# Dérèglements climatiques et ville de Cotonou : quelles perspectives avec les mesures publiques d'adaptation ?

**MAKPONSE Makpondéou**
Enseignant-Chercheur
Maître de Conférences
Université d'Abomey-Calavi (Bénin)
Département de Géographie et Aménagement du Territoire
Laboratoire de Biogéographie et d'Expertise Environnementale (LABEE)
makpons18@yahoo.fr

**Résumé :** Des phénomènes météorologiques extrêmes à Cotonou sont à l'origine de la destruction des infrastructures sociocommunautaires, de vulnérabilité, de lourds investissements. Les pouvoirs publics développent des stratégies d'adaptation. Cette étude vise à analyser les contraintes des mesures préconisées, leur efficacité résiliente et durabilité. Quelles sont les perspectives de ces stratégies publiques ? Des données climatiques et socioéconomiques ont été collectées grâce à une recherche documentaire, des enquêtes par questionnaire, observations, entretiens avec 145 personnes, un échantillon représentatif constitué grâce au protocole de Schwartz et au choix raisonné. Des infrastructures et mesures publiques résilientes ont été mises en œuvre : aménagement de 34 bassins-versants, de collecteurs et caniveaux, 49 km de rues pavées, acquisition des équipements de gestion des déchets. Pour 51,8% des personnes interrogées, l'exécution des projets a réduit l'ampleur des dégâts. Les caractères imprévisibles des risques climatiques sont des facteurs limitants de l'efficacité des mesures. L'éthique climatique est la solution.

**Mots clés :** Cotonou - Risques climatiques – Résilience – Durabilité - Pouvoirs publics

## Climate disorders and the city of Cotonou: what prospects with public adaptation measures?

**Abstract:** Extreme weather phenomena in Cotonou are the cause of the destruction of socio-community infrastructure, vulnerability and heavy investments. Public authorities are developing adaptation strategies. This study aims to analyze the constraints of the recommended measures, their resilient effectiveness and sustainability. What are the prospects for these public strategies? Climatic and socioeconomic data were collected through documentary research, questionnaire surveys, observations, interviews with 145 people, a representative sample constituted using the Schwartz protocol and reasoned choice. Resilient public infrastructure and measures have been implemented: development of 34 watersheds, collectors and gutters, 49 km of paved streets, acquisition of waste management equipment. For 51.8% of those questioned, the execution of the projects reduced the extent of the damage. The unpredictability of climate risks are limiting factors in the effectiveness of measures. Climate ethics is the solution.

**Keywords**: Cotonou - Climate risks - Resilience - Sustainability - Public authorities

## Introduction

La ville de Cotonou est au cœur des échanges de marchandises entre l'est, le Nigéria et l'ouest, le Togo, mais aussi entre les pays d'Europe et d'Asie et ceux de l'hinterland (Niger, Burkina-Faso, Mali) » (Gouvernement du Bénin, 2020, p.1). Elle est en croissance rapide et forme une conurbation, le « Grand Nokoué » avec les villes de Porto-Novo, de Sèmè Podji à l'est, de Ouidah à l'ouest et Abomey-Calavi au nord. Une ville est une concentration, sur une portion d'espace réduit, de population, d'activités, de bâtiments et d'infrastructures (A.-L. Humain-Lamoure et A. Laporte, 2022, p. 12). Trois grands facteurs conditionnent l'urbanisation : l'industrialisation, les politiques publiques, les croissances économique et démographique.

La concentration humaine est à l'origine de plusieurs risques relatifs à la promiscuité et à la pollution de l'environnement due à la production de déchets par les activités socioéconomiques. Cette pollution présente des risques d'origine climatique, sanitaire ou environnementale. La notion de risque est toujours associée aux notions de probabilité, dommages, événements indésirables et/ou redoutés, gravité. Le risque est la « situation non souhaitée ayant des conséquences négatives résultant de la survenue d'un ou plusieurs événements dont l'occurrence est incertaine » (A. Coulomb, 2004, p. 8). Le risque environnemental désigne un facteur de l'environnement qui, dans des conditions déterminées, représente la possibilité d'un danger pour la santé (G-N. Fischer et V. Dodeler, 2009, p. 37). Ville côtière, Cotonou n'est pas épargnée par les affres des aléas climatiques.

Il existe deux catégories de risques climatiques : les risques physique**s** et les risques de transition. Les risques physiques sont ceux de non-adaptation aux effets physiques du dérèglement climatique, qu'ils soient chroniques ou extrêmes (TCFD, 2015, p.1). L'utilisation de combustibles fossiles, la déforestation et l'élevage de bétail libèrent d'énormes quantités de gaz à effet de serre, qui viennent s'ajouter à celles naturellement présentes dans l'atmosphère, renforçant ainsi l'effet de serre et le réchauffement de la planète » (N. Gorbatko, 2023, p.3). A partir de ces constats, il importe de savoir si les activités urbaines sont productrices des gaz à effet de serre. « Les villes consomment des ressources essentielles telles que l'énergie et l'eau. Elles servent aussi de pôles pour les transports clés, émettant des quantités considérables de carbone par le biais de vastes réseaux routiers, de systèmes de transports en commun et d'aéroports. Au niveau mondial, les zones urbaines sont responsables d'environ 60% des émissions de gaz à effet de serre » (F. Le Nechet, 2011, p. 12). Les activités économiques pratiquées à Cotonou tournent autour de quelques industries manufacturières, le transport, le tourisme, la pêche, l'élevage, le maraîchage, l'artisanat et le commerce. Selon l'Institut National de la Statistique et de la Démographie (INStaD, 2016, p.14), les branches d'activités les plus dominantes dans la ville de Cotonou sont : "commerce, restauration et hébergement" (40,5%), les "autres services" (24,7%) et les "industries manufacturières" (14,6%) qui sont des sources d'émission de gaz à effet de serre. La population de Cotonou a été en grande partie mise en place sans outils de planification. Ainsi, les composantes de l'environnement urbain sont devenues des sources de nuisances : occupation anarchique du sol, des habitations massives avec un fort albédo et une hausse de température, des inondations récurrentes, la pollution, la prolifération des maladies d'origine hydrique et thermique, l'absence d'une Education Relative à l'Environnement et d'une éthique individuelle climatique. Les limites maritimes de Cotonou sont soumises à une érosion sans précédent avec une destruction massive des infrastructures et des quartiers entiers.

Ces nuisances sont à l'origine des migrations des populations touchées. Malgré les lourds investissements consentis par les pouvoirs publics sous formes de prêts, de dons et de prélèvements sur le budget national, les résultats sont mitigés. Face au caractère aléatoire de l'ampleur, de la variabilité des risques climatiques et des coûts élevés des infrastructures et mesures de résilience, la préoccupation principale de cette étude est de s'interroger sur les perspectives des stratégies et actions publiques de lutte contre les risques climatiques. Ce travail vise à analyser les contraintes des mesures préconisées, leur efficacité résiliente et durabilité. Pour analyser les perspectives des relations entre les dérèglements climatiques, la ville de Cotonou et les mesures publiques de résilience, il importe d'apprécier les interactions entre les dérèglements climatiques et les composantes naturelles et humaines de la ville de Cotonou, les manifestations et les conséquences de ces phénomènes, les forces, faiblesses, opportunités et menaces des aménagements et les mesures de lutte contre le réchauffement climatique. Avec une meilleure connaissance des portées des variabilités climatiques, les crises climatiques qui surviennent à Cotonou seront jugulées.

