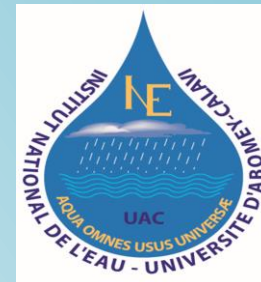


UNIVERSITE D'ABOMEY-CALAVI
=====

INSTITUT NATIONAL DE L'EAU

=====



DEPARTEMENT D'HYDROLOGIE ET GESTION INTEGREE DES
RESSOURCES EN EAU

Mémoire de fin de formation présenté par

TCHANDO Nahini Félix

Pour l'obtention du diplôme de

Master Professionnel en Hydrologie

OPTION : GEOHYDROLOGIE

=====

**CARACTERISATION HYDROGEOLOGIQUE DE
L'AQUIFERE DU CONTINENTAL TERMINAL DU
BASSIN SEDIMENTAIRE COTIER AU BENIN
PAR LA METHODE DE DIAGRAPHIE.**

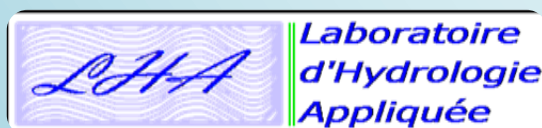
=====

Superviseur :

Prof. YALO Nicaise

Maîtres de Mémoire :

Dr Nesny AKOKPONHOUE



PROMOTION : 2021-2023

DÉDICACE

Je dédie le présent travail à mes parents.

Trouvez ici l'un des fruits de vos efforts et sacrifices consentis, et qui ont permis l'aboutissement de ce travail.

Puisse Dieu le tout miséricordieux vous comble de ses grâces.

REMERCIEMENTS

L'aboutissement de ce travail a été rendu possible grâce à la contribution et l'apport de plusieurs personnes à qui je voudrais témoigner ma profonde gratitude.

Je voudrais commencer par mes encadrateurs qui de par leur disponibilité, leur patience et surtout leur encouragement ont favorisé l'aboutissement de ces travaux.

- Dr Nesny AKOKPONHOUE, enseignant chercheur à l'Institut National de l'Eau (INE) de l'Université d'Abomey-Calavi (UAC), qui a beaucoup contribué à la réalisation de ce travail en tant que maître mémoire. Recevez ici ma profonde et sincère gratitude pour l'opportunité que vous me faites de m'initier à la recherche scientifique ;
- Prof. YALO Nicaise ; professeur titulaire à l'Université d'Abomey-Calavi (UAC), qui a suivi le travail réalisé apportant son savoir en tant que superviseur.
- Dr Bertrand AKOKPONHOUE, enseignant chercheur à l'Institut National de l'Eau (INE) de l'Université d'Abomey-Calavi (UAC),
- Au professeur Abdoukarim ALASSANE, pour vos conseils et orientations, votre disponibilité et vos précieuses contributions pour la bonne gestion des formations au Département d'Hydrologie et Gestion des Ressources en Eau (DHGRE) ;
- À mes camarades étudiants de ma promotion pour tous les inoubliables moments de labeur et d'amitié passés durant le cycle de Master à l'INE ;
- À toutes mes sœurs, frères, cousins et cousines, amis et camarades. Merci pour le soutien ;
- À toute la famille BANKOLE. Merci pour tout, puisse le tout puissant vous combler de toutes ses grâces et de toute sa bonté ;
- Au professeur Daouda MAMA, Directeur de l'Institut National de l'Eau (INE) pour la gestion des formations à l'INE ;
- Aux membres du jury pour avoir accepté de juger notre travail.

Puisse Dieu, le très miséricordieux nous couvrir de sa grâce et nous conduire dans la droiture

RÉSUMÉ

Le Bassin Sédimentaire côtier au Bénin est une région d'importance stratégique en termes de ressources en eau souterraine. L'aquifère du Continental Terminal qui s'y trouve joue un rôle essentiel dans l'approvisionnement en eau potable, l'irrigation agricole et diverses activités industrielles. Cependant, pour une gestion efficace et durable de cette ressource vitale, une caractérisation hydrogéologique approfondie est nécessaire. La méthode de diagraphe, également connue sous le nom de diagraphe géophysique, est une approche précieuse pour caractériser les propriétés hydrogéologiques des formations géologiques souterraines. L'objectif principal du travail est de réaliser une caractérisation hydrogéologique complète de l'aquifère du Continental Terminal du Bassin Sédimentaire côtier au Bénin (BSC) en utilisant la méthode de diagraphe. Pour atteindre cet objectif, nous avons effectué une description de la lithologie et de la stratigraphie puis nous avons identifié les différentes venues d'eau pour le positionnement des crépines et enfin nous avons effectué un calcul du taux d'argile dans l'aquifère du Continental Terminal. Au total, nous avons suivi 08 forages. En se basant sur les données de logs de diagraphe, de potentiel spontané et de vitesse réalisée, on a réussi à établir une lithologie de chaque forage. En prenant l'exemple de Tori-Cada on note que la lithologie présentée par les informations de diagraphe sont similaires à celles qui sont présentées par les échantillons récupérés sur le terrain. Le nombre de couches de sable au niveau de tous les forages varie entre 05 et 12 couches, celles des argiles variant entre 02 et 06 couches. En prenant en compte les couches de sable, on a réussi à déterminer les venues d'eau et ainsi avoir une précision sur les couches susceptibles d'être captées et ainsi proposer un équipement de chaque forage. 19 venues d'eau en prenant bien sûr en compte tous les forages ont été détectés avec une lithologie variant de sable fin, sable moyen, sable grossier et sable fin à moyen. Les forages réalisés ont des profondeurs qui varient entre 120 et 150 m. L'épaisseur au niveau des couches aquifères varie entre 11 et 24 m. À partir des courbes de diagraphe du potentiel spontané, on a réussi à déterminer le pourcentage d'argile. De ces résultats, on note que le pourcentage d'argile dans l'aquifère a un lien direct avec la porosité et la perméabilité, qui sont des paramètres clés en hydrogéologie. Le pourcentage d'argile au niveau des différents forages effectués varie entre 58.82 % et 75.86 %, soit une moyenne de 67.08 %.

Mots clés : bassin sédimentaire, Diagraphie, aquifère, potentiel spontané, lithologie

ABSTRACT

The Coastal Sedimentary Basin in Benin is a region of strategic importance in terms of groundwater resources. The Continental Terminal aquifer there plays an essential role in drinking water supply, agricultural irrigation and various industrial activities. However, for efficient and sustainable management of this vital resource, in-depth hydrogeological characterization is required. The logging method, also known as geophysical logging, is a valuable approach for characterizing the hydrogeological properties of underground geological formations. The main objective of the work is to carry out a complete hydrogeological characterization of the Continental Terminal aquifer of the Coastal Sedimentary Basin in Benin using the logging method. To achieve this objective, we first described the lithology and stratigraphy, then identified the various water inflows to position the well screens, and finally calculated the clay content of the Continental Terminal aquifer. In all, 08 boreholes were drilled. Based on log data from spontaneous potential and velocity logging, we were able to establish a lithology for each borehole. Taking Tori-Cada as an example, the lithology presented by the logging information is similar to that presented by the samples recovered in the field. The number of sand layers in all boreholes varies between 05 and 12 layers, while clay layers vary between 02 and 06 layers. By taking the sand layers into account, we were able to determine the water inflows and thus obtain a precise idea of the layers likely to be tapped, and thus propose the equipment for each borehole. Taking into account all the boreholes, 19 water occurrences were detected, with lithologies ranging from fine sand, medium sand, coarse sand and fine to medium sand. Boreholes were drilled to depths of between 120 and 150 m. The thickness of the aquifer layers varies between 11 and 24 m. From the spontaneous potential logging curves, we were able to determine the percentage of clay. These results show that the percentage of clay in the aquifer is directly related to porosity and permeability, which are key parameters in hydrogeology. The percentage of clay in the various boreholes varies from 58.82% to 75.86%, with an average of 67.08%.

Key words: Sedimentary basin, logging, aquifer, spontaneous potential, lithology

SIGLES ET ACRONYMES :

CBL: Cement Bond Log

GR: Gamma Ray

INE : Institut National de l'Eau

LWD: logging while drilling

LWL: wire line logging

MDT : Modular Dynamic Test

PS : potentiel Spontané

Rmf : Résistivité du filtra

R_w : Résistivité d'eau d'imbibition

V_{sh} : volume d'argile

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Carte de la zone d'étude. (Base Bénin UTM)	8
Figure 2: Colonne stratigraphique généralisée du bassin côtier onshore (Breda, 1987).....	12
Figure 3: Coupe hydrogéologique du Bassin Sédimentaire côtier du Bénin (M Boukari).....	13
Figure 4: Schéma de principe de mesure de la P.S. (Riadh AHMADI).....	25
Figure 5: Log de diagraphie PS de Tori-Cada.....	35
Figure 6: Coupe de forage de TORI-CADA	39
Figure 7: Interface du logiciel Gesfor.	56
Figure 8: COUPE TECHNIQUE DU FORAGE DE AZOWLISSE.....	57
Figure 9: COUPE TECHNIQUE DU FORAGE ATTOGON	58
Figure 10: COUPE TECHNIQUE DU FORAGE DE GBOZOUNME.....	59
Figure 11: COUPE TECHNIQUE DU FORAGE DE HOZIN	60
Figure 12: COUPE TECHNIQUE DU FORAGE DE TORI-CADA	61
Figure 13: Logs de diagraphie PS du forage de PAHOU.	66
Figure 14: Log de diagraphie PS du forage de HOZIN	70
Figure 15: Logs de diagraphie PS du forage d'AGLOGBE	75
Figure 16: Logs de diagraphie PS du forage de AZOWLISSE.....	76

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Données de la lithologie du forage de TORI-CADA	28
Tableau 2 : données de diagraphie traitées.....	29
Tableau 3: Nombre de couches identifiées dans les forages grâce aux logs SP et de sonique.....	36
Tableau 4: couches lithologiques susceptibles d'être des niveaux de couches d'eau.	37
Tableau 5: pourcentage d'argile au niveau de chaque forage.....	40

LISTE DES EQUATIONS

Équation 1: Volume D'argile.....	25
----------------------------------	----

LISTE DES PHOTOS

Photo 1: treuil	23
Photo 2 : Boîtier de commande et de digitalisation de l'équipement.....	23
Photo 3: sonde combinée.....	23
Photo 4: Système d'acquisition de l'équipement OYO.....	23

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1: PRESENTATION DE L'INTERFACE DU LOGICIEL GESFOR	56
Annexe 2: COUPE LITHOLOGIQUE DE FORAGE ET EQUIPEMENT	57
Annexe 3: COURBE DE DIAGRAPHIE DES FORAGES.....	62

INTRODUCTION

INTRODUCTION

Contexte général

Le Bénin est un pays de l'Afrique de l'Ouest situé sur la côte atlantique, caractérisé par une diversité de paysages, notamment des zones côtières, des plaines et des plateaux. La disponibilité en eau douce est cruciale pour le développement économique et social du pays, car elle est essentielle pour l'approvisionnement en eau potable, l'irrigation agricole, l'industrie et la préservation des écosystèmes aquatiques. Le Bassin Sédimentaire Côtier au Bénin est une région d'importance stratégique en termes de ressources en eau souterraine. L'aquifère du Continental Terminal qui s'y trouve joue un rôle essentiel dans l'approvisionnement en eau potable, l'irrigation agricole et diverses activités industrielles. Cependant, pour une gestion efficace et durable de cette ressource vitale, une caractérisation hydrogéologique approfondie est nécessaire. La méthode de diagraphie, également connue sous le nom de diagraphie géophysique, est une approche précieuse pour caractériser les propriétés hydrogéologiques des formations géologiques souterraines. Elle implique l'utilisation d'outils spécialisés pour mesurer divers paramètres, tels que la conductivité électrique, la porosité, la perméabilité, la résistivité et la radioactivité, à différentes profondeurs dans un forage. Ces données sont ensuite utilisées pour évaluer la composition et les propriétés de l'aquifère. Dans un premier temps, les mesures diagraphiques permettent d'identifier les principales unités lithologiques et de donner un découpage en zones lithologiquement semblables (*Cremoux et al. 1998*). Dans un deuxième temps, les mesures diagraphiques peuvent donner accès à une quantification, pour chaque unité lithologique, de la variabilité des propriétés physiques ou mécaniques mesurées. Les mesures diagraphiques constituent pourtant, de par leurs caractéristiques propres (mesure intégrant un volume de sol de plusieurs décimètres cube, une densité d'échantillonnage importante le long du forage et une rapidité d'exécution) une source d'information intéressante pour une connaissance plus précise des propriétés physiques et mécaniques des sols et des roches (Serra 1985 ; Chapellier 1987). Pratiquement, les renseignements que l'on peut tirer des diagraphies peuvent s'appliquer à trois domaines qui se recouvrent partiellement :

- Caractérisation des aquifères
- Caractérisation du fluide

- Exécution du forage (Bourgeois 1976)

Objectifs du mémoire

1.1 Objectif général

Ces différentes échelles d'information ne peuvent être atteintes qu'au prix d'un traitement particulier des mesures diagraphiques dont l'objectif principal du travail sera donc de réaliser une caractérisation hydrogéologique complète de l'aquifère du Continental Terminal du Bassin sédimentaire côtier au Bénin en utilisant la méthode de diagraphie. À travers cette méthodologie avancée, nous visons à obtenir des informations détaillées sur la lithologie, la porosité, la perméabilité et d'autres paramètres hydrogéologiques clés de l'aquifère, afin de mieux comprendre sa capacité de stockage et de transfert d'eau.

1.2 Objectifs spécifiques

Pour atteindre cet objectif général, nous avons défini les objectifs spécifiques suivants

- **Décrire la lithologie et la stratigraphie :**

Nous chercherons à caractériser la distribution verticale des différentes formations géologiques dans l'aquifère en utilisant les données de diagraphie. Cela nous permettra de mieux comprendre les variations lithologiques et leur impact sur les propriétés hydrogéologiques.

- **Identifier les venues d'eau pour le positionnement des crépines :**

- ✓ Identification des niveaux d'eau et des zones de captation : Utiliser les données de diagraphie pour identifier les niveaux d'eau souterraine dans chaque forage et délimiter les zones de captation en fonction des propriétés hydrogéologiques des formations géologiques.
- ✓ Analyse du positionnement des crépines : Analyser les données de diagraphie pour évaluer si les crépines sont positionnées aux niveaux optimaux pour la captation de l'eau. Comparer les positions des crépines avec les niveaux d'eau identifiés et les caractéristiques géologiques pour déterminer si des ajustements sont nécessaires.

- **Calculer le taux d'argilosité dans l'aquifère du Continental Terminal.**

Nous procéderons au calcul du pourcentage d'argile dans chaque forage à partir des diagraphies établies. En réalisant ces objectifs spécifiques, cette étude vise à contribuer de manière significative

à la connaissance de l'aquifère du Continental Terminal du Bassin sédimentaire côtier au Bénin. Les résultats obtenus auront des implications majeures pour la gestion durable de cette ressource vitale en eau souterraine, en fournissant des informations cruciales pour la prise de décisions éclairées et la mise en œuvre de politiques adaptées.

Hypothèses

Hypothèse 1 : Les variations lithologiques influencent la distribution spatiale de la porosité et de la perméabilité au sein de l'aquifère. Nous supposons que différentes couches géologiques présentent des caractéristiques hydrogéologiques distinctes, ayant un impact significatif sur la capacité de stockage et les débits d'écoulement d'eau souterraine.

Hypothèse 2 : L'état de l'équipement de forage utilisé pour la collecte de données de diagraphe a un impact significatif sur la qualité et la fiabilité des données obtenues. Les équipements de forage bien entretenus et en bon état de fonctionnement produiront des données de diagraphe plus précises et cohérentes, tandis que des équipements défectueux ou usés entraîneront des données moins fiables et potentiellement biaisées.

Hypothèse 3 : Nous postulons que les variations du pourcentage d'argile dans l'aquifère du Continental Terminal sont indicatives des changements dans la qualité de l'eau souterraine. Nous présumons que les zones à forte teneur en argile peuvent être associées à une augmentation des contaminants, ce qui pourrait avoir des implications pour la qualité de l'eau potable.

Limites de l'étude

Notre travail abordera plusieurs aspects pour apporter un éclaircissement plus précis en fonction de nos objectifs. Mais malgré ces éclaircissements, il est important de savoir que notre travail peut avoir des limites ou des points non pris en compte.

- L'étude pourrait être limitée à certaines profondeurs, en se concentrant uniquement sur les couches accessibles par les forages réalisés. Des informations sur les couches géologiques plus profondes pourraient manquer, limitant ainsi la compréhension complète de l'aquifère dans son ensemble.

- Les changements hydrogéologiques sur de très longues périodes, y compris les variations climatiques ou les influences anthropiques sur plusieurs décennies, pourraient ne pas être entièrement représentés.
- Les diagraphies sont souvent limitées à des points spécifiques.
- Bien que l'étude ait abordé la présence d'argile comme indicateur de la qualité de l'eau, une analyse détaillée des contaminants spécifiques, tels que les métaux lourds ou les produits chimiques industriels, aurait pu être nécessaire pour évaluer complètement la sécurité de l'eau potable.

Il existe plusieurs autres limites qui pourraient être abordées pour enrichir ce travail avec le temps.

Résultats attendus de l'étude et bénéficiaires.

Au niveau de notre travail,

- La lithologie et la stratigraphie de l'aquifère du Continental Terminal seront évaluées en détail, permettant ainsi une compréhension approfondie de la composition géologique de la région étudiée.
- L'efficacité de l'équipement de forage utilisé pour collecter les données de diagraphies sera évaluée.
- La variabilité du contenu en argile dans l'aquifère sera analysée en profondeur. Les zones à forte teneur en argile serviront d'indicateurs de la qualité de l'eau souterraine.

Les participants à l'étude comprennent les géologues, les hydrogéologues, les ingénieurs de forage et les géophysiciens. Les bénéficiaires de l'étude incluent les autorités locales, les gestionnaires des ressources en eau, les décideurs politiques, les ONG environnementales et les communautés locales dépendantes de l'eau souterraine dans la région étudiée.

Nouveauté de l'étude

Les nouveautés de l'étude résident dans plusieurs aspects novateurs :

- L'étude intègre de manière exhaustive les diagraphies de potentiel spontanée et de vitesse, offrant ainsi une vue complète des caractéristiques hydrogéologiques de l'aquifère. L'intégration de ces données permet une analyse approfondie des propriétés lithologiques.
- Une attention particulière est accordée à l'évaluation de la fiabilité des données en lien avec l'état de l'équipement de forage. Cette analyse approfondie de la fiabilité des données est une caractéristique nouvelle de l'étude.

- L'étude met l'accent sur l'identification des zones à forte teneur en argile en tant qu'indicateurs potentiels de la qualité de l'eau souterraine. Cette approche novatrice offre des perspectives importantes pour l'évaluation de la potabilité de l'eau.

Grandes divisions du mémoire

Ce document s'articule autour de trois (3) chapitres : Le premier chapitre est consacré à l'approche méthodologique et la présentation du milieu d'étude. Le deuxième chapitre concerne les données, matériel et méthodes utilisés pour atteindre nos objectifs. Le troisième chapitre enfin, est consacré aux résultats et à la discussion.

CHAPITRE I : MILIEU D'ETUDE

Chapitre 1 : Milieu d'étude

1.1 Introduction

Le chapitre 1 de ce travail se concentre sur le milieu d'étude, fournissant un aperçu approfondi de la région géographique où se déroule cette étude de caractérisation hydrogéologique. Dans ce chapitre, nous explorerons les caractéristiques géographiques de la région, y compris sa localisation précise, ses frontières géologiques, sa pédologie son climat, sa géomorphologie et son relief.

1.2 Localisation de la zone d'étude et présentation du BSC.

Notre zone d'étude prend en compte les départements de l'Atlantique et de l'Ouémé. Ses deux départements se retrouvent sur le bassin sédimentaire côtier.

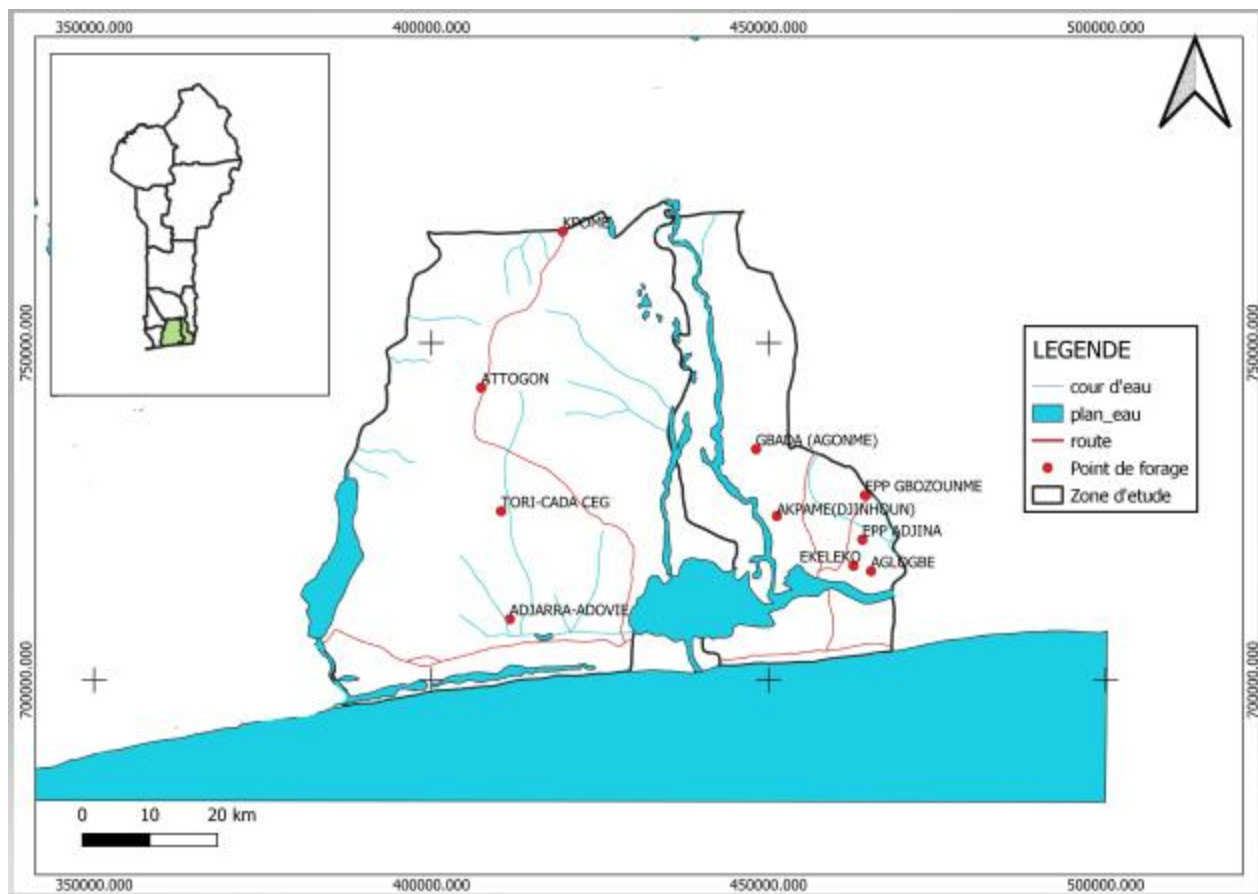


Figure 1: Carte de la zone d'étude. (Base bénin UTM)

Présentation du bassin sédimentaire côtier

Le sud du Bénin est constituée par le Bassin sédimentaire côtier. Il s'étend du Togo au Nigéria. Au sud il est encadré par l'Océan Atlantique, au nord par le socle cristallin du précambrien. Le bassin sédimentaire côtier du Bénin est situé entre les parallèles 3°00 ' et 7°30' de latitude Nord et les méridiens 1°55' et 3°00' de longitude Est. Il est subdivisé en deux parties, l'une onshore et l'autre offshore.

Les éléments dominant du Bassin côtier sont les sept principaux plateaux. Ils sont séparés par de grands fleuves ; tels que le Mono qui forme la limite occidentale, le Couffo, l'Ouémé et dans la partie nord le fleuve Zou qui intersectent les plateaux du Nord au Sud. Dans la direction est-ouest les plateaux sont séparés par la dépression centrale. Ils relâchent doucement de leur frange nordique (160 m NN) au sud (20-40 m NN) où ils sont encadrés par un ancien littoral érosif et un niveau de ceinture littorale de 4-10 kilomètres suivant la ligne de côte. Les pentes moyennes de 4 - 8% encerclent les plateaux et les séparent de la dépression centrale, des vallées et de la ceinture littorale. Il comprend quatre plateaux septentrionaux d'âge Crétacé supérieur (Turonien-Coniacien) et trois plateaux méridionaux d'âge Tertiaire à Quaternaire (Yalo, 2013).

