nappe etc.

Il importe donc de déterminer le volume de rétention nécessaire à travers la fixation des éléments suivants :

6.2.7.1 Le coefficient de ruissellement

Le processus commence par la détermination du coefficient de ruissellement sur chaque bassin versant. Pour cela, on attribue à chaque type de terrain un coefficient de ruissellement connu :

C = 0,20 pour les terres végétales ;

C = 0,40 pour des terres végétales sur dalles ;

C = 0,95 pour les toitures, les voiries, les allées et les parkings ;

Ces coefficients ne sont que des exemples et seront adaptés selon le type de terrain étudié.

6.2.7.2 La surface active du bassin-versant

La valeur de la surface active du bassin-versant est alors déterminée et sera exprimée en ha. Cette surface correspond à l'aire équivalente à la fraction imperméabilisée de la surface totale du bassin versant. On la calcule à l'aide des coefficients de ruissellement entrevus précédemment.

6.2.7.3 La hauteur équivalente

La formule $h_{eq} = 360 * Q / Sa$ est appliquée et donne la hauteur équivalente, en mm/h, répartie sur la surface active.

6.2.7.4 La hauteur spécifique de stockage

A l'aide de l'abaque (voir annexe), la valeur de la hauteur spécifique H_a de stockage peut être déterminée ; elle est exprimée en mm, pour une pluie de temps de retour de dix (10) ans.

6.2.7.5 Calcul du volume utile V

L'ultime étape consistera alors à évaluer le volume utile V par la formule $V = 10 * H_a * Sa$.

6.2.8 Drainage des eaux d'inondation vers les lacs

La première étape devrait consister, de notre point de vue, à procéder à la réhabilitation du barrage de Rufisque dont la retenue (volume d'eau) sera ensuite drainée vers les lacs de la SOCOCIM Industries par la création d'un réseau de caniveaux pendant la saison pluvieuse. Cette opération permettra à la SOCOCIM de contribuer activement à la lutte contre les inondations récurrentes dans la ville de Rufisque.

En effet, au moment où la SOCOCIM a un déficit de bilan hydrologique (voir tableau 4) au niveau de ses lacs, 288 000 m³ d'eau en moyenne traversent, chaque année, le site de la SOCOCIM pour se déverser en mer, créant ainsi des dégâts matériels et souvent des pertes en vies humaines dans le quartier de Gouye Mouride.

C'est pourquoi la SOCOCIM gagnerait à récupérer cette eau en réhabilitant l'ex-barrage de Rufisque, situé entre la centrale électrique de SOCOCIM, la route reliant l'autoroute à péage et Bargny.

Cette réhabilitation permettra à la SOCOCIM, non seulement de récupérer près de 288 000 m³ d'eau de plus pour ces lacs, mais également de régler les problèmes d'inondation du quartier Gouye Mouride de Rufisque.

Tableau 115 : Bilan Hydrologique du barrage de Rufisque.

Mois	Volume Ruisselé (m ³)	Bilan (m ³)
Juin	6 712	6 711,53
Juillet	38 537	38 537,17
Août	125 571	125 570,55
Septembre	100 817	100 817,27
Octobre	16 526	16 526,24
Année	288 162,75	288 162,75

6.2.9 La lutte contre le gaspillage

Les aspects évoqués ici sont les pertes d'eaux dues aux fuites dans le système de canalisation de refoulement au niveau de la SOCOCIM d'une part, et l'utilisation irrationnelle de l'eau par les agriculteurs au niveau des réserves de Banthiar et Sébi-Ponty d'autre part.

6.2.9.1 Cas de la SOCOCIM

Les volumes d'eau stockés dans les lacs sont transférés vers l'usine par un système de canalisation sous pression. C'est ainsi que des pertes non négligeables (causées par les bris de conduites ou les défauts d'étanchéités des joints) sont enregistrées au niveau des canalisations. Afin de réduire ces fuites, les canalisations doivent être régulièrement entretenues et renouvelées du fait d'une usure très marquée.

6.2.9.2 Cas des réserves de Banthiar et Sébi-Ponty

En ce qui concerne les barrages de Banthiar et Sébi-Ponty, les agriculteurs utilisent des quantités d'eaux sans commune mesure avec les besoins réels des cultures. Pour rationaliser les consommations à des fins agricoles, il importe d'initier des campagnes de sensibilisation et de formation des cultivateurs par l'utilisation du goutte à goutte qui réduit la consommation agricole à 50%.

En effet, pour une utilisation moyenne de 60 m³/ha et par jour, l'utilisation du goutte à goutte peut ramener à consommation à 30m³/ha et par jour. A titre de rappel, selon les données de la commune de Diamniadio, la surface agricole exploitable avoisinait 80 ha dans le passé, mais avec l'évolution démographique de la zone, il ne reste plus que 30 ha environ.

6.2.10 Recyclage et réutilisation des eaux usées de la SOCOCIM

Actuellement, l'eau usée provenant de la SOCOCIM Industries est rejetée en mer, au moment où les besoins en eau pour le refroidissement dans le process ne sont pas satisfaits. En plus du rejet des eaux usées, les eaux provenant respectivement de la nappe et des fuites sont collectées dans la galerie et acheminées vers la mer. Ce volume est relativement important et peut être recyclé en vue d'une réutilisation dans le process.

Afin d'augmenter les ressources en eau, il serait pertinent de trouver un système de récupération des eaux usées pour les recycler après dépollution dans une station de filtration. Ainsi, après des traitements spécifiques, ces eaux pourraient être réutilisées, sous certaines conditions, pour des usages de refroidissement qui n'exigent pas nécessairement une eau potable.

6.2.11 Amélioration de la qualité de l'eau

6.2.11.1 Le bore

Il n'existe pas de technologie économique pour éliminer le bore de l'eau d'irrigation ni d'amendement capable d'annihiler son effet toxique.

La solution pour les cultivateurs est, d'essayer de cultiver des plantes résistantes aux effets du bore (voir tableau 116).

Tableau 116 : classement par degrés de tolérance des plantes au bore [29]

Plantes Sensibles (entre 0,5 et 1 mg/l)	Plantes Semi Tolérantes (entre 1 et 2 mg/l)	Plantes Tolérantes (entre 2 et 10 mg/l)
Citronnier	Patate douce	Carotte
Pamplemoussier	Tomate	Laitue
Avocatier	Citrouille	Choux
Oranger	Avoine	Navet
Murier	Mil	Oignon
Abricotier	Maïs	Luzerne
Pêcher	Blé	Betterave
Cerisier	Orge	Betterave fourragère
Persimmon (kaki)	Olivier	Betterave à sucre
Vigne	Petit pois	Palmier dattier
Pommier	Radis	Asperge
Poirier	Coton	Tamaris
Prunier	Pomme de terre	
Artichaut	Tourne sol	
Noyer		
Noyer de pacan		

6.2.11.2 Le fer

Il est assez courant d'extraire le fer contenu dans l'eau provenant de sources d'approvisionnement, tout comme souvent le manganèse parallèlement. L'extraction du fer consiste le plus souvent en l'oxydation du Fe^{2+} , soluble, à la forme Fe^{3+} , insoluble, au moyen du chlore ou du permanganate de potassium, employés comme oxydants. Au terme de cette opération, le Fe^{3+} se dépose au fond du lac.

6.2.11.3 Le nitrite

La solution la plus simple pour réduire le taux de nitrite est la nitratisation qui consiste à la transformation des nitrites en nitrates moins toxiques, par les bactéries nitrobacters en présence d'oxygène. La température idéale pour elles est de 28 degrés.

Les bactéries nitrifiantes chimiolithotrophes sont des bactéries à Gram négatif qui possèdent la capacité d'utiliser l'ammonium ou le nitrite comme seule source d'énergie et d'effectuer la fixation autotrophe du CO_2 via le cycle de Calvin. Ces bactéries étaient anciennement regroupées au sein de la famille des Nitrobacteriaceae (Watson et al. 1989). L'utilisation de cette technique nécessite une étude approfondie.

6.2.11.4 Le phosphate

Bien qu'il y'ait un dépassement du taux de phosphate, il ne nous semble pas opportun, dans le cadre de cette étude, de trouver une solution à ce problème. Nous allons plutôt traiter la conséquence qui est l'eutrophisation (voir paragraphe 6.2.5).

6.2.11.5 Le potassium

Le dépassement en potassium n'est pas excessif, il ne nous semble pas opportun, dans le cadre de cette étude, de trouver une solution à ce problème. Cependant, il importe que les cultivateurs en soient informés et sensibilisés afin qu'ils puissent en tenir compte en toute connaissance de cause pour le contrôle de la consommation en magnésium et en calcium des plantes, voire même procéder à un choix judicieux de leurs cultures.

6.3 Conclusion

Suite à ces différents problèmes soulignés par l'étude (déficit et qualité passable de l'eau) des propositions techniques ont été formulées dans ce chapitre. Les objectifs visés sont les suivants :

- ☞ augmenter les collectes d'eau ;
- ☞ utiliser rationnellement les ressources disponibles ;
- ☞ recommander une conduite à tenir face à l'excès de certains minéraux tels que le bore, le fer, le nitrite, le phosphate et le potassium.

Il est important de noter que les solutions évoquées dans ce chapitre nécessitent une étude technique plus approfondie couplée à une étude financière.

Conclusion générale et perspectives

Etendues sur une superficie d'environ 14 km², les villes de Diamniadio et Bargny sont de vieux villages occupés par une population très active dans la vie économique. La pluviométrie de la zone est fortement réduite ces dernières décennies avec une moyenne annuelle de 401,30 mm sur les trente (30) dernières années suite à une sécheresse cyclique dont l'incidence sur la recharge des bassins de la zone est très significative. Elle se traduit sur le plan agro-écologique par une dégradation de la végétation et une réduction des productions agricoles.

En plus de ce phénomène de sécheresse, s'ajoute la forte évaporation des plans d'eau de surface avec une moyenne annuelle de 1000 mm environ, ce qui augmente le taux de perte.

L'objectif de cette étude était d'abord d'estimer les volumes des cinq (5) réserves naturelles de la zone cible, à savoir les barrages de Sébi-Ponty et Banthiar, et les lacs Arbed, Djoudj et Gruner.

Ainsi, grâce aux bassins versants (couvrant au total 12,6 Km²), les lacs reçoivent directement, sous forme de précipitations, un volume annuel moyen de **1 351 788 m³** d'eau au moment où **302 172 m³** sont perdus chaque année par évaporation, **7 466 m³** par infiltration et **69 405 m³** par trop plein.

Sur l'ensemble du volume mobilisable, un taux de 28,04% est hors d'usage. L'évaporation, constitue le facteur de perte le plus élevé (environ 80% des volumes), entraînant ainsi l'essentiel des fluctuations du niveau des lacs.

Du point de vue qualitatif, les résultats des analyses effectuées sur la période allant de février à décembre montrent que les concentrations en bore, fer, nitrite, phosphate et potassium excèdent la teneur préconisée par la norme pour les besoins agropastoraux.

Par ailleurs, les résultats de cette étude permettent de classer les eaux des lacs Arbed, Djoudj et Sébi-Ponty dans la classe de la qualité passable, c'est-à-dire suffisante pour l'irrigation et les usages industriels. Leur utilisation pour une eau potable requiert un traitement poussé. Il importe de souligner, au passage, que l'excès de certains minéraux tels que le bore et les nitrites peuvent nuire aux activités agro-pastorales.

Par rapport au défi de la valorisation des ressources hydriques en vue de la pérennisation des volumes mobilisables d'eau, de la problématique du déficit et de la qualité de l'eau, une gestion optimale s'impose. Ainsi, différentes solutions techniques ont été proposées, allant de l'imperméabilisation à l'aménagement de nouveaux bassins tributaires, tout en maîtrisant le phénomène d'évaporation.

Certains éléments jugés, par ailleurs, importants dans le contexte d'une maîtrise de la qualité de l'eau à usage agropastorale, n'ont pas été expressément pris en compte dans la présente étude.

D'autres éléments mineurs non intégrés dans la cadre de cette étude tels que le chrome, le nickel, le mercure et le sélénium peuvent être potentiellement toxiques. Pour la plupart, ils se retrouvent principalement dans les effluents municipaux et industriels. Une analyse de ces composants ainsi qu'une étude bactériologique sont fortement recommandées.

La maîtrise des bactéries présentes dans l'eau d'irrigation est aussi très importante. Elles peuvent être nuisibles lorsque le nombre de bactéries de tous types dépasse les 10 000/ml d'eau.

En présence de très faibles quantités d'oxygène et de particules organiques en suspension, les bactéries se multiplient et forment des colonies qui prennent l'apparence de traînées gélatineuses. De plus, ce type de bactéries oxyde certains minéraux comme le fer, le manganèse ou le soufre en composés insolubles, qui viennent aussi boucher les goutteurs. Il serait très important d'initier une étude approfondie sur la nature des bactéries présentes dans ces lacs ainsi que leurs quantités.

Il convient également de noter que les solutions évoquées dans le cadre de cette étude nécessitent une étude technique plus approfondie couplée d'une étude financière.

En outre l'acquisition d'équipements tels que bac d'évaporation, limnimètre, bathymètre, etc. pour mesurer certains paramètres permettant d'évaluer correctement le bilan hydrologique.

Une modélisation de toutes ces réserves s'avère nécessaire pour apprécier le niveau de précision des grandeurs calculées par les formules semi-empiriques utilisées.

Une campagne de mesure sur une longue période (5ans minimum) serait un atout pour intégrer l'aspect changement climatique.

