

ACTUALISATION STRUCTURALE DE L'AQUIFÈRE DU PALÉOCÈNE DANS LE BASSIN CÔTIER DU TOGO

Gnazou M.D.T.

Sabi B. E.

Togbe K.A.

da Costa Y.D.

Département de géologie, Lomé, Togo

Agouda, K

Direction des Ressources en eau, Lomé, Togo

Abstract

Groundwater is one of the main sources of drinking water to the population living in the coastal sedimentary basin of Togo. Faced with the depletion and pollution of the most accessible aquifer of the Continental terminal, it is important to find alternatives groundwater resources, exploring the potential of the deep aquifers that are little exploited this day. This study aims to improve knowledge of one of these deep aquifers and particularly the Paleocene aquifer. The Paleocene aquifer is a confined aquifer and this study focuses on its configuration, its location and its structure, based on the systematic inventory of wells and stratigraphy. Thus geological sections of North-South and West-East directions have allowed knowing the extent and geometry of this aquifer, as well as the nature of the reservoir and wall rocks. They also show that the sedimentary formations of coastal basin are organized in a monocline series dipping toward south. Different results were represented as isopach map of the reservoir and isohypse maps of upper confining bed and lower confining one. As the others formations of the basin, the wall rocks take on an air of an inclined plane towards the Atlantic Ocean. The upper confining bed elevations range from 20 m in the northern part of the basin, at -380 in the Southeast. Those of lower confining bed in the same sectors are 0 in NW and -20m in NE at -420 m in the South. This morphology of the aquifer is related to the NNW-SSE direction of extension faults that affected the crystalline basement at the opening of the Atlantic Ocean. Estimates of the reservoir thickness are between 6m to more than 50 m and are influenced by the base sands.

Keywords:

Résumé

Les eaux souterraines constituent l'une des principales sources d'approvisionnement en eau potable des populations résidant sur le bassin sédimentaire côtier du Togo. Face à l'épuisement et à la pollution de la nappe la plus accessible du Continental terminal, il est important de trouver des ressources en eau souterraine alternatives, en explorant les potentialités des aquifères profonds qui sont à ce jour très peu exploités. Cette étude se propose d'améliorer les connaissances sur l'un de ces aquifères profonds et plus particulièrement celui du Paléocène. L'aquifère du Paléocène est un aquifère captif et cette étude s'intéresse à sa configuration, sa localisation et à sa structure, en se basant sur l'inventaire systématique des forages et la stratigraphie. Ainsi, des coupes géologiques de directions Nord-Sud et Ouest-Est ont permis de connaître l'extension et la géométrie de l'aquifère, de même que la nature du réservoir et des épontes. Elles montrent également que les formations sédimentaires du bassin côtier s'organisent en une série monoclinale à pendage vers le Sud. Les différents résultats ont été représentés sous forme de cartes en courbes isopaches du réservoir et courbes isohypses du mur ou du toit. Comme pour l'ensemble des formations du bassin, les épontes ont l'allure d'un plan incliné en direction de l'Océan Atlantique. Les altitudes du toit varient entre +20 m dans la partie nord du bassin, à -380 dans le Sud-Est. Celles du mur dans les mêmes secteurs vont de 0 au Nord-Ouest et -20m au Nord Est à -420 m SW et au SE. Cette morphologie de l'aquifère est en relation avec les failles d'extension de direction NNW-SSE qui ont affecté le socle cristallin lors de l'ouverture de l'Océan Atlantique. Les estimations de l'épaisseur du réservoir sont comprises entre 6m à plus de 50 m et sont influencées par les sables de base.

Introduction

Les roches carbonatées paléocènes qui s'étendent sur une grande partie du bassin sédimentaire côtier togolais constituent un puissant magasin aquifère d'un grand intérêt. Malheureusement, cet aquifère reste peu connu et les rares études le concernant sont restées au stade prospectif. Plusieurs raisons expliquent la méconnaissance de cet aquifère profond à savoir la présence de la nappe superficielle du Continental terminal très productif et les coûts très onéreux des forages dans les aquifères profonds. Le bassin sédimentaire côtier accueille le tiers de la population nationale (DGSCN, 2010) sur une surface de 3450 km², représentant environ 6% de la superficie totale. C'est une région où s'est développée la plus grande partie de l'activité économique et où s'est implantée l'industrie naissante, à cause de son accès

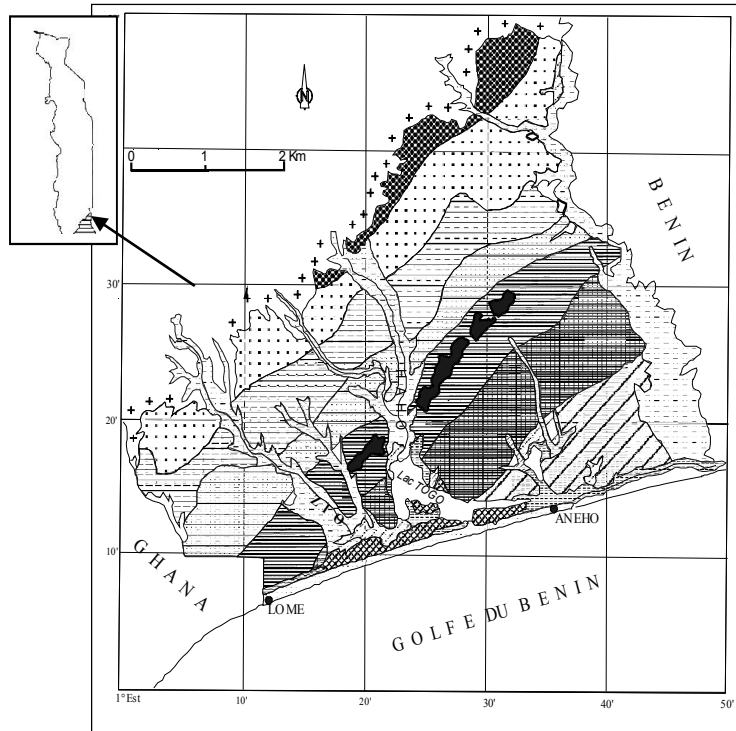
à la mer. Cette concentration de la population, des industries et des activités économiques sur une surface aussi restreinte a conduit à une surexploitation de la nappe du Continental terminal, la plus accessible, avec pour conséquence majeure la salinisation de cette ressource en eau souterraine. Actuellement, on assiste de plus en plus à l'implantation des forages d'exploitation dans les aquifères profonds en particulier l'aquifère du Paléocène qui constitue une ressource alternative. Avec l'accroissement de la sollicitation de l'aquifère paléocène, il devient impératif de mieux connaître cette ressource en eau ; et de cette connaissance dépendra sa pérennisation.

L'objectif de cette étude entamée depuis quelques années est de mieux connaître l'aquifère du Paléocène dans son extension et dans sa géométrie à l'échelle du bassin sédimentaire togolais.

Zone d'étude

La zone est le bassin sédimentaire côtier du Togo. Il est limité au Nord par les affleurements de son substratum (socle cristallin d'âge panafricain) et se prolonge au Sud par la portion offshore sous l'Océan Atlantique. Il s'étend d'Ouest en Est, depuis la frontière du Ghana jusqu'au fleuve Mono qui matérialise la frontière avec la République du Bénin (figure 1).

Sur le plan géomorphologique, le bassin sédimentaire côtier s'organise, de part et d'autre de la dépression de la Lama orientée NNE-SSW, en un ensemble de plateaux inclinés découpés par des vallées des cours d'eau. Ce bassin est drainée par les cours d'eau du Zio, du Haho et du Mono. Dans la plaine littorale, s'étire un système lagunaire composé des lagunes de dimensions modestes dont le lac Togo représente l'un des plus importants. La région, soumise à un climat subéquatorial, est caractérisée par deux saisons pluvieuses bien distinctes liées au déplacement du Front Intertropical. Les précipitations sur l'ensemble du bassin ne sont pas homogènes ; elles diminuent sensiblement du Nord-est (1445 mm à Tabligbo) au Sud-ouest (864 mm à Lomé). La température moyenne mensuelle varie entre 25 et 29 °C à Lomé (Gnazou, 2008). La géologie du bassin sédimentaire côtier du Togo (figure 1) a été reconstituée grâce à de nombreux sondages hydrauliques et pétroliers, et aux gisements miniers (Sylvain et al., 1986, Monciardini et al., 1986). La série sédimentaire post-paléozoïque ainsi reconstituée est connue depuis le Maastrichtien jusqu'au Quaternaire (Slansky, 1962 ; Johnson, 1987, Costa, 2005). Parmi ces formations sédimentaires, on dénombre trois principaux horizons aquifères que sont les nappes du Crétacé supérieur, du Paléocène et du Continental terminal.