1.3 Géologie du bassin sédimentaire

Le BSC du Bénin est caractérisé par des formations sédimentaires déposées en strates monoclinaux avec un pendage de 2° à 7° vers le sud. Le Bassin Sédimentaire Côtier du sud du Bénin est principalement constitué de formations géologiques sédimentaires. Ces sédiments se sont déposés au fil du temps, en particulier pendant les périodes géologiques du Crétacé et du Tertiaire. Les sédiments comprennent des argiles, des grès, des calcaires, des marnes et des formations détritiques. Les formations du Crétacé supérieur affleurent au Nord du bassin et forment en grande partie les plateaux septentrionaux. On y distingue les formations du Turonien-Coniacien (constituées de sables quartzeux et de galets) et du Maestrichtien (sableuses à la base puis argilo-marneuses au sommet). Le Paléocène et l'Eocène moyen, sont essentiellement représentés par des argiles et des marnes, parfois par des calcaires qui affleurent par endroits dans la dépression de la Lama. Le « Continental Terminal », sableux et sablo-argileux, daté du Miocène supérieur au Pléistocène, recouvre les plateaux du Sud. Cette formation est par endroits recouverte par de la

terre de barre d'âge Quaternaire ancien (Pléistocène). Le quaternaire récent (holocène) y est essentiellement représenté par des formations sableuses qui constituent les cordons sableux du littoral, ainsi que par des vases et alluvions présentes au niveau des vallées de cours d'eau et des fleuves. (Yalo, 2013). Selon OBEMINES (1989), les unités suivantes peuvent être trouvées :

Unité I : Turonien - Coniacien, TC. Une couche de 50 à 150 m (à l'exposition) de sable de quartz et grès a été corrélée à la séquence post-rift off-shore de grès de Turonien recouvrant directement le socle cristallin. De ce fait, un âge de 90 millions d'années lui a été attribué. Le dépôt a eu lieu dans un environnement côtier. Cette unité forme la limite nord des plateaux.

Unité IIa : Maastrichtien, Ma. La majeure partie des plateaux du nord est couverte de dépôts de cette unité. Elle a formé dans un environnement secondaire-littoral avec une base de type de l'île de barrière, due à une transgression rapide. La lithologie est constituée du sable fin de quartz avec le gris kaolinifère aux argiles verdâtres. L'épaisseur des sédiments est variable avec un maximum de 180 m.

Unité IIb : paléocènes inférieurs, Pim L'unité IIb est séparée de IIa par une - coupe condensée glauconieuse-oolithique due à la baisse du niveau de la mer à la transition du Maastrichtien au Paléocène. Cette unité a formé dans les mêmes conditions et avec la même lithologie que l'unité IIa. Elle couvre la partie nord de la dépression centrale. L'épaisseur est très constante avec approximativement 50 m.

Unité III (Paléocène supérieur - Yprésien), Ps Le centre de la dépression centrale est couvert principalement par des sédiments de cette unité. Il a été subdivisé à cause d'une couche glauconieuse qui correspond au maximum du niveau marin à la transition du Paléocène à l'Eocène. Déposé dans un environnement sublittoral externe l'unité IIIa (Paléocène Supérieur) est constituée par des argiles et la marne gris-foncé. La teneur en attapulgite et en kaolinite est variable. La teneur la plus élevée d'attapulgite se retrouve à la base. L'unité IIIb (Yprésien) se compose des argiles verdâtres, dominées par l'attapulgite. Des couches calcaires et phosphatées apparaissent fréquemment. Les conditions de formation étaient les mêmes que pour l'unité IIIa, seulement l'anoxie paraît dans ces cas moins accentués. L'unité III a une épaisseur maximum de 155 m.

Unité IV : Eocène moyen, Em La partie sud de la dépression centrale est couverte de sédiments de l'Eocène moyen avec une épaisseur maximum de 170 m. Elle est constituée des argiles gris-vert à attapulgite avec des couches peu profondes de wackestones bio-clastiques. Les couches de

commandes interactif et les lits sablo-silteux indiquent une formation secondaire -littoral plus interne. Occupe la partie Sud de la dépression de la Lama et rejoint les premières pentes des plateaux méridionaux. Elle est datée de l'Eocène moyen (Lutétien et Bartonien).

Unité V (Miocène inférieur) n'affleure pas. Elle a été étudiée par sondage à l'extrémité méridionale du Bassin Sédimentaire Côtier dans la localité Pahou à l'ouest de Ouidah.

Unité VI (Miocène supérieur) se rencontre sur les plateaux méridionaux du Bassin Sédimentaire Côtier avec une épaisseur maximale mesurée sur la verticale de Pahou d'environ 120 m. Cette unité représente en outre le terme inférieur du Continental Terminal (Slansky, 1962). D'une faible épaisseur (quelques mètres environ)

Unité VII (Pliocène – Pléistocène) est présente dans les parties méridionales des plateaux d'Allada, Sakété et dans les vallées des grands fleuves. L'unité VII est strictement rapportable au terme supérieur du Continental Terminal (Slansky, 1962 ; Houessou et Lang, 1978). Pendant cette période seulement les dépôts fluviatiles peu profonds peuvent être détectés dans diverses parties de la zone, principalement aux limites méridionales des plateaux et sont orientés vers les grands systèmes de vallée. Ils contiennent des dépôts graveleux et du sable argileux.

Unité VIII : (Quaternaires) Des dépôts quaternaires se retrouvent à la ceinture côtière et dans les systèmes de fleuve. Ils peuvent avoir des profondeurs considérables, par exemple jusqu'à 100 m dans la vallée de l'Ouémé. Le bas niveau de la mer pendant la période glaciaire a été lié aux vallées profondément incisées qui ont été remplies avec les dépôts sableux et argileux de l'holocène. La ceinture côtière a été formée sous l'influence de plusieurs changements du niveau de la mer. Pendant la transgression de l'Inchirien une montée du niveau de la mer a formé une côte de falaise dans le Miocène Supérieur. Les cycles de la montée et de l'ensemble du niveau de la mer pendant la période glaciaire ont formé une côte avec des îles de barrière de différents âges, des vallées de lagune et des marées de dépôts sableux. La figure ci-dessous nous présente une généralisation de la colonne stratigraphique du Bassin côtier onshore.

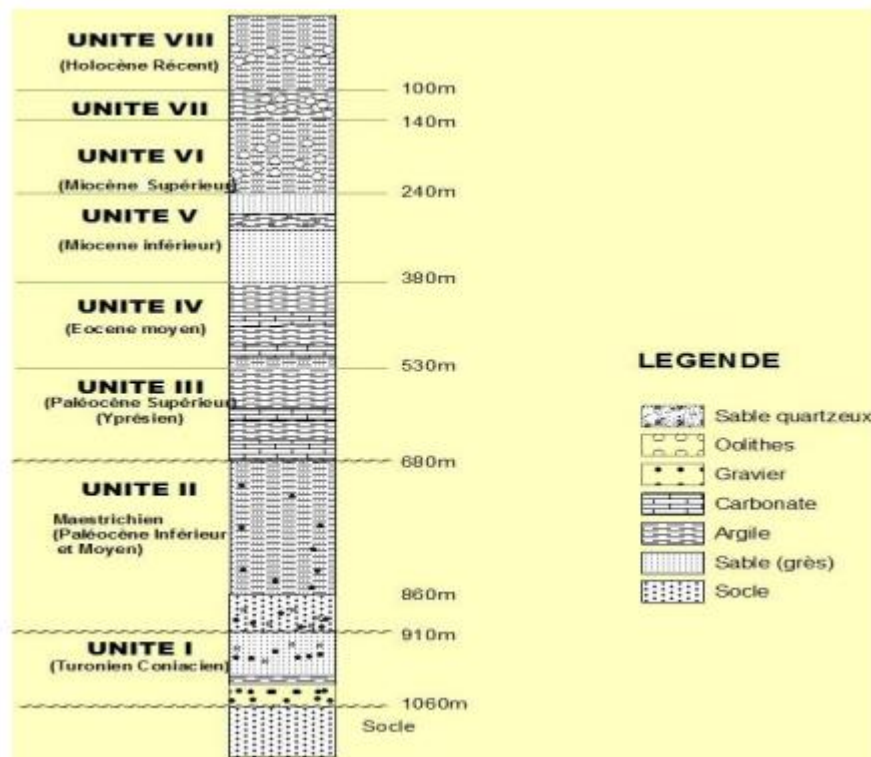


Figure 2: Colonne stratigraphique généralisée du bassin côtier onshore (BREDA, 1987)

1.4 Hydrogéologie

Le bassin sédimentaire côtier du Bénin est un bassin qui comporte 4 aquifères séparés par des formations argileuses ou marneuses. Il s'agit de :

L'aquifère du Continental Terminal (Unité V à VII) a une nappe libre qui est d'une grande puissance

L'aquifère du Crétacé Supérieur (Unité I) a une nappe captive qui dispose d'une grande puissance

L'aquifère du Quaternaire (Unité VIII)

L'aquifère du Paléocène Inférieur (Unité IIb).

La figure suivante illustre la coupe hydrogéologique générale du Bassin Sédimentaire Côtier du Bénin, offrant une représentation visuelle des caractéristiques hydrogéologiques clés de la zone d'étude.

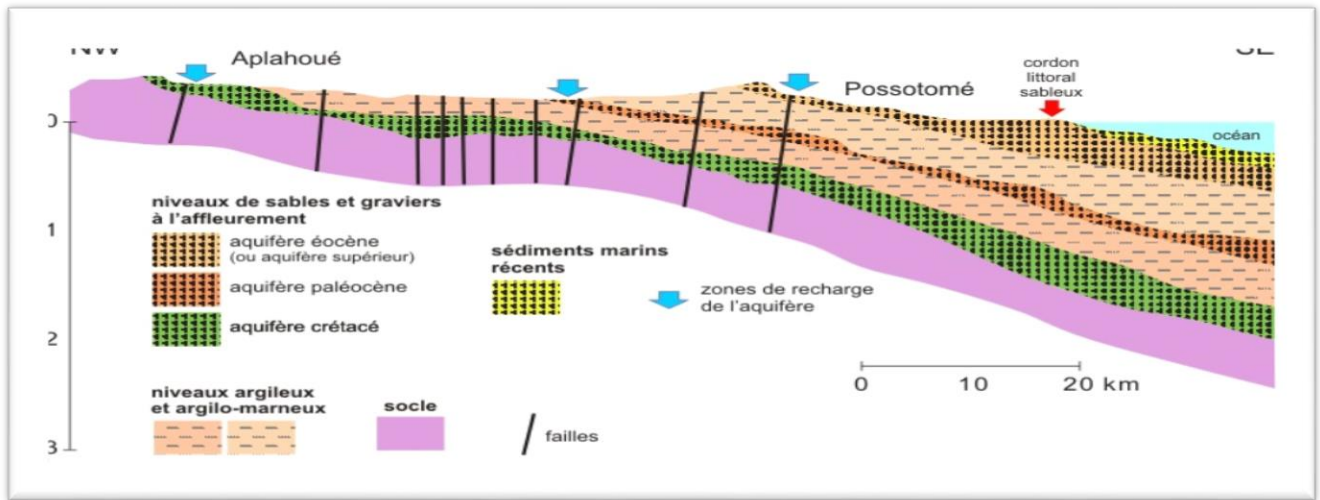


Figure 3: Coupe hydrogéologique du Bassin Sédimentaire côtier du BENIN (M Boukari)

- **Aquifère du Quaternaire**

L'aquifère du Quaternaire du bassin sédimentaire côtier du Bénin est composé de sédiments déposés au cours de la période quaternaire, ce qui inclut des dépôts alluviaux, des sables, des argiles et des limons. Cet aquifère s'étend sur une grande partie de la côte du Bénin, s'étirant le long du golfe de Guinée. Il est une source d'eau importante pour les zones urbaines et rurales. L'aquifère du Quaternaire contient plusieurs nappes phréatiques, avec des niveaux d'eau variables en fonction des saisons de pluie et de sécheresse. Ces nappes phréatiques sont souvent rechargées par l'infiltration des eaux de pluie. Dans les alluvions des grandes vallées du fleuve Mono et surtout du complexe Ouémé-lac Nokoué, les nappes sont souvent en charge sous des niveaux d'argilites plus ou moins superficielles avec des phénomènes fréquents d'arthésianisme jaillissant dans la partie sud de la vallée (Ganvié, So-Tchanhoué etc.). L'épaisseur de ces alluvions diminue progressivement lorsqu'on remonte vers la mort du fleuve pour devenir insignifiants vers la bordure nord du bassin (Boukari, 2007). Les puits à grand diamètres sont plus réalisés à ce niveau à cause de l'aisance de captage sur cet aquifère. Malheureusement, la qualité des eaux captées sont souvent de mauvaise qualité chimiques et bactériologiques (Boukari, 1998) compte tenu de la proximité des systèmes individuels d'assainissement inadéquat, des eaux salées marines ou lagunaires, ainsi que la faible profondeur de la nappe.

- **Aquifère du Continental Terminal.**

L'aquifère des sables du Continental terminal se trouve dans les sédiments du Continental Terminal, qui sont des dépôts continentaux de sable, d'argile et de calcaire. Cette formation géologique est plus ancienne que les sédiments du Quaternaire. Il est un aquifère à nappe libre qui se subdivise superficiellement en trois unités hydrogéologiques correspondant aux trois plateaux méridionaux du bassin, dont celui de Allada et le plus important (Boukari, 2007). C'est une formation sablo-argileuse, post-éocène et antéquaternaire (S. ALIDOU, 1994). Il est caractérisé par des niveaux piézométrique qui s'approfondissent progressivement du Sud des plateaux vers le Nord où leurs profondeurs peuvent dépasser 60m (Boukari, 2007). Contrairement à l'aquifère du Quaternaire, qui est généralement peu profond, l'aquifère du Continental Terminal se trouve à des profondeurs plus importantes, souvent à plusieurs dizaines de mètres sous la surface.

Les puits forés dans l'aquifère du Continental Terminal ont tendance à avoir des débits plus élevés que ceux de l'aquifère du Quaternaire en raison de sa plus grande profondeur. Cela en fait une source d'eau importante pour l'approvisionnement en eau potable et l'irrigation. La qualité de l'eau dans l'aquifère peut varier, mais elle est généralement de bonne qualité pour la consommation humaine. Cependant, la qualité de l'eau peut être influencée par la géologie locale et les activités humaines.

- **Aquifère du Paléocène inférieur.**

Cet aquifère est composé de calcaires du Paléocène supérieur, qui sont des roches sédimentaires déposées il y a plusieurs millions d'années. Les calcaires sont généralement poreux et perméables, ce qui les rend adaptés au stockage et à la circulation de l'eau souterraine. Il se trouve généralement à des profondeurs plus importantes par rapport aux aquifères du Quaternaire et du Continental Terminal. Il peut être situé à plusieurs dizaines de mètres sous la surface (plus de 400m). C'est un aquifère à nappe captive sous les argilites et Marne du paléocène supérieur et de l'éocène inférieure et moyen dont l'épaisseur varie de quelques mètres à une trentaine de mètres au maximum, il est parfois affleurant ou subaffleurant à l'intérieur de la dépression de Lama, puis s'approfondit très rapidement vers le sud. (Boukari, 2007). La qualité de l'eau dans cet aquifère dépend en grande partie de la nature des calcaires. En général, l'eau est de bonne qualité pour la consommation humaine, car les calcaires ont tendance à agir comme un filtre naturel.

- **Aquifère du Crétacé Supérieur**

Cet aquifère est constitué de sables déposés au cours de la période du Crétacé supérieur, une époque géologique qui remonte à plusieurs dizaines de millions d'années. Les sables sont souvent associés à d'autres types de roches sédimentaires, tels que des argiles et des calcaires. La nappe de l'aquifère crétacé est libre au Nord de la dépression de Lama, où le Coniacien sableux affleure, et captive sous les argilites et marnes du Maastrichtien et de l'Eocène vers le Sud, où le Coniacien s'enfonce rapidement. (Boukari, 2007). Cette nappe compte tenu de sa profondeur ne peut être captée que par des forages. La qualité de l'eau dans cet aquifère dépend de la nature des sables et des roches environnantes. En général, l'eau est de bonne qualité pour la consommation humaine, mais il est important de surveiller la présence de contaminants potentiels.

1.5 Géomorphologie

La géomorphologie au sud du Bénin est caractérisée par sept plateaux séparés par de grandes rivières et la dépression de la Lama. Au nord de ces plateaux, le paysage est une large pénéplaine coupée par des inselbergs, des plateaux et des vallées étroites.

- Un domaine de plaine basse constituant une zone margino-littorale occupée par des dépressions marécageuses, des lagunes, des cordons sableux et des lacs.

Les plateaux sont formés de sédiments déposés sur le socle cristallin. Ces sédiments appartiennent au Quaternaire, Tertiaire et au Crétacé.

Le domaine de plateaux regroupe :

- Les plateaux du Nord : Ils comprennent d'Est en Ouest les plateaux de Kétou, Zagnanado, Abomey, Aplahoué. Leur altitude varie de 90 à 245 m. La bordure septentrionale de ces plateaux marque le contact avec le socle. Le sol sablo-argileux de couleur brun rouge qui recouvre ces plateaux est appelé « terre de barre ». Ce sol est parfois surmonté de formations superficielles à gravillons latéritiques qui se soudent parfois en véritables cuirasses. (N. YALO et al., 2008)
- La dépression de la Lama : Cette dépression forme une bande orientée WSW-ENE dont la largeur maximale est de 25 km. Elle est mieux marquée au Bénin qu'au Togo où elle tend à disparaître. C'est une zone assez basse où les altitudes restent comprises entre 20 et 60 m. Le sol de cette dépression est argileux.

- Les plateaux du Sud : On distingue d'Est en Ouest les plateaux de Sakété, Allada, Comé. Ils sont limités au Nord par une pente abrupte marquant le contact avec la dépression médiane. Leur altitude est plus basse que celle des plateaux du Nord et varie de 40 à 140 m.
- Les cours d'eau : Ils traversent le bassin suivant les directions voisines du Nord-Sud ou du NW-SE. Les principaux cours d'eau sont : l'Ouémé, la Sô, le Mono, le Couffo et le Zou.

La géomorphologie du sud du bassin sédimentaire côtier du Bénin est marquée par une variété de caractéristiques naturelles qui définissent son paysage. La côte sud du Bénin est bordée par de vastes plages de sable fin, notamment à Cotonou et à Grand-Popo. Ces plages s'étendent le long de la côte et sont souvent séparées de la terre ferme par des cordons littoraux, des formations de sable et de dunes qui agissent comme des barrières naturelles entre l'océan Atlantique et les lagunes intérieures.

Juste derrière les cordons littoraux, on trouve des lagunes côtières, telles que la lagune de Porto-Novo et la lagune de Cotonou. Ces lagunes sont des étendues d'eau salée ou saumâtre, séparées de l'Océan Atlantique par les cordons littoraux. Elles sont d'une grande importance écologique, abritant diverses espèces de poissons et d'oiseaux.

Les estuaires, comme celui du fleuve Mono, sont des zones où les cours d'eau se jettent dans l'océan Atlantique. Ils sont caractérisés par des eaux douces mélangées à des eaux salées, créant des écosystèmes uniques et fournissant des habitats essentiels à la faune. Bien que la côte sud soit généralement plate, on peut trouver des reliefs côtiers plus élevés à l'intérieur des terres. Ces collines et reliefs, bien que moins prononcés que dans d'autres parties du pays, contribuent à la diversité géomorphologique de la région. La géomorphologie de la région est le résultat de dépôts sédimentaires importants, principalement composés de sables, d'argiles et de limons. Ces sédiments ont été déposés au fil du temps par l'action des cours d'eau, des vagues et des courants marins. (*Attanda Mouinou Igué et Ulrich Weller*).

1.6 Pédologie

Les sols du Bassin Sédimentaire Sud du Dahomey se répartissent en quatre ensembles distincts :

- sols de plateaux,
- sols de bordure de plateaux,
- sols de la dépression de la LAMA,

- sols des vallées et de la zone littorale.

Les sols de plateaux sont caractérisés par une faible différenciation pédologique à partir d'un matériau déjà fortement évolué. Les seuls processus pédogénétiques qui s'y manifestent de façon apparente sont l'appauvrissement, le lessivage, et parfois l'hydromorphie en positions topographiques particulières. Ces sols de plateaux se divisent en plusieurs types selon les caractéristiques de leur matériau originel : sols sur sédiments meubles argilo-sableux, sols sur matériau gréseux, sols sur matériau complexe graveleux. Les sols de bordure de plateaux sont des sols de pente apparentés aux sols de plateaux ; ils constituent un complexe de sols qui groupe des sols érodés, des sols plus ou moins remaniés et colluvionnés.

Les sols de la dépression de la LAMA sont argileux, mal drainés. Ils présentent des caractéristiques particulières liées à la nature des sédiments argilo-marneux qui leur ont donné naissance. Les sols des vallées et de la zone littorale ont en commun le fait qu'ils sont formés sur des matériaux récents et qu'ils subissent un engorgement par l'eau, prolongé ; ces sols se divisent en différents types selon les caractéristiques de leur matériau originel et selon les conditions de leur engorgement. (*J. COLOMBANI et al, 1972.*)

1.7 Climat

Le bassin sédimentaire côtier du Bénin est essentiellement marqué par un climat subéquatorial caractérisé par deux saisons sèches et deux saisons des pluies. La campagne agricole débute avec la grande saison des pluies au mois de mars et prend fin en juillet. Ensuite, vient la petite saison sèche qui s'étend d'août jusqu'à la mi-septembre. Elle est suivie de la petite saison pluvieuse de mi-septembre jusqu'au début décembre. Enfin, la grande saison sèche s'étend du début décembre jusqu'au mois de mars. La partie centrale du département est formée par un plateau de terre de barre qui descend vers les vallées de l'Ouémé, du Couffo et de la dépression de la Lama. Avec deux saisons de pluie par an, cette région offre d'immenses possibilités agricoles. La pluviométrie moyenne annuelle est voisine de 1 200 mm, dont 700 à 800 mm pour la première saison pluvieuse et 400 à 500 mm pour la seconde saison des pluies. On note une diminution du niveau des précipitations du Nord vers le Sud et de l'Est vers l'Ouest. Les températures moyennes mensuelles varient entre 27 et 31 degrés centigrades. Les écarts entre le mois le plus chaud et le mois le moins chaud ne

dépassent pas 3,2 degrés dans la zone sud, alors que cette variation se situe à 3,8 degrés pour le nord.

1.8 Quelques aspects socio-économiques

La population du département de l'Ouémé est passée de 730 772 habitants dont 349 251 hommes et 381 521 femmes au RGPH-3 de 2002 à 1 100 404 habitants dont 534 814 hommes et 565 590 femmes au RGPH-4 de 2013. Le département de l'Ouémé a une densité de 859 habitants au km² contre 570 habitants au km² en 2002. Cette densité présente des disparités à l'intérieur du département passant de 177 habitants au km² dans la commune de Bonou à 5 286 habitants au km² dans celle de Porto-Novo. D'une superficie de 1 281 km², le département de l'Ouémé compte neuf (9) communes à savoir : Adjara, Akpro-Missérété, Avrankou, Adjohoun, Bonou, Dangbo, Sèmè-Kpodji, les Aguégués et Porto-novo la capitale administrative du Bénin. Ces communes sont subdivisées en 52 Arrondissements, et 405 villages et quartiers de ville. (RGPH 4, 2013)

La population du département de l'Atlantique est de 1 398 229 habitants dont 711 482 femmes. Le département de l'Atlantique a une superficie de 3233 km² et regroupe huit communes à savoir Abomey-Calavi, Allada, Kpomassè, Ouidah, Sô-Ava, Toffo, Tori-Bossito et Zè. Les activités économiques dominantes sont le commerce (32%) et l'agriculture (30%). (RGPH 4, 2013)

1.9 Conclusion partielle

En comprenant pleinement le milieu d'étude, nous pourrions mieux interpréter les données recueillies, analyser les influences environnementales sur l'aquifère du Continental Terminal et formuler des recommandations précises pour la gestion durable des ressources en eau souterraine. Ce chapitre jettera ainsi les bases nécessaires pour les chapitres ultérieurs de ce travail, offrant un cadre solide pour l'ensemble de l'étude hydrogéologique.

CHAPITRE 2 : DONNEES, MATERIEL ET METHODES

Chapitre 2 : Données, matériel et méthodes

2.1. Introduction

Les données jouent un rôle central dans toute recherche scientifique, et dans ce chapitre, nous plongerons dans l'essence même de notre étude en examinant de près les données que nous avons recueillies, nous détaillerons la nature et l'origine de nos données. Nous expliquerons également en détail le matériel et les équipements que nous avons déployés sur le terrain pour collecter ces données cruciales. Comprendre les outils que nous avons utilisés est essentiel pour évaluer la qualité et la fiabilité de nos résultats.

2.2. Données et Matériel

La méthodologie adoptée pour la réalisation de ce travail conformément aux objectifs spécifiques comprend les étapes suivantes :

- ✚ Identisation des données utilisées ;
- ✚ Matériel de travail ;
- ✚ Méthodologie de travail.

2.2.1. Données utilisées

Les données utilisées dans ce travail concernent les **données de diagraphe**, ce sont les données brutes obtenues à partir des outils de diagraphe déployés dans les puits. Ces données comprendront des mesures de résistivité électrique, de densité neutronique, de porosité neutronique, de vitesse sismique, etc.

