



**Original Paper**

<http://ajol.info/index.php/ijbcs>

<http://indexmedicus.afro.who.int>

## Étude de la dégradation de la concentration en chlore résiduel libre dans les eaux de boisson au Bénin : cas de la commune de Cotonou

Sydney M. S. COFFI<sup>1,2\*</sup>, Nicaise YALO<sup>2</sup>, Bernard AHAMIDE<sup>1,3</sup> et Daouda MAMA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire d'Écologie Appliquée, Université d'Abomey Calavi, 03BP3908 Cotonou, République du Bénin

<sup>2</sup>Laboratoire d'Hydrologie Appliquée, Université d'Abomey Calavi, 01BP 526 Cotonou, République du Bénin.

<sup>3</sup>Laboratoire d'Hydraulique et de Maîtrise de l'Eau, Université d'Abomey Calavi, 08BP57 Tri Postal Cotonou République du Bénin.

\*Auteur correspondant ; E-mail : [coffimafleur@gmail.com](mailto:coffimafleur@gmail.com); Tel. +22966463192

Received: 17-08-2020

Accepted: 25-12-2020

Published: 31-12-2020

### RÉSUMÉ

L'eau de consommation est très surveillée sur le plan qualitatif. En dépit de cette surveillance, on constate une dégradation de la Concentration en Chlore Résiduel Libre (CCRL) le long du réseau de distribution d'eau potable de la commune de Cotonou. L'objectif d'étudier les zones de vulnérabilité du consommateur où la CCRL atteint des seuils critiques (< à 0,1 mg /l). Pour y parvenir, des prélèvements d'échantillons d'eau ont été pris à divers endroits du réseau d'approvisionnement chaque jour, du 1<sup>er</sup> au 30/04/2018. La méthode de dosage utilisée est dénommée N-Diéthyl-P-phénylèneDiamine (DPD) avec usage d'un colorimètre DR/890. Ce travail a révélé, que la CCRL subit une dégradation lors de son acheminement vers les robinets du consommateur avec des concentrations moyennes majoritairement supérieures à la norme en vigueur [0,1 ; 0,8 mg/l] au seuil de 5%. Le travail a permis d'établir un modèle linéaire de prédiction de la concentration en CCRL en fonction de la distance et d'identifier les zones de vulnérabilité de la zone d'étude.

© 2020 International Formulae Group. All rights reserved.

**Mots clés :** Dégradation, chlore résiduel, Cotonou.

### Study of the free residual chlorine concentration in drinking water in Benin: case of Cotonou municipality

#### ABSTRACT

The drinking water is very qualitatively monitored. Despite this monitoring, there is a deterioration in the Free Residual Chlorine Concentration (CCRL) along the drinking water distribution network of the commune of Cotonou. The objective of studying areas of consumer vulnerability where the CCRL reaches critical thresholds (<0.1 mg / l). To achieve this, water samples were taken from various locations in the supply network every day, from 04/30/2018. The assay method used is called N-Diethyl-P-phenylene Diamine (DPD) with the use of a DR / 890 colorimeter. This work reveal that the CCRL undergoes degradation during its delivery to the consumer's

© 2020 International Formulae Group. All rights reserved.

8636-IJBSC

DOI : <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v14i9.32>

taps with average concentrations mainly above the standard in force [0.1; 0.8 mg / l] at the 5% threshold. The work made it possible to establish a linear model for predicting CCRL concentration as a function of distance and to identify areas of vulnerability in the study area.

© 2020 International Formulae Group. All rights reserved.

**Keywords:** Degradation, residual chlorine, Cotonou.

---

## INTRODUCTION

L'eau, ressource naturelle indispensable à la vie de toute forme d'organisme vivant, fait parfois l'objet de plusieurs controverses quant à sa qualité pour la consommation humaine. Surtout dans le règne humain, la consommation d'eau peut parfois être à l'origine de plusieurs maladies si cette dernière n'est pas propre et exempte d'agents pathogènes pour l'organisme. Le maintien de la qualité de l'eau à la sortie d'usine de traitement jusqu'au robinet du consommateur est une préoccupation majeure des traiteurs et distributeurs d'eau (Gauthier, 2002). Malgré cette surveillance accrue des traiteurs et distributeurs de cette denrée et le rôle régalien de nos États et des divers partenaires au développement quant à la qualité de cette prestation de service, plusieurs plaintes ont cependant continué à être enregistrées à propos de la qualité et des risques sanitaires encourus par certains consommateurs de cette eau à divers endroits de la ville de Cotonou. La qualité de l'eau de boisson peut varier en aval des stations de traitement lors du transit dans le réseau d'eau potable (Jacob et al., 2006). Les conditions qui prévalent au sein des réseaux de distribution d'eau potable peuvent altérer la qualité microbiologique et bactériologique de l'eau chèrement acquise à l'usine de traitement. La reviviscence des micro-organismes, dans le réseau de distribution des eaux représente un sérieux problème pour le personnel en charge du traitement des eaux avant sa distribution. L'eau de boisson doit répondre à un certain nombre de critères des points de vue physiques et organoleptiques suivants : eau limpide, sans goût ni odeur et du point de vue chimique et bactériologique suivant : teneur en faible voire indétectable en nitrate, nitrite, et absence de germes susceptibles de nuire à la santé. L'objectif principal du traitement de l'eau

potable est de produire une eau esthétiquement acceptable (goûts, odeur, couleur, etc.) et ne présentant aucun risque pour la santé des consommateurs. Pour cela, le chlore sous plusieurs formes, est souvent utilisé à cette fin de désinfection et est la seule substance dont l'effet est rémanent. Une petite quantité de ce désinfectant protège l'eau de l'altération de sa qualité de façon permanente depuis la station de traitement via le réseau de distribution jusqu'au robinet du consommateur si le traitement est bien fait et en absence de dysfonctionnement du réseau de distribution. Celle-ci permet la réduction considérable des micro-organismes pathogènes qui sont à l'origine de maladies hydriques telles que la fièvre typhoïde, l'hépatite, le choléra ou la dysenterie bacillaire (Crittenden et al., 2005). Cependant, sa concentration se dégrade le long du réseau au fur et à mesure que le temps de séjour de l'eau augmente (Rabhi et al., 2009 ; Guillaume, 2010 ; Nadine et al., 2018). De nombreuses épidémies ont pu être attribuées aux altérations qualitatives de l'eau distribuée par les réseaux (Joret et al., 2005). L'intensité de ces processus dépendent des caractéristiques biologiques et physico-chimiques de l'eau distribuée, des matériaux des conduites, des régimes hydrauliques, du type de désinfectant et de son mode d'application. La technique utilisant le chlore comme désinfectant présente beaucoup d'avantages. Elle est assez efficace contre les virus et les bactéries et élimine une importante charge microbienne en peu de temps. Elle présente cependant un certain nombre d'inconvénients dont l'incapacité d'éliminer tous les microbes ; donne un mauvais goût à l'eau en présence d'une forte dose de chlore et favorise la formation des sous-produits de désinfection. Aussi, certains microbes pathogènes sont résistants aux effets du chlore. Il s'agit des *cryptosporidium* et des *giardias*

qui sont deux microbes pathogènes à l'origine de plusieurs maladies. Le *cryptosporidium* est la cause de l'épidémie qui est survenue à North Battleford en 2001 et à Milwaukee en avril 1993. Les *cryptosporidiums* et les *giardias* sont éliminés dans l'eau de consommation par la désinfection aux rayons ultraviolets et la filtration. La désinfection au chlore constitue l'un des meilleurs moyens pour y parvenir (Règlement sur la qualité de l'eau potable Gouvernement du Québec, 2002). L'augmentation du temps de séjour de l'eau dans les réseaux de distribution s'accompagnent de celle de la densité des bactéries (à moins qu'il y ait présence de postes de rechloration sur le réseau), traduisant ainsi une dynamique bactérienne. Ceci est à l'origine de l'instabilité biologique de certains réseaux de distribution d'eau potable. Particulièrement dans les gros systèmes de distribution, les concentrations en chlore résiduel peuvent devenir très faibles voire indétectables aux extrémités (Powell et al., 2000 ; Rodriguez et al., 2001). Le chlore sous ces différentes formes peut former des sous-produits avec de nombreux composés présents dans l'eau comme par exemple la matière organique de l'eau, les ions bromures et iodures. La présence de ces composés dans les réseaux d'eau potable, appelés Sous-Produits de Désinfection (SPD) pose un problème de santé publique. La désinfection au chlore entraîne la production sous-produits de désinfection (SPD), lorsque la chloration en excès est effectuée (Nilufar et al., 2016). Les SPD les plus récurrents sont : les trihalométhanes, les chlorophénols et les éléments organochlorés dont les effets cumulatifs peuvent également apparaître sous l'aspect d'effets mutagènes voire cancérogènes. Ces sous-produits entraînent aussi des mauvais goûts et odeurs du fait de leur présence dans certaines eaux de consommation après chloration (Guergazi et Achour 2011 ; Catherine Juery, 2012). La concentration résiduelle minimale de chlore libre souhaitable est de 0,2 mg/L dans l'ensemble du réseau afin d'éviter cette recroissance (Santé, Canada, 2007). Au Bénin, la norme exige une concentration minimale de 0,4mg/l et, une concentration maximale de 0,8 mg/l à la sortie

de l'usine de traitement et une concentration de 0,1mg/l au niveau de l'abonné. (Décret n°2001-094 du 20 février 2001 fixant les normes de qualité de l'eau potable en République du Bénin, Cotonou). Pour réduire les risques sanitaires liés à la consommation d'une eau qui ne répond pas aux critères de consommations requis par la réglementation en vigueur et diminuer la récurrence de certaines maladies hydrique (le choléra, la bilharziose, les affections gastros intestinales, la diarrhée et la fièvre typhoïde) dans la ville de Cotonou, la connaissance en tous lieux de concentration en chlore résiduel libre pour localiser les zones de vulnérabilité des consommateurs de l'eau de robinet est d'une nécessité absolue. Cela permet de suggérer l'installation des stations de post chloration pour assurer la CCRL nécessaire dans les conduites et par conséquent au niveau des robinets du consommateur.

