

## Apport de la statistique descriptive à l'étude de la productivité des forages d'eau en milieu de socle: Cas de la région du N'Zi-Comoe en Côte d'Ivoire

### [ Contribution of descriptive statistics to the study of water drilling productivity in bedrock environments: The case of the N'Zi-Comoe region in Côte d'Ivoire ]

*Assoue Kouakou Sylvestre KOUADIO, Zahibo Oscar ONETIE, Yao Salomon KOUAKOU, and Assa Fabrice YAPI*

Département de Géosciences, UFR des Sciences Biologiques, Université Péléforo Gon COULIBALY (UPGC), BP 1328 Korhogo, Côte d'Ivoire

Copyright © 2025 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**ABSTRACT:** This study is part of a search for sustainable solutions for access to drinking water in rural areas of Côte d'Ivoire, where boreholes in bedrock areas are the main source of drinking water supply. The objective is to statistically analyse the flow rates ( $Q$ , in  $m^3/h$ ) of water boreholes in the N'zi-Comoé region in order to assess their variability, distribution and relevance in characterising the aquifer potential in bedrock environments. To do this, descriptive statistics and the Shapiro-Wilk and  $\chi^2$  statistical tests of normality were used. This approach yielded relevant results, namely an average flow rate of  $5.71 m^3/h$ , which is lower than the standard deviation, and a coefficient of variation of 131%. These values indicate a high degree of heterogeneity in flow rates in the N'ZI-Comoé region. This highlights the discontinuous nature of the aquifer tapped for drinking water supply not only in the study area but also in the bedrock environment in Côte d'Ivoire.

**KEYWORDS:** N'Zi-Comoé, productivity, drilling, descriptive statistics, fractured aquifers.

**RESUME:** Cette étude s'inscrit dans un contexte de recherche de solutions durables pour l'accès à l'eau potable en milieu rural ivoirien, où les forages en zone de socle constituent la principale source d'approvisionnement en eau potable. L'objectif est d'analyser statistiquement les débits ( $Q$ , en  $m^3/h$ ) des forages d'eau de la région du N'zi-Comoé afin d'évaluer leur variabilité, leur distribution et leur pertinence dans la caractérisation du potentiel aquifère en milieu de socle. Pour ce faire, la méthode de la statistique descriptive et les tests statistiques de normalité de Shapiro-Wilk et du  $\chi^2$  ont été utilisées. Cette démarche a permis d'obtenir des résultats pertinents, à savoir une moyenne de débit de  $5,71 m^3/h$  qui est inférieure à l'écart type et un coefficient de variation de 131 %. Ces valeurs indiquent une forte hétérogénéité des débits de la région du N'ZI-Comoé. Ce qui marque le caractère discontinue de l'aquifère capté pour l'alimentation en eau potable non seulement de la zone d'étude mais en milieu de socle en Côte d'Ivoire.

**MOTS-CLEFS:** N'Zi-Comoé, productivité, forage, statistique descriptive, aquifères fissurés.

## 1 INTRODUCTION

En Afrique de l'Ouest, l'accès à l'eau potable constitue un défi majeur, en particulier en milieu rural où les ressources en eaux souterraines représentent souvent la seule source disponible [1]. En Côte d'Ivoire, les aquifères de socle représentent les principales sources d'alimentation en eau potable des populations [2]. Selon la Direction de la Gestion et de la Protection des Ressources en Eau (DGPRE) du ministère des eaux et forêts, la quantité d'eau contenu dans le socle est estimée à environ 113 milliards de  $m^3$  dont 35,5 milliards de  $m^3$  renouvelés chaque année. Cette partie souterraine est exploitée pour l'alimentation

en eau potable des populations rurales et certaines villes du pays. Malgré la disponibilité de ces ressources, l'alimentation en eau potable demeure une préoccupation. C'est le cas des régions du N'zi, Iffou et Moronou où le taux de couverture est de 72 % en zone rurale [3]. En 2010, ces régions ont bénéficié de 150 forages d'eau équipés de pompe à motricité humaine dans le cadre du programme économique régional de l'Union Economique Monétaire Ouest Africaine (UEMOA). En effet, il a été constaté que plusieurs ouvrages existants sont dysfonctionnels et le problème d'accès à l'eau potable continue de se poser. Même si le taux de couverture dépendrait d'une volonté politique, il serait aussi fonction de la productivité des ouvrages. Plusieurs études ont été menées sur le fonctionnement des aquifères de socle en Côte d'Ivoire entre autres [4]. Mais celle que nous avons réalisé met l'accent sur l'utilisation de l'analyse descriptive à l'étude de la productivité des forages d'eau en milieu de socle. L'objectif de celle-ci est d'analyser statistiquement les débits (Q, en m<sup>3</sup>/h) des forages d'eau de la région du N'zi-Comoé afin d'évaluer leur variabilité, leur distribution et leur pertinence dans la caractérisation du potentiel aquifère en milieu de socle.