2.3. Logiciel de traitement

Le matériel utilisé au cours de ce travail est constitué des logiciels et programmes tels que :

- ✚ Microsoft Word 2013 pour la rédaction du mémoire ;
- ✚ Microsoft Excel 2013 pour l'analyse des données ;
- ✚ **ArcGIS** : Utilisé pour la création de cartes géospaciales, la visualisation des données et l'analyse spatiale.

- ✚ **QGIS** : Une alternative open-source à ArcGIS, offrant des fonctionnalités de traitement géospatial et de création de cartes.
- ✚ **GESFOR** : utiliser pour la réalisation des logs lithologique et les courbes de diagraphie des forages.

2.4. Présentation de la diagraphie

Une diagraphie (anciennement dénommée un carottage électrique, et en anglais well log) consiste à mesurer, à l'aide de différentes sondes, les caractéristiques des roches traversées lors d'un forage. D'une manière générale, on appelle diagraphie tout enregistrement, en fonction de la profondeur, d'une caractéristique d'une formation géologique traversée par un sondage (géophysique des puits). On distingue 2 types de diagraphie :

- **Diagraphie instantanée ou temps réel**

Une diagraphie instantanée enregistre les caractéristiques de la formation pendant le forage (logging while drilling soit LWD). Elle s'effectue pendant la réalisation du forage. Les diagraphies instantanées peuvent enregistrer, lorsqu'elles traversent un matériau : sa porosité et sa densité ; sa perméabilité ; sa teneur en hydrocarbures et/ou en eau ; la vitesse d'avancement du trépan qui fore.

- **La diagraphie différée (LWL)**

Elle est enregistrée lors d'un arrêt ou en fin du forage. Des outils spécifiques sont descendus dans le trou de forage à l'extrémité d'un câble. Le câble assure le maintien, l'alimentation électrique, et la communication avec des instruments de surface qui commandent les opérations. Les commandes des instruments sont exclusivement informatisées et sont soit regroupées dans un camion, soit dans une cabine transportable.

Diagraphies différée (Wire Line Logging)

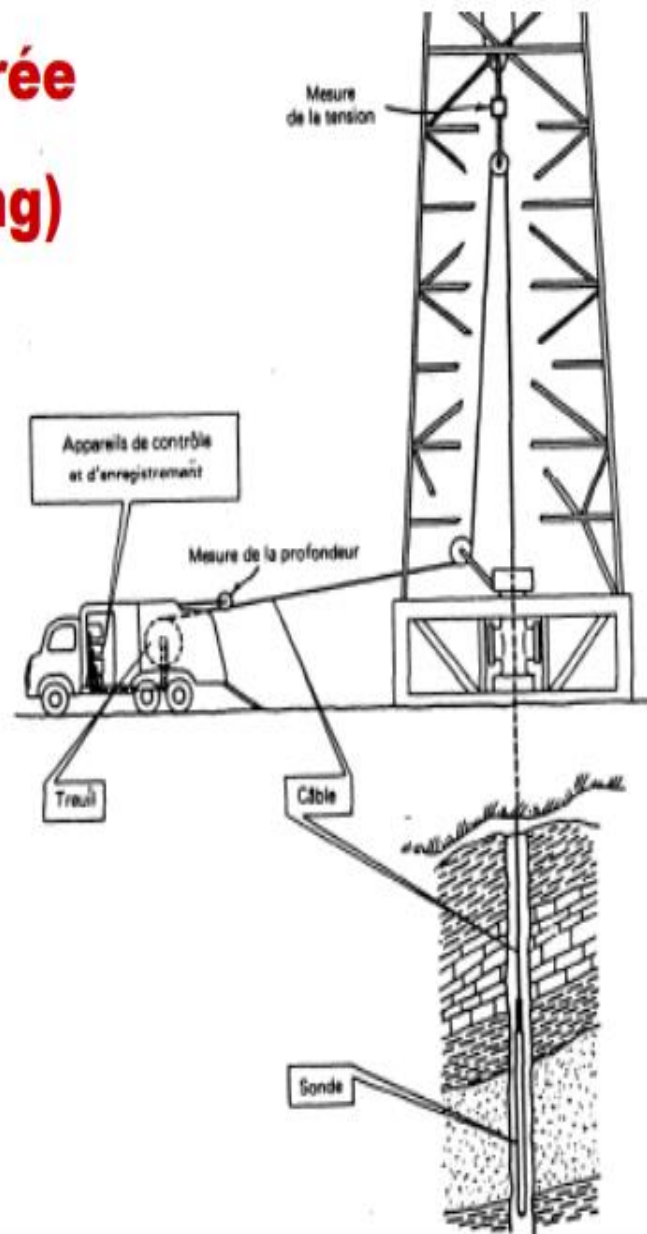


Figure 4 : équipement de diagraphie (Riadh AHMADI, 2013)

Caractérisation hydrogéologique de l'aquifère du continental terminal du bassin
sédimentaire côtier au Bénin par la méthode de diagraphie.

Equipements :

L'ensemble des équipements utilisés pour l'enregistrement des diagraphies comprend :

Un treuil volumineux et puissant sur le tambour duquel sont enroulés plusieurs mètres de câble



Photo 1: Treuil



Photo 2 : Boitier de commande et de digitalisation
de l'équipement



Photo 4: Système d'acquisition de l'équipement
OYO



Photo 3: Sonde combinée

Les diagraphies différées peuvent enregistrer, lorsqu'elles traversent un matériau : sa résistivité et son potentiel spontané ; sa radioactivité naturelle via son contenu en uranium, thorium et potassium (à différencier de celle d'éventuels traceurs radioactifs ajoutés dans la boue de forage) ; sa constante diélectrique ; la vitesse du son dans ce matériau ; la densité de la formation, sa porosité, sa perméabilité ; une estimation automatique des principaux minéraux constituant la matrice de la formation, en se basant sur les données des différents instruments ; le pendage de la formation (angle avec l'horizontale) ; la température de la boue de forage ; des paramètres géométriques, comme le diamètre du sondage ainsi que sa déviation et son azimut.

Les outils de diagraphe électrique permettent de mesurer des paramètres très nombreux. Les paramètres les plus utilisés sont :

- **La polarisation spontanée (PS) :**

La Polarisation Spontanée représente l'état de polarisation naturelle des parois du puits par les anions (-) et les cations (+) contenues dans les fluides de formation sous l'interaction avec les ions du filtrat de boue. La PS est mesurée par la différence de potentiel électrique entre une électrode de référence fixe, placée à la surface, et une électrode mobile qui parcourt la longueur du forage.

- En face des argiles les potentiels restent plus ou moins constants sur des valeurs élevées de tension. La droite qui définit cet enregistrement est appelée, ligne de base des argiles, ou « shale base line ».
- En face des bancs poreux et perméables, la courbe montre de faibles valeurs de potentiel. Lorsque ces bancs sont assez épais, il est possible de tracer une droite appelée ligne de base des sables, « sand line ».

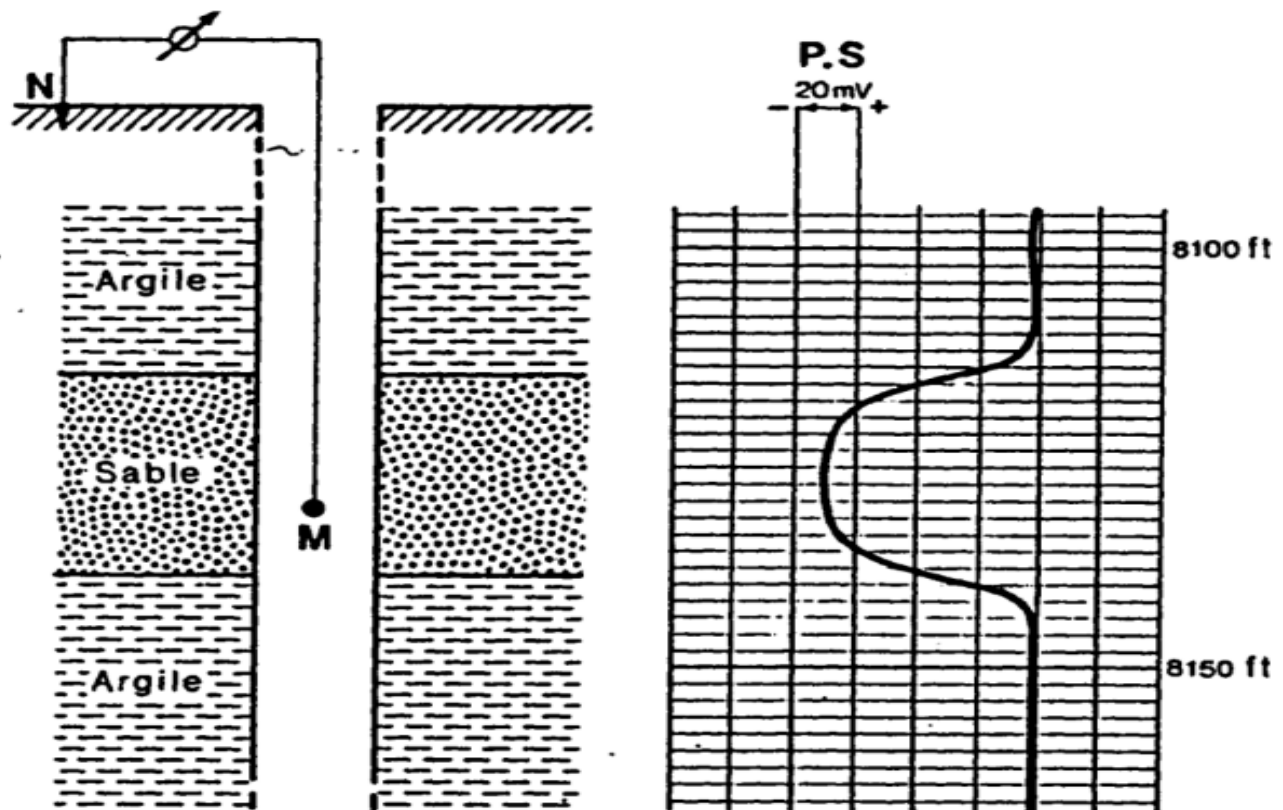


Figure 4: Schéma de principe de mesure de la P.S. (Riadh AHMADI, 2013)

Calcul du volume d'argile

Nous avons vu que l'on peut dans certaines conditions tracer sur le log P.S. la ligne de base des argiles qui correspond à un volume de 100 % d'argile. Il est aussi possible de tracer la ligne de base des sables qui représente alors 0 % d'argile. Cette particularité permet d'estimer le volume d'argile en un point donné. Le volume d'argile au point X se calcule de la façon suivante :

$$V_{sh} = (PSS - PS \text{ au point X}) / PSS \quad \text{Équation 1: Volume D'argile}$$

V_{sh} = volume d'argile en %

P.S.S. = valeur maximum de la déflexion P.S. dans l'intervalle considéré, valeur qui correspond à la ligne de base des sables.

P.S. au point X = valeur de la déflexion P.S. à la profondeur choisie.

- **Log sonique**

Le principe du log sonique repose sur la création d'une onde acoustique qui se propage dans les couches entre un émetteur et un récepteur.

Le récepteur analyse deux caractéristiques de l'onde :

Le temps de transit (entre l'émission / réception) : Δt

L'amplitude de l'onde

C'est un enregistrement des temps de transit des ondes acoustiques à travers les formations géologiques traversées par un puits de forage. Ce type de diagraphie est précieux car il permet d'évaluer la nature des roches, y compris leur compacité, leur porosité et leur perméabilité.

Lors de la diagraphie acoustique, une sonde acoustique est abaissée dans le puits de forage, émettant des signaux sonores vers les parois du puits. Ces signaux sont réfléchis par les formations géologiques environnantes et retournent vers la sonde. En mesurant le temps que mettent ces signaux pour voyager entre la sonde et les formations rocheuses, les ingénieurs peuvent calculer la vitesse des ondes acoustiques dans ces formations.

2.5. Conclusion du chapitre 2

Ce chapitre est donc le pilier méthodologique de notre recherche, fournissant un aperçu complet de la manière dont nous avons abordé notre étude. Une méthodologie solide garantit la crédibilité de nos résultats, et c'est précisément ce que nous visons à établir dans les pages qui suivent.

CHAPITRE 3 : RESULTATS ET DISCUSSION

Chapitre 3 : Résultats et discussion

3.1 Introduction

Ce chapitre nous présentera les différents résultats issus des divers traitements des données effectuées concernant l'évaluation de la lithologie et de la stratigraphie, puis ceux de l'estimation de la porosité et de la perméabilité et enfin sur l'évaluer de l'efficacité de l'équipement de forage et son impact sur la fiabilité des données de diagraphie. Ce chapitre sert de plateforme pour présenter les données que nous avons collectées, les analyses que nous avons effectuées et les conclusions que nous avons tirées de ces données.

3.2 Résultats

3.2.1 Description de la lithologie et de la stratigraphie

Grace aux données de diagraphie obtenues, nous avons pu réaliser des courbes de diagraphie de chaque forage afin de déterminer la lithologie de chaque forage. Concernant la lithologie, les diagraphies classiques qui ont été réalisées sont : log SP ou résistivité électrique (R_t), log sonique ou le log de vitesse.

Tableau 1: Données de la lithologie du forage de TORI-CADA

Lithologie du forage de TORI-CADA		
Profondeur (m)		Lithologie
0,00	10,00	Terre de barre
10,00	24,00	Argile blanchâtre sableuse
24,00	31,00	Sable rougeâtre
31,00	37,00	Sable grossier
37,00	43,00	Sable moyen
43,00	52,00	Sable grossier argileux
52,00	58,00	Argile sableuse
58,00	61,00	Sable argileux
61,00	85,00	Argile grisâtre
85,00	92,00	Sable fin

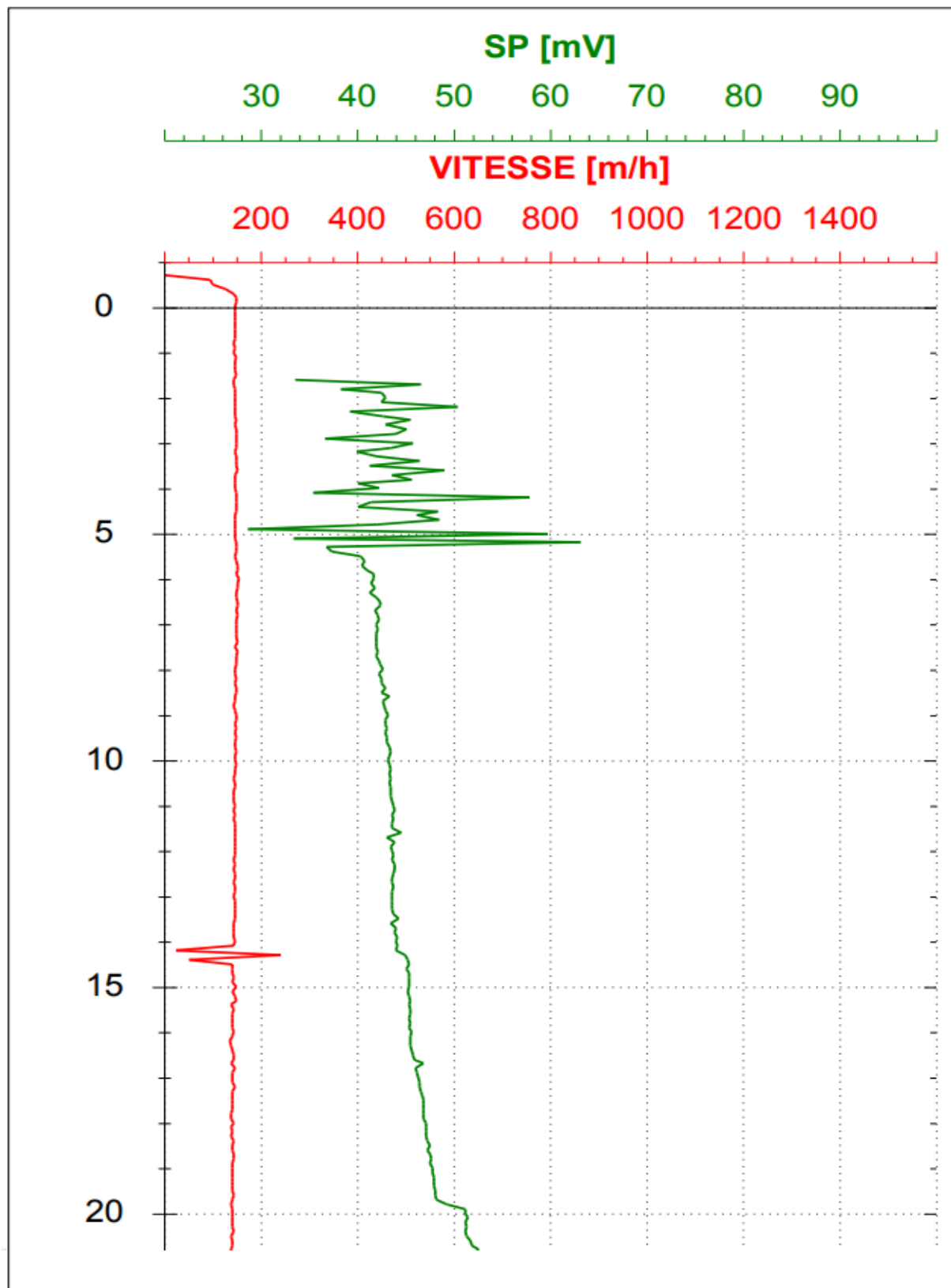
Caractérisation hydrogéologique de l'aquifère du continental terminal du bassin
sédimentaire côtier au Bénin par la méthode de diagraphie.

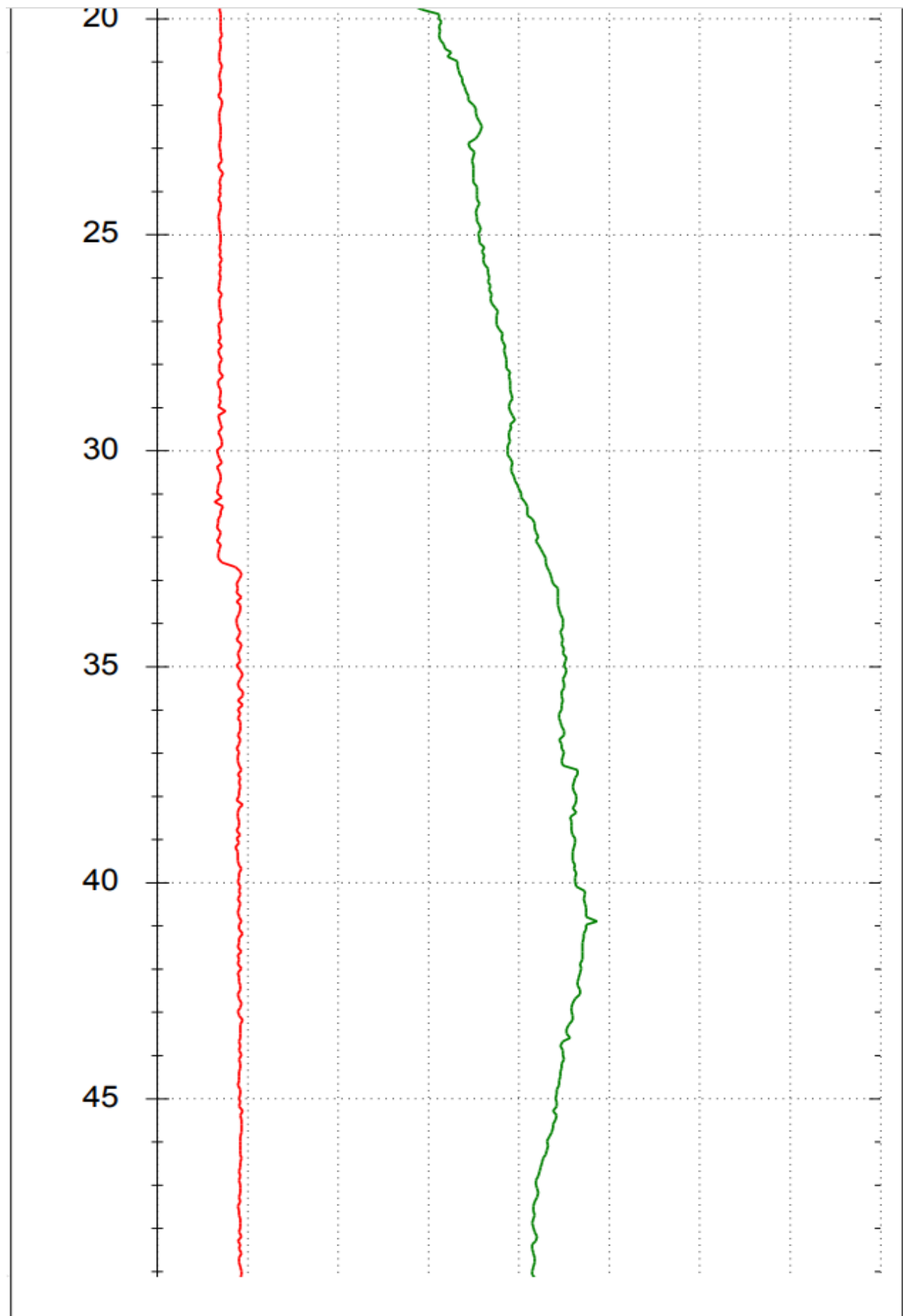
92,00	99,00	Sable moyen a fin
99,00	116,00	Sable argileux
116,00	146,00	Argile grise a passer calcaire

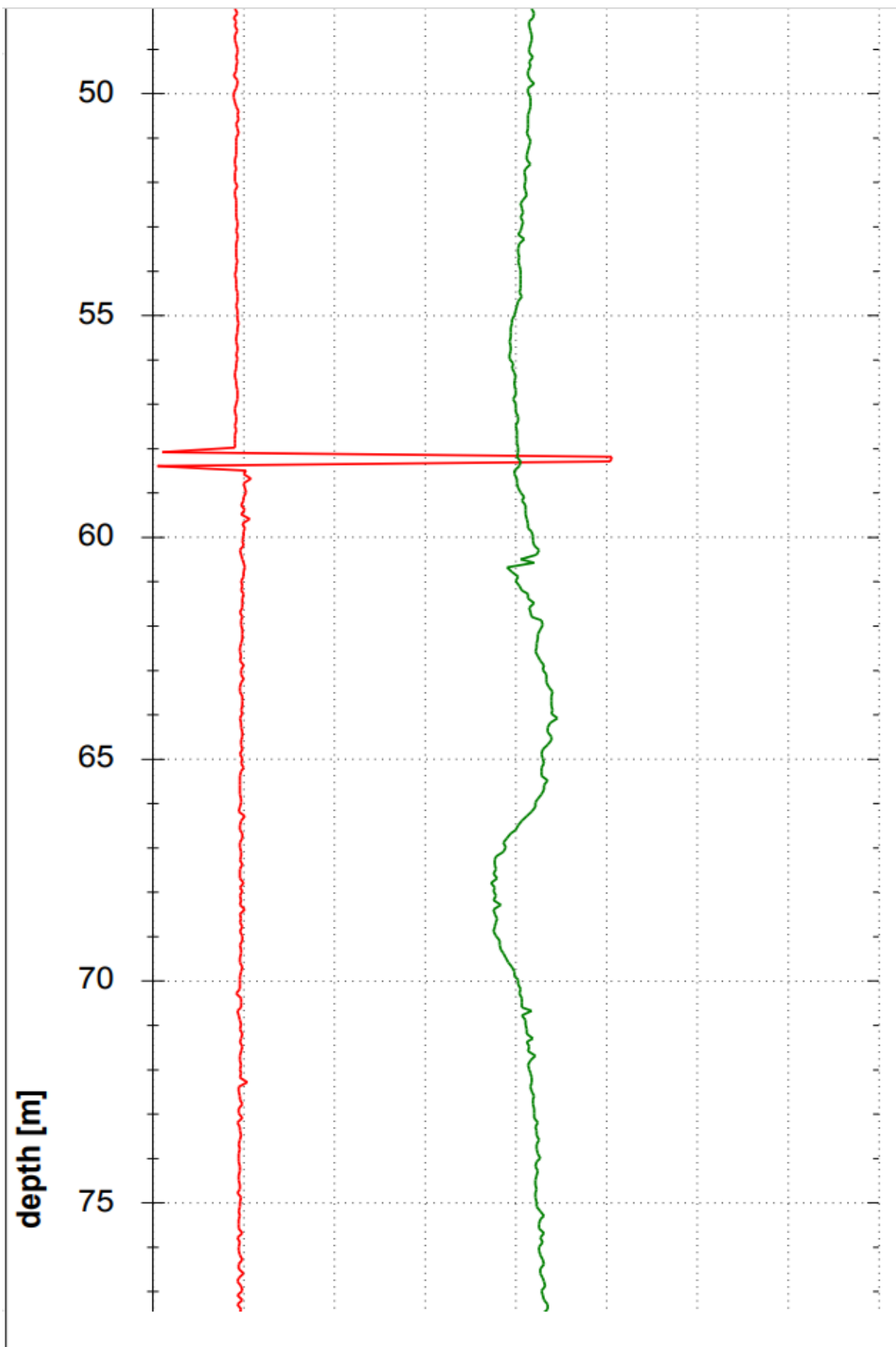
Le tableau ci-dessus présente le profil lithologique détaillé du forage de Tori-Cada en fonction des différentes profondeurs. Ces données ont été obtenues à travers l'analyse des échantillons de roches prélevés à diverses profondeurs lors du processus de forage. L'analyse lithologique fournit des informations cruciales sur la composition géologique du sous-sol.