LEGENDE

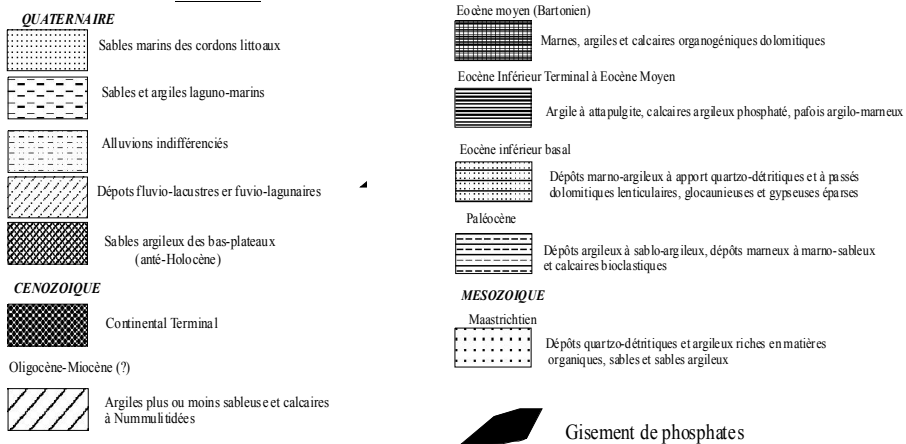


Figure 1 : Carte géologique de la zone d'étude

Matériel et méthode

Plusieurs travaux ont abordé le problème de l'extension des dépôts du Paléocène (PNUD, 1975 ; 1982). Les limites du Paléocène vont évoluer entre 1975 et 2008, en fonction de données disponibles. L'aquifère a été d'abord défini dans la portion ouest du bassin puis prolongé vers l'Est (figure 3 et 4). Ces travaux ont également montré que le réservoir est constitué de calcaires

blancs fissurés reposant parfois sur une couche graveleuse de 5 à 10 m de puissance et l'ensemble constitue une couche aquifère unique de 15 à 20 m d'épaisseur. D'autres études ont tout simplement assimilé les calcaires de l'Eocène et ceux du Paléocène, en les considérant comme un système aquifère unique, d'où le terme «d'aquifère éo-paléocène » (PNUD, 1982 ; Akouvi, 2000). Les calcaires éocènes sont souvent exploités uniquement dans la partie centrale du bassin au droit des localités d'Avéta et de-Hahotoé. Les travaux du PNUD (1975) n'ont pas permis de préciser l'extension de l'aquifère du Paléocène à l'Est du bassin car leurs données de prospections géophysiques n'ont pu différencier les calcaires au sein de l'importante couche argileuse éo-paléocène. Ce sont les études du DGHE (1983) qui fixent la limite Est des calcaires « éo-paléocènes » à peu près au niveau du lac Togo. A cet endroit, les calcaires deviennent de moins en moins karstifiés et moins épais avant de disparaître complètement plus à l'Est. Au cours de la phase de modélisation (DGHE, 1984), une limite imperméable a été imposée à cet aquifère au niveau du lac Togo. Les travaux de Gnazou (2008) ont montré que cet aquifère s'étend d'Ouest en Est sur l'ensemble du bassin sans pour autant donner la preuve de son existence au centre et Sud-est. (Figure 5).

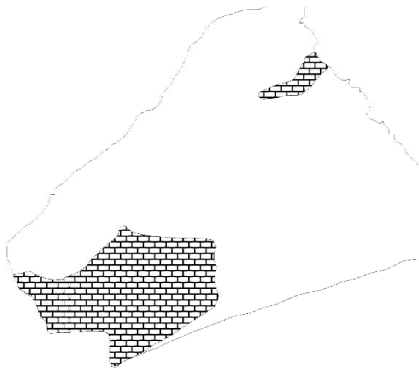


Figure 2 : Extension de l'aquifère du Paléocène (PNUD, 1975)

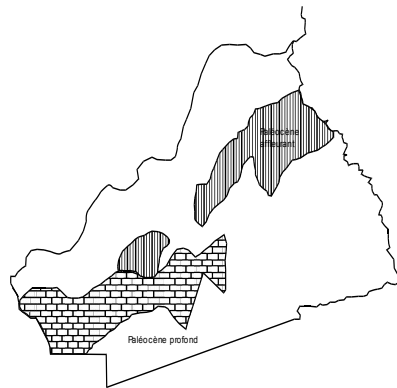


Figure 3 : Extension de l'aquifère du Paléocène (PNUD, 1982)

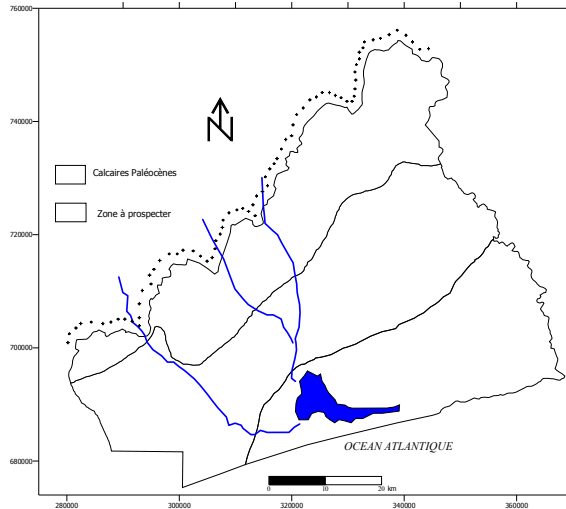


Figure 4 : Extension de l'aquifère du Paléocène (Gnazou, 2008)

Pour améliorer la géométrie de l'aquifère paléocène, toute la zone du bassin côtier a été quadrillée de forages profonds ; ce qui a permis la réalisation de coupes géologiques de direction Ouest-Est d'une part et Nord-Sud de l'autre (Figure 5). Trois coupes ouest-est ont pour but de montrer la continuité des calcaires d'Ouest en Est et; de confirmer le caractère transfrontalier de cet aquifère. L'objectif des coupes nord-sud est de démontrer la continuité de l'aquifère jusqu'à l'Océan Atlantique. La géométrie et la structure de l'aquifère ont été étudiées selon les méthodes classiques de l'hydrogéologie régionale, basée sur la stratigraphie, la géologie structurale et sur l'inventaire systématique des points d'eau. La stratigraphie est précisée à l'aide de l'analyse des forages utilisés dans le cadre de la synthèse géologique du bassin (BRGM, 1986, Monciardini et al. 1986). Des coupes de forages de divers projets d'hydrauliques réalisés entre 1998 et 2014 ont été également utilisées. Les forages ont été étudiés et filtrés afin de ne plus confondre les aquifères éocène et paléocène. Pour cela, nous avons adopté la succession lithologique de Monciardini et al. (1986).