L'objectif du présent travail était d'étudier la dégradation de la CCRL le long du réseau de distribution d'eau potable de la Commune de Cotonou afin d'identification des zones de vulnérabilité du consommateur où la CCRL atteint des seuils critiques (concentration inférieure à 0,1 mg /l). Pour l'atteinte de cet objectif, nous avons : quantifier la dose de chlore observée aux différents niveaux des points d'échantillonnages tout au long du réseau d'alimentation ; évaluer l'effet de la dégradation du désinfecteur dans l'eau de consommation le long le réseau de distribution dans la commune de Cotonou ; et modéliser l'efficacité de la teneur en chlore en fonction de la distance parcourue dans le réseau de distribution dans la commune de Cotonou.

## **MATÉRIEL ET MÉTHODES**

### **Matériel**

#### **Zone d'étude**

La commune de Cotonou est située sur le cordon littoral qui s'étend entre le lac Nokoué et l'Océan Atlantique et est constitué de sables alluviaux d'environ cinq mètres de hauteur maximale. Elle représente la seule commune du département du Littoral et est limitée au Nord par la commune de Sô-Ava et le lac Nokoué, au Sud par l'Océan Atlantique,

à l'Est par la commune de Sèmè-Kpodji et à l'Ouest par celle d'Abomey-Calavi. Elle couvre une superficie de 79 km<sup>2</sup> dont 70% sont situés à l'Ouest du chenal. Les quartiers de l'Est sont reliés à la partie Ouest par trois ponts. A l'Ouest de Cotonou se trouvent le Port Autonome et l'Aéroport International qui font de la ville, la plus importante porte d'entrée et de sortie du Bénin, tandis que l'Est dispose d'une vaste zone industrielle.

Le climat est de type sub-équatorial avec une alternance de deux saisons pluvieuses (avril à juillet et septembre à novembre) et de deux saisons sèches (décembre à mars et août). Pendant la grande saison des pluies, la ville est menacée par de graves inondations, offrant ainsi à la plupart des « *Cotonois* » le spectacle d'un gros village lacustre (niveau bas fortement influencé par les variations du niveau des plans d'eau ; niveau maximal des crues : 1,5 m). La pluviométrie varie entre 900 et 1200 mm, alors que la température moyenne est de 27 °C environ. De novembre à décembre, la commune subit l'harmattan qui se manifeste généralement par un vent sec et qui occasionne assez de brouillard et de poussière.

Le relief de la commune est peu accidenté avec des marécages. Il a deux caractéristiques principales : des dépressions longitudinales parallèles à la côte et des bas-fonds érodés par l'écoulement des eaux pluviales qui communiquent avec le lac. Le site est coupé en deux par le chenal appelé « Lagune de Cotonou », communication directe entre le lac et la mer, creusée par les Français depuis 1894. Les épis du port ont contribué à l'érosion de toute la côte Est de la ville. Cette érosion s'opère à une vitesse moyenne de 16,8 mètres par an.

La commune de Cotonou qui se situe dans la plaine côtière, possède des sols sableux qui sont généralement pauvres en matière organique avec une faible capacité d'échange et un faible pouvoir de rétention en eau, ce qui a pour corollaire les inondations répétées observées çà et là dans la ville de Cotonou pendant la saison pluvieuse. La nappe phréatique se trouve à proximité de la surface du sol dont la perméabilité élevée accélère l'infiltration des eaux. L'infiltration des eaux

pluviales et usées ce qui pourrait générer des risques de pollution. Cotonou dispose d'un réseau hydrographique alimenté par trois principaux plans d'eau : l'Océan Atlantique, la Lagune et le Lac Nokoué, pourvoyeurs de ressources halieutiques non négligeables.

De toutes les communes du Bénin, la commune de Cotonou est la mieux équipée en infrastructures d'alimentation en eau potable assurée par la SONEB. Cependant, 43,25% de la population et à peine la moitié (51,4%) des ménages de Cotonou ont accès à l'eau SONEB à la maison (robinet intérieurs ou extérieurs). Le reste de la population achète de l'eau de la SONEB ailleurs. La figure de la localisation de la ville de Cotonou est présentée dans la partie annexe de ce manuscrit.

## MÉTHODES

### *Choix des points d'échantillonnage sur le réseau de distribution des eaux de la commune de Cotonou*

La Figure 2 présente la localisation géographique des points d'échantillonnages choisis sur le réseau de distribution de la ville de Cotonou (voir annexe).

### *Campagne d'échantillonnage*

Les échantillons ont été prélevés dans les ménages sélectionnés chacun des 30 jours du mois d'avril 2018 aux heures de pointe (11h à 15h) directement au robinet de ces abonnés. Ces mesures ont permis de déterminer les valeurs moyennes de la CCRL sur une période de 30 jours au niveau de nos points d'échantillonnages et d'avoir des mesures répétées. Les échantillons ont été prélevés en respectant les règles d'échantillonnages des eaux de boisson afin d'avoir des échantillons représentatifs homogènes et sans modification de leurs caractéristiques physico-chimiques. La méthode de dosage utilisée est la méthode N-diéthyl-P-phénylèneDiamine (DPD). Elle est une méthode simple d'analyse qui s'effectue in-situ (à cause de la volatilité du paramètre à analyser) pour déterminer la teneur en chlore libre et total de l'eau avec usage du réactif suivant : la N-diéthyl-P-phénylèneDiamine comme indicateur de coloré. Lorsqu'on met la DPD dans l'eau, l'eau vire du rose pâle au rose foncé selon sa teneur en chlore résiduel.

L'instrument d'analyse DPD, appelé colorimètre effectue cette opération automatiquement et possède un affichage numérique.

**Vérification de la conformité des résultats d'analyse à la norme en vigueur**

Au Bénin, la norme exige une concentration minimale de 0,4mg/l et une concentration maximale de 0,8 mg/l à la sortie de l'usine de traitement et une concentration de 0,1mg /l au niveau de l'abonné (Décret n°2001-094 du 20 février 2001 fixant les normes de qualité de l'eau potable en République du Bénin). Un test statistique vérifiant la conformité des résultats mensuels moyens obtenus par site aux valeurs seuils de la norme en vigueur a été fait. Cela a permis de déceler les zones où la santé des consommateurs de cette eau est vulnérable.

Conditions d'application du test :

- ❖ Le caractère aléatoire et simple des échantillons ;
- ❖ La normalité des populations.

Ce test consiste à vérifier si la moyenne m d'une population (dans notre cas, la moyenne mensuelle des valeurs obtenues par site) est conforme à une valeur donnée  $m_0$  (il s'agit ici de la norme).

L'hypothèse nulle :  $H_0 : m$  (moyenne de la population) =  $m_0$  (valeur standard).

Contre les hypothèses alternatives suivantes :

- ❖  $m \neq m_0$  la moyenne  $m$  de la population est différente de la moyenne standard  $m_0$  (le test est bilatéral) ;
- ❖  $H_1 : m > m_0$  la moyenne  $m$  de la population est supérieure à la moyenne standard  $m_0$  (test est unilatéral) ;
- ❖  $H_1 : m < m_0$  la moyenne  $m$  de la population est inférieure à la moyenne standard  $m_0$  (test est unilatéral).

$$t_{obs} = \frac{|\bar{x} - m_0|}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}} = \frac{|\bar{x} - m_0|}{\sqrt{\frac{SCE}{n(n-1)}}}$$

Vérification de  $H_0$  :

Avec un niveau de significativité  $\alpha$ , on rejette l'hypothèse nulle quand :  $t_{obs} \geq t_{1-\alpha/2}$

$t_{1-\alpha/2}$  est la variable t de Student avec comme nombre de liberté (n-1).

