

Université Cheikh Anta Diop de Dakar



Faculté des Sciences et Techniques

Institut des Sciences de la Terre

N° d'ordre 279 /2018/IST

Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du Grade d'Ingénieur Géologue de Conception

Sur

**ETUDES GEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE SUR LE POINT D'EAU AU
NIVEAU DE LA RESERVE NATURELLE DE POPENGUINE EN VUE DE LA
PROPOSITION D'UN MODELE D'AMENAGEMENT**

Présenté par :

Mlle Hélène Dibor FAYE

Soutenu publiquement le 12 Octobre 2018 devant la commission d'examen composé de :

M Abdou Aziz	NDIAYE	Président	IST
M Mohamadou Moustapha	THIAM	Rapporteur	IST
M Matar	NDIAYE	Rapporteur	IST
M Seybatou	DIOP	Rapporteur	IST
M Raphaël	SARR	Examineur	FST
M Adama	DIONE	Examineur	IPD

Je dédie ce mémoire :

• A mon Père

A titre posthume, papa je te dédie ce travail car si j'en suis ici c'est grâce aux efforts que tu as consentis depuis le début de mon initiation, contre vents et marées, nuits et jours tu as veillé à ce que je ne manque de rien et à ce que mon éducation soit l'une des plus parfaites. Je me souviens de mes premiers pas à l'école, tu m'amenais jusqu'à l'école avant de rejoindre la tienne. Je ne t'ai pas assez remercié donc je continue ça en prières. Que le Dieu plein d'amour, rempli de miséricorde et lent à la colère veille sur toi là où tu es et que la lumière divine brille sur toi à tout jamais. A jamais, tu seras dans mon cœur !!!

• A ma mère

Pour ta présence, ton amour, ton soutien, ton abnégation et pour tout ce que tu es dans ma vie. Tu sais que je ne te remercierai jamais assez. Je me rappelle les matins où tu te levais de bonne heure pour nous préparer nos goûters d'école. Tu as été un père et une mère pour nous quand papa s'en est allé vers l'au-delà. Que le Seigneur te prête longue vie encore au milieu de nous et que sa main puissante ne te quitte jamais. Nous ferons de toi une reine.

- Spécialement à mes frères Michel sans qui je n'aurai jamais connu l'IST et André, à ma grande sœur Madeleine, tu es une deuxième maman pour moi.
- A toi Yves Senghor, ton aide morale et physique m'a été d'un grand apport.
- A ma famille : mes tontons (Ludovic Agboton, Marcel, Paul, Benoit, Joseph, Emmanuel, Pierre, Jean Paul) et tatas (Joséphine, Clémence, Emilie, Ndioug, Penda, Bernadette, Noella, Alice, Agnès), à mes cousins et cousines (Cheikh, Clément, Jean Jacques, Lily, Jessy, Mado, Ndeye Ami)
- à mes amis et amies : Marie Odile, Jeanne Paule, Anna, Mame Fatou, Fatou Thiam, Emilie (tu m'as offert ton toit à chaque fois que les grèves dégénéraient à l'Université), Aymar, Walytéo, Hélène Sène, Margot, Joséphine Ndiaye, Mbayang Sarr, Gaby, Khadim, Mohamed, mon parrain à l'IST Pape Alioune, Mor Fall, Sanokho, Paul Faye, Thomas, Alamine, Laurent.
- A mes copines de chambre qui ont vécu avec moi dans le respect et l'entraide: je parle de toutes celles avec qui j'ai partagé une chambre au campus universitaire de la 1^{ère} à la 5^{ème} année

- A l'amicale de tous les étudiants catholiques de Mbour, à mes chœurs Myrial et El Shaddai.
- A mes camarades de l'IST avec qui j'ai partagé beaucoup de moments (spécialement Khar Ndione grâce à qui mon séjour à Popenguine s'est bien déroulé)
- A tous mes camarades de promotion particulièrement mon binôme de mémoire qui a su me supporter et accepter toutes mes critiques.

Remerciements

Par cette occasion qui nous est offerte, nous exprimons toute notre gratitude aux personnes qui nous ont apporté leur concours lors de la réalisation de ce travail.

Nos remerciements vont à l'endroit de:

- * Monsieur Mohamadou Moustapha THIAM pour son encadrement sans faille, son sens du devoir et sa dévotion pour le travail. Merci pour l'assistance, les conseils, et surtout la patience dont vous avez fait preuve tout au long de ce mémoire. Nous vous témoignons notre plus profonde gratitude
- * Monsieur Abdou Aziz NDIAYE pour ses remarques et suggestions mais surtout pour sa disponibilité et son ouverture
- * Monsieur Matar Ndiaye pour son encadrement, sa disponibilité et son soutien physique et matériel
- * Monsieur Seybatou DIOP pour sa clairvoyance, ses observations et pour le grand intérêt qu'il accorde à ce travail. Merci pour tout professeur
- * Monsieur Raphaël Sarr pour les connaissances qu'il nous a transmises et pour avoir également accepté d'examiner ce travail
- * Monsieur Dione pour son soutien, son altruisme et sa disponibilité hors du commun.

Nous ne vous remercierons jamais assez.

- * L'entreprise Geo2X pour avoir mis à notre disposition le matériel nécessaire sans lequel ce travail n'aurait pu aboutir
- * Du personnel administratif de la Reserve Naturelle de Popenguine pour leur accueil chaleureux et leur accompagnement tout au long de notre stage
- * Des femmes de la Reserve Naturelle de Popenguine pour leur hospitalité légendaire

Nous ne pouvons oublier nos professeurs à l'IST qui nous ont transmis leur connaissance et leur expérience, gage de notre succès. Nous remercions particulièrement Monsieur Mahamadane Diène de nous avoir été toujours proche. Merci pour cette proximité, ce sens de l'écoute et les conseils qu'il ne cesse de donner.

Résumé

Le secteur de Popenguine se trouve dans le Horst de Diass, compartiment appartenant au bassin sédimentaire sénégal-mauritanien

La Réserve Naturelle de Popenguine se trouve de plus en plus confrontée à un problème d'eau pour l'alimentation des animaux y vivant. Il a été nécessaire d'y faire des études de terrain pour pouvoir apporter une réponse à ce problème. Le point d'eau qui sert de source d'approvisionnement en eau à la faune connaît un tarissement rapide et brutal durant les deux mois suivant la saison pluviale. Ce manque d'eau est l'une des causes de la migration ou de la disparition des espèces. Ce phénomène impacte négativement sur la zone qui est une zone d'attraction touristique.

Afin d'apporter une solution au problème, il est primordial de connaître la nature géologique des terrains de la Réserve Naturelle de Popenguine ainsi que leur répartition. Leur configuration sous le sol peut être suivie par la géophysique. A cela s'ajoute la connaissance de la nature du sol par une identification géotechnique.

La méthodologie du travail a été de:

- Faire une cartographie géologique de la RNP
- Faire une étude géophysique avec l'élaboration de deux profils tomographique
- Ensuite faire des études de sol pour déterminer les propriétés du sol

Toutes ces études nous ont permis d'obtenir les résultats suivants :

- La cartographie géologique a permis d'obtenir la carte géologique détaillée de la RNP
- La géophysique a permis d'obtenir la configuration et la nature du sous-sol
- Les analyses géotechniques ont permis de connaître les propriétés physico-chimiques du sol

L'analyse et l'interprétation des différents résultats ont permis une meilleure connaissance de la géologie du secteur.

Et un modèle d'aménagement est proposé pour mieux répondre aux attentes.

Toutefois, il faudra pousser d'avantage les recherches en partenariat avec les institutions étatiques pour circonscrire le problème et apporter une solution durable.

Mots clés : Réserve Naturelle de Popenguine, Karst, cartographie géologique, aménagement, protection littorale

Sommaire

INTRODUCTION 4

PREMIERE PARTIE : PRESENTATION DU SECTEUR D'ETUDE6

CHAPITRE 1 : CONTEXTE GEOGRAPHIQUE ET GEOLOGIQUE7

- 1.1 CONTEXTE GEOGRAPHIQUE7
- 1.2 CONTEXTE GEOLOGIQUE9
 - 1.2.1 *Stratigraphie*12
 - 1.2.1.1 Le Campanien12
 - 1.2.1.2 Le Maastrichtien12
 - 1.2.1.3 Le Paléocène13
 - 1.2.1.4 L'Eocène inférieur et moyen13
 - 1.2.1.5 Le Mio-Pliocène14
 - 1.2.1.6 Le Quaternaire14
 - 1.2.2 *Cadre tectonique*14

CHAPITRE 2 : CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE16

- 2.1 LA NAPPE DU MAASTRICHTIEN16
- 2.2 LA NAPPE DU PALEOCENE17
- 2.3 LA NAPPE DU QUATERNAIRE17

DEUXIEME PARTIE : ETUDES GEOLOGIQUE, GEOPHYSIQUE ET GEOTECHNIQUE DU SECTEUR D'ETUDE19

CHAPITRE 3 : CARTOGRAPHIE GEOLOGIQUE23

- 3.1 MATERIEL ET METHODES23
 - 3.1.1 *Matériel*23
 - 3.1.2 *Méthodes*23
- 3.2 RESULTATS24
- 3.3 ANALYSE ET INTERPRETATION DES RESULTATS43

CHAPITRE 4 : PROSPECTION GEOPHYSIQUE47

- 4.1 MATERIEL ET METHODE47
 - 4.1.1 *Matériel*47
 - 4.1.2 *Principe de la tomographie électrique*48
 - 4.1.3 *Les limites de la méthode*52
- 4.2 ANALYSE ET INTERPRETATION DES RESULTATS54

CHAPITRE 5 : CARACTERISATION GEOTECHNIQUE DE LA ZONE D'ETUDE59

- 5.1 TENEUR EN EAU (NF P 94-050)59
- 5.2 ESSAI GRANULOMETRIQUE (NF P 94-056)59
- 5.3 ESSAI SEDIMENTOMETRIQUE (NF P 94-057) (ASTM 152-H)60
- 5.4 POIDS VOLUMIQUE APPARENT61
- 5.5 LE POIDS VOLUMIQUE SPECIFIQUE (P_s) (NF P94-054)62
- 5.6 LES LIMITES D'ATTERBERG (NF P 94-051)63
- 5.7 LA PERMEABILITE DU SOL66

CHAPITRE 6 : PROPOSITION D'UN MODELE D'AMENAGEMENT68

- 6.1 DEFINITION ET COMPOSANTES D'UNE DIGUE68

6.2 ETAT DE L'OUVRAGE69

6.3 CONCEPTION DES PRINCIPAUX ELEMENTS D'UNE DIGUE74

6.3.1 Paramètres de calcul74

4.3.2 Caractéristiques géotechnique du matériau de remblai80

4.3.3 Présentation du logiciel et du Modèle80

CONCLUSION GENERALE :84

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES87

ANNEXES93

LISTE DES ABREVIATIONS ET NOMENCLATURE

BRGM : Bureau de Recherches Géologiques et Minières

DGPRE : Direction de la Gestion et de la Planification des Ressources en Eau

GPS : Global Positioning System

RNP : Réserve Naturelle de Popenguine

NF : Norme Française

HCl : Acide chlorhydrique

W : teneur en eau

M_h : Masse humide

M_s : Masse sèche

M_w : Masse de l'eau

W_m : teneur en eau moyenne

R_C : lecture corrigée du densimètre à l'instant

R : lecture du densimètre

C_t : correction due aux variations de température en cours d'essai

C_m : correction due au ménisque

C_d : correction due au flocculant

ρ : masse volumique apparente

ρ_s : poids volumique spécifique

KN : kilo Newton

g : gramme

m³ : mètre cube

cm³ : centimètre cube

w_p limite de plasticité (%w)

w_l : limite de liquidité (%w)

IP : Indice de plasticité

Introduction

La Réserve Naturelle de Popenguine se trouvant de plus en plus confrontée à un problème d'eau pour l'alimentation des animaux y résidant, il a été nécessaire d'y faire quelques études de terrain afin de pouvoir apporter une réponse à ce problème. En effet, le point d'eau qui sert de source d'approvisionnement en eau à la faune connaît un tarissement rapide et brutal durant les deux mois suivants la saison pluviale. Ce manque d'eau est l'une des causes de la migration ou de la disparition des espèces animalières. Ce phénomène impacte négativement sur la zone car étant une zone d'attractivité touristique.

C'est dans ce contexte que l'Institut des Sciences de la Terre en collaboration avec les administrateurs de la RNP a décidé d'apporter sa contribution à la part des choses en y faisant une étude intitulée :

« Etudes géologique et géotechnique sur le point d'eau au niveau de la réserve naturelle de Popenguine en vue de la proposition d'un modèle d'aménagement ».

L'objectif de ce travail est de pouvoir proposer un modèle d'aménagement ou ouvrage afin de pouvoir stocker l'eau tout au long de l'année et de valoriser la zone en la redynamisant.

Le document est scindé en deux parties avec 6 chapitres:

- Une première partie scindée en 2 chapitres consacrés aux généralités à savoir les contextes géographique, géologique et hydrogéologique de la zone couvrant notre zone d'étude
- Une deuxième partie dédiée aux études géologique, géophysique menées sur le site ainsi qu'à l'étude géotechnique réalisée au laboratoire à partir d'échantillons prélevés afin d'apporter une solution à long terme au problème que fait face la réserve. Elle se présente en 4 chapitres :
 - Un chapitre sur la cartographie géologique réalisée sur le site, pour comprendre l'organisation spatiale des faciès, déterminer les faciès présents dans notre secteur d'étude
 - Un chapitre sur la campagne de géophysique conduite sur le site afin de comprendre les phénomènes qui interviennent et qui aboutissant au tarissement rapide de l'eau

- Un chapitre consacré à la géotechnique. Celui-ci vient non seulement en appoint aux études géophysiques par le traitement des données de surface mais permet également de proposer un modèle d'aménagement.
- Et enfin, grâce à la compilation des informations collectées, nous avons essayé de dégager une certaine orientation quant au modèle d'aménagement, suivi d'une conclusion et des recommandations.

PREMIERE PARTIE :
PRESENTATION DU SECTEUR
D'ETUDE

Chapitre 1 : Contexte géographique et géologique

1.1 Contexte géographique

La commune de Popenguine-Ndayane est localisée entre les coordonnées N14° 33' 27'' et W17° 06' 50, 04''. Elle se situe à 70 kms au sud de Dakar. Au plan administratif, elle fait partie du département de Mbour dans la région de Thiès (figure 1). Le relief est constitué de falaises littorales et de collines dont l'altitude maximale est de 83 m au Cap de Naze. Les collines sont séparées par des vallées (Faye, 2012).

Sur le plan pédologique, on rencontre les sols ferrugineux tropicaux (sols *dior*) dans les zones déprimées, les sols argileux ou, les sols sablo-argileux et les humifères dans les bas-fonds (Madioune, 2012).

Le domaine climatique est de type soudano-sahélien avec 2 saisons : une saison sèche (Novembre à Juin) et une saison de pluies de 3 à 4 mois (Juin à Octobre). Les vents dominants sont de secteur nord ; alizés continentaux chauds et secs d'une célérité voisine de 6 m/s ; ils sont morphologiquement efficaces. Les températures moyennes tournent autour de 33,5 °C. Les précipitations sont faibles dans l'ensemble et atteignent rarement 500 mm/ an en moyenne. Les données collectées au niveau de la station pluviométrique de Mbour au Sud de la zone montrent des précipitations moyennes de 400 mms/an entre 2007 et 2017. Cela explique la pauvreté couvert végétal.

La végétation est plus dense dans les périmètres forestiers de Bandia et dans la Réserve Naturelle de Popenguine. Le reste du terroir est constitué d'espaces agricoles peu couverts, d'une steppe arbustive centrée au niveau des plateaux (Madioune, 2012).

L'étude de la végétation du horst de Diass de 2007 montre que la végétation naturelle est constituée de savane arbustive à arborée et de steppe arborée. Au niveau de la strate arbustive, on distingue les espèces suivantes : *Acacia ataxacantha*, *Acacia seyal*, *Boscia senegalensis*, *Combretum glutinosum*. La strate arborée comprend les espèces du type de *Faidherbia albidia*, *Adansonia digitata*, *Eucalyptus*

Enfin, au plan socio-économique, les terres de culture se situent à l'Ouest de la commune, précisément à Ndayane et dans le triangle de Diass, Kirène et Bandia. À l'agriculture s'ajoutent la pêche, l'artisanat et le commerce (Faye, 2012).

Le réseau hydrographique saisonnier est plus dense au Sud-Ouest en raison de la géomorphologie et de la configuration géologique. En effet, les cours d'eau sont en régime tropical. Ils sont caractérisés par une période de hautes eaux durant l'hivernage et quelques mois suivant la saison des pluies et une période de basses eaux durant la saison sèche. Les cours d'eau sont uniquement alimentés par les eaux de pluie. Autour de la falaise de Popenguine, les cours d'eau sont mieux rechargés car ils prennent leur source de la partie la plus haute.



Figure 1.1 : Carte de situation géographique du secteur d'étude (J.P. Barrussau et al., 2009)

Contexte géologique

Le secteur de Popenguine se trouve dans le Horst de Diass, à l'Ouest du Sénégal (figure 1.2). Le bassin sénégalo-mauritanien résulte de la séparation au Jurassique de l'Afrique et de l'Amérique du Nord et couvre une superficie de 340 000 km² (Hébrard & Elouard, 1976). Ce bassin sédimentaire est le plus occidental et le plus vaste bassin du littoral ouest-africain. Il s'étend sur environ 1400 km du Nord du Cap Barbas en Mauritanie, au Sud de Bissau en Guinée-Bissau, à travers le Sénégal et la Gambie. Sa plus grande largeur se situe à la latitude de Dakar (560 km). Il correspond à une zone à relief peu marqué, limité par une cote généralement basse et sablonneuse sur laquelle débouchent quatre estuaires importants. Ce sont, du Nord au Sud, les estuaires du Sénégal, du Sine Saloum, de la Gambie et de la Casamance (Bellion, 1987).

La stratigraphie du bassin est essentiellement basée sur les données de sondages de recherche d'eau et surtout d'hydrocarbures. La majorité des affleurements correspondent en effet à des recouvrements récents postérieurs au Paléogène, fréquemment altérés et sableux.

La série sédimentaire post-paléozoïque reconstituée à partir de forages est connue sans interruption du Trias-Lias au Quaternaire (Roger *et al.*, 2009 ; Bellion, 1987).

Les faciès varient d'Est en Ouest : grossiers à la bordure du bassin, à l'Est, où les influences littorales et les apports détritiques dominent, ils deviennent de plus en plus fins vers l'Ouest.

La structure d'ensemble du bassin correspond à celle d'un bassin de marge passive avec :

- un remplissage sédimentaire s'épaississant en direction du domaine océanique et formé de prismes élémentaires progradants superposés
- un plongement général des couches très faibles ainsi qu'un enfoncement graduel plus ou moins progressif du substratum dans la même direction
- une transgressivité des dépôts vers l'Ouest et vers l'Est au fur et à mesure de l'expansion océanique et de la subsidence du bassin.

Les derniers dépôts transgressifs sont ceux de l'Eocène inférieur (Bellion, 1987). En effet, au Sénégal occidental, la série mésozoïque affleurante se limite aux termes stratigraphiques les plus supérieurs, n'interceptant le Campanien que très marginalement le Maastrichtien est mieux exposé dans le Horst de Diass et recouvert d'une cuirasse ferrugineuse (Lappartient et Monteillet, 1980 ; Monteillet et Lappartient, 1981 ; Roman et Sornay, 1983 ; Michaud, 1984 ;

Khatib *et al.*...,1990 ; Sow, 1992 ; Sarr, 1995). Le socle anté-mésozoïque plonge d'abord doucement vers l'Ouest, s'effondre à la faveur de failles N-S entre les méridiens 15°30W et 16°30W. Il se situerait vers 5000 m de profondeur à la verticale de Nouakchott, 10000 m ou plus à celle de Dakar et à plus de 12000 m sous le plateau continental casamançais (Bellion, 1987). Les séries cénozoïques sont plus largement représentées à l'affleurement, exposées dans les falaises côtières de la tête de la presqu'île du Cap-Vert (Dakar) et aussi dans la cuesta de Thiès et la falaise de Ngasobil. Cette structure d'ensemble relativement simple est compliquée par des diapirs salifères qui percent la couverture sédimentaire du plateau continental guinéo-casamançais au sud et celle du talus continental mauritanien au Nord. Plusieurs horsts et grabens délimitent des failles subméridiennes au voisinage du front du plateau (Bellion, 1987).

La synthèse géologique du Horst de Diass et de ses bordures a été réalisée par la compilation d'un grand nombre de données : logs de forages hydrauliques et pétroliers, coupes géologiques (Martin, 1970 ; Fall, 1981 ; Faye, 1983 ; Bellion, 1987 ; Bellion et Guiraud ; 1984).



Figure 1.2 : Carte géologique du Cap-Vert et des environs (Flicoteaux, 1982)

1.1.1 Stratigraphie

Les nombreux travaux biostratigraphiques effectués dans notre zone d'étude ont permis de reconnaître et de dater le Campanien, le Maastrichtien, le Paléocène, l'Eocène, le Mio-Pliocène et le Quaternaire.

1.1.1.1 Le Campanien

Il est difficile de distinguer le Campanien du Maastrichtien en raison de la similarité des faciès détritiques (argiles, sables argileux, argiles sableuses).

Le Campanien affleure dans les carrières de Paki et au Cap de Naze au Sud du Horst de Diass (Lappartient et Monteillet, 1980 ; Roman et Sornay, 1983 ; Khatib *et al.*, 1990). Les affleurements sont rapportés à la Formation de Paki (Roger *et al.*, 2009). A l'Ouest du horst de Diass, de nombreux forages ont recoupé le Campanien qui comprend des dépôts argileux épais à intercalations gréseuses riches en foraminifères planctoniques et benthiques et en ostracodes (Castelain, 1965 ; Spengler *et al.*, 1966 ; Bellion et Guiraud, 1984 ; in Thiam, 2014).

Le Campanien terminal correspond à l'Unité I de la falaise du Cap de Naze. Il comprend une succession d'argilites, de siltites et d'arénites calcaires au sommet (Sow, 1992 ; in Thiam, 2014).