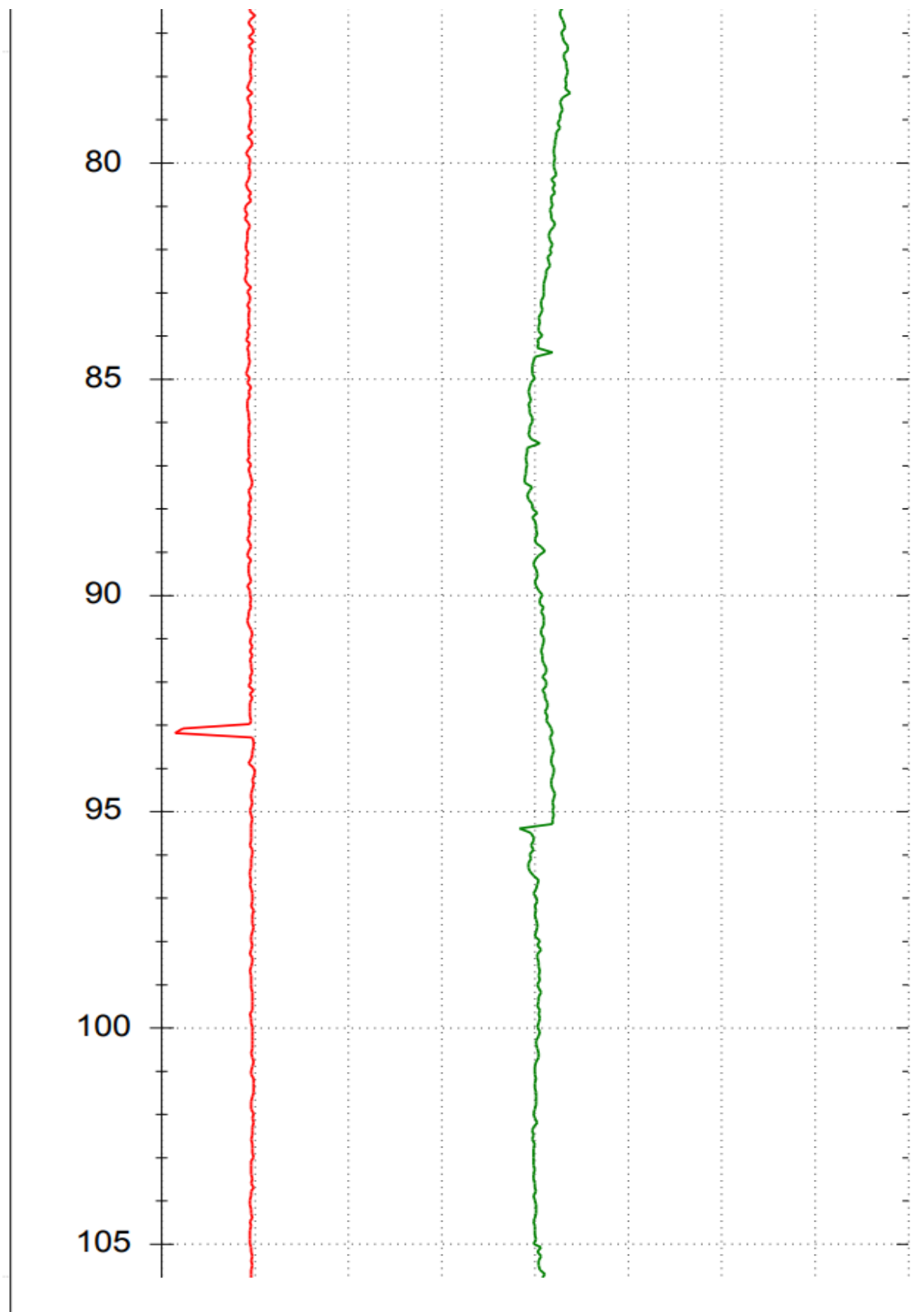
Tableau 2 : données de diagraphie traitées.

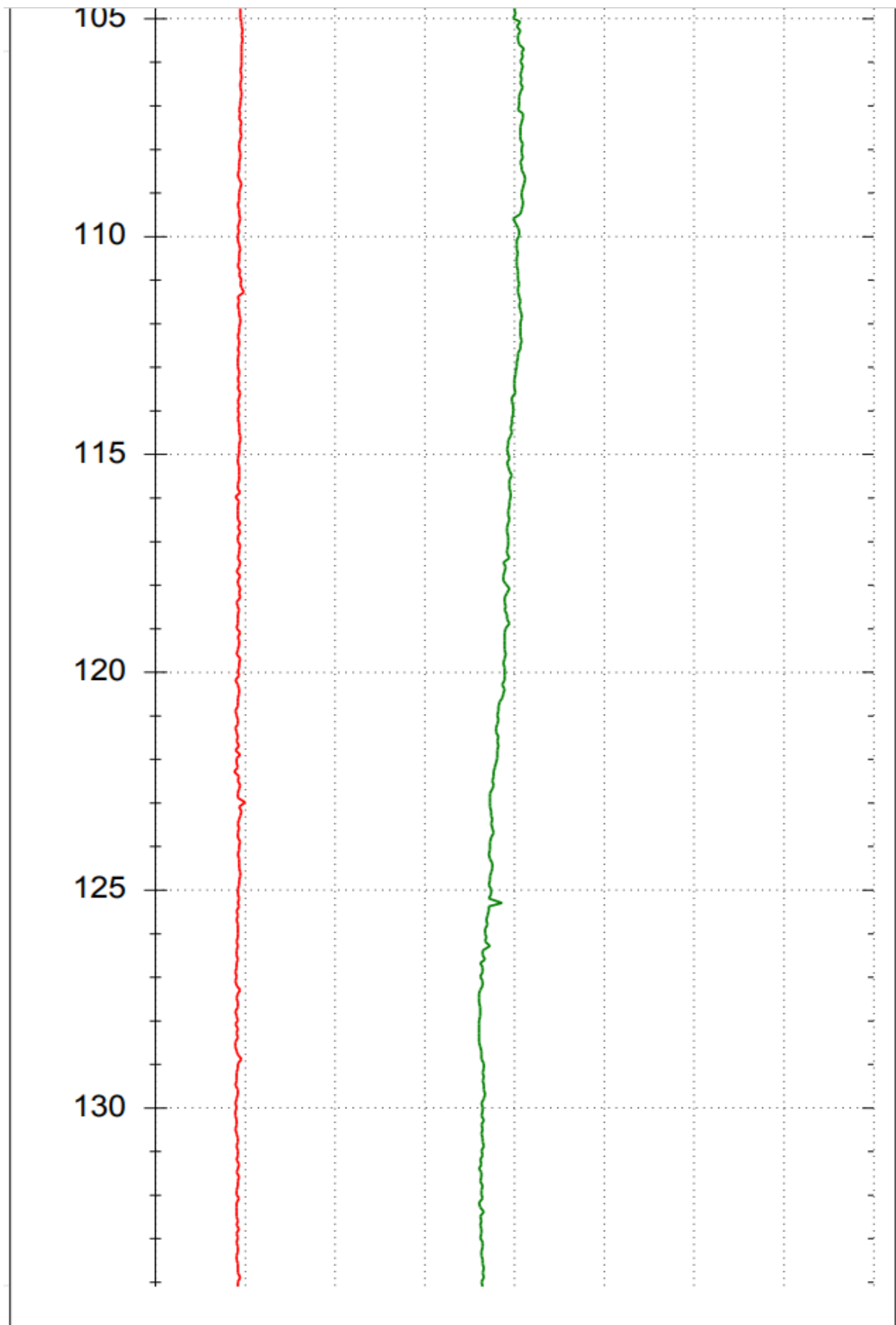
Profondeurs(m)	SP(mV)	VITESSE(m/h)	Profondeurs(m)	SP(mV)	VITESSE(m/h)
0	0	0	60	62	200
5	60	150	65	64	200
10	42	150	70	60	200
14.1	43	50	75	63	200
14.2	44	250	80	63	190
14.3	45	55	85	60	190
15	45	150	90	60	190
20	52	150	93	61	20
25	55	150	95	63	200
30	58	150	100	60	200
33	64	190	105	60	190
35	65	190	110	60	190
40	66	190	115	59	190
45	63	190	120	58	190
50	61	190	125	57	190
55	60	190	130	56	190
58	60	20	135	56	190
58.3	60	1010	140	54	190
58.4	60	10	145	52	180











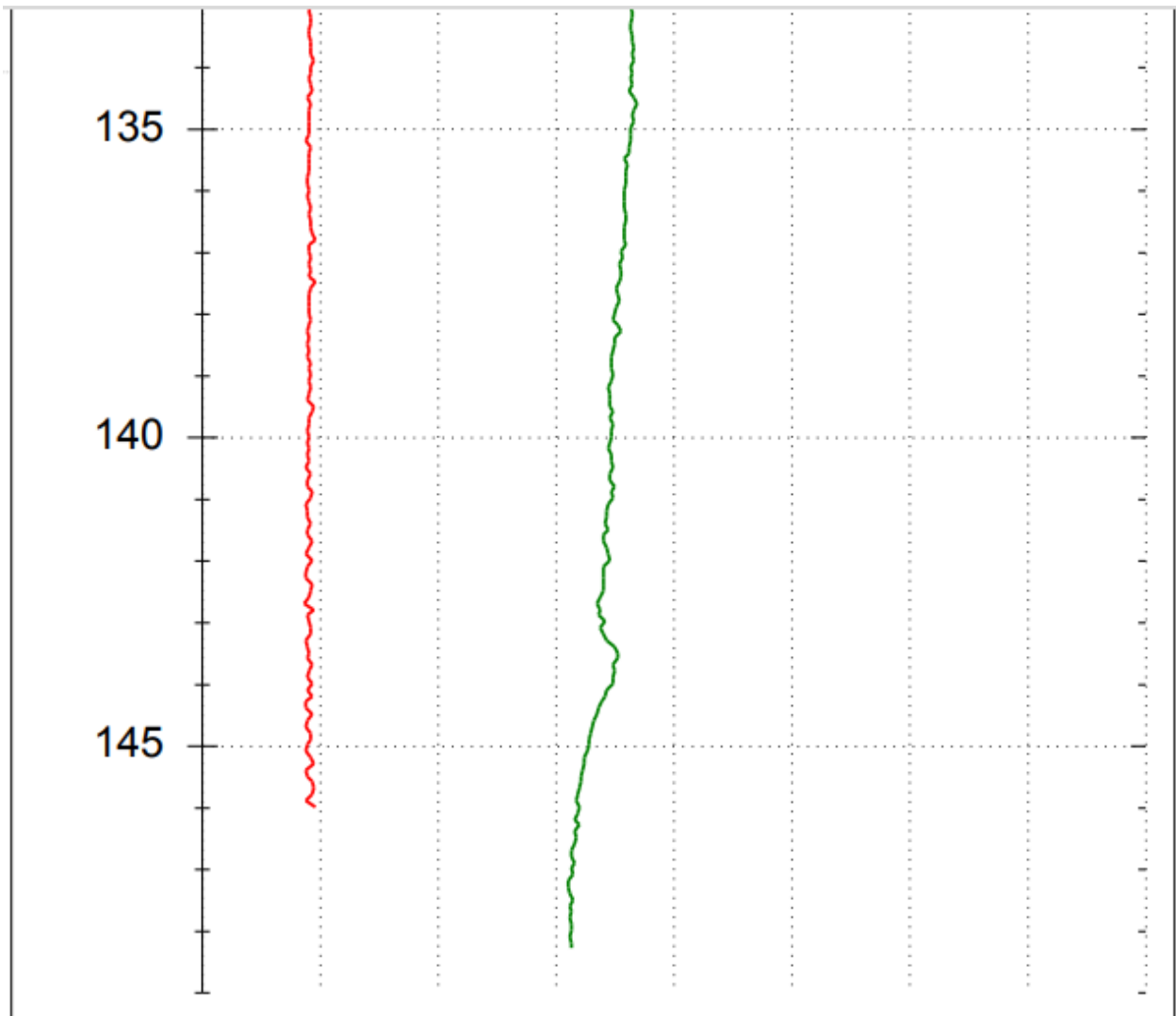


Figure 5: Log de diagraphie PS de Tori-Cada.

Le log de diagraphies du forage offre un aperçu détaillé des caractéristiques géologiques du sous-sol à différentes profondeurs. Voici une présentation des informations contenues dans la courbe SP (Potentiel Spontanée) et le log de vitesse en fonction de la profondeur :

Log SP (Potentiel Spontanée) :

Le log SP représente les variations du potentiel électrique dans le forage en fonction de la profondeur. Cette diagraphie offre des indications sur la nature électrique des roches et des fluides présents dans le sous-sol. On remarque qu'en face des argiles les potentiels restent plus ou moins constants sur des valeurs élevées de tensions, quand les résistivités sont élevées et non constantes

avec des variations on remarque qu'on est en face des roches dures ou des formations sableuses. Grâce au potentiel spontané on peut déterminer le type de formation qu'on traverse lors de la mesure dans le forage. En cas de variations soudaines cela peut indiquer des changements lithologiques significatifs.

Le log de Vitesse :

Le log de vitesse mesure le temps que met un signal acoustique pour se propager à travers les roches. Elle fournit des indications sur la compacité et la densité des formations géologiques.

Lorsque les valeurs de vitesse sont hautes cela indique des roches dures et compactes, telles que le granite ou le calcaire dense.

Lorsque les valeurs de vitesse sont basses cela suggère des roches plus poreuses ou friables, comme le sable ou les formations argileuses.

Lorsqu'on a des variations rapides ou lentes cela peut signaler des changements dans la compacité des roches ou des interfaces entre différentes formations géologiques. Le tableau suivant présente le nombre de couche d'argile et de sable identifiées au niveau de chaque forage.

Tableau 3: Nombre de couches identifiées dans les forages grâce aux logs SP et de sonique.

Forages	Couches de sables	Couches d'argile	Couche calcaire
TORI-CADA	08	04	-
AZOWLISSE	07	02	-
ATTOGON	05	04	-
GBOZOUNME	04	06	01
AHOZON	07	02	-
AGLOGBE	05	04	-
MALANHOU	09	03	-
MEDEDJENOU	12	02	01

3.2.2 Identification des venues d'eau pour le positionnement des crépines.

Grace au données de diagrapie on a réussi a confirmé les résultats de la lithologie de chaque forage. Connaissant ainsi chaque couche de la lithologie nous pouvions donc Utiliser ces données pour identifier les niveaux d'eau souterraine dans chaque forage et délimiter les zones de captation en fonction des propriétés hydrogéologiques des formations géologiques.

Tableau 4: couches lithologiques susceptibles d'être des niveaux de couches d'eau.

FORAGES	PROFONDEUR DU FORAGE(m)	EPAISEUR DE COUCHE(m)	LITHOLOGIE	CARACTERISTIQUE
ATTOGON	150	67-----91	Sable fin	Texture fine, probablement perméable a l'eau
GBOZOUNME	122.24	52-----65	Sable fin	Texture fine, probablement perméable a l'eau
		88-----99	Sable grossier	Texture granulaire, probablement perméable a l'eau
AHOZON	120.15	57-----73	Sable moyen	Texture granulaire, probablement perméable a l'eau
		95-----109	Sable grossier à moyen	Texture granulaire, probablement perméable a l'eau
AZOWLISSE	140.53	72-----93	Sable grossier	Texture granulaire, probablement perméable a l'eau
TORI-CADA	146	31-----37	Sable grossier	

Caractérisation hydrogéologique de l'aquifère du continental terminal du bassin
sédimentaire côtier au Bénin par la méthode de diagraphe.

		37-----43	Sable moyen	Texture granulaire, probablement perméable à l'eau
		85-----92	Sable fin	Texture fine, probablement perméable à l'eau
		92-----99	Sable moyen à fin	Texture variée, peut- être propice à la circulation de l'eau
SAEP D'AGLOGBE	130	55-----74	Sable moyen blanc	Texture granulaire lisse au toucher, perméable à l'eau
		83-----98	Sable fin blanc	Texture fine, probablement perméable à l'eau
		101-----123	Sable fin à moyen	Texture variée, peut- être propice à la circulation de l'eau
SAEP DE MALANHOUI	150	80-----93	Sable moyen	Texture granulaire, probablement perméable à l'eau
		96-----118	Sable fin	Texture fine, probablement perméable à l'eau
		121-----134	Sable moyen	Texture granulaire, probablement perméable à l'eau
SAEP DE MEDEDJENOU	150	55-----76	Sable moyen	Texture granulaire, probablement perméable à l'eau
		91-----107	Sable moyen	
		111-----134	Sable moyen	

Caractérisation hydrogéologique de l'aquifère du continental terminal du bassin sédimentaire côtier au Bénin par la méthode de diagraphie.

En fonction de la lithologie de chaque forage, en se basant sur les caractéristiques de chaque couche on peut donc déterminer les couches qui seront susceptibles d'être capter. Au niveau de ces couches seront placés des pvc crépinés de façon bien à garantir un captage bien favorable. Le tableau ci-dessus présente des couches susceptibles d'être capter et leur épaisseur. Au niveau de chaque forage les crépines seront placées dans ces couches qui ont des caractéristiques favorables pour un bon captage.

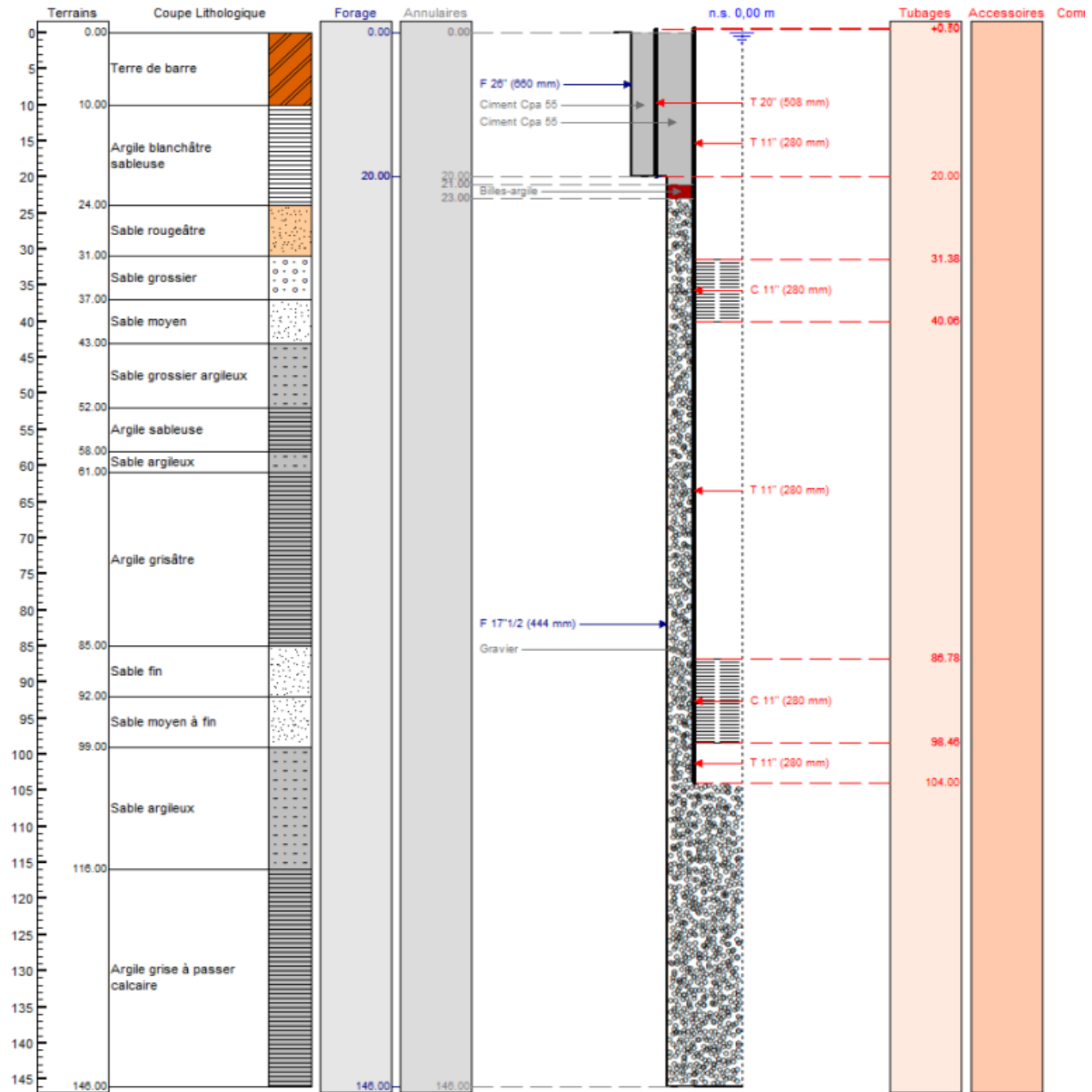


Figure 6: Coupe de forage de TORI-CADA

3.2.3 Evaluation de la variabilité du contenu en argile dans l'aquifère du continental terminal.

En se basant sur les courbes de potentiel spontanée on a pu établir au niveau de chaque forage des calculs de pourcentage d'argile en se basant sur la formule suivante :

$$V_{sh} = \frac{P.S.S - P.S \text{ au point } X}{P.S.S}$$

Au niveau de chaque calcul nous avons pris en compte les potentiels spontanée maximal et minimal.

Tableau 5: pourcentage d'argile au niveau de chaque forage.

FORAGES	PSS maximal (mV)	PSS minimal (mV)	% ARGILE
TORI-CADA	68	28	58.82
PAHOU	165	50	69.69
AHOZON	165	45	72.72
AGLOGBE	145	35	75.86
AZOWLISSE	180	75	58.33

Ces résultats montrent une variabilité significative dans la composition de l'aquifère du Continental Terminal du Bassin Sédimentaire Côtier du Bénin. Les zones avec une forte teneur en argile peuvent stocker des quantités importantes d'eau, mais elles peuvent aussi poser des défis en termes d'exploitation en raison de leur faible perméabilité.

Forage de Tori-Cada (58,82%) : Un pourcentage d'argile de 58,82% indique que cette zone de l'aquifère contient une quantité significative d'argile, ce qui peut influencer la capacité de stockage d'eau ainsi que la perméabilité locale. Bien que ce pourcentage ne soit pas extrêmement élevé, il suggère la présence d'une quantité modérée d'argile, ce qui peut affecter la qualité et la disponibilité de l'eau.

Forage de Pahou (69,69%) : Avec un pourcentage d'argile de 69,69%, cette zone présente une concentration élevée d'argile. Cela peut indiquer une capacité de stockage d'eau relativement

bonne, mais aussi une perméabilité réduite. Les formations riches en argile peuvent être des pièges potentiels pour l'eau souterraine, mais peuvent également entraîner des défis en termes de drainage et d'exploitation.

Forage de Ahozon (72,72%) : Un pourcentage d'argile de 72,72% indique une prédominance d'argile dans cette zone. Cela peut signifier une capacité de stockage d'eau importante, mais aussi une perméabilité limitée. Les zones riches en argile peuvent être sensibles à la saturation, affectant ainsi la disponibilité de l'eau pour l'extraction.

Forage de Aglogbe (75,86%) : Avec un pourcentage d'argile de 75,86%, cette zone est caractérisée par une forte teneur en argile. Cela peut entraîner une capacité de stockage d'eau considérable, mais une perméabilité très faible. Ces zones peuvent stocker de grandes quantités d'eau, mais l'extraction peut être difficile en raison de la faible perméabilité.

Forage de Azowlisse (58,33%) : Un pourcentage d'argile de 58,82% indique que cette zone de l'aquifère contient une quantité significative d'argile, ce qui peut influencer la capacité de stockage d'eau ainsi que la perméabilité locale. Bien que ce pourcentage ne soit pas extrêmement élevé, il suggère la présence d'une quantité modérée d'argile, ce qui peut affecter la qualité et la disponibilité de l'eau.



DISCUSSION

3.3 Discussion

3.3.1 Validité des hypothèses

Les roches sédimentaires comme le grès, peuvent avoir une porosité élevée en raison de leur espace poreux, permettant ainsi le stockage significatif de l'eau point en prenant l'exemple de la lithologie du forage de Tori-Cada, les couches captées son seul dans la perméabilité à l'eau est assez importante (sable grossier, sable moyen à fin). D'autres roches telles que l'argile ont généralement une faible porosité en raison de leur structure dense limitant la quantité d'eau qu'elle peut contenir. La porosité se réfère à l'espace vide à l'intérieur des roches où l'eau peut être stocké tandis que la perméabilité se rapporte à la capacité de ses roches à permettre le mouvement de l'eau à travers elle. Donc les roches avec des particules bien interconnectées comme le sable ont une perméabilité élevée permettant à l'eau de circuler plus facilement contrairement aux argiles (roche plus compacte et non poreuses) ont une perméabilité plus faible rendant le mouvement de l'eau plus difficile. Ainsi, les variations lithologiques, c'est-à-dire les différentes compositions et textures des roches au sein d'un aquifère, créent des zones avec des propriétés de porosité et de perméabilité variables. Ces variations ont un impact direct sur la capacité de l'aquifère à stocker et à fournir de l'eau, ainsi que sur la façon dont l'eau se déplace à travers l'aquifère. La quantité d'eau fournie par un forage ne dépend pas du nombre de couche captée mais plutôt des caractéristiques de la couche captée. En se basant sur la lithologie obtenue pour chaque forage on peut donc confirmer cette hypothèse. Les variations lithologiques influent sur la distribution spatiale de la porosité et de la perméabilité au sein d'un aquifère en raison des différentes caractéristiques des roches et des sédiments qui le composent.