## 2 PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

Du point de vue géographique, La zone d'étude est l'ex région du N'Zi-Comoé située au Centre-Est de la Côte d'Ivoire entre les longitudes 3°40' et 4°55' Ouest et les latitudes 6°20' et 8°10' Nord et regroupe neuf départements. Il prend en compte les régions du N'zi, du Iffou et du Moronou (Fig. 1).

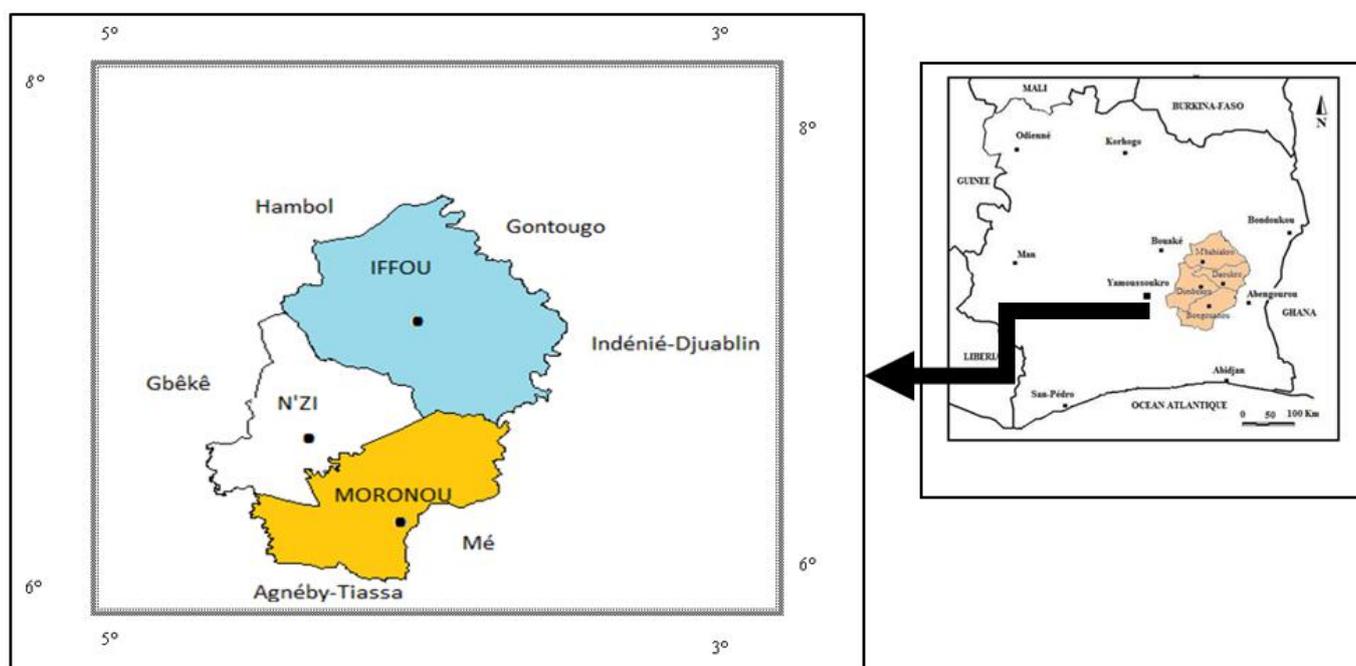


Fig. 1. Situation géographique de la région du N'Zi-Comoé [3]

La région d'étude est caractérisée par une topographie présentant des surfaces aux profils très différents. On distingue essentiellement un relief accidenté et un relief monotone. La végétation est constituée de savanes arborée et arbustive avec des forêts galeries ou de savanes herbeuses. Du point de vue hydrographique, la presque totalité de la zone d'étude fait partie des bassins versants de la Comoé et du Bandama. Le climat qui y règne est de type équatorial de transition avec une pluviosité mensuelle qui varie de 13,11 à 178,73 mm [5].