1.1.1.2 Le Maastrichtien

Les dépôts du Maastrichtien sont concordants sur les argiles du Campanien. Le passage des faciès à argiles aux sables se fait précisément dans le horst de Diass à la verticale de Pout (axe Poponguine-Diass-Ouabine) et délimite deux milieux de sédimentation : à l'Ouest une sédimentation argileuse dans une fosse subsidente à hauts fonds ; à l'Est un dépôt de sables sur une plateforme interne à littorale (Sow, 1992 ; in Thiam, 2014). Le Maastrichtien affleure dans le horst de Diass, sous la forme de grès, de sables, d'argiles silteuses et d'argiles (Sarr, 1995) qui correspondent aux terrains les plus anciens connus en surface dans le bassin sénégal-mauritanien. Il a été recoupé par de très nombreux sondages de recherche de pétrole ou d'eau, qui ont rencontré des faciès essentiellement sablo-argileux (Bellion, 1987 ; Spengler *et al.*, 1966). Le forage de Popenguine est l'un des rares sondages pétroliers à avoir traversé la totalité du Maastrichtien sur environ 500_m (Diop, 2011). Le Campanien et le Maastrichtien constituent le Groupe de Diass (Roger *et al.*, 2009).

1.1.1.3 Le Paléocène

Le Paléocène affleure au niveau de notre zone d'étude. Il correspond à la Formation de Popenguine étudiée pour la première fois par Thessier, 1952. Elle est constituée par un ensemble défini par des calcaires argileux surmontés par des marnes à rosettes de calcite d'âge Danién (Sarr et Ly, 1998). Le Paléocène affleure au niveau de Popenguine et montre la succession suivante (Sarr, 1998):

- des argiles grises à filonnets de gypse riches en lentilles calcaires;
- une alternance de bancs calcaires et marneux gris à filonnets de gypse ;
- des bancs calcaires massifs à lits marneux
- alternance de petits bancs de calcaire et de marne grise
- marnes grises riches en rosettes de calcite avec des bancs calcaires discontinus à la base

Le Danién ou Paléocène inférieur affleure au Sud du horst de Diass entre Popenguine et Toubab Dialaw et comprend une succession d'argiles, de marno-calcaires et de marnes à rosettes de calcite qui constitue la Formation de Ndayane (Roger *et al.*, 2009 ; Toumarkine et al., 1984 ; Sarr, 1995 ; Sarr et Ly, 1998). Ce sont ces marno-calcaires qui constituent les falaises de Toubab Dialaw et de Ndayane à Popenguine (Sarr, 1995 et 1998).

Les dépôts rapportés au Sélando-Thanétien ont une répartition beaucoup plus large que ceux du Danién et correspondent à des calcaires coquilliers de plateforme (Roger *et al.*, 2009). En effet, le Paléocène supérieur ou Thanétien affleure au niveau du horst de Diass sous la forme d'un faciès calcaire zoogène karstifié et très homogène et constitue la Formation de Popenguine (Roger et al., 2009).

1.1.1.4 L'Eocène inférieur et moyen

L'Eocène correspond généralement à un faciès érodé et n'affleure que rarement. Il est constitué de faciès marneux ou argileux s'enrichissant en calcaire vers le sommet (Sarr, 1982). A la suite du retrait de la mer à la fin du Paléocène, une grande partie du bassin est émergée (Sarr, 1995). La transgression marine de l'Eocène inférieur est plus importante (Monciardini, 1966 ; Bellion, 1987).

1.1.1.5 Le Mio-Pliocène

Le Pliocène correspond à la cuirasse grés-ferrugineuse compacte et fortement indurée. Ce faciès se rencontre sous forme de blocs en place ou éboulés au Cap de Naze. La ferruginisation est due à l'altération des grès en climat chaud et humide.

1.1.1.6 Le Quaternaire

Le Quaternaire est marqué à Popenguine par des dépôts détritiques et correspond à des rapportées au Pléistocène et à l'Holocène (Roger et al., in Thiam, 2014).

1.1.2 Cadre tectonique

Le contexte tectonique au niveau de la zone d'étude est en partie lié à la formation du Horst de Diass dont la structure a commencé à la fin du Crétacé puis s'est dessiné à l'Eocène inférieur (Martin, 1970). La tectonique en touches de piano qui a affecté le horst et ses bordures s'est traduite par quatre failles majeures (figure 3) :

- La faille de Ponty-Cayar
- La faille de Sébikotane
- La faille de Pout
- La faille de Thiès

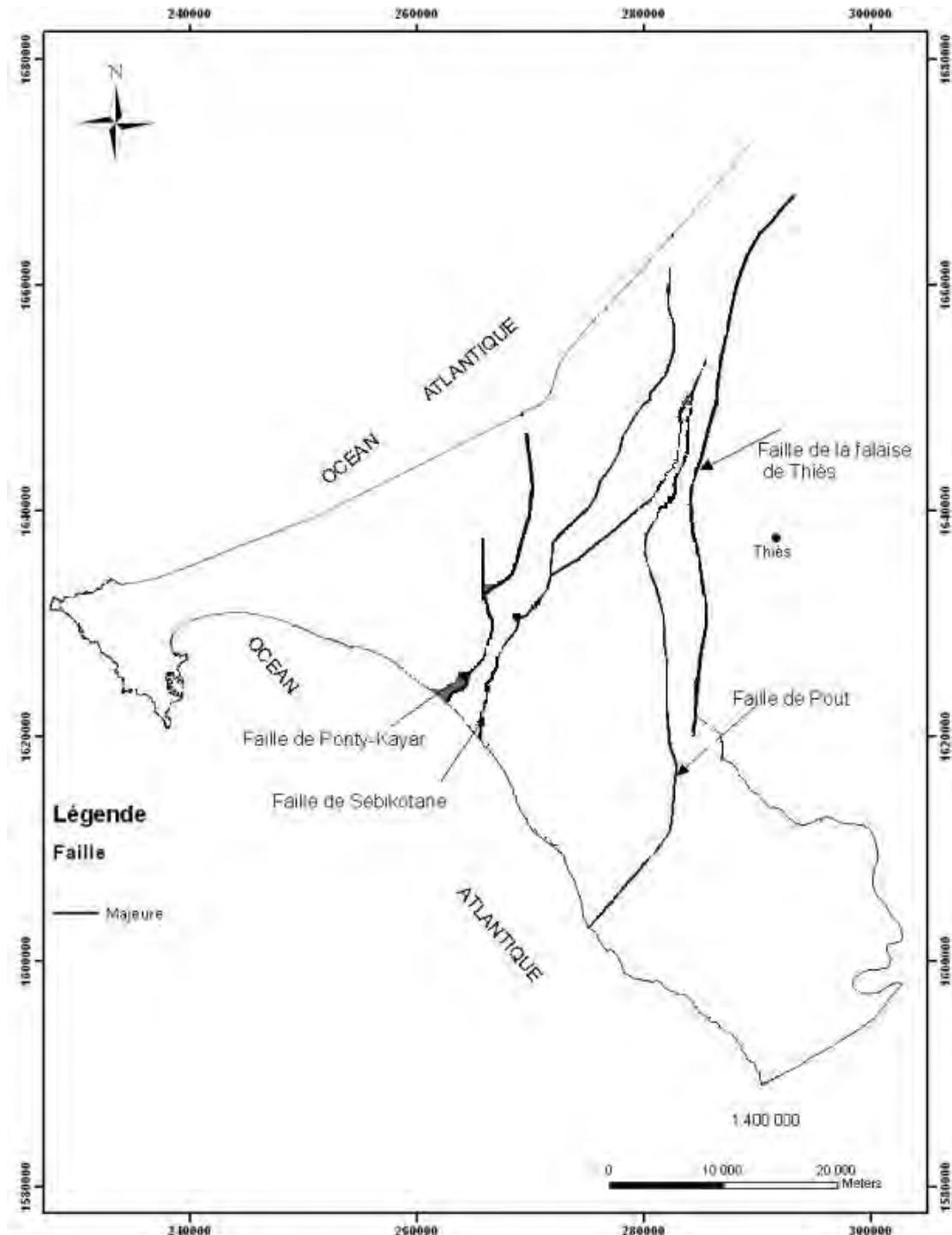


Figure 1.3 : Tectonique du horst de Diass (Madioune, 2012 modifié)

Chapitre 2 : Contexte hydrogéologique

La structure hydrogéologique du Horst de Diass est complexe du fait de la tectonique. Les travaux réalisés à ce niveau ont permis de mettre en évidence un système aquifère constitué principalement de quatre compartiments délimités par quatre failles majeures. Ils sont d'Ouest en Est :

- ✓ le compartiment de Sébikotane (situé entre la faille de Ponty-Cayar et la faille de Sébikotane)
- ✓ le compartiment de Diass (entre la faille de Sébikotane et la faille de Pout)
- ✓ le compartiment de Pout (entre la faille de Pout et la faille de Thiès)
- ✓ le compartiment de Thiès (à l'Est de la faille de Thiès).

Dans ce système, l'essentiel des réserves hydriques se trouvent principalement dans les horizons du Maastrichtien et du Paléocène (Madioune, 2012), le Quaternaire n'étant qu'une nappe superficielle.

2.1 La nappe du Maastrichtien

L'aquifère du Maastrichtien s'étend sur l'ensemble du bassin sénégal-mauritanien et correspond à l'importante série grésocalcaire et sablo-gréseuse à intercalations d'argiles du Maastrichtien. Le Maastrichtien dans le compartiment de Diass, où se trouve notre zone d'étude, comprend en effet deux niveaux (ARLAB, 1988) :

- Un niveau inférieur (profond) qui correspond à la série grésosableuse dont l'épaisseur en eau douce atteint les 350m (Sambe, 2005). Ce niveau surmonte des eaux saumâtres à la base du Maastrichtien (BRGM, 1988 ; Sambe, 2005 et Madioune, 2012). La recharge se fait par percolation à partir du niveau supérieur constitué de faciès grésocalcaires.
- Un niveau supérieur constitué par les séries grésocalcaires associées aux sables quaternaires qui remplissent les vallées fossiles le long des failles. Entre les failles de Paki et de Pout, le Maastrichtien est épais d'environ 400m et se rencontre entre 30 et 70 m de profondeur. Elle est recouverte par les formations latéritiques à perméabilité très réduite et sablo-argileuses du Mio-Plio-Quaternaire (Madioune, 2012).

Dans le secteur Nord du lac Tanma (au Nord de Pout), l'aquifère maastrichtien est surmonté par les calcaires karstiques du Paléocène qui sont à leur tour recouverts par les marnes de l'Eocène.

La détermination des paramètres hydrodynamiques révèle des valeurs de perméabilité rapportées dans le niveau supérieur du Maastrichtien qui sont de l'ordre de $1,8.10^{-4} \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$ à Mbour et de transmissivité variant entre 10^{-4} et $4.10^{-3} \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$ (Diop, 2011). La nappe maastrichtienne est la plus exploitée ; les forages atteignant parfois 500 mètres de profondeur avec des débits variant entre 100 et 205 m³/h pour de faibles rabattements (Source DGPRE).

2.2 La nappe du Paléocène

L'aquifère des calcaires du Paléocène ne se trouve pas dans le compartiment où se trouve notre zone d'étude mais plutôt dans les compartiments tectoniques de Sébikotane, de Pout et de Thiès qui encadrent à l'Ouest et à l'Est le horst de Diass. Dans le compartiment de Sébikotane, le Paléocène est un aquifère captif et correspond à des calcaires zoogènes karstifiés recouverts par les marnes de l'Eocène. Ils ont subi plusieurs fracturations et fissurations avant la mise en place définitive du horst de Diass (BRGM, 1988). Son épaisseur augmente du NW vers le SE (Bâ, 1999).

Dans le compartiment de Pout, L'aquifère du Paléocène constitue le niveau supérieur et est sub-affleurante sur une bonne partie (au Sud du parallèle de Pout). D'où sa configuration de nappe libre.

2.3 La nappe du Quaternaire

Il constitue l'aquifère superficiel. Compte tenu du caractère localisé de la série du cape rouge-cap de Naze et du fait de sa lithologie sablo-argileuse difficile à séparer des sables argileux du Quaternaire, ces deux formations sont regroupées pour constituer l'aquifère superficiel. Son alimentation est assurée principalement par les eaux de pluie. Son épaisseur est très variable avec des valeurs de transmissivité comprises entre 2.10^{-4} et $9.10^{-2} \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$ (SGPRE, 2001). La figure ci-dessous fait le récapitulatif de l'ensemble des aquifères présents sur le horst.

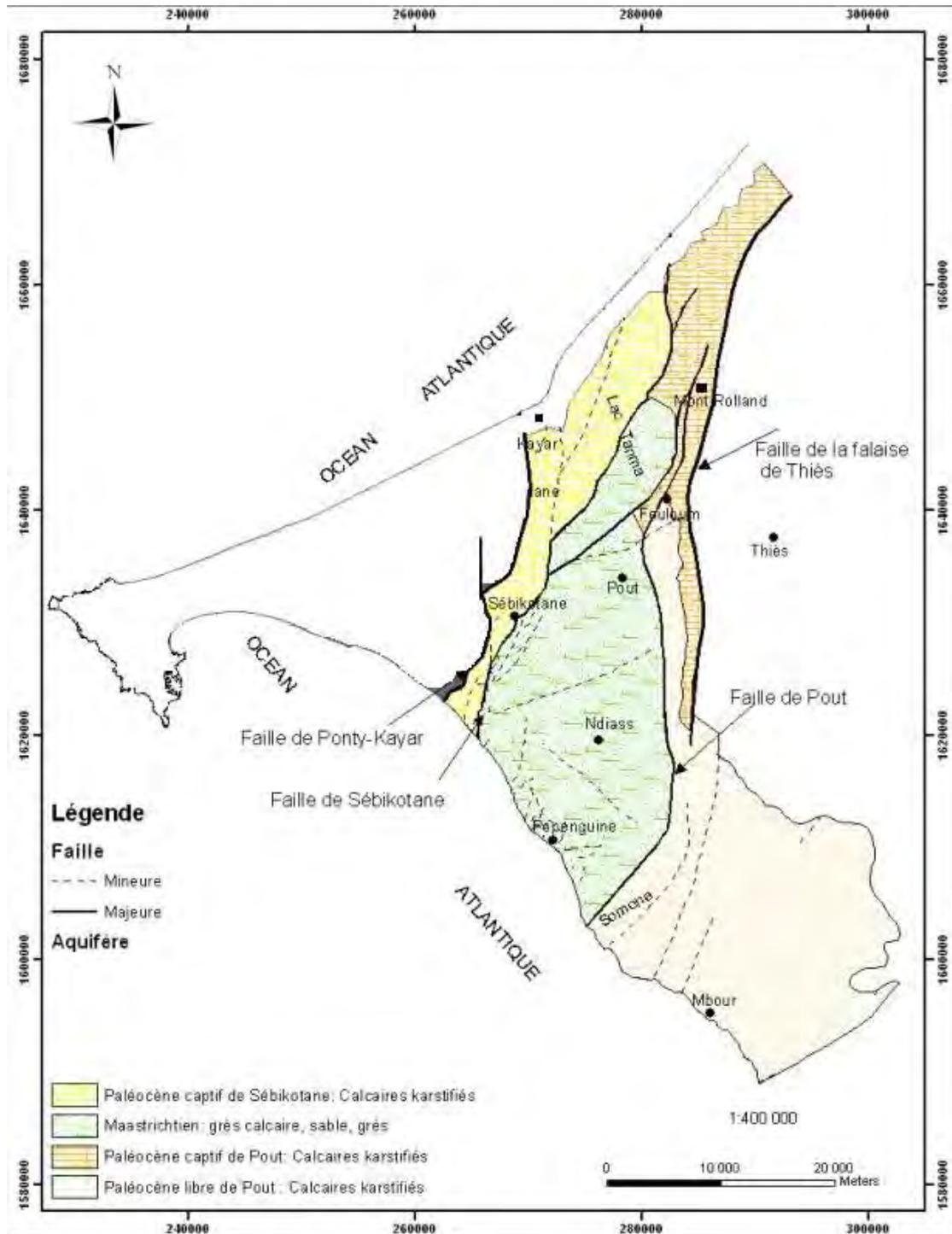


Figure 2.1: Aquifères du Horst de Diass (Madioune, 2012 modifié)

**DEUXIEME PARTIE : ETUDES
GEOLOGIQUE, GEOPHYSIQUE ET
GEOTECHNIQUE DU SECTEUR
D'ETUDE**

Etude de la problématique

Le point d'eau de la réserve naturelle de Popenguine se situe en bordure de mer. Compte tenu de la situation géographique et de la géomorphologie du secteur, il constitue une zone de confluence des eaux de pluie que les différents cours d'eau de la réserve desservent directement. Il est également un milieu d'échange entre eau douce et eau de mer. Tous ces phénomènes combinés faisaient que l'eau jouissait d'une certaine pérennité et servait d'abreuvoir aux animaux de la réserve.

Cependant, depuis quelques années, il a été noté que l'eau de cette réserve naturelle de Popenguine est sujet à un épuisement rapide, ceci dès les premiers mois suivant la saison des pluies, comme abordé dans l'introduction. La raréfaction de cette ressource a occasionné des dommages considérables tant sur les animaux y vivant mais également sur le développement de la localité par la diminution de l'attractivité du site dénudé de la plupart de ses espèces. Certaines migrent, à la recherche d'eau, d'autres disparaissent. Des restes de leurs corps se retrouvent parfois au niveau du point d'eau ou dans son voisinage le plus immédiat à l'image des carcasses de tortues, de singes, d'antilopes que nous avons pu retrouver lors de notre stage.



Figure 1: Tortue morte retrouvée lors de la cartographie



Figure 2: Tortue morte retrouvée par les agents du parc



Figure 3: Antilope retrouvée morte lors de la cartographie

Au vu de cela, la direction de la réserve se voit ainsi dans l'urgence d'agir et fait recours à des techniques très limites notamment la construction de petits bassins en amont du point d'eau servant de point de collecte des eaux de pluie ainsi que l'arrosage pendant la saison sèche pour alimenter le point. Celles-ci constituent un palliatif à court terme mais toutefois sans grand impact.



Figure 4: Bassin en amont du point d'eau servant de point de collecte d'eau



Figure 5: Alimentation du point d'eau

Au regard de cette problématique, des études se sont imposées pour une solution immédiate et durable. Elles passent par une reconnaissance géologique des terrains mais également par des essais d'identification géotechnique à partir d'échantillons prélevés tout en faisant aussi une prospection géophysique.

Chapitre 3 : Cartographie Géologique

Introduction

La problématique soulevée fait appel à la connaissance de la nature géologique des différents faciès présents dans la réserve naturelle de Popenguine ainsi que leur répartition. Cette partie semble importante à plus d'un titre car tenant compte non seulement des faciès en place mais également des faciès meubles. Leur distribution révèle des informations quant aux agents de transport en jeu. En vue d'obtenir la carte géologique détaillée de la réserve naturelle de Popenguine, quatorze (14) coupes ont été levées.

3.1 Matériel et Méthodes

3.1.1 Matériel

L'obtention des informations s'est faite grâce au matériel suivant :

Tableau 3.1.1: matériels utilisé pour la cartographie géologique

<i>Matériels</i>	<i>Utilité</i>
une carte topographique de la réserve	document de support pour l'orientation
une boussole	pour le choix des directions de coupe
un GPS (Global Positioning System)	pour prendre les coordonnées géographiques des points : longitude (coordonnée X) ; latitude (coordonnée Y) et altitude (coordonnée Z). Cela a permis d'évaluer l'épaisseur des couches par la différence d'altitude entre le sommet et la base de chacune.
Un marteau de géologue	pour échantillonner les roches et faire tester la dureté
De l'acide chlorhydrique (HCl)	pour tester la présence de calcaire dans la roche
Un carnet de notes et des écritoires	pour la prise de notes sur le terrain
Un double décimètre	pour faire des mesures sur le terrain
Un marqueur indélébile	pour numérotter les échantillons prélevés
Un appareil photo numérique	pour la prise de photos

3.1.2 Méthodes

La méthode ayant servi à faire les levées de coupe consiste à :

- Repérer au départ le premier point de la coupe (dans ce cas de figure le point centre du point d'eau a été choisi comme point de départ de toutes les coupes) et prendre les coordonnées au GPS,
- Viser la direction de coupe et commencer la cartographie,
- Faire l'étude pétrographique et sédimentologique des faciès rencontrés au fur et à mesure de la progression,
- Poursuivre la levée de la coupe jusqu'au faciès suivant tout en repérant leur contact (l'épaisseur de la couche correspondra à la différence d'altitude du toit et du mur de la couche)
- tracer la coupe levée sur la carte topographique et faire le log géologique de la coupe.

3.2 Résultats

Les quatorze (14) coupes levées au niveau de la zone d'étude dont les directions sont consignées dans le tableau ci-dessous ont permis d'obtenir une carte de faciès et après corrélation entre les coupes une carte géologique de la zone.

Tableau 3.2 : Direction des coupes

Coupes	Directions
1	N060
2	N070
3	N085
4	N100
5	N112
6	N120
7	N130
8	N140
9	N146
10	N155
11	N173
12	N230
13	N300
14	N010

Toutes les coupes levées ont été débutées au niveau du point d'eau de la Réserve Naturelle de Popenguine (RNP). Le choix de cette méthode est justifié car voulant mieux connaître la lithologie d'ensemble des faciès se trouvant au niveau de la RNP et avoir ainsi une première approche de la problématique.

- coupe 1

Cette coupe levée dans la direction N060 au niveau du point d'eau de la RNP présente la succession suivante :

- argile sableuse calcaire contenant de l'humus et craquelée avec de fines fentes de dessiccation. L'épaisseur de ce faciès est de 2,2m.
- sable argileux contenant des grains de latérite d'où l'appellation sable argileux concrétions ferrugineuses se présentant sous forme de blocs. L'épaisseur de ce faciès est de 6m.
- de l'argile sableuse avec une couleur légèrement ocre due en partie à la présence des oxydes de fer.