Références bibliographiques

- [1]. Laurent Touchart (2003) « Hydrologie, Mers, Fleuves et Lacs » EAN : 9782200264611 ; 192p.
- [2]. André Musy, Christophe Higy et Emmanuel Reynard (2013) « hydrologie tome1, une science de la nature, une gestion sociétale » 2^{ième} édition revue et augmentée ; Presses polytechniques et universitaires romandes, 489p.
- [3]. République du Sénégal ; Ministère de l'Economie, des Finances et du Plan Agence ; Nationale de la Statistique et de la Démographie (Septembre 2014): Rapport définitif RGPHAE (Recensement Général de la Population et de l'Habitat, de l'Agriculture et de l'Elevage) 2013.
- [4].J Barrère; M Slansky; M Arnould; France. Bureau de recherches géologiques et minières; et al ; BRGM(1960):Afrique Occidentale-Carte Géologique.4, Sénégal
- [5].G. Castany (1982), Hydrogéologie, principes et méthodes, Ed Dunod, Université-Bordas, Paris, 238p.
- [6].NF P94-051 (Mars 1993) : Sols : reconnaissance et essais - Détermination des limites d'Atterberg - Limite de liquidité à la coupelle - Limite de plasticité au rouleau.
- [7].A. Musy (2005), Cours d'hydrologie générale. Laboratoire d'hydrologie et Aménagements (HYDRAM), Ecole Polytechnique Fédérale, Lausanne (Suisse).
- [8].C. O. Wisler & E. F. Brater (1959), Hydrology. John Wiley, Chichester, West Sussex, UK.
- [9].M. Roche (1963), hydrologie de surface. Gauthier-Villars et ORSTOM, Paris, France.
- [10]. R. C. Ward (1975), Principles of Hydrology. McGraw-Hill, New York, USA.
- [11]. OMM (Organisation Météorologique Mondiale) (1996) Guide des pratiques hydrologiques: acquisition et traitement des données, analyses, prévision et autres applications. Publication OMM no. 168. OMM (world Meteorological organization), Genève suisse.
- [12]. A. N. Strahler (1964), Quantitative geomorphology. In: Handbook of Applied Hydrology (ed. by V. T. Chow), Section 4-II. McGraw-Hill, New York, USA.
- [13]. FAO (1996) : Crues et Apports ; manuel pour l'estimation des crues décennales et apports annuels pour les petits bassins versants non jaugés de l'Afrique de l'Afrique sahélienne et tropicale sèche. FAO-CAMAGREF-ORESTOM-CIEH : 1996
- [14]. R.J. Bouchet, (1963): Évapotranspiration réelle et potentielle: signification climatique. Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences

- General Assembly, Committee for Evaporation, 19-31 août 1963, Berkeley, International Association of Hydrological Sciences Publication N° 62, p. 134-142.
- [15]. XU.C-Y. (2005). Comparison of seven models for estimation of evapotranspiration and groundwater recharge using lysimeter measurement data in Germany Hydrological Processes N°19 : 3717–3734.
- [16]. R.G. Allen, L. Pereira, D. Raes and M. Smith, (1998). Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop waters requirements – FAO irrigation and drainage paper 56; chapters 1, 2, 3 & 4, annex 3& 5.
(www.fao.org/docrep/x0490E/x0490e00.htm)
- [17]. P. Brochet, N. Gerbier, (1974). L'évapotranspiration. Aspect agrométéorologique, évaluation pratique de l'évapotranspiration potentielle. Monographie n°65 de la Météorologie Nationale ; 95p.
- [18]. R. Allen, (2000): «Using the FAO-56 dual crop coefficient method over an irrigated region as part of an evapotranspiration intercomparison study». Journal of Hydrology, Volume 229, N° 1-2, pp. 27-41.
- [19]. J.O. Bailey, (1990): «The potential value of remotely sensed data on the assessment of evapotranspiration and evaporation». Remote Sensing Reviews, Volume 4, N° 2, pp. 349-377.
- [20]. W.G.M. Bastiaanssen, M. Menenti, R.A. Feddes et A.A.M. Holtslag, (1998): «A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL): Partie 1 Formulation». Journal of Hydrology, Volumes 212-213, p. 198-212.
- [21]. R.N; McNeely, V.P. Neimanis & L. Dwyer (1979) Water Quality Sourcebook; a Guide to Water Quality Parameters, Environment Canada, Ottawa, 88 p.
- [22]. JD. Hem (1985), Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water, USGS Water Supply Paper, 2254, 117–120.
- [23]. Hceflcd (2006), Etude sur la pisciculture au barrage Almassira, CR dar Chafaai, Cercle d'Elbrouge, Province de Settat, 201p,.
- [24]. Office fédéral de l'environnement OFEV (2010) : Méthodes d'analyse et d'appréciation des cours d'eau, Analyses physico-chimiques, nutriments.

- [25]. M. Huet (1970). *Traité de pisciculture*, Éditions Ch de Wyngaert, Avenue Georges Henri, 296, 1 200 Bruxelles.
- [26]. OMS, (2006) : Les lignes directrices de l'OMS en ce qui concerne la qualité de l'eau potable, mises à jour en 2006 sont la référence en ce qui concerne la sécurité en matière d'eau potable.
- [27]. I. Couture (février 2006); "Principaux critères pour évaluer la qualité de l'eau en micro-irrigation"; colloque sur l'irrigation; Centre de Référence en Agriculture et Agroalimentaire du Québec (CRAAQ) ; pp 1-12
- [28]. I. Couture (2003); "Guide de production des annuelles en caissettes"; Centre de Référence en Agriculture et Agroalimentaire du Québec (CRAAQ); pp.313
- [29]. H.G. Peterson (1999); "Water quality and Micro-irrigation for horticulture"; WateResearch Corp. and Agriculture and Agri-Food Canada ; pp.1-36.
- [30]. R. Morin (2013); "Qualité de l'eau requise pour l'élevage des salmonidés" ; Document d'information DADD-14 ; Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation; pp.25.
- [31]. SIGMA Environmental Consultants Ltd. (1983); "Summary of water quality criteria for salmonids fishes"; Department of Fisheries and Oceans ; SECL 8067 ;
- [32]. W.A. Wurts, R.M. Durborow (1982). Interactions of pH, carbon dioxide, alkalinity and hardness in fish ponds, Southern Regional Aquaculture Center, U.S., Publication No. 464, 4 p.
- [33]. Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME). Update (2005). *Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Agricultural Water Uses*.
- [34]. Florence Van der horst, « Les bonnes pratiques pour une eau de qualité en élevage de volailles label (2007) » ; Ecole d'ingénieurs de PURPAN Portail documentaire ; Dans TeMA, Techniques et Marchés Avicoles (N°3, juillet - août - septembre 2007) ; Article en pages : 12-16
- [35]. Ahmed Bamouh (2007) ; « Fertilisation Minérale des Cultures Les éléments fertilisants majeurs (Azote, Potassium, Phosphore) », Royaume du Maroc ministère de

l'agriculture et de la pêche maritime ; Bulletin mensuel d'information et de liaison du PNTA, transfert de technologie en agriculture N°155 Août 2007.

- [36]. A.Landreau et L.Monition, (1977) : Nouvelle évaluation de la qualité de l'eau pour l'irrigation ; 25p.
- [37]. Michel Beaud (2006): L'art de la thèse : comment préparer et rédiger un mémoire de master, une thèse de doctorat ou tout autre travail universitaire à l'ère du net ; ISBN : 9782707147943 ; 208 p.
- [38]. Gora Ndiaye (1999) : Projet Sénégal/fao (tcp/sen/6714) réhabilitation de trois barrages dans les niayes : étude hydrologique du bassin versant de sebi ponty.
- [39]. Audits urbain (2000), organisationnel et financier, préparation du contrat de la commune de Bargny– rapport final cabex-sarl –4 août 2000.
- [40]. Shigeo Karimata (Mars 2001), Documentation technique de la JGRC Générer l'abondance dans le Sahel par la lutte contre la désertification ; Vol. 3 Guide technique du développement des ressources en eau, Construction d'infrastructures hydrauliques adaptées aux conditions locales : puits, mares et mini-barrages.
- [41]. Sylvain M. Djikou (2006) : Calcul de l'ETP Penmanmonteith à différents pas de temps sur quatre sites du Haut Bassin de l'Ouémé.
- [42]. Le rapport de Projection de la population du Sénégal/ANSD/MEFP- (juillet 2015) du ministère sénégalais de l'économie, des finances et du plan.
- [43]. Schéma Directeur d'Aménagement et de Développement Territorial de la zone Dakar-Thiès-Mbour commandité par Agence nationale de l'Aménagement du Territoire en JANVIER 2015.
- [44]. J.M.Tchouani nana (1999), M.Callaud (2004) ; Cours mécanique des sols tome1 de l'institut International d'ingénierie de l'eau et de l'environnement (groupe EIER et ETSHER).
- [45]. W. Nazif, S. Perveen and S.A. Shah (JULY 2006); "Evaluation of irrigation water for heavy metals of akbarpura area"; Journal of Agricultural and Biological Science ; Vol.1 ; N°.1 ;; pp. 51-54
- [46]. S. Werner, S. Laura and Ph. Behra (2005); "Chimie des milieux aquatiques, Cours et exercices corrigés" ; Edition Dunod ; Collection : Sciences Sup ; 3^{ème} édition ; pp. 442-510.

- [47]. Ministère des travaux publics de l'habitat et de l'urbanisme du Sénégal & ORSTOM (1962); « Etude hydrologique des bassins versants de Sébikotane, Campagne 1962 »
- [48]. Gora Bar (1997) « Projet de réhabilitation des barrages de Sébi-Ponty, études préliminaires, ENDA 1997 »
- [49]. Gora Ndiaye (1998) « Eudes hydrologiques des bassins versants de Sebi-ponty, Banthiar et Bargny »

Annexes

ANNEXE 1 : Moyenne mensuelle pluviométrique (mm) à Dakar sur la période de 1985 à 2014 (données météorologiques nationale)

Années	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
1985	0,6	0	0,2	0	0	13,9	72,4	260,1	143,9	15,5	0	0,5
1986	0	1,9	0,4	0	0	0	23,5	95,0	260,6	8,4	0	0
1987	0	0	0	0	0	3,7	53,8	247,3	118,8	19,4	0	0
1988	0	0	0	0	0	19,2	9,5	201,8	205,1	22,9	0	0
1989	0	0	0	0	0	27,1	105,1	356,5	102,3	4,4	0	0
1990	12,3	0	0	0	0	3,4	25,4	99,5	99,3	29,0	0	0
1991	0	0	0	0	0	0	26,0	102,7	122,3	23,3	0	0
1992	0	3,7	0	0	0,6	0	49,2	86,6	48,9	0,8	0,3	1,2
1993	0,8	0	0	0	0	0	65,3	84,3	166,5	9,0	0	0
1994	0	0	0	0	0	3,6	2,9	154,6	89,2	0	0	0
1995	0	0,5	0	0	0,7	11,7	58,9	305,7	57,3	21,9	0	0
1996	0	0	0,5	0	0	0	75,7	102,9	240,4	35,5	0	0
1997	0	0	0	0	0	25,1	10,2	69,1	96,4	1,0	0	0
1998	0	0	0	0	0	0	1,3	191,3	148,5	0,4	0	0
1999	0,2	0	0	0	0	1,1	80,6	100,0	209,5	94,2	0	0,6
2000	0	0	0	0	0	0	173,8	157,1	40,2	94,6	0	0
2001	0	0	0	0	0	0,3	66,5	105,7	96,1	10,0	3,6	0
2002	34,8	0	0	0	0	9,9	0,7	128,9	123,5	26,7	0	0
2003	0	0	0	0	0	83,4	92,3	117,9	80,0	41,5	0	0
2004	0	0	0	0	0	3,2	8,0	124,0	89,0	4,0	0	0
2005	0	3,9	0	0	0	5,3	114,4	336,0	159,8	43,5	0,5	0
2006	0	2,3	0	0	0	6,9	54,5	114,4	197,4	45,6	0	0
2007	0	0	0	0	0	0,6	92,3	85,9	87,3	0	0	0
2008	0	1,6	0	0	0	0,3	106,2	164,1	226,6	12,7	0	0
2009	0	0	0	0	0	0,8	71,9	283,7	165,3	33,6	0	0
2010	0	0	0	0	0	49,7	39,5	183,4	279,3	24,6	0	0
2011	0	0	0	Tr	0,0	8,1	21,4	193,0	75,3	9,3	0	0
2012	0	0	3,8	Tr	Tr	0,4	70,4	379,5	194,2	Tr	0,1	0
2013	0	0	0	0	0	0	29,4	300,1	192,8	30,6	4,6	9,4
2014	0	0	0	0	0	0,0	0,4	87,0	73,3	0,6	0	0
Moyenne Mensuelle	1,62	0,46	0,16	0,00	0,04	9,26	53,38	173,94	139,64	22,86	0,30	0,39

ANNEXE 2: Moyenne mensuelle des températures maximales (°C) à Dakar sur la période de 1985 à 2014 (données météorologiques nationale)

Années/mois	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
1985	21,5	24,2	23,4	23,5	23,9	27,3	29,2	29,5	29,8	30,9	28,7	27,1
1986	21,9	23,0	23,8	24,6	25,7	27,3	29,4	29,6	30,0	30,2	28,1	25,8
1987	24,6	24,2	26,8	27,1	26,9	29,4	30,3	30,4	30,2	30,5	29,7	27,6
1988	23,5	23,5	26,6	25,0	26,2	27,8	29,5	29,7	29,9	29,9	29,1	25,9
1989	24,3	24,0	24,0	23,1	26,0	29,1	29,6	29,2	30,0	30,3	26,5	27,2
1990	21,7	26,9	27,5	24,3	25,2	27,3	29,3	30,4	31,4	31,6	29,3	25,5
1991	24,6	23,9	23,4	24,4	24,3	26,9	28,9	29,6	30,4	30,4	29,8	27,9
1992	27,2	23,8	25,0	23,3	25,9	28,0	29,0	30,0	30,5	30,0	30,0	26,2
1993	24,7	23,6	24,4	25,0	25,8	28,6	30,1	30,7	30,6	30,6	26,5	26,5
1994	24,6	24,8	24,1	25,4	25,5	27,8	29,6	29,6	29,9	30,5	29,6	29,6
1995	25,7	26,2	23,3	24,0	26,0	28,6	30,7	30,1	31,2	31,8	31,7	27,3
1996	25,7	24,9	24,6	25,7	27,2	29,5	30,4	30,5	30,4	31,5	30,9	26,5
1997	25,9	29,2	27,1	24,8	26,8	29,3	29,8	30,0	30,8	30,9	30,6	27,4
1998	28,0	27,0	27,0	26,0	26,0	28,0	30,0	30,0	31,0	32,0	32,0	28,0
1999	23,3	23,6	23,0	24,6	26,3	30,0	30,7	30,1	30,7	30,7	28,7	27,6
2000	24,1	25,8	27,7	25,2	24,7	28,2	29,6	30,0	31,1	29,9	29,4	28,3
2001	25,8	27,3	25,7	25,0	26,0	30,0	31,0	31,0	31,5	32,5	31,0	25,8
2002	26,5	25,1	24,2	23,9	25,6	28,7	29,9	30,4	30,8	31,0	30,0	28,8
2003	25,1	22,6	25,7	25,1	26,2	28,3	29,2	30,2	31,1	31,8	30,0	29,3
2004	25,4	26,0	26,0	25,0	26,0	29,0	31,0	31,0	32,0	32,0	30,0	27,0
2005	25,8	23,5	26,2	25,8	29,0	30,3	30,7	31,1	30,7	31,4	30,8	30,4
2006	23,8	24,8	25,7	25,6	26,1	29,3	30,6	31,2	31,6	31,3	32,0	28,1
2007	27,8	26,8	25,5	25,5	27,3	28,0	29,7	30,3	31,5	31,5	30,8	27,4
2008	30,1	27,8	26,9	26,7	27,3	29,8	31,1	30,6	31,3	30,8	28,9	26,6
2009	24,1	22,6	23,4	24,5	26,2	29,2	30,9	31,0	30,9	31,6	30,4	27,7
2010	27,5	27,0	27,5	26,6	27,4	29,9	31,2	31,3	31,1	31,3	31,4	29,0
2011	27,9	26,0	23,9	25,4	25,7	29,1	30,4	30,8	31,4	32,3	29,4	28,6
2012	26,2	23,4	26,0	24,1	26,5	28,6	29,7	30,2	30,7	31,9	30,4	26,6
2013	25,9	26,8	25,5	30,4	27,7	28,9	30,4	30,4	30,4	30,4	28,8	26,5
2014	24,0	30,4	23,5	24,6	25,3	29,2	30,4	30,7	31,0	31,5	29,2	26,9
Moyenne Mensuelle	25,2	25,3	25,2	25,1	26,2	28,7	30,1	30,3	30,8	31,1	29,7	27,4