Géologiquement, cette zone appartient au domaine Paléoprotérozoïque encore appelé domaine Baoulé-Mossi [6]. Sa lithologie est caractérisée par un ensemble complexe de formations géologiques constituées essentiellement de roches ignées, métamorphiques et volcano-sédimentaires. On distingue les roches éburnéennes et les roches birimiennes. Celles-ci ont acquis leurs propriétés d'aquifères sous l'effet des mouvements tectoniques, des phénomènes de décompressions et des formations des roches cristallines. Dans la zone du N'Zi-Comoé, les fractures principales sont de direction, préférentiellement Nord-Sud et elles sont susceptibles de faciliter la circulation de l'eau dans les roches. Ces formations géologiques ont été également touchées par le phénomène d'altération. Ainsi, l'altération sur le substratum schisteux est particulièrement épaisse et argileuse [7].

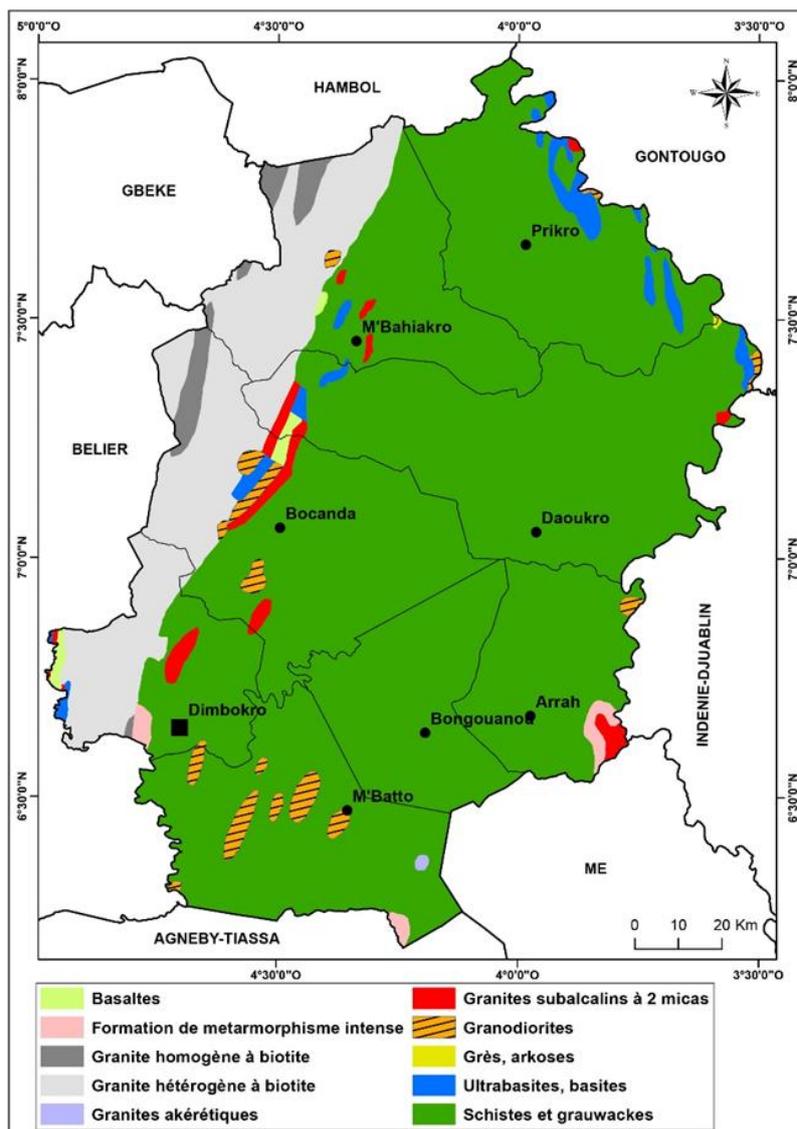


Fig. 2. Carte géologique de la zone d’N’Zi-Comoé [2]

### 3 MATERIEL ET METHODES

#### 3.1 DONNÉES

L’étude repose sur un jeu de données issu de campagnes hydrogéologiques menées en milieu de socle dans la région du N’Zi-Comoé dans le cadre des projets UEMOA en 2010 et le programme présidentiel d’urgence (PPU) en 2013 (Fig.3). Ces données ont été relevées à partir des dossiers techniques de 136 forages réalisés. Chaque point de données correspond à un forage caractérisé par une mesure de débit air-lift (Qa).