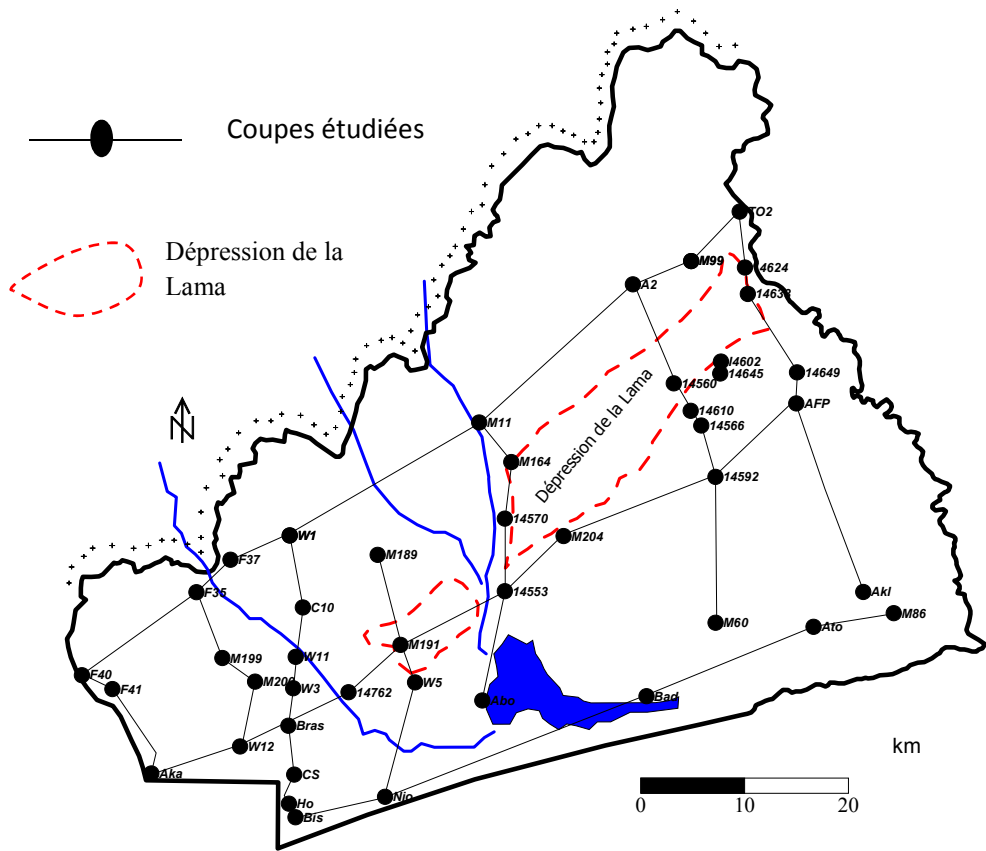


Fig. 5 : Carte de localisation des coupes

La géométrie de l'aquifère a pris en compte les cartes en courbes isohypses des épontes, et celles en courbes isopaches du réservoir calcaire. Pour le calcul de la cote des épontes (Z), nous avons alors utilisé le Modèle Numérique de Terrain (MNT) de l'USGS. Les épaisseurs du réservoir ont été déduites de la différence de profondeur entre le substratum et celle du toit au droit des forages.

Résultats

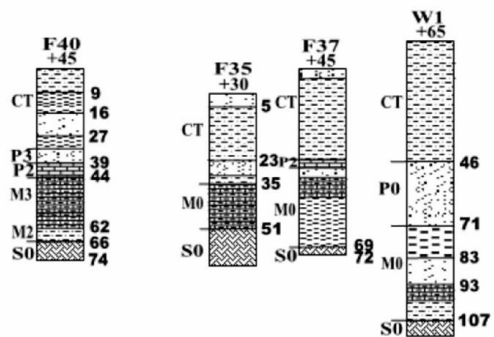
Les figures 6 à 15 montrent les diverses coupes réalisées dans le bassin côtier du Togo. La coupe réalisée dans la partie septentrionale a pris en compte huit (08) forages. Ce sont les forages F40, F35, F37, W1, M11, A2, M99 et TO2 (figure 6). Tous les forages à l'exception de M99 et TO2 ont traversé les formations de la série sédimentaire jusqu'au socle. Les calcaires blancs P2 constituant le réservoir sont interceptés seulement aux forages F40, au F37 et au M99. On note une lacune des formations du

Paléocène au F35, et celle sablo-argileuse de l'aquifère du Continental terminal reposent directement sur des formations du Maastrichtien. Ce cas de figure se retrouve également aux forages A2 et TO2. Aux forages W1, M11, et M99, le Paléocène est représenté par un faciès sablo-argileux très peu perméable.

La coupe effectuée dans la partie médiane du bassin (figure 7) a concerné huit forages : Aka, W12, 14760, M191, 14536, M204, 14592 et AFP. L'analyse de la coupe montre que les formations du Paléocène forment un complexe argilo-marneux avec des niveaux de calcaires blancs biogéniques à la base. Les calcaires reposent selon les cas sur des sables appartenant au Maastrichtien indifférencié (MO) ou au Maastrichtien sommital (M4). Ces calcaires se retrouvent à des profondeurs différentes. Cette morphologie serait en relation avec la présence de nombreuses failles de direction NNE-SSW et NNW-SSE mises en évidence par la société Motorola en 1977.

La coupe méridionale (figure 8) a pris en compte les forages de grande profondeur réalisés ces dernières années par les industrielles mais aussi pour l'AEP dans la région maritime. Cette coupe montre qu'à l'exception du forage M86 qui capte le Continental terminal, tous les autres ouvrages ont intercepté les calcaires blancs. On note sur cette coupe un effondrement des calcaires dans le secteur du lac Togo (Badougbé).

OUEST



EST

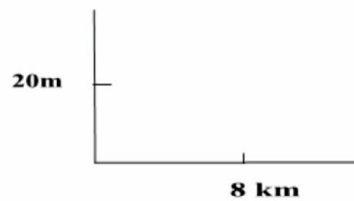
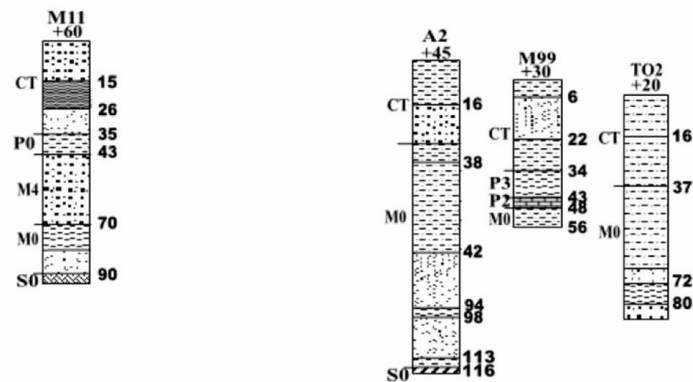