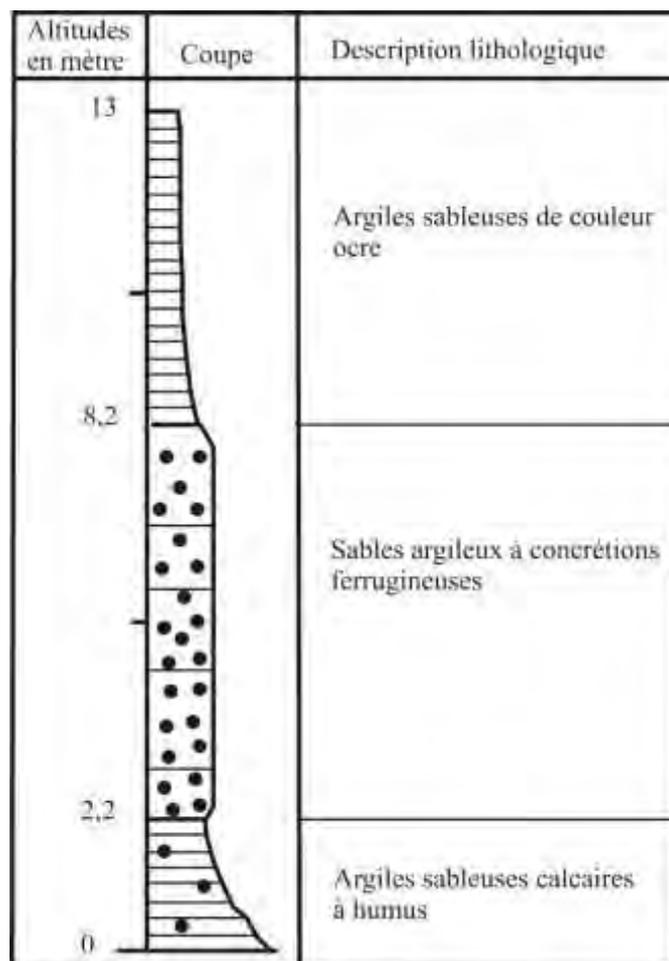


Figure 3.1 : Log synthétique de la coupe 1

- coupe 2

Cette coupe a été levée dans la direction N070 au niveau du point d'eau de la RNP et présente la succession lithologique suivante de bas en haut :

- argile sableuse calcaire contenant de l'humus et présentant des fentes de dessiccation avec une épaisseur de 4m.
- sable argileux à concrétions latéritiques se présentant sous forme de blocs avec une épaisseur de 2m.
- de l'argile sableuse de couleur ocre et d'épaisseur 2m.
- de l'argile contenant des concrétions ferrugineuses lui donnant une couleur légèrement ocre, son épaisseur est de 11m.
-

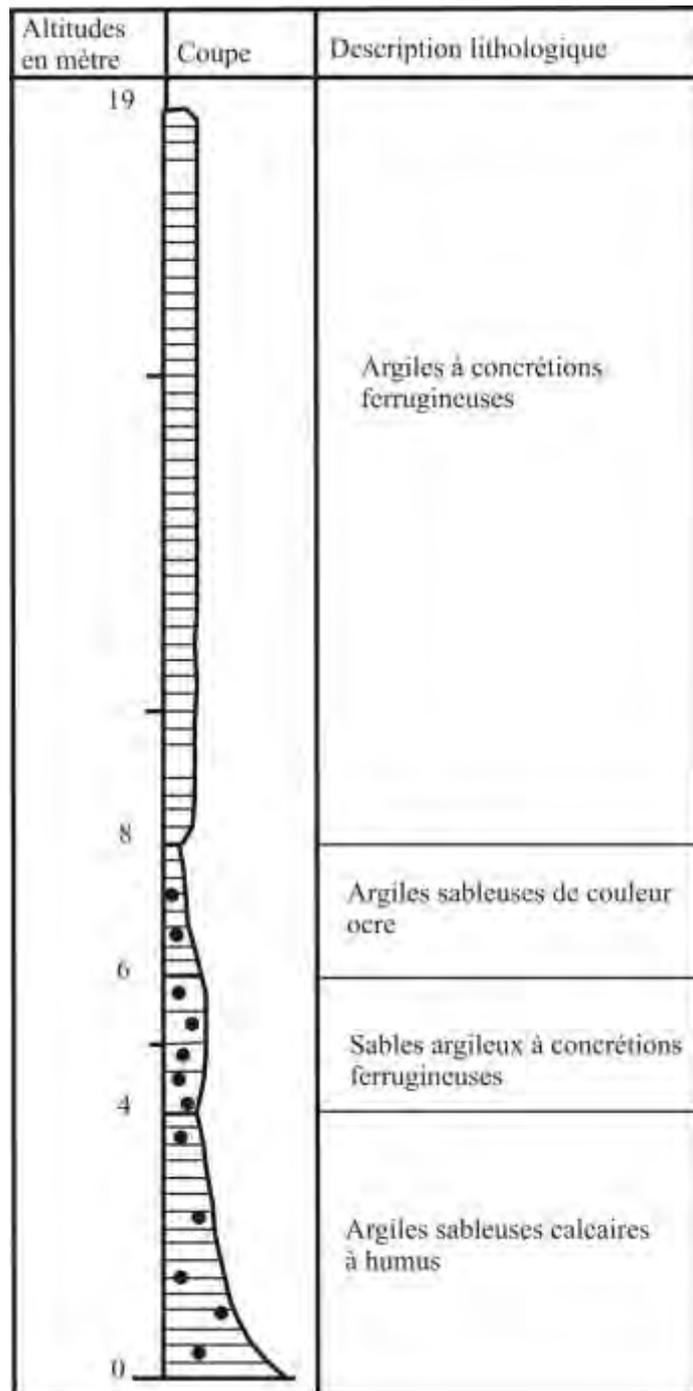


Figure 3.2 : Log synthétique de la coupe 2

- **coupe 3**

Cette coupe levée dans la direction N085 présente la succession lithologique suivante :

- argile sableuse calcaire d'épaisseur 3,8m.
- sable argileux à concrétions ferrugineuses d'épaisseur 1m.
- argile contenant du gypse se présentant sous forme de filons et de baguettes tapissées le long d'où l'appellation argile à gypse. L'épaisseur de ce faciès est de 3,5m.
-

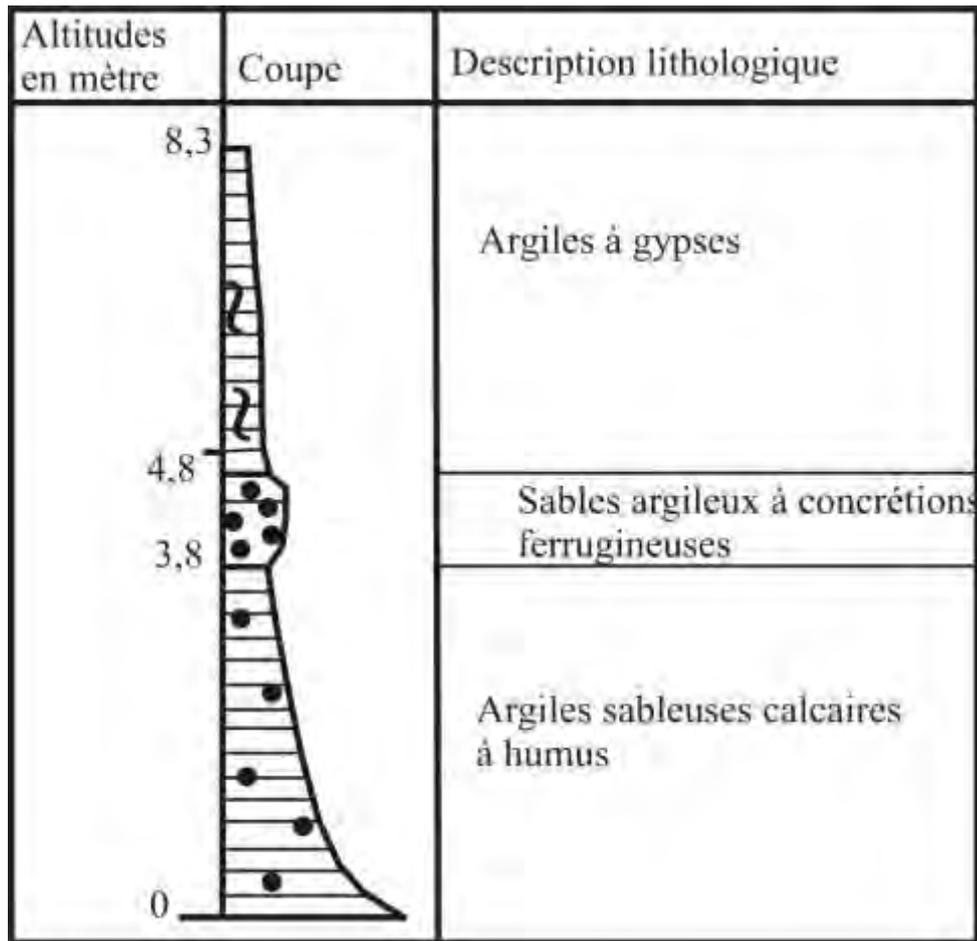


Figure 3.3 : Log synthétique de la coupe 3

- **coupe 4**

La coupe levée suivant la direction N100 présente la succession lithologique suivante :

- argile sableuse calcaire d'épaisseur 2m.
- sable argileux à concrétions ferrugineuses d'épaisseur 0,8m.
- argile à gypse se présentant sous forme de monticule et d'épaisseur 3m.
- argile de couleur ocre sur une épaisseur de 9m.
- argile à gypse se présentant sous forme de monticule et d'épaisseur 4m.
- argile de couleur ocre due à la présence des hydroxydes de fer et d'épaisseur 22,5m.

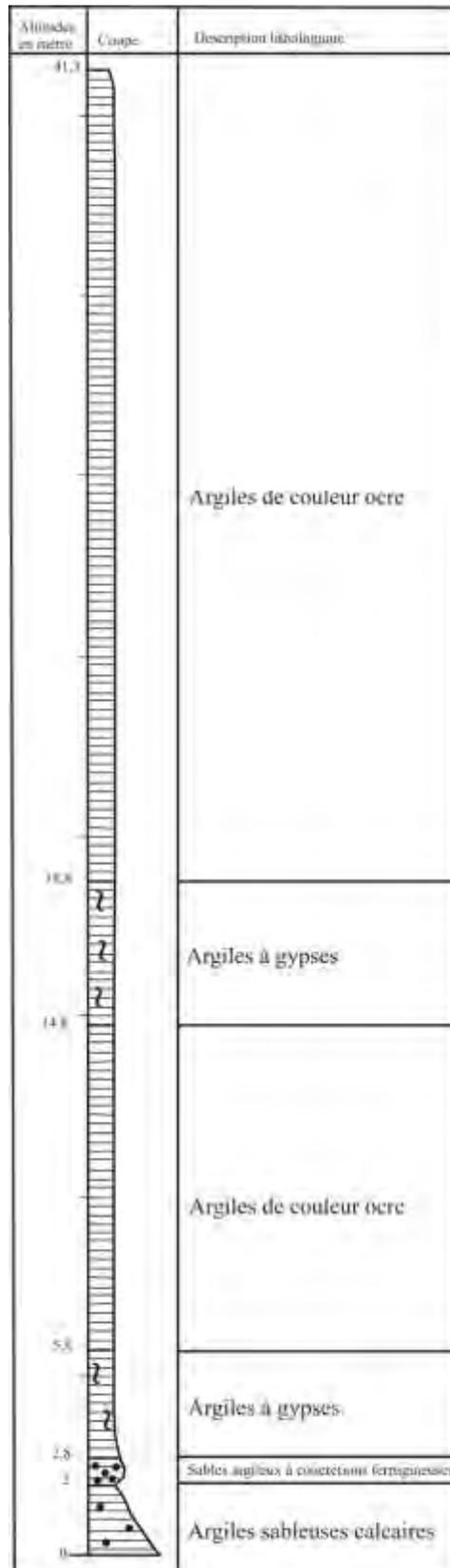


Figure 3.4 : Log synthétique de la coupe 4

- coupe 5

La coupe 5 a été levée dans la direction N112. C'est une coupe qui présente de bas en haut :

- argile sableuse calcaire d'épaisseur 3m.
- sable argileux à concrétions ferrugineuses d'épaisseur 1m.
- argile à gypse d'épaisseur 1m.
- argile ocre d'épaisseur 5m.
- argile à gypse d'épaisseur 4m.
- argile ocre jusqu'en fin de coupe d'épaisseur 23m.

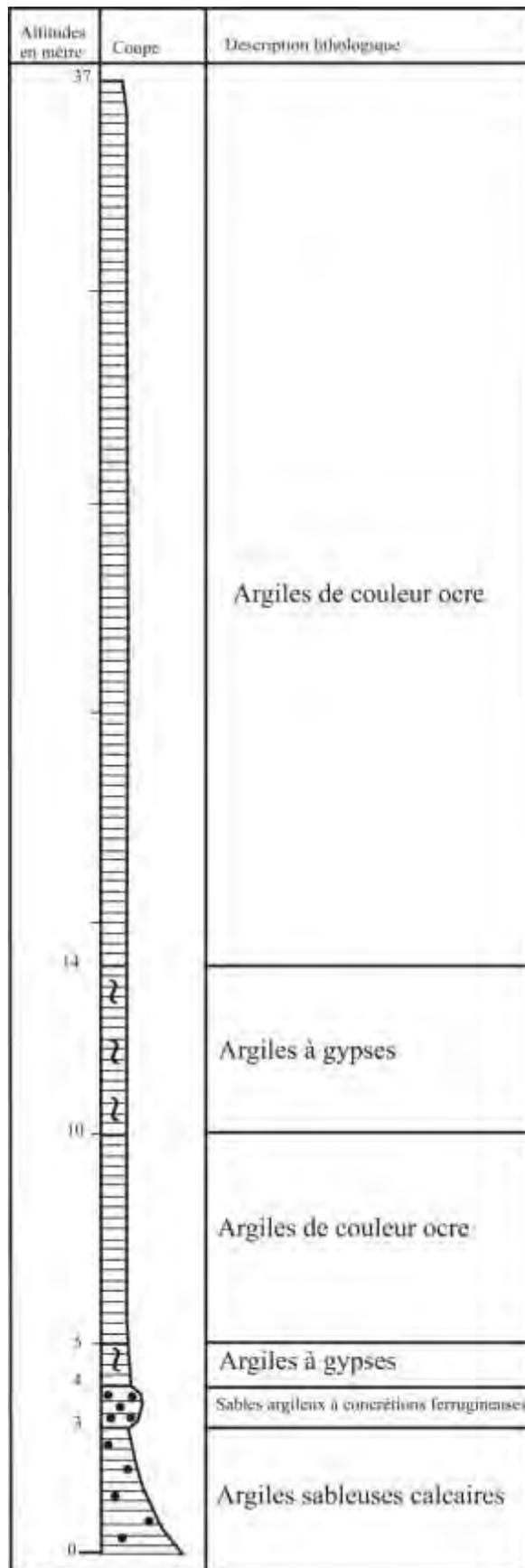


Figure 3.5: Log synthétique de la coupe 5

- coupe 6

La coupe 6 prise suivant la direction N120 donne la succession lithologique suivante :

- argile sableuse calcaire d'épaisseur 2,7m.
- sable argileux à concrétions ferrugineuses d'épaisseur 2m.
- argile sableuse calcaire d'épaisseur 1m.
- argile à gypse d'épaisseur 2m.
- argile ocre d'épaisseur 10m.
- argile à gypse d'épaisseur 4m.
- argile ocre jusqu'en fin de coupe d'épaisseur 19m.

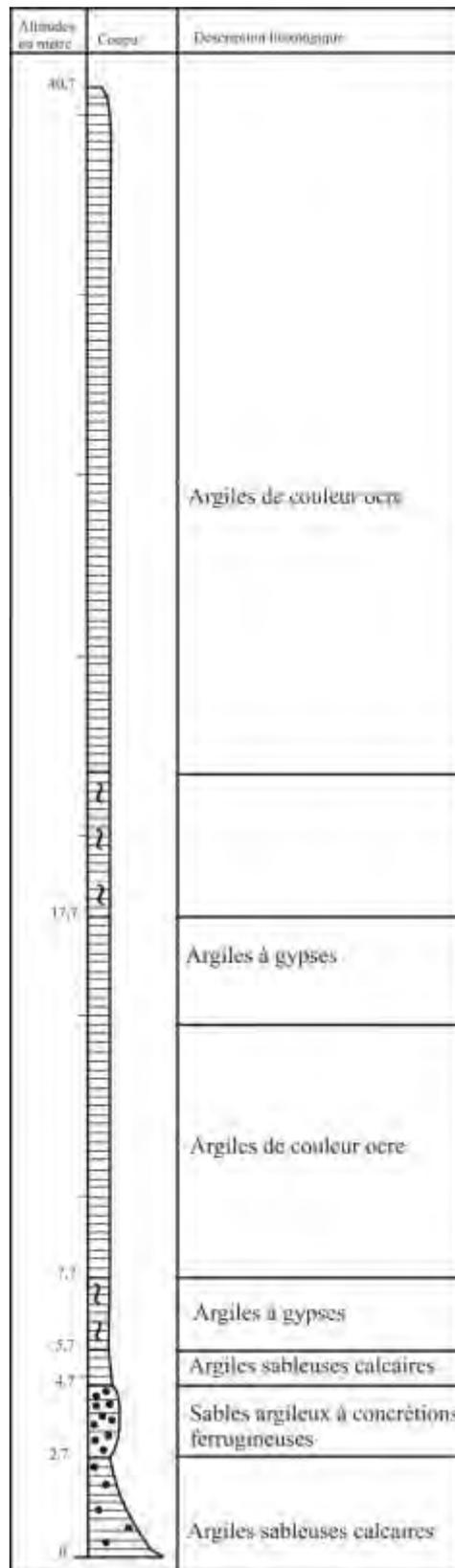


Figure 3.6: Log synthétique de la coupe 6

- coupe 7

La coupe 7 prise suivant la direction N130 présente de bas en haut :

- argile sableuse calcaire contenant de l'humus et d'épaisseur 2m.
- sable argileux à concrétions ferrugineuses d'épaisseur 2,5m.
- argile sableuse calcaire d'épaisseur 2m.
- sable argileux à concrétions ferrugineuses d'épaisseur 1m.
- argile à gypse d'épaisseur 2m.
- argile ocre d'épaisseur 5m.
- argile à gypse d'épaisseur 2m.
- argile ocre jusqu'en fin de coupe d'épaisseur 22m.

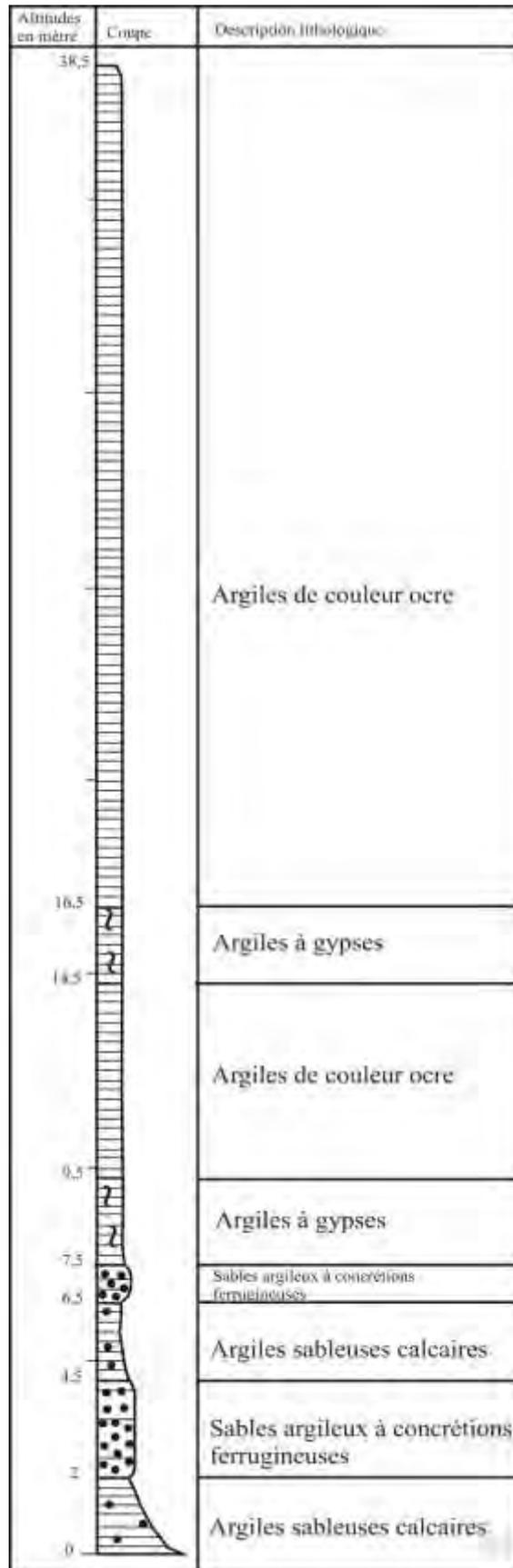


Figure 3.7: Log synthétique de la coupe 7

- coupe 8

La coupe 8 de direction N140 présente de bas en haut :

- argile sableuse calcaire contenant de l'humus et d'épaisseur 2m.
- sable argileux à concrétions ferrugineuses d'épaisseur 2,5m.
- argile sableuse calcaire d'épaisseur 2m.
- sable argileux à concrétions ferrugineuses d'épaisseur 2m.
- argile ocre d'épaisseur 3m.
- argile à gypse d'épaisseur 4m.
- argile ocre d'épaisseur 3m.
- argile à gypse jusqu'en fin de coupe d'épaisseur 17m.