## 1. Matériel et méthodes

### 1.1. Matériel et outils de collecte des données

Les données collectées dans le cadre de cette étude sont des statistiques climatiques, démographiques et socioéconomiques. Les données climatiques sont relatives aux moyennes annuelles des hauteurs pluviométriques de Cotonou afin d'analyser les variabilités du régime pluviométrique. Elles sont collectées à Météo-Bénin. Les statistiques démographiques sont utilisées pour apprécier les pressions sur les ressources naturelles et avoir les perceptions des personnes interrogées sur les relations dérèglements climatiques, ville de Cotonou et mesures publiques de résilience. Celles socioéconomiques ont servi à appréhender le niveau de vie des populations et leur capacité à s'adapter aux risques climatiques. Les données démographiques et socioéconomiques ont été obtenues à l'INStaD.

Un GPS (Global Positioning System) a été utilisé pour déterminer les coordonnées géographiques des éléments utiles à l'aboutissement de cette étude. Un appareil photographique numérique a servi à prendre les images des objets intéressants pour des illustrations. Un smartphone a été utilisé pour une restitution fidèle des informations collectées auprès des groupes cibles.

Les principaux outils de collecte de données utilisés sont un questionnaire adressé aux chefs de ménages, un guide d'entretien pour coordonner les entretiens avec les personnes ressources et une grille d'observation pour collecter des informations en situation réelle.

### 1.2. Présentation des données et des méthodes de collecte

Plusieurs techniques de collecte des données ont été utilisées. La recherche documentaire a permis de collecter des informations disponibles sur le sujet d'étude à travers des références bibliographiques consultées. Cette phase de pré-enquête s'est déroulée sur la période de 15 mai au 12 juin 2024. Elle a révélé que la ville de Cotonou est située entre les parallèles 6°20 et 6°24 de latitude nord et entre les méridiens 2°20 et 2°29 de longitude est (figure 1).

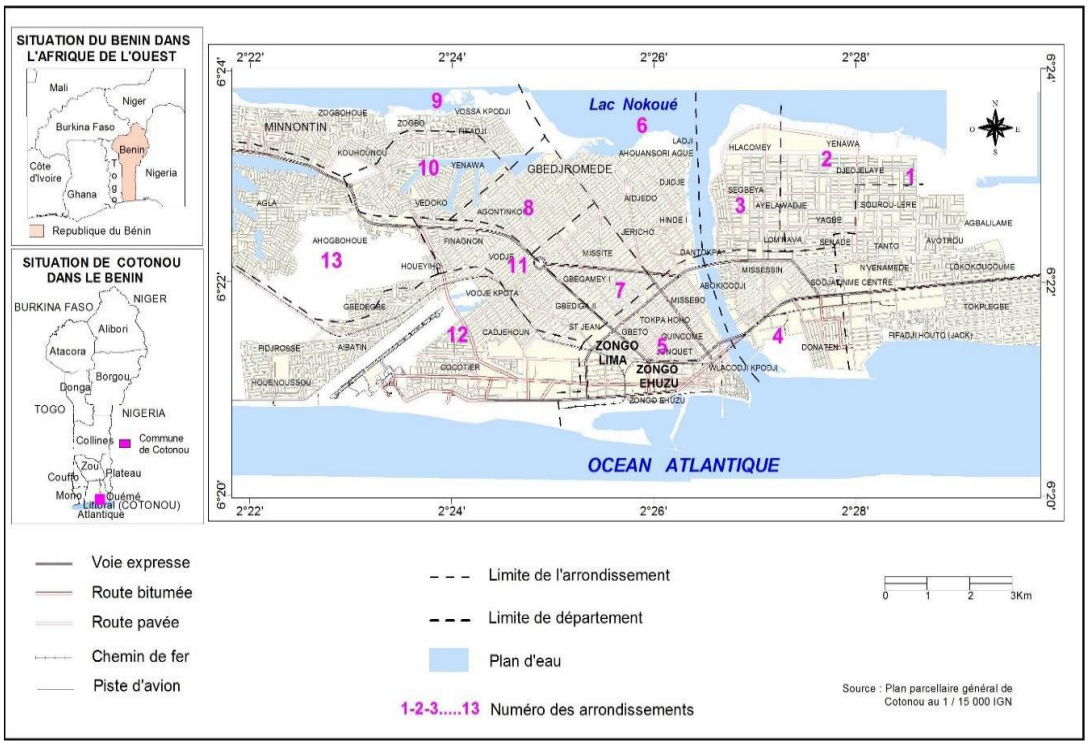



**Figure 1** : Situation géographique de la ville de Cotonou

La figure 1 présente la situation géographique et administrative de la ville de Cotonou qui est subdivisée en 13 arrondissements. Elle est limitée au sud par l'océan Atlantique, au nord par le lac Nokoué et la commune de Sô-Ava, à l'ouest par la commune d'Abomey-Calavi et à l'est par la commune de Sèmè-Podji (L. Akomagni et E. Guidigbi, 2006, p.3). Cotonou s'étend sur la plaine littorale parsemée de lagunes en voie de comblement et d'une altitude qui ne dépasse pas 10 m (L. Odoulami et M. Boko, 2010, p. 43).

Le climat est de type subéquatorial à quatre saisons dont deux pluvieuses et deux sèches. La pluviométrie et la température annuelles moyennes sont respectivement de 1310 mm et de 30,8°C (Météo-Bénin, 2024).

Il existe des sols ocre-jaunes à hydromorphie temporaire de profondeur, gris ou ocres à hydromorphie temporaire de surface, de marais quelquefois salés, à l'est des sols hydromorphes lessivés, chimiquement pauvres et blancs à tendance podzolique et au sud des sols ferrugineux tropicaux lessivés (C. C. Kpokpoya, 2007, p. 1). Il est observé une disparition de la quasi-totalité des sols naturels au profit des « sols anthropiques » (J.-L. Morel *et al*, 2005, p. 4). Les sols sont des réservoirs de carbone et des supports d'espèces végétales.

La mangrove est observée surtout dans les zones saumâtres où sont distingués par endroits le palétuvier rouge (*Rhizophora racemosa*), le palétuvier blanc (*Avicennia africana*), la fougère des mangroves (*Acritichum aureum*) (MCVDD, 2020, p. 57). Des espèces d'alignement, d'ombrage, d'ornement et des fruitiers comme *Ficus sp*., *Cassia auriculiformis, Casuarina equiseti, Azadiracta indica, Tectona grandis, Terminalia catappa, Cocos nucifera, Elaeis guineensis, Carica papaya, Mangifera indica, Musa sinensis*, *Dolonix regia*, etc., sont présents sur les places, dans les rues et les maisons.