3.3.2 Discussion des résultats obtenus

3.3.2.1 Corrélation entre les données des échantillons de forage et l'interprétation des diagraphies

En se basant sur le forage de Tori-Cada on peut faire une interprétation de la similitude des résultats obtenue juste en se basant sur l'explication que donne la courbe de diagraphe

Terre de Barre (0-10 mètres) :

Forage : La présence de terre de barre dans les échantillons de forage est confirmée à cette profondeur. À cette profondeur, le sol est composé principalement de terre de barre, indiquant une couche superficielle de sol argileux et compact.

Diagraphies : Les diagraphies montrent une faible résistivité électrique, indiquant la prédominance d'une couche argileuse et une vitesse modérée (150 m/h)

Argile Blanchâtre Sableuse (10-24 mètres) :

Forage : La transition vers une argile blanchâtre sableuse est observée dans les échantillons de forage.

Diagraphies : La résistivité augmente légèrement, suggérant une combinaison d'argile et de sable et la vitesse se réduit légèrement. Cette réduction de vitesse est due au fait que les argiles ont tendance à être plus compressibles que les autres types de roches. Avec sa structure poreuse, la présence de l'eau dans ces pores peut ralentir la vitesse du son car l'eau est moins dense que la roche et offre une résistivité accrue à la propagation des ondes.

Sable Rougeâtre (24-31 mètres) :

Forage : La présence de sable rougeâtre est confirmée dans les échantillons de forage à cette profondeur.

Diagraphies : La résistivité électrique augmente davantage, indiquant une concentration accrue de sable avec une vitesse modérée. Les sables rougeâtres peuvent avoir une granularité relativement fine et une faible porosité. Des grains de sable plus fins et une faible porosité peuvent limiter la connectivité entre les pores, augmentant ainsi la résistivité électrique. Ils ont une granularité relativement homogène sur cette profondeur. La taille uniforme des grains peut maintenir une vitesse du son modérée, même si la résistivité électrique augmente. Une granularité homogène permet à l'onde sonore de se propager relativement facilement à travers les grains de sable.

Sable Grossier (31-37 mètres) :

Forage : La couche de sable grossier est mise en évidence dans les échantillons de forage.

Diagraphies : la résistivité électrique est plus élevée suggérant une texture plus grossière du sable avec une vitesse toujours modérée. Les sables grossiers peuvent avoir une granularité plus importante avec des grains de sable de taille supérieure. Cette granularité accrue peut créer des espaces plus importants entre les grains, réduisant ainsi la saturation en eau. Les espaces plus

grands peuvent limiter le contact entre les particules d'eau, augmentant ainsi la résistivité électrique tout en permettant encore une certaine transmission des ondes sonores, expliquant ainsi la vitesse modérée.

Sable Moyen (37-43 mètres) :

Forage : La transition vers du sable moyen est notée dans les échantillons de forage.

Diagraphies : La résistivité électrique reste relativement stable, indiquant une texture uniforme du sable avec une vitesse modérée. Les sables moyens ont une porosité modérée, permettant un certain degré de saturation en eau. Une saturation en eau modérée maintient la conductivité électrique tout en permettant aux ondes sonores de se propager de manière modérée à travers les pores saturés.

Sable Grossier Argileux (43-52 mètres) :

Lithologie Terrain : les échantillons présentent une formation de Sable grossier argileux.

Diagraphies : on constate une Fluctuations dans la résistivité électrique indiquant une texture de sable grossier argileuse avec vitesse modérée. Les fluctuations dans la résistivité électrique peuvent être dues à la variation de la teneur en eau et en argile dans les sables grossiers argileux. Une teneur en argile variable peut entraîner des variations dans la conductivité électrique. La vitesse modérée peut être maintenue en raison de la granularité des sables, bien que la présence d'argile puisse entraîner des variations dans la propagation des ondes sonores.

Argile Sableuse (52-58 mètres) :

Forage : La transition d'argile sableuse est notée dans les échantillons de forage.

Diagraphies : Baisse de la résistivité électrique indiquant la présence d'une couche d'argile sableuses avec une vitesse modérée. Les argiles sableuses ont tendance à avoir une teneur en eau relativement élevée en raison de leur capacité à retenir l'eau. Une augmentation de la teneur en eau peut entraîner une diminution de la résistivité électrique, car l'eau est un bon conducteur électrique. Cette humidité peut également affecter la vitesse des ondes sonores en facilitant leur propagation à travers les pores saturés.

Sable Argileux (58-61 mètres) :

Lithologie Terrain : les échantillons présentent des Sable argileux.

Diagraphies : Résistivité électrique variable montrant la présence de sable argileux avec une vitesse modérée. Les sables argileux peuvent avoir une composition hétérogène, avec des variations locales dans la quantité d'argile, de sable et d'autres minéraux. Ces variations dans la composition peuvent entraîner des fluctuations dans la résistivité électrique et la vitesse des ondes sonores.

Argile Grisâtre (61-85 mètres) :

Lithologie Terrain : Argile grisâtre.

Diagraphies : Résistivité électrique stable et vitesse réduite. Avec la profondeur, les couches géologiques subissent une compaction accrue sous le poids des couches supérieures. Cette compaction peut entraîner une consolidation des argiles, réduisant ainsi la porosité et la vitesse des ondes sonores.

Sable Fin (85-92 mètres) :

Lithologie Terrain : Sable fin.

Diagraphies : Légère augmentation de la résistivité électrique et vitesse modérée indiquant la présence des sables fins. Les sables fins ont une granularité plus fine que les sables grossiers, ce qui signifie que les particules sont plus petites et ont une surface spécifique plus grande. Cette granularité fine peut entraîner une augmentation de la résistivité électrique, car les espaces entre les grains sont plus petits, ce qui limite le mouvement des ions et réduit la conductivité électrique. La granularité fine contribue également à maintenir une vitesse modérée des ondes sonores, car les particules sont plus compactes, limitant ainsi la propagation rapide des ondes.

Sable Moyen à Fin (92-99 mètres) :

Lithologie Terrain : Sable moyen à fin.

Diagraphies : Résistivité électrique stable et vitesse modérée. Les sables moyens à fins ont une granularité moyenne à fine, ce qui signifie que les particules sont relativement petites et bien réparties. Cette granularité contribue à une résistivité électrique stable car les espaces entre les grains sont de taille modérée, permettant une certaine conductivité électrique tout en limitant les fluctuations importantes.

Ils peuvent avoir une saturation en eau modérée. Une saturation modérée en eau maintient la conductivité électrique tout en permettant une certaine transmission des ondes sonores à travers les pores saturés.

Sable Argileux (99-116 mètres) :

Forage : La présence de sable argileux est observée dans les échantillons de forage.

Diagraphies : La résistivité électrique fluctue légèrement, suggérant une combinaison complexe de sable et d'argile. La teneur en eau des sables argileux peut varier en raison de l'infiltration d'eau souterraine, des précipitations ou d'autres processus hydrologiques. Les fluctuations de la teneur

en eau affectent directement la résistivité électrique, car l'eau est un bon conducteur électrique. La variation de la teneur en eau peut également influencer la vitesse des ondes sonores.

Argile Grise à Passer Calcaires (116-146 mètres) :

Lithologie Terrain : Argile grise à passer calcaires.

Diagraphies : Résistivité électrique stable et vitesse modérée. À des profondeurs plus importantes, les couches géologiques subissent une compaction accrue sous le poids des couches supérieures. Cette compaction peut entraîner une consolidation des argiles, réduisant ainsi la porosité et la vitesse des ondes sonores.

Les argiles grises à passer calcaires peuvent avoir une faible saturation en eau. Une faible saturation en eau limite la mobilité des ions dans l'eau, ce qui réduit la conductivité électrique. La faible teneur en eau contribue également à la stabilité de la vitesse des ondes sonores.

La présence de calcaires dans cette couche peut apporter une certaine cohésion aux sédiments, limitant ainsi la propagation rapide des ondes sonores malgré la faible saturation en eau. Les calcaires ont généralement une densité et une compacité plus élevées, ce qui peut ralentir les ondes sonores.

Cette corrélation entre les données des échantillons de forage et l'interprétation des diagraphies confirme la cohérence des résultats obtenus à partir des deux méthodes.

La concordance entre les observations de forage et les données diagraphiques confirme la fiabilité des méthodes utilisées. Cette validation mutuelle renforce la crédibilité des résultats obtenus, soulignant ainsi la précision de l'étude hydrogéologique. La corrélation entre les diagraphies et les couches géologiques identifiées (terre de barre, argile blanchâtre sableuse, sable rougeâtre, sable grossier, sable moyen et sable argileux) permet de délimiter clairement les différentes strates du sous-sol. Cette méthodologie d'interprétation des logs de vitesses et SP rejoint ceux de Ph. Maget qui dans son interprétation a réussi à identifier les couches poreuses (sable et argile) et les couches compactes (granite, calcaire). Il a approfondi ses recherches avec les logs de gamma ray qu'il a utilisés pour déterminer les toits et murs des couches.

3.3.2.2 Positionnement des crépines et propositions d'équipement

Les données de diagraphies aident à caractériser les différentes couches de formations géologiques traversées par le forage. Cela permet de comprendre la composition du sous-sol, y compris la

présence de roches, de sable, d'argile, etc. Cette information est cruciale pour choisir les types d'équipement de forage appropriés, adaptés aux caractéristiques spécifiques des formations. Sachant que les roches poreuses comme le sable ont généralement une résistivité plus élevée que les roches argileuses ou saturées en eau. Cette information est utilisée pour identifier les zones potentiellement productives en eau. Ainsi donc connaissant les couches où on peut capter de l'eau, il est donc plus facile de proposer un équipement bien adapté. En se basant sur les informations du tableau 3, on peut déjà voir les couches où seront positionnées les crépines. L'équipement du forage prend en compte les tuyaux PVC (crépine et tube plein). En prenant pour la figure 13 on peut voir une proposition d'équipement du forage. En se référant à la lithologie nous avons détecté 4 couches qui pourraient être captées point nous avons les couches voisines de sable moyen à fin et sable fin qui ensemble font une épaisseur de (99m à 85m). À ce niveau les crépines ont été positionnées de (98,46m à 86,78m). Il est important de savoir que les PVC crépinés ne doivent pas dépasser la zone de la couche perméable. Le deuxième positionnement a occupé une épaisseur de (40m à 31,38m) qui se retrouve au niveau des couches voisines du sable moyen et ça me grossit qui font ensemble une épaisseur de (43 à 31m). Le reste des couches non capable a été équipé par des PVC plein.

3.3.2.3 Hypothèse de l'état de l'équipement de forage utilisé pour la collecte de données de diagraphie sur la qualité et la fiabilité des données obtenues

Pour avoir une lithologie bien correcte du forage en se basant sur les données de diagraphie, il est important d'avoir une précision correcte de la mesure effectuée. Un équipement de forage en bon état assure que les instruments de diagraphie sont correctement positionnés et fonctionnent de manière précise, permettant ainsi des mesures précises des propriétés géologiques et pétrophysiques des formations rocheuses. Un équipement de forage en bon état garantit la cohérence des procédures de mesure. Des variations dans l'équipement pourraient entraîner des variations dans les méthodes de mesure, ce qui rend difficile la comparaison des données obtenues à partir de différentes parties du forage. Les équipements défectueux ou usés peuvent entraîner des erreurs de mesure, ce qui compromet la précision des données. Des erreurs dans les données de diagraphie peuvent fausser l'interprétation des caractéristiques géologiques et nuire à la prise de décision concernant le potentiel d'exploitation d'un site. Pour savoir que l'équipement est en mauvais état on remarque des pannes fréquentes, entraînant des interruptions dans le processus de

collecte de données. Un équipement de forage en bon état est essentiel pour garantir la précision, la fiabilité, la cohérence des données et la sécurité des opérations de diagraphie. Ceci vient confirmer l'hypothèse 2.

Relation entre le taux d'argile et la porosité

Le pourcentage d'argile dans l'aquifère a un lien direct avec la porosité et la perméabilité, qui sont des paramètres clés en hydrogéologie. La porosité se réfère à la quantité d'espace vide dans un matériau rocheux ou sédimentaire, elle indique la capacité d'un matériau à stocker de l'eau. Elle est généralement exprimée en pourcentage. La perméabilité mesure la capacité d'un matériau à laisser l'eau le traverser.

Lorsqu'on a un fort pourcentage d'argile, on a souvent une faible porosité et une perméabilité faible. L'argile a des particules très fines qui peuvent se compacter étroitement, réduisant ainsi l'espace poreux disponible. Cela signifie que même si ces zones peuvent stocker de l'eau en raison de la forte rétention d'eau par l'argile, la porosité totale est limitée. Par conséquent, bien que l'eau puisse être présente en quantité importante, son mouvement à travers ces zones est restreint en raison de la faible porosité.

Lorsqu'on a un pourcentage d'argile moyen, on a généralement une et une perméabilité et une porosité intermédiaire. Les matériaux sédimentaires contenant un mélange d'argile, de sable et de gravier peuvent offrir un équilibre entre la capacité de stockage d'eau (en raison de l'argile) et la perméabilité (en raison du sable et du gravier), entraînant une porosité moyenne. Ces zones peuvent stocker et transmettre l'eau plus efficacement que celles riches en argile pure.

Lorsqu'on a un pourcentage d'argile faible, on a généralement une perméabilité et une porosité élevée. Les matériaux tels que le sable et le gravier ont des particules plus grossières et des espaces poreux plus grands, permettant à l'eau de circuler plus librement. Ces zones ont une bonne capacité à stocker et à transmettre l'eau en raison de leur haute porosité.

L'argile agirait comme un indicateur de la qualité de l'eau. Les particules d'argile ont une forte capacité d'adsorption, ce qui signifie qu'elles peuvent retenir certains contaminants présents dans l'eau souterraine. Ainsi, les zones de l'aquifère contenant des concentrations plus élevées d'argile pourraient également présenter des concentrations plus élevées de contaminants, tels que des

métaux lourds ou des composés organiques, adsorbés à la surface des particules d'argile. Les variations du pourcentage d'argile dans l'aquifère du Continental Terminal sont indicatives des changements dans la qualité de l'eau souterraine. Cela vient confirmer l'hypothèse 3 formulée.

3.4 Conclusion du chapitre 3

Ce chapitre offre ainsi une synthèse complète de notre travail, mettant en avant à la fois les résultats tangibles et les réflexions conceptuelles, formant ainsi le cœur de notre contribution scientifique à la compréhension de l'aquifère du Continental Terminal du Bassin Sédimentaire Côtier du Bénin.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

CONCLUSION ET SUGGESTION

La caractérisation hydrogéologique de l'aquifère du Continental Terminal du Bassin Sédimentaire Côtier du Bénin par la méthode des diagraphies a été l'objet d'une étude approfondie dans le cadre de ce mémoire. À travers des investigations méticuleuses, nous avons plongé dans les profondeurs de la terre pour comprendre les secrets de cet aquifère crucial.

Nos analyses ont révélé une diversité lithologique et stratigraphique remarquable au sein de l'aquifère. Les données de diagraphies ont permis d'identifier des variations significatives dans la composition des couches géologiques, mettant en évidence l'importance de ces différences pour la distribution de la porosité et de la perméabilité. Cette compréhension fine de la lithologie est essentielle pour évaluer le potentiel d'exploitation de l'eau souterraine dans la région étudiée.

Parallèlement, l'évaluation de l'efficacité de l'équipement de forage a mis en lumière l'impact crucial de la qualité des outils sur la fiabilité des données de diagraphe.

Des équipements bien entretenus ont été synonymes de données précises, soulignant ainsi l'importance d'une maintenance rigoureuse dans les opérations de forage. En examinant la variabilité du contenu en argile, nous avons découvert des indices précieux sur la qualité de l'eau souterraine. Les zones à forte teneur en argile ont été identifiées comme des indicateurs potentiels de la présence de contaminants, soulignant ainsi l'importance de ces zones pour les préoccupations liées à l'eau potable.

En somme, cette étude apporte des contributions significatives à la compréhension de l'aquifère du Continental Terminal du Bassin Sédimentaire Côtier du Bénin. Les connaissances acquises grâce à ce mémoire offrent des perspectives précieuses pour la gestion durable des ressources en eau souterraine dans la région.

Perspectives

A l'issue de cette étude, des recherches méritent d'être poursuivies et approfondies si d'autres nouvelles opportunités de recherche sont offertes :

- Étendre l'Étude à d'Autres Régions : Une perspective intéressante serait d'étendre cette étude à d'autres régions du Bénin ou même à d'autres pays ayant des caractéristiques

géologiques similaires. Cela permettrait de comparer les résultats et de mieux comprendre les variations hydrogéologiques à l'échelle régionale.

- **Intégrer des Méthodes Complémentaires** : En combinant les données de diagraphies avec d'autres méthodes telles que l'échantillonnage d'eau, la modélisation numérique ou les études géophysiques, il serait possible d'obtenir une image plus complète de l'aquifère. Cela permettrait d'affiner les conclusions et de mieux anticiper les défis liés à l'exploitation de l'eau souterraine.
- **Étude sur la Dynamique des Contaminants** : Une perspective future intéressante serait d'approfondir l'étude des contaminants dans les zones à forte teneur en argile. Cela aiderait à évaluer l'impact potentiel sur la santé publique et à développer des stratégies pour la protection de la qualité de l'eau potable.
- **Suivi à Long Terme** : Établir un programme de suivi à long terme des variations lithologiques, de la perméabilité et de la qualité de l'eau dans les zones étudiées serait essentiel. Cela permettrait de détecter d'éventuels changements au fil du temps et d'adapter les mesures de gestion en conséquence.
- **Formation et Sensibilisation** : Organiser des sessions de formation et de sensibilisation pour les communautés locales, les professionnels de l'eau et les décideurs politiques sur les résultats de l'étude. Une meilleure compréhension des ressources en eau souterraine peut favoriser une gestion plus efficace et durable de ces ressources.
- **Collaborations Internationales** : Établir des collaborations avec des experts internationaux en hydrogéologie pour bénéficier de leur expertise et des meilleures pratiques utilisées dans d'autres parties du monde. Cela pourrait enrichir l'approche méthodologique et les interprétations des résultats.

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

A. Denis 7 D. Breyse 7 F. Cremoux (2000), Traitements et analyse des mesures de diagraphies différées pour la reconnaissance géotechnique Processing and analysis of borehole log data.

Abdoukarim ALASSANE (2004), ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DU CONTINENTAL TERMINAL ET DES FORMATIONS DE LA PLAINE LITTORALE DANS LA REGION DE PORTO-NOVO (SUD DU BENIN) : IDENTIFICATION DES AQUIFERES ET VULNERABILITE DE LA NAPPE SUPERFICIELLE

Assiè François Aristide Kouao (2017), APPORT DES DIAGRAPHIES A LA RECONSTITUTION ELECTROFACIO-SEQUENTIELLE DES DEPOTS CRETACES : PALEOENVIRONNEMENT ET EUSTATISME DU BASSIN IVOIRIEN

Augier C. 1980. Diagraphies et matrices complexes. Bulletin Centres Recherche Exploration-Production Elf-Aquitaine, 4 (1), 143-17

Baron JP, Cariou J, Thorin R (1989) Les diagraphies nucléaires développées par les LPC: principes physiques, mises en œuvre, domaines d'application. Bull Liaison Lab Ponts Chaussées 164 :17–24

Bru J, Ledoux JL, Menard J, Waschkowski E (1983) Les diagraphies et les essais de mécanique des sols en place. Bull Eng Geol Env 26 :25–32

Chapellier D (1987) Diagraphies appliquées à l'hydrogéologie. Lavoisier, Paris, 165 pp

Chapellier D., 1987. Diagraphies appliquées à l'hydrogéologie. Lavoisier, Technique et Documentation, page 165.

Denis A, Morlier P (1991) Nouvelles méthodes d'identification des fractures par diagraphie acoustique en full wave form. Rev Inst Franç Pétrole 46 :183–197

DESBRANDES R. (1968) : Théorie et interprétation des diagraphies. Editions Technip, Paris.
Diagraphie enregistrement en fonction de la profondeur d'une caractéristique d'une formation géologique traversée par un sondage <https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Diagraphie&oldid=196823657>

Gérard Alfred Franck d'ALMEIDA, Soulémana YESSOUFOU, Dominique CHALA et Lidwine OBOSSOU (2015), Caractéristiques pétrographiques et structurales des calcaires du département du Zou, sud du Bénin, ISSN 1813-548X, <http://www.afriquescience.info>

Iboukoun Christian Alle (2019), Évaluation de l'implantation géophysique des forages d'eau en zone de socle en milieu tropical (Bénin, Afrique de l'Ouest) : apport de la tomographie de résistivité électrique pour la caractérisation de la cible hydrogéologique

J. COLOMBANI - J. SIRCOULON - F. MONIOD et J. RODIER (1972), MONOGRAPHIE DU DELTA DE L'OUEME (TOME 1)

LAKSHMANAN J (1983), Diagraphies et paramètres de forage. Revue française de géotechnique n° 23 paris

M. ALAO, K. IBRAHIM, N. IDOHO, J-C. KOGLEVI, A. MORIBA-DJIBRIL et N. VEDOGEBON, Projet de recherche de gypse et calcaire dans le Bassin Sédimentaire Côtier du Bénin. Rapport de mission sur la recherche de calcaire à Ahlan. OBRGM, (1995) 14p.

M. BOURGEOIS (1976), Reconnaissance des aquifères par forage estimation des caractéristiques des terrains et des fluides en particulier à l'aide des diagraphies, pages 17 ;18 ;21 ;24.

M. SLANSKY, Contribution à l'étude géologique du Bassin Sédimentaire Côtier du Dahomey et du Togo. Mémoires du Bureau de Recherches Géologiques et Minières n°11. Paris 7e, Technip, (1962) 270p.

N. YALO, A. ADJANOHO, L. ADISSIN GLODJI et C. KAKI (2008), Formations géologiques de la glauconie du bassin sédimentaire côtier du Bénin : possibilités d'utilisation pour la fertilisation des sols côtiers, page 66.

Ph. Maget, Les diagraphies en forage initiation au méthodes et aux interprétations application en géothermie.

PROJET RESO-BSC (Projet Redéfinition du Socle du Bassin Sédimentaire Côtier du Bénin), Synthèse géologique du Bassin Sédimentaire Côtier du Bénin. Centre d'étude Prospective et de Recherches Appliquées. RC 25.807A-INSAE : 2978324113665, (2001)

Richard LAGABRIELLE, Diagraphies et géophysique de forage

Roger GUÉRIN, Jacques DAVID et Guillaume GARDEY, Diagraphie électrostatique.
Tome 2. Interprétation des données diagraphiques. Bull Cent Rech Explor Prod Elf-Aquitaine, Mém 7, 632 pp

ANNEXES

Annexe 1: PRESENTATION DE L'INTERFACE DU LOGICIEL GESFOR

LITHOLOGIE									
De	A	Libellé							
0,00	10,00	Terre de barre							
10,00	24,00	Argile blanchâtre sableuse							
24,00	31,00	Sable rougeâtre							
31,00	37,00	Sable grossier							
37,00	43,00	Sable moyen							
43,00	52,00	Sable grossier argileux							
52,00	58,00	Argile sableuse							
58,00	61,00	Sable argileux							
61,00	85,00	Argile grisâtre							
85,00	92,00	Sable fin							
92,00	99,00	Sable moyen à fin							
99,00	116,00	Sable argileux							

FORAGE				
De	A	Ø "	Ø mm	Mode de forage
0,00	146,00	20"	508,00	ROTARY

ARRIVÉE D'EAU	
Profondeur	Débit

TUBAGE						
De	A	Ø ext. "	Ø ext. mm	Nature	Type	Slot
0,00	31,38	11"	279,00	ACIER-API	TUBE-PLEIN	
31,38	40,06	11"	279,00	ACIER-API	CREPINE FENTES	
40,06	86,78	11"	279,00	ACIER-API	TUBE-PLEIN	
86,78	98,46	11"	279,00	ACIER-API	CREPINE FENTES	
98,46	104,00	11"	279,00	ACIER-API	TUBE-DECANTEUR	

REMPLEISSAGE				
De	A	Ø "	Ø mm	Matériau
0,00	21,00	11"	279,00	CIMENT
23,00	104,00	11"	279,00	GRAVIER
104,00	146,00	11"	279,00	GRAVIER

ACCESSOIRES		
De	A	Accessoire

Figure 7: Interface du logiciel Gesfor.