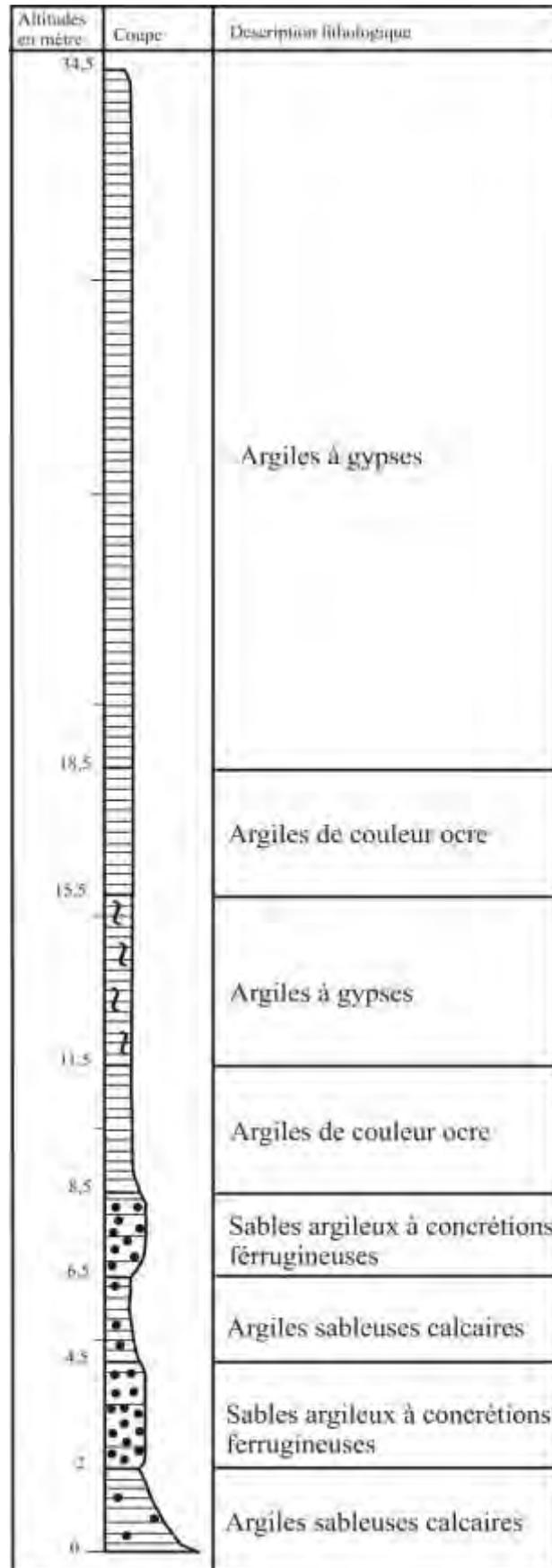


Figure 3.8: Log synthétique de la coupe 8

- coupe 9

La coupe a été levée suivant la direction N146 et présente la succession lithologique suivante :

- argile sableuse calcaire contenant de l'humus et d'épaisseur 2m.
- sable argileux à concrétions ferrugineuses d'épaisseur 0,5m.
- argile sableuse calcaire d'épaisseur 1m.
- sable argileux à concrétions ferrugineuses d'épaisseur 3m.
- argile ocre d'épaisseur 3m.
- argile à gypse d'épaisseur 3m.
- argile ocre d'épaisseur 4m.
- argile à gypse jusqu'en fin de coupe d'épaisseur 15m

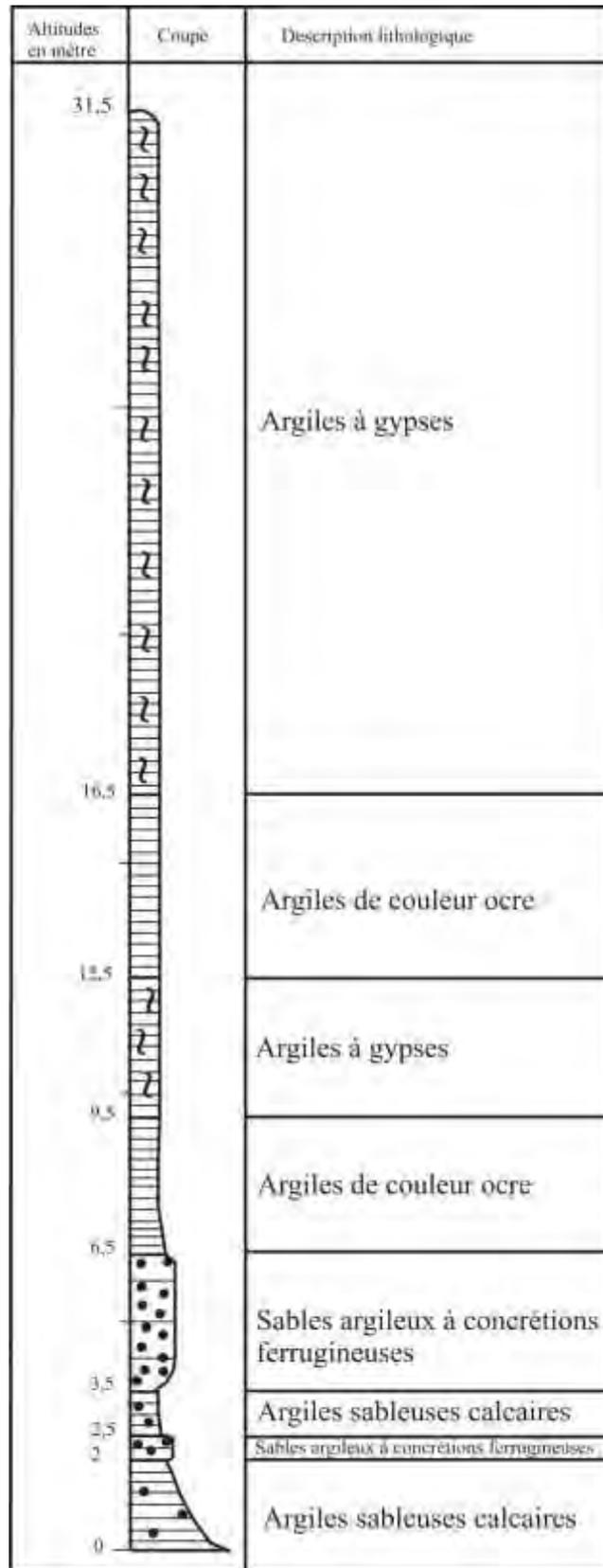


Figure 3.9: Log synthétique de la coupe 9

- coupe 10

La coupe 10 prise suivant la direction N155 donne la succession suivante de bas en haut :

- argile sableuse calcaire contenant de l'humus et d'épaisseur 2m.
- sable argileux à concrétions ferrugineuses d'épaisseur 2,5m.
- argile ocre d'épaisseur 24m.

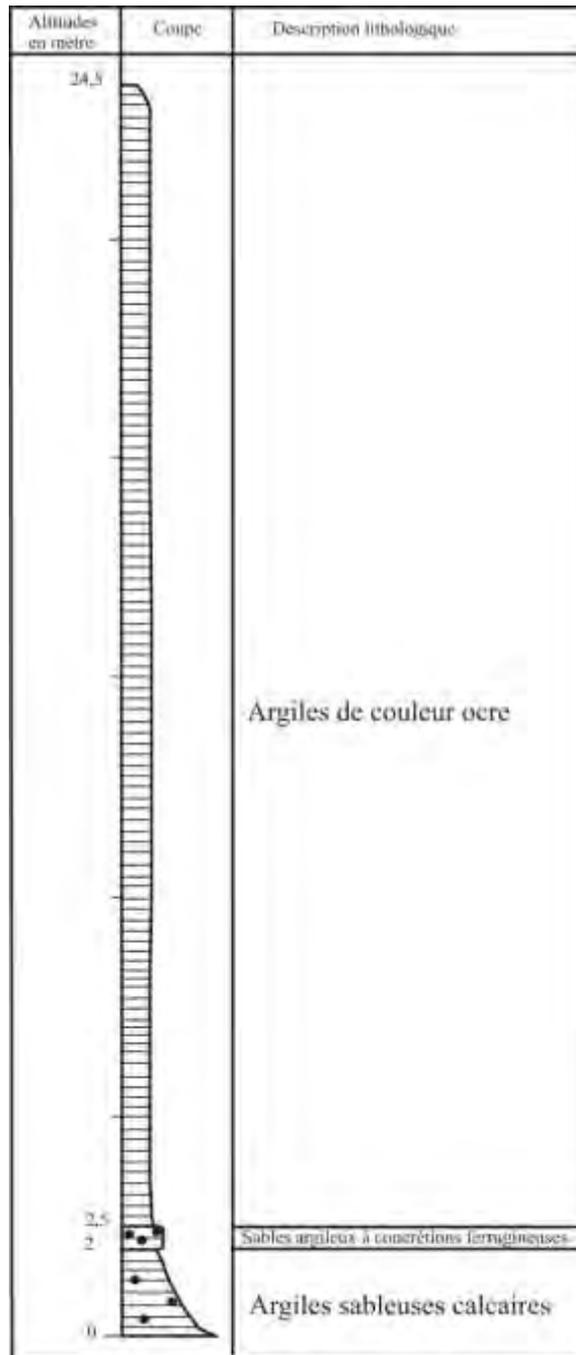
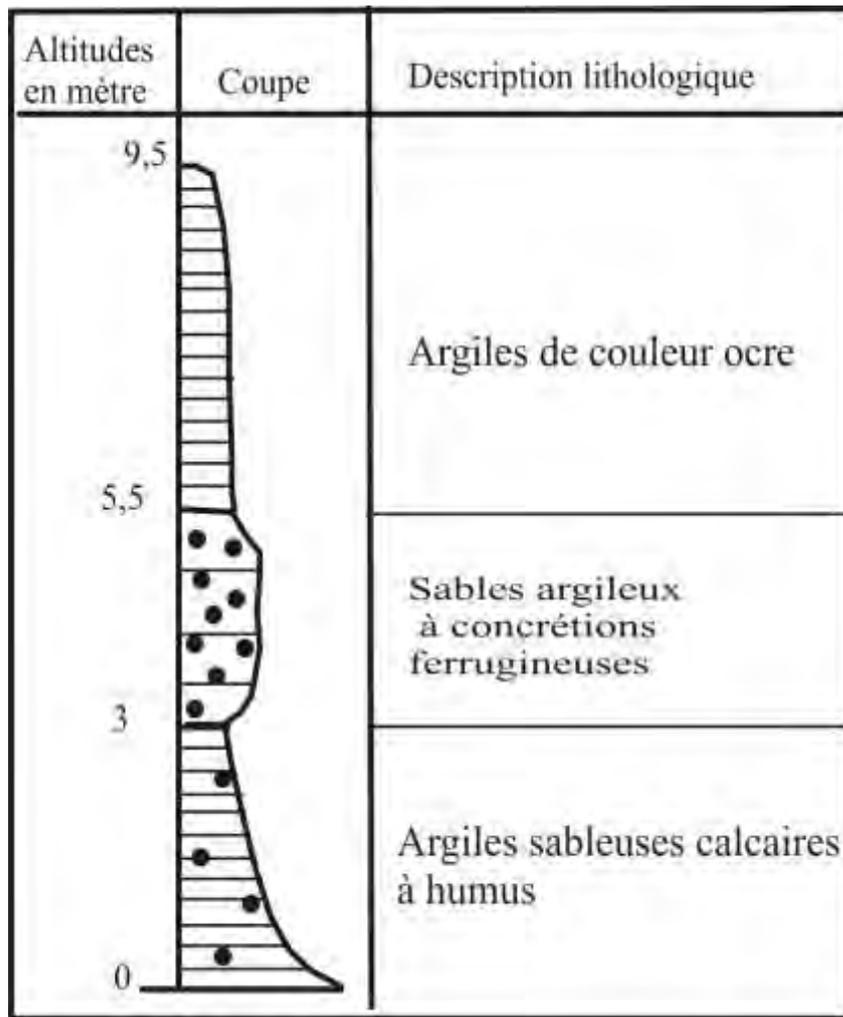


Figure 3.10 : log synthétique de la coupe 10



· Figure 3.14: Log synthétique de la coupe 14

Tableau 3.3: Tableau corrélatif des logs synthétiques

Coupes Faciès	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Argile		+		+	+	+	+	+	+	+				+
Argile à gypse			+	+	+	+	+	+	+					
Argile sableuse calcaire	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Argile sableuse	+	+												
Sable argileux	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+				+

3.3 Analyse et interprétation des résultats

L'analyse de la carte géologique montre que les faciès dominants au niveau de la RNP sont les argiles auxquelles sont associées souvent des proportions de sable, de calcaire et de gypse se présentant sous forme de plaquettes tapissées ou de filons. Ils correspondent

respectivement aux argiles sableuses, argiles sableuses calcaire et argiles à gypse. Les faciès à dominance sableuse sont moins représentés et sont pour la plupart associés à des concrétions ferrugineuses.

L'interprétation de la carte géologique nous permet de distinguer :

- Les argiles qui correspondent à l'unité 1 de la falaise du cap de naze et appartenant à la formation de Paki,
- Les sables associés aux argiles et appartenant à la formation du Cap de Naze.
- Le calcaire contenu dans les argiles proviendrait de la dissolution des faciès calcaires de la formation de Popenguine-Ndayane.

Le gypse également associé aux argiles s'est formé en zone lacustre et se trouve dans la plupart des cas au niveau des zones de passage d'eau notamment sur les bancs d'argile bordant les cours d'eau.

Les concrétions ferrugineuses, roches résiduelles, associées aux sables ceinturant en grande partie le point d'eau proviennent des cuirasses latéritiques et témoignent de la forte influence de la topographie.

En complément à toutes ces formations retrouvées au niveau de la RNP, il est possible de déterminer aussi les zones de contact entre différents faciès appartenant à des formations de différents âges. La plupart de ces contacts pourraient être considérées comme des failles et joueraient un rôle très particulier dans l'écoulement superficiel.

Tableau 3.4 : tableau des formations présentes dans la zone

Formations	Paki	Cap de naze	Ndayane	Popenguine
Age	Campanien	Maastrichtien	Danien	Paléocène
Faciès types	Argile	Sable argileux	Argile calcaire	Argile calcaire
Coupes	1 ;2 ;4 ;5 ;6 ;7 ;8 ; 9 ;10 ;14	1 ;2 ;3 ;4 ;5 ;6 ;7 ;8 ;9 ;10 ;14	1 ;2 ;3 ;4 ;5 ;6 ;7 ;8 ;9 ;10 ;11 ;12 ;13 ;14	1 ;2 ;3 ;4 ;5 ;6 ;7 ;8 ; 9 ;10 ;11 ;12 ;13 ;14

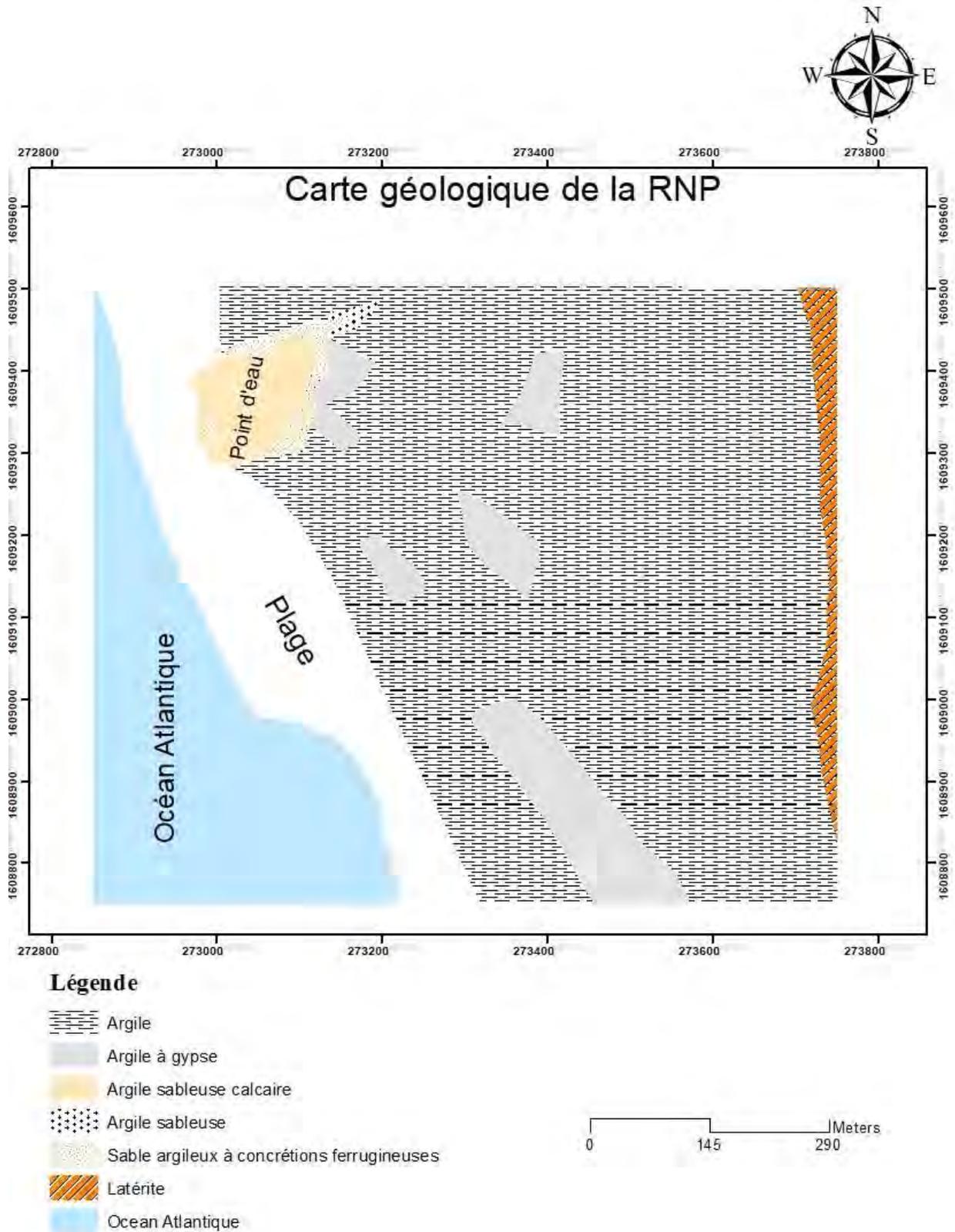


Figure 3.15 : Carte géologique de la Réserve Naturelle de Popenguine (Diop & Faye, 2018)



Photo 3.16: argile sableuse calcaire avec fentes de dessiccation



Photo 3.17: Argile à gypse (tapissé)



Photo 3.18: Argile à gypse (filon)



Photo 3.19: Sable argileux à concrétions

Conclusion partielle :

La cartographie ainsi établie a permis de déterminer les différents types de faciès affleurant au niveau de la RNP. Ces faciès mis en évidence nous permettront par la suite de connaître la succession lithologique des différentes couches mais également d'avoir un aperçu sur plusieurs autres paramètres parmi lesquels les sens d'écoulement des cours d'eau.

Chapitre 4 : Prospection géophysique

Introduction

La connaissance de la géologie à partir de données de surface, malgré son grand apport, n'est pas suffisante pour mieux appréhender cette problématique. L'apport d'observation indirecte du sous-sol grâce à la géophysique, sera d'un grand appui pour mieux identifier la ou les causes de ce phénomène de tarissement. Pour ce, une campagne de géophysique par prospection électrique est menée sur le site afin de déterminer la configuration du sous-sol par l'étude de la distribution des résistivités. La résistivité est en effet la capacité d'un milieu à s'opposer au passage d'un courant électrique. Cette résistivité électrique dépend de différents facteurs tels que la teneur en fluide, la saturation, la porosité ou encore la température. La résistivité est donc une propriété physique indépendante de la géométrie et variant dans de grandes proportions ce qui constitue un atout majeur des méthodes électriques.

La méthode de prospection utilisée est la tomographie de résistivité électrique. Elle permet d'obtenir une image électrique du sous-sol, c'est-à-dire une coupe de la résistivité en fonction de la profondeur en mesurant le profil de résistance pour différentes combinaisons d'électrodes de courant et de potentiel. Ceci nous apporte des informations sur la géométrie des couches du sous-sol et sur les anomalies ou structures particulières qu'elles peuvent receler comme des failles, des poches d'argile ou de sable, des zones d'altération...

Les atouts de cette méthode sont le faible coût de mise œuvre ainsi que sa rapidité d'exécution et de traitement. Dans le cas de notre étude, nous avons utilisé le logiciel *Res2Dinv* pour faire le traitement.

4.1 Matériel et Méthode

4.1.1 Matériel

La manipulation demande une préparation rigoureuse en termes de logistique. Lors de cette campagne de géophysique un certain type de dispositif est mis en œuvre.

Il s'agit de :

- 01 batterie de 12V
- 01 appareil d'enregistrement *6cal Jr* qui mesure la résistivité apparente du milieu
- 02 rouleaux de câbles (longue de 120m l'une) reliées aux électrodes par l'entremise de connecteurs
- 48 électrodes en acier inoxydable pour éviter le phénomène de polarisation spontanée. Elles sont toutes de même dimension.
- 01 marteau qui sert à implanter les électrodes
- 01 GPS pour prendre les coordonnées de chaque électrode
- 01 ordinateur pour le traitement des données de sondage
- De l'eau de mer : pour améliorer la conductivité au voisinage de l'électrode

4.1.2 Principe de la tomographie électrique

La méthode de la tomographie électrique, également appelée panneau électrique, ou méthode multi électrode est fondée sur le principe de la prospection électrique. Le principe de la prospection électrique est d'injecter dans le sol un courant électrique d'intensité I entre deux électrodes C_1 et C_2 et de mesurer la différence de potentiel ΔV induite entre une autre paire d'électrodes P_1 et P_2 (Figure 4.1).

A partir de la valeur du courant injecté I , de la mesure de la différence de potentiel ΔV et de l'écartement entre les différentes électrodes, on peut déterminer la résistivité électrique apparente du sous-sol sur la base de la loi d'Ohm :

$$\rho_{app} = K \times \frac{\Delta V}{I}$$

(K est un facteur dépendant de la géométrie du dispositif de mesure).

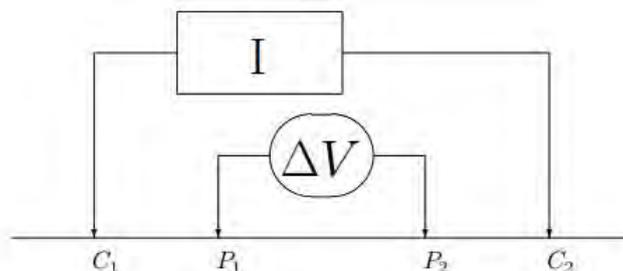


Figure 4.1: Schéma de la configuration d'un dispositif électrique quadripôle. C_1 et C_2 sont les électrodes d'injection (de courant) et P_1 et P_2 les électrodes de mesure (de potentiel).

I : Intensité du courant

ΔV : différence de potentiel

P1 et P2: Electrodes d'injection et C1 et C2 : Electrodes de courant

Ainsi par tomographie électrique, nous avons les résistivités apparentes des matériaux du sous-sol suite à l'injection de ce courant continu le long d'un dispositif rectiligne d'électrodes plantées dans le sol (figure 4.7).

Les campagnes de géophysique effectuées en février et mai 2018 ont permis d'obtenir deux profils suivant deux directions différentes:

- Un premier (N-S) qui correspond en effet à la direction perpendiculaire aux structures locales qui sont orientées (W-E) (figure 2.2)
- Un deuxième grossièrement (W-E) pour recouper le premier profil (figure 3)

La mise en œuvre commence d'abord par choisir la direction du profil. Les électrodes qui assurent le contact galvanique, sont ensuite implantées suivant la direction choisie, à intervalles réguliers (5m les unes des autres) sur une distance de 240m. Elles sont ensuite connectées au câble multiconducteur préalablement déroulé.