Elles ont été traitées grâce aux outils informatiques tels que le logiciel STATISTICA 7.1 et le logiciel ARCGIS 10.

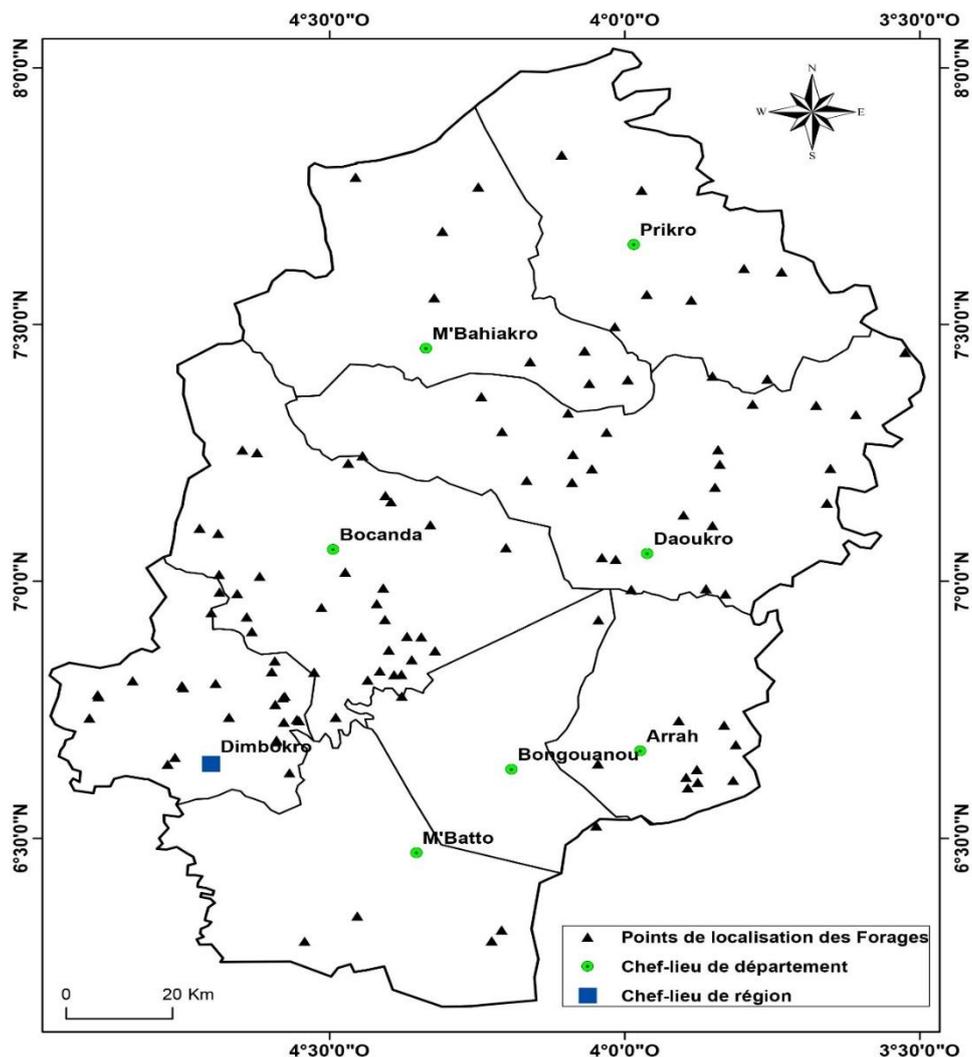


Fig. 3. Répartition spatiale des données utilisées [2]

## 3.2 MÉTHODES

### 3.2.1 DETERMINATION ET ANALYSE STATISTIQUE DU DEBIT AIR-LIFT

Le paramètre utilisé dans ce travail est le débit air-lift (Q).

#### 3.2.1.1 METHODE DE DETERMINATION DU DEBIT AIR-LIFT

D'abord, le débit a été obtenu à partir des fiches techniques des forages réalisés. La méthode d'évaluation du débit utilisée pendant les travaux de forages est la méthode volumétrique.

$$Qa = \frac{V \times 3,6}{t} \quad (1)$$

Avec Qa: débit air-lift en m<sup>3</sup>/h;

V: volume du récipient utilisé en litre (L);

t: le temps de remplissage du récipient en seconde (s).