La faune est composée d'insectes, de mollusques, de reptiles, de poissons, d'oiseaux, de batraciens, des crocodiles et des bubales (CEIE, 2001, p. 10). La dégradation des sols et la décomposition des espèces végétales et animales font libérer du carbone qui perturbe le climat. Les ressources naturelles de la ville de Cotonou sont exploitées par une population cosmopolite en croissance exponentielle (figure 2).

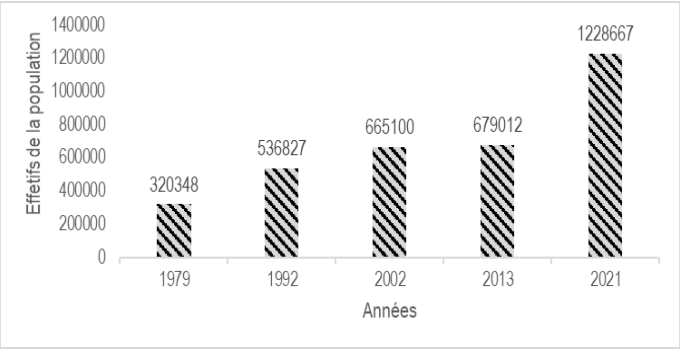



**Figure 2** : Evolution de la population de la ville de Cotonou

La figure 2 montre la croissance de la population de Cotonou de 1979 à 2021. Les taux de croissance sont respectivement de 67,57%, 23,89%, 2,09% et 80,95%.

Cette population produit d'importantes quantités de déchets qui émettent du carbone.

Un échantillon représentatif a été constitué grâce à la formule de Schwartz et le choix raisonné. Pour obtenir les effectifs extrapolés des populations des arrondissements par rapport aux statistiques de 2013, la formule $Pn = P_0 \times (1+\alpha)^n$ a été utilisée, avec $P_n$ = Population recherchée à l'année 2023, $P_0$ = Population à l'année initiale (2013) ; n = Nombre d'années à l'horizon du projet soit 2023- 2013= 10 années ; α = taux de croissance de la population (3,50 %). Selon les statistiques de l'INStaD (2013), chacun des treize (13) arrondissements a un effectif de population. C'est le cas du premier arrondissement qui comptait en 2013, 57962 habitants. En appliquant la formule $Pn = P_0 \times (1+\alpha)^n$ à cet arrondissement, sa population en fin 2023 est $P_1 = 57962\ (1+0{,}035)^{10} = 81726$ habitants. C'est de cette manière que les effectifs des populations de chacun des douze autres arrondissements en fin 2023 ont été calculés (tableau 1). Le nombre de personnes interrogées dans les arrondissements est calculé via la formule de Schwartz (1995), $N = T^2PQ/e^2$ avec N= taille de l'échantillon total, $N_{1\text{-}13}$= taille des échantillons par arrondissement ; $T^2$= écart fixé à 1,96 correspondant à un degré de confiance de 95 % ; P= Effectif par arrondissement/nombre d'habitants de la population-mère ; Q=1-P ; e= marge d'erreur (5 %). Le nombre de personnes à interroger dans le premier arrondissement est $N_1$= 1,96 x 1,96 (81726 : 958814) (1-0,09) / $(0{,}05)^2$ = 126. C'est de cette manière que les effectifs des personnes à interroger ($N_{2\text{-}13}$) des autres arrondissements ont été calculés (tableau 1). Les effectifs des personnes interrogées par arrondissement ($n_{1\text{-}13}$) sont déduits d'une réduction de 10% des effectifs des personnes à interroger (tableau 1).

**Tableau I :** Répartition des membres de l'échantillon déterminés par la formule de Schwartz (1995) et par choix raisonné

| Arrondissements | Effectif de la population par arrondissement | Nombre de personnes à interroger ($N_{1-10}$) | Nombre de personnes interrogées ($n_{1-10}$) | Pourcentage de personnes interrogées | Nombre de fois du quota de base | Nombre de personnes interrogées par raison | Pourcentage de personnes interrogées par raison |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1er | 81726 | 126 | 13 | 9% | 2,6 | 3 | 11% |
| 2e | 86952 | 126 | 13 | 9% | 2,6 | 3 | 11% |
| 3e | 98687 | 138 | 14 | 10% | 2,8 | 3 | 11% |
| 4e | 51263 | 73 | 7 | 5¨% | 1,4 | 1 | 4% |
| 5e | 28255 | 45 | 5 | 4% | 1 | 1 | 4% |
| 6e | 107634 | 150 | 15 | 11% | 3 | 3 | 11% |
| 7e | 38824 | 59 | 6 | 4% | 1,2 | 1 | 4% |
| 8e | 45712 | 73 | 7 | 5% | 1,4 | 1 | 4% |
| 9e | 81344 | 113 | 11 | 8% | 2,2 | 1 | 4% |
| 10e | 54606 | 87 | 9 | 6% | 1,8 | 2 | 7,5% |
| 11e | 49179 | 73 | 7 | 5% | 1,4 | 1 | 4% |
| 12e | 138067 | 185 | 19 | 14% | 3,8 | 4 | 15,5% |
| 13e | 96565 | 138 | 14 | 10% | 2,8 | 3 | 11% |
| Total | 958814 | 1386 | 140 | 100% | | 27 | 100 |

***Source** : Travaux de terrain, mars 2024*

Selon le protocole de Schwartz (1995), 1386 personnes sont à interroger (tableau 1). Dans l'impossibilité d'interroger chacun, une réduction de 10% a été réalisée au niveau de chaque arrondissement. Avec cette réduction 140 personnes sont retenues. Le choix raisonné a été réalisé sur quota dont la base est le sous-échantillon le plus faible qui est égale à 5 correspondants à l'effectif de personnes interrogées dans le 5 e arrondissement. Les rapports des sous-échantillons par rapport à cette base sont déterminés (tableau 1). Les proportions ont permis de déterminer le nombre de personnes à choisir par raison et par arrondissement. Par le choix raisonné, 27 personnes (tableau 1) ont été ajoutées à l'effectif déterminé par le protocole de Schwartz. Les critères retenus sont : avoir vécu à Cotonou au moins pendant 30 ans, exercer des activités productrices de gaz à effet de serre, être chef de ménage, leader d'opinion, sage, spécialiste des questions climatiques, d'aménagement, d'environnement, de développement, avoir au moins 40 ans. Par le protocole de Schwartz, 140 personnes sont réellement interrogées et 27 autres retenues par choix raisonné. Au total 167 personnes sont interrogées dans le cadre de cette étude. L'échantillon a été soumis à un questionnaire, à un guide d'entretien. Une grille d'observation a servi à collecter des données en situation réelle. Les données collectées ont été traitées et les résultats obtenus analysés.