L'intervalle de confiance du test se résume à l'intervalle suivant

$$\bar{x} \pm t_{1-\alpha/2} \frac{\hat{\sigma}}{\sqrt{n}} \quad \text{ou} \quad \bar{x} \pm t_{1-\alpha/2} \sqrt{\frac{SCE}{n(n-1)}}$$

Test unilatéral  
Vérification de  $H_0$  :

$$t_{obs} = \frac{\bar{x} - m_0}{\hat{\sigma}}$$

$$t_{1-\alpha}$$

Cette valeur calculée est comparée à avec  $n-1$  comme degré de liberté et le niveau de signification. Pour les deux hypothèses alternatives, les conditions de rejet sont les suivantes :

$$H_1 : m > m_0 \text{ si } t_{obs} \geq t_{1-\alpha}$$

$$H_1 : m < m_0 \text{ si } t_{obs} \leq t_{1-\alpha}$$

- ❖ Spatialisation des données
- ❖ Choix de la méthode d'interpolation spatiale : Krigeage

Une méthode d'interpolation géostatistique comme celle-ci doit être utilisée, puisqu'elle s'applique à des données continues, c'est-à-dire susceptibles de prendre une valeur différente en tout point d'un espace géographique, comme il est le cas pour les concentrations obtenues tout au long du réseau de distribution d'eau après échantillonnage. Pour cela, la démarche suivante a été adoptée :

- Conception du fichier de donnée

Concevoir un fichier Excel avec les données organisées en des colonnes : une colonne pour les Longitudes X, une pour les Latitudes Y, une colonne Z pour la concentration en chlore résiduel libre à chaque point de mesure.

- Réalisation du variogramme expérimental ou variogramme brute ;
- Analyse et modélisation du variogramme.

Cette étape concerne le comportement à l'origine aux faibles distances et aux grandes distances. Pour cela, on va procéder à l'ajustement du variogramme modélisé sur le variogramme brute ; à l'utilisation du variogramme modélisé pour interpoler les

données ; à la réalisation de la carte iso-valeur et au blanchiment de l'extérieure de la carte.

**Modélisation de la teneur en chlore en fonction de la distance séparant les points d'échantillonnage de la station de production des eaux de la commune**

Les données recueillies ont été comparées à la norme en vigueur au Bénin fixant un minimum de 0,4 mg/l et un maximum de 0,8 mg/l à la sortie de l'usine de traitement. Une concentration minimale de 0,1 mg/l chez le consommateur (Décret n°2001-094 du 20 février 2001 fixant les normes de qualité de l'eau potable en République du Bénin). Enfin, une modélisation à l'aide d'un modèle linéaire de type :

$$y = a + bx + e$$

Avec :

Y = Concentration de chlore obtenue

X = Distance en m du point de mesure considéré par rapport à la distance

$\varepsilon$  = le terme d'erreur ou résidu.

❖ Validation du modèle

L'établissement et la validation de ce modèle s'est fait en sept (7) étapes à l'aide du logiciel R. Les tests statistiques qui seront utilisés pour la validation du modèle obtenu doit nécessairement répondre aux critères de validité des tests statistiques au seuil de 5% sont les suivants énumérés dans le Tableau 3 (voir annexe).

**1°) Test De Shapiro Wilk**

Très populaire, le test de Shapiro-Wilk est basé sur la statistique W. La statistique du test s'écrit :

$$W = \frac{\left[ \sum_{i=1}^{\lfloor \frac{n}{2} \rfloor} a_i (x_{(n-i+1)} - x_{(i)}) \right]^2}{\sum_i (x_i - \bar{x})^2}$$

Où

- (i) correspond à la série des données triées ;
- $\lfloor n/2 \rfloor$  est la partie entière du rapport (n/2) ; et

- les  $a_i$  sont des constantes générées à partir de la moyenne et de la matrice de variance covariance des quantiles d'un échantillon de taille n suivant la loi normale. Ces constantes sont fournies dans des tables spécifiques. La statistique W peut donc être interprétée comme le coefficient de détermination (le carré du coefficient de corrélation) entre la série des quantiles générés à partir de la loi normale et les quantiles empiriques obtenus à partir des données. Plus W est élevé, plus la compatibilité avec la loi normale est crédible. La région critique, rejet de la normalité, s'écrit :

$$W > W_{CRITIQUE}$$

**2°) Test de Breusch-Pagan**

La variance résiduelle  $\sigma_i$  de l'individu i de vecteur d'observations  $z_i$  peut être écrite sous la forme :

$$\sigma_i^2 = \sigma^2 (\alpha_0 + \alpha' z_i)$$

$\alpha_0$  est l'ordonnée à l'origine;  $\alpha'$  le transposé du vecteur de coefficients de régression partiels et  $\sigma^2$  une constante réelle.

- L'hypothèse nulle du test s'écrit :  $H_0 : \alpha' = 0$

$$bp = \frac{1}{v} (u - \bar{u}i)' z (z' z)^{-1} z' (u - \bar{u}i)$$

, où

$$u = \left[ e_1^2, e_2^2, \dots, e_n^2 \right]$$

Avec  $e_i$  le résidu de l'observation i.  $u_i$  le vecteur-colonne unitaire  $n \times 1$ , est la moyenne du vecteur u et z la matrice des observations. V est une constante calculée à l'aide de la formule :

$$v = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( e_i^2 - \frac{e'e}{n} \right)^2$$

Avec e le vecteur de résidu de régression.

- Notons que sous l'hypothèse nulle d'homogénéité des variances résiduelles, bp suit une distribution Chi-carré à p degrés de liberté.

- La probabilité associée à cette hypothèse est :

- Lorsque la valeur de cette probabilité est inférieure à 0,05 (95% de niveau/degre de confiance), on rejette l'hypothèse d'homogénéité des résidus.

**3°) Test de reset : indépendance des résidus**

Il s'agit d'un test pour évaluer la forme fonctionnelle d'un modèle de régression. Le but est de savoir s'il y a des combinaisons non linéaires des valeurs prédites qui ajoutent du pouvoir explicatif au modèle. Si oui, c'est un indice que la forme fonctionnelle (variables explicatives mesurées en logs, en polynômes, en fonctions exponentielles, etc.) du modèle estimé n'est pas adéquate.

Le test est conçu pour détecter des non-linéarités, mais non pour suggérer la forme fonctionnelle exacte qui serait la plus appropriée. Malheureusement, si on détecte un problème de non-linéarité, il faut modifier le modèle estimé, mais trouver la bonne façon de modifier le modèle demande une analyse approfondie de la question à laquelle on essaie de répondre.

On effectue le test en estimant le modèle suivant :

$$Y_i = \gamma_0 + \gamma_1 X_{1i} + \gamma_2 X_{2i} + \dots + \gamma_k X_{ki} + \delta Y_i^2 + \delta Y_i^3 + \dots + \delta Y_i^m + \epsilon_i$$

Notez que l'hypothèse nulle est que tous les termes non linéaires dans les valeurs prédites sont non significatifs. Donc, l'hypothèse nulle est que la spécification initiale de l'équation est adéquate. Ici,  $\hat{Y}$  est le vecteur de valeurs prédites de Y provenant de l'estimation du modèle. On utilise une statistique F pour tester la significativité des coefficients  $\delta$ . Le choix de l'ordre du polynôme en  $\hat{Y}_i$  est arbitraire. On utilise souvent  $\hat{Y}_i$  au carré.

**4°) Test de Student (T. Test) : moyenne nulle des résidus**

- Test  $H_0 : \mu = \mu_0$  ; contre  $H_1 : \mu \neq \mu_0$

- Statistique du Test.t de Student à n-1 degrés de liberté

$$\alpha = 5\% : FT = \frac{\bar{X} - \mu_0}{\frac{s}{\sqrt{n}}} \sim_{H_0} t_{n-1}$$

- Zone de rejet :

$$W = \{ \bar{x} : |t| = \frac{|\bar{x} - \mu_0|}{\frac{s}{\sqrt{n}}} > -t_{n-1, \frac{\alpha}{2}} \}$$

On calcule T puis l'acceptation de  $H_0$  (nullité des résidus) si T est entre les bornes de W. Dans le cas échéant l'hypothèse de la nullité des résidus est rejetée.

**5°) Test d'autocorrélation des résidus : Test de Durbin-Waston**

But : tester l'indépendance entre les résidus de régression (présence d'autocorrélation entre les résidus).