Ensuite, les classes de débits établies par le Comité Inter-Etats de l'Hydraulique en 1978 [8] ont été analysées.

Tableau 1. Classification des débits selon le CIEH

Classe de Débit (m <sup>3</sup> /h)	Caractéristique
0 - 1	Très faible
1 - 2.5	Faible
2.5 - 5	Moyen
≥ 5	Fort

### 3.2.1.2 ANALYSE DESCRIPTIVES DES DÉBITS

Les caractéristiques descriptives analysées sont:

- La moyenne des débits

$$\frac{\sum Q_i}{N} \quad (2)$$

Avec  $Q_i$  débits et  $N$  le nombre de forages

- Médiane

La médiane ( $Me$ ) est le point milieu d'un jeu de données, de sorte que 50 % des unités ont une valeur inférieure ou égale à la médiane et 50 % des unités ont une valeur supérieure ou égale.

$$Me = \frac{\left(\frac{N}{2} + \left(\frac{N}{2} + 1\right)\right)}{2} \quad (3)$$

$Me$ : Médiane,  $N$ : le nombre de forages. Ici les valeurs des débits doivent être ordonnés par ordre croissant.

- L'écart-type

$$\sigma = [\sum (x_i - m)^2 / N]^{1/2} \quad (4)$$

Avec  $\sigma$ : l'écart type,  $m$ : la moyenne,  $N$ : le nombre de forage

- Le coefficient de variation  $Cv$

$$Cv = \frac{\sigma}{m} \quad (5)$$

- Le coefficient d'asymétrie (skewness)

$$Sk = \frac{1}{\sigma^3} \frac{\sum (x_i - m)^3}{N} \quad (6)$$

- Le Coefficient d'aplatissement ( $K$ )

$$K = \frac{1}{\sigma^4} \frac{\sum (x_i - m)^4}{N} - 3 \quad (7)$$

## 4 RESULTATS ET DISCUSSION

### 4.1 RÉSULTATS

#### 4.1.1 STATISTIQUE DESCRIPTIVE DES DÉBITS

Tableau 2. Statistique descriptive des débits

Variable : Débits Qa (m <sup>3</sup> /h)	
Moyenne	5,71
Médiane	2,99
Écart-type	7,50
Coefficient de variation	131 %
Kurtosis (Coefficient d'aplatissement)	8,16
Coefficient d'asymétrie (skewness)	2,69
Minimum	0,3
Maximum	43,2
Nombre d'échantillons	136

L'analyse statistique et descriptive des débits présentées dans le tableau II montre une variation des débits de 0,3 à 43,20 m<sup>3</sup>/h dans l'ensemble des forages. Ces forages ont un débit maximum de 43,20 m<sup>3</sup>/h avec une moyenne de 5,71 m<sup>3</sup>/h et un minimum de 0,3 m<sup>3</sup>/h. Mais la médiane est bien plus basse 2,99 m<sup>3</sup>/h. La distribution est asymétrique et positive ou skewness de 2,69. Le coefficient d'aplatissement ou kurtosis de 8,16 montre une distribution avec des valeurs extrêmes. Quant au coefficient de variation, il est de 131 %. La majorité des valeurs sont concentrées vers la gauche de la moyenne (Fig. 4.). La queue de la distribution s'étire vers la droite, vers des valeurs plus élevées avec une moyenne supérieure à la médiane.