### 1.3. Traitement des données et analyse des résultats

Les données obtenues à partir de la série de questionnaires ont été codifiées, dépouillées puis soumises à une analyse statistique descriptive grâce au logiciel SPSS10.1. Les tableurs Excel et Word 2016 ont servi respectivement à la présentation des résultats sous forme de tableaux, de graphiques et au traitement des textes. Avec le logiciel Arcview 3.2 des cartes ont été réalisées. La quantité de carbone libérée dans l'atmosphère par les foyers ouverts a été estimée grâce à l'égalité : 1 $m^3$ de bois exploité = 1 tonne de $CO_2$ = 0, 27 tonnes de carbone.
Des analyses ont été faites sur une série de 68 ans (1950 – 2017) pour appréhender les variations interannuelles des précipitations. Pour déterminer les années sèches, excédentaires, normales et déficitaires l'Indice Standardisé de Précipitation (ISP) a été déterminé à partir de la formule

suivante : $SPI=Pi-Pm\sigma P$, Où : Pi = précipitation totale de l'année i (mm) ; Pm = précipitation moyenne historique d'une période (mm) et σP = écart-type historique des précipitations de la période. Le tableau II présente la classification des saisons en fonction des valeurs du SPI.

**Tableau II : Types de saison en fonction de la valeur du SPI Classe du SPI**

| ISP | Classes des saisons |
|---|---|
| SPI > 2 | Humidité extreme |
| 1< SPI < 2 | Humidité forte |
| 0< SPI < 1 | Humidité modérée |
| -1< SPI < 0 | Sécheresse modérée |
| -2< SPI < -1 | Sécheresse forte |
| SPI < -2 | Sécheresse extreme |

**Source** : McKee et *al*. (1993)

Le tableau II montre les différents Indices Standardisés de Précipitation (ISP) et les classes de saison correspondantes. Il met également en relief les niveaux d'humidité et de sécheresse de saison.

L'estimation des gaz à effet de serre produits par des activités économiques a permis d'utiliser des normes scientifiques : 1 kg de viande de bœuf émet 60 kg de $CO_2$-eq ; 1kg de viande de ovin / caprin produit 20 kg de $CO_2$-eq. Selon M. Saizonou (2010, p. 83), en moyenne, l'abattage d'un bœuf produit 34 kg de déchets solides tandis que celui d'un ovin ou caprin produit 6,15 kg. La quantité totale de déchets solides produits quotidiennement à l'abattoir de Cotonou est égale à 1,22 tonnes dont les crottes représentent 82,3%, suivies des cornes (14,5%), des onglons qui font 2,1% et des saisies 1,74%.

Les résultats obtenus des traitements des données ont été analysés. La ville de Cotonou est considérée comme un système avec des interdépendances entre les différentes composantes. Un modèle systémique basé sur FFOM (Forces, Faiblesses, Opportunités et Menaces) et PEIR (Pressions, Etats, Impacts et Réponses) a été retenu pour analyser les résultats.

## 2. Résultats

### 2.1. Contribution de la ville de Cotonou aux dérèglements climatiques

Dans la ville de Cotonou, les activités agricoles sont dominées par la production maraîchère avec un système très intensif. Pour 66,41% des producteurs interrogés, pour se faire assez de revenus, les taux d'usage des intrants sont dépassés avec des risques de pollution. Pour l'engrais chimique, il est recommandé 150 kg/ha au lieu de 200 kg / ha, 50 kg/ha d'urée au lieu 95 kg / ha utilisés par les maraîchers. Des pesticides et engrais chimiques sont achetés sur les marchés de la contrebande.

Il est observé par endroits les cultures du maïs, du manioc, etc. Les débris végétaux et les fruits abandonnés sur place se décomposent et libèrent du carbone. De grandes quantités de denrées alimentaires (d'animaux, de tubercules, de céréales, de légumineuses, de fruits, de légumes, d'huiles d'origine végétale, de feuilles, d'écorces, de racines pour des buts alimentaires et médicinaux) provenant des milieux ruraux du Bénin sont transportées à Cotonou. Les avaries pourrissent à l'air libre et libèrent des gaz à effet de serre.

Cotonou abrite le marché Dantokpa d'envergure régionale et 35 marchés secondaires. Le marché Dantokpa est un espace de gros vivrier, de stockage, d'approvisionnement et de distribution de produits alimentaires, de vente de moutons, de produits manufacturés et divers. Situé au bord de la lagune et du chenal de Cotonou, il bénéficie des transports terrestre, lagunaire voire maritime.

Des inondations favorisent la pollution notamment esthétique par des objets non biodégradables. L'humidité permanente facilite la décomposition des avaries de denrées alimentaires et autres objets biodégradables. Chacun de ces corps a un pouvoir d'émission de gaz à effet de serre qui contribuent au réchauffement climatique.
Des charcuteries et un abattoir existent pour satisfaire les besoins en protides des populations. La viande est une denrée alimentaire très périssable et émettrice de carbone. Les bovins et les petits ruminants sont les principaux pourvoyeurs de la viande rouge. L'abattoir connaît un approvisionnement en dents de scies (tableau III).

**Tableau** III : Statistiques de bovins et de petits ruminants exploités à l'abattoir de Cotonou

| Années / Types d'animaux | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 |
|---|---|---|---|---|---|
| Bovins | 13700 | 15679 | 15068 | 15633 | 15666 |
| Ovins / Caprins | 54174 | 101629 | 77850 | 81908 | 81030 |

**Source** : Abattoir de Cotonou, 2015

Le tableau III montre l'évolution des statistiques relatives aux nombres de bovins, d'ovins / caprins abattus de 2011 à 2015.

Si l'abattage d'un bœuf produit 34 kg de déchets solides tandis que celui d'un ovin ou caprin produit 6,15 kg, en 2015 l'abattoir de Cotonou a produit par exemples 34 kg x 15666 = 532644 kg de déchets solides de bovins (60 kg de $CO_2$-eq x 532644= 31958640 kg de $CO_2$-eq = 31958,640 t x 0,27= 8628,8328 t de carbone) et 6,51 kg x 81030 = 527505,3 kg de déchets solides d'ovins / caprins (20 kg de $CO_2$-eq x 527505,3= 10550106 kg de $CO_2$-eq =10550,106 t x 0,27= 2848,52862 t de carbone), soit au total 1060149,3 kg de déchets solides d'origine animale, 42508746 kg de $CO_2$-eq et 11477,36142 t de carbone.

A cela s'ajoutent les déchets produits par les poissonneries et les petits abattoirs. La gestion de ces déchets est peu respectueuse de l'environnement. Ils sont jetés dans la nature et libèrent du carbone.

A Cotonou l'élevage est à dominance domestique. Dans les zones marécageuses comme les quartiers Aladji et Vossa, il est observé l'élevage des bovins, ovins, porcins et caprins qui par moments divaguent à travers la ville en laissant des bouses sur leurs passages. Sous l'effet de la chaleur, ces dernières se fermentent, s'éclatent et libèrent du carbone, du dioxyde de carbone et du méthane, etc.