Calcul de la quantité : 
$$q = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} (e_{i+1} - e_i)^2}{\sum_{i=1}^n (e_i - \bar{e})^2}$$

Calcul de  $U_{obs}$  : 
$$u_{obs} = |q - 2| \sqrt{(n^2 - 1) / [4(n - 2)]}$$

L'hypothèse d'indépendance des résidus est rejetée lorsque :

**6°) Test de significativité de a et b**

$$P(|U| \geq u_{obs}) \leq \alpha \quad \alpha = 0,05.$$

❖ **Test de significativité de b**

$$H_0 : b = 0 \text{ contre } H_1 : b \neq 0$$

- Calcul de la variance résiduelle :

$$s_{y.x}^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [y_i - y(x_i)]^2$$

- Calcul de la statistique  $t_b$  de Student tel que :

$$t_b = \frac{\hat{b}}{S_b} = \frac{\hat{b}}{\sqrt{\frac{s_{y.x}^2}{\sum (x_i - \bar{x})^2}}}$$

$s_b$  est appelé l'*erreur-type* de la pente b

Décision :

$$P(t > |t_b|) \leq 0,05 \Rightarrow \text{RH0}$$

$$\Rightarrow b \neq 0 \quad b = \hat{b}$$

$$\text{IC} = b \pm t_{1-\alpha/2} \sqrt{\frac{S^2_{y,x}}{\sum (x_i - \bar{x})^2}}$$

Toute augmentation d'une unité de la variable x entraîne un accroissement de y compris dans cet intervalle, et ce dans (100-α) % des cas.

❖ **Test de significativité de a**

$$H_0 : a = 0 \text{ contre } H_1 : a \neq 0$$

- a0 étant une constante. Sauf mention, elle prend la valeur zéro.
- Calcul de  $t_a$  tel que :

$$t_a = \frac{\hat{a}}{S_a} = \frac{\hat{a}}{\sqrt{S^2_{y,x} \left( \frac{1}{n} + \frac{\bar{X}^2}{\sum (X_i - \bar{X})^2} \right)}}$$

$$= \frac{\hat{a}}{S_{y,x} \sqrt{\left( \frac{1}{n} + \frac{\bar{X}^2}{\sum (X_i - \bar{X})^2} \right)}}$$

$S_a$  est appelé l'**erreur-type** du coefficient a (ordonnée à l'origine).

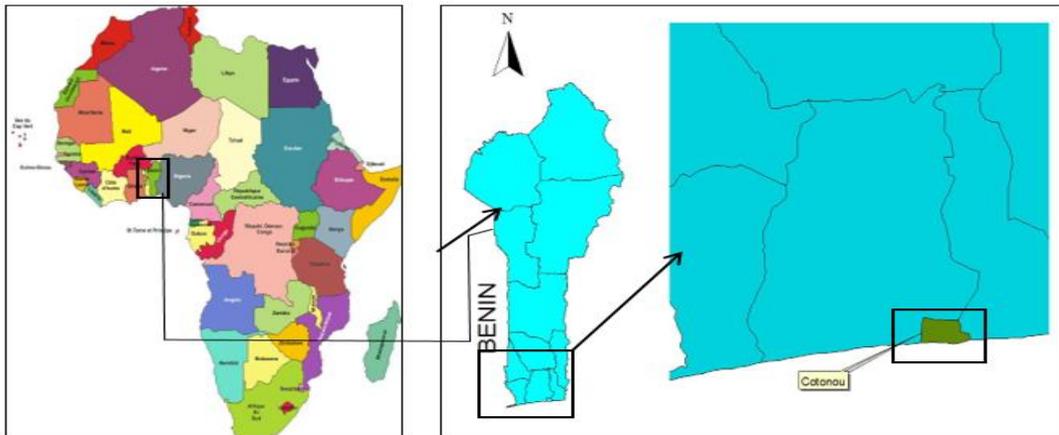
Le principe de décision reste le même que dans le cas du test de significativité de b.

7°) **Test de signification globale du modèle**

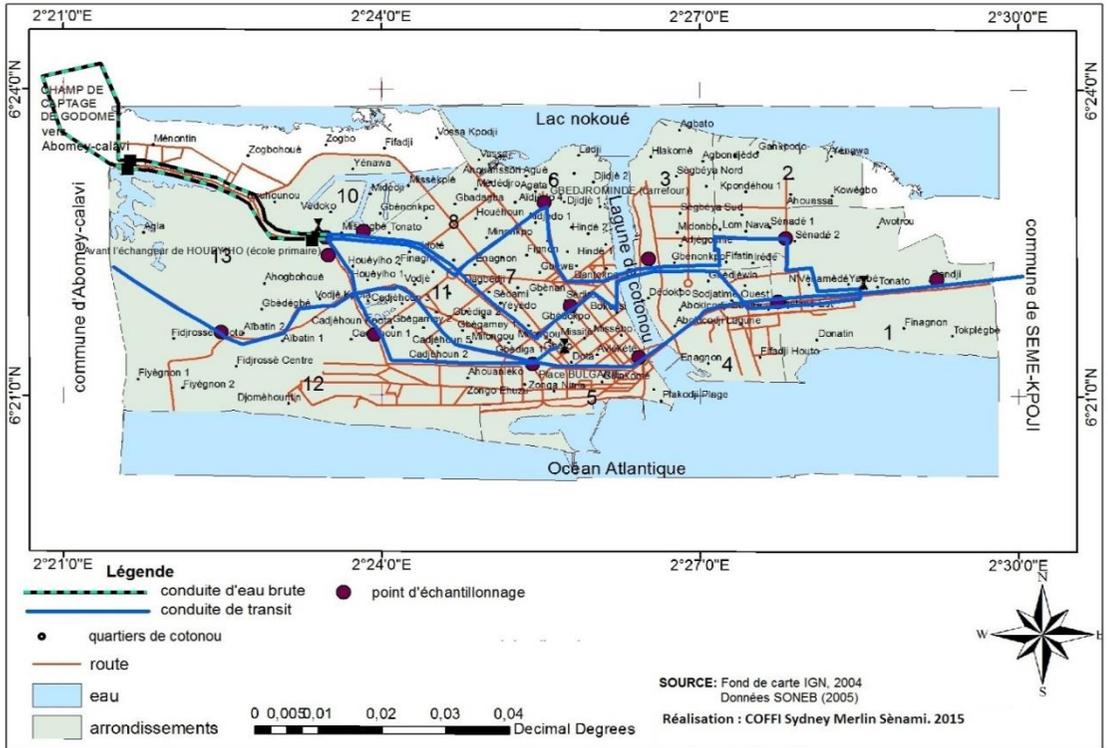
La signification globale du modèle est testée au moyen d'une analyse de la variance :

$$SCE_{reg} = b \sum (y_i - \bar{y})(x_i - \bar{x}) ; \quad F(1, n - 2)$$

| SSV        | ddl | SCE                | CM                | F                                    |
|------------|-----|--------------------|-------------------|--------------------------------------|
| Regression | 1   | SCE <sub>reg</sub> | CM <sub>reg</sub> | F=CM <sub>reg</sub> /CM <sub>r</sub> |
| Erreur     | n-2 | <del>≠ce</del>     | CM <sub>r</sub>   |                                      |
| Total      | n-1 | SCE <sub>t</sub>   |                   |                                      |

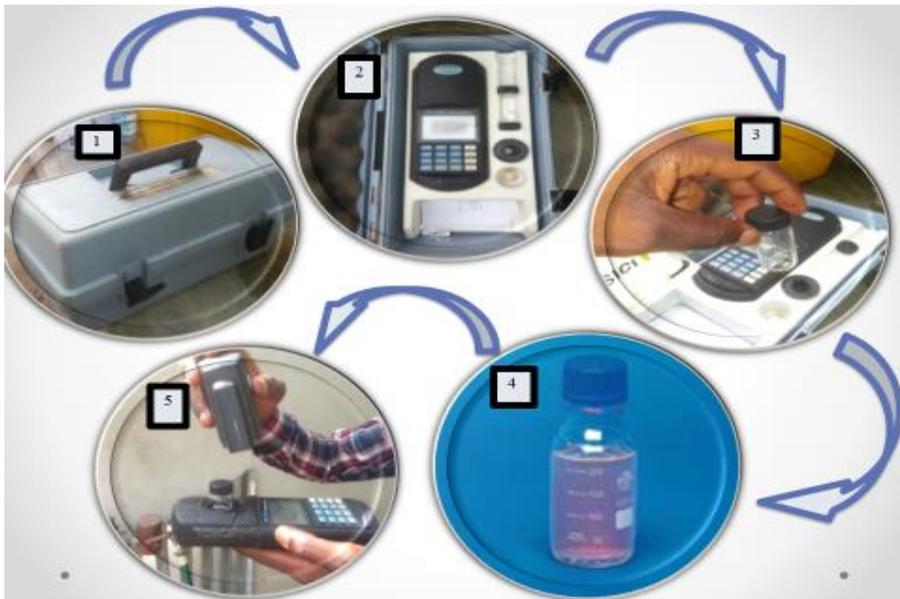


**Figure 1** : Localisation de la ville de Cotonou.



Source : Fond de carte IGN, 2004, Données SONEB (2005).

**Figure 2 :** Présentation des différents points d'échantillonnages sur la carte du réseau de distribution des eaux de Cotonou.