Figure 6 : Coupe W-E 1

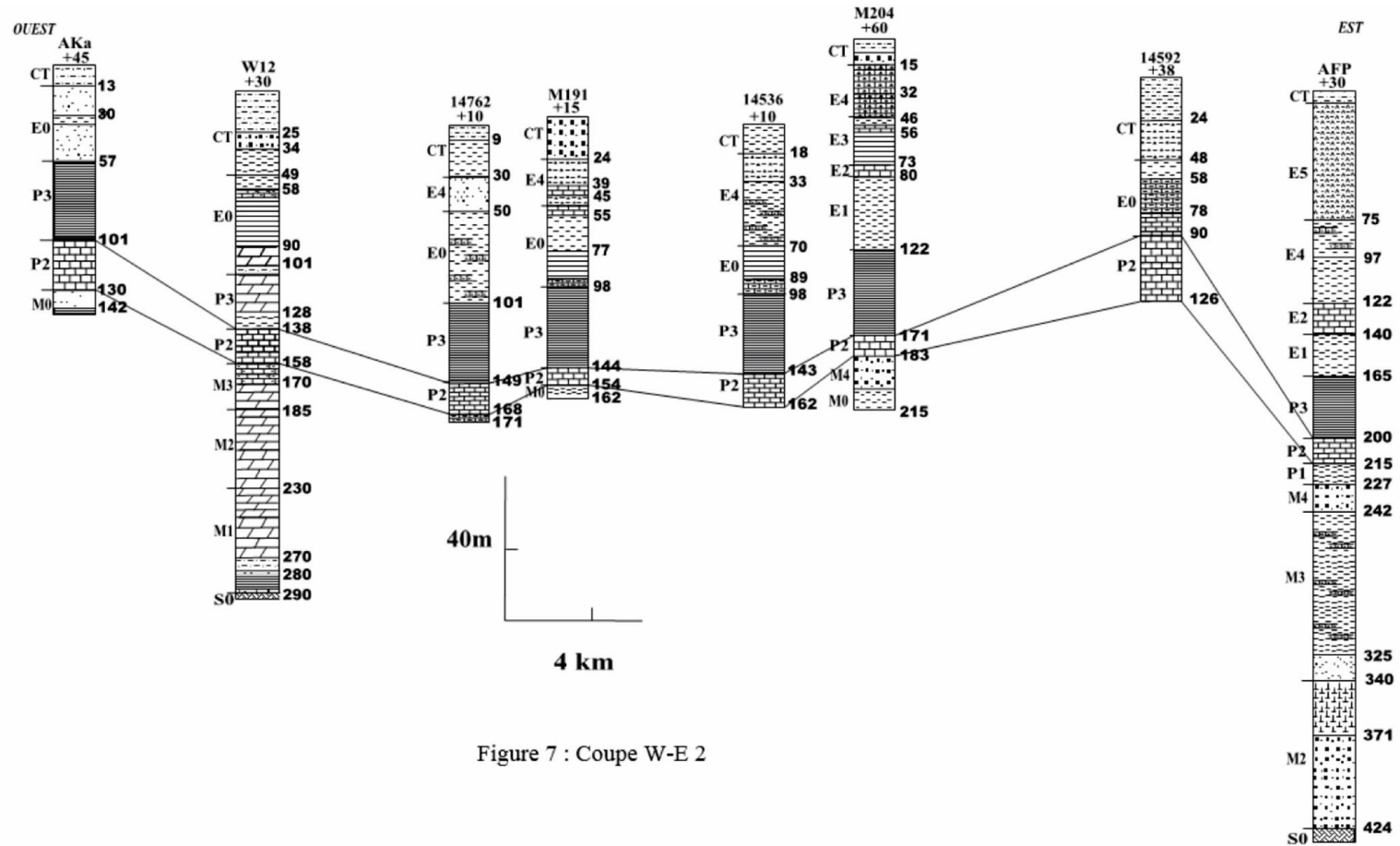


Figure 7 : Coupe W-E 2

OUEST

EST

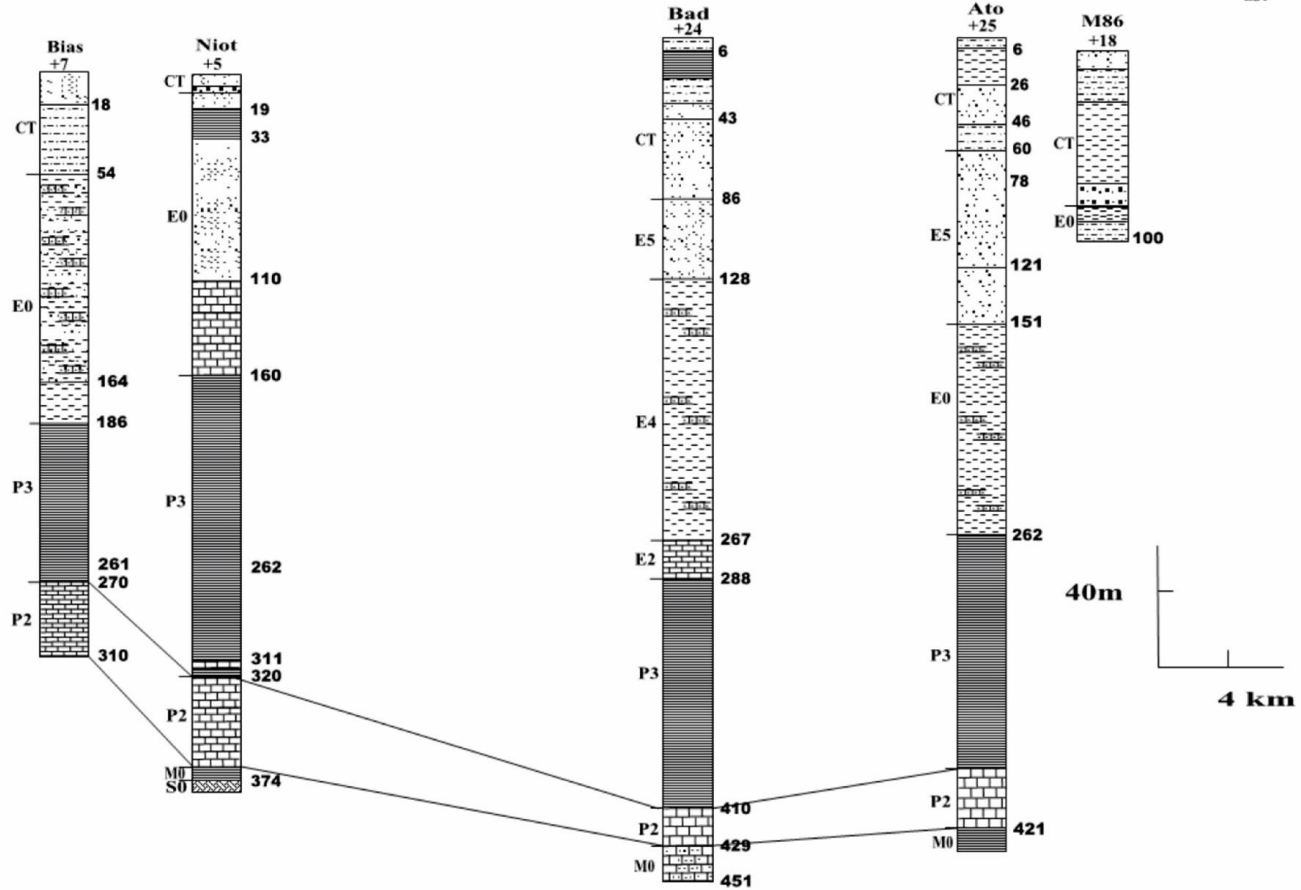


Figure 8 : Coupe W-E 3

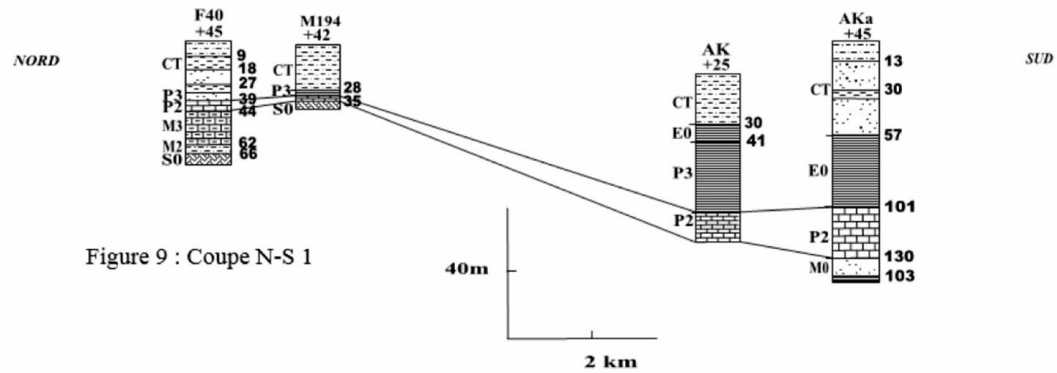


Figure 9 : Coupe N-S 1

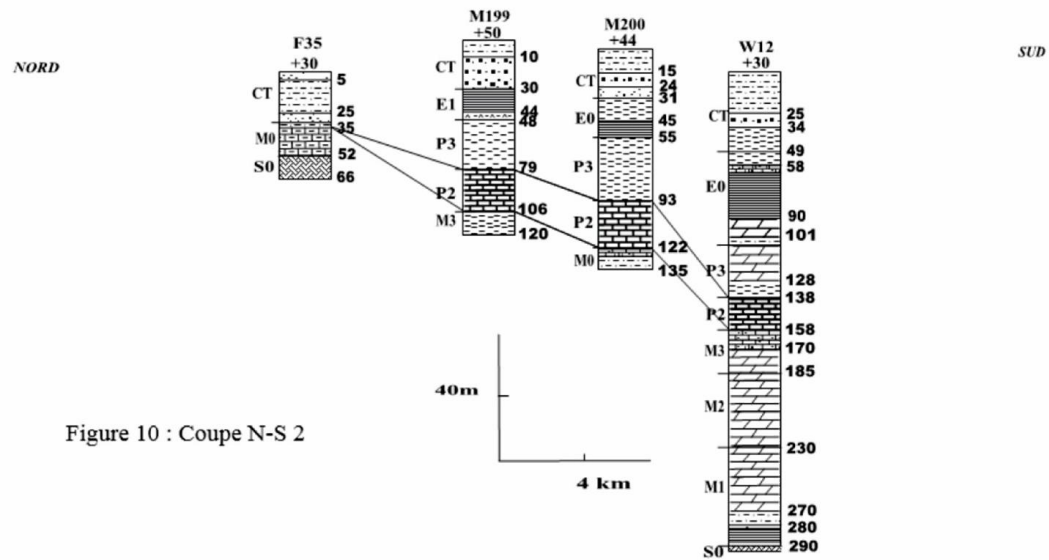


Figure 10 : Coupe N-S 2

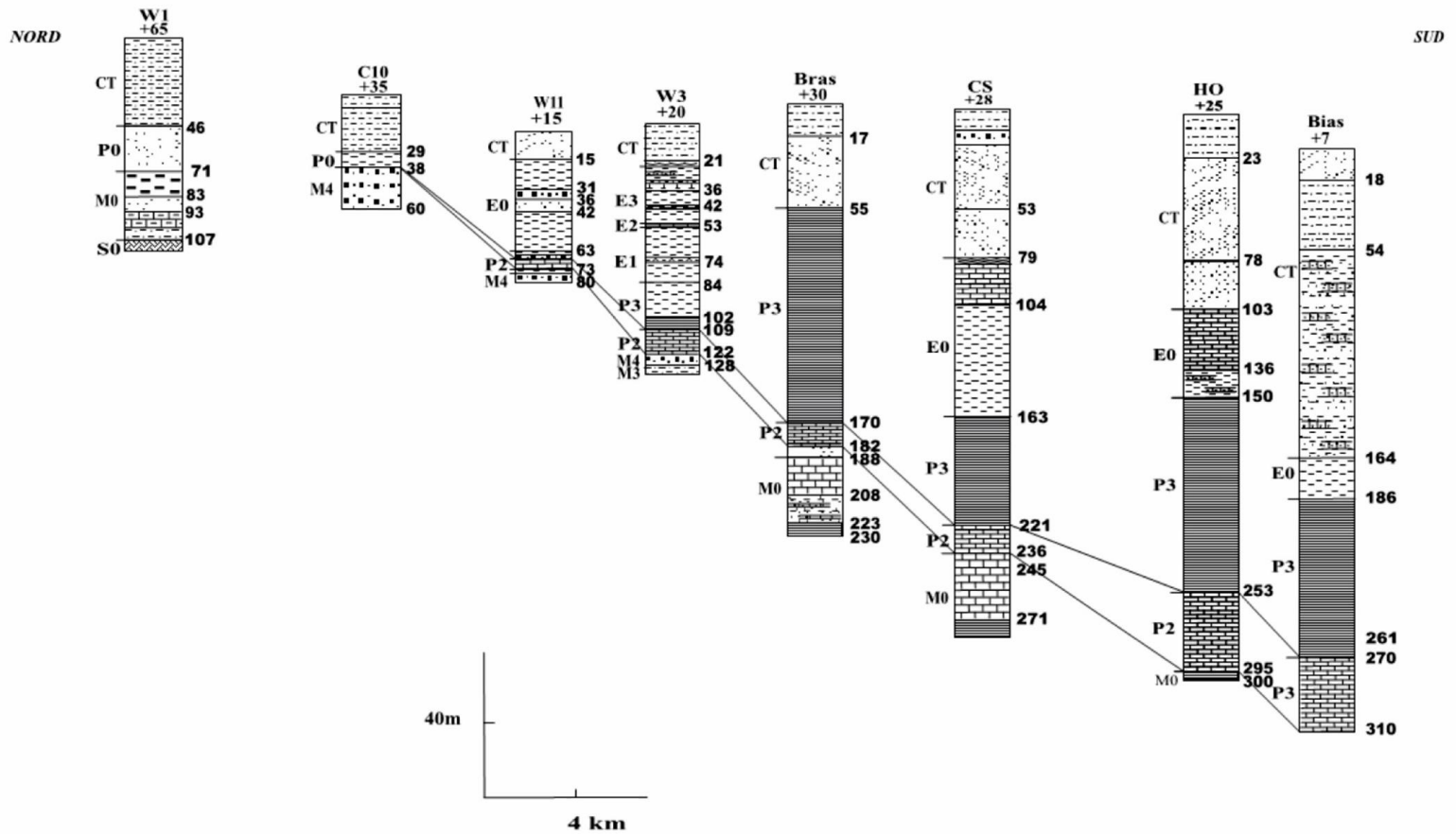


Figure 11 : Coupe N-S 3

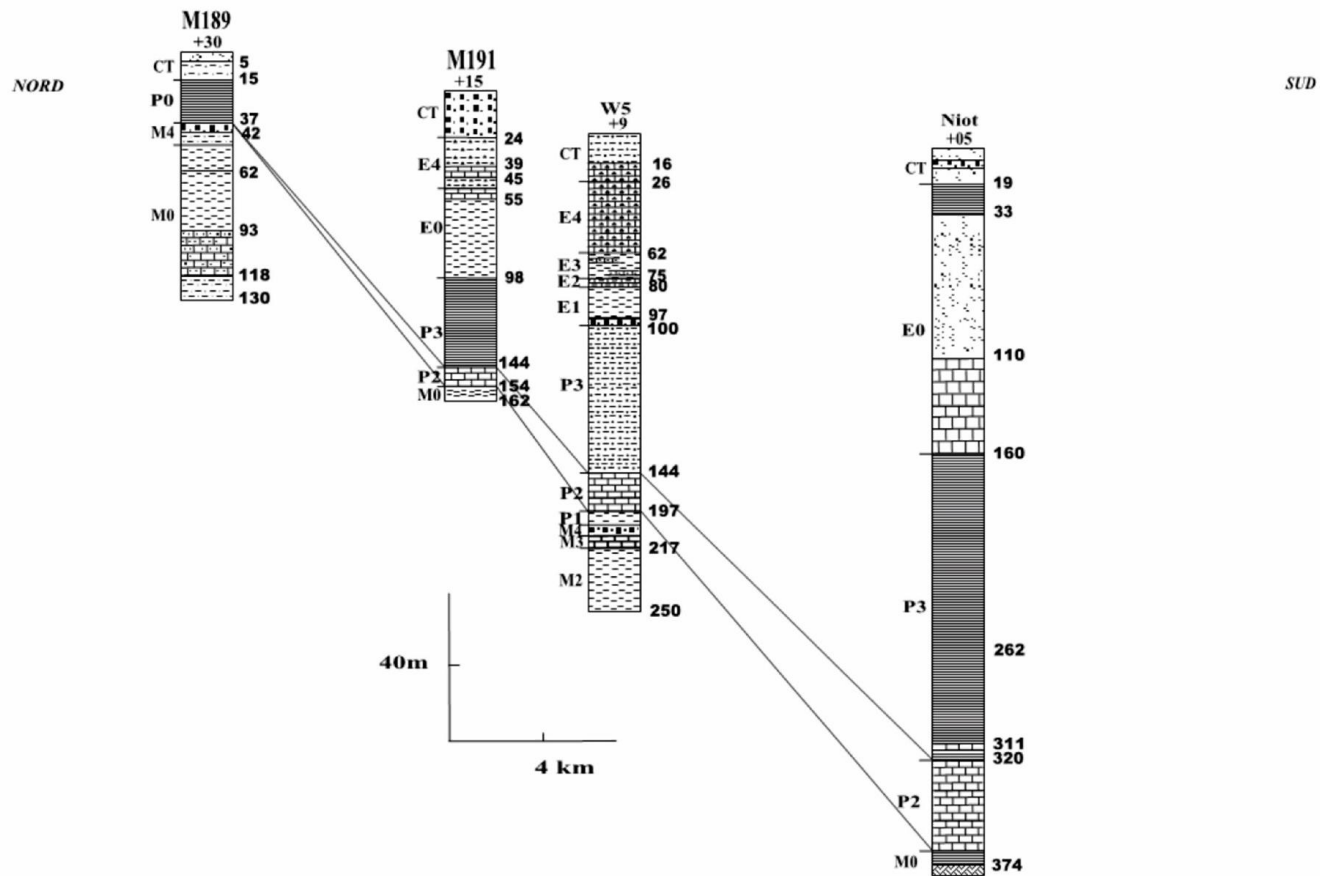


Figure 12 : Coupe N-S 4

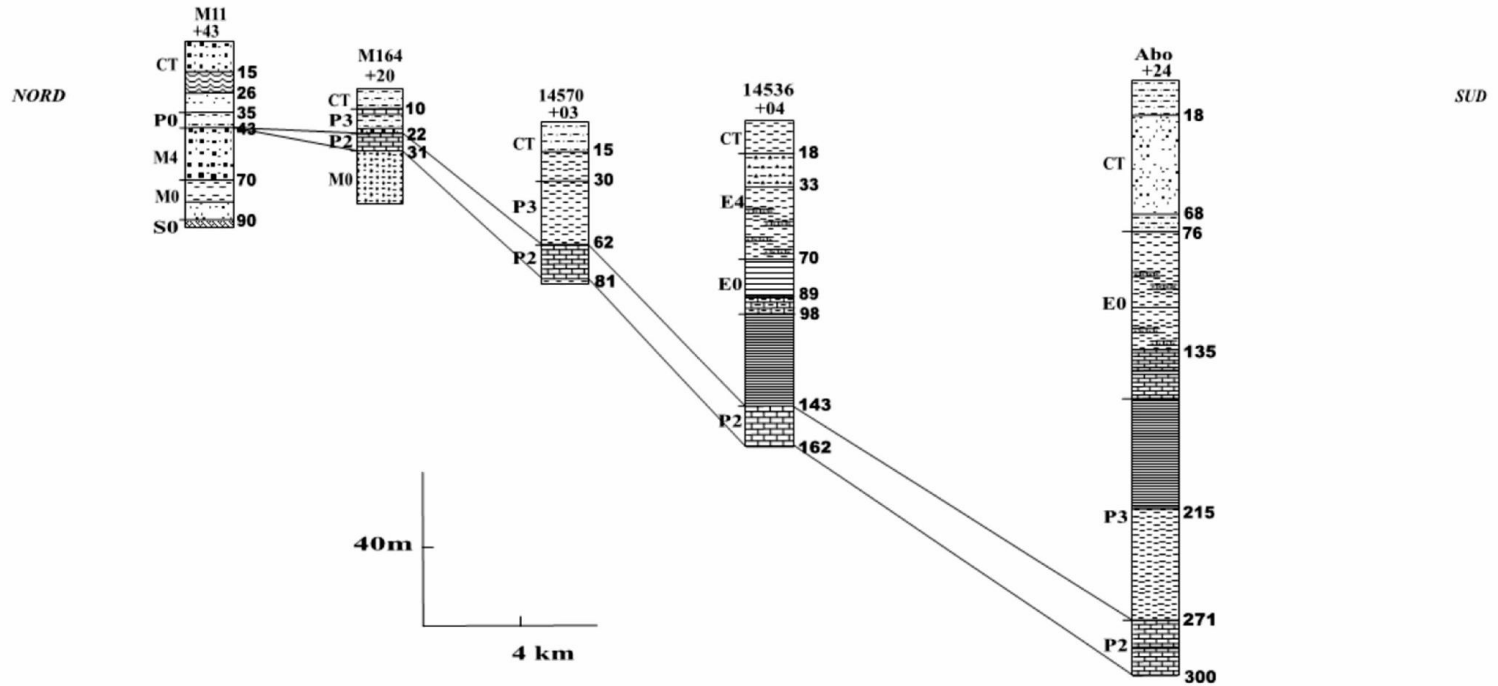


Figure 13 : Coupe N-S 5

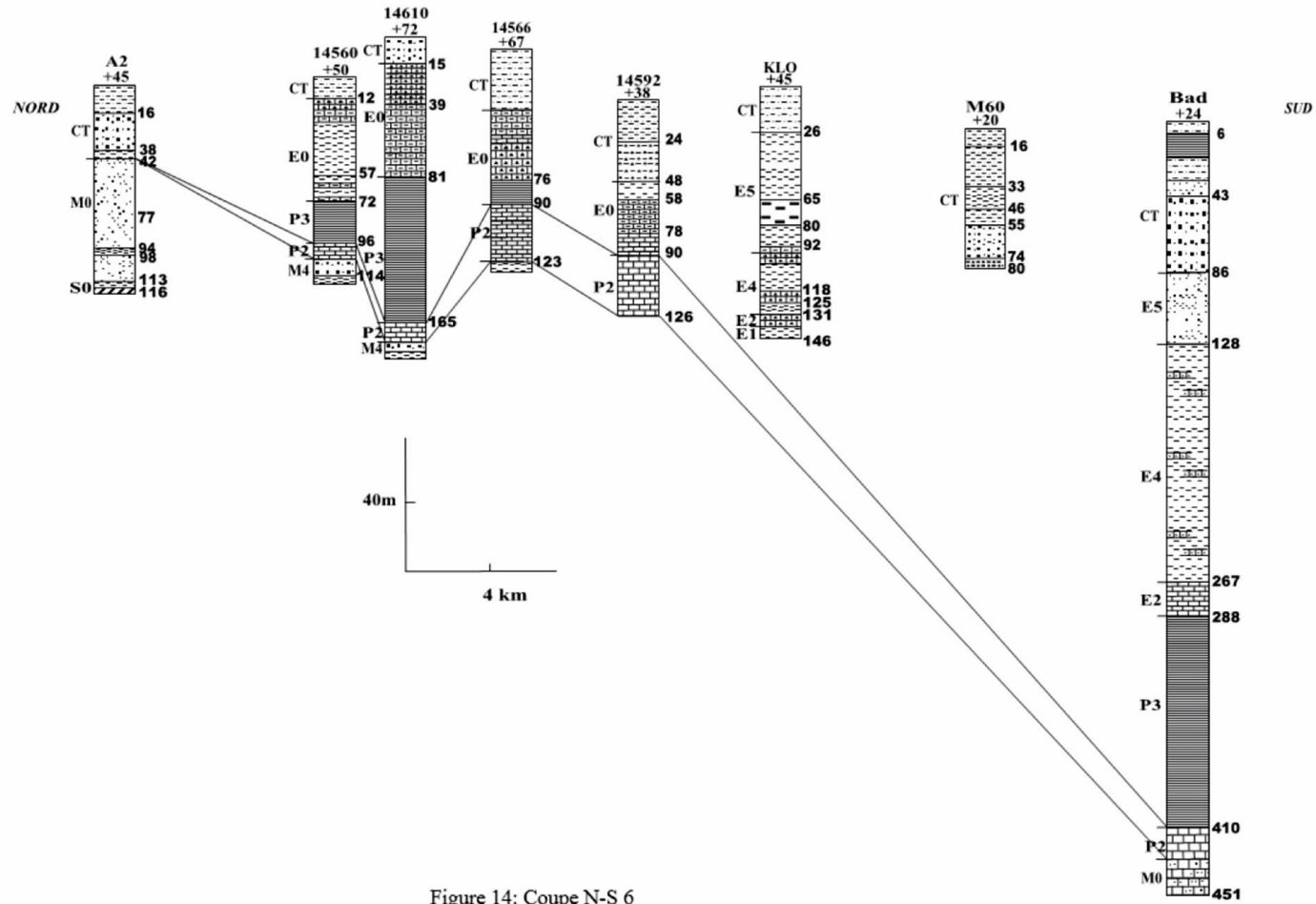


Figure 14: Coupe N-S 6

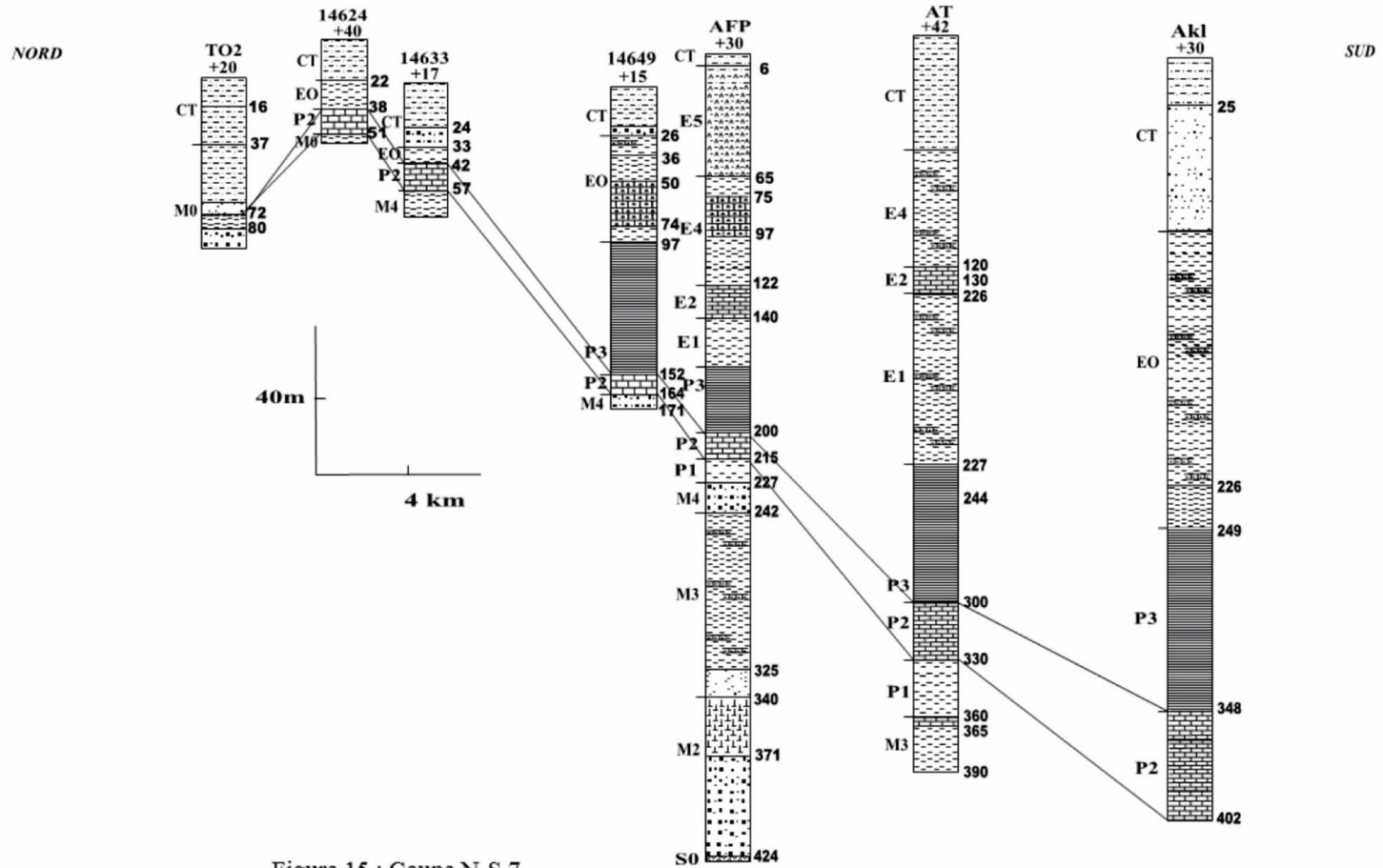


Figure 15 : Coupe N-S 7

Les coupes d'orientation W-E, montrent que les calcaires blancs organogéniques qui constituent le réservoir de l'aquifère du Paléocène sont bien représentés d'Est en