Figure 4.2 : Carte de positionnement des électrodes du profil 1 (*image Google Earth*)

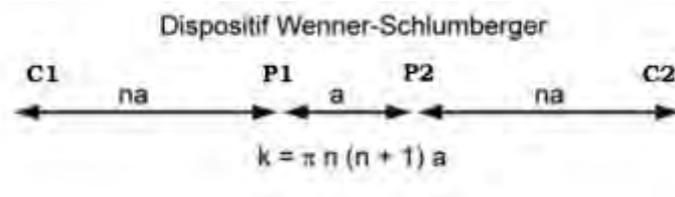


Figure 4.3 : Carte de positionnement des électrodes du profil 2 (image Google Earth)



Figure 4.4 : Carte d'intersection des profils 1 et 2

Le dispositif choisi est le Wenner-Schlumberger. Ce dispositif est un hybride entre le Wenner et le Schlumberger pour la tomographie électrique de surface.



Le coefficient n est le rapport entre P1P2 et C1P1 ou P2C2

Figure 4.5 : Schéma du dispositif Wenner-Schlumberger

L'acquisition en mode Wenner-Schlumberger est programmée par le résistivimètre qui sélectionne automatiquement les électrodes utilisées pour l'injection du courant et celles pour la mesure du potentiel. Chaque électrode possède en effet une adresse numérique unique dans le dispositif, ce qui lui permet d'être identifiée par le résistivimètre.

Le dispositif Wenner-Schlumberger est sensible aux variations verticales et horizontales. Il a une profondeur de pénétration d'environ 10% supérieure au Wenner. La couverture horizontale est quant à elle supérieure au Wenner mais très légèrement inférieure au dipôle-dipôle. L'arrangement des électrodes en dispositif Wenner-Schlumberger permet, avec un nombre égal d'électrodes, d'effectuer un nombre supérieur de mesures.

En Wenner-Schlumberger, la distance entre les deux électrodes de mesure du potentiel (P1P2) est égale ou inférieure à la distance séparant une électrode de courant d'une électrode de potentiel. Cette distance C1P1 ou P2C2 ($n \cdot a$) est un nombre entier de fois l'intervalle P1P2 (a) (Chapellier, 2011).

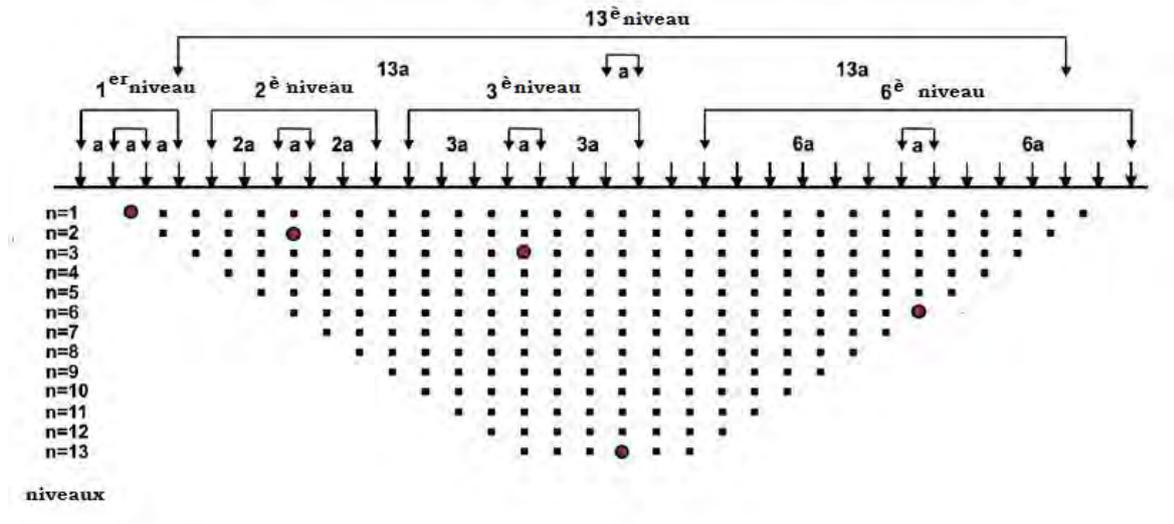


Figure 4.6: Représentation de l'arrangement des électrodes pour une acquisition en dispositif Wenner-Schlumberger avec les différents niveaux d'acquisition

Grâce à l'appareil utilisé (*6cal Jr*), l'intensité du courant injecté est modulée selon la résistance des terrains qui augmente quand le terrain est plus résistant. Une fois l'opération lancée, l'acquisition est intégralement assurée par le résistivimètre. La séquence de mesure est créée sous forme de fichier texte.

Afin d'obtenir une image quantitative représentant les variations de résistivité réelle (et non apparente) en fonction de la vraie profondeur, il est nécessaire d'inverser la pseudo-section. Cette inversion des données est réalisée suivant un processus itératif qui tente de minimiser l'écart entre la pseudo-section mesurée et une pseudo-section recalculée à partir d'un modèle de résistivité électrique. Ce modèle est modifié à chaque itération jusqu'à ce que les données mesurées et calculées atteignent une concordance acceptable. Le nombre d'itération est de 3 et les erreurs absolues sont respectivement de 3,5 et 3,1%.

Après une inversion mathématique, on obtient la distribution des résistivités vraies en fonction de la profondeur (figure 4.7 et 4.8).

2.1.3 Les limites de la méthode

Elles sont principalement liées aux résistivités, aux contrastes de résistivité des formations en présence et à la qualité du contact électrode/sol.

Les principaux problèmes d'acquisition sont les suivants :

- Une électrode défectueuse prive rapidement d'un nombre élevé de points
- En zone fortement bruitée, un courant maximum doit être injecté de façon à améliorer le rapport signal/bruit. En effet le bruit affectant les données complique et limite fortement la résolution (Penz, 2012). Pour ce faire, on augmente le voltage à l'entrée et mouillera le sol pour diminuer la résistance.
- La variation des résistivités saisonnières donc des conditions climatiques, empêche de combiner des données ayant été mesurées à plusieurs d'intervalle
- Une électrode ayant servi à l'injection juste avant est déconseillé d'être utilisée comme électrode de mesure du potentiel, pour éviter les phénomènes de polarisation provoquée (PP) (Wilkinson, 2011), sous réserve d'avoir prévu une séquence d'acquisition qui laisse l'électrode d'injection inutilisée durant un certain laps de temps (env.30secondes) avant d'être employée comme P1 ou P2 (électrode de mesure) ;
- La présence d'hétérogénéité aux voisinages immédiats de l'électrode diminue la qualité des mesures

Il convient également d'ajouter que la tomographie électrique, comme toutes les techniques géoélectriques, est affectée par les principes d'équivalence et de suppression :

- une couche conductrice mince située entre deux terrains résistivités différentes n'est définie que par le rapport épaisseur/résistivité ;
- une couche résistante mince située entre deux terrains conducteurs n'est définie que par le rapport épaisseur/conductivité ;
- une couche, même épaisse, mais de résistivité intermédiaire entre les résistivités des couches qui l'encadrent, peut passer inaperçue.

D'autres problèmes peuvent directement être liés au choix du dispositif.

- La force du signal dans le dispositif Wenner-Schlumberger est inférieure à celui d'un Wenner.
- La profondeur d'acquisition est également faible

Il est toutefois nécessaire après obtention de l'image géo-électrique en vue d'une interprétation fiable, de réaliser des sondages mécaniques pour non seulement définir les limites entre formations géologiques mais également d'identifier leur nature géologique.

4.2 Analyse et interprétation des résultats

La campagne de tomographie électrique réalisée sur le site a permis d'avoir après inversion des données de résistivités apparentes mesurées par le logiciel (Res2Dinv), les images géo-électriques ci-dessus qui modélisent la distribution des résistivités vraies en fonction de la profondeur.

L'analyse-interprétation de ces profils est faite grâce au tableau de valeurs de résistivités en fonction de la nature des eaux et des roches (Astier, 1971).

Tableau 4.1 : Résistivité des eaux et des roches (Astier, 1971)

Eaux ou roches	Résistivité (en ohm.m)
Eau de mer	0,2
Eau de nappes alluviales	10-30
Eau de sources	50-100
Sables et graviers secs	1000-10000
Sables et graviers imbibés d'eau douce	50-500
Sables et graviers imbibés d'eau salée	0,5-5
Argiles	2-20
Marnes	20-100
Calcaires	300-10000
Grès argileux	50-300

L'analyse du profil 1 montre:

- de faibles résistivités (1.04 à 2.04 ohm.m) avec de légères variations sont notées jusqu'à 10m de profondeur, et marquées par une grande discontinuité en surface entre les électrodes 27 et 30.
- des résistivités moyennes (2.04 ohm.m) sont notées constituant un niveau de faible épaisseur
- En deçà, on trouve des résistivités plus élevées (2,85 à 4 ohm.m)
- au-delà de 40 m la précision n'est plus bonne pour obtenir des résultats fiables.

L'interprétation basée seule sur la variation de la résistivité révèle un milieu argileux au vu du maximum et du minimum de résistivité (1,04-11 ohm.m) (Astier, 1971).

En l'absence de sondage d'étalonnage, la discontinuité notée entre les électrodes 27 et 30 pourrait être interprétée comme une faille. En effet, notre zone d'étude est située entre deux

failles majeures (figure 2.8), ce qui pourrait engendrer des microfractures ou microfailles qui constitueraient des zones d'infiltration des eaux de surface.

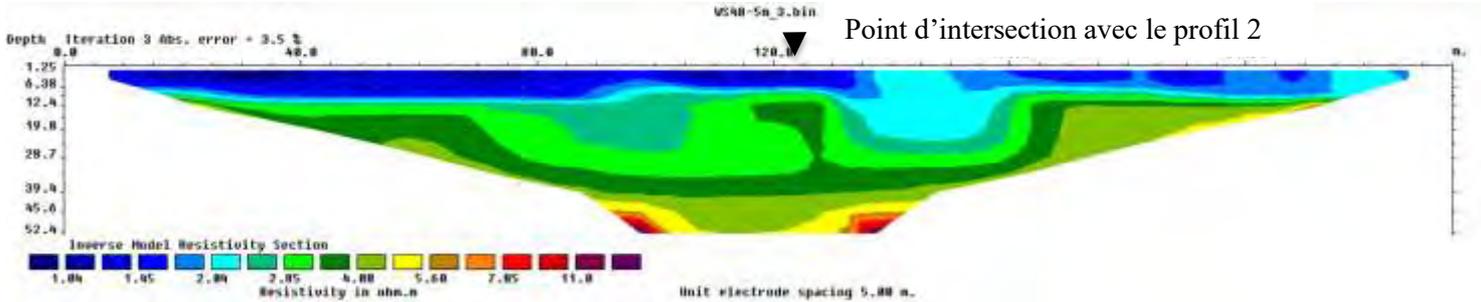


Figure 4.7 : Profil de tomographie électrique 1

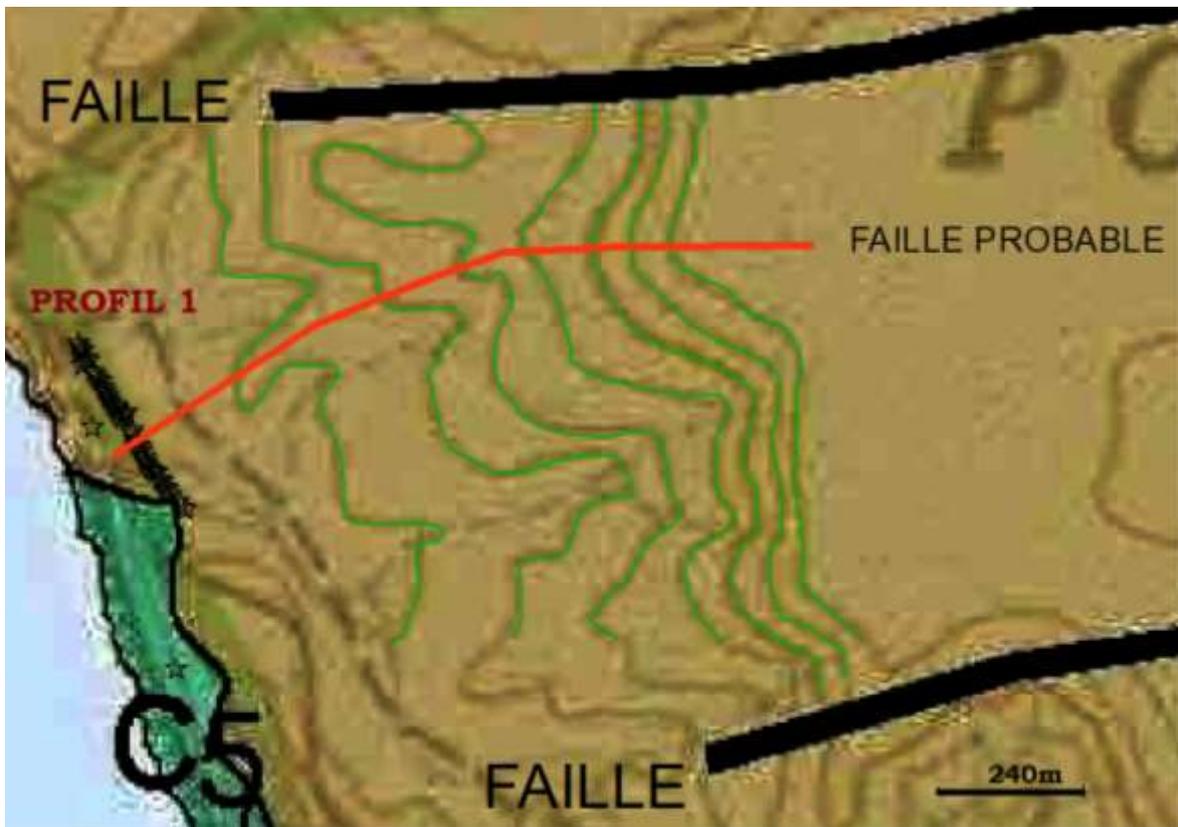


Figure 4.8 : Localisation du profil 1 (*Pasmî, modifié*)

Le profil 2 présente globalement une configuration assez similaire à celle du profil 1 en surface.

On note :

- de faibles résistivités (0,956 à 1,94 ohm.m) avec une légère variation jusqu'à 8m de profondeur, et marquées par des discontinuités en surface
- des résistivités moyennes (\pm supérieur à 1,94 ohm.m) constituant un niveau de très faible épaisseur
- En deçà duquel, on trouve des résistivités plus élevées (2,73 à 5,6)

L'interprétation révèle, en comparaison au profil précédent un milieu également argileux (Astier, 1971) au vu du maximum et du minimum de résistivité (0,956-11,3 ohm.m).

La structure trouvée en dessous de la discontinuité située entre les électrodes 24 et 25 pourrait correspondre à un remplissage suite à la dissolution de calcaire pouvant engendrer des cavités karstiques (M. Saribudak et N.M Hauwert, 2017). Ces calcaires pourraient correspondre par corrélation aux grès-calcaire de la formation de Paki (coupe technique du forage F2 de Popenguine).

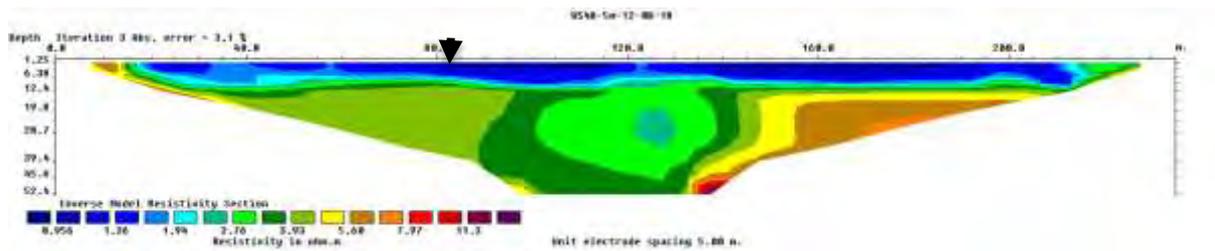


Figure 4.9 : Profil de tomographie électrique 2

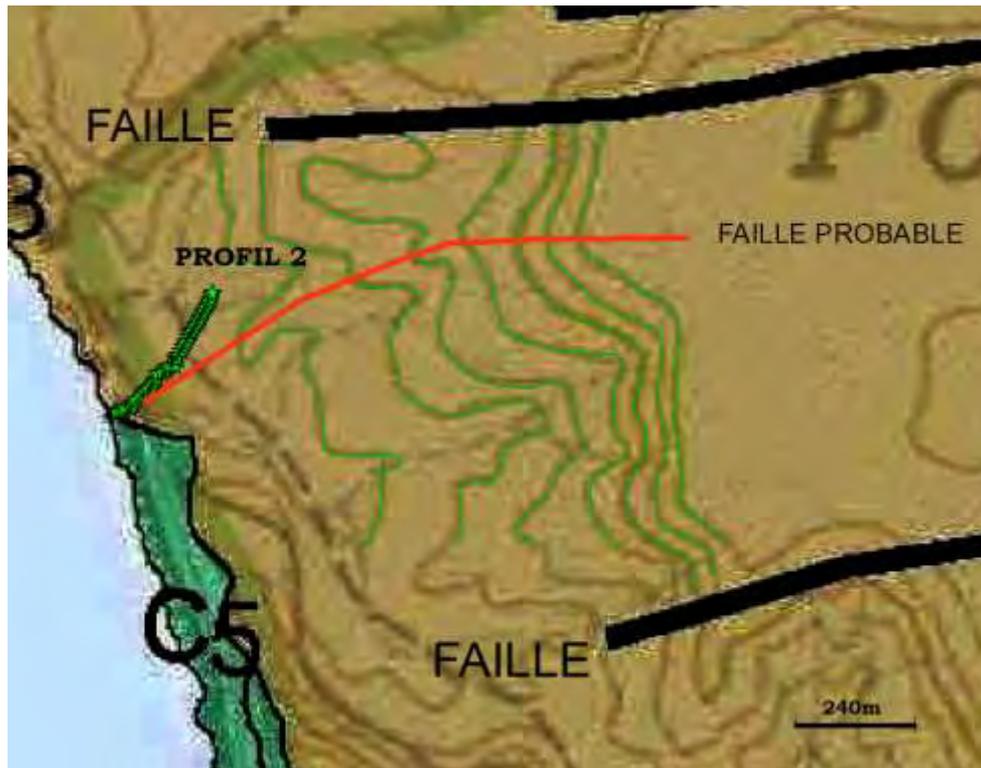


Figure 4.10 : Localisation du profil 2 (*Pasmi 2009* modifié)

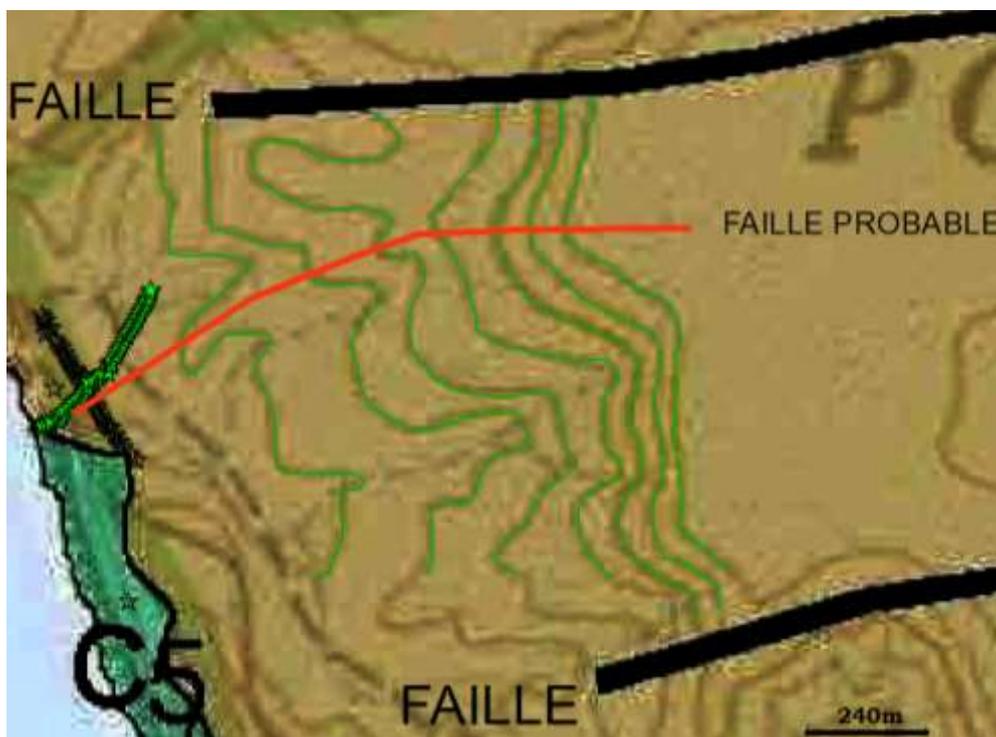


Figure 4.11 : Intersection des deux profils tomographiques (*Pasmi 2009* modifié)

Conclusion partielle

La tomographie constitue aujourd'hui un outil important pour la reconnaissance géophysique de la proche subsurface et est particulièrement bien adaptée du fait des forts contrastes de résistivités des formations géologiques. Différents modèles peuvent être obtenus en faisant varier divers paramètres, pour faire évoluer le modèle au plus précis.

Ainsi, les profils 1 et 2 réalisés ont permis de mettre en évidence principalement trois grandes familles de résistivités dont les valeurs augmentent en profondeur. De là, nous soulevons deux hypothèses, celle de la présence probable de failles dans ces argiles qui aurait modifié les propriétés de perméabilité du sol à quelques endroits et celle de cavité de remplissage suite à la dissolution de calcaire. Ces deux hypothèses seraient à l'origine de l'infiltration rapide de l'eau de surface.

Il apparaît clair que les informations recueillies grâce à la géophysique nous permettent de déceler des structures particulières mais ne nous permettent pas de trancher à coup sûr sur leurs natures. De ce fait, l'image géo-électrique couplée avec d'autres informations (données de forages, données piézométriques), permettra alors de déterminer les structures et la nature géologique des formations présentes en profondeur.

Chapitre 5 : Caractérisation géotechnique de la zone d'étude

Introduction

Suite à l'identification des causes éventuelles de ce tarissement rapide grâce à la géophysique, un ouvrage est prévu pour la pérennisation de ce point d'eau. La réalisation de cet ouvrage géotechnique ne peut se faire sans la connaissance de la nature du sol et de ses propriétés à partir d'essais de laboratoires. L'ensemble de ces essais de caractérisation sont soumis aux normes françaises (NF).