ANNEXE 3 : Moyenne mensuelle des températures minimales (°C) à Dakar sur la période de 1985 à 2014 (données météorologiques nationale)

Années/mois	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
1985	16,6	17,2	17,5	18,0	18,9	22,3	24,4	24,8	24,6	24,6	21,5	19,7
1986	15,7	16,6	16,7	18,9	20,6	22,4	24,7	25,0	24,0	24,9	22,0	19,0
1987	17,5	17,1	17,9	20,3	22,4	24,5	25,2	25,3	24,7	24,8	22,9	20,0
1988	16,0	16,0	17,6	19,5	21,1	23,2	25,2	24,9	24,7	23,9	22,6	19,2
1989	17,8	18,3	17,7	17,4	20,4	23,8	25,1	24,8	25,0	24,9	21,6	20,9
1990	16,6	17,8	19,7	18,6	19,7	22,2	24,7	25,2	25,5	25,9	23,3	19,8
1991	18,6	17,7	17,1	17,9	18,7	21,8	24,0	24,8	24,9	24,9	23,5	21,3
1992	19,4	18,4	17,2	18,0	20,4	23,1	24,4	24,9	24,6	23,8	22,7	20,5
1993	18,1	17,2	17,9	19,4	20,3	22,8	24,5	24,9	24,5	24,5	20,6	19,0
1994	16,7	16,2	17,0	18,4	19,4	22,3	24,0	24,9	25,0	24,5	23,1	20,9
1995	18,0	18,1	17,7	18,6	20,8	23,2	25,7	25,0	24,8	24,9	22,1	20,1
1996	17,8	17,0	17,8	18,8	20,6	23,4	24,7	24,8	24,7	24,4	22,2	21,4
1997	19,0	19,2	18,8	18,5	21,2	24,1	25,3	25,0	25,7	25,8	25,0	21,0
1998	20,0	20,1	20,6	20,8	21,1	23,0	25,0	26,0	26,0	26,0	24,0	22,0
1999	16,9	16,5	17,3	18,4	20,9	24,7	25,5	25,7	25,0	25,3	22,4	20,4
2000	18,3	18,4	19,2	19,7	20,1	23,4	24,9	24,9	25,6	24,5	22,9	20,1
2001	16,9	17,8	18,3	19,0	21,0	24,0	25,0	26,0	24,8	25,9	26,0	16,9
2002	19,2	18,7	17,9	17,9	20,0	23,8	25,6	25,5	25,3	25,3	23,4	20,7
2003	17,6	17,0	18,3	19,4	21,3	23,2	25,2	25,4	25,7	26,0	24,0	21,6
2004	18,6	18,4	18,0	19,0	20,0	23,0	25,0	25,0	25,0	27,0	24,0	22,0
2005	18,8	18,1	19,1	20,2	23,3	25,3	25,7	25,4	24,8	25,6	24,0	21,9
2006	17,7	16,9	17,9	19,6	20,3	24,0	25,4	25,5	25,2	25,8	23,9	19,8
2007	19,1	17,8	18,0	18,7	20,5	22,4	24,4	25,2	25,2	25,3	23,2	20,0
2008	18,8	20,0	19,9	20,3	21,7	23,3	25,7	25,4	25,1	25,3	22,6	20,6
2009	17,7	17,0	17,8	20,9	20,2	23,5	25,4	24,7	25,0	26,1	23,6	21,3
2010	18,7	19,0	20,0	20,9	21,7	26,6	25,9	25,8	25,1	25,7	24,0	23,3
2011	21,2	17,8	17,9	19,4	20,5	23,9	25,3	25,5	25,5	26,2	23,8	21,9
2012	19,0	19,7	18,7	18,9	21,1	23,8	25,4	25,0	25,3	25,9	24,9	20,6
2013	21,7	18,8	19,0	19,1	21,6	24,0	25,7	25,5	25,3	26,2	23,3	20,7
2014	18,4	16,5	17,7	18,9	20,7	24,2	25,9	25,9	25,6	26,5	24,6	21,2
MOYENNE	18,2	17,8	18,2	19,1	20,7	23,5	25,1	25,2	25,1	25,3	23,3	20,5

ANNEXE 4 : Insolation moyenne journalière par mois (heures/jour) à Dakar sur la période de 1985 à 2014 (données météorologiques nationale)

Années/Mois	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
1985	6,0	6,0	7,6	9,2	9,9	8,3	6,8	7,0	6,5	8,2	8,2	6,0
1986	6,0	9,2	8,8	8,3	8,0	7,5	7,2	6,5	6,7	8,7	6,8	5,6
1987	7,9	8,3	9,5	6,8	6,3	7,9	7,4	6,8	6,2	6,8	8,3	8,9
1988	7,5	5,9	9,3	9,4	9,5	8,1	6,6	6,9	7,0	9,2	9,1	7,2
1989	7,6	6,5	8,4	9,6	9,0	7,2	6,9	6,7	7,5	7,8	6,6	8,2
1990	5,7	8,0	7,0	8,9	10,1	8,1	7,3	7,5	8,2	7,6	7,6	8,9
1991	4,9	8,4	9,6	9,9	8,4	6,7	6,2	7,0	6,3	8,0	7,7	5,8
1992	7,3	8,0	7,9	8,2	6,8	7,5	7,4	7,3	6,8	8,7	6,1	7,5
1993	5,6	8,1	9,0	9,0	8,6	7,9	6,8	7,7	7,3	7,6	8,0	7,6
1994	7,8	8,6	8,5	8,3	8,7	8,1	7,3	5,1	7,3	9,1	7,6	7,3
1995	8,0	7,6	9,8	10,6	10,1	9,1	7,6	6,8	7,2	8,5	8,8	6,9
1996	10,0	9,5	8,1	10,0	9,3	7,6	6,7	7,6	8,3	8,6	7,5	4,2
1997	7,6	7,6	7,8	10,7	7,2	6,3	8,0	7,3	6,6	8,7	7,9	6,6
1998	6,5	7,9	6,8	8,2	7,8	5,6	6,1	6,3	5,5	8,5	7,7	6,4
1999	7,9	7,6	8,0	8,1	8,3	5,9	6,3	6,1	6,8	6,6	7,7	6,9
2000	6,6	6,9	9,3	8,7	8,1	6,3	5,5	6,0	7,2	7,1	8,8	8,7
2001	9,9	7,6	9,2	9,1	10,1	7,8	6,8	8,3	3,4	9,3	8,2	8,2
2002	7,8	6,7	9,2	9,4	9,3	7,0	7,9	7,1	6,4	7,8	7,0	7,5
2003	8,7	7,1	8,6	9,1	7,2	5,7	5,1	6,4	7,2	7,8	7,7	6,5
2004	6,8	7,6	8,7	9,7	9,9	x	6,5	7,6	7,5	8,6	8,2	7,6
2005	5,9	7,9	10,2	9,7	7,7	9,2	7,0	6,6	6,7	7,6	7,7	7,4
2006	7,7	8,2	8,6	9,9	9,8	8,9	7,3	7,8	7,7	8,1	9,9	8,2
2007	7,8	8,7	8,8	9,2	9,7	7,9	6,9	7,0	7,3	8,6	8,2	8,6
2008	8,0	9,0	9,4	9,9	10,3	8,4	7,5	7,0	7,7	7,8	9,1	8,5
2009	9,1	9,2	9,4	10,3	9,4	8,5	7,9	6,8	5,2	9,0	7,7	7,2
2010	8,6	10,1	8,9	9,0	7,2	7,9	6,6	7,5	6,1	8,0	9,5	8,5
2011	7,2	9,4	10,0	9,7	10,1	11,7	7,9	6,3	7,9	8,7	9,1	8,8
2012	6,6	6,1	6,5	8,0	8,5	7,9	7,4	7,0	7,0	9,1	7,8	8,2
2013	7,1	7,6	9,7	9,3	9,7	6,9	7,9	5,7	6,4	8,1	7,1	7,6
2014	8,4	9	9	9,6	8,9	8,2	8,3	7,4	7,2	9,6	9,3	6,4
Moyenne Mensuelle	7,4	7,9	8,7	9,2	8,8	7,7	7,1	7,0	6,9	8,2	8,1	7,4

ANNEXE 5 : Vitesse moyenne des vents (m/s) à Dakar sur la période 1984 à 2013 (Données de la météorologie nationale)

Années	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Dec
1985	NNE	NNE	NNW	N	NNW	WNW	WSW	SSW	SW	NNW	N	NNE
	4,5	4,8	6,8	7,1	6,8	3,7	3,3	2,7	3,8	3,4	4,5	5,3
1986	N	N	N	N	NNW	NW	W	WSW	WNW	NNW	NNW	N
	5,2	5,4	6,2	5,3	4,5	4,9	4,2	3,8	2,9	3,7	5	5,2
1987	N	N	N	NNW	N	N	N	NNW	N	N	NNE	ENE
	4,8	4,6	4,5	3,9	3,9	3,3	3,4	3,3	2,9	3,7	4,2	5,6
1988	NNE	N	N	NNE	N	NNW	W	SW	N	N	N	NNE
	5,7	5	4,4	5,3	4,8	4,2	3,9	3,3	3,4	3,3	4,5	4,7
1989	NNE	NW	N	N	NW	WNW	WNW	W	NW	NNW	N	N
	4,7	5,1	5,5	5,5	4,3	3,7	3	3,7	3,4	4,2	5,1	5,6
1990	N	N	N	NNW	NW	WNW	WNW	WNW	WNW	WNW	N	N
	5,7	5	5,4	6,7	5,5	4,7	4,4	4	3,7	3,9	6,3	6,8
1991	N	N	N	N	NNW	WNW	W	WNW	NW	N	N	N
	6	6,7	7	6,3	6,2	4,5	4,2	3,8	3,3	4,9	6	5,6
1992	NNW	NNW	NNW	NNW	NNW	NW	W	W	WNW	NNW	NNE	NNE
	5,4	5,9	5,9	7,5	5,3	3,4	2,8	2,9	2,2	3,6	4	5,1
1993	NNE	NNE	N	N	NNW	WNW	W	WNW	NW	NNW	NNE	NNE
	4,3	4,9	4,7	4,9	5	3,2	2,9	2,7	2,6	3,3	4,4	4,2
1994	NNE	NE	NNW	NNW	NNW	WNW	WNW	WNW	WNW	NNW	NNW	NE
	4,6	4,2	4,6	4,4	3,7	2,8	2,9	2,5	2,5	3	3,3	4,4
1995	NNE	NNE	NNW	NNW	NNW	NNW	WNW	WNW	NNE	NNW	NNE	NE
	4,4	4,3	4,4	4,6	4,1	4,1	3,9	3,5	2,5	3,1	3,6	4,5
1996	NNE	NNE	NNE	NNE	N	NNW	W	NW	NNW	NNW	NNE	NNE
	4,9	5,2	5,5	5,6	6,0	4,1	3,5	3,4	3,4	3,1	4,1	5,5
1997	NNE	NNE	NNE	NNE	N	NNW	NNW	NNW	N	N	N	NE
	5,2	4,4	5,4	5,3	3,9	2,8	3,1	3,0	2,7	3,2	3,4	4,0
1998	N	NE	N	N	N	NNW	NW	WNW	NNW	N	NE	NE
	4,9	4,4	5,0	5,9	5,2	3,5	3,0	3,0	3,0	2,9	3,9	5,4
1999	NE	NNE	NNE	N	NNW	NW	WNW	SW	WNW	N	N	NNE
	5,1	5,4	6,3	4,7	3,4	2,9	3,0	3,2	2,7	3,1	3,3	4,7
2000	NNE	NNE	N	N	N	NNW	NW	NW	NW	N	N	NNE
	5,0	4,6	4,3	4,9	4,9	3,9	3,4	2,8	2,8	3,4	3,8	4,2
2001	NNE	NNE	NNE	N	WNW	WNW	NW	NW	NW	NNW	N	NE
	4,1	4,2	4,6	4,8	3,9	3,5	3,7	3,5	3,4	3,3	4,3	4,1
2002	NNE	N	NNE	N	N	NW	NW	NNW	SW	N	N	NNE
	4,4	4,5	4,7	5,0	4,5	3,6	3,8	3,2	3,7	3,6	4,9	4,5
2003	N	N	N	N	NNW	NW	WNW	WNW	NNW	N	N	NNE
	5,2	5,5	5,1	5,6	4,6	4,1	3,4	3,7	3,1	3,4	4,9	4,5
2004	NNE	NNE	N	N	N	NW	WNW	NNW	WNW	N	N	NNE
	5,0	4,9	5,1	5,6	5,1	3,8	3,6	3,6	3,0	3,6	4,9	4,2
2005	NNE	N	NNE	N	NW	NNW	W	WNW	WNW	NNW	NNE	NNE
	4,9	6,1	5,5	5,8	4,0	4,2	3,6	3,2	3,5	3,4	5,3	4,8
2006	NNE	N	N	N	N	NW	NW	NW	N	N	N	NNE
	5,7	5,3	5,2	5,2	5,0	4,0	3,8	3,5	3,4	3,8	4,1	5,1
2007	N	N	N	N	N	NNW	NW	N	N	N	N	N
	5,1	5,4	6,0	5,6	5,1	3,9	3,7	3,7	3,1	3,9	5,2	5,5
2008	NNE	N	N	N	N	N	NW	NNW	NW	N	N	N
	5,0	5,4	5,1	5,3	5,4	4,0	4,0	3,6	2,7	3,5	4,5	5,4
2009	N	N	N	N	N	NNW	NW	NW	N	N	N	N
	6,0	6,5	6,1	5,9	4,5	4,1	3,7	3,1	3,3	3,6	4,1	4,9
2010	N	N	N	N	N	NNW	NW	WNW	S	NW	N	N
	4,5	4,9	5,3	5,4	5,1	4,4	3,7	3,5	3	3,2	4,1	5,4
2011	N	N	N	N	N	NNW	NW	NW	NW	N	N	N
	5,1	5,4	6,1	5,5	5,2	4,0	3,8	3,5	3,0	3,6	5,2	5,3
2012	N	N	N	N	N	WNW	NW	W	WNW	N	N	N
	5,3	5,9	5,2	6	4,6	3,8	3,6	3,6	3	3,4	5,1	5,5