L'essence importée frauduleusement du Nigéria est vendue à l'air libre dans les quartiers et aux abords des grandes artères et rues avec des risques de libération de plomb, d'oxyde d'azote, de monoxyde de carbone, de formaldéhyde, d'acétaldéhyde, de benzène, d'hydrocarbures aromatiques polycycliques et nitrés, de dioxyde de carbone, de méthane. Plusieurs incendies sont enregistrés au niveau des stocks avec le dégagement de grandes fumées.

Cotonou bénéficie de plusieurs types d'énergies renouvelables : électrique, hydraulique, éolienne, solaire et biomasse. Le bois de chauffe et le charbon de bois sont les combustibles les plus utilisés par les ménages. Les enquêtes de cette étude ont révélé que 74,1% des ménages utilisent ces ressources énergétiques. En moyenne 1,2 kg/jour de bois sont consumés par ménage. Pour un

mois de 30 jours, chaque ménage utilise en moyenne 36 kg de bois et ou de charbon pour satisfaire ses besoins de chauffage. Si 1 $m^3$ de bois exploité = 1 tonne de $CO_2$ = 0,27 tonne de carbone, les 36 kg de matières ligneuses consumées vont libérer 0,036 tonne de $CO_2$ / jour et 0,00972 tonne de carbone/ jour. Pour une année de 365 jours, 35,478 tonnes de carbone sont relativement produites en moyenne par ménage. En 2023, Cotonou comptait 421264 ménages. La production moyenne annuelle de carbone par ces ménages en fin 2023 est estimée à 35,478 tonnes de carbone x 421264 = 14945604,192 tonnes. Cette quantité est complétée par les émissions produites par l'usage d'énergie gazéifiée.

Les enquêtes réalisées dans le cadre de cette étude ont révélé que sur 100 ménages seulement 5 % utilisent le gaz pour l'énergie domestique. Ces derniers sont au nombre de 21064 ménages. Chaque ménage utilise en moyenne par mois une petite bouteille de 2,75 kg et une grande de 6 kg, soit 8,75 kg / mois. Ainsi, 8,75 kg x21064 = 184310 kg de gaz sont en moyenne consumés par mois par ces ménages. Les ateliers de petite taille utilisent en moyenne chacun 25 kg de gaz butane et méthane / mois. Des entreprises de moyenne et grande taille utilisent des bouteilles de grands formats (38 kg) de propane. Les enquêtes de cette étude ont révélé que Cotonou compte en date du 30 août 2024, 83 restaurants respectant des normes adéquates. Chacun d'eux utilisent en moyenne par mois 3 bouteilles de 38 kg de gaz, soit 114 kg. Les quatre-vingt-trois restaurants consument mensuellement en moyenne 9462 kg de gaz. Il existe 32 grandes entreprises de soudure qui utilisent chacune en moyenne par mois 10 bouteilles de 38 kg chacune. Tous les mois ces entreprises brûlent en moyenne 380 kg x 32= 12160 kg de gaz, soit 145920 kg/an.

Les enquêtes de cette recherche ont révélé que chacun des 421264 ménages disposent, en moyenne, d'une moto à deux temps et d'une autre à quatre temps. Les engins à deux temps utilisent normalement 0,75 litre d'huile à moteur et ceux à quatre temps 1 litre pour leur fonctionnement. Par vidange recommandées après 500 km parcourus, une certaine quantité d'huile à moteur est déversée dans la nature (tableau IV).

**Tableau IV** : Quantité d'huile à moteur déversée dans la nature à Cotonou après chaque opération de vidange des moteurs à deux et à quatre temps par les ménages

| **Effectifs des types de motos** | **Quantité d'huile de vidange** |
|---|---|
| Motos à deux temps (421264) | 0,75litre x 421264 = 315948 litres |
| Motos à quatre temps (421264) | 1litre x 421264 = 421264 litres |
| Total | 737212 litres |

**Source** : Travaux de terrain, mars 2024

Le tableau IV montre que pour la maintenance des motos des ménages 737212 litres d'huile sont momentanément vidangés.

A Cotonou, 95,1% des véhicules à 4 roues en circulation ont plus de dix ans (DTT, 2019, p. 13) et dégagent de grandes quantités de fumées vectrices de carbone. Des véhicules de seconde main importés notamment d'Europe sont entreposés dans des parcs au port de Cotonou (photo 1)

**Photo 1** : Parc de vente de voitures sis au Port Autonome de Cotonou

**Source :** Journal La Croix Hebdo, AFP, 21/09/2022 à 08 :37

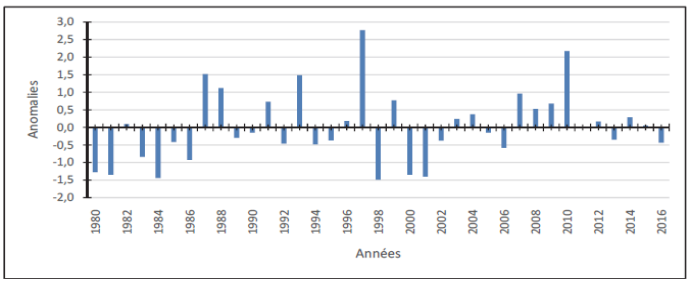
La photo 1 présente une variété de voitures communément appelées « venues de France ». Elles se trouvent dans un parc de vente.

La vidange de ces véhicules est effectuée différemment sur un véhicule à essence que sur un diesel. Selon les normes du constructeur, pour un véhicule essence, il faut environ 4,5 à 5 litres d'huile pour le fonctionnement des véhicules à 4 roues. Dans Cotonou 80730 automobiles sont en circulation (DTT, 2019, p. 13), A chaque vidange entre 363285 et 403650 litres d'huile à moteur sont déversés dans la nature. Les enquêtes de cette étude ont révélé que la quantité de déchets solides produits est en moyenne 0,81 kg/habitant/jour. La population de Cotonou étant estimée à 958814 habitants en fin 2023, la quantité présumée de déchets produites est 0,81 kg x 958814 = 776639,34 kg/jour. Ils sont des sources de dioxyde de carbone, méthane, protoxyde d'azote, l'ozone et de la vapeur d'eau stratosphérique. Dans le secteur d'étude, les actions des « faiseurs et empêcheurs de pluies » et les émissions de gaz à effets de serre participent aux dérèglements climatiques à manifestations multiples et variées.

### 2.2. Manifestations et conséquences des dérèglements climatiques dans la ville de Cotonou

Pour identifier les années sèches et humides, l'Indice Standardisé de Précipitation (SPI) de la station synoptique de Cotonou a été calculé. La figure 4 présente l'évolution de cet indice sur la période allant de 1980 à 2016.