**Figure 3 :** Méthode d'analyse.

**Légende :** 1- & 2- Présentation Colorimètre DR/890 : Kit de prélèvement et d'analyse des échantillons ; 3- Prélèvement de l'échantillon dans le tube d'observation gradué destiné à l'analyse ; 4- Coloration prise par l'échantillon après ajout de la N-diéthyl-P-phénylène Diamine ; 5- Insertion de l'échantillon dans le compartiment destiné à la détermination de la CCRL.

**Tableau 1 :** Choix des points d'échantillonnages.

| Sites d'échantillonnages                           | Justification du choix                         | Coordonnées géographiques       |
|--|--|---------------------------------|
| Vèdoko (marché)                                    | Premier abonné de la SONEB                     | N06°22'31,5''<br>E002°23'22,8'' |
| Houeyiho 2 (école primaire)                        | Abonné SONEB                                   | N06°22'22,3''<br>E002°23'29,7'' |
| Carrefour Fidjrossè (église christianiste céleste) | Abonné SONEB et proximité immédiate de la voie | N06°21'36,7''<br>E002°22'30,6'' |
| Cadjèhoun (mosquée)                                | Abonné SONEB et proximité immédiate de la voie | N06°21'35,6''<br>E002°23'56,0'' |
| Place Bulgarie                                     | Abonné SONEB et proximité immédiate de la voie | N06°21'43,6''<br>E002°24'48,7'' |
| Saint Michel Eglise                                | Abonné SONEB et proximité immédiate de la voie | N06°21'58,2''<br>E002°25'35,5'' |
| Aidjedo (carrefour)                                | Abonné SONEB et proximité immédiate de la voie | N06°23'03,5''<br>E002°23'29,7'' |
| Carrefour la Vie                                   | Abonné SONEB et proximité immédiate de la voie | N06°22'36,5''<br>E002°23'49,6'' |
| Ganhi (MTN)  | Abonné SONEB et proximité immédiate de la voie | N06°21'31,3''<br>E002°26'15,0'' |
| Dédokpo  | Abonné SONEB et proximité immédiate de la voie | N06°22'20,1''<br>E002°26'30,9'' |
| Avotrou  | Abonné SONEB et proximité immédiate de la voie | N06°22'36,5''<br>E002°28'21,8'' |
| Akpakpa La Beninoise                               | Abonné SONEB et proximité immédiate de la voie | N06°21'54,2''<br>E002°27'40,4'' |
| Carrefour Degakon                                  | Abonné SONEB et proximité immédiate de la voie | N06°22'07,7''<br>E002°29'14,1'' |

**Tableau 2 :** Liste du matériel utilisé suivi de son utilité.

| N° | Nom de matériel                            | Utilité   |
|----|--|---|
| 1  | GPS GARMIN                                 | Prise de coordonnées géographiques des points d'échantillonnage |
| 2  | Etiquettes                                 | Pour étiqueter les échantillons                                 |
| 3  | Appareil photos Samsung i317 <sup>sm</sup> | Prise de photos   |
| 4  | Flacon stérilisé                           | Recueillir les échantillons                                     |
| 5  | Une glacière                               | Pour le transport des flacons                                   |
| 6  | Colorimètre DR/890                         | Pour déterminer la concentration en chlore résiduel             |

|    |                                   |   |
|----|-----------------------------------|---|
| 7  | Véhicule                          | Pour le transport sur le terrain et le transport du matériel.   |
| 8  | Ordinateur                        | Pour la recherche documentaire, pour le traitement des informations et la rédaction du rapport final. |
| 9  | Le logiciel Microsoft Office 2016 | Pour le traitement et la rédaction du rapport final.  |
| 10 | Le logiciel Map Info 8.5          | Pour la réalisation des cartes.   |
| 11 | Le logiciel Surfer 8              | Pour la spatialisation des teneurs en chlore.   |
| 12 | Google scholar                    | Moteur de recherche via internet.   |
| 13 | Le logiciel R                     | Pour le traitement statistique des données.   |

**Tableau 3 :** Étapes suivies pour la validation d'un modèle linéaire.

| N° | Étapes                                  | Test statistiques                   | Seuil de validité             |                           |
|----|---|-------------------------------------|-------------------------------|---------------------------|
| 1  | Normalité des résidus                   | Test de Shapiro-Wilk                | <i>P</i> value > 0,05         |                           |
| 2  | Homogénéité des résidus                 | Test de Breush-Pagan                | <i>P</i> value > 0,05         |                           |
| 3  | Indépendance des résidus                | Resetest;<br>Test de Ramsey         | <i>P</i> value > 0,05         |                           |
| 4  | Moyenne nulle des résidus               | Test de Student (t.test)            | <i>P</i> value > 0,05         |                           |
| 5  | Autocorrélation des résidus             | Test de Durbin-Waston               | <i>P</i> value > 0,05         |                           |
| 6  | Significativité des coefficients a et b | Tester la significativité de a et b | <i>P</i> value (a) < 0,05     | <i>P</i> value (b) < 0,05 |
| 7  | Significativité globale du modèle       | Analyse de la variance (ANOVA)      | <i>P</i> value (ANOVA) < 0,05 |                           |

## RÉSULTATS

### Résultats obtenus après échantillonnages et analyses

La moyenne mensuelle des CCRL obtenues par site d'échantillonnage suivi de la distance séparant chacun des points d'échantillonnages de la station source ont été consigné dans le Tableau 4.

### Conformité des résultats par rapport à la norme de la qualité des eaux de boisson en vigueur au Bénin

Le Tableau 5 présente les probabilités associées aux tests T-Student effectué pour

vérifier la conformité des moyennes obtenus par rapport à la norme en vigueur au seuil de 5%.

À la vue des résultats obtenus lors de la campagne d'échantillonnages, on constate que la CCRL est en majorité supérieure à la norme en vigueur en république du Bénin (minimum de 0,4 mg/l à la sortie de l'usine de traitement et 0,1 mg/l au robinet du consommateur) au seuil de 5%. Seules, les valeurs obtenues à Fidjrossè sont conformes à la norme en vigueur au seuil de 5%.

### **Spatialisation de la concentration en chlore résiduel libre sur le réseau de distribution de la ville de cotonou**

La Figure 4, révèle qu'au fur et à mesure que l'on s'éloigne vers l'Est et l'Ouest du réseau de distribution de la ville de Cotonou partant de Vedoko, la CCRL s'abaisse conséquemment.

### **Modélisation de la teneur en chlore en fonction de la distance séparant les points d'échantillonnage de la station de production des eaux de la commune**

#### **Détermination du type de régression qui existe entre ces deux variables**

La Figure 5 présente la variation de la CCRL en fonction de la distance géographique des points d'échantillonnages et la station de traitement. L'allure de cette courbe révèle, qu'au fur et à mesure qu'on s'éloigne de la station de traitement la CCRL décroît conséquemment. Aussi, les points les plus proches de la station de traitement ont des Concentrations en majorité élevé à l'exception, de certaines valeurs obtenues qui sont probablement causées par des dysfonctionnements du réseau de distribution des eaux, au niveau des installations des abonnés, la distance entre ces points et la station de traitement, l'inefficacité du traitement ou le mauvais état des installations des abonnés.

Le Tableau 6 présente l'estimation des Coefficients de la régression linéaire entre les deux variables de notre étude. Le modèle linéaire traduisant la CCRL en fonction de la distance est le suivant :

$$Y=5,0695790-0,0002572X+ \varepsilon$$

Avec :

Y = Concentration de chlore obtenue ;

X = Distance en m du point de mesure considéré par rapport à la distance ;

$\varepsilon$  = le terme d'erreur ou résidu.

#### ❖ Validation du modèle obtenu

➤ Vérification de normalité des résidus grâce au test de Shapiro Wilk

Les Figures 6 et 7 présentent la distribution des résidus issus du modèle établi (voir annexe). De ces Figures il ressort que les résidus suivent une distribution normale.

La probabilité associée au test de Shapiro-Wilk est  $p\text{-value} = 0.05284$ . D'où les résidus suivent une distribution normale, avec  $P\text{ value} > 0,05$ .

➤ Vérification de l'homogénéité des résidus grâce au test de Breusch-Pagan

La probabilité associée au test Breusch-Pagan est  $p\text{-value} = 0.8872$ . D'où les résidus du modèle sont homogènes car  $P\text{ value} > 0,05$ .

➤ Vérification de l'indépendance des résidus grâce au RESET test

La probabilité associée au RESET test est  $p\text{-value} = 0.2209$ . D'où les résidus sont indépendants, avec  $P\text{-value} > 0,05$ .

➤ Vérification de la nullité des résidus grâce au test-T de Student

Le tableau 7 présente la probabilité associée au test-T de Student suivi des limites de confiance de ce test.