Ouest, surtout dans la partie centrale du bassin. Il arrive que le Continental terminal repose directement sur les calcaires paléocènes, c'est le cas au forage F37. Ces secteurs constituent la zone d'alimentation de cet aquifère par le Continental terminal.

Sept (07) coupes NS1, NS2, NS3, NS4, NS5, NS6, NS7 de direction nord-sud ont été réalisées dans le bassin afin de préciser l'extension nord et sud de l'aquifère (figure 9 à 15).

La coupe NS1 (figure 9) montre que tous les forages ont traversé les calcaires paléocènes. On note l'absence des formations éocènes sur les forages localisés dans la partie nord. Ainsi les formations du Continental terminal reposent directement sur les termes P3. Dans l'ensemble, la profondeur des calcaires paléocènes aquifères augmente du Nord vers le Sud, passant de 39 à plus de 120m. Au forage M194 situé à Noépé, les calcaires blancs reposent directement sur le socle. Tout comme la coupe NS1, les autres coupes d'orientation nord-sud (figures 10 à 15) montrent un plongement du réservoir calcaire en direction du Sud. Certaines particularités peuvent être signalées :

- Absence des calcaires biogéniques et du Paléocène en général, les formations du Continental terminal reposent sur des sables appartenant au Maastrichtien indifférencié MO ;
- Absence de formations éocènes et contact direct entre les formations du Continental terminales et celles du sablo-argileuse du Paléocène indifférencié (PO) ;
- Présence à certains endroits des sables Maestrichtien sous les calcaires ;
- Effondrement des niveaux calcaires en direction de l'Océan sur l'ensemble des coupes confirmant la présence de nombreuses failles affectant le socle cristallin.

L'analyse des coupes de forage permet de conclure que l'aquifère carbonaté et sableux du Paléocène s'étend sur l'ensemble du bassin sédimentaire côtier du Togo et se poursuit au Bénin et au Ghana (figure 16).

Les formations constituant le toit de la formation aquifère sont de nature diverse et sont représentées à la base par des sables argileux ou d'argiles sableuses appartenant au Continental terminal, des argiles, marnes et calcaires argileux ou phosphatés appartenant à l'Eocène et, des argiles souvent feuilletées du Paléocène supérieur. Le substratum de l'aquifère est aussi de nature très variée et correspond : marnes, argilites feuilletées et argiles diverses appartenant au Maastrichtien M3 ; socle gneisso-migmatitique (forage M194) P1.