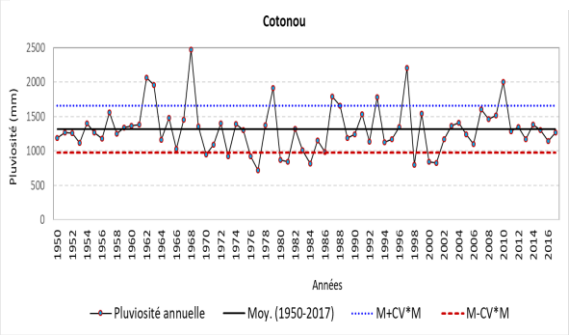
**Figure 4 :** Variabilité interannuelle de la pluviosité à Cotonou (1980-2016)




**Source :** Météo-Bénin, 2023

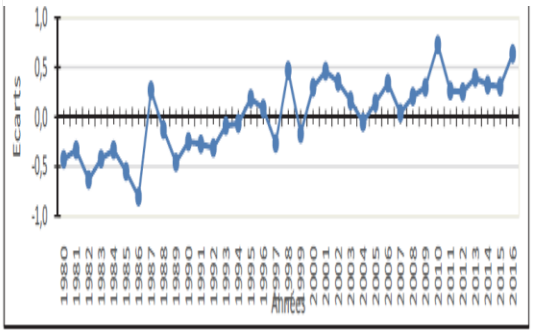
La figure 4 montre les différentes formes d'humidité et de sécheresse des années allant de 1980 à 2016. Les degrés de sécheresse et d'humidité varient d'une année à une autre suivant le SPI. Par exemples les années 1997 et 2010 ont été extrêmement humides ; 1987, 2007 sont à forte humidité, 1991 et 2014 à humidité modérée. Les années1983 et 2016 ont connu une sécheresse modérée. Aucune année n'a présenté une sécheresse forte de 1980 à 2016. Les années à humidité extrême sont au nombre de 2, d'humidité forte 4, d'humidité modérée 9, donc 15 années humides, soit 40,54% contre 59,46% d'années sèches. Il y a alors des variations interannuelles des pluies de 1950 à 2016 (figure 5) et de la température (figure 6).

**Figure 5** : Evolution interannuelle des pluies de 1950 à 2016 à Cotonou




**Source** : Météo-Bénin

**Figure 6 :** Variabilité interannuelle de la température movenne à Cotonou de 1980 à 2016




**Source** : Météo-Bénin

La figure 5 montre que la moyenne pluviométrique annuelle est 1300 mm. Elle révèle des années de pluviométries normales comme par exemples : 1951 et 2017 ; des années de pluviométrie déficitaire : 1950 et 2006 ; des années de pluviométrie excédentaire : 1968 et 2010. La température a également connu une variabilité.

La figure 6 montre la variabilité thermique de la période allant de 1980 à 2016. La température la plus faible est enregistrée en 1986 et la plus élevée en 2010. Les écarts de température à la normale des températures moyennes annuelles varient dans l'ensemble entre -0,7 et +0,7°C.

Pour 70,1% des personnes interrogées dans le cadre de cette étude, les années de forte ou extrême humidité et de sécheresse sont de plus en plus fréquentes. Dans l'ensemble, les écarts sont positifs au cours de la période 2010-2016. Une légère tendance à la hausse de la température est observée. Pour 72,2% des personnes interrogées, les phénomènes météorologiques et climatiques dominants observés au cours de la période 1980-2017 comprennent notamment, les fortes chutes de pluie, les longues séquences sèches, la chaleur excessive, les vents violents. Pendant les années à humidité forte ou extrême, la ville de Cotonou est inondée. Interrogés, 74,8% des victimes des inondations de 2010 estiment leurs pertes en des dizaines de millions de francs CFA alors que les pertes publiques sont estimées à des dizaines de milliards. Elles ont engendré des sans-abris exposés à des insécurités de diverses natures. La consultation des archives des centres de santé de Cotonou dans le cadre de cette étude a révélé que les inondations de 2010 ont été à l'origine des victimes de maladies liées à l'eau comme le paludisme (55,2%), la diarrhée (21,7%), le choléra (11,4%), la dysenterie (7,5%), la fièvre typhoïde (3,6%) et la poliomyélite (0,6%). L'érosion côte très manifeste a une avancée moyenne de 30 m sur le territoire de Cotonou.

Pour juguler les crises environnementales (l'insalubrité et inondations notamment), le Programme d'Actions du Gouvernement (PAG) a institué un Projet d'Assainissement Pluvial de la Ville de Cotonou (PAPVC). Les objectifs consistent à améliorer le cadre de vie de la population à travers un drainage optimal des eaux de pluies, construire des collecteurs et les rues adjacentes à ces derniers et des bassins de rétention aménagés dans les zones marécageuses surtout à l'ouest de la ville et à réhabiliter quelques infrastructures sociocommunautaires dans certains bassins. L'autre préoccupation est la gestion durable des déchets.

### 2.3. Forces, faiblesses, opportunités et menaces des aménagements et mesures de lutte contre le réchauffement climatique à Cotonou

Des actions et mesures de résilience contre les dérèglements climatiques sont réalisées et prises.

Pour une ville propre et durable, le gouvernement béninois a créé la Société de Gestion des Déchets et de la Salubrité du Grand Nokoué (SGDS-GN SA) en 2018. La gratuité des services a été une motivation de la population pour une participation active et effective à l'exécution du projet. Un nouveau mode de tarification entrera en vigueur, sous forme de redevance après son étude. Tous les ménages et marchés du Grand Nokoué bénéficient des services de pré-collecte. Les déchets pré-collectés sont transportés vers les points de regroupement fixes et mobiles. Ces points servent de lieux de transit. Sur des aires de regroupement aménagées, des bacs sont positionnés le long des rues bitumées, pavées et sur les places publiques. Ensuite les déchets sont transportés et déversés sur les centres de transfert, dans des conteneurs. Cotonou a un centre de transfert qui sert de site de stockage des déchets pendant quelques heures avant d'être transportés aux Centres d'Enfouissement Technique (CET) de Ouèssè et de Takon. A ce niveau, les déchets sont traités, réhabilités et mis aux normes de gestion de lexiviat et de biogaz. Le suivi et le contrôle sont assurés par la SGDS-GN. En matière de Tri et de valorisation, la SGDS-GN se dote d'une stratégie et d'un programme à moyen et à long termes.

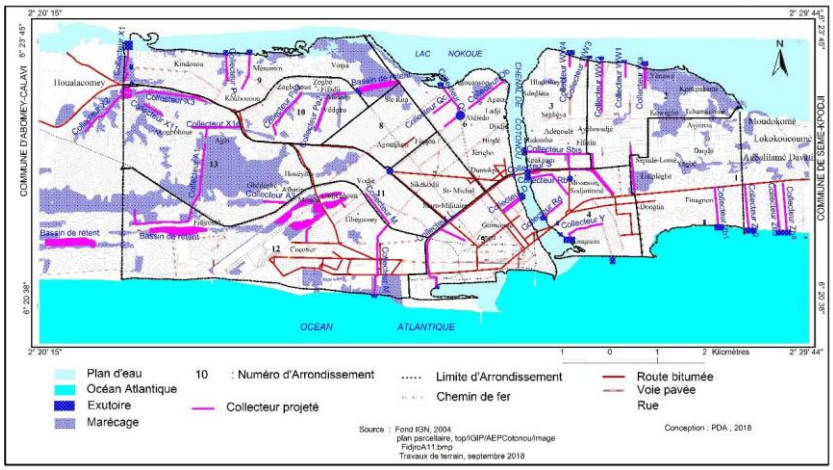
Ce projet a pour avantages la propreté des villes, de créer des emplois et d'avoir des garanties sécuritaires technologiques avec l'usage des smartphones pour la collecte des informations et l'usage de GPS par chaque moyen de transport, de réduire la pollution de l'environnement et d'améliorer le cadre de vie des populations pour le bien-être en général et sanitaire en particulier. Il contribue à la réduction des émissions de gaz à effet de serre.