La probabilité associée au test-T de Student est  $p\text{-value} = 1.00$ . D'où les résidus ont une moyenne nulle car  $P\text{-value} > 0,05$ .

➤ Vérification de l'autocorrélation des résidus grâce au test de Durbin-Watson

La probabilité associée au test de Durbin-Watson est  $p\text{-value} = 0.2387$ . D'où l'autocorrélation des résidus est vérifiée car  $P\text{-value} > 0,05$ .

➤ Vérification de la significativité des coefficients a et b

Le Tableau 8 révèle une très haute significativité du coefficient « a » de notre modèle linéaire et également une significativité du coefficient « b » (distance en m) au seuil de 5%.

➤ Vérification de la Significativité globale du modèle obtenu

Le Tableau 9 révèle que le modèle établi est globalement significatif au seuil de 5%. Avec une probabilité associée  $p\text{-value} = 0.0438 < 0.05$ . Le modèle établi, permet de prédire de manière approximative la CCRL a chaque point du réseau. Cela permet donc de déceler les zones à faible CCRL où la vulnérabilité du consommateur est avérée afin de prévoir l'installation des stations de post chloration. Ceci permettra d'assurer une meilleure surveillance sanitaire des consommateurs de cette eau dans la ville de Cotonou.

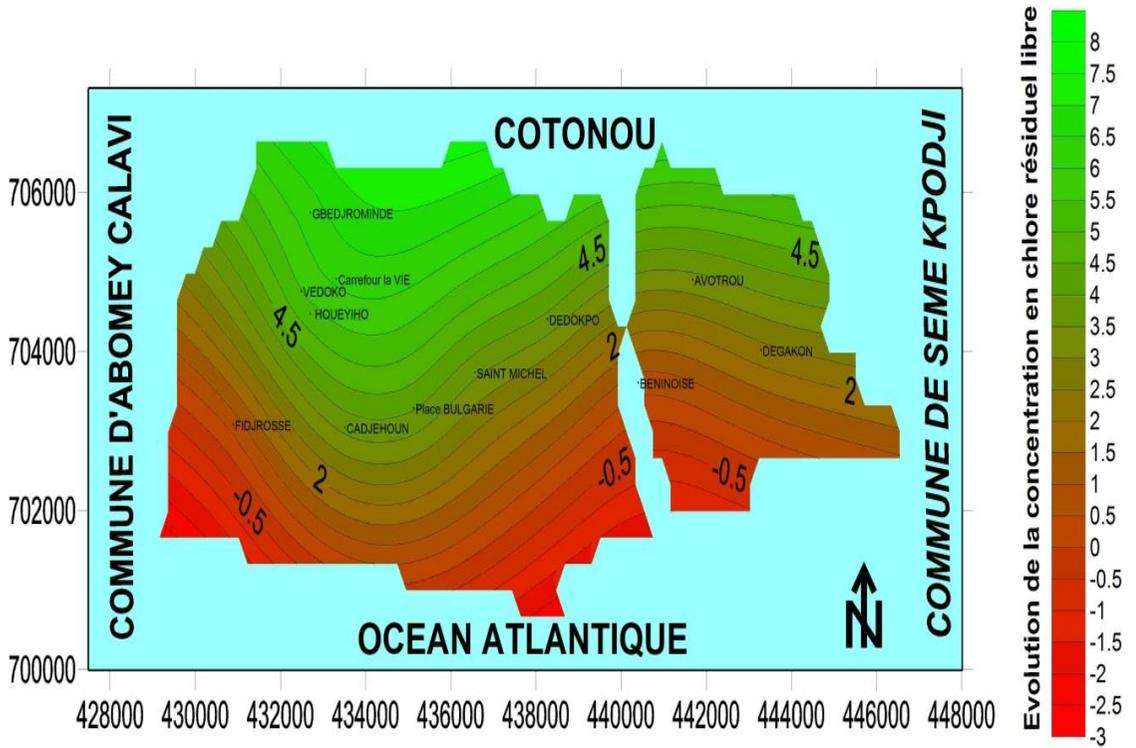
**Tableau 4** : Concentration en chlore résiduel sur les sites d'échantillonnages.

| Sites d'échantillonnages | Distance séparant le point d'échantillonnage de la station en m | Valeurs moyennes mensuelles en CCRL en mg/l |
|--------------------------|---|---|
| Houeyiho                 | 625.0   | 5.00  |
| Fidjrossè                | 3750.0  | 0.10  |
| Cadjehoun                | 2000.0  | 3.90  |
| Bulgarie                 | 5000.0  | 3.40  |
| Saint_Michel             | 5312.5  | 3.10  |
| Gbedjrominde             | 4375.0  | 4.50  |
| Carrefour_la_Vie         | 750.0   | 6.30  |
| Ganhi                    | 6875.0  | 3.90  |
| Dedokpo                  | 8437.5  | 4.30  |
| Avotrou                  | 11687.5   | 3.40  |
| Akpakpa_La_Beninoise     | 10937.5   | 0.01  |
| Degakon                  | 13125.0   | 2.50  |
| Vedoko                   | 200.0   | 6.70  |

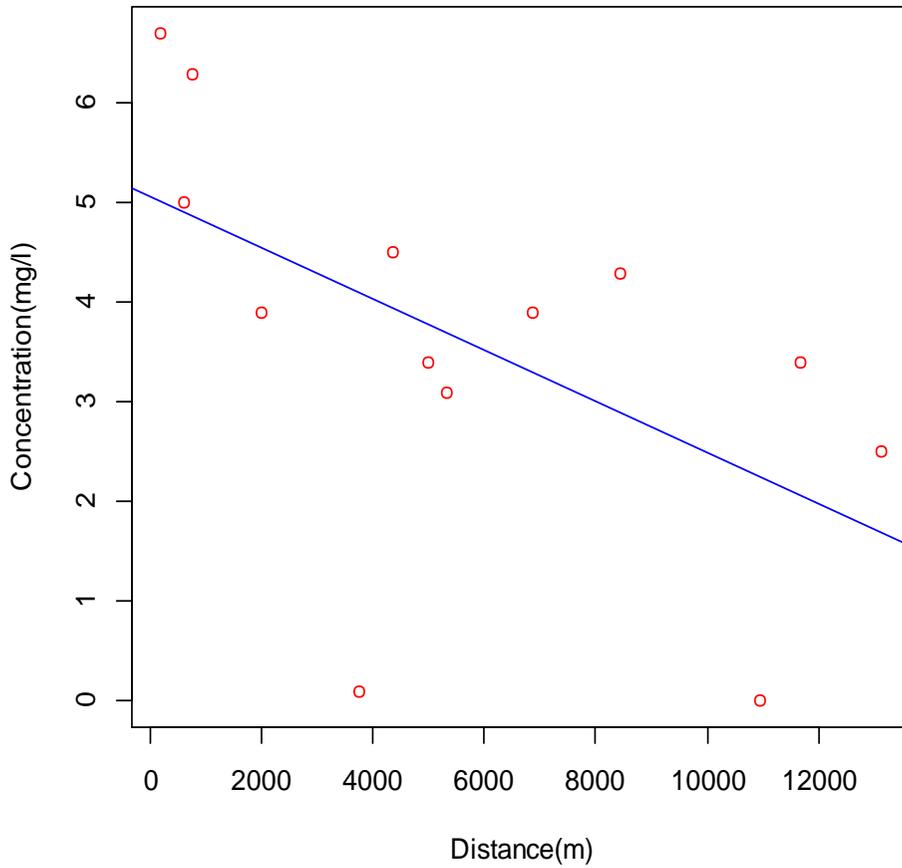
**Tableau 5** : Test de conformité des valeurs moyennes observées par site à la norme en vigueur.