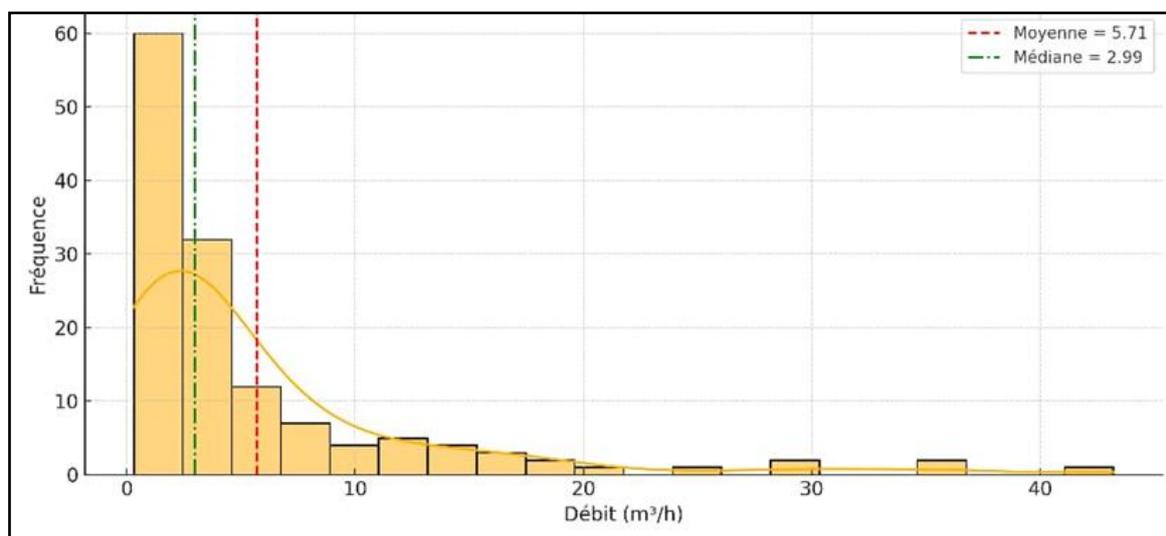


Fig. 4. Distribution des débits dans le cas d'une asymétrie positive

#### 4.1.2 ANALYSE STATISTIQUE DES CLASSES DE DÉBITS

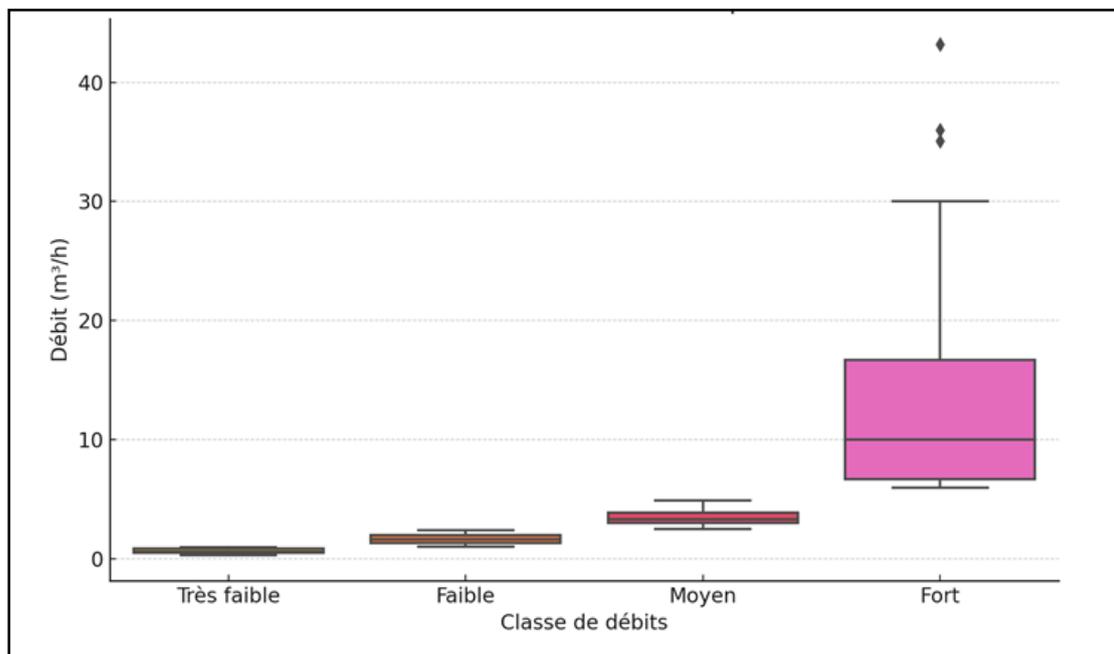
Les résultats de cette analyse sont présentés dans le tableau II. Quatre classes de débits sont présentées selon la classification CIEH. Il s'agit de la classe des débits très faibles, faibles, moyens et forts. La classe des débits très faibles sont les débits strictement inférieurs à 1 m<sup>3</sup>/h. La classe des débits faibles sont les débits compris entre 1 et 2,5 m<sup>3</sup>/h. La classe des débits moyens sont les débits compris entre 2,5 et 5 m<sup>3</sup>/h et la dernière classe est la classe des débits forts, débits supérieurs ou égaux à 5 m<sup>3</sup>/h. La classe la plus représentée est celle des débits forts (Q ≥ 5), représentant 31,62 % de l'échantillon. Les débits très faibles (Q < 1) sont minoritaires (13,97 %). La moyenne globale des débits est de 5,71 m<sup>3</sup>/h, fortement influencée

par la classe  $Q \geq 5$  (moyenne = 13,60). L'écart-type global élevé (7,50) indique une forte dispersion, reflétant la variabilité importante des débits.