2013	N	N	N	N	N	NW	NW	NNW	NW	N	N	N
	4,9	5,1	5,5	5,3	3,6	3,1	3,9	3,8	3,1	3,1	4,5	4,7
2014	N	N	N	N	N	NNW	NW	WNW	WNW	NNW	N	N
	5,3	5,9	5,6	5,2	5	3,6	3,9	3,4	3	3,5	5,4	5,2
Moyenne	5,0	5,1	5,4	5,5	4,8	3,8	3,5	3,3	3,1	3,5	4,5	5,0

ANNEXE 6 : Moyenne mensuelle des humidités maximales (°C) à Dakar sur la période de 1985 à 2014 (données météorologiques nationale)

Années/Mois	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
1985	94	92	90	94	93	93	93	94	96	96	93	84
1986	85	92	93	91	92	92	85	92	97	91	87	87
1987	94	94	92	93	90	90	90	92	96	94	94	85
1988	86	91	92	94	93	91	88	93	95	95	87	83
1989	86	89	93	94	92	91	91	92	95	93	95	90
1990	88	92	92	94	93	93	88	91	90	90	86	88
1991	89	87	93	93	93	90	88	87	92	92	91	90
1992	90	96	88	92	91	91	90	88	91	90	82	85
1993	83	87	92	91	87	86	85	88	90	87	87	83
1994	85	88	90	92	92	90	84	88	88	88	87	80
1995	80	87	90	91	90	89	85	90	90	89	90	87
1996	90	91	91	92	88	88	86	89	91	91	88	85
1997	88	86	87	92	94	90	87	X	91	92	87	86
1998	86	92	89	91	92	90	85	90	93	89	86	84
1999	87	87	92	94	92	88	87	89	93	91	92	83
2000	86	85	91	91	92	88	86	92	91	93	89	89
2001	93	87	92	92	91	88	89	91	94	93	85	93
2002	87	87	90	92	91	88	83	88	92	90	85	90
2003	86	92	90	85	90	89	88	88	92	90	88	86
2004	89	90	90	91	91	x	85	88	92	90	87	86
2005	84	90	93	93	91	84	87	90	93	93	87	89
2006	87	93	92	95	93	89	87	88	91	89	88	82
2007	83	90	89	92	91	90	86	89	93	87	87	84
2008	79	88	93	93	90	88	86	90	92	90	90	84
2009	86	90	92	92	92	89	86	92	94	90	89	92
2010	91	92	92	93	90	87	89	89	94	92	90	92
2011	88	90	94	94	92	86	86	91	93	90	90	91
2012	89	89	92	96	93	90	89	94	95	93	90	88
2013	92	91	95	93	93	88	89	92	94	90	88	88
2014	92	88	92	93	92	90	84	87	91	91	93	86
Moyenne	87	90	91	93	91	89	87	90	93	91	89	87

ANNEXE 7 : Moyenne mensuelle des humidités minimales (%) à Dakar sur la période de 1985 à 2014 (données météorologiques nationale)

Années/Mois	Janv.	Févr.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept	Oct.	Nov.	Déc.
1985	60	54	59	67	69	69	72	75	75	65	54	39
1986	46	59	56	64	68	71	65	72	73	65	47	40
1987	51	56	47	58	66	67	66	70	74	67	52	42
1988	44	58	51	65	66	68	67	73	76	66	52	38
1989	43	56	61	66	65	66	72	75	76	68	70	51
1990	54	47	57	67	69	71	69	69	70	66	52	52
1991	54	54	62	64	67	69	66	69	72	64	53	48
1992	49	71	47	67	66	69	73	68	71	62	41	53
1993	44	54	63	66	65	65	65	67	68	65	55	44
1994	42	47	58	64	70	73	65	71	69	61	51	28
1995	30	46	63	65	67	68	64	71	70	60	46	51
1996	56	57	62	66	62	64	66	70	72	65	41	51
1997	49	32	45	66	68	64	67	X	70	67	54	45
1998	43	55	54	66	69	69	65	72	76	60	39	43
1999	50	45	63	66	69	66	65	72	71	67	61	40
2000	51	46	54	63	70	68	67	75	72	69	53	42
2001	46	39	58	63	69	67	68	69	67	63	55	46
2002	46	50	58	64	67	66	64	68	71	66	51	45
2003	44	62	56	63	69	69	72	70	70	66	53	41
2004	48	54	52	66	64	x	64	69	68	63	53	55
2005	42	58	61	67	68	64	67	71	73	69	54	44
2006	52	56	56	69	68	67	66	68	70	67	50	36
2007	37	46	56	65	62	67	67	70	69	62	48	42
2008	23	51	60	65	64	64	66	70	71	65	53	45
2009	48	64	68	65	66	65	67	79	74	65	54	59
2010	44	58	57	69	67	66	70	71	77	68	52	63
2011	49	47	68	68	67	66	66	71	71	60	56	61
2012	50	58	60	74	70	68	70	76	76	68	67	48
2013	50	51	68	69	69	68	70	75	73	69	57	48
2014	57	46	64	66	70	65	64	70	74	71	70	46
Moyenne	47	52	58	66	67	67	67	71	72	65	53	46

ANNEXE 8 : Moyenne journalière par mois de l'évaporation (mm) à Dakar sur la période de 1985 à 2014 (données météorologiques nationale)

Années/Mois	Janv.	Févr.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept	Oct.	Nov.	Déc.
1985	2,6	3,2	3,8	3,2	2,3	2,6	3,0	2,0	1,9	2,4	3,2	4,8
1986	3,8	2,6	3,2	2,6	2,4	2,4	2,9	2,2	1,4	2,1	3,8	3,9
1987	2,8	3,3	3,2	2,7	2,5	2,6	2,6	2,2	1,7	2,2	3,3	4,7
1988	3,2	2,0	2,7	2,2	2,3	2,2	2,6	1,9	1,4	1,9	3,2	3,8
1989	2,7	2,7	2,4	2,4	2,2	2,4	2,0	1,5	1,6	2,0	1,8	3,1
1990	2,7	2,8	2,4	2,5	2,3	2,4	2,0	1,6	1,6	2,0	1,8	3,2
1991	2,7	2,7	2,2	2,3	2,1	2,0	2,7	2,3	1,9	2,9	3,8	3,6
1992	3,1	2,3	3,0	2,3	2,1	2,5	2,5	2,3	2,0	3,1	4,5	3,3
1993	3,4	2,6	2,4	2,2	2,7	2,3	2,7	2,4	2,1	2,4	3,0	3,5
1994	3,7	3,1	2,6	2,7	2,0	2,3	2,8	1,9	2,0	2,6	3,1	4,3
1995	4,1	3,1	2,1	2,2	2,1	2,2	2,8	2,1	1,9	2,6	2,9	2,8
1996	2,5	2,3	2,1	1,8	2,8	2,7	2,7	2,3	2,0	2,3	3,7	3,4
1997	3,0	3,9	3,3	2,0	2,2	2,3	2,5	2,3	1,9	2,3	3,2	3,0
1998	3,1	2,4	2,7	2,6	2,4	2,3	2,6	2,3	1,8	2,5	3,6	3,3
1999	2,7	2,7	2,0	1,7	1,8	2,3	2,3	2,0	1,6	2,2	2,1	3,4
2000	2,6	3,3	3,1	2,4	1,9	2,0	2,2	1,4	1,7	1,6	2,8	3,0
2001	2,6	3,4	2,5	2,3	2,1	2,2	2,1	2,2	1,9	2,3	3,8	3,1
2002	2,9	3,0	2,6	2,1	2,1	2,5	2,9	2,3	2,0	2,1	3,4	3,1
2003	5,3	2,2	2,7	2,6	2,3	2,4	2,6	2,3	1,9	2,5	3,6	4,0
2004	3,7	3,0	3,1	2,4	2,4	x	2,9	2,4	2,0	2,5	3,5	3,3
2005	3,7	3,0	2,7	2,7	2,7	3,3	2,8	2,4	2,0	2,1	3,8	4,1
2006	3,9	3,0	2,9	2,0	2,4	2,6	2,8	2,6	1,8	2,9	1,6	4,4
2007	4,4	3,4	3,2	2,2	2,5	2,1	2,7	2,2	2,1	2,8	3,6	4,1
2008	5,3	3,4	2,6	2,3	2,7	2,6	2,8	2,4	2,5	2,6	3,5	4,2
2009	4,1	2,6	2,2	2,2	2,2	2,5	2,7	1,9	1,7	2,8	3,5	2,9
2010	3,2	2,8	2,9	2,2	2,6	2,8	2,9	2,4	1,7	2,5	3,6	2,9
2011	4,3	4,0	2,3	2,2	2,4	2,8	3,0	2,2	2,1	3,3	3,6	3,2
2012	5,1	2,4	4,3	2,7	2,4	2,4	2,8	2,3	1,8	2,6	3,7	5,5
2013	4,6	3,9	3,0	2,5	2,7	3,0	3,0	2,1	1,9	2,7	3,5	3,6
2014	3,0	3,8	2,6	2,6	2,3	3,5	3,3	2,8	2,3	2,9	4,1	4,9
Moyenne	3,5	3,0	2,8	2,4	2,3	2,5	2,7	2,2	1,9	2,5	3,3	3,7

ANNEXE 9 : valeurs des coefficients d'infiltration

Seepage losses for different soil types

Type of soil	Seepage (m ³ water/ m ² wetted surface area per day)
Impervious clay loam	0.07 - 0.10
Clay loam, silty soil	0.15 - 0.23
Sandy loam	0.30 - 0.45
Sandy soil	0.45 - 0.55
Sandy soil with gravel	0.55 - 0.75
Pervious gravelly soil	0.75 - 0.90

ANNEXE 10 : Clé Pour la région Sahélienne

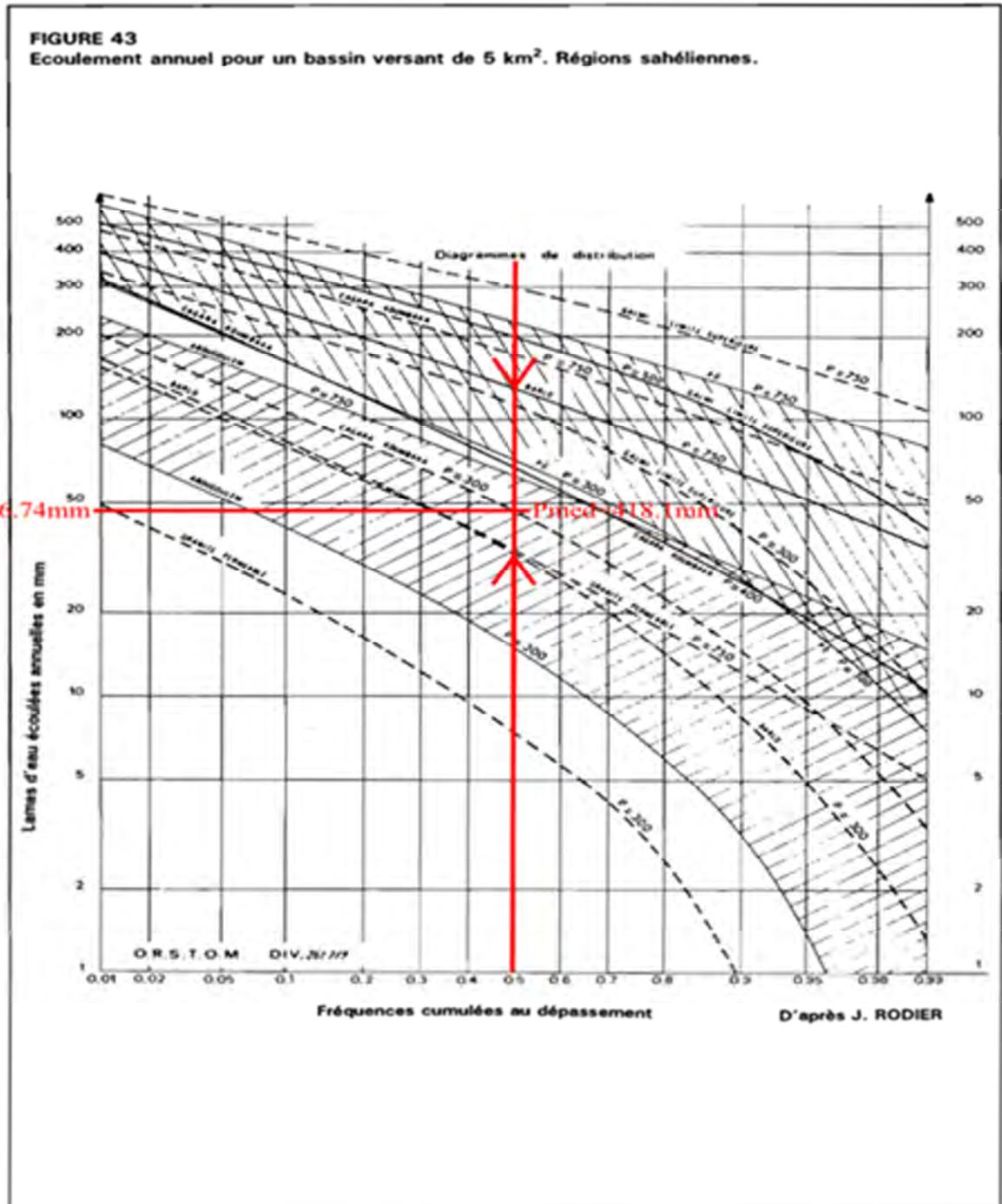
Classe	Bassin type	Page	Caractéristiques des sols	Physiographie			Moyens de transposition	Page
				S (km ²)	Ds (m)	Dd (km ² /km ²)		
1	Carifone I	124	Argiles, rigoles, marques d'érosion Sous-sol cristalin, formations pelliculaires sur glaces Zones d'éboulis Sableux ou sablo-argileux (blocs, altérations cristallines) Forte "rugosité" (gravillons, couverture végétale)	50 <	150 <	F = 0,01 : 0,50 : 0,99 (différentes Pmed)	-	
	Carifone II	125						
	Carifone III	125						
	Carifone IV	125						
	Carifone V	125						
2	Sableux							
Niger	Namey	126	Sableux (légers), quelques affleurements rocheux	20	11	0,79	Courbes pour 25 km ² (Le optimale)	132
2	Granites, gravis-gneiss							
Tchad	Ficif	-	Perméables Massifs rocheux et sols squelettiques perméables Moins perméables qu'Abou Goulem Argilo-sableux sur glaces, assez imperméables	12,3 17,8-36,6 28	5 < < 25 44 122-133 20	2,34 2,48-2,08 1,15	Courbes pour 5 km ² (différentes Pmed) Courbes pour 5-25 km ² * Courbes pour 5-25 km ² * Courbes pour 5-25 km ² *	131 131-132 131-132 131-132
	Abou Goulem	126						
	Bario I et II	126						
	Gagara-outst	127						
2	Grès dogons							
Mali	Koumbaka II	127	Grès peu fissurés, cuirasse latérique	30,4	60	1,03	Courbes pour 5-25 km ² *	131-132
2	Sables et marnes							
Sénégal	Sébkotane	128	Argiles noires (peu perméables), sables (perméables)	43	29	3,81	Le = 3/4 (Bario) + 1/4 (Gagara)	-
2	Schistes							
Mauritanie	Kadiel (Ghorfa)	128	Argiles	39,5 2,71	26 14	2,23 2,34	Courbes pour 25 km ² (Le optimale) Courbes pour 5 km ² (Le optimale)	132 131
	P6 (Ghorfa)	128						
2	Grès du Continental Terminal (Adier Dourche)							
Niger	Kouitkouout	129	Sols bruns-rouges sablo-argileux (assez perméables) Colluvions argileuses et marno-calcaires (assez perméables)	16,6 29,2-46,5	33 59-78	2,59 2,30-2,82	Le = Le (Gagara) Courbes pour 5-25 km ² (Le optimale)	- 131-132
	Galmi I et II	129						