5.1 Teneur en eau (NF P 94-050)

La teneur en eau par définition est le rapport de l'eau évaporée lors de l'étuvage sur la masse de grains solides, exprimée en pourcentage. L'essai s'effectue selon la norme NF P 94-050 et la valeur de la teneur en eau (W) est obtenue grâce à la formule :

$$\text{Teneur en eau} = \frac{Mh - Ms}{Ms} \times 100 = \frac{Mw}{Ms}$$

Mh : Masse humide

Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau 5.1.

Nous notons avec ces échantillons prélevés, de faibles teneurs en eau variant de 4,60 à 11,36% et une teneur en eau moyenne de 6,97%. Ceci témoigne de l'assèchement rapide du lit du point d'eau dès le mois de février.

5.2 Essai granulométrique (NF P 94-056)

L'analyse granulométrique est une étape fondamentale pour la classification d'un sol. Elle a pour but de déterminer quantitativement la distribution des particules de sol par classes de diamètres. L'essai s'effectue selon la norme NF P 94-056 et la courbe granulométrique est obtenue en cumulant les pourcentages de passants sur une échelle logarithmique en abscisse et arithmétique en ordonnée.

L'exploitation des résultats montre que dans notre cas d'étude, 70% des particules ont un diamètre inférieur à 80 μm , donc l'échantillon est majoritairement constitué d'éléments fins,

ce qui nécessite le recours à la sédimentométrie, l'analyse granulométrique n'étant plus suffisante.

5.3 Essai sédimentométrique (NF P 94-057) (ASTM 152-H)

L'essai sédimentométrique a pour objet la détermination de la distribution pondérale de la taille des particules inférieures à 80 μ m. Il permet ainsi de compléter l'analyse granulométrique. La relation entre la vitesse de sédimentation et le diamètre des grains est donnée par la formule suivante :

$$\rho_t = R_c \times \rho_w = (R + C_t + C_m + C_d) \rho_w$$

- R_c : lecture corrigée du densimètre à l'instant
- R : lecture du densimètre
- C_t : correction due aux variations de température en cours d'essai
- C_m : correction due au ménisque
- C_d : correction due au flocculant

Les résultats sont consignés dans le tableau suivant :

Tableau 5.1: Résultats de l'essai sédimentométrique

N° Echantillon	Echantillon1	Echantillon2	Echantillon 3
D_{max} (mm)	6,30	12,50	25
Passant à 2 mm(%)	99,40	90.40	84.80
Passant à 80 μ m (%)	98,20	86.20	76.20

Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau 5.2 ci-dessous.

Tableau 5.2 : Résultats de l'essai de poids volumique apparent

N° échantillon	Echantillon 1	Echantillon 2	Echantillon 3
Masse volume apparente (g/cm^3)	1,337	1,375	1,353
Poids volumique apparent (KN/m^3)	13,27	13,75	13,53
	13,55		
Poids volumique apparent (kN/m^3) moyen			

Les valeurs de poids volumiques apparents obtenues permettent de dire que le sol est dense. L'essai n'excluant pas les vides contenues entre les grains, il est plus judicieux de chercher le poids volumique spécifique afin d'être plus précis.

5.5 Le poids volumique spécifique (ρ_s) (NF P94-054)

L'essai consistant à déterminer le poids volumique spécifique ou γ_s d'un échantillon donné se fait selon la norme (NF P94-054) et a pour but de :

- mesurer le volume propre des grains à l'exclusion des vides
- et à calculer le rapport entre leurs poids et leur volume.

Cet essai s'applique et est réservé aux sols dont les plus gros grains sont au maximum de la dimension de sable fin et présentant une cohésion déjà importante. Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau 5.4 ci-dessous.

Tableau 5.3: Résultats de l'essai de poids volumique spécifique

Numéro échantillon	1	2	3
Masse volumique spécifique (g/cm^3)	2,204	2,416	2,565
Poids volumique spécifique γ_s (kN/m^3)	22,04	24,16	25,65
Poids volumique spécifique moyen γ_s (KN/m^3)	23,95		

L'analyse des données de cet essai montre que les valeurs de poids volumique spécifique de ce sol sont assez faibles et ont une moyenne de $23,95 \text{ kN}/\text{m}^3$.

En interprétant ces données, il est possible de dire que le milieu est dense et constitué en grande partie de grains liés les uns aux autres.

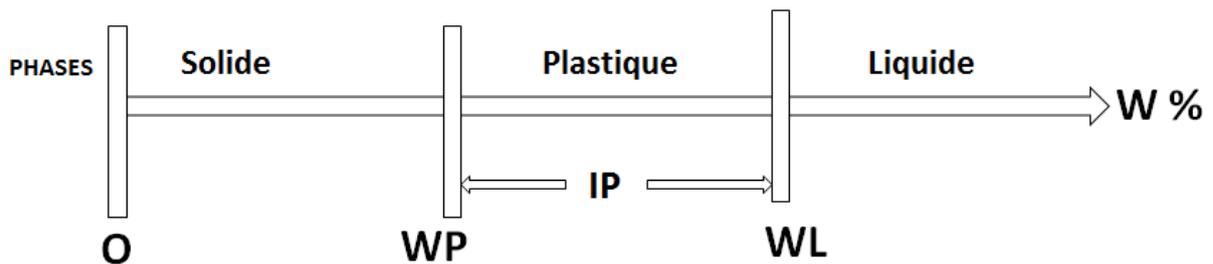
5.6 Les limites d'Atterberg (NF P 94-051)

L'essai dénommé limites d'Atterberg consiste à déterminer des constantes physiques conventionnelles du sol à savoir :

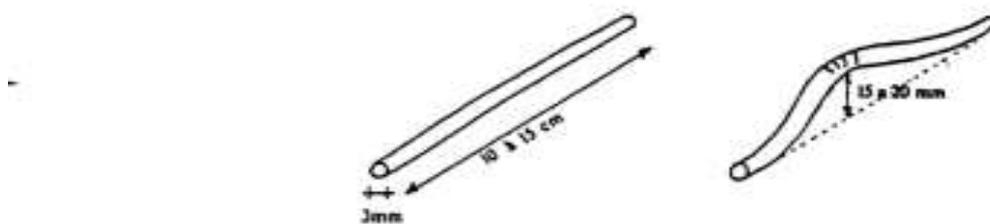
- le passage de l'état liquide à l'état plastique d'un sol (limite de liquidité w_l)
- le passage de l'état plastique à l'état solide d'un sol (limite de plasticité w_p)
- et enfin déterminer l'indice de plasticité $I_p = w_l - w_p$

L'essai s'applique sur la fraction de sol passant au travers du tamis 400 μm .

La limite de liquidité est la teneur en eau en-dessous de laquelle le sol cesse d'avoir la consistance d'un liquide très visqueux. En effet, elle correspond à la teneur en eau du matériau à une fermeture en 25 chocs.



La Limite de plasticité est la teneur en eau en-dessous de laquelle le sol n'est plus plastique. Elle correspond à la teneur en eau du sol lorsque le cylindre qui se fissure quand son diamètre atteint $3\text{ mm} \pm 0,5\text{ mm}$.



Ces 2 limites permettront de déterminer un paramètre important qu'est l'indice de plasticité.

Les résultats sont ci-dessous:

Tableau 5.4: Résultats de l'essai des limites d'Atterberg

Echantillons	1	2	3
Limite de liquidité (w_L)	38,862	33.142	28.923
Limite de plasticité w_p	17,38	16.70	17.12
Indice de plasticité (Ip)	21,482	16.44	11.803

L'analyse des résultats des essais faits sur différents échantillons montre que :

- Pour le premier échantillon, l'IP est peu élevé et égal à 21,482 avec des valeurs de w_L et w_p respectivement égaux à 38,862 et 17,38 ;
- Pour le deuxième échantillon, l'IP est également peu élevé et égal à 16,44 avec des valeurs de $w_L = 33,142$ et $w_p = 16,70$,
- Et pour le troisième, l'IP est également peu élevé et égal à 11,803 avec un $w_L = 28,923$ et un $w_p = 17,12$

Les échantillons provenant d'un même type de sol, l'IP de ces échantillons pourrait être déterminé par un calcul de la moyenne arithmétique, Nous allons donc raisonner en termes de moyenne arithmétique et déterminer toutes les moyennes, y compris celles des w_L et w_p .

Ainsi, nous obtenons :

$$W_L = (38,862 + 33,142 + 28,923)/3 = 33,64$$

$$W_p = (17,38 + 16,7 + 17,12)/3 = 17,06$$

$$IP = W_L - W_p$$

$$IP = 33,64 - 17,06$$

$$IP = 16,58 \rightarrow \text{sol plastique}$$

L'interprétation de ces données pourrait se faire à l'aide du tableau 3.8 donnant l'état du sol en fonction de l'IP et de la figure 3.1 du diagramme de plasticité de Casagrande.

Tableau 5.5: variations de l'IP et état du sol en fonction de l'indice de plasticité (GTR 2000)

IP	Degré de plasticité	Résistance du sol à l'état sec	Sol sur le terrain à teneur en eau voisine de W_p
0-5	Non plastique	Non cohérent	Très déformable
5-15	Modérément plastique	Peut être cassé entre les mains mais pas entre pouce et index	Déformable
16-35	Plastique	Forte résistance (1à 2 bar)	Peu déformable sous la simple pression du pouce
> 35	Très plastique	Très forte résistance > 5 bar	Haute cohésion- perd son humidité très lentement

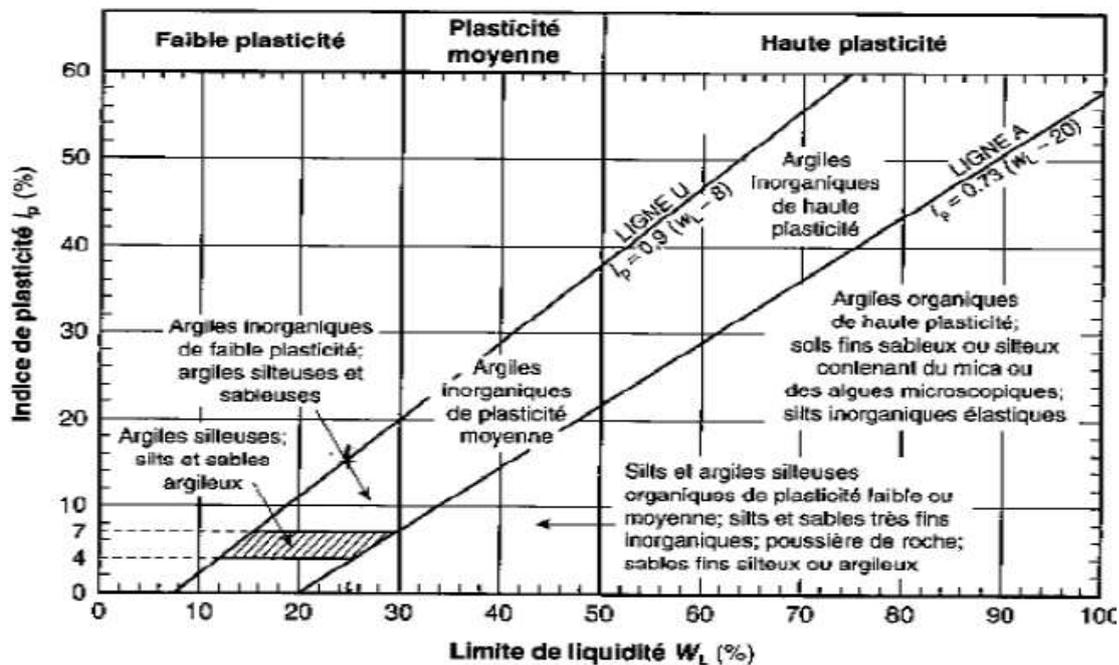


Figure 5.2 : diagramme de plasticité (Casagrande, 1948)

Avec un IP moyen supérieur à 16 et un w_l moyen de 33,64, nous pouvons conclure que le sol est plastique et puisque l'IP permet aussi de connaître la nature du sol fin il est possible de

dire que ce sol est argileux et correspond en effet à des argiles inorganiques. Il est possible de conclure que ce sol est très sensible aux variations des teneurs en eau de par ses propriétés.

A partir de cet IP aussi, nous déduisons que le sol est déformable et pourrait être à l'origine de cassures et de cisaillement, d'où la nécessité de bien concevoir les aménagements qu'il pourrait avoir à supporter.

A partir de cet IP il est possible de déduire la valeur de l'IC avec $I_c = \frac{w_l - w}{w_l - w_p} = \frac{w_l - w}{I_p}$

Tableau 5.6 : Consistance du sol (GTR 2000)

Indice de consistance	Consistance du sol
$I_c < 0$	Liquide
$0 < I_c < 0,25$	pâteuse ou très molle
$0,25 < I_c < 0,50$	Molle
$0,50 < I_c < 0,75$	Ferme
$0,75 < I_c < 1;00$	très ferme
$I_c > 1$	Dure

3.7 La perméabilité du sol

L'essai permettant de déterminer le coefficient de perméabilité d'un sol consiste à déterminer sa capacité à se laisser passer par un fluide et dépend essentiellement de la granulométrie, de son indice de vides et de sa nature.

Cet essai n'est appliqué que sur les sols destinés à l'exécution de remblais ou digues, donc il s'agit de sols remaniés dont des corrélations significatives existent entre granulométrie et perméabilité-porosité.

Cet essai peut être fait par 2 méthodes différentes :

- la mesure sous charge constante pour les sols très perméables
- la mesure sous charge variable pour les sols peu perméables

Dans ce cas-ci, l'essai a été fait sous charge variable, ce sol étant argileux.

La valeur du coefficient de perméabilité est donnée par calcul avec la formule suivante :

$$K = -2,3 * \frac{d}{D} * \frac{L}{(t_2 - t_1)} * \log \frac{h_1}{h_2} \text{ en cm/s}$$

$$K = -2,3 * \frac{0,8}{10,2} * \frac{12,2}{(251198 - 0)} * \log(0,97) \text{ ()}$$

$$K = 9,14 \cdot 10^{-9} \text{ cms}^{-1}$$

L : longueur de l'échantillon = 12,2 cm

d : diamètre de la petite section = 0,8 cm

D : diamètre de l'échantillon = 10,2 cm

T1 : temps de début avec T1= 0s

T2 : temps de fin de l'essai avec T2= 251198 s

H₁ : hauteur d'eau initiale avec H1=28,8 cm

H₂ : hauteur d'eau finale avec H2=29,5 cm

Durée de l'essai : T=2jours + 21heures + 46minutes + 38secondes = 251198 secondes

La valeur de la perméabilité nous permet de dire que ce sol est peu perméable, donc ne permet pas une grande circulation des fluides.

Conclusion partielle

En somme, les essais géotechniques réalisés nous ont permis de mieux définir les paramètres physiques du sol du point d'eau et de mieux caractériser ce sol en vue des travaux futurs dont il pourrait être le support. La caractérisation géotechnique montre que le sol du point d'eau est plastique, déformable, très peu perméable et de nature argileuse, la présence de particules de gros diamètres étant due à la topographie du milieu.

Chapitre 6 : Proposition d'un modèle d'aménagement

Introduction

La proposition d'un modèle d'aménagement constitue la dernière étape du projet. Dans ce chapitre, nous allons donner une orientation quant au modèle d'aménagement à réaliser grâce aux différentes enquêtes menées sur le site. Le but est alors de choisir et de dimensionner le système convenable. De fait, nous convenons de faire l'état des lieux de l'ouvrage notamment la digue avant d'en venir au modèle.

6.1 Définition et Composantes d'une digue

Une digue est un ouvrage linéaire en surélévation par rapport au terrain naturel qui permet de protéger les zones inondables de la submersion, les côtes de l'érosion marine, de régulariser un cours d'eau et de protéger ses rives.

Il existe en effet plusieurs types de digue dans le cadre des ouvrages de protection notamment les digues à talus, les digues verticales et les digues mixtes. Cependant dans notre cas d'étude, nous nous limitons aux digues à talus. Ces dernières ont une coupe trapézoïdale simple et sont réalisées au moyen de matériaux rocheux. Elles sont plus économiques et plus simples à réaliser. Elles sont généralement constituées des parties suivantes:

- Soubassement : sa mise en œuvre n'est pas systématique. Il a pour rôle de rehausser le niveau d'assise de la digue dans le cas de grandes profondeurs ;
- Fondation : c'est la transition entre le terrain naturel et les matériaux de la digue
- Noyau : c'est la plus grande partie de l'ouvrage, il est constitué du matériau de remblai
- Carapace : c'est le revêtement de la digue, elle protège le matériau de remblai contre l'érosion
- Butée de pied : elle permet le calage inférieur de la carapace pour éviter les risques de glissement
- Talus : C'est la liaison entre la crête et le terrain naturel. On distingue le talus amont qui constitue la partie retenant l'eau par opposition au talus aval
- Sous-couche : c'est la couche de transition entre la carapace et les couches en dessous
- Crête : c'est la partie la plus haute supportant généralement une piste
- Protection anti-affouillement

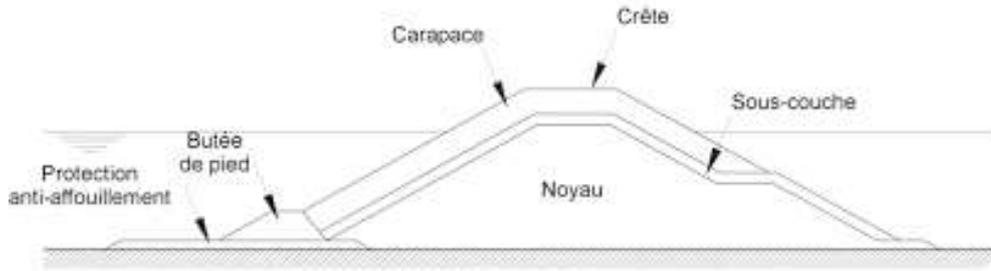


Figure 6.1 : Les différentes parties d'une digue

6.2 Etat de l'ouvrage

Les ouvrages géotechniques sont souvent sujets à une baisse de performance avec le temps par conséquent les fonctions initialement prévues lors de la construction peuvent ainsi être modifiées. Elles sont souvent dues soit à une mauvaise conception, à une mauvaise exécution, ou simplement au vieillissement. Ces facteurs peuvent être mis en évidence par la courbe en baignoire qui représente l'évolution du taux de défaillance instantanée d'un ouvrage en fonction du temps (figure 4.2).

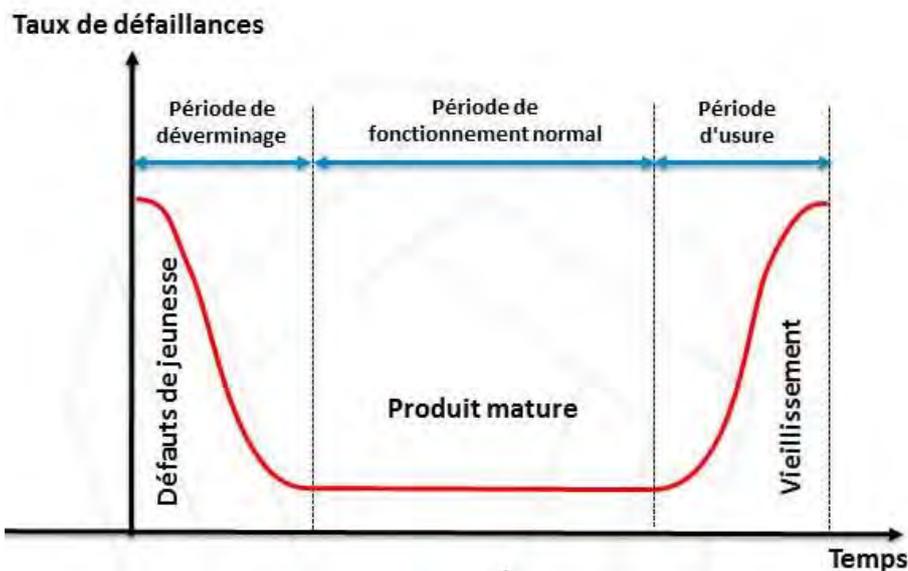


Figure 6.2: Taux de défaillance d'un ouvrage en fonction du temps **ref**

Les défaillances qui affectent les ouvrages durant leurs durées de vie sont séparées en trois catégories :

- Défaillance de jeunesse : se caractérise par un taux de défaillance relativement important, mais en décroissance, correspondant à l'élimination des défauts de jeunesse et au rodage
- Défaillance de maturité : Taux de défaillance sensiblement constant
- Défaillances de vieillesse : Taux de défaillance croissant lié à l'usure.

Dans notre cas, l'ouvrage est constitué d'un ensemble digue et pont combinés.

1. la digue

La digue fût réalisée en 1998. Elle s'étend depuis l'entrée de la réserve jusqu'à la pente nord du cap de naze soit sur une longueur de 110m pour une largeur de crête de 3,40m **figures (6.3 et 6.4)**. C'est une digue de remblai faite de latérite avec un enrochement aux talus et aval. Si dessous nous avons les caractéristiques.

Tableau 6.1 : Caractéristiques géométriques de la digue

Longueur de la digue	110m
Largeur de crête	3m40
Hauteur de la digue	1m25
Distance entre les deux pieds (amont et aval)	17m
Pente du talus	½
Largeur du pont	1m50



Figure 6.3: Vue longitudinale de la digue



Figure 6.4: la largeur de crête

Au niveau de la digue nous avons fait quelques constats :

- L'absence d'un système de régulation et de protection

En effet, l'ouvrage comme souligné un peu plus haut, montre quelques failles dans sa conception notamment l'absence de système d'évacuation en temps de crue.

Dans a partie aval également, l'action des vagues entraine actuellement l'affouillement de la digue ce qui nuit fortement à sa stabilité. Ces vagues occasionnent un départ important de sédiments. Cette érosion entraine la fragilisation de la végétation qui est le premier rempart dans la protection de la côte **figure (6.5)**.



Figure 6.5 : Erosion des dunes

- La hauteur de la digue

C'est l'un des paramètres essentiels dans la conception d'une digue. La hauteur de la digue dans la partie Sud est faible. Celle-ci est due au tassement progressif du remblai. Les digues en remblai comme dans notre cas, ne supportant pas la submersion, sont vulnérables aux débordements en situation de marée haute.