Annexe 2: COUPE LITHOLOGIQUE DE FORAGE ET EQUIPEMENT

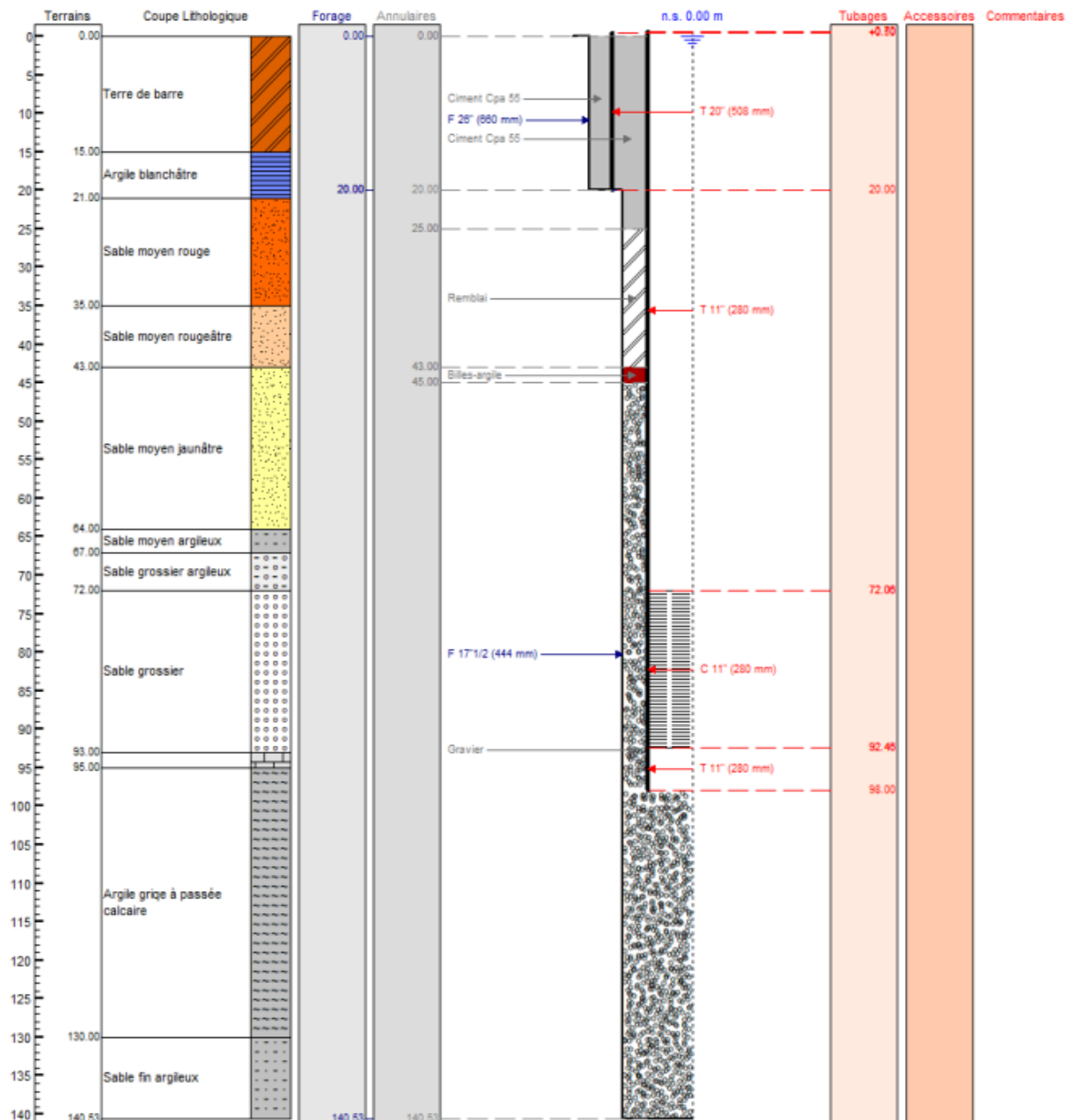


Figure 8: COUPE TECHNIQUE DU FORAGE DE AZOWLISSE

Caractérisation hydrogéologique de l'aquifère du continental terminal du bassin sédimentaire côtier au Bénin par la méthode de diagraphe.

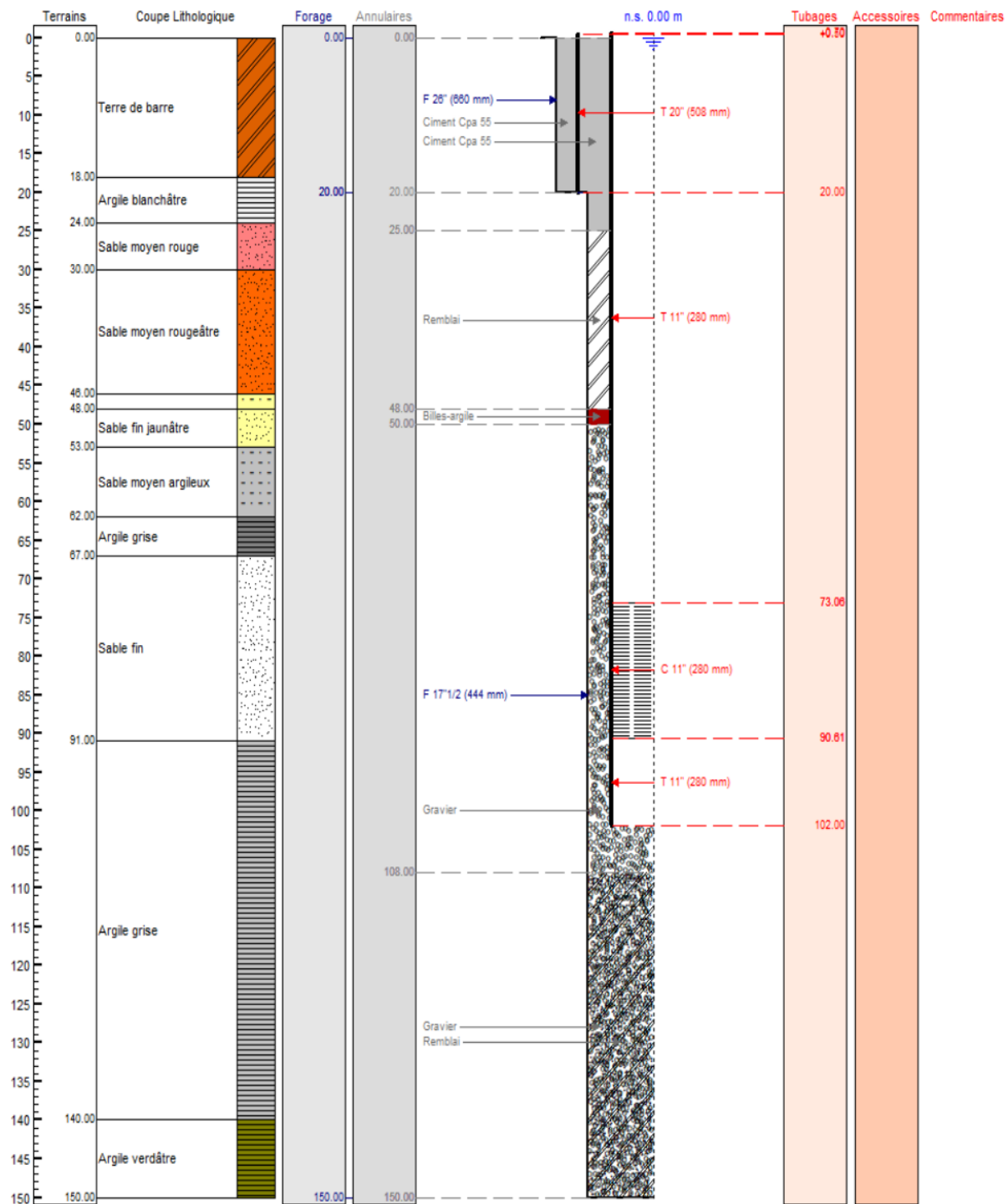


Figure 9: COUPE TECHNIQUE DU FORAGE ATTOGON

Caractérisation hydrogéologique de l'aquifère du continental terminal du bassin sédimentaire côtier au Bénin par la méthode de diagraphe.

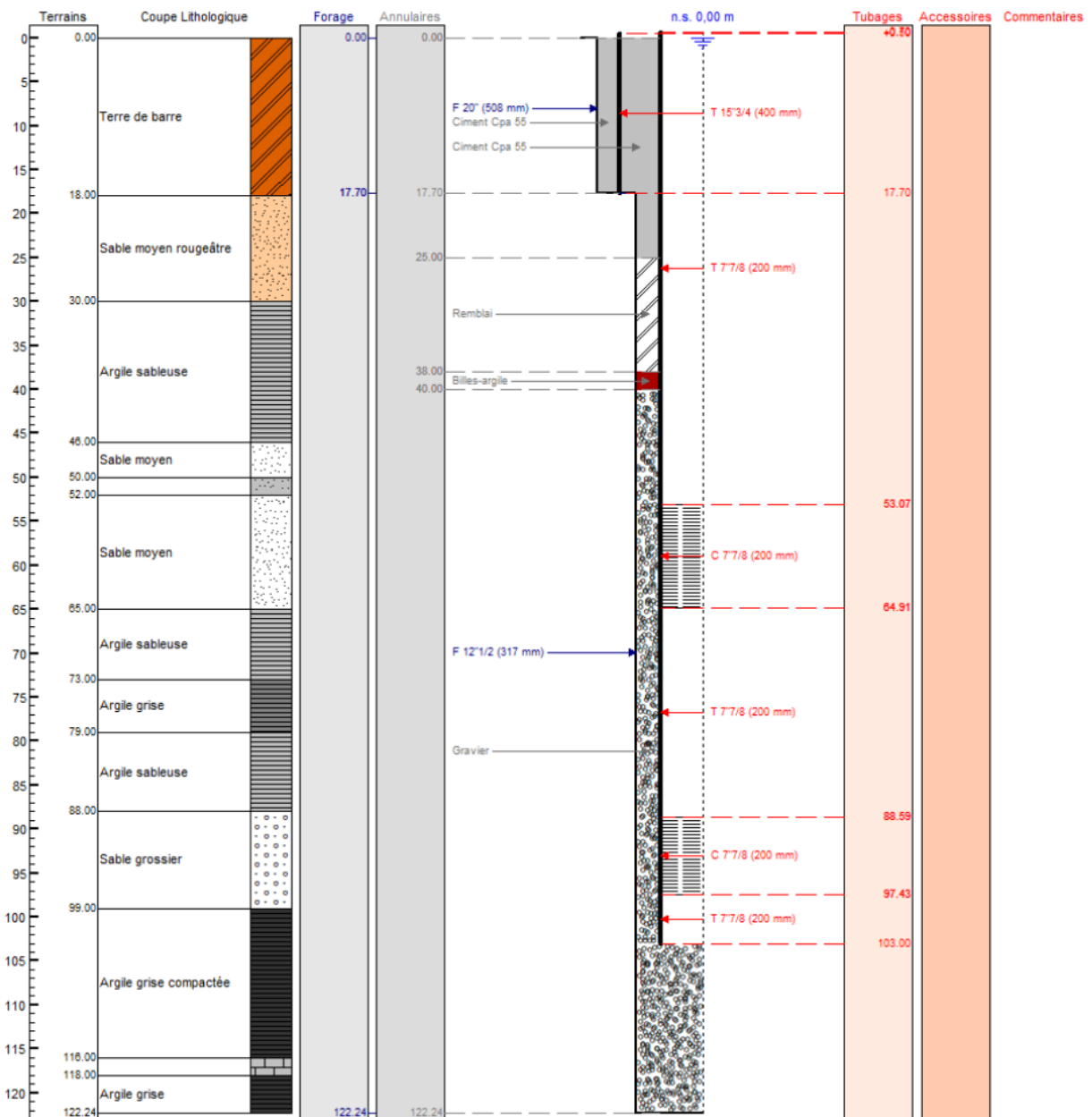


Figure 10: COUPE TECHNIQUE DU FORAGE DE GBOZOUNME

Caractérisation hydrogéologique de l'aquifère du continental terminal du bassin sédimentaire côtier au Bénin par la méthode de diagraphe.

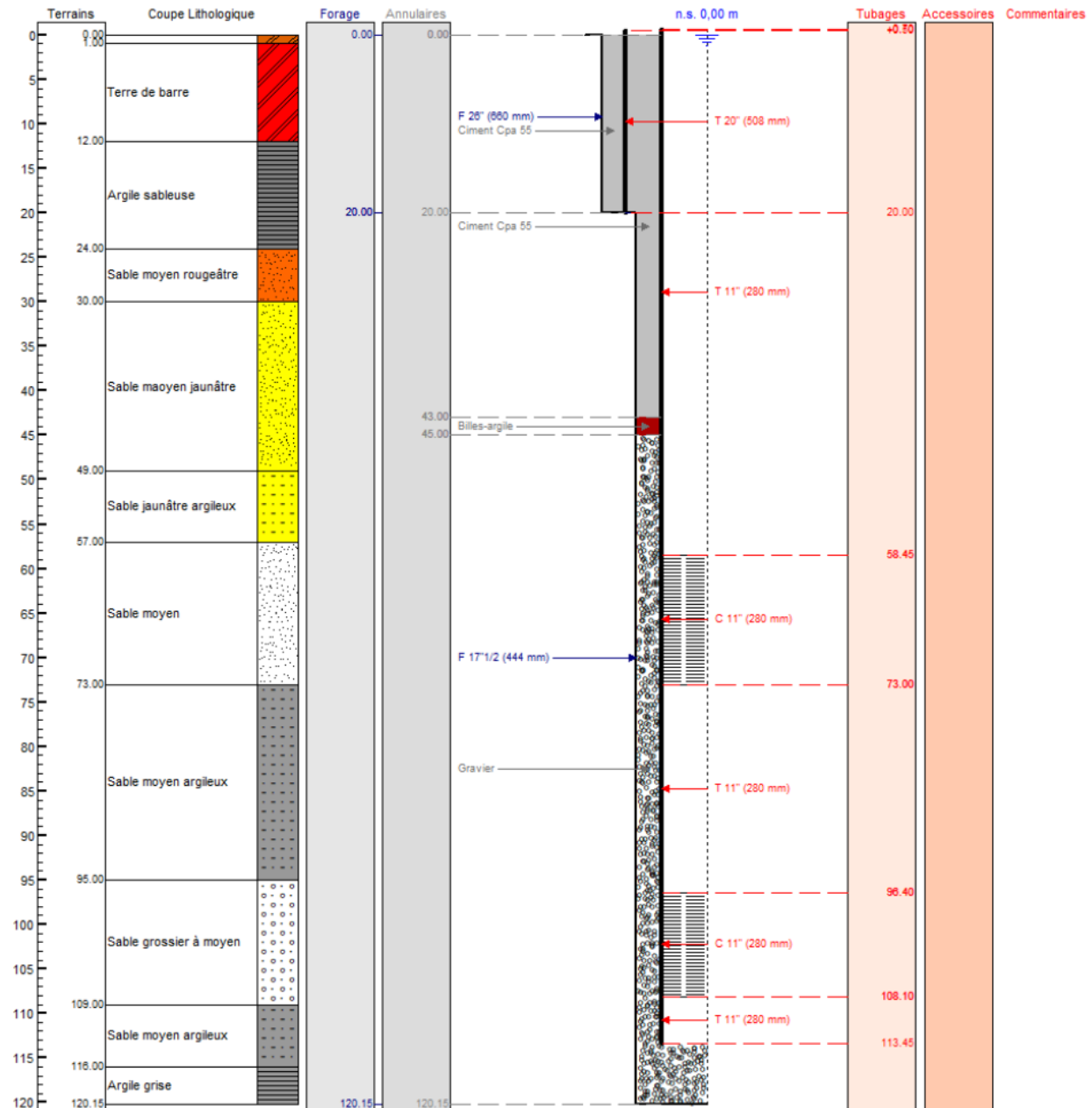


Figure 11: COUPE TECHNIQUE DU FORAGE DE HOZIN

Caractérisation hydrogéologique de l'aquifère du continental terminal du bassin sédimentaire côtier au Bénin par la méthode de diagraphie.

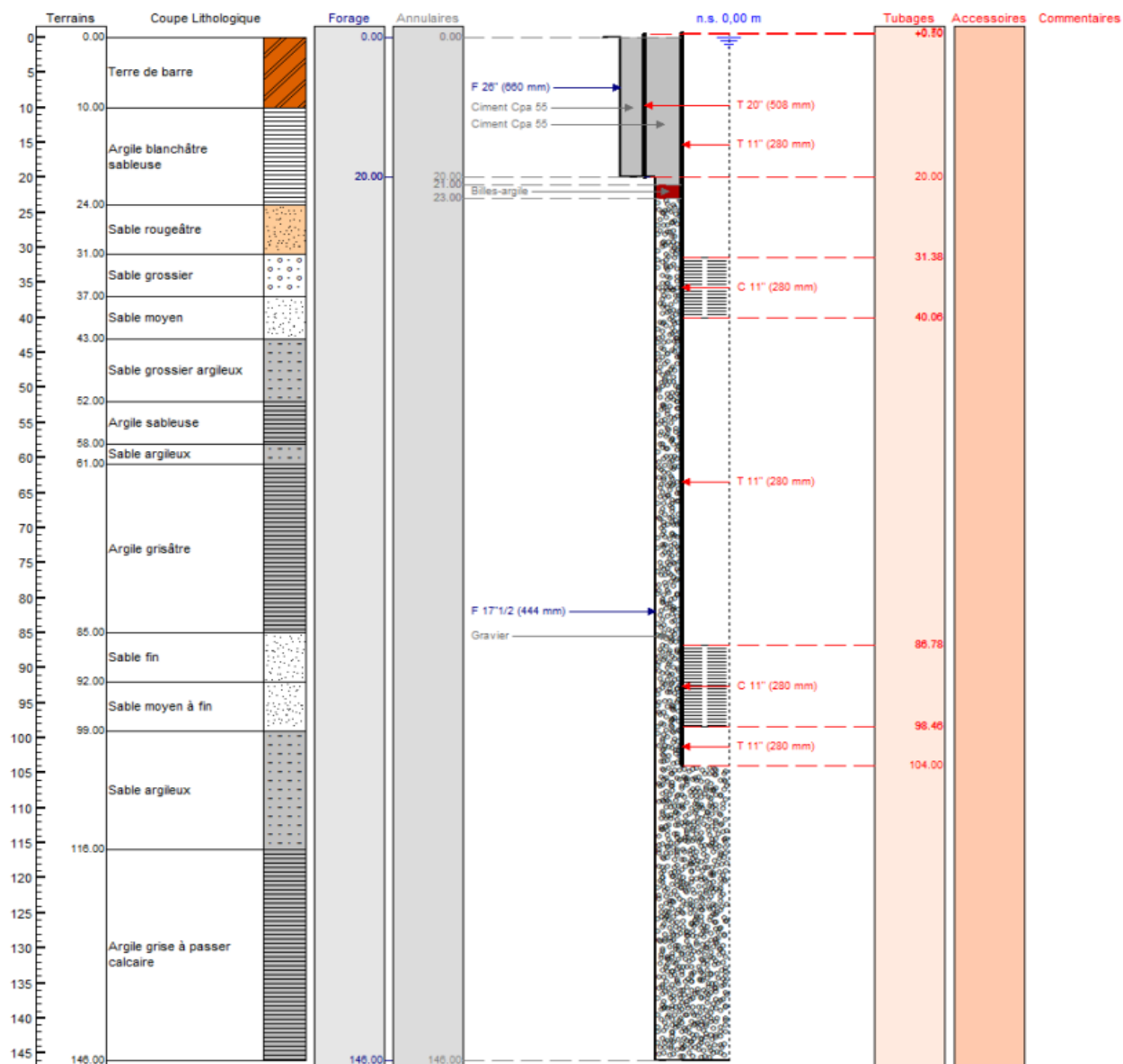
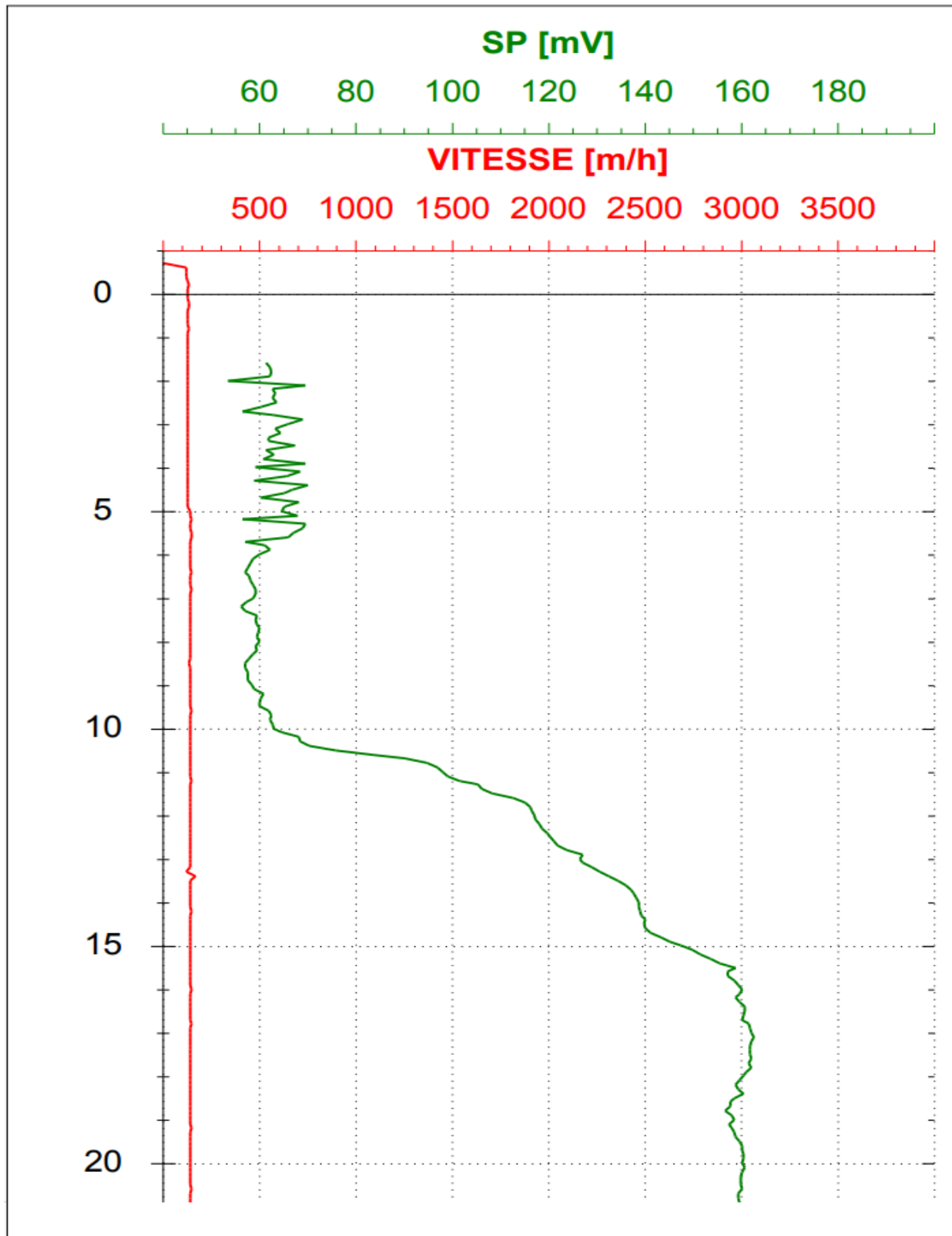
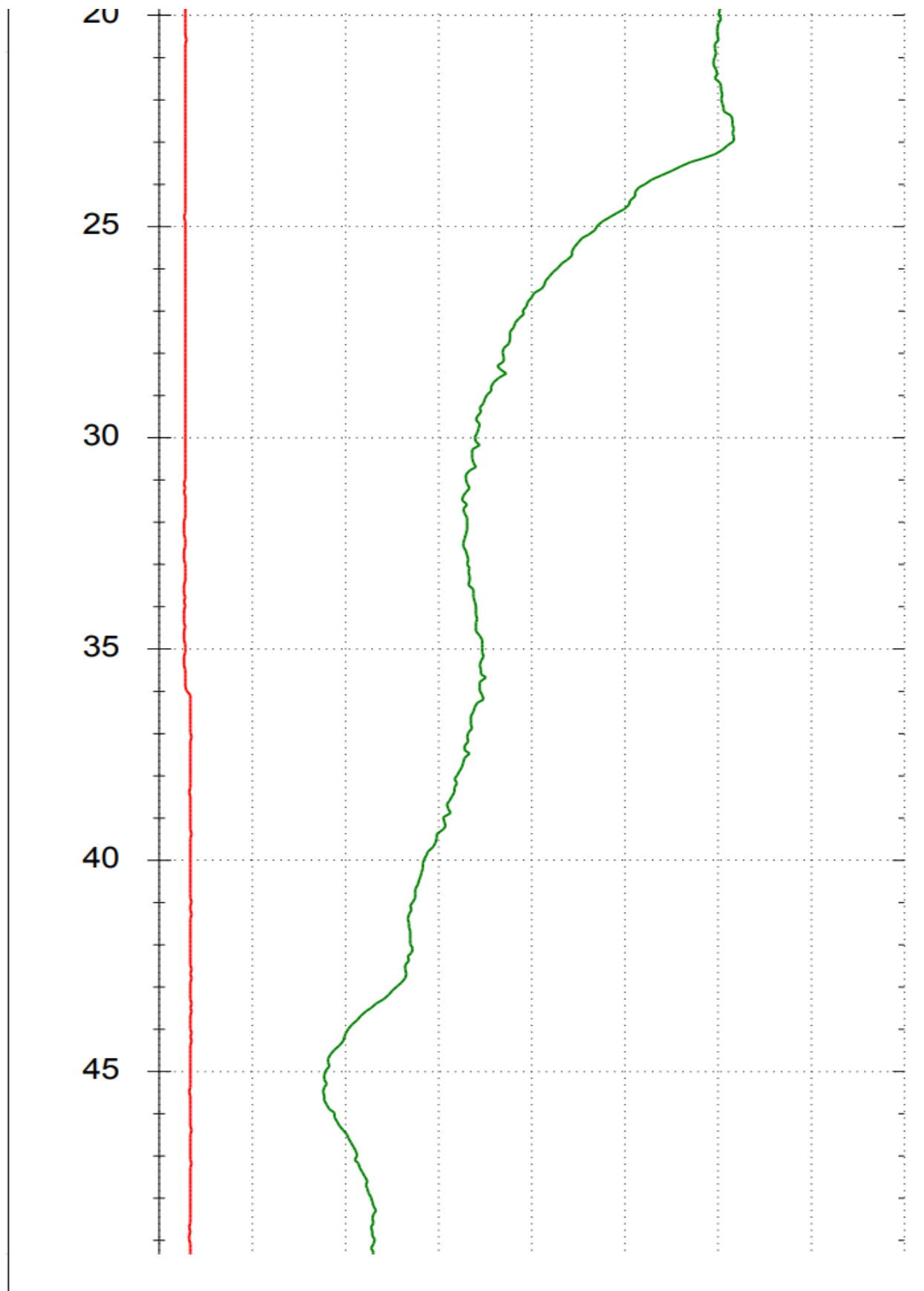
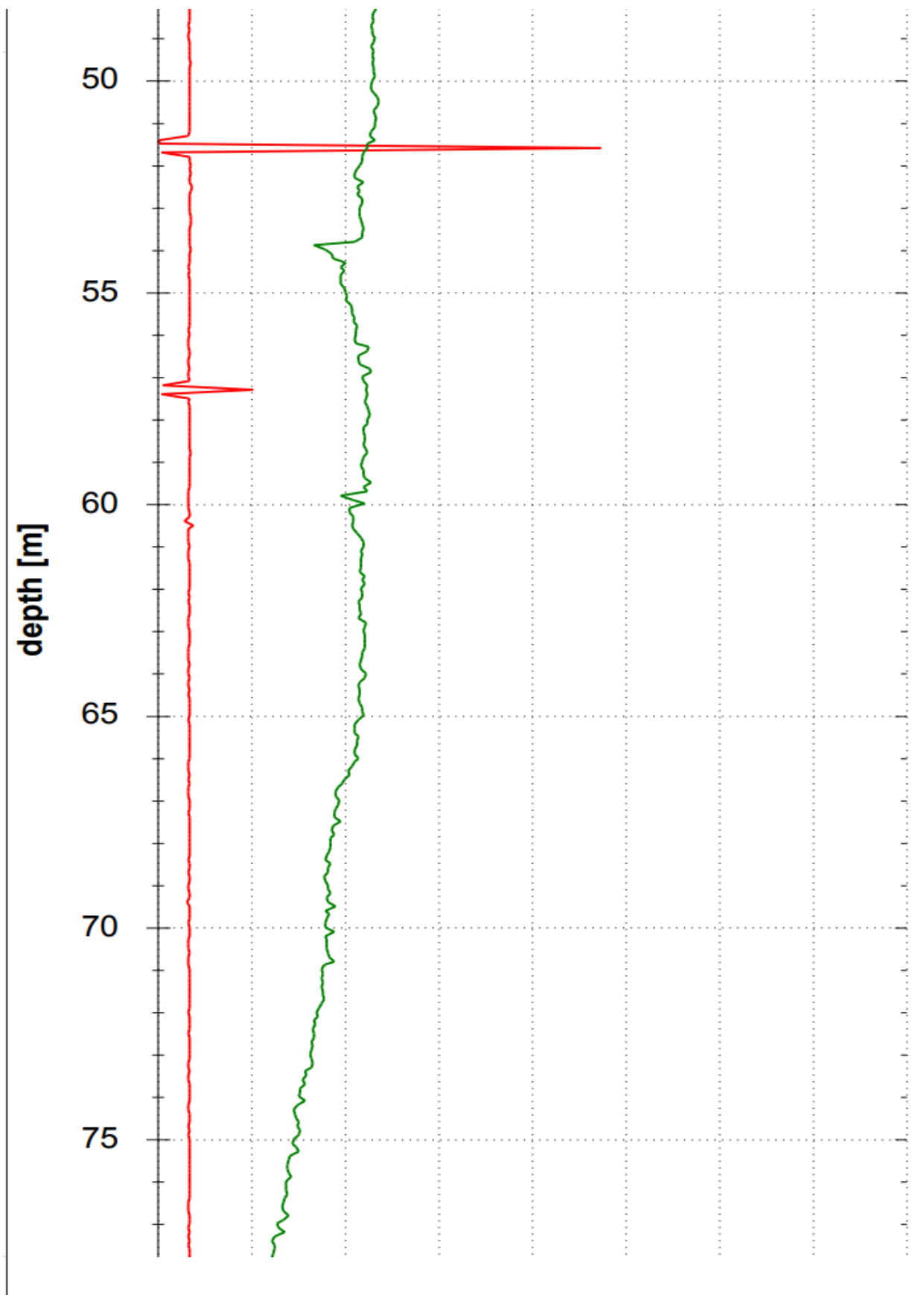