voir définition des classes page 111

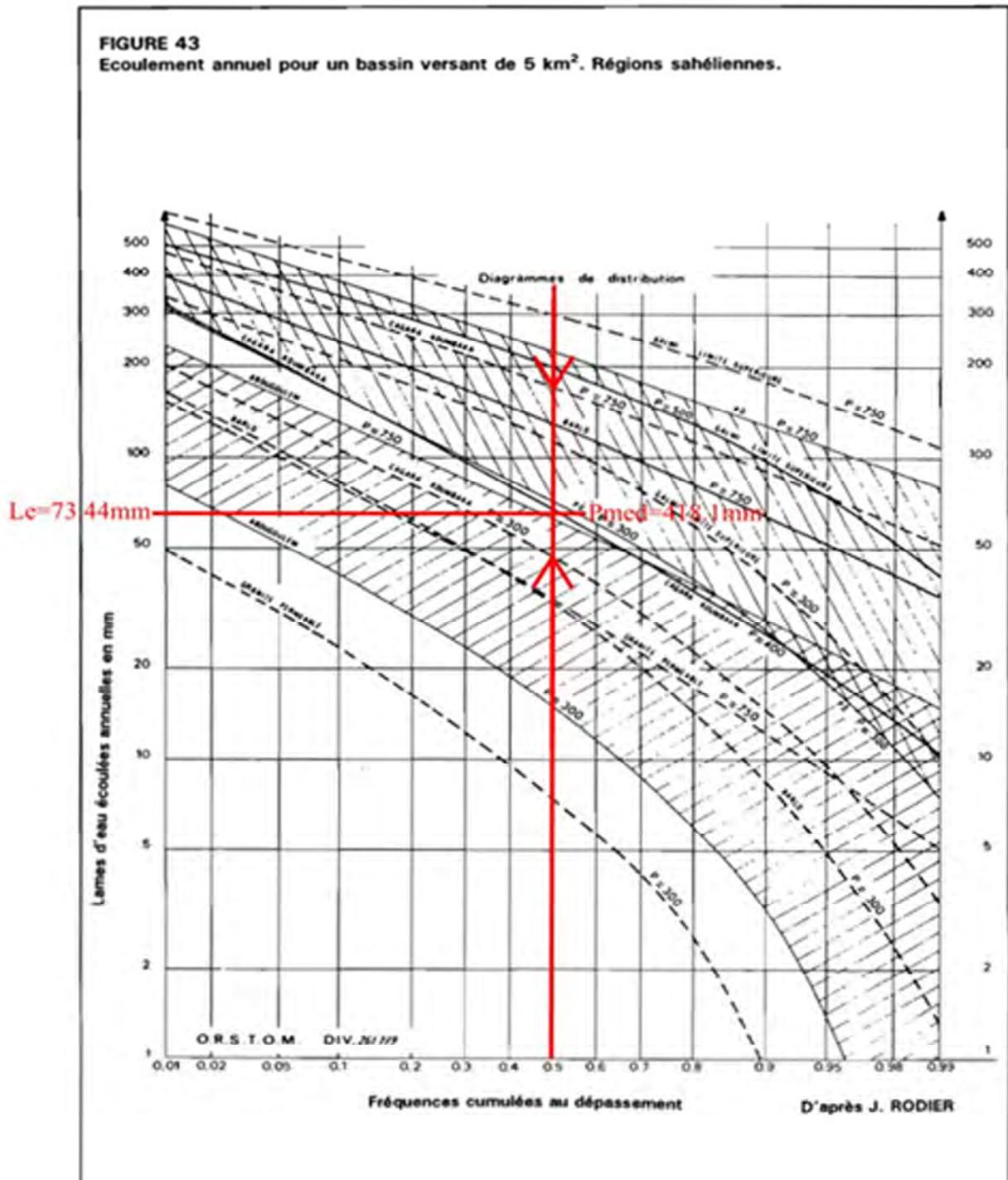
ANNEXE 11 : Tableau de détermination de P_{med}

Pluviométrie par ordre décroissant (1985-2014)
663,4
648,4
595,4
576,5
566,9
555,3
511,5
507,1
486,2
465,7
458,5
456,7
455
443
421,1
415,1
389,8
341,5
325,9
324,5
307,1
282,2
274,3
268,9
266,1
250,3
228,2
201,8
191,3
161,3

ANNEXE 12 : DETERMINATION de Le (Barlo)



ANNEXE 13 : DETERMINATION de Le (Gargara)

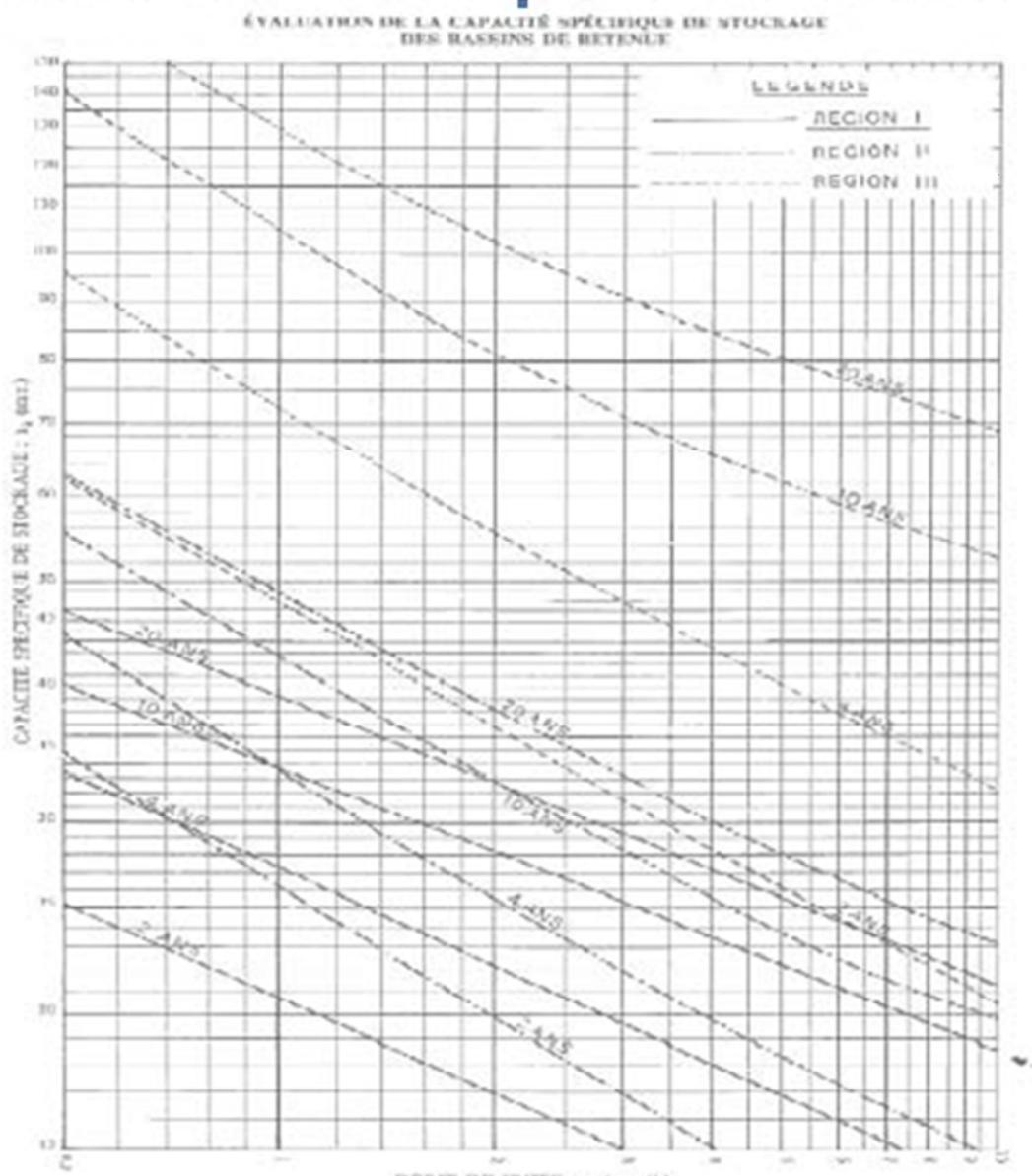


ANNEXE 14 : VALEURS COEFFICIENTS DE RUISSELLEMENTS

Type de surface	Coefficient de ruissellement (Cr) compris entre
Zone d'activités tertiaires centres villes autres	0,70 / 0,95 0,50 / 0,70
Zone résidentielle pour 1 pavillon ensemble de pavillons détachés ensemble de pavillons attachés	0,30 / 0,50 0,40 / 0,60 0,60 / 0,75
Zone industrielle	0,50 / 0,90
Cimetières - Parcs	0,10 / 0,25
Zone de jeux	0,25 / 0,35
Rue et trottoirs asphalte béton pavé	0,95 0,95 0,85
Pelouse (sol sablonneux) pente < 2 % 2 % < pente < 7 % pente > 7 %	0,05 / 0,10 0,10 / 0,15 0,15 / 0,25
Pelouse (sol terreux) pente < 2 % 2 % < pente < 7 % pente > 7 %	0,13 / 0,17 0,18 / 0,22 0,25 / 0,35

Valeurs des coefficients de ruissellement en fonction du type de surface

ANNEXE 15 : abaque pour la détermination de la hauteur spécifique de stockage d'un bassin de rétention



ANNEXE 16 : Poids spécifique

Tableau 117: Résultats Echantillon 1 ARBED

ARBED ech 1			
essai n°	1	2	3
pycnomètre n°	107	109	106
volume du pycnomètre	250	250	250
Ebullition			
Ppic + Peau + Psol	384,87	386,64	380,66
température °C	30	30	30
Ppic + Peau (à T °C)	355,57	357,09	351,19
Récipient d'évaporation n°	MD	A2	B
récipient + sol sec	108,45	112,68	110,01
Récipient tare	60,96	65,04	62,51
P sol sec	47,49	47,64	47,5
V = Ps + Ppc - Pes	18,19	18,09	18,03
Gs à T°C = Ps/V	2,611	2,633	2,634
Facteur de correction α à T °C (table)	0,99648	0,99648	0,99648
Gs à 20°C = Gs à T°C * α	2,602	2,624	2,625
Gs moyenne	2,617		

Tableau 118 : Résultats Echantillon 2 ARBED

ARBED ech 2			
essai n°	1	2	3
pycnomètre n°	107	109	106
volume du pycnomètre	250	250	250
Ebullition			
Ppic + Peau + Psol	384,87	386,64	380,66
température °C	33	30	31
Ppic + Peau (à T °C)	355,57	357,09	351,19
Récipient d'évaporation n°	MD	A2	B
récipient + sol sec	108,45	112,68	110,01
Récipient tare	60,96	65,04	62,51
P sol sec	47,49	47,64	47,5
V = Ps + Ppc - Pes	18,19	18,09	18,03
Gs à T°C = Ps/V	2,611	2,633	2,634
Facteur de correction α à T °C (table)	0,99648	0,99745	0,99713
Gs à 20°C = Gs à T°C * α	2,602	2,627	2,627
Gs moyenne	2,618		

Tableau 119 : Résultats Echantillon 1 DJOUTH

djoudji ech 1			
essai n°	1	2	3
pycnomètre n°	106	109	107
volume du pycnomètre	250	250	250
Ebullition			
Ppic + Peau + Psol	380,47	386,46	384,53
température °C	29	29	29
Ppic + Peau (à T °C)	351,15	357,15	355,54
Récepteur d'évaporation n°	A2	MD	B
récepteur + sol sec	111,5	107,21	108,24
Récepteur tare	65,04	60,96	62,51
P sol sec	46,46	46,25	45,73
$V = Ps + Ppc - Pes$	17,14	16,94	16,74
$G_s \text{ à } T^{\circ}C = Ps/V$	2,711	2,730	2,732
Facteur de correction α à T °C (table)	0,99775	0,99775	0,99775
$G_s \text{ à } 20^{\circ}C = G_s \text{ à } T^{\circ}C * \alpha$	2,705	2,724	2,726
Gs moyenne	2,718		