**Tableau 3.** Analyse descriptive des classes de débits

Classes de Débits ( $m^3/h$ )	Effectif	Pourcentage (%)	Moyenne	Ecart-type
$Q < 1$ (Débits très faibles)	19	13,97	0,67	0,20
$1 \leq Q < 2.5$ (Débits faibles)	41	30,15	1,63	0,40
$2.5 \leq Q < 5$ (Débits moyens)	33	24,26	3,41	0,67
$Q \geq 5$ (Débits forts)	43	31,62	13,60	9,21
Total	136	100	5,71	7,50

La boîte à moustaches (Fig. 5) montre la dispersion intra-classe, avec des écarts-types croissants vers les classes supérieures, notamment une grande hétérogénéité dans la classe  $Q \geq 5$ .



**Fig. 5.** Boîte à moustache des débits par classe

#### 4.1.3 TEST DE NORMALITE DE SHAPIRO-WILK ET DU CHI2 POUR LA DISTRIBUTION DES CLASSES

Les tests statistiques de normalité de Shapiro-Wilk et du  $\chi^2$  nous ont permis d'observer la distribution des débits des forages dans la zone d'étude. Ils donnent des valeurs respectives  $W$  0,661 avec une  $p$ -value de  $2.83 \times 10^{-16}$  et  $\chi^2$ : 157 avec une  $p$ -value de 0.0.

## 5 DISCUSSION

L'étude des débits des forages a été utilisée comme indicateur de la productivité. Elle a montré que les forages réalisés dans la région du N'Zi-Comoé ont un débit moyen de  $5,71 m^3/h$  appartenant à la classe des débits forts ( $Q \geq 5 m^3/h$ ). Cette valeur élevée de la moyenne serait dû à une petite fraction des forages présentant des débits anormalement élevés parce que ces valeurs extrêmes tirent la moyenne vers le haut. A cela s'ajoute au fait que les formations schisteuses qui sont plus productives sont dominantes dans cette région. Ces résultats ont été prouvés par [9] qui ont mené les mêmes études dans la

région d'Aboisso. Cette productivité dans les schistes est favorisée par une schistosité verticale qui leur confère un bon réservoir d'eau [10]. Ce réservoir devient important selon le plan de schistosité et des espaces inter feuillet. Parfois, les intrusions de filon de quartz peuvent améliorer la productivité aussi bien dans les schistes que dans les granites. Aussi, est-il important de signifier que la forte proportion de débits élevés ( $Q \geq 5 \text{ m}^3/\text{h}$ ) soit environ 31,62 % explique la présence de structures aquifères bien développées, probablement liées à des discontinuités géologiques (zones fracturées) [12]. De même, la distribution asymétrique de des débits  $Q$  (non-normalité) reflète l'hétérogénéité spatiale des aquifères, typique des formations fissurées et altérées de la région. Cependant, la présence de débits très faibles (13,97 %) met en évidence des zones à faible productivité. Ces zones sont à surveiller dans les plans d'approvisionnement en eau [13], [14]. Les résultats statistiques obtenus ont été validés par les tests de normalité de Shapiro-Wilk et du  $\text{Chi}^2$ . En effet, celui de Shapiro-Wilk nous a permis de tester la normalité de la variable  $Q$  qui est le débit et le  $\text{Chi}^2$  la distribution de cette même variable pour comparer la distribution observée des classes de débits à une distribution théorique définie.

## 6 CONCLUSION

L'objectif de cette étude était d'analyser statistiquement les débits ( $Q$ ) des forages d'eau de la région du N'zi-Comoé afin d'évaluer leur variabilité, leur distribution et leur pertinence dans la caractérisation du potentiel aquifère de la zone.