- La vétusté de l'ouvrage

A ces deux facteurs, s'ajoute la destruction des différentes parties de l'ouvrage. La digue est dans un état de vétusté assez prononcé notamment au niveau du talus aval. Les blocs de roches constituant le revêtement se désolidarisent formant d'énormes creux pouvant entraîner la déstabilisation complète de la structure.



Figure 6.6 : revêtement de la digue



Figure 6.7 : Destruction du revêtement

2. Le pont

Le pont se trouve à environ 40m de l'entrée de la réserve. Haut de 2,5m, il est constitué de:

- fondation
- pile
- tablier

Il montre également une certaine limite par l'absence d'un système de régulation. De surcroît, l'ouvrage est également dans un état de délabrement très avancé témoigné par des lézards, d'acier oxydé (l'armature), et un système de levier hors d'usage.



Figure 6.8: Pont



Figure 6.9: Fer rouillé



Figure 6.10: Fissure



Figure 6.11: Levier hors d'usage

6.3 Conception des principaux éléments d'une digue

6.3.1 Paramètres de calcul

La réalisation d'une digue requiert la détermination des différentes composantes géométriques que nous allons déterminer ici. Il s'agit de :

- Le niveau de la crête (hauteur de la digue)
- La largeur de la crête
- La pente du talus
- Largeur de la base

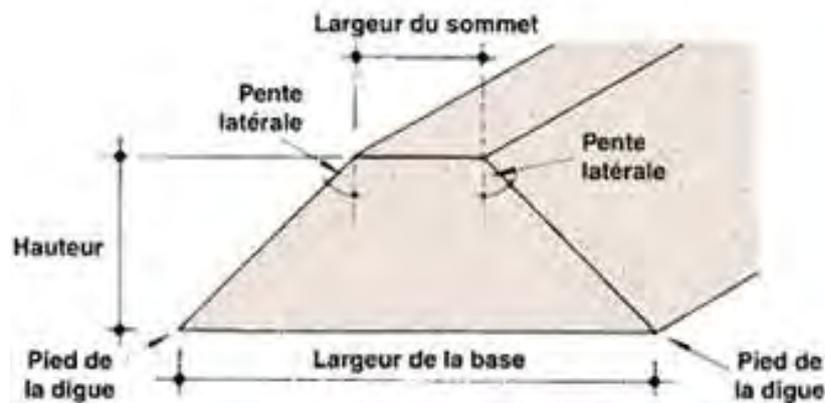


Figure 6.12 : Caractéristiques géométriques d'une digue (*manuel de construction de digue piscicole*)

- Calcul du niveau de la crête

Pour la détermination du niveau de la crête de la digue, nous utilisons la relation suivante:

$$\text{Côte}_{\text{crête}} = \text{PHE} + R_v + a$$

PHE : niveau de plus hautes eaux pour la probabilité de conception.

R_v : hauteur de montée de la vague ou revanche.

a : hauteur libres de sécurité (réserve constructive); dans le cas des petits barrages entre 0,40 et 0,60 m.

En l'absence de données sur les hauteurs éventuelles de l'eau en période hivernale, nous utilisons la côte maximale atteinte par les eaux de l'année dernière. Elles sont relevées sur le terrain grâce aux traces laissées sur les murs et aux renseignements fournis par les populations locales. Les relevés de terrain montrent une hauteur maximale de 2,10m (dans la partie la plus

profonde du point d'eau d'environ 50cm de plus) (**figure 6.13**). La détermination de cette hauteur revêt d'une importance capitale car un surdimensionnement a un effet direct sur le coût de l'ouvrage tandis qu'un sous dimensionnement exposerait l'ouvrage à une submersion totale. La hauteur de la digue est alors définie suivant cette hauteur d'eau maximale atteinte et la revanche.



Figure 6.13: Hauteur maximale d'eau Figure 6.14: Point le plus bas avec 40cm d'épaisseur d'eau

La revanche est la hauteur libre entre la côte maximale des eaux et la côte de la crête du barrage. Elle permet de tenir compte d'une montée accidentelle du niveau des eaux et constitue donc une sécurité pour les imprécisions éventuelles dans la détermination du niveau de la crête. Pour sa détermination, on tient compte de la hauteur des vagues et de leur vitesse de propagation.

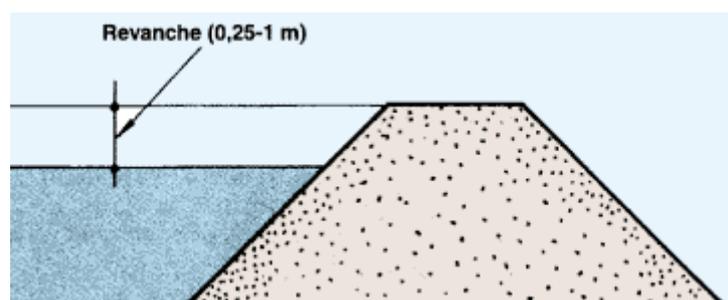


Figure 6.15 : La revanche (*manuel de construction de digue piscicole*)

Un certain nombre d'auteurs ont défini des formules empiriques pour le calcul de la revanche parmi lesquelles nous avons:

- Formule de STEVENSON

Pour F (fetch) < 18 km

$$Rv = 0,75hv + \frac{Vv^2}{2g}$$

Où : hv = hauteur de la vague (m)

Vv = vitesse de propagation de la vague (m / s)

Rv = hauteur de montée de la vague (m)

g = accélération de la gravité (9.81 m / s²)

Ces paramètres sont déduits à partir des équations ci-dessous :

$$hv = 0,75 + 0,34 F^{1/2} + 0,26 F^{1/4}$$

$$Vv = 1,5 + 0,66 hv^{1/2}$$

F = "fetch" elle correspond à la longueur maximale de la surface d'eau du lac en suivant la direction du vent (km). Elle est de 0,12

$$hv = 0,75 + 0,34 (0,12)^{1/2} + 0,26 (0,12)^{1/4}$$

$$Vv = 1,5 + 0,66 (0,714)^{1/2}$$

$$Rv = 0,75() + \frac{(2,058)^2}{2 * 9,8}$$

$$Rv = 0,75m$$

- Formule de MALLET et de PAQUANT

$$Rv = hv + \frac{Vv^2}{2g}$$

$$hv = 0,5 + 0,34 (0,12)^{1/2}$$

$$Vv = 1,5 + 0,66 (0,615)$$

$$Rv = hv + \frac{(1,91)^2}{2g}$$

$$Rv = 0.8m$$

La hauteur de la digue (Hd) est d'après :

* STEVENSON

$$\text{Côte}_{\text{crête}} = \text{PHE} + R_v + a$$

$$\text{Côte}_{\text{crête}} = \text{Hd} = 2,1 + 0,75 + 0,5$$

$$\mathbf{Hd} = 3,35\text{m}$$

* MALLET et PAQUANT

$$\text{Côte}_{\text{crête}} = \text{Hd} = 2,1 + 0,8 + 0,5$$

$$\mathbf{Hd} = 3,4\text{m}$$

*Nous avons respectivement d'après les deux formules énoncées des valeurs de niveau de crête égales à **3,35m et 3,4m** $\cong 3,4\text{m}$ (valeur à considérer dans le reste du calcul)*

- Calcul de la largeur de la crête (l)

Pour calculer la largeur de crête nous utilisons les formules; les plus appliquées parmi elles sont :

* *T.T. KNAPPEN*

$$l = 1,65\sqrt{Hd}$$

$$l = 1,65\sqrt{3,4}$$

$$l = 3,042 \text{ m}$$

* *E. F. PREECE*

$$l = 1,10\sqrt{Hd} + 1$$

$$l = 3,028 \text{ m}$$

l : La largeur de la crête et Hd : la hauteur de la digue

*Nous avons respectivement des valeurs de l égales à **3,04m et 3,02m** sensiblement égales à **3m***

* La pente du talus de la digue

Cette opération permet d'assurer la stabilité mécanique de l'ouvrage. Cette pente dépend de la nature du matériau, surtout de sa cohésion ainsi que l'angle de frottement interne et le facteur de sécurité. Il existe en effet plusieurs méthodes de calcul mais nous nous référons au tableau expérimental tiré du (Manuel de conception et projets typiques des digues en terre) qui met en relation la hauteur, le type de digue et le talus.

Tableau 6.2: Pente des talus par rapport à la hauteur et aux types de digues (GTR, 2000)

Hauteur de la digue (m)	Type de digue	Talus	
		En amont	En aval
Jusqu'à 5	Homogène	1 :2,5	1 :2
	Zoné	1 :2	1 :2
5 et 10	Homogène, granulométrie étendue	1 :2	1 :2
	Homogène, avec matrice argileuse	1 :2,5	1 :2
	Zoné	1 :2,5	1 :2
10 et 20	Homogène, granulométrie étendue	1 :2,5	1 :2,5
	Homogène, avec matrice argileuse	1 :3	1 :2,5
	Zoné	1 :2,5	1 :2,5

Le tableau suggère, pour une digue homogène d'au plus 5m, une pente amont de 1/2,5 et une pente avale de 1/2. Cependant, dans un souci d'économie de matériaux, nous prenons une pente de 1/2 aussi bien pour le talus amont qu'aval. Ce qui nous confère une coupe symétrique. Le calcul de stabilité permettra de savoir si cette pente est adéquate.

- Largeur de la base

Elle est calculée par la formule suivante:

$$B = l + Hd (m1 + m2)$$

Où B: Largeur de la base de la digue en m.

l: Largeur de la crête en m.

Hd: Hauteur de la digue en m.

m1: fruit amont.

m2 : fruit aval.

$$B = 3 + 3,4(2+2)$$

$$B = 16,6 \text{ m}$$

- Le type de protection du talus

Le ruissellement de l'eau de pluie, l'agressivité des vagues sur le talus amont peut causer l'érosion progressive des matériaux terreux de la digue et également provoquer des dommages sur la stabilité et la durabilité de l'ouvrage. Pour ce, nous optons pour un enrochement. Les meilleurs matériaux sont en principe les roches cristallines comme les basaltes, certains granites et calcaires durs. En l'absence de ce matériau, on peut utiliser une couche de graveleux latéritique, déjà utilisé sur certaines parties de la digue.



Figure 6.16: Enrochement en latérite de la digue

L'épaisseur de la couche d'enrochement peut être déterminée grâce au tableau établi par les ingénieurs de l'U.S Army Corps of Engineers déterminé à partir d'abaques qui donne l'épaisseur minimum de la couche d'enrochements en fonction de la hauteur des vagues.

Tableau 6.3: Epaisseur minimale de la couche d'enrochement en fonction de la hauteur des vagues

Hauteur des vagues (m)	Épaisseur minimale de la couche d'enrochement (m)
0 - 0,3	0,3
0,3 - 0,6	0,4
0,6 - 1,2	0,45
1,2 - 1,8	0,55
1,8 - 2,40	0,7
2,40 - 3	0,80

Suivant le tableau, l'épaisseur minimale préconisée pour H compris entre 0,6 et 1,2m est de 0,45m. L'emplacement du revêtement doit s'étendre depuis la crête de la digue jusqu'à une profondeur au-dessous du niveau minimal.

4.3.2 Caractéristiques géotechnique du matériau de remblai

Pour la construction du remblai, la qualité et la quantité des matériaux situés aux alentours de l'ouvrage sont celles qui déterminent souvent le type d'ouvrage. Comme les zones d'emprunt doivent être localisées le plus près possible du lieu d'exécution pour palier à un problème économique, nous utiliserons les latérites de Popenguine sur lesquels quelques essais mécaniques y ont été effectués.

Le résultat de ces essais nous donne :

- $C = 80,88 \text{ KPa}$
- $(\varphi) = 24,12^\circ$
- $\rho_h (\text{t/m}^3) = 1,96$
- $\rho_d (\text{t/m}^3) = 1,63$

Les résultats des essais et enquêtes effectuées nous ont permis d'arriver à ce modèle.

4.3.3 Présentation du logiciel et du Modèle

Le logiciel de modélisation employé est SLOPE développé par Géo-Studio. Il permet de définir un modèle et de d'étudier sa stabilité à partir de ses dimensions et du remblai. La loi de comportement du matériau de remblai utilisée est la loi de Mohr-Coulomb avec une analyse par la méthode de Bishop.

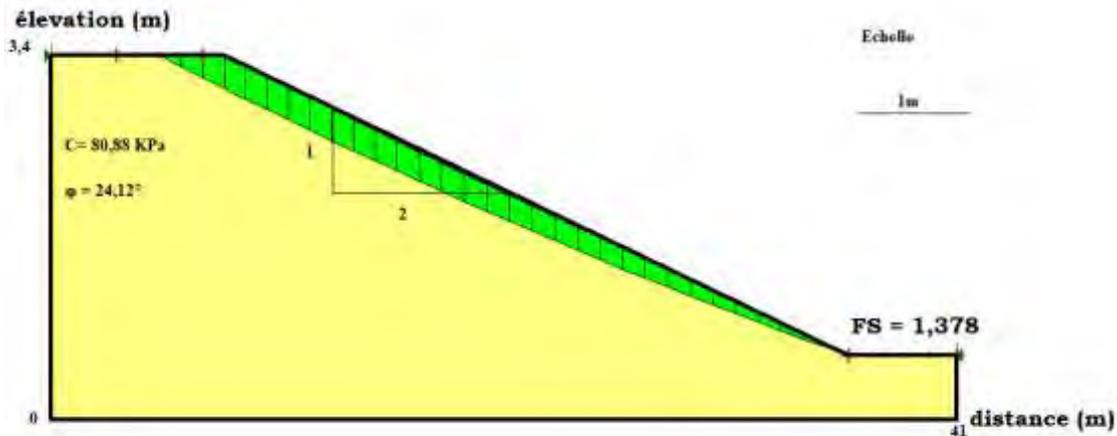


Figure 6.17: Coupe en travers de la digue (symétrique) avec cercle de glissement et son facteur de sécurité

Pour les ouvrages tels que les digues qui retiennent d'énormes quantités d'eau et qui sont souvent soumis à des conditions extrêmes, il est nécessaire de prévoir un mécanisme de contrôle pour éviter toute submersion qui conduirait inéluctablement à sa destruction. De ce fait, nous préconisons :

- un évacuateur de crue au niveau de la digue ;
- et une buse au niveau du pont muni d'un système de clapets.

Ces deux mécanismes combinés permettent d'apporter une réponse efficace au risque d'inondation auquel serait exposé le site

- L'évacuateur de crue

C'est un dispositif de sécurité construite pour dériver ou évacuer l'eau retenue dont la hauteur excéderait une certaine limite. Il permet de libérer le trop plein d'eau quand le débit en amont provoque une montée qui serait susceptible de nuire à l'intégrité de l'ouvrage. Il doit répondre à un compromis entre la capacité de stockage de la retenue et la capacité d'évacuation.

Il comprend d'une manière générale, dans le cas des petits barrages en terre :

- * Un déversoir ou seuil
- * Un chenal
- * Un coursier
- * Un ouvrage de dissipation de l'énergie érosive de l'eau

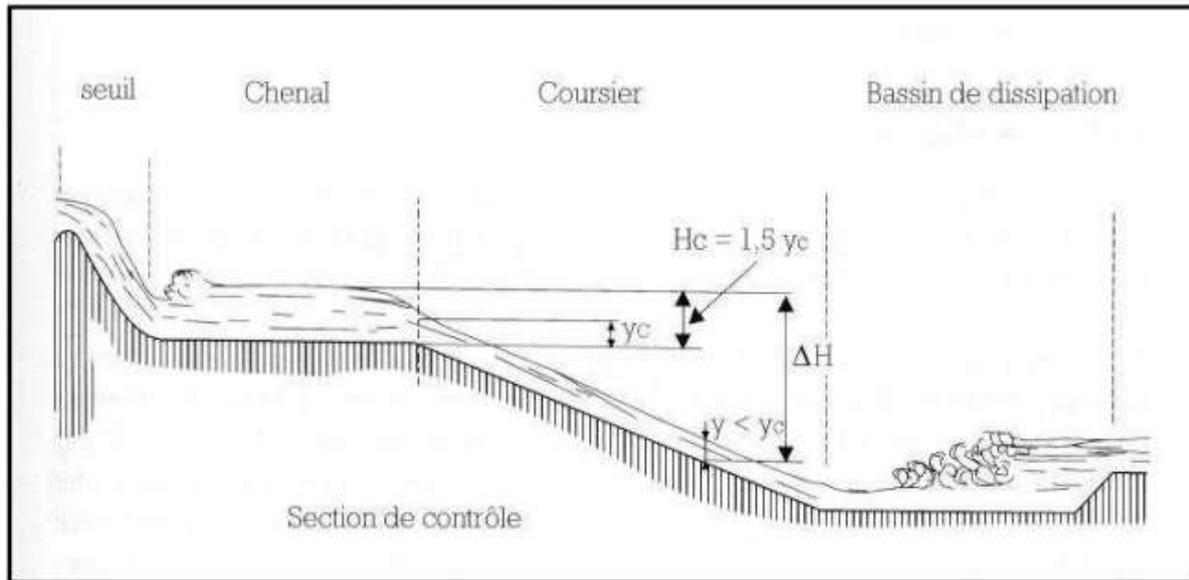


Figure 6.18: Les différentes parties d'un évacuateur de crue (*cours sur les évacuateurs de crue et ouvrages annexes*)

Le choix du type d'évacuateur de crue et son dimensionnement tiendra en compte de nombreux éléments dont la sensibilité de la structure à un exhaussement de la retenue, les conditions hydrauliques du site notamment le débit, les exigences topographiques, mais également du coût.

- Buses

Ce sont des conduits de forme cylindrique conçus pour mettre en communication deux plans. Il existe en effet différents types de buses telles que les buses métalliques et les buses en béton. Ces derniers présentent une plus grande résistance à la corrosion et aux contraintes dues au poids des remblais contrairement aux buses métalliques qui peuvent présenter une détérioration avec le temps notamment des enfoncements, des poinçonnements de la tôle, des déchirures ou d'autres dégradations.

Nous préconisons au niveau du pont une buse en béton de forme cylindrique et de section circulaire dont l'extrémité est munie d'un clapet ou de vanne. La buse sera couplée à une tête d'aqueduc

Les clapets et les vannes sont des ouvrages de régulation des eaux, permettant à volonté la mise en communication hydraulique de deux plans d'eau généralement situés à des niveaux

différents, ou leur isolement l'un de l'autre. Le dimensionnement de la buse ainsi que du clapet sera fonction des propriétés hydrauliques du bassin et du débit en aval préconisé.



Figure 6.20 : Buses en béton de section circulaire



Figure 6.21 : Modèle d'aménagement préconisé au niveau du pont

Pour la partie aval exposée à l'affouillement, un enrochement permettra de diminuer l'effet des vagues et empêcher le départ de sédiments.

Conclusion partielle

Les problèmes auxquels est exposé le site sont nombreux. A travers ce chapitre nous avons donné quelques orientations quant aux problèmes soulevés notamment les déficits que présente la digue en place et l'érosion en aval celle-ci due aux vagues. Elles ne constituent en effet que des débuts de solutions. Leurs dimensionnements pourront faire l'objet d'études beaucoup plus détaillées.

Conclusion générale :

La réserve naturelle de Popenguine présente aujourd'hui un intérêt écologique reconnu. Elle répond à une forte demande de loisirs, et joue, sur le plan du développement local, un rôle de levier touristique incontournable.

Les problèmes liés à ce phénomène de tarissement pourraient se situer sur différents angles d'approche que voici :

- Des phénomènes d'infiltration à certains endroits du point d'eau (mis en évidence par la géophysique)
- Des phénomènes de rupture de communication entre le point d'eau et la mer (du fait de l'implantation du pont de passage), en effet le point d'eau est un bassin margino-littoral
- Et des phénomènes d'évaporation qu'il ne faudrait pas minimiser

L'objet de l'étude réalisée sur le point d'eau de la réserve naturelle de Popenguine est d'arriver à proposer une solution au tarissement rapide. La solution finale que nous allons proposer est une compilation des différentes conclusions précédemment énoncées.

Suivant les conclusions tirées par la géophysique toutes fois hypothétiques, couplées aux différentes constatations et enquêtes réalisées au cours de notre de séjour, nous sommes arrivées à la combinaison de deux solutions.

- Par la tomographie électrique et grâce aux données du PASMI qui révèlent la présence probable de faille qui serait responsable de l'épuisement rapide ou la présence de karst qui également a un effet similaire, il est de rigueur de minimiser l'infiltration par amélioration du sol grâce à la mise en place de géomembrane. Cette solution permet de garder l'eau le temps qu'il faut jusqu'à la période hivernale. A cette solution, il serait possible d'ajouter celle du remplissage de ces cavités par un matériau drainant par exemple du sable ou procéder à une minimisation de l'infiltration par une hydrofugation.
- Conjointement, la digue actuellement en place mérite une conception bien adaptée tenant compte des paramètres bien propres à notre contexte notamment la stabilité, l'échange entre l'eau de mer et celle du point d'eau mais également l'érosion au voisinage de la digue qui devient de plus en plus accentuée. Il devient ainsi de rigueur de redimensionner la digue en prenant en compte de tous ces paramètres. Cependant,

le modèle proposé n'est pas définitif, elle ne donne qu'une orientation quant à l'ouvrage à réaliser au vu des problèmes soulevés.

Recommandations

A la suite de toutes ces études menées et des différents résultats obtenus, nous avons jugé nécessaire de faire ces quelques recommandations :

Faire des sondages d'étalonnage au niveau des zones d'anomalies de résistivités afin de s'assurer de la présence ou non de calcaires mais également de la succession lithologique des couches

- Etablir une carte des différents cours d'eau participant à l'alimentation du point d'eau et définir le réseau d'écoulement
- Faire le suivi pluviométrique et parallèlement suivre l'évaporation au niveau du point d'eau
- Etudier les fluctuations de la nappe tout en suivant le biseau salé
- Comme pour tout ouvrage où les fondations sont essentielles, il convient de faire des essais mécaniques in situ pour parer aux risques de poinçonnement, de glissement, de tassement différentiel (dislocation des carapaces)
- Etudier la stabilité au renversement de la digue
- Etudier les organes annexes tels que les drains, les filtres, etc.
- La gestion des sédiments déposés dans le bassin posant un réel problème du fait de la topographie, les énormes quantités de sédiments mobilisés puis déposés forment d'épaisses couches. Il faudra alors penser à décaper la couche en surface afin d'augmenter la colonne d'eau et la surface de retenue
- Les méthodes théoriques sont souvent insuffisantes pour tout ouvrage important, de ce fait, nous recommandons des essais sur modèle réduit en laboratoire pour la mise au point du projet définitif.