Tableau 120 : Résultats Echantillon 2 DJOUTH

djoudji ech 2			
essai n°	1	2	3
pycnomètre n°	107	106	109
volume du pycnomètre	250	250	250
Ebullition			
Ppic + Peau + Psol	384,85	380,65	386,34
température °C	29	29	29
Ppic + Peau (à T °C)	355,54	351,13	357,14
Récepteur d'évaporation n°	MD	A2	B
récepteur + sol sec	106,9	111,35	108,36
Récepteur tare	60,96	65,04	62,51
P sol sec	45,94	46,31	45,85
$V = Ps + Ppc - Pes$	16,63	16,79	16,65
$G_s \text{ à } T^{\circ}C = Ps/V$	2,762	2,758	2,754
Facteur de correction α à T °C (table)	0,99775	0,99775	0,99775
$G_s \text{ à } 20^{\circ}C = G_s \text{ à } T^{\circ}C * \alpha$	2,756	2,752	2,748
Gs moyenne	2,752		

Tableau 121 : Résultats Echantillon 1 Sébi-ponty centre

SP N1 centre			
essai n°	1	2	3
pycnomètre n°	107	106	109
volume du pycnomètre	250	250	250
Ebullition			
Ppic + Peau + Psol	385,06	380,79	386,81
température °C	30	31	31
Ppic + Peau (à T °C)	355,52	351,15	357,17
Récipient d'évaporation n°	AM	BM	E1
récipient + sol sec	278,75	296,7	280,14
Récipient tare	231,45	249,12	232,94
P sol sec	47,3	47,58	47,2
V = Ps + Ppc - Pes	17,76	17,94	17,56
Gs à T°C = Ps/V	2,663	2,652	2,688
Facteur de correction α à T °C (table)	0,99745	0,99713	0,99713
Gs à 20°C = Gs à T°C * α	2,656	2,645	2,680
Gs moyenne	2,660		

Tableau 122 : Résultats Echantillon 2 Sébi-ponty Ouest

SP N2 OUEST			
essai n°	1	2	3
pycnomètre n°	107	106	109
volume du pycnomètre	250	250	250
Ebullition			
Ppic + Peau + Psol	386,06	381,22	387,24
température °C	31	33	31
Ppic + Peau (à T °C)	357,71	351,13	357,2
Récipient d'évaporation n°	I	P4	T1
récipient + sol sec	112,79	236,5	111,83
Récipient tare	64,09	62,64	63,17
P sol sec	48,7	173,86	48,66
V = Ps + Ppc - Pes	20,35	143,77	18,62
Gs à T°C = Ps/V	2,393	1,209	2,613
Facteur de correction α à T °C (table)	0,99745	0,99648	0,99745
Gs à 20°C = Gs à T°C * α	2,387	1,205	2,607
Gs moyenne	2,066		

Tableau 123 : Résultats d'analyses granulométrique ARBED ECH 1

ARBED ECH 1				
TAMIS mm	refus	refus cum	% refus cum	%passant cum
4,25	0	0	0	100
2	0,39	0,39	0,039	99,961
0,95	1,17	1,56	0,156	99,844
0,42	0,86	2,42	0,242	99,758
0,25	0,77	3,19	0,319	99,681
0,102	1,06	4,25	0,425	99,575
0,075	2,87	7,12	0,712	99,288

Tableau 124 : Résultats d'analyse par sédimentologie ARBED ECH 1

ARBED ech 1					
Diamètre en mm	poids sol		% retenu cumulatif	% Passant	% Passant corriger
	retenu	individuel			
60	0,1	0,1	0,1	99,9	99,66024
140	0,57	0,67	0,67	99,33	99,091608
200	0,32	0,99	0,99	99,01	98,772376

T min	t °C	K f (t°C, Dr)	R	δr	R corr	L	L/T	racine (L /T)	K racineL/T	% sol cumulatif	passant cumulatif reporté
1	29	0,0125	57	3,1	53,9	7,1	7,1000	2,6646	0,0333	54,439	54,308
2	29	0,0125	53	3,1	49,9	7,6	3,8000	1,9494	0,0244	50,399	50,278
5	29	0,0125	48	3,1	44,9	8,6	1,7200	1,3115	0,0164	45,349	45,240
15	29	0,0125	43	3,1	39,9	9,4	0,6267	0,7916	0,0099	40,299	40,202
30	29	0,0125	39	3,1	35,9	10,1	0,3367	0,5802	0,0073	36,259	36,172
60	29	0,0125	35	3,1	31,9	10,7	0,1783	0,4223	0,0053	32,219	32,142
120	29	0,0125	32	3,1	28,9	11,2	0,0933	0,3055	0,0038	29,189	29,119
180	30	0,0124	30	2,6	27,4	11,5	0,0639	0,2528	0,0031	27,674	27,608
240	30	0,0124	29	2,6	26,4	11,7	0,0488	0,2208	0,0027	26,664	26,600
1440	29	0,0125	28	3,1	24,9	11,9	0,0083	0,0909	0,0011	25,149	25,089

Tableau 125 : Résultats d'analyses granulométrique ARBED ECH 2

ARBED ECH 2				
TAMIS	refus	refus cum	% refus cum	%passant cum
9,5	0	0	0	100
4,25	0,57	0,57	0,057	99,943
2	0,44	1,01	0,101	99,899
0,95	0,43	1,44	0,144	99,856
0,42	0,24	1,68	0,168	99,832
0,25	0,59	2,27	0,227	99,773
0,102	0,95	3,22	0,322	99,678
0,075	1,93	5,15	0,515	99,485

Tableau 126 : Résultats d'analyse par sédimentologie ARBED ECH 2

ARBED ech 2					
Diamètre en mm	poids sol		% retenu cumulatif	% Passant	% Passant corriger
	retenu	individuel			
60	0,37	0,37	0,37	99,63	99,460629
140	0,29	0,66	0,66	99,34	99,171122
200	0,28	0,94	0,94	99,06	98,891598

T min	t °C	K f (t°C, Dr)	R	δr	R corr	L	L/T	racine (L/T)	K racineL/T	% sol cumulatif	passant cumulatif reporté
1	29	0,0125	60	3,1	56,9	6,6	6,6000	2,5690	0,0321	57,469	57,371
2	29	0,0125	58	3,1	54,9	7	3,5000	1,8708	0,0234	55,449	55,355
5	29	0,0125	55	3,1	51,9	7,4	1,4800	1,2166	0,0152	52,419	52,330
15	29	0,0125	48	3,1	44,9	8,6	0,5733	0,7572	0,0095	45,349	45,272
30	29	0,0125	45	3,1	41,9	9,1	0,3033	0,5508	0,0069	42,319	42,247
60	29	0,0125	39	3,1	35,9	10,1	0,1683	0,4103	0,0051	36,259	36,197
120	29	0,0125	37	3,1	33,9	10,4	0,0867	0,2944	0,0037	34,239	34,181
180	30	0,0124	36	2,6	33,4	10,5	0,0583	0,2415	0,0030	33,734	33,677
240	30	0,0124	35	2,6	32,4	10,7	0,0446	0,2111	0,0026	32,724	32,668
1440	29	0,0125	34	3,1	30,9	10,9	0,0076	0,0870	0,0011	31,209	31,156

Tableau 127 : Résultats d'analyses granulométrique DJOUTH ECH 1

DJOUTH ECH 1				
TAMIS	refus	refus cum	% refus cum	%passant cum
19	0	0	0	100
9,5	14,8	14,8	1,48	98,52
4,25	24,36	39,16	3,916	96,084
2	27,65	66,81	6,681	93,319
0,95	17,4	84,21	8,421	91,579
0,42	24,68	108,89	10,889	89,111
0,25	39,74	148,63	14,863	85,137
0,102	51,13	199,76	19,976	80,024
0,075	59,44	259,2	25,92	74,08

Tableau 128 : Résultats d'analyse par sédimentologie DJOUTH ECH 1

Djoudj ech 1 centre					
Diamètre en mm	poids sol		% retenu cumulatif	% Passant	% Passant corriger
	retenu	individuel			
60	3,53	3,53	3,53	96,47	85,964417
140	7,93	11,46	11,46	88,54	78,897994
200	4,66	16,12	16,12	83,88	74,745468

T min	t °C	K f (t°C, Dr)	R	δ r	R corr	L	L/T	racine (L/T)	K racine L/T	% sol cumulatif	passant cumulatif reporté
1	28	0,0123	60	3,5	56,5	6,6	6,6	2,56904652	0,0316	55,935	49,8436785
2	28	0,0123	58	3,5	54,5	7	3,5	1,87082869	0,0230	53,955	48,0793005
5	28	0,0123	55	3,5	51,5	7,4	1,48	1,21655251	0,015	50,985	45,4327335
15	28	0,0123	52	3,5	48,5	7,9	0,527	0,72571804	0,009	48,015	42,7861665
30	28	0,0123	47	3,5	43,5	8,8	0,293	0,54160256	0,007	43,065	38,3752215
60	28	0,0123	44	3,5	40,5	9,2	0,153	0,391578	0,005	40,095	35,7286545
120	28	0,0123	43	3,5	39,5	9,4	0,078	0,27988093	0,0034	39,105	34,8464655
180	28	0,0123	42	3,5	38,5	9,6	0,053	0,23094011	0,0028	38,115	33,9642765
240	28	0,0123	41	3,5	37,5	9,7	0,040	0,20103897	0,0025	37,125	33,0820875
1440	29	0,0121	41	3,1	37,9	9,7	0,0067	0,08207382	0,00099	37,521	33,4349631

Tableau 129 : Résultats d'analyses granulométrique DJOUTH ECH 2

DJOUTH ECH 2				
TAMIS	refus	refus cum	% refus cum	%passant cum
19	0	0	0	100
9,5	9,67	9,67	0,967	99,033
4,25	16,09	25,76	2,576	97,424
2	23,48	49,24	4,924	95,076
0,95	13,66	62,9	6,29	93,71
0,42	19,88	82,78	8,278	91,722
0,25	20,68	103,46	10,346	89,654
0,102	46,62	150,08	15,008	84,992
0,075	45,88	195,96	19,596	80,404

Tableau 130 : Résultats d'analyse par sédimentologie DJOUTH ECH 2

Djoudj ech 2					
Diamètre en mm	poids sol		% retenu cumulatif	% Passant	% Passant corriger
	retenu	individuel			
60	4,51	4,51	4,51	95,49	87,583428
140	12,49	17	17	83	76,1276
200	4,62	21,62	21,62	78,38	71,890136

T min	t °C	K f (t°C, Dr)	R	δ r	R corr	L	L/T	racine (L /T)	K racineL/T	% sol cumulatif	passant cumulatif reporté
1	29	0,0120	57	3,1	53,9	7,1	7,1000	2,6646	0,0320	52,822	48,448
2	29	0,0120	55	3,1	51,9	7,4	3,7000	1,9235	0,0231	50,862	46,651
5	29	0,0120	52	3,1	48,9	7,9	1,5800	1,2570	0,0151	47,922	43,954
15	29	0,0120	48	3,1	44,9	8,6	0,5733	0,7572	0,0091	44,002	40,359
30	29	0,0120	44	3,1	40,9	9,2	0,3067	0,5538	0,0066	40,082	36,763
60	28	0,0121	42	3,5	38,5	9,6	0,1600	0,4000	0,0048	37,73	34,606
120	28	0,0121	41	3,5	37,5	9,7	0,0808	0,2843	0,0034	36,75	33,707
180	28	0,0121	40	3,5	36,5	9,9	0,0550	0,2345	0,0028	35,77	32,808
240	28	0,0121	40	3,5	36,5	9,9	0,0413	0,2031	0,0025	35,77	32,808
1440	29	0,0120	40	3,1	36,9	9,9	0,0069	0,0829	0,0010	36,162	33,168

Tableau 131 : Résultats d'analyse granulométrique SP N1 CENTRE

SP N1 CENTRE				
TAMIS	refus	refus cum	% refus cum	%passant cum
9,500	0	0	0	100
4,250	0,52	0,52	0,052	99,948
2,000	3,15	3,67	0,367	99,633
0,950	7,57	11,24	1,124	98,876
0,420	24,38	35,62	3,562	96,438
0,250	115,36	150,98	15,098	84,902
0,102	220,82	371,8	37,18	62,82
0,075	100,24	472,04	47,204	52,796

Tableau 132 : Résultats d'analyse par sédimentologie SP N1 centre

SP N1 centre					
Diamètre en mm	poids sol		% retenu cumulatif	% Passant	% Passant corriger
	retenu	individuel			
60	12,09	12,09	12,09	87,91	84,780404
140	30,02	42,11	42,11	57,89	55,829116
200	9,31	51,42	51,42	48,58	46,850552

T min	t °C	K f (t°C, Dr)	R	δ r	R corr	L	L/T	racine (L/T)	K racineL/T	% sol cumulatif	passant cumulatif reporté
1	28	0,0124	40	3,5	36,5	9,9	9,9000	3,1464	0,0390	36,5	35,201
2	28	0,0124	38	3,5	34,5	10,2	5,1000	2,2583	0,0280	34,5	33,272
5	28	0,0124	35	3,5	31,5	10,7	2,1400	1,4629	0,0181	31,5	30,379
15	28	0,0124	33	3,5	29,5	11,1	0,7400	0,8602	0,0107	29,5	28,450
30	28	0,0124	32	3,5	28,5	11,2	0,3733	0,6110	0,0076	28,5	27,485
60	28	0,0124	31	3,5	27,5	11,4	0,1900	0,4359	0,0054	27,5	26,521
120	28	0,0124	30	3,5	26,5	11,5	0,0958	0,3096	0,0038	26,5	25,557
180	28	0,0124	29	3,5	25,5	11,7	0,0650	0,2550	0,0032	25,5	24,592
240	28	0,0124	28	3,5	24,5	11,9	0,0496	0,2227	0,0028	24,5	23,628
1440	29	0,0123	28	3,1	24,9	11,9	0,0083	0,0909	0,0011	24,9	24,014

Tableau 133 : Résultats d'analyse granulométrique SP N2 ouest

SP N2 ouest				
TAMIS	refus	refus cum	% refus cum	%passant cum
9,5	0	0	0	100
4,25	2,51	2,51	0,251	99,749
2	1,88	4,39	0,439	99,561
0,95	6,6	10,99	1,099	98,901
0,42	34,63	45,62	4,562	95,438
0,25	265,69	311,31	31,131	68,869
0,102	331,82	643,13	64,313	35,687
0,075	118,57	761,7	76,17	23,83