D'abord, nous avons analysé à partir de la statistique descriptive le débit. Il ressort que la moyenne du débit qui est de  $5,71 \text{ m}^3/\text{h}$  dans la région du N'zi-Comoé a été tiré vers le haut par 5 % des forages qui ont un débit supérieur ou égale à  $20 \text{ m}^3/\text{h}$ . Ces débits varient de  $0,3$  à  $43 \text{ m}^3/\text{h}$ . La distribution observée des classes correspond exactement à la distribution théorique fournie, ce qui valide le classement initial et suggère une représentation fidèle des conditions hydrogéologiques locales. L'hétérogénéité des débits a été mise en œuvre par le coefficient de variabilité qui est de 131 % et le test de Shapiro-Wilk.

## REMERCIEMENTS

Les auteurs voudraient traduire leurs remerciements aux autorités compétentes du projet UEMOA qui ont bien voulu acceptés de mettre à notre disposition les données de forages afin d'effectuer cette étude.

## REFERENCES

- [1] OMS-UNICEF (2017). « Progrès en matière d'eau, d'assainissement et d'hygiène, mise à jour 2017 et évaluation des ODD ». Rapport commun OMS/UNICEF.
- [2] A.K.S. KOUADIO (2021). Contribution à l'étude de la productivité des forages d'eau par la méthode de résistivité électrique en milieu de socle fissure: Cas de la zone du N'Zi-Comoe. Thèse de doctorat en géophysique appliquée, Université Nangui Abrogoua (Abidjan, Côte d'Ivoire), 243 p.
- [3] A.K.S. KOUADIO (2014). Etude comparative de la productivité des forages d'eau en milieu de socle cristallins et cristallophylliens dans les régions du N'Zi, de l'Iffou et du Moronou. DEA Univ. Nangui-Abrogoua, Abidjan, 81 p.
- [4] A.K.S. KOUADIO, M. OUEDRAOGO, I. OUATTARA, I. Savane (2020). Use of a Multiple Regression Model in the Estimation of Water Borehole Flows in the Middle of Cracked Basement in Côte d'Ivoire. 18 p.
- [5] D. Yao, C. Delor, G. Gadou, P. Kohou, A. Okou, S. Konate et I. Diaby (1995). Notice explicative de la carte géologique feuille de Dimbokro, 21 p.
- [6] J. C. MAILLARY (1964). Notice explicative des cartes hydrogéologiques d'Abengourou et M'bahiakro 102 p.
- [7] M. DETAY, P. POYET, Y. EMSELLEM, A. BERNARDI, G. AUBRAC, (1989). Influence du développement du réservoir capacitif d'altérites et de son état de saturation sur les caractéristiques hydrodynamiques des forages. Comptes Rendus de l'Académie des Sciences Paris, 309, série II, pp. 429-436.
- [8] B. Dibi, I. Doumouya, B. Goula, I. Savane, J. Biemi (2004). Analyse statistique des paramètres influençant la productivité des forages d'eau en milieu cristallin et cristallophyllien dans la région d'Aboisso (Sud-Est de la Côte d'Ivoire). Sud Sciences & Technologies, n° 13, pp. 22- 30.
- [9] C.I.E.H. (1978). Méthode d'étude et de recherches de l'eau souterraine des roches cristallines de l'Afrique de l'ouest, Géohydraulique, 319 P.
- [10] J. Biemi (1992). Contribution à l'étude géologique, hydrogéologique et par télédétection des bassins versants sub-sahéliens du socle précambrien de l'Afrique de l'Ouest: Hydrostructurale, hydrodynamique, hydrochimie et isotopie des aquifères discontinus de sillons et aires granitiques de la haute Marahoué (Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat d'état ès Sciences Naturelles, Univ. Abidjan, 493 p.

- [11] B. Dewandel, P. Lachassagne, R. Wyns, J.C. Maréchal & N.S. Krishnamurthy (2006). A conceptual hydrogeological model of hard rock aquifers. *Hydrogeology Journal*, 14 (5), 663–675.
- [12] T. Lasm, F. Kouame, M. Oga, J. Jourda, N. Soro et H. Kouadio (2004). Etude de la productivité des réservoirs fracturé des zones de socle Cas du noyau archéen de Man-Danané (Ouest de la Côte de la d'Ivoire). *Rev.Ivoir.Sci. Technol.*, n°5, pp.97-115.
- [13] P. Lachassagne, R. and B. Dewandel (2011). The fracture permeability of Hard Rock Aquifer is due neither to tectonics, nor to unloading, but to weathering processes. *Terra Nova*, 23: 145-161.