Le gouvernement a pris une série de mesures en vue de réorganiser le secteur informel de la vente des produits pétroliers sur l'ensemble du territoire béninois avec la mise à disposition des vendeurs de 5000 mini-stations. Pour 75,3% des personnes interrogées, l'implantation des mini-stations a réduit les risques d'incendies, de pollution, augmenté la durée de vie des moteurs des moyens de transport exemptés du carburant de contrebande, diminué sensiblement les fréquences de pénuries d'essence.

L'Assemblée nationale a introduit en 2018 dans le code pénal, l'interdiction du commerce des produits pétroliers de contrebande sur le territoire, leur vente est illicite, constitue un danger pour les populations et une menace pour l'environnement, la sécurité et l'économie nationale. Le Bénin s'est doté de documents de Politique Nationale de l'Hygiène et de l'Assainissement, de la Stratégie Nationale de Promotion de l'Hygiène et de l'Assainissement en milieu rural et semi urbain, de la Politique Nationale de l'Eau, de la Stratégie Nationale de Gestion des Déchets et de la Politique Nationale de Prévention et de Gestion Intégrée des Catastrophes. Cotonou a été considérée

comme un système où toutes les interdépendances ont été prises en compte. C'est pourquoi, il y a eu la superposition les bassins avec le réseau hydrographique de Cotonou (figure 7).

**Figure 7 :** Superposition des bassins avec le réseau hydrographique à Cotonou




**Source** : Projet d'assainissement Pluvial de la Ville de Cotonou (PAPVC), MCVDD, 2019

La figure 7 montre les exutoires des plans d'eau, les réseaux routier et ferroviaire, l'emplacement des bassins de formes irrégulières et les collecteurs relativement rectilignes projetés. Les bassins et les collecteurs sont en communication avec les exutoires.

Le Projet de l'Assainissement pluvial de la Ville de Cotonou est exécuté dans le Complexe Est du site Ramsar 1018 constitué de la basse vallée de l'Ouémé, la lagune de Porto Novo et le lac Nokoué. L'inscription de cet écosystème comme « site Ramsar » a obéi à des critères précis notamment l'importance internationale de la zone et la présence d'oiseaux d'eau en toutes saisons. Tous ces éléments ont favorisé le financement du projet surtout par de grandes banques internationales. Ainsi, 264 milliards de francs CFA ont été mobilisés pour les opérations d'assainissement pluvial de Cotonou. Sur les 50 bassins-versants que compte cette ville, 34 sont aménagés et assainis, 7 bassins de rétention d'eau sont réfectionnés et assainis, 45 km de collecteurs primaires et grands collecteurs, 90 km de collecteurs secondaires et de caniveaux latéraux ont été construits, 49 km de rue ont été pavés. L'environnement et la mobilité urbaine ont été améliorés, des équipements pour la collecte des déchets solides ont été acquis. Plusieurs écoles primaires ont été construites et équipées, etc.

Associées au projet, les populations exigent la préservation du foncier, le juste et préalable dédommagement, la sécurité des personnes et des biens, l'accès aux habitations, la réduction des nuisances diverses, le respect du délai des travaux, le recrutement de la main d'œuvre locale.

Malgré le Plan d'Action de Réinstallation intégré dans le projet, l'exécution des travaux s'est soldée par des casses de maisons et autres infrastructures. Il en résulte des déplacements massifs forcés des habitants des quartiers de villes concernées par le projet. Les contestations ont été vite maîtrisées par les forces de sécurité et de la défense nationale. Quelques mouvements écologistes ont dénoncé la déforestation et la destruction des habitats des espèces animales comme les

varans et des rongeurs qui sont massacrés. Face à l'érosion côtière, l'implantation des épis a donné des résultats mitigés.

Une des préoccupations fondamentales est la recherche de la compensation des pertes environnementales par les résultats du projet ; donc comment concilier l'exécution du projet et la protection de l'environnement. Cette exigence a besoin de ressources financières importantes, humaines bien formées et éduquées, technologiques appropriées et intellectuelles averties. Le renforcement et la valorisation des valeurs sociales, économiques, politiques ou philosophiques pourront permettre de relever des défis et de transcender des enjeux de toutes natures.

L'utilisation de compost et des bio-pesticides est nécessaire à la promotion d'une agriculture durable à Cotonou. Une bonne gestion des ressources, une gouvernance participative, des actions respectueuses de l'Environnement et une Education Relative à l'Environnement permettront à ce projet de contribuer à un développement socioéconomique des populations. Un dialogue permanent avec les différents acteurs du développement et les pouvoirs publics est indispensable pour trouver des solutions efficaces, fiables et durables. La création des activités génératrices de revus contribuerait à la reconversion les acteurs de commercialisation de l'essence frelatée. La croyance aux capacités individuelles et collectives et le respect de la dignité humaine permettront aux populations de Cotonou de rendre leur agglomération durable. Pour y arriver, les populations ont besoin d'une veille permanente. L'imprévisibilité des risques climatiques rend leur gestion difficile. Cette lutte n'est jamais gagnée. Il revient de façon constante d'en amoindrir les effets pervers.

## 3. Discussion

Cette étude a révélé que les populations produisent à partir de leurs activités socioéconomiques des gaz à effet de serre qui contribuent au réchauffement climatique. Ces résultats corroborent ceux des travaux de recherche de C. Fournier (2019, p.3) et de R. Chartoire (2010, p. 49) qui montrent que les activités humaines produisent surtout quatre types de gaz à effet de serre : $CO_2$ (77 %), $CH_4$ (15 %), $NO_2$ (7 %) et des gaz divers (1 %) et que le $CO_2$ émis par la production d'énergie, l'industrie, les transports représente plus de 66 % des émissions de gaz à effet de serre des activités humaines. Selon ce travail, le réchauffement climatique se manifeste notamment à Cotonou par des inondations perçues comme le risque climatique le plus vieux et le plus sévèreCe résultat est conforme à ceux obtenus par des travaux de L. P. Assogba (2010, p. 12). Les principaux risques climatiques (inondations, hausse de température, irrégularité de pluies) sont considérés dans cette étude comme des sources de grandes conséquences socioéconomiques comme des migrations, la destruction des habitations, érosion côtière et des maladies. Ce résultat est similaire à ceux des travaux qui révèlent que les inondations sévères en Afrique de l'Ouest et du Centre ont touché environ quatre millions de personnes en 2024, dont beaucoup d'enfants, déplaçant au moins 500 000 personnes et détruisant plus de 300 000 habitations, provoquant des épidémies de choléra, l'augmentation des risques de maladies d'origine hydrique affectant des enfants (UNICEF, 2024). Les mesures de résilience publiques adoptees à Cotonou révélées par cette étude sont notamment des programmes d'assainissement pluvial, la lute contre la vente d'essence frelatée à l'air libre, la mauvaise gestion des déchets et l'érosion côtière. Ces résultats sont en adéquation avec ceux des travaux de WACA et de la Banque Mondiale (2020) qui montrent que des infrastructures résistantes au climat, des plans de gestion des risques de catastrophes et des solutions basées sur la nature sont necessaries' pour protéger les moyens de subsistance des populations côtières.