| SYMBOLES            | Moyenne mensuelle | Norme requise en CCRL (mg/l) | Probabilité associée au test de conformité de la moyenne par rapport à la borne inférieure |                                   | Probabilité associée au test de conformité de la moyenne par rapport à la borne supérieure |                                   | DECISION DE CONFORMITÉ OU NON À LA NORME |
|---------------------|-------------------|------------------------------|--|-----------------------------------|--|-----------------------------------|--|
|                     |                   |                              | Egalité à la borne inférieure  | Infériorité à la borne inférieure | Égalité à la borne supérieure  | Supériorité à la borne supérieure |  |
| <b>Houeyiho</b>     | 5.00              | 0,1- 0,4                     | p-value < 2.2e-16  | p-value < 2.2e-16                 | p-value < 2.2e-16  | P-value = 1                       | NON CONFORME                             |
| <b>Fidjrosse</b>    | 0.10              | 0,1- 0,4                     | p-value = 1  | p-value < 2.2e-16                 | p-value = 3.454e-16  | p-value < 2.2e-16                 | CONFORME                                 |
| <b>Cadjehoun</b>    | 3.90              | 0,1- 0,4                     | p-value < 2.2e-16  | p-value < 2.2e-16                 | p-value < 2.2e-16  | p-value = 1                       | NON CONFORME                             |
| <b>Bulgarie</b>     | 3.40              | 0,1- 0,4                     | p-value < 2.2e-16  | p-value < 2.2e-16                 | p-value < 2.2e-16  | p-value = 1                       | NON CONFORME                             |
| <b>Saint_Michel</b> | 3.10              | 0,1- 0,4                     | p-value < 2.2e-16  | p-value < 2.2e-16                 | p-value < 2.2e-16  | p-value = 1                       | NON CONFORME                             |
| <b>Gbedjrominde</b> | 4.50              | 0,1- 0,4                     | p-value < 2.2e-16  | p-value < 2.2e-16                 | p-value < 2.2e-16  | p-value = 1                       | NON CONFORME                             |

|                            |      |          |                   |                     |                   |                   |              |
|----------------------------|------|----------|-------------------|---------------------|-------------------|-------------------|--------------|
| <b>Carrefour_ la_Vie</b>   | 6.30 | 0,1- 0,4 | p-value < 2.2e-16 | p-value < 2.2e-16   | p-value < 2.2e-16 | p-value = 1       | NON CONFORME |
| <b>Ganhi</b>               | 3.90 | 0,1- 0,4 | p-value < 2.2e-16 | p-value < 2.2e-16   | p-value < 2.2e-16 | p-value = 1       | NON CONFORME |
| <b>Dedokpo</b>             | 4.30 | 0,1- 0,4 | p-value < 2.2e-16 | p-value < 2.2e-16   | p-value < 2.2e-16 | p-value = 1       | NON CONFORME |
| <b>Avotrou</b>             | 3.40 | 0,1- 0,4 | p-value < 2.2e-16 | p-value < 2.2e-16   | p-value < 2.2e-16 | p-value = 1       | NON CONFORME |
| <b>Akpakpa_ LA_Bénoise</b> | 0.01 | 0,1- 0,4 | p-value < 2.2e-16 | p-value = 3.454e-16 | p-value < 2.2e-16 | p-value < 2.2e-16 | CONFORME     |
| <b>Degakon</b>             | 2.50 | 0,1- 0,4 | p-value < 2.2e-16 | p-value < 2.2e-16   | p-value < 2.2e-16 | p-value = 1       | NON CONFORME |
| <b>Vedoko</b>              | 6.70 | 0,1- 0,4 | p-value < 2.2e-16 | p-value < 2.2e-16   | p-value < 2.2e-16 | p-value = 1       | NON CONFORME |



**Figure 4 :** Spatialisation des teneurs en chlore résiduel libre sur la carte de la ville de Cotonou.



**Figure 5** : Régression linéaire existante entre la CCRL et la distance de chaque point de mesure sur le réseau de distribution.

**Tableau 6** : Estimation des Coefficients de la régression linéaire.

| Estimation des Coefficients de la régression linéaire |               |
|---|---------------|
| <b>(Intercept)</b>                                    | Distance en m |
| <b>5.0695790</b>                                      | -0.0002572    |

**Tableau 7** : Paramètres statistiques associés au test-T de Student.

| Probabilité associée au Test T de Student | Intervalle de confiance |              |                     |
|---|-------------------------|--------------|---------------------|
|   | Limites inférieures     | Moyenne de x | Limites supérieures |
| <b>p-value = 1.00</b>                     | -0.9861135              | 4.485261e-17 | 0.9861135           |

**Tableau 8** : Estimation de la significativité des coefficients.

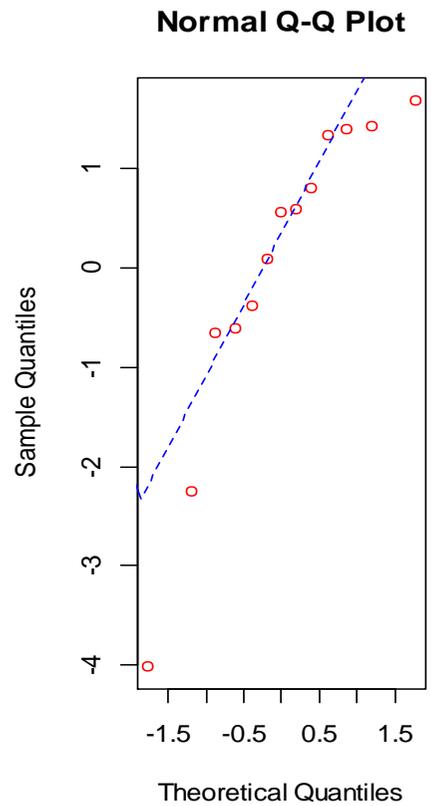
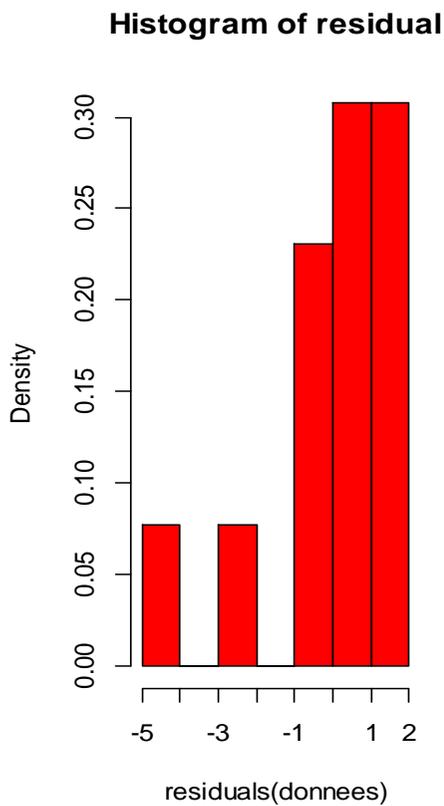
|                      | Estimation | Erreur standard | T-value | Pr(> t )     |
|----------------------|------------|-----------------|---------|--------------|
| <b>(Intercept)</b>   | 5.0695790  | 0.7916779       | 6.404   | 5.06e-05 *** |
| <b>Distance en m</b> | -0.0002572 | 0.0001130       | -2.277  | 0.0427 *     |

Codes de significativité : 0 \*\*\* ; 0.001 \*\* ; 0.01 \*.

**Tableau 9** : Estimation de la significativité globale du modèle grâce à l'analyse de la variance.

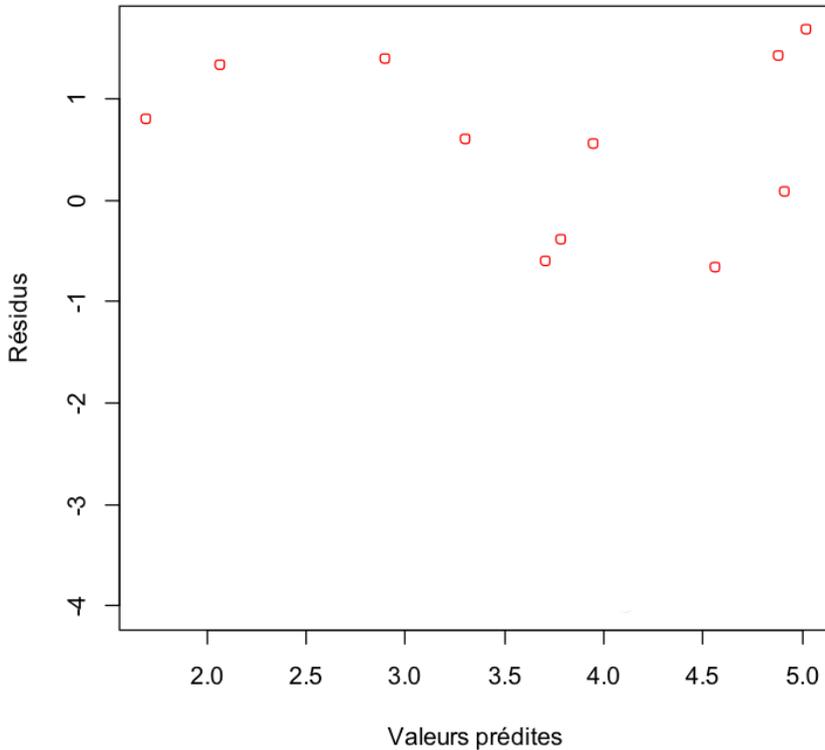
|                       | Df | Sum Sq | T Mean Sq | F value | Pr(>F)   |
|-----------------------|----|--------|-----------|---------|----------|
| <b>(Distance en m</b> | 1  | 15.056 | 15.056    | 5.1827  | 0.0438 * |
| <b>Residuals</b>      | 11 | 31.955 | 2.905     |         |          |

Codes de significativité : 0 \*\*\* ; 0.001 \*\* ; 0.01 \*.