Références bibliographiques

Astier J.L (1971) –Géophysique appliquée à l'hydrogéologie, Masson

Amar. G (2016) –Classification et identification des sols

Atlan Y. (1978) – Catalogue des essais géotechniques réalisés au laboratoire d'Orléans

BA E.N (2014) –Détection des zones de failles par tomographie en transmission: Application à la station expérimentale de Tournemire. Thèse de Doctorat. École nationale supérieure des mines de Paris, n pp

Bellion Y.J.C (1987) – Histoire géodynamique post-paléozoïque de l'Afrique de l'Ouest d'après l'étude de quelques bassins sédimentaires n pp

Chapellier D. (2011) –Cours online de Géophysique, Prospection électrique de surface Université de Lausanne-Institut français de pétrole.

Chouteau, M. et Giroux, B. (2006) *Géophysique appliquée II Méthodes électriques*. Ecole polytechnique.

COTTIN L.- Les évacuateurs de crues des barrages hydroélectriques concédés français ; vue synthétique du parc

DIOP C.S, GAYE E.M Mémoire d'ingénieur de conception Digue de protection de la région de saint Louis 1995

DIOP S. Nd. (2011) – Etudes de caractérisation hydrogéologique et géophysique de la nappe maastrichtienne du secteur de Nguékhokh : identification d'un site d'implantation d'un forage d'eau. Mémoire d'ingénieur géologue de conception, IST, UCAD, 6p.

Faye G. (2012) – Revue de Géographie du Laboratoire Leïdi – ISSN0851-2515 – N°10,

Rapport sur l'étude de faisabilité des forages manuels et identification des zones potentiellement favorables.

Halima B Ahmed Conception et dimensionnement d'une digue à talus Cas de la digue de Doui Thabet-Wilaya de Saida

Madioune H. D. (2012) – *Etudes hydrogéologiques du système aquifère du horst de Diass en condition d'exploitation intensive (bassin sédimentaire sénégalais) : apport des techniques de télédétection, modélisation, géochimie et isotopie.* Thèse de doctorat. Université de Thiès, 47p et 55p.

Marescot L. (2008) – *Imagerie électrique pour les géologues acquisition, traitement, interprétation.* Université Lausanne, 23p.

Marquis G. (2005) – Cours sur la Prospection électrique, EOST Strasbourg

Penz S. (2012) – Modélisation et inversion de données électriques en courant continu : vers une prise en compte efficace de la topographie. Thèse de Doctorat. Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris

Rodríguez. B Manuel de conception et projets typiques des digues en terre *Procédures méthodologiques pour l'exécution des études de retenues collinaires et petites barrages*

Sambe S. (2005) – Rôle du système aquifère de Ndiass dans l'alimentation en eau potable de Dakar. Mémoire d'ingénieur géologue de conception, IST, UCAD, 11p.

Saribudak M. et N.M. Hauwert- Integrated geophysical investigations of Main Barton Springs, Austin, Texas, USA

Sarr R. et Ly A. (1998) – Contribution à l'étude biostratigraphique de la falaise des Popenguine

Thiam M. M. (2016) – Reconstitution Tridimensionnelle du bassin sédimentaire sénégalo-mauritanien à l'ouest de la région de Thiès par cartographie numérique. Thèse de doctorat. Université de Thiès, p14, p15 et p16.

Wilkinson, P., Meldrum, P., Loke, M. H., Chambers, J., Kuras, O., Gunn, D., &Ogilvy, R., (2011) – *Minimisation of electrode polarisation errors when using optimised or generic resistivity imaging arrays, in EAGE Near Surface.*

Table des illustrations

1^{ère} partie

Chapitre 1

Figure 1.1 : carte de situation géographique du secteur d'étude.....8
Figure 1.2 : carte géologique de la région du Cap-Vert et ses environs.....11
Figure 1.3 : Tectonique du horst de Diass.....15

Chapitre 2

Figure 2.1: Aquifères du Horst de Diass.....18

2^{ème} partie

Figure 1: tortue morte retrouvée lors de la cartographie..... ;.....20
Figure 2: tortue morte retrouvée par les agents du parc.....20
Figure 3 : antilope retrouvée morte lors de la cartographie.....21
Figure 4 : Bassin en amont du point d'eau servant de point de collecte.....21
Figure 5: Alimentation du point d'eau.....22

Chapitre 3

Figure 3.1 : Log synthétique de la coupe 1.....25
Figure 3.2 : Log synthétique de la coupe 2.....26
Figure 3.3 : Log synthétique de la coupe 3.....27
Figure 3.4 : Log synthétique de la coupe 4.....28
Figure 3.5: Log synthétique de la coupe 5.....30
Figure 3.6: Log synthétique de la coupe 6.....32
Figure 3.7: Log synthétique de la coupe 7.....34
Figure 3.8: Log synthétique de la coupe 8.....36
Figure 3.9: Log synthétique de la coupe 9.....38
Figure 3.10 : log synthétique de la coupe 10.....39
Figure 3.11: Log synthétique de la coupe 11.....40
Figure 3.12: Log synthétique de la coupe 12.....40
Figure 3.13 : Log synthétique de la coupe 13.....41
Figure 3.14: Log synthétique de la coupe 14.....42
Figure 3.15 : Carte géologique de la Réserve Naturelle de Popenguine.....44
Figure 3.16 : Argile sableuse calcaire.....45
Figure 3.17 : Argile à gypse tapissé.....45
Figure 3.18 : Argile à gypse (filon).....45
Figure 3.19 : Sable argileux à concrétions ferrugineuses.....45

Chapitre 4

Figure 4.1 : Schéma de la configuration d'un dispositif électrique quadripôle.....47
Figure 4.2 : Carte de positionnement des électrodes du profil 1.....48
Figure 4.3 : Carte de positionnement des électrodes du profil 2.....49
Figure 4.4 : Carte d'intersection des profils 1 et 2.....49
Figure 4.5 : Schéma du dispositif Wenner-Schlumberger.....50
Figure 4.6 : Représentation de l'arrangement des électrodes.....51
Figure 4.7 : Profil de tomographie électrique 1.....54
Figure 4.8 : Localisation du profil 1.....54
Figure 4.9 : Profil de tomographie électrique 2.....55
Figure 4.10 : Localisation du profil 2.....56
Figure 4.11 : Intersection des deux profils tomographiques.....56

Chapitre 5

Figure 5.1 : Courbes granulométriques des échantillons.....60
Figure 5.2 : Diagramme de plasticité.....64

Chapitre 6

Figure 6.1 : Les différentes parties d'une digue.....68
Figure 6.2: Taux de défaillance d'un ouvrage en fonction du temps.....68
Figure 6.3: Vue longitudinale de la digue.....70
Figure 6.4: la largeur de crête.....70
Figure 6.5 : Erosion des dunes.....70
Figure 6.6 : revêtement de la digue.....71
Figure 6.7 : Destruction du revêtement.....71
Figure 6.8: Pont.....72
Figure 6.9: Fer rouillé.....72
Figure 6.10: Fissure72
Figure 6.11 : Levier hors d'usage.....72
Figure 6.12 : Caractéristiques géométriques d'une digue.....72
Figure 6.13 : Hauteur maximale d'eau.....73
Figure 6.14: Point le plus bas avec 40cm d'épaisseur d'eau.....74
Figure 6.15 : La revanche.....74
Figure 6.16: Enrochement en latérite de la digue.....78
Figure 6.17: Coupe en travers de la digue.....80
Figure 6.18: Les différentes parties d'un évacuateur de crue.....81
Figure 6.19 : Buses en béton de section circulaire.....82
Figure 6.19 : Modèle d'aménagement préconisé au niveau du pont.....82

Liste des tableaux

2ème partie

Chapitre 3

Tableau 3.1: tableau du matériel utilisé pour la cartographie géologique.....23
Tableau 3.2 : Direction des coupes.....24
Tableau 3.3: Tableau corrélatif des logs synthétiques.....42
Tableau 3.4 : tableau des formations présentes dans la zone.....43

Chapitre 4

Tableau 4.1 : Résistivité des eaux et des roches.....53

Chapitre 5

Tableau 5.1 : Résultats de l'essai sédimentométrique.....59
Tableau 5.2 : Résultats de l'essai de poids volumique apparent.....61
Tableau 5.3: Résultats de l'essai de poids volumique spécifique.....61
Tableau 5.4 : Résultats des limites d'Atterberg.....63
Tableau 5.5 : variations de l'IP et état du sol en fonction de l'indice de plasticité.....64
Tableau 5.6 : Consistance du sol.....65

Chapitre 6

Tableau 6.1 : Caractéristiques géométriques de la digue.....	69
Tableau 6.2: Pente des talus par rapport à la hauteur et aux types de digues.....	77
Tableau 6.3: Epaisseur minimale de la couche d'encrochement.....	78

ANNEXES

Annexe I

Illustration de l'appareillage utilisé en tomographie électrique



Figure 2.1 : appareil d'enregistrement *Geo2X 6cal Jr*



Figure 2.2 : Rouleaux de câble



Figure 2.3: Batterie de 12V



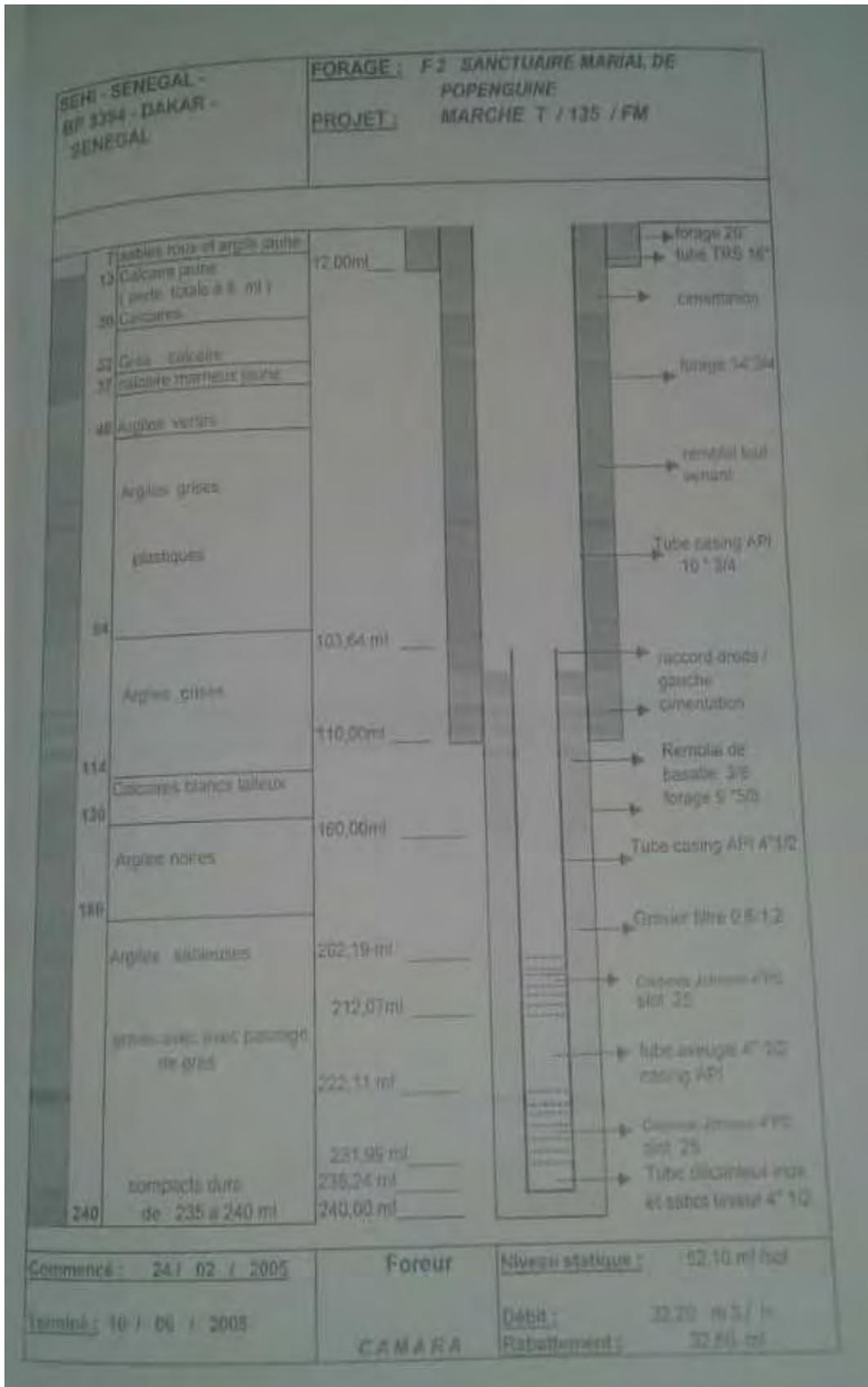
Figure 2.4 : Electrodes et Connecteurs

Mémoire d'ingénieur géologue de conception

GEO2X Geophysics & Geology				ELECTRICAL RESISTIVITY TOMOGRAPHY		
DATE 18 / 05 / 2018						
Site	Reserve de Poultraire	Base Code - site/group/line/going up-do/No. Base				
Observer	M. NDJAYE	Team 1	M. THIAM	Team 2	Malick	
Team 3		Team 4		Team 5	Helene Dibo	
Cumulate line	code 1 =	Last Node	= 48	New distance	235m	
RS CHECK					ITEM	TIME
1-2	0,2	24-25 0	48-49	72-73	START OFFICE	-
2-3	0,4	25-26 0,1	49-50	73-74		
3-4	0,8	26-27 0,1	50-51	74-75	ARRIVAL SITE	10h
4-5	1	27-28 0,2	51-52	75-76		
5-6	0,6	28-29 0,2	52-53	76-77	START DEPLOY	10h30
6-7	0,2	29-30 0,2	53-54	77-78		
7-8	0,1	30-31 0,1	54-55	78-79	END DEPLOY	12h
8-9	0,1	31-32 0,1	55-56	79-80		
9-10	0,1	32-33 0,3	56-57	80-81	RS CHECK START	12h
10-11	0,1	33-34 0,5	57-58	81-82		
11-12	0,1	34-35 0,8	58-59	82-83	START ACQUI	12h35
		35-36 1,1	59-60	83-84		
12-13	0,1	36-37 0,8	60-61	84-85	END ACQUI	13h30
13-14	0,3	37-38 0,3	61-62	85-86		
14-15	0,4	38-39 0,1	62-63	86-87	END COLLECT	15h
15-16	0,1	39-40 0,2	63-64	87-88		
16-17	0,1	40-41 1,2	64-65	88-89	LIVING SITE	15h
17-18	0,1	41-42 0,6	65-66	89-90		
18-19	0,1	42-43 0,4	66-67	90-91	ARRIVAL OFFICE	-
19-20	0	43-44 0,5	67-68	91-92		
20-21	0	44-45 0,4	68-69	92-93		
21-22	0	45-46 0,3	69-70	93-94		
22-23	0	46-47 0,1	70-71	94-95		
23-24	0	47-48 0,4	71-72	95-96		
ACQUISITION					START FOR BREAK	
Dispositif:	W. 9	MEMORY:				
Sequence:	1	From			BREAK START	
No. Quadripole:	900	To				
Panel:	entire/roll-a	FILE NAME			BREAK END	
Injection Time:	950ms					
spacing:	5m				ARRIVAL SITE	
ACQUISITION						
Dispositif:		MEMORY:				
Sequence:		From				
No. Quadripole:		To				
Panel:	entire/roll-a	FILE NAME			BREAKDOWN START	
Injection Time:						
spacing:					BREAKDOWN END	
REMARQUES						
Topography	Plate					
Other						

Mémoire d'ingénieur géologue de conception

GEO2X Geophysics & Geology		ELECTRICAL RESISTIVITY TOMOGRAPHY		
DATE				
13 1 02 2018				
Site	1 Reserve Pinnaculum	Base Code - site/group/line/going up-do/No. Base		
Observer	M. ND FAYE	Team 1	M. THIAM	Team 2 Malick
Team 3		Team 4		Team 5 Hélène Dibor
Cumulate line	Node 1 =	Last Node =		New distance
RS CHECK				
		24-25 3,1	48-49	72-73
1-2 3,6		25-26 3,2	49-50	73-74
2-3 2,6		26-27 0,9	50-51	74-75
3-4 0,8		27-28 1,5	51-52	75-76
4-5 2		28-29 1,5	52-53	76-77
5-6 2,6		29-30 1,5	53-54	77-78
6-7 2,1		30-31 1,3	54-55	78-79
7-8 2,7		31-32 2,7	55-56	79-80
8-9 2,4		32-33 3,1	56-57	80-81
9-10 2,8		33-34 2,8	57-58	81-82
10-11 1,7		34-35 1,5	58-59	82-83
11-12 2,9		35-36 1,5	59-60	83-84
12-13 1,1		36-37 1,8	60-61	84-85
13-14 1,1		37-38 1,6	61-62	85-86
14-15 2,9		38-39 1,6	62-63	86-87
15-16 1,6		39-40 2,1	63-64	87-88
16-17 1,5		40-41 2,5	64-65	88-89
17-18 1,1		41-42 2,1	65-66	89-90
18-19 1		42-43 2	66-67	90-91
19-20 1		43-44 1,6	67-68	91-92
20-21 1		44-45 2,2	68-69	92-93
21-22 0,6		45-46 2,8	69-70	93-94
22-23 1,1		46-47 2	70-71	94-95
23-24 1,2		47-48 2,3	71-72	95-96
ACQUISITION				
Dispositif:	W 5	MEMORY:		START FOR BREAK
Sequence:	1	From		BREAK START
No. Quadripole:	500	To		BREAK END
Panel:	entire/roll-a	FILE NAME		ARRIVAL SITE
Injection Time:	250 ms			
spacing:	5m			
ACQUISITION				
Dispositif:		MEMORY:		
Sequence:		From		
No. Quadripole:		To		
Panel:	entire/roll-a	FILE NAME		
Injection Time:				BREAKDOWN START
spacing:				BREAKDOWN END
REMARQUES				
Topography				
Other				



Coupe technique du forage F2 de Popenguine

Annexe II

Illustration du matériel utilisé et des calculs

i) Essai granulométrique



Colonne de tamis sur vibreur

ii) Sédimentométrie



Agitateur mécanique



Eprouvette



Thermomètre



Densimètre

iii) Masse volumique apparente



Moule



Moule + Matériau

iv) Masse volumique spécifique



Eprouvette + Eau



Eprouvette + Eau + Matériau

v) Limite d'Atterberg



Coupole de Casagrande



Balance électronique



Capsules

vi) Essai de perméabilité



Réservoir d'eau gradué

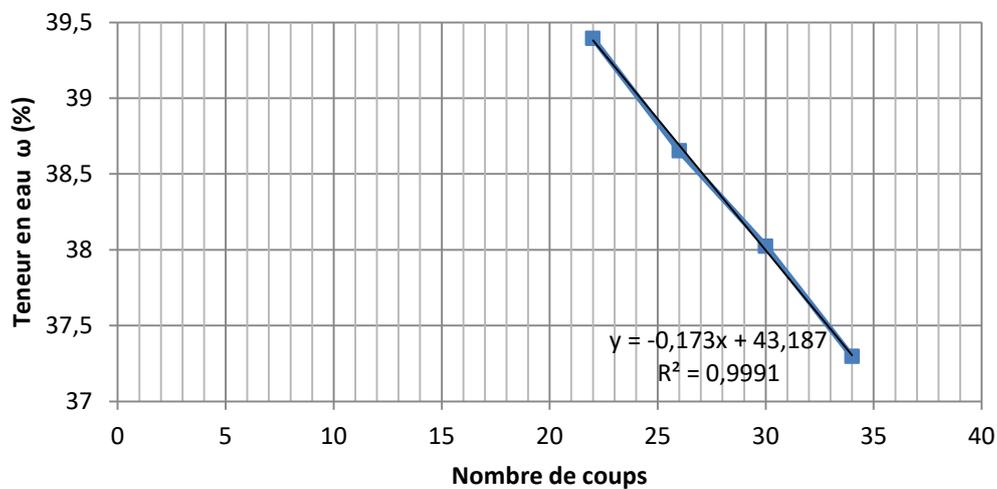


Perméamètre

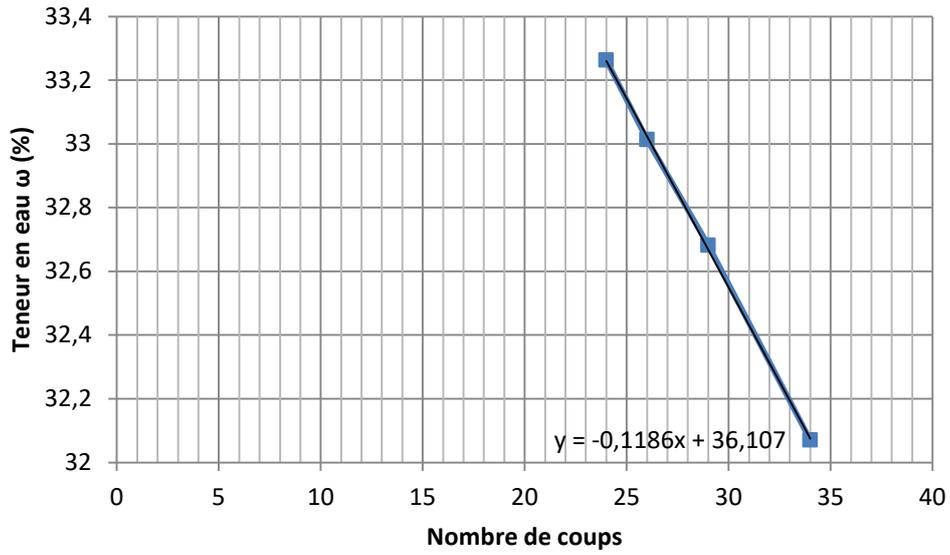
Résultats de l'essai de la teneur en eau

Numéro échantillon	Echantillon 1	Echantillon 2	Echantillon 3	Echantillon 4
Masse tare (g)	105,7	101,86	106,2	97,4
Masse tare + matériaux humides (g)	897,98	1019,116	882,18	608,56
Masse tare + matériaux secs (g)	850,61	978,8	841,28	556,42
Masse de l'eau (g)	47,37	40,316	40,9	52,14
Masse matériaux secs (g)	744,91	876,94	735,08	459,02
Teneur en eau (g)	6,36	4,6	5,56	11,36

Echantillon 1



Echantillon 2



Echantillon 3