## Conclusion

Cette étude a révélé la contribution de la ville de Cotonou aux dérèglements climatiques, les manifestations et conséquences de ces derniers, les forces, faiblesses, opportunités et menaces des aménagements et mesures de lutte contre le réchauffement climatique. Cotonou est caractérisée par une croissance rapide, une planification défaillante, un manque de ressources financières, de compétences techniques avec une grande frange de populations pauvres et confrontée à d'importants risques environnementaux. Une éthique environnementale individuelle et collective, une Education Relative à l'Environnement, des études pluridisciplinaires, l'intégration des valeurs socioculturelles dans les politiques d'assainissement sont indispensables. Les institutions traditionnelles sont des couloirs que les pouvoirs publics peuvent utiliser pour réduire sensiblement les quantités de gaz à effet de serre produites.
La méthodologie utilisée dans cette étude pour estimer les quantités de gaz à effet de serre produites est très peu efficace. Les politiques et actions d'amélioration du cadre de vie portent à cours termes des résultats positifs. Un audit environnemental après la fin des opérations d'exécution des projets permettra de mieux apprécier leur durabilité. La dynamique programme/Exécution/Ajustement est inhérente à tout aménagement. La gestion participative, l'esprit de citoyenneté, du patriotisme et la satisfaction des besoins des générations actuelles et futures doivent être des préoccupations permanentes.

## Bibliographie

AKOMAGNI Léon et Guidigbi Emmanuel, 2006, *Monographie de la commune de Cotonou,* Afrique Conseils, Cotonou.

ASSOGBA Liliane Phillippine, 2010, « Etude de l'influence du lac Nokoué et du chenal sur les inondations dans la ville de Cotonou au Bénin », Mémoire d'ingénieur de conception en aménagement et protection de l'environnement, Université d'Abomey-Calavi, Bénin.

CHARTOIRE Renaud, 2010, « Réchauffement climatique et activités économiques », in *CAIR INFO : Sciences Humaines et Sociales*, p. 46-53.

COMMITTEE ON EDUCATION IN ENGINEERING (CEIE), 2001, « Etude d'impact environnemental du projet d'aménagement de la plage Ouest de Cotonou », Révision 1, CEIE, février 2001. 7- CES (2000).

COULOMB Alain, 2024, « Rapport d'activité 2003 de l'Agence Nationale d'Accrétion et d'Evaluation en Santé. République Française, vie publique. Développer la qualité en santé ». ANAES.

FISCHER Gustave-Nicolas et DODELER Virginie, 2009, « Les facteurs de risque environnementaux », in *Psychologie de la santé et environnement*, p. 34-50.

FOURNIER Clément, 2019, « Comment les activités humaines contribuent au réchauffement climatique ? » in *Accueil Environnement* La newsletter Youmatter. https://youmatter.world/fr/categorie-environnement/rechauffement-climatique-secteurs-industries-economie.

GORBATKO Nadia, 2023, « Gaz à effet de serre : la commission européenne propose un objectif de -90% en 2040 » in *Actu Environnement. Réussir la transition*.

GOUVERNEMENT DU BENIN, 2020, « Destination Bénin : Cotonou, poumon économique, pôle cosmopolite », https://www.gouv.bj/articles/destination-benin/.

HUMAIN-LAMOURE Anne-Lise et LAPORTE Antoine, 2022, « La ville, un objet complexe à appréhender », in *Introduction à la géographie urbaine*, p. 11-26.

KPOKPOYA Coffi Charles, 2007, « Contribution à l'étude de la production et de la gestion des huiles usagées dans la ville de Cotonou », Diplôme d'études approfondies (DEA), Université d'Abomey-Calavi.

LE NECHET Florent, 2011, **«** Consommation d'énergie et mobilité quotidienne selon la configuration des densités dans 34 villes européennes ». *CyberGeo. Revue européenne de Géographie. Système, Modélisation*, Géostatistique. https://doi.org/10.4000/cybergeo.23634.

MCKEE Thomas et al., 1993: «The relationship of drought frequency and duration of time scales». *Eighth Conference on Applied Climatology, American Meteorological Society*, Jan17-23, 1993, Anaheim CA, pp.179-186.

MINISTERE DU CADRE DE VIE ET DU DEVELOPPEMENT DURABLE (MCVDD), 2020, « Etat de l'environnement marin du Bénin », Rapport, Convention d'Abidjan et de GRID ARENDAL, PNUE, Ministère Fédéral de l'Environnement, de la Protection de la Nature et de la Sûreté nucléaire.

MOREL Jean Louis et al., 2005, « Urban soils », in Hillel D (ed) *Encyclopedia of Soils in the Environment*, Elsevier Ireland Ltd, p. 202-208.

ODOULAMI Léocadie et BOKO Michel, 2010, « Problématique de l'approvisionnement en eau potable dans les grandes villes d'Afrique : cas de Cotonou (Bénin) », in *Revue Climat et Développement*, n°9, p. 43-.51.

PROGRAMME DE GESTION DU LITTORAL OUEST AFRICAIN (WACA) et BANQUE MONDIALE, 2020, La marée montante : protéger les communautés côtières vulnérables en Afrique de l'Ouest. https://www.wacaprogram.org/fr/article/la-maree-montante-proteger-les-communautes-cotieres-vulnerables-en-afrique-de-louest

SAIZONOU MICKAEL VITUS MARTIN KPESSOU, YÈHOUÉNOU BONIFACE, BANKOLE HONORE et JOSSE ROGER GERARD, 2010, « Impacts des déchets de l'Abattoir de Cotonou dans la dégradation de la qualité des eaux de la nappe phréatique**».In** J. Soc. Ouest-Afr. Chim. (2010) 030, 79 - 91

TASK FORCE ON CLIMATE-RELATED FINANCIAL DISCLOSURES (TCFD), 2015, « Risques climatiques : risques physiques et risques de transition », *COP21.* https://www.cnpp.com/etre-accompagne/risques-climatiques#.

UNICEF, 2024, Communiqué de presse