Tableau 134 : Résultats d'analyse par sédimentologie SP N2 OUEST

SP N2 OUEST					
Diamètre en mm	poids sol		% retenu cumulatif	% Passant	% Passant corriger
	retenu	individuel			
60	14,32	14,32	14,32	85,68	81,772992
140	37,5	51,82	51,82	48,18	45,982992
200	16,64	68,46	68,46	31,54	30,101776

T min	t °C	K f (t°C, Dr)	R	δr	R corr	L	L/T	racine (L/T)	K racineL/T	% sol cumulatif	passant cumulatif reporté
1	28	0,0130	25	3,5	21,5	12,4	12,4000	3,5214	0,0458	22,36	21,340
2	28	0,0130	23	3,5	19,5	12,7	6,3500	2,5199	0,0328	20,28	19,355
5	28	0,0130	22	3,5	18,5	12,9	2,5800	1,6062	0,0209	19,24	18,363
15	28	0,0130	21	3,5	17,5	13	0,8667	0,9309	0,0121	18,2	17,370
30	28	0,0130	20,5	3,5	17	13,1	0,4367	0,6608	0,0086	17,68	16,874
60	28	0,0130	20	3,5	16,5	13,2	0,2200	0,4690	0,0061	17,16	16,378
120	28	0,0130	19	3,5	15,5	13,3	0,1108	0,3329	0,0043	16,12	15,385
180	29	0,0129	19	3,1	15,9	13,3	0,0739	0,2718	0,0035	16,536	15,782
240	29	0,0129	19	3,1	15,9	13,3	0,0554	0,2354	0,0030	16,536	15,782
1440	29	0,0129	19	3,1	15,9	13,3	0,0092	0,0961	0,0012	16,536	15,782

Tableau 135 : Résultats d'analyse granulométrique SP N3

SP N3 NORD 3.5m				
TAMIS mm	refus	refus cum	% refus cum	%passant cum
9,5	0	0	0	100
4,25	0,65	0,65	0,065	99,935
2	1,82	2,47	0,247	99,753
0,95	1,97	4,44	0,444	99,556
0,42	10,86	15,3	1,53	98,47
0,25	317,4	332,7	33,27	66,73
0,102	69,14	401,84	40,184	59,816
0,075	1	402,84	40,284	59,716

Tableau 136 : Résultats d'analyse par sédimentologie SP N3

SP N3					
Diamètre en mm	poids sol		% retenu cumulatif	% Passant	% Passant corriger
	retenu	individuel			
60	13,02	13,02	13,02	86,98	85,649
140	24,95	37,97	37,97	62,03	61,081
200	8,2	46,17	46,17	53,83	53,006

T min	t °C	K f (t°C, Dr)	R	δ r	R corr	L	L/T	racine (L/T)	K racineL/T	% sol cumulatif	passant cumulatif reporté
1	29	0,0121	43	3,1	39,9	9,4	9,4000	3,0659	0,0371	39,501	38,897
2	29	0,0121	41	3,1	37,9	9,7	4,8500	2,2023	0,0266	37,521	36,947
5	29	0,0121	39	3,1	35,9	10,1	2,0200	1,4213	0,0172	35,541	34,997
15	29	0,0121	37	3,1	33,9	10,4	0,6933	0,8327	0,0101	33,561	33,048
30	29	0,0121	35	3,1	31,9	10,7	0,3567	0,5972	0,0072	31,581	31,098
60	28	0,0123	34	3,5	30,5	10,9	0,1817	0,4262	0,0052	30,195	29,733
120	28	0,0123	32	3,5	28,5	11,2	0,0933	0,3055	0,0038	28,215	27,783
180	28	0,0123	31	3,5	27,5	11,4	0,0633	0,2517	0,0031	27,225	26,808
240	28	0,0123	30	3,5	26,5	11,5	0,0479	0,2189	0,0027	26,235	25,834
1440	29	0,0121	29	3,1	25,9	11,7	0,0081	0,0901	0,0011	25,641	25,249

Tableau 137 : Résultats d'analyse granulométrique SP N4 4m

SP N4 4m				
TAMIS	refus	refus cum	% refus cum	%passant cum
9,5	0	0	0	100
4,25	2,22	2,22	0,222	99,778
2	3,75	5,97	0,597	99,403
0,95	9,5	15,47	1,547	98,453
0,42	32,27	47,74	4,774	95,226
0,25	217,84	265,58	26,558	73,442
0,102	254,65	520,23	52,023	47,977
0,075	143,26	663,49	66,349	33,651

Tableau 138 : Résultats d'analyse par sédimentologie SP N4 4m

SP N4					
Diamètre en mm	poids sol		% retenu cumulatif	% Passant	% Passant corriger
	retenu	individuel			
60	14,26	14,26	14,26	85,74	81,650202
140	32,7	46,96	46,96	53,04	50,509992
200	15,37	62,33	62,33	37,67	35,873141

T min	t °C	K f (t°C, Dr)	R	δr	R corr	L	L/T	racine (L/T)	K racineL/T	% sol cumulatif	passant cumulatif reporté
1	29	0,0121	27	3,1	23,9	12	12,0000	3,4641	0,0419	23,661	22,532
2	29	0,0121	24	3,1	20,9	12,5	6,2500	2,5000	0,0303	20,691	19,704
5	29	0,0121	23	3,1	19,9	12,7	2,5400	1,5937	0,0193	19,701	18,761
15	29	0,0121	22	3,1	18,9	12,9	0,8600	0,9274	0,0112	18,711	17,818
30	29	0,0121	21	3,1	17,9	13	0,4333	0,6583	0,0080	17,721	16,876
60	28	0,0123	20	3,5	16,5	13,2	0,2200	0,4690	0,0058	16,335	15,556
120	28	0,0123	19	3,5	15,5	13,3	0,1108	0,3329	0,0041	15,345	14,613
180	28	0,0123	19	3,5	15,5	13,3	0,0739	0,2718	0,0033	15,345	14,613
240	28	0,0123	19	3,5	15,5	13,3	0,0554	0,2354	0,0029	15,345	14,613
1440	29	0,0121	19	3,1	15,9	13,3	0,0092	0,0961	0,0012	15,741	14,990

ANNEXE 17 : Résultats Limites de plasticité et de liquidité

Tableau 139 : limites de plasticité ARBED ech 1

ESSAI N°	1	2	3
CONTENANT N°	ME	222	X
POIDS CONTENANT + SOL HUMIDE Ph (g)	3,77	4,66	4,5
POIDS CONTENANT + SOL SEC Ps (g)	3,1	3,79	3,64
POIDS DU CONTENANT Pt (g)	2,23	2,34	2,21
POIDS DE L'EAU Pe=Ph-Ps (g)	0,67	0,87	0,86
POIDS DU SOL SEC Pss=Ps -Pt (g)	0,87	1,45	1,43
TENEUR EN EAU W%=(Pe/Pss)*100	77,01	60,00	60,14
MOYENNE LP	65,72		

Tableau 140 : Limite de liquidité ARBED ech 1

NOMBRE DE CHOCS (2 révolutions/seconde)	15	19	23	26	29
CONTENANT N°	84	75	106	73	64
POIDS CONTENANT + SOL HUMIDE Ph (g)	8,29	8,88	7,88	6,79	7,06
POIDS CONTENANT + SOL SEC Ps (g)	5	5,29	4,88	4,42	4,6
POIDS DU CONTENANT Pt (g)	2,32	2,21	2,12	2,21	2,29
POIDS DE L'EAU Pe=Ph-Ps (g)	3,29	3,59	3	2,37	2,46
POIDS DU SOL SEC Pss=Ps -Pt (g)	2,68	3,08	2,76	2,21	2,31
TENEUR EN EAU W%=(Pe/Pss)*100	122,76	116,56	108,7	107,24	106,49

Tableau 141 : limites de plasticité ARBED ech 2

ESSAI N°	1	2	3
CONTENANT N°	2,22	106	64
POIDS CONTENANT + SOL HUMIDE Ph (g)	6,32	6,4	6,11
POIDS CONTENANT + SOL SEC Ps (g)	4,89	4,92	4,74
POIDS DU CONTENANT Pt (g)	2,3	2,11	2,24
POIDS DE L'EAU Pe=Ph-Ps (g)	1,43	1,48	1,37
POIDS DU SOL SEC Pss=Ps -Pt (g)	2,59	2,81	2,5
TENEUR EN EAU W%=(Pe/Pss)*100	55,21	52,67	54,80
MOYENNE LP	54,23		

Tableau 142 : Limite de liquidité ARBED ech 2

NOMBRE DE CHOCS (2 révolutions/seconde)	17	21	24	28	32
CONTENANT N°	73	75	X	ME	84
POIDS CONTENANT + SOL HUMIDE Ph (g)	7,25	7,43	7,2	7,3	7,31
POIDS CONTENANT + SOL SEC Ps (g)	4,76	4,86	4,76	4,83	4,88
POIDS DU CONTENANT Pt (g)	2,21	2,2	2,2	2,2	2,29
POIDS DE L'EAU Pe=Ph-Ps (g)	2,49	2,57	2,44	2,47	2,43
POIDS DU SOL SEC Pss=Ps -Pt (g)	2,55	2,66	2,56	2,63	2,59
TENEUR EN EAU W%=(Pe/Pss)*100	97,65	96,62	95,31	93,92	93,82

Tableau 143 : limites de plasticité DJOUTH Ech 1

ESSAI N°	1	2	3
CONTENANT N°	77	X	40
POIDS CONTENANT + SOL HUMIDE Ph (g)	5,58	5,89	5,47
POIDS CONTENANT + SOL SEC Ps (g)	4,62	4,86	4,54
POIDS DU CONTENANT Pt (g)	2,23	2,2	2,17
POIDS DE L'EAU Pe=Ph-Ps (g)	0,96	1,03	0,93
POIDS DU SOL SEC Pss=Ps -Pt (g)	2,39	2,66	2,37
TENEUR EN EAU W%=(Pe/Pss)*100	40,17	38,72	39,24
MOYENNE LP	39,38		

Tableau 144 : Limite de liquidité DJOUTH Ech 1

NOMBRE DE CHOCS (2 révolutions/seconde)	17	20	23	26	30
CONTENANT N°	92	99	103	73	95
POIDS CONTENANT + SOL HUMIDE Ph (g)	7,42	7,68	7,65	7,65	7,32
POIDS CONTENANT + SOL SEC Ps (g)	5,19	5,37	5,38	5,39	5,22
POIDS DU CONTENANT Pt (g)	2,21	2,22	2,25	2,21	2,24
POIDS DE L'EAU Pe=Ph-Ps (g)	2,23	2,31	2,27	2,26	2,1
POIDS DU SOL SEC Pss=Ps -Pt (g)	2,98	3,15	3,13	3,18	2,98
TENEUR EN EAU W%=(Pe/Pss)*100	74,83	73,33	72,52	71,07	70,47

Tableau 145 : limites de plasticité DJOUTH Ech 2

ESSAI N°	1	2	3
CONTENANT N°	74	99	E5
POIDS CONTENANT + SOL HUMIDE Ph (g)	6,31	6,1	6,21
POIDS CONTENANT + SOL SEC Ps (g)	5,17	4,98	5,08
POIDS DU CONTENANT Pt (g)	2,24	2,22	2,29
POIDS DE L'EAU Pe=Ph-Ps (g)	1,14	1,12	1,13
POIDS DU SOL SEC Pss=Ps -Pt (g)	2,93	2,76	2,79
TENEUR EN EAU W%=(Pe/Pss)*100	38,91	40,58	40,50
MOYENNE LP	40,00		

Tableau 146 : Limite de liquidité DJOUTH Ech 2

NOMBRE DE CHOCS (2 révolutions/seconde)	16	20	24	27	31
CONTENANT N°	103	MX	22	40	BA
POIDS CONTENANT + SOL HUMIDE Ph (g)	7,35	7,83	7,6	7,37	7,63
POIDS CONTENANT + SOL SEC Ps (g)	5,21	5,45	5,32	5,26	5,46
POIDS DU CONTENANT Pt (g)	2,25	2,11	2,08	2,17	2,22
POIDS DE L'EAU Pe=Ph-Ps (g)	2,14	2,38	2,28	2,11	2,17
POIDS DU SOL SEC Pss=Ps -Pt (g)	2,96	3,34	3,24	3,09	3,24
TENEUR EN EAU W%=(Pe/Pss)*100	72,30	71,26	70,37	68,28	66,98

Tableau 147 : limites de plasticité SP Ech 1 centre

ESSAI N°	1	2	3
CONTENANT N°	ME	22	BA
POIDS CONTENANT + SOL HUMIDE Ph (g)	6,49	6,82	6,23
POIDS CONTENANT + SOL SEC Ps (g)	5,74	6	5,54
POIDS DU CONTENANT Pt (g)	2,21	2,08	2,22
POIDS DE L'EAU Pe=Ph-Ps (g)	0,75	0,82	0,69
POIDS DU SOL SEC Pss=Ps -Pt (g)	3,53	3,92	3,32
TENEUR EN EAU W%=(Pe/Pss)*100	21,25	20,92	20,78
MOYENNE LP	20,98		

Tableau 148 : Limite de liquidité SP Ech 1 centre

NOMBRE DE CHOCS (2 révolutions/seconde)	16	20	24	27	30
CONTENANT N°	2	74	64	5	28
POIDS CONTENANT + SOL HUMIDE Ph (g)	8,81	8,55	8,17	8,47	8,55
POIDS CONTENANT + SOL SEC Ps (g)	6,96	6,75	6,53	6,76	6,83
POIDS DU CONTENANT Pt (g)	2,39	2,24	2,24	2,22	2,12
POIDS DE L'EAU Pe=Ph-Ps (g)	1,85	1,8	1,64	1,71	1,72
POIDS DU SOL SEC Pss=Ps -Pt (g)	4,57	4,51	4,29	4,54	4,71
TENEUR EN EAU W%=(Pe/Pss)*100	40,48	39,91	38,23	37,67	36,52

Tableau 149 : limites de plasticité SP Ech 3 / 3,5m

ESSAI N°	1	2	3
CONTENANT N°	NG	Z	M20
POIDS CONTENANT + SOL HUMIDE Ph (g)	6,23	6,15	6,42
POIDS CONTENANT + SOL SEC Ps (g)	5,38	5,32	5,5
POIDS DU CONTENANT Pt (g)	2,14	2,14	2,13
POIDS DE L'EAU Pe=Ph-Ps (g)	0,85	0,83	0,92
POIDS DU SOL SEC Pss=Ps -Pt (g)	3,24	3,18	3,37
TENEUR EN EAU W%=(Pe/Pss)*100	26,23	26,10	27,30
MOYENNE LP	26,54		