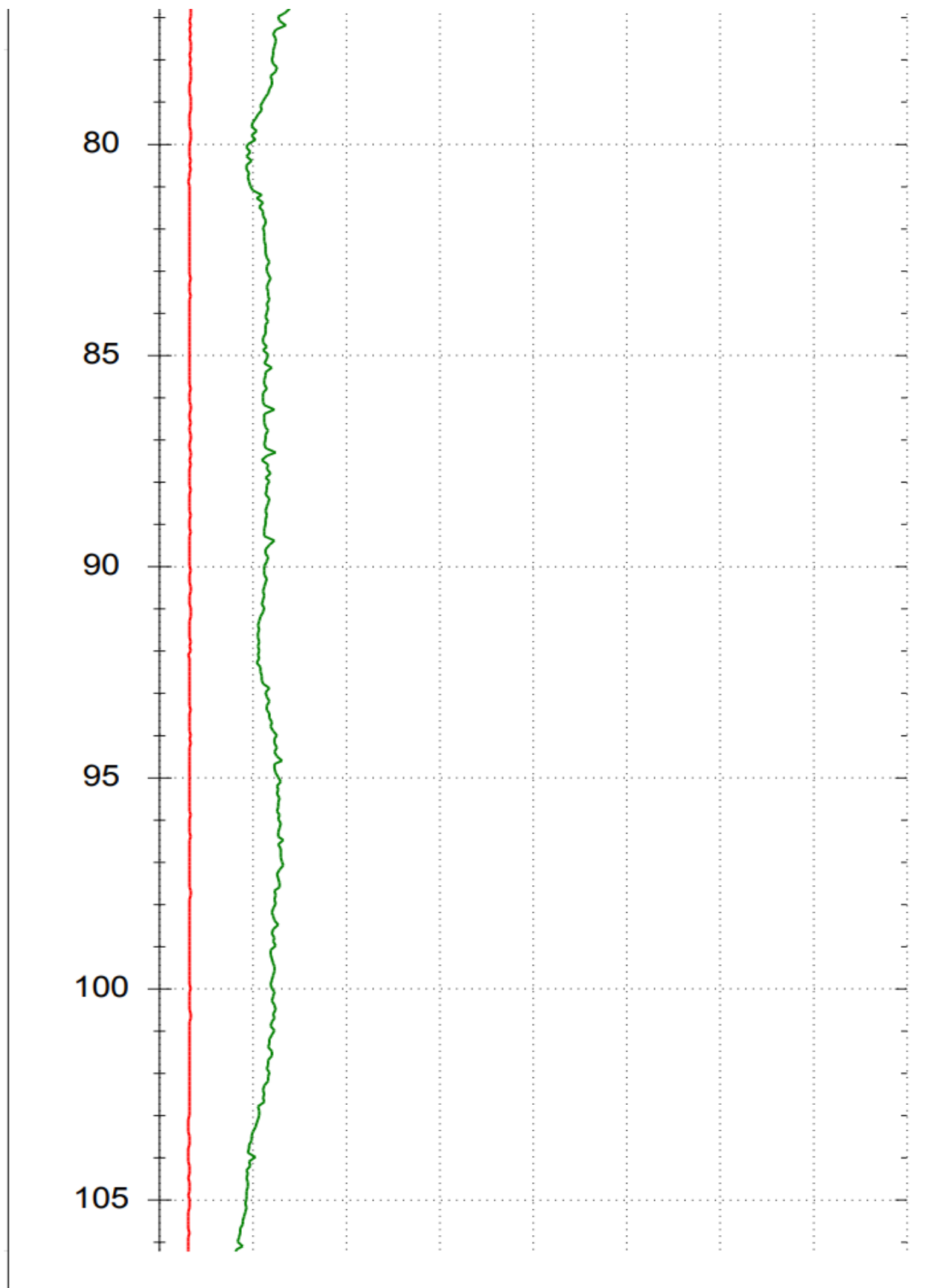
Figure 12: COUPE TECHNIQUE DU FORAGE DE TORI-CADA

Annexe 3: LOGS DE DIAGRAPHIE DES FORAGES









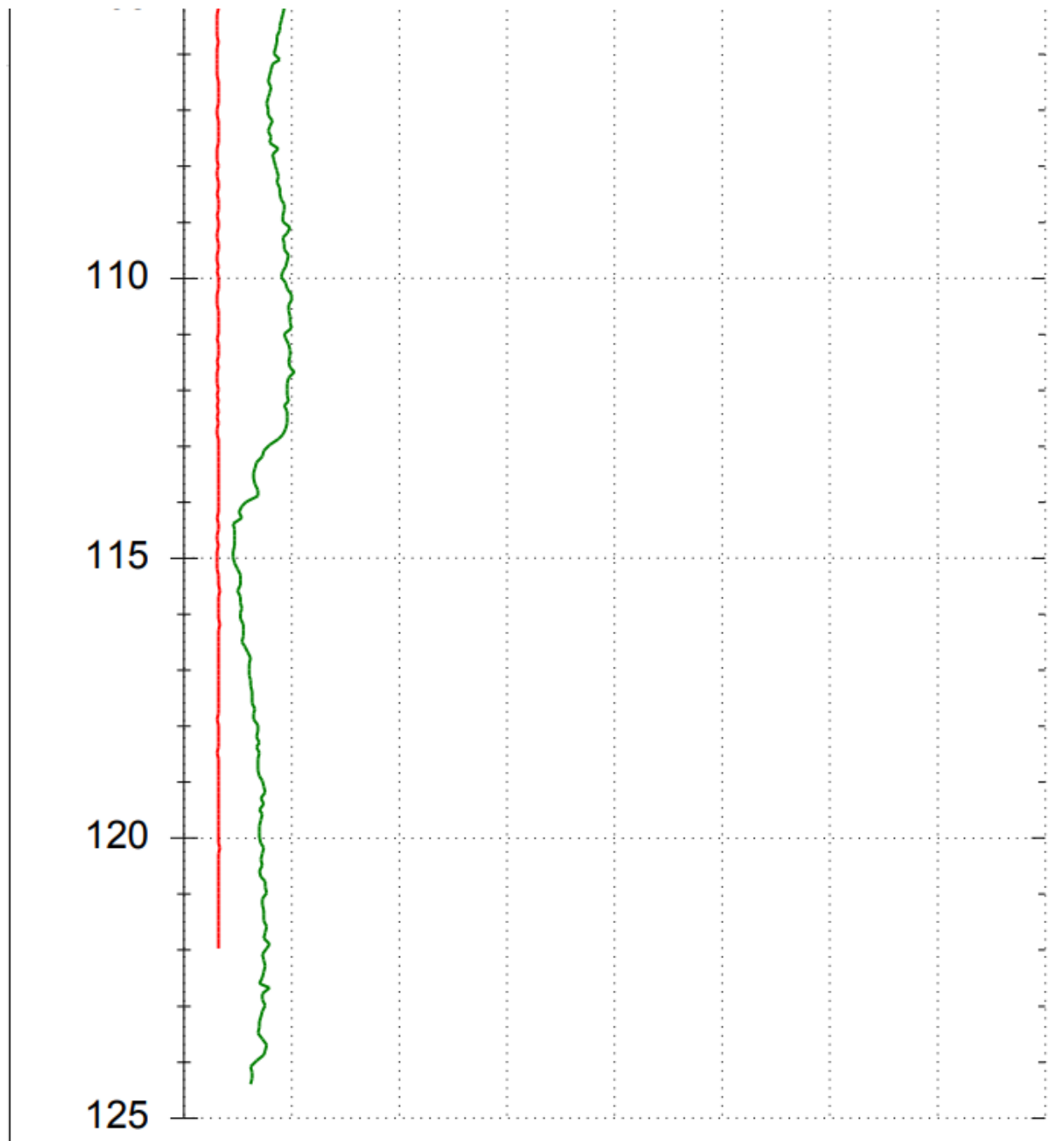
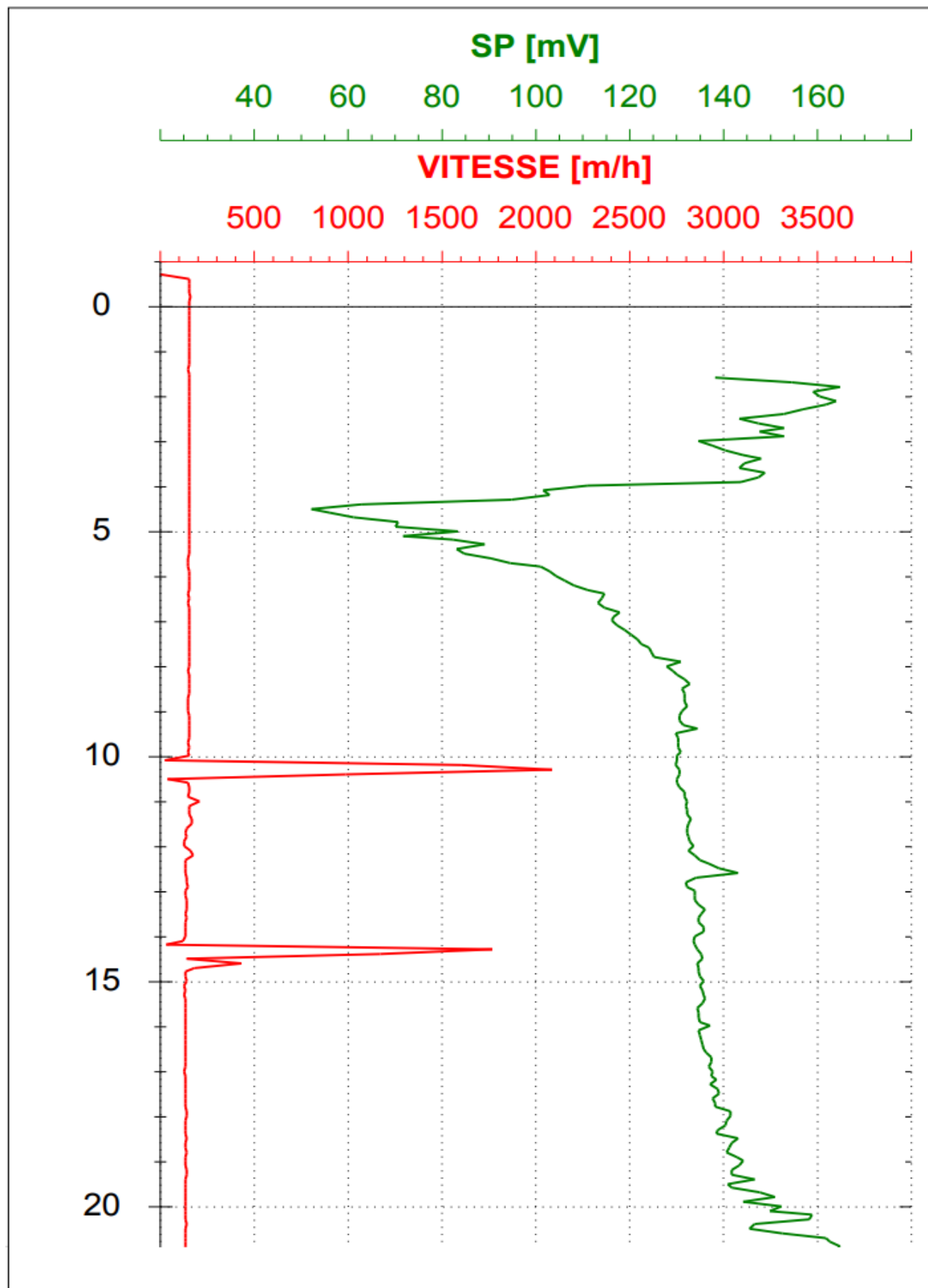
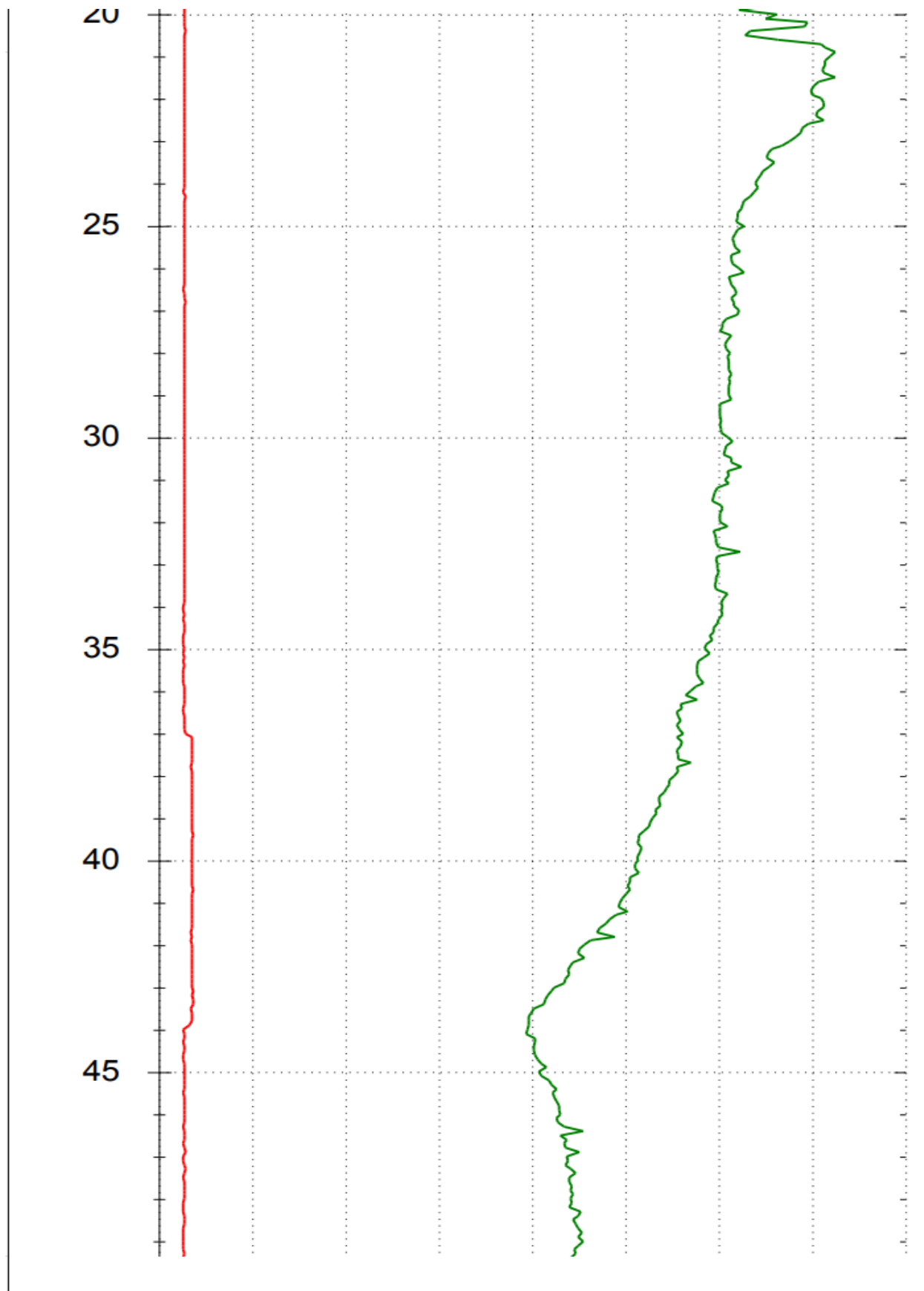
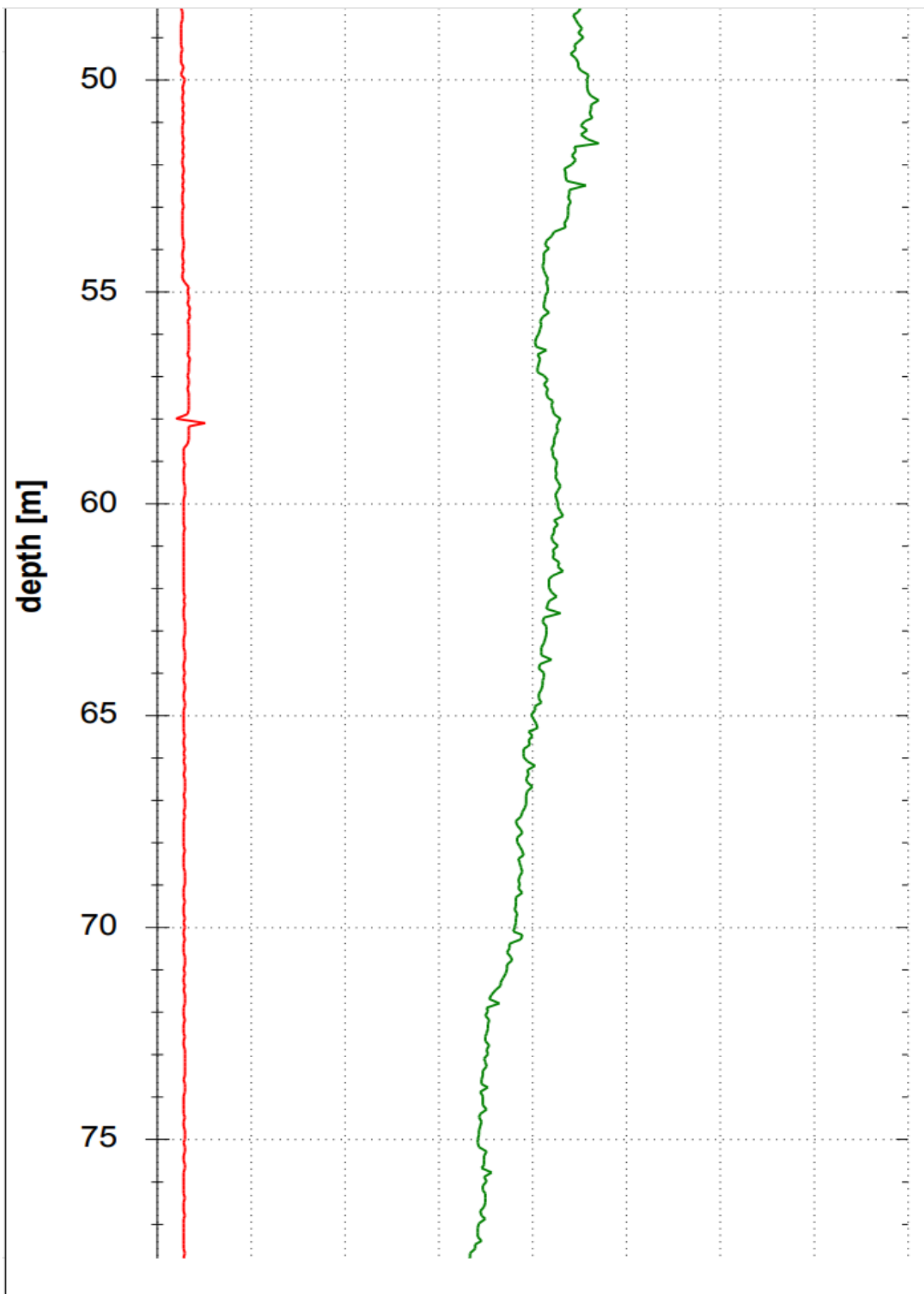


Figure 13: Logs de diagraphe PS du forage de PAHOU.