**Figure 6** : Histogramme des résidus.

**Figure 7** : Ajustement de la distribution normale des résidus.



**Figure 8** : Résidus en fonction des valeurs prédites.

## DISCUSSION

Notre travail de recherche a permis de constater que le chlore subit dans l'eau une baisse de sa concentration au cours de son acheminement vers le robinet du consommateur. Au regard des distances qui séparent chacun des points d'échantillonnage et la station de chloration, puis chacune des observations de CCRL faites, on remarque que la distance et le temps d'acheminement de l'eau vers chacun des abonnés est un facteur qui influe la teneur en CCRL dans l'eau de consommation. Selon Nadine et al. (2018), la dégradation du chlore dans les conduites sous pression est étroitement liée à la distance parcourue. En effet, selon Guillaume (2010), la dégradation du chlore résiduel dans un réseau de distribution est liée à la présence des biofilms ou bien de tubercules de corrosion qui subissent l'action oxydante du chlore sur les parois des conduites (effet paroi) et de la matière organique naturelle (MON), des écailles de corrosion, le détachement du biofilm ou encore une possible récontamination

présente dans l'eau (effet Eau). Tous ces facteurs expliquent la diminution de la valeur du chlore libre au fur à mesure que l'eau se déplace. Ces résultats sont conformes à ceux obtenus par Mohammed Rabhi et al. (2009) au réseau qui a noté que le taux de chlore libre subit une forte réduction entre la station et l'extrémité, du fait de l'effet cumulé des réactions du chlore et du temps de séjour de l'eau. Aussi, plusieurs facteurs provenant du manque d'hygiène des récipients de stockage des eaux prises au robinet, de l'usage de récipients de stockage collectif des eaux de consommation, des conditions de stockages à l'air libre des eaux dans les récipients de stockage dans les ménages, le manque d'entretien des installations hydrauliques domestiques rendent également les abonnés vulnérables aux maladies hydriques.

## Conclusion

Ce travail de recherche, a permis de constater que le chlore subit une dégradation lors de son acheminement vers les robinets du

consommateur. Donc la baisse de la CCRL est étroitement liée à la distance séparant chaque point de mesure à la station de traitement. Cela nous a permis d'établir un modèle de type linéaire ( $Y=5,0695790-0,0002572X+\varepsilon$ ) pour la prédiction de la concentration en CCRL en fonction de la position de chaque point de mesure choisi sur le réseau de distribution des eaux de la commune. A la vue des résultats obtenus lors de la campagne d'échantillonnages, la CCRL est en majorité supérieure à la norme en vigueur en république du Bénin (0,4 mg/l à la sortie de l'usine de traitement et 0,1 mg/l au robinet du consommateur) avec une différence significative au seuil de 5%. Seules les valeurs obtenues à Fidjrossè sont conformes à la norme en vigueur avec une absence de différence significative au seuil de 5%. Les concentrations élevées en CCRL observée, favoriseraient la croissance du taux de formation des sous-produits de désinfection. Ceci aura un impact sur la santé des populations consommatrices de cette eau. Il va donc falloir revoir le procédé de chloration des eaux dans les usines de traitement pour assurer les concentrations en CCRL exigées par la réglementation en vigueur. Ceci permettra de préserver la santé des consommateurs. Il s'avère donc utile de mettre en service une station de post chloration dans la zone amont « Fidjrossè » et une autre en amont du carrefour la « Béninoise » pour pallier aux risques sanitaires liés à la consommation de cette eau.

#### CONFLITS D'INTERETS

Les auteurs déclarent qu'ils n'ont aucun intérêt concurrent pour la publication de cet article.

#### CONTRIBUTIONS DES AUTEURS

SC: a assuré la collecte des données de terrain, leurs traitements, leurs analyses et la rédaction de l'article.

NY : a permis de définir les points de prise des échantillons ainsi que de proposer la méthode de collecte et d'analyse des échantillons. Il nous a été d'un grand soutien technique et soutien financier pour la conduite des travaux jusqu'à la rédaction de l'article.

AB : Encadrement technique et soutien financier pour la conduite des travaux et la publication de l'article. Il a également contribué à la réalisation de la carte de spatialisation des teneurs en CCRL sur la carte de la ville de Cotonou et nous à proposer une démarche statistique pour la validation du modèle linéaire obtenu et la comparaison des valeurs de CCRL à la norme requise. Il a également Contribué à la relecture de ce document pour l'amélioration de sa qualité scientifique jusqu'à sa phase de publication.

DM: Il a assuré la formation du staff en charge de la collecte des échantillons, ainsi que la fourniture de l'équipement utile pour la bonne conduite des analyses par le biais du Laboratoire d'Hydrologie Appliquée. Il a également contribué à la relecture de ce document jusqu'à sa phase de publication.

#### REMERCIEMENTS

Nos remerciements vont à l'endroit des Dr Nicaise Yalo et Bernard Ahamidé et du professeur Daouda Mama pour avoir accepté consacré une partie de leur précieux temps pour la conception de cette œuvre. Aussi nous tenons à remercier le laboratoire d'Hydrologie Appliquée pour avoir fourni l'équipement nécessaire pour la bonne tenue des analyses d'échantillons prélevés. Nous remercions enfin, le Laboratoire de Biomathématiques et d'estimation Forestières pour nous avoir appuyés dans la conduite de nos analyses statistiques.

#### REFERENCES

- Cantor KP, Lynch CF, Hildesheim ME, Dosemeci M, Lubien J, Alavanja J, Craun G. 1998. Drinking water source and chlorination by-products 1. Risk of bladder cancer. *Journal of Toxicology and Environmental Health*, **9**(1): 21-28.
- Juery C. 2012. Définitions des caractéristiques techniques de fonctionnement et domaines d'emploi des appareils de désinfection, document technique du Fonds National pour le Développement des Adductions d'Eau N° 2 (FNDAE 02), Ministère de l'Agriculture, de

- l'Alimentation, de la Pêche et des Affaires Rurales, 58P.
- Fanny G. 2002. Biofilms et qualité biologique de l'eau potable au cours de sa distribution. Mémoire de DESS, Université de Picardie, Amiens, 69 p.
- Gauthier V, Rosin C, Mathieu L, Portal JM, Block JC, Chaix P, Gatel D. 1996. Characterization of the loose deposits in drinking water distribution systems. In Proceedings of the AWWA Water Quality Technology Conference American Water Works Association, Boston- Mass.
- Guergazi S, Achour S. 2011. Effet de la désinfection par le chlore sur la pollution des eaux de surface de la région de Biskra. *Larhyss Journal*, **09** : 131-138.
- Mohamed R. 2009. Évaluation de la distribution spatio - temporelle des procureurs des sous - produits de la désinfection (SPD) dans un système d'adduction d'eau potable (Cas du Grand Tunis). *Microbiol. Hyg. Alim.*, **21**(62) : 23-27.
- Uwizeyimana N, Konate Y, Onea JD, Sawadogo B. 2018. Étude de la variabilité spatio - temporelle du chlore libre et du ph de l'eau traitée de la station de Ziga et du réseau d'adduction d'eau potable de la ville de Ouagadougou. Mémoire de Master, 2IE Ouagadougou, 54 P.
- Islam N, Sadiq R, Rodriguez MJ, Legay C. 2016. Évaluation de la qualité de l'eau dans les réseaux de distribution par lentille des règles de sous-produit de désinfection. *Water SA*, **42** (2) : 1816-7950. DOI : <http://dx.doi.org/10.4314/wsa.v42i2.17>.
- Powell JC, Hallam NB, West JR, Forster CF, J Simms. 2000. Factors which control bulk chlorine decay rates. *Water Research*, **34** (1): 117-126.
- Rodier J. 1996. *L'analyse de l'Eau* (9<sup>ème</sup> éd.). Dunod : Paris.
- République du Bénin/Présidence de la République, 2001 : Décret n°2001-094 du 20 février 2001 fixant les normes de qualité de l'eau potable en République du Bénin. République du Bénin Cotonou, 6p.
- Rodriguez MJ, Serodes JB. 2003. Predicting trihalomethane formation in chlorinated water using multivariate regression and neural networks. *Journal of Water Supply Research and Technology-Aqua*, **52**(3): 199-215.
- Santé Canada. 2006. Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada : document de consultation publique - Les acides haloacétiques. Les trihalométhanes. Santé Canada, Ottawa, ON, Canada.
- Santé Canada. 2007. Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada : document de consultation publique - Le chlore dans l'eau potable. Santé Canada, Ottawa, ON, Canada.
- Servais P, Laurent P, Randon G. 1995. Comparison of the bacterial dynamics in various French distribution systems. *Journal Water SRT-Aqua*, **44**(1): 10-17.
- Tampo L, Ayah M, Kodom T, Tchakala I, Boguido P, Bawa L, Djaneye B. 2014. Impact de la demande en chlore et de la chloration sur désinfection des eaux de puits de quartiers de Lomé. *J. Appl. Biosci.*, **75** (1) : 10p. DOI : <http://dx.doi.org/10.4314/jab.v75i1.12>