Tableau 150 : Limite de liquidité SP Ech 3 / 3,5m

NOMBRE DE CHOCS (2 révolutions/seconde)	16	19	22	26	30
CONTENANT N°	92	77	95	2	16
POIDS CONTENANT + SOL HUMIDE Ph (g)	8,72	8,17	8,68	8,58	8,4
POIDS CONTENANT + SOL SEC Ps (g)	6,56	6,22	6,62	6,62	6,45
POIDS DU CONTENANT Pt (g)	2,21	2,23	2,24	2,39	2,13
POIDS DE L'EAU Pe=Ph-Ps (g)	2,16	1,95	2,06	1,96	1,95
POIDS DU SOL SEC Pss=Ps -Pt (g)	4,35	3,99	4,38	4,23	4,32
TENEUR EN EAU W%=(Pe/Pss)*100	49,66	48,87	47,03	46,34	45,14

Tableau 151 : limites de plasticité SP Ech 4 / 4m

ESSAI N°	1	2	3
CONTENANT N°	D4	18	26
POIDS CONTENANT + SOL HUMIDE Ph (g)	6,48	6,82	6,52
POIDS CONTENANT + SOL SEC Ps (g)	5,83	6,14	5,87
POIDS DU CONTENANT Pt (g)	2,17	2,11	2,13
POIDS DE L'EAU Pe=Ph-Ps (g)	0,65	0,68	0,65
POIDS DU SOL SEC Pss=Ps -Pt (g)	3,66	4,03	3,74
TENEUR EN EAU W%=(Pe/Pss)*100	17,76	16,87	17,38
MOYENNE LP	17,34		

Tableau 152 : Limite de liquidité SP Ech 4 / 4m

NOMBRE DE CHOCS (2 révolutions/seconde)	16	19	23	27	30
CONTENANT N°	5	G3	82	AL	28
POIDS CONTENANT + SOL HUMIDE Ph (g)	8,39	8,46	8,35	8,37	8,74
POIDS CONTENANT + SOL SEC Ps (g)	7,03	7,17	7,09	7,08	7,43
POIDS DU CONTENANT Pt (g)	2,22	2,44	2,3	2,1	2,12
POIDS DE L'EAU Pe=Ph-Ps (g)	1,36	1,29	1,26	1,29	1,31
POIDS DU SOL SEC Pss=Ps -Pt (g)	4,81	4,73	4,79	4,98	5,31
TENEUR EN EAU W%=(Pe/Pss)*100	28,27	27,27	26,30	25,90	24,67

ANNEXE 18 : Normes d'interprétation d'une analyse d'eau pour la production de plantes annuelles

Paramètres	Concentration maximale
Alcalinité (CaCO ₃)	1 à 100 ppm (pas supérieure à 200)
Aluminium (Al ³⁺)	0 à 5 ppm
Bicarbonate (HCO ₃ ⁻)	30 à 50 (pas supérieure à 150)
Bore (B)	0,2 à 0,5 (pas supérieure à 0,8)
Calcium (Ca ²⁺)	40 à 120 ppm
Chlore (Cl ⁻)	0-100 ppm (pas supérieure à 140)
Cuivre (Cu ²⁺)	0,08 -0,15 ppm (pas supérieure à 0,2)
Fluor (F ⁻)	0 (pas supérieure à 1)
Fer (Fe ³⁺)	1 à 2 ppm (pas supérieure à 5)
Magnésium (Mg ²⁺)	6 à 25 ppm
Manganèse (Mn ²⁺)	0,2 à 0,7 ppm (pas supérieure à 2)
Molybdène (Mo)	0,02 à 0,05 ppm (pas supérieure à 0,07)
pH	5 à 7
Potassium (K ⁺)	0,5 à 5 ppm
Ratio d'absorption du sodium (RAS)	0 à 4 ppm
Sodium (Na ⁺)	0 à 30 ppm (pas supérieure à 50)
Sulfate (SO ₄ ²⁻)	24 à 240
Matière dissoute totale	70 à 700 ppm (pas supérieure à 875)
Zinc (Zn ²⁺)	0,1 à 0,2 ppm (pas supérieure à 2,0)
Salinité (mS)	Inférieure à 1,0-1,5

ANNEXE 19 : Normes chimiques d'une eau potable (normes humaines)

pH (degré pH)	6,5 à 9,5 (maxi : 9,5)
Dureté totale (degré TH)	15 à 30 °F
Taux de matières organiques	< 5 mg/l
Nitrates (NO ₃)	< 50 mg/l
Nitrites (NO ₂)	< 0,1 mg/l
Ammonium (NH ₄)	< 0,5 mg/l

ANNEXE 20 : Calcul de la fréquence des thalwegs d'ordre 1

Un thalweg est la ligne joignant les points les plus bas du fond d'une vallée.

La fréquence des thalwegs d'ordre 1 est le rapport du nombre total de thalwegs d'ordre 1 à la surface du bassin versant ; elle est donnée par la formule suivante : $F_1 = \frac{N}{A}$

Avec N : nombre de thalweg d'ordre 1 et A : Surface du bassin versant

Après décompte, on a N=17 et le résultat est le suivant : $F_1 = \frac{17}{2,403} = 7,07$

Cette caractéristique renseigne sur le chevelu hydrographique et donc du drainage des eaux vers l'exutoire du bassin versant.

A. Calcul du temps de concentration du bassin versant :

Le temps de concentration correspond au décalage de temps entre les premières gouttes de pluie ruisselée venant du voisinage de l'exutoire et l'arrivée des dernières gouttes venant du point du bassin versant le plus éloigné. Il donne une idée sur l'inertie du bassin versant. Par ailleurs plusieurs formules permettent de l'estimer mais celle de VENTURA est la suivante : $t_c = 0,763(S/P)^{0,5}$

Tc : temps de concentration en h

S : surface du bassin versant en km²

P : pente moyenne en m/m

La goutte la plus éloignée met le temps de concentration Tc pour arriver à l'exutoire.

B. Profil en long et pente caractéristiques du réseau

a. Le profil longitudinal du cours d'eau

Le profil en long du cours d'eau est un graphique représentant les différentes élévations du fond du cours d'eau en fonction de la distance à l'embouchure ou exutoire.

Les profils en long permettent d'estimer la pente moyenne du cours d'eau. Cette pente moyenne sert surtout dans l'évaluation des temps de concentration d'un bassin versant.

b. La pente moyenne d'un cours d'eau

Elle détermine la vitesse avec laquelle l'eau se rend à l'exutoire du bassin donc le temps de concentration. Cette variable influence donc le débit maximal observé. Une pente abrupte favorise et accélère l'écoulement superficiel, tandis qu'une pente douce ou nulle donne à l'eau le temps de s'infiltrer, entièrement ou en partie, dans le sol.

$$P_{\text{moy}} = \frac{\Delta H_{\text{max}}}{L}$$

P_{moy} : pente moyenne du cours d'eau (m/km)

ΔH_{max} : dénivelée maximale de la rivière (m) différence d'altitude entre le point le plus éloigné et l'émissaire).

L : longueur du cours d'eau principal (km).

C. Le degré de développement du réseau

a. La densité de drainage

La densité de drainage dépend de la géologie (structure et lithologie), des caractéristiques topographiques du bassin versant et, dans une certaine mesure, des conditions climatologiques et anthropiques. En pratique, les valeurs de la densité de drainage varient de 3 à 4 pour des régions où l'écoulement n'a atteint qu'un développement très limité et se trouve centralisé ; elle dépasse 1000 pour certaines zones où l'écoulement est très ramifié avec peu d'infiltrations.

La densité de drainage, introduite par Horton, est la longueur totale du réseau hydrographique par unité de surface du bassin versant :

$$D_d = \frac{\sum L_i}{A}$$

Avec :

D_d : densité de drainage (km/km²) ;

L_i : longueur de cours d'eau (km)

A : surface bassin versant (km²)

$\sum L_i$: longueur du cours d'eau principal + longueur des cours d'eau dérivés

Les longueurs des cours d'eau sont obtenues directement avec le logiciel Global Mapper à l'aide de la commande infotools.

b. Capacité de stockage des cuvettes

La capacité de stockage des cuvettes est leur aptitude à emmagasiner les apports venant du

bassin. Elle dépend de la topographie du terrain, de la côte du déversoir mais aussi de la position de l'ouvrage. On la caractérise par traçage des courbes hauteur-surface et hauteur-volume. Le lac étant calme, tous les points de la surface libre de l'eau sont à la même côte Z. Autrement dit la surface du lac est égale à celle incluse dans la courbe de niveau Z.

Soit Z_0 la côte du bas-fond et Z celle du plan d'eau, on a $h=Z-Z_0$

En faisant varier la côte Z tout en déterminant la surface incluse dans la courbe de niveau correspondante, on obtient la variation de la surface du plan en fonction de la hauteur d'eau.

En appliquant la formule $V = \frac{\sum Li}{A}$ on obtient ainsi le volume de la retenue en fonction de h.

Les résultats sont consignés dans le tableau ci-dessous.

Hauteur (m)	Surface	Volume
0	0	0
0,3	0,1342	15078,6517
0,6	0,1689	37955,0562
0,9	0,1964	66202,2472
1,2	0,2295	103146,067
1,5	0,2723	152977,528
1,8	0,3142	211820,225
2,1	0,3528	277483,146

ANNEXE 21 : Les classes des qualités d'eau

Les classes de qualité

Les analyses ont été interprétées pour la plupart à partir des grilles d'appréciation de la qualité des eaux.

Les grilles permettent de distinguer 5 niveaux de qualité :

- CLASSE 1A : caractérise les eaux exemptes de pollution, la qualité est "excellente"

- CLASSE 1B : de qualité légèrement moindre dite "bonne", ces eaux peuvent satisfaire tous les usages,
 - CLASSE 2 : la qualité est "passable" c'est-à-dire suffisante pour l'irrigation, les usages industriels, la production d'eau potable après un traitement poussé.
L'abreuvement des animaux est généralement toléré. Le poisson y vit normalement mais sa reproduction peut être aléatoire. La baignade est interdite, mais les loisirs liés à l'eau y sont possibles lorsqu'ils ne nécessitent que des contacts exceptionnels avec elle.

- CLASSE 3 : la qualité est "médiocre" soit juste apte à l'irrigation, au refroidissement et à la navigation. La vie piscicole peut subsister, mais elle devient aléatoire en période de faibles débits ou de fortes températures notamment.

- HORS-CLASSE : la valeur maximale tolérée en classe 3 est dépassée pour un ou plusieurs paramètres. Elles sont considérées comme inaptées à la plupart des usages et peuvent constituer une menace pour la santé publique et l'environnement. Seuls subsistent les organismes les plus résistants, bactéries, vers et certaines larves de diptère.

Patrick GIRGENTI
SARL EAU PRO

EVOLUTION QUANTITATIVE ET QUALITATIVE DES RESSOURCES EN EAU NATURELLE A USAGE INDUSTRIEL ET AGRICOLE DANS UN CONTEXTE DE CHANGEMENT CLIMATIQUE : CAS DES LACS DE DIAMNIADIO ET DE LA CARRIERE DE BARGNY

MEMOIRE DE THÈSE UNIQUE

Présenté par

Ibrahima THIAM

POUR OBTENIR LE GRADE DE DOCTEUR

Option: Hydraulique et Mécanique des Fluides

Soutenu publiquement le 15 Novembre 2017 devant le jury composé de :

Président	Grégoire	Sissoko	Professeur Titulaire	FST /UCAD
Rapporteur	Mamadou Babacar	NDIAYE	Maître de Conférences	UIT- UT
Rapporteur	EL HADJI Bamba	DIAW	Professeur Titulaire	EPT/Thiès
Examineur	Soussou	SAMBOU	Maître de Conférences	FST/UCAD
Examineur	Vincent	SAMBOU	Maître de Conférences	ESP/ UCAD
Examineur	Mamadou	SARR	Professeur Titulaire	Université Thiès
Directeur thèse	Séni	TAMBA	Maître de Conférences	EPT

RESUME

L'objectif de cette thèse est d'estimer, dans un contexte de changement climatique, l'évolution volumétrique ainsi que la qualité des eaux stockées par les lacs artificiels dans la zone de Diamniadio et Bargny de manière à davantage maîtriser leur utilisation industrielle et agro-pastorale. Cette étude vise particulièrement les lacs de la carrière de SOCO CIM (Arbed, Gruner et Djoudj) ainsi que les deux (2) barrages de Diamniadio (Banthiar et Sebi-Ponty). Ces réserves naturelles sont aujourd'hui confrontées à un grand problème de remplissage consécutif à la sécheresse qui sévit dans le pays ces dernières années.

Alimentés par un bassin versant de **12,6 km²**, les lacs reçoivent directement, sous forme de précipitations, un volume annuel moyen de **1 351 788 m³** ; par ailleurs, ils perdent **302 172 m³** chaque année par évaporation, **7 466 m³** par infiltration et **69 405 m³** par trop plein.

Malgré le problème de remplissage des bassins, **28,04%** des volumes récupérés sont perdus chaque année, dus essentiellement à l'évaporation qui en représente, à elle seule, **80%**.

Même si ces ressources ne constituent pas un problème particulier pour une utilisation industrielle, elles présentent quelques éléments chimiques relatifs à des taux susceptibles de perturber l'utilisation agro-pastorale. C'est singulièrement le cas du bore, du fer, du nitrite, du phosphate et du potassium dont les teneurs respectives excèdent la norme préconisée définie par la FAO.

Les résultats collectés dans la présente étude répertorient les eaux des bassins de la zone d'étude dans la classe de la qualité passable, c'est-à-dire suffisante pour l'irrigation, les usages industriels mais dont l'utilisation pour une eau potable requiert un traitement approfondi.

Enfin, pour rendre ces ressources naturelles pérennes, différentes solutions techniques ont été abordées dans le cadre de cette étude, allant de l'imperméabilisation à l'aménagement de nouveaux bassins tributaires avec des techniques de maîtrise du phénomène d'évaporation. Par ailleurs, des solutions susceptibles de réduire considérablement les teneurs des matériaux en excès dans les eaux sont aussi proposées, hormis le cas du bore qui n'est pas encore tout à fait maîtrisé par la technologie actuelle.

L'étude se termine par une conclusion qui retrace les différents résultats et les perspectives de recherches.

Mots clés : qualité eau, Djoudj, Arbed, Sébi-ponty, Banthiar, bassin versant, turbidité, couleur, température, conductivité, pH, dureté, alcalinité, nitrite, fer, phosphate, bore, chlore.