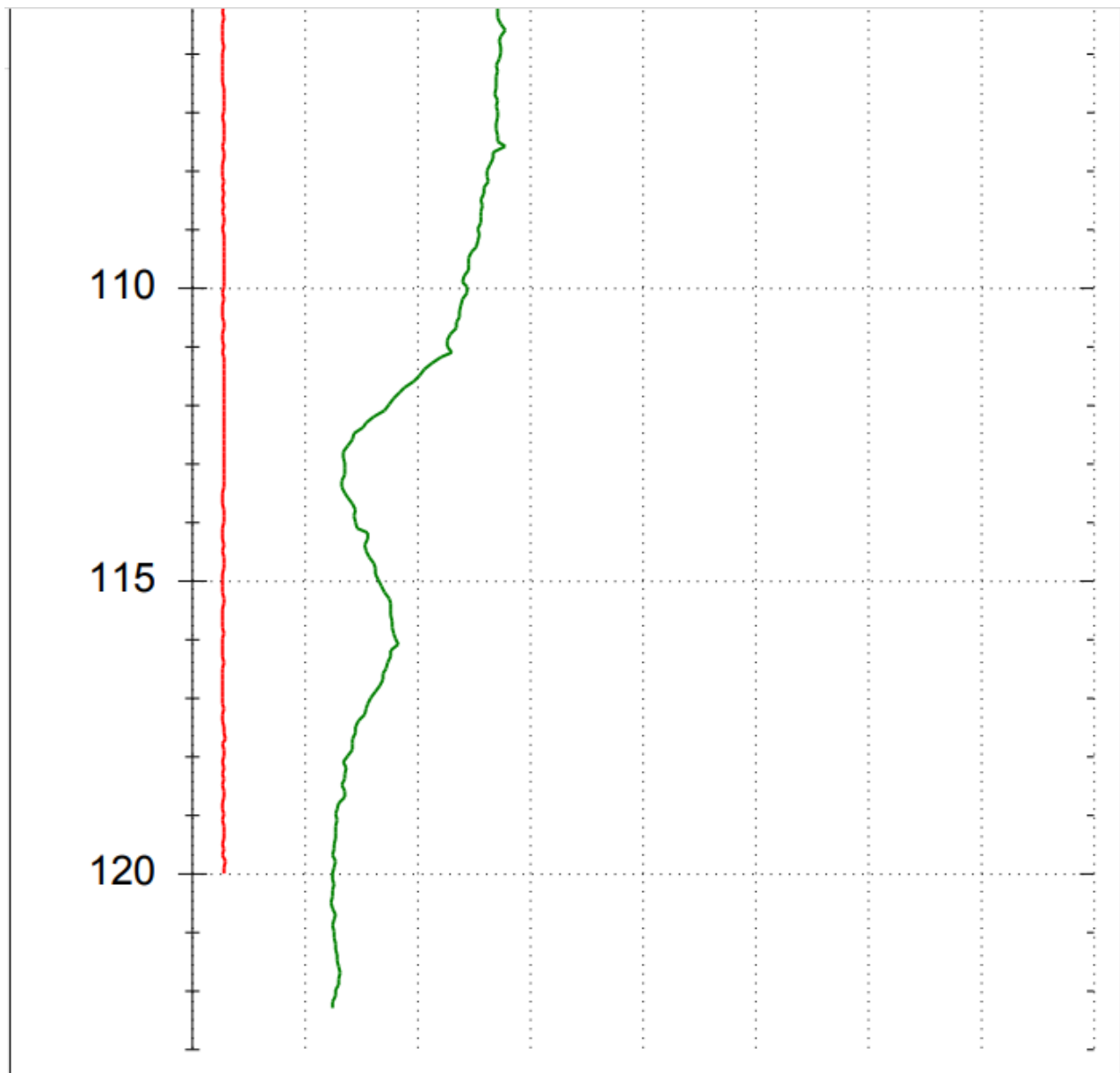
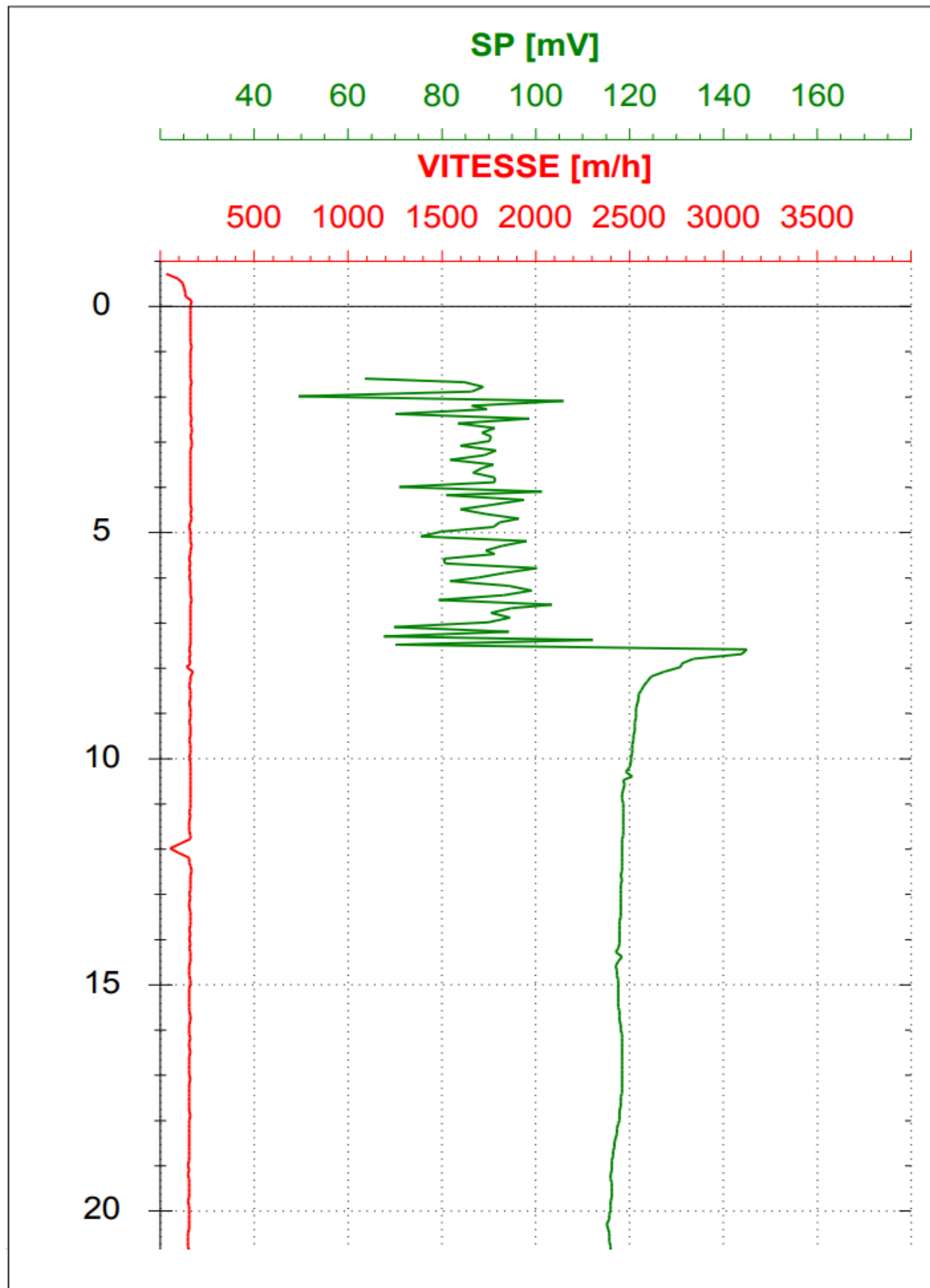
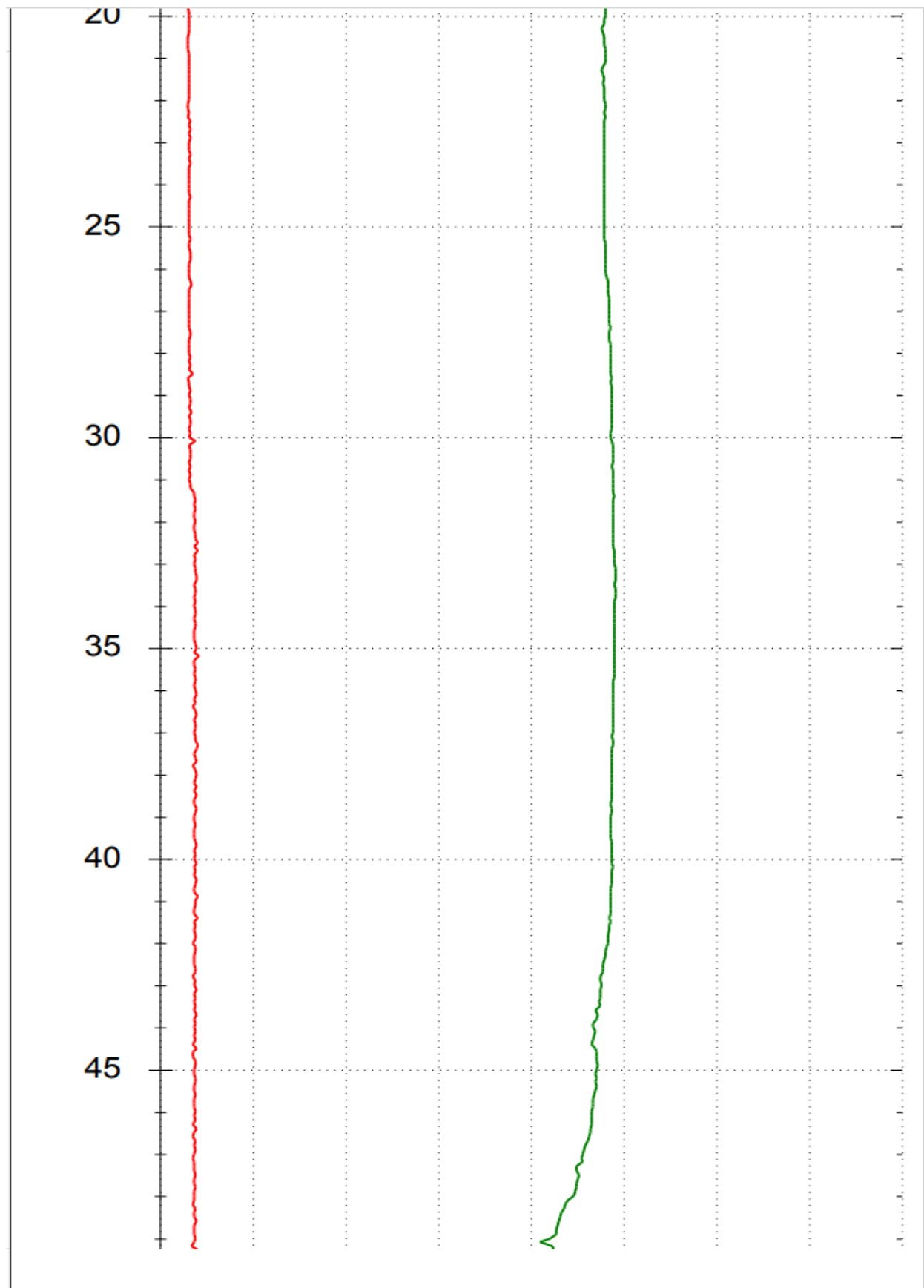
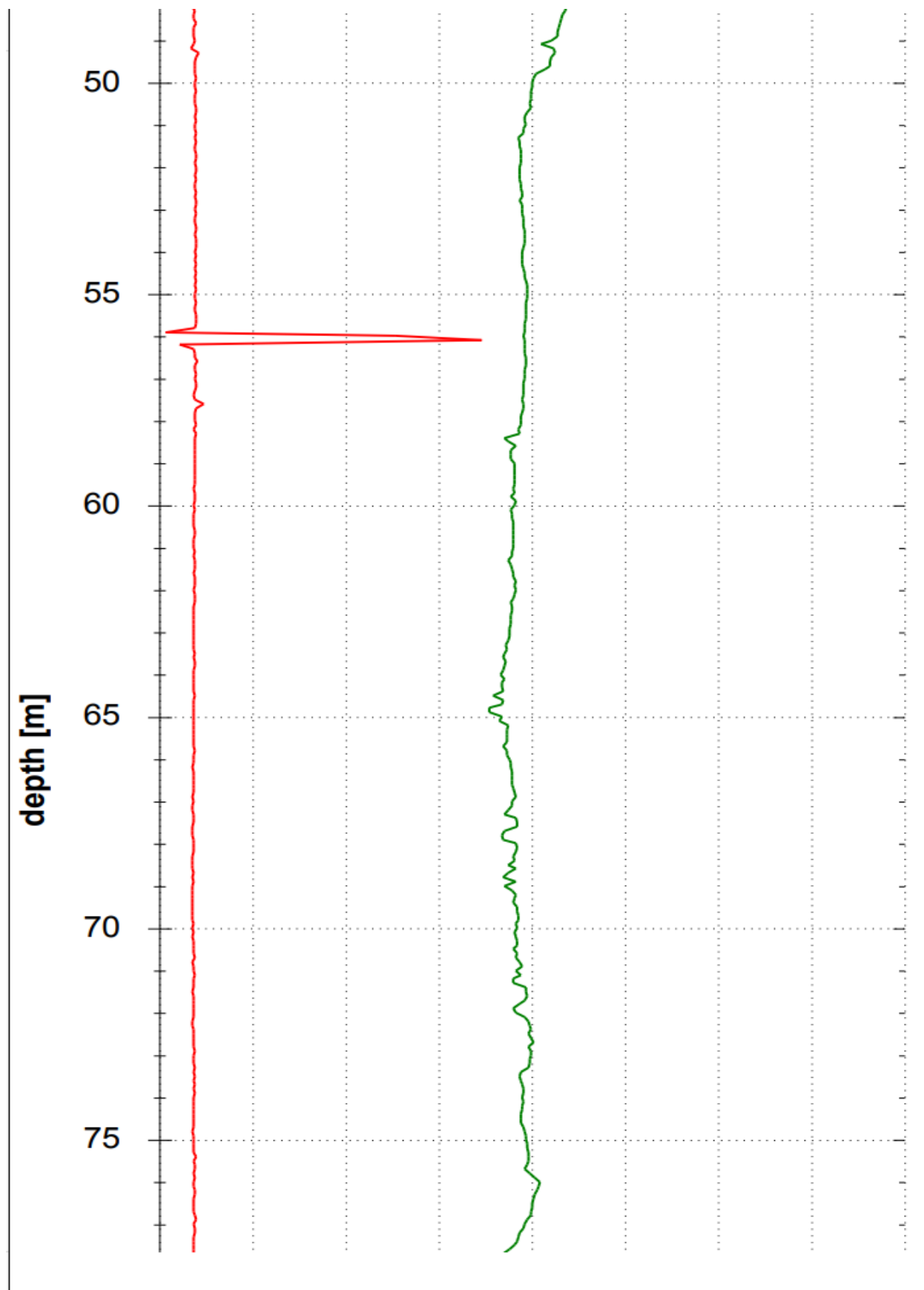
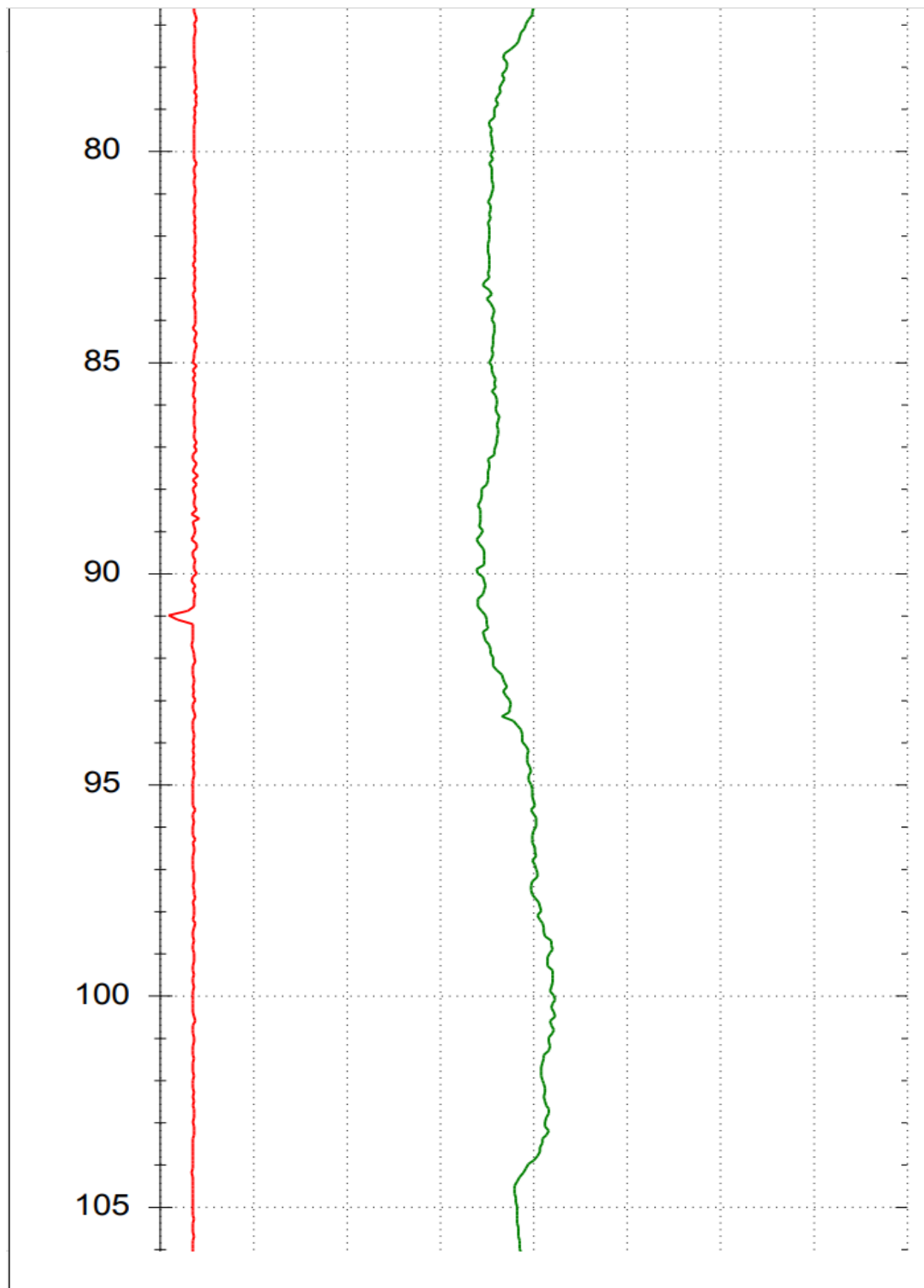


Figure 14: Log de diagraphe PS du forage de HOZIN









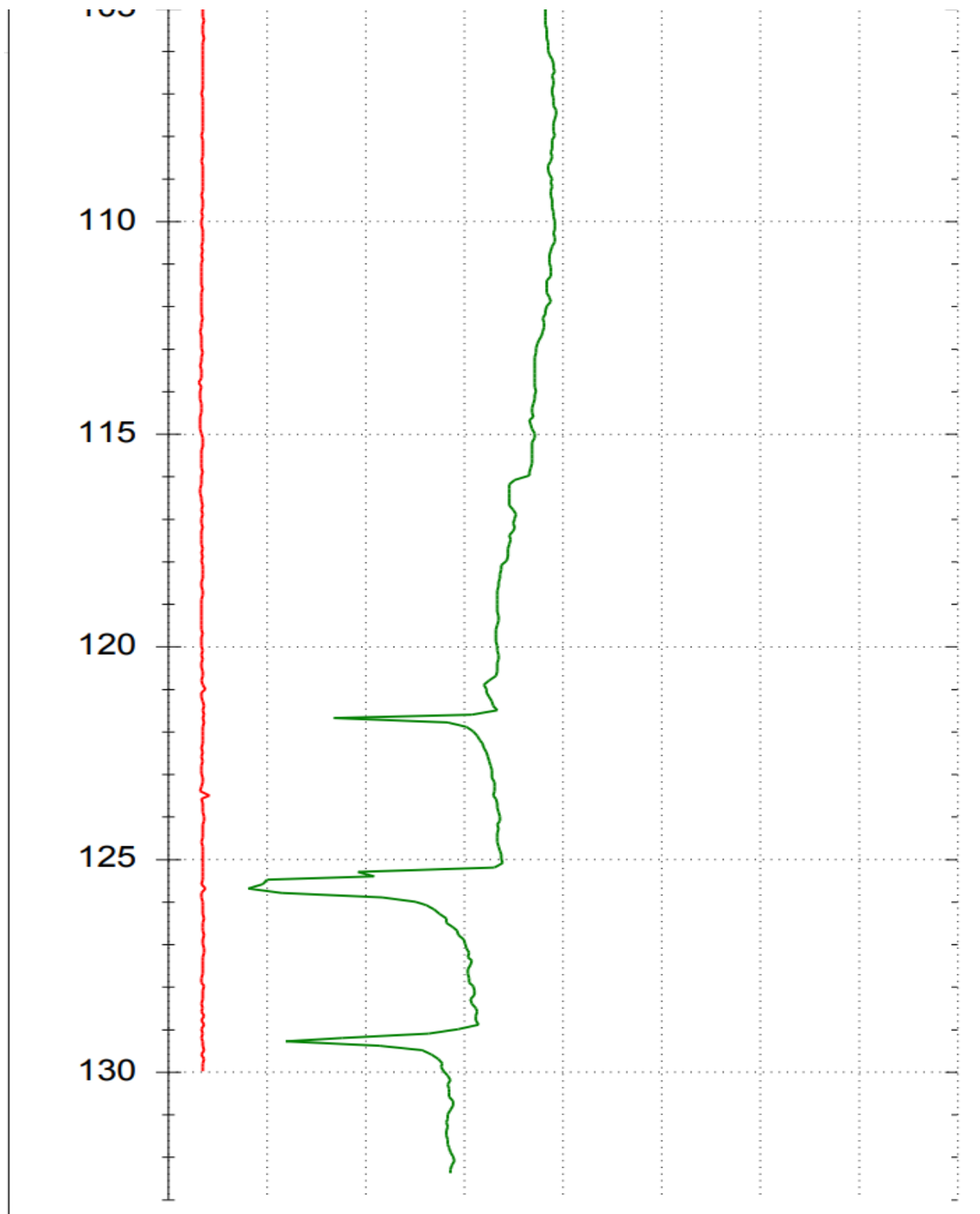


Figure 15: Logs de diagraphe PS du forage d'AGLOGBE

Figure 16: Logs de diagraphie PS du forage de AZOWLISSE

Annexe 4: Photo de terrains.



Photo 6: Echantillons de sol (Cuttings)



Photo 5: sonde



Photo 7: Poste de commande

TABLE DES MATIERES

DÉDICACE.....	i
REMERCIEMENTS	ii
RÉSUMÉ.....	iii
ABSTRACT	iv
SIGLES ET ACRONYMES :	v
LISTE DES FIGURES	vi
LISTE DES TABLEAUX	vi
LISTE DES EQUATIONS.....	vii
LISTE DES PHOTOS	vii
LISTE DES ANNEXES.....	vii
INTRODUCTION.....	1
INTRODUCTION.....	2
Contexte général.....	2
Objectifs du mémoire	3
1.1 Objectif général.....	3
1.2 Objectifs spécifiques	3
Hypothèses	4
Limites de l'étude.....	4
Résultats attendus de l'étude et bénéficiaires.....	5
Nouveauté de l'étude.....	5
Grandes divisions du mémoire	6
Chapitre 1 : Milieu d'étude	8
1.1 Introduction	8
1.2 Localisation de la zone d'étude et présentation du BSC.	8
1.3 Géologie du bassin sédimentaire	9
1.4 Hydrogéologie	12
1.5 Géomorphologie	15

Caractérisation hydrogéologique de l'aquifère du continental terminal du bassin
sédimentaire côtier au Bénin par la méthode de diagraphe.

1.6	Pédologie	16
1.7	Climat	17
1.8	Quelques aspects socio-économiques.....	18
1.9	Conclusion du chapitre 1	18
Chapitre 2 : Données, matériel et méthodes.....		20
2.1.	Introduction	20
2.2.	Données et Matériel	20
2.2.1.	Données utilisées.....	20
2.3.	Logiciel de traitement	20
2.4.	Présentation de la diagraphe.....	21
2.5.	Conclusion chapitre 2	26
Chapitre 3 : Résultats et discussion.....		28
3.1	Introduction	28
3.2	Résultats.....	28
3.2.1	Description de la lithologie et de la stratigraphie.....	28
3.2.2	Identification des venues d'eau pour le positionnement des crépines.	37
3.2.3	Evaluation de la variabilité du contenu en argile dans l'aquifère du continental terminal.....	40
3.3	Discussion.....	43
3.3.1	Validité des hypothèses	43
3.3.2	Discussion des résultats obtenus	43
3.4	Conclusion du chapitre 3	50
CONCLUSION ET SUGGESTION		52
REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE.....		54
ANNEXES		56
Annexe 1: PRESENTATION DE L'INTERFACE DU LOGICIEL GESFOR.....		56
Annexe 2: COUPE LITHOLOGIQUE DE FORAGE ET EQUIPEMENT.....		57
Annexe 3: LOGS DE DIAGRAPHIE DES FORAGES		62
Annexe 4: Photo de terrains.		76