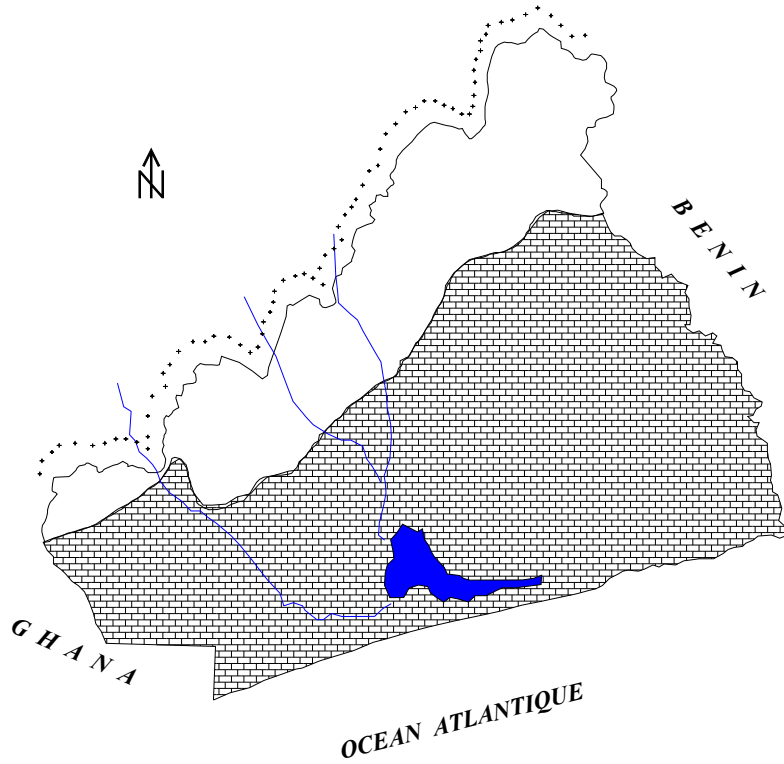


Figure 16 : Extension de l'aquifère du Paléocène dans le bassin côtier du Togo

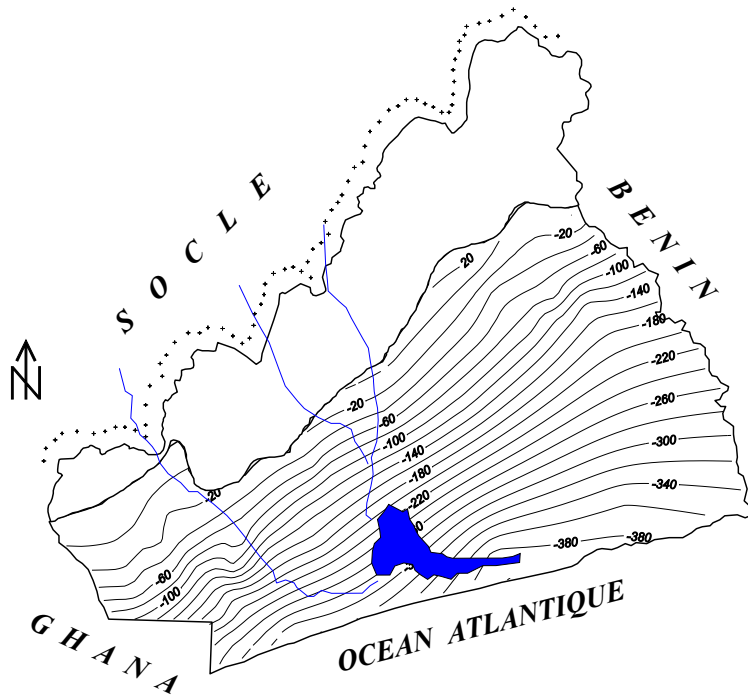


Figure 17 : Morphologie du toit de l'aquifère du Paléocène : carte des isohypses

La base du toit a l'allure d'un plan incliné vers le Sud-Est. Ainsi, partant des cotes de +20 au Nord, elle atteint les cotes de -300 m et -380 m respectivement au SW et au SE du bassin (figure 17). Quant aux profondeurs, elles vont de 30 à 40m au Nord du bassin, elles passent de 320 m au Sud dans la zone portuaire à 410 m à Badougbé autour du lac Togo, à 386 m à Atoueta et à 348 à Aklakou. A l'instar du toit, le mur présente un pendage NNW-SSE en direction de l'océan. Ses altitudes vont de 0 au NW et -20 au NE. Elles passent à -360 m et -420 m respectivement au SW et au SE (figure 18). Les profondeurs du mur sont comprises entre 30 à 450 m au SE. Le réservoir est constitué essentiellement de calcaires blancs organogéniques attribués au terme P2 du Paléocène. Localement, les calcaires peuvent être argileux (forages F37) ou passer verticalement aux dolomies (W6), aux calcaires gréseux (W8, F40). Ces calcaires reposent parfois sur des sables fins à grossiers maastrichtiens (M4), dans ce cas l'ensemble sera considéré comme un système aquifère unique. La carte en courbes isopaches du réservoir (figure 19) montre que l'épaisseur du réservoir varie suivant les secteurs. La puissance du réservoir au Nord-Ouest et sur toute la frange nord est généralement comprise entre 6 et 10 m. Les épaisseurs moyennes sont comprises entre 25m et 40m. Certains forages localisés au Nord révèlent des épaisseurs plus fortes que ceux localisés au Sud. L'augmentation sensible de la puissance de l'aquifère est due aux sables de base captés lors de la réalisation de certains forages.

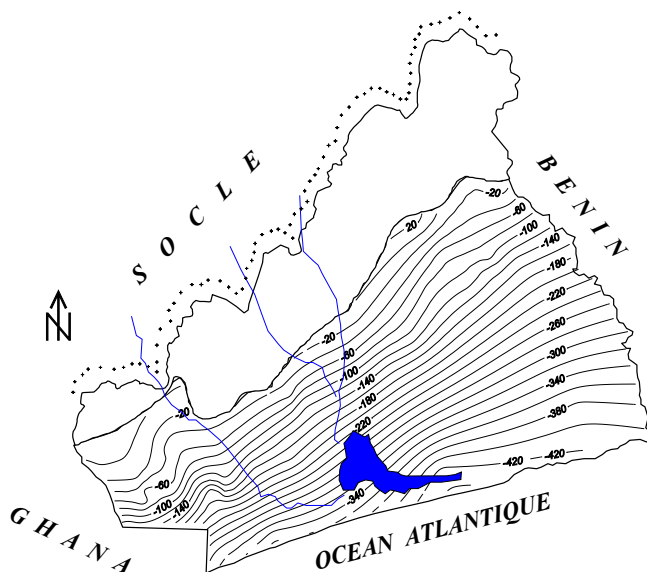


Figure 18 : Morphologie du mur de l'aquifère du Paléocène : carte des isohypses

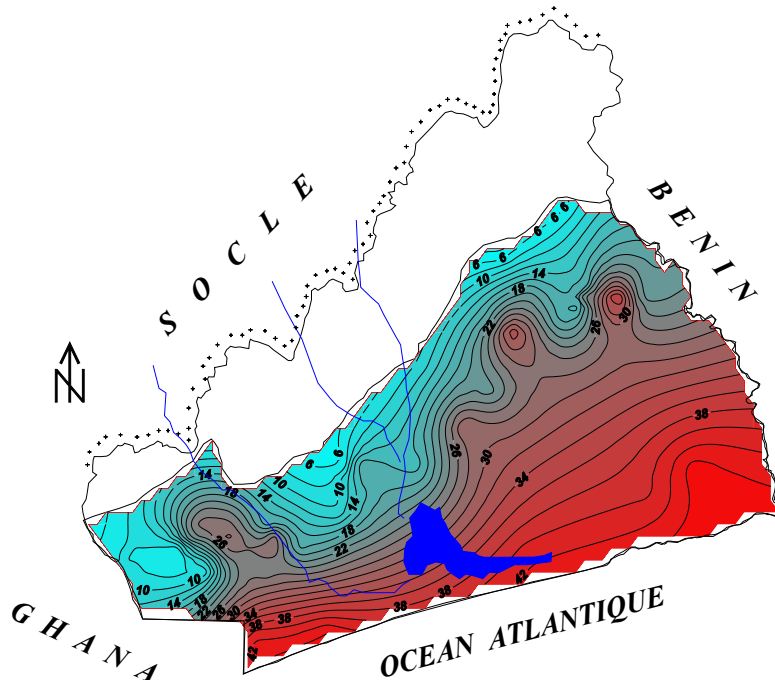


Figure 19 : Isopaches du réservoir calcaro-sableux

Conclusion

La présence des forages profonds sur l'ensemble du bassin a permis de réaliser une cartographie assez précise du mur, du toit et de l'épaisseur de l'aquifère du Paléocène. Toutes les formations du bassin côtier, y compris le toit et le substratum du réservoir calcaire, présentent une forte inclinaison en direction de l'océan. Cette organisation monoclinale, associée à un important découpage du substratum et partant du bassin par une succession de failles normales, expliquent l'effondrement de plus en plus important des calcaires blancs organogéniques vers le Sud. Le réservoir, constitué essentiellement de calcaires blancs, repose sur des sables maestrichtiens et l'ensemble est considéré comme un aquifère unique. Les données acquises lors de cette étude représentent un des outils nécessaires à la modélisation des écoulements afin d'assurer la pérennisation de cette ressource alternative suite à la pollution et à l'épuisement de celle du Continental terminal.

References:

Akouvi A.E. Etude géochimique et hydrogéologique des eaux souterraines d'un bassin sédimentaire côtier en zone tropicale. Implications sur la gestion, la protection et la préservation des ressources en eau du Togo (Afrique de l'ouest). *Thèse Doct., Univ. de Paris VI.* 163p. 2000

- Costa (da), D., P. Biostratigraphie et Paléogéographie du bassin sédimentaire du Togo. *Thèse de Doctorat, Université de Lomé*, 2 tomes, 476p. 2005
- DGSCN. Recensement général de la population et de l'habitat : Résultats définitifs. 57p. 2011
- DHE. Alimentation en eau de Lomé. Ressource en eau souterraine. Synthèse des données hydrogéologiques. *Rapport 83 AGE 040 DGH/BRGM*. 37p. 1983
- DHE. Alimentation en eau de Lomé – Modèle mathématique préliminaire des nappes du Continental Terminal et du Paléocène. *Rapport BRGM 84 AGE 008, BCEOM/BRGM*. 1984
- Gnazou M.D-T. Etude hydrodynamique, hydrochimique, isotopique et modélisation de l'aquifère du bassin sédimentaire côtier du Togo. *Thèse Univ. Lomé*. 204p. 2008
- Johnson, A., K.C. Le bassin côtier à phosphates du Togo (Maestrichtien-Eocène). *Thèse de doctorat, université de Bourgogne (France) et Université du Bénin (Togo)*. 360p. 1987
- Monciardini C., Tchota K., Slansky M., Podevin G. Marteau P., Le Nidre Y., Farjanel G., Chateaneuf J.J., Castaing C., Carbonel G., Blondeau A. & Andreiff P. Synthèse géologique du bassin côtier Crétacé Supérieur – Tertiaire du Togo – Recherche de tourbe, lignite, charbon et autres substances industrielles » *Rapport BRGM 86 TGO*. 1986
- PNUD. Prospection des eaux souterraines dans la zone côtière (TOGO) : conclusions et recommandations. DP/UN/TOG-70-511/1. *Nations Unies, New York, 1975*. 83p + annexes. 1975
- PNUD. Stratégie d'aménagement des eaux, ressources et besoins en eau. *Laboratoire Centrale d'Hydraulique de France*. 11 notices et 11 planches. 1982
- Slansky M. Contribution à l'étude géologique du bassin sédimentaire côtier du Dahomey et du Togo. *Thèse Univ. Nancy, Mém. BRGM n°11*, 270p. 1962
- Sylvain J.P., Aregba A., Assih-Edeou P., Castaing C., Chevremont J., Collart J., Monciardini C., Marteau P., Ouasane I. & Tchota Notice explicative de la carte géologique à 1/200000. Feuille de Lomé. *Mémoire n° 5 DGMG/BNRM 1^e édition*. 64p + 2 annexes. 1986