

IMPLICATIONS DE LA GÉOMORPHOLOGIE DANS LA PLANIFICATION DE L'AMÉNAGEMENT DE LA VILLE DE COTONOU AU BENIN

Makpondéou MAKPONSE

Université d'Abomey-Calavi (UAC)/Bénin

makpons18@yahoo.fr

Résumé : Un espace socialisé sur un site a donné naissance à la ville de Cotonou sans tenir compte des corrélations entre la géomorphologie, la gestion du patrimoine naturel et la « géomorphologie sociale ». Il en est résulté des problèmes socioéconomiques et environnementaux. C'est pourquoi la présente recherche vise à analyser les problèmes qui découlent des aménagements qui n'intègrent pas les atouts et les contraintes du patrimoine géomorphologique dans leurs réalisations. Une planification de l'aménagement de la ville de Cotonou basée sur des considérations géomorphologiques et pluridisciplinaires est une solution pour la durabilité des aménagements. La morphodynamique, la « géomorphologie sociale » et la cartographie géomorphologique appliquée au site ont permis de distinguer les différents processus naturels, les actions et aménagements responsables de la dégradation de l'environnement. La méthode diachronique a été utilisée à partir de l'interprétation des images satellitaires et des photographies aériennes de 1998 et de 2018. Des observations directes sur le terrain ont apporté des précisions. Des profils pédologiques ont permis de déterminer la chronologie relative des couches. Un échantillon représentatif de 150 personnes, constitué grâce au protocole de Schwartz et choix raisonné a été entretenu et questionné pour avoir la perception de la population sur les aménagements. Les caractéristiques physiques et environnementales du site avec les besoins et les capacités des populations ont été croisés. Cette méthodologie a révélé que la nappe phréatique se situe entre 0,5 à 2 m ; 30,5% des sols connaissent une hydromorphie temporaire et une permanente pour 42,3% contre 17,2% non inondables ; 71,8% des habitations sont construites dans des dépressions marécageuses avec des endommagements, la pollution ; des canaux de drainage des eaux pluviales non adaptés aux natures pédrographiques et morphologiques du site créant des dysfonctionnements. Il urge d'intégrer la géomorphologie aux aménagements pour leur durabilité.

Mots clés : Cotonou - Recherche fondamentale - Recherche appliquée - Géomorphologie dynamique - Géomorphologie sociale - Aménagement durable

Abstract : A socialized space on a site gave birth to the city of Cotonou without taking into account the correlations between geomorphology, natural heritage management and "social geomorphology". This resulted in socioeconomic and environmental problems. This is why this research aims to analyze the problems that arise from developments that do not integrate the strengths and constraints of the geomorphological heritage in their achievements. Development planning for the city of Cotonou based on geomorphological and multidisciplinary considerations is a solution for the sustainability of developments. The morphodynamics, "social geomorphology" and the geomorphological mapping applied to the site have made it possible to distinguish the different natural processes, actions and developments responsible for environmental degradation. The diachronic method was used based on the interpretation of satellite images and aerial photographs from 1998 and 2018. Direct observations in the field provided clarification. Soil profiles were used to determine the relative chronology of the layers. A representative sample of

150 people, formed using the Schwartz protocol and reasoned choice was interviewed and questioned to get the population's perception of the facilities. The physical and environmental characteristics of the site with the needs and capacities of the populations were crossed. This methodology revealed that the water table is between 0.5 to 2 m; 30.5% of soils experience temporary hydromorphism and permanent hydromorphism for 42.3% against 17.2% that are not liable to flooding; 71.8% of dwellings are built in marshy depressions with damage, pollution; rainwater drainage channels not adapted to the petrographic and morphological nature of the site, creating dysfunctions. It is urgent to integrate geomorphology into developments for their sustainability.

Keywords: Cotonou - Basic research - Applied research - Dynamic geomorphology - Social geomorphology - Sustainable development

Introduction

La méconnaissance de la cohésion propre d'une unité territoriale à aménager et à développer est à la base de nombreux désagréments causés à un milieu socialisé comme celui de la ville de Cotonou. En effet, le milieu naturel est un système caractérisé par une interaction entre toute une série de forces diverses (J. Tricart, 1973, p. 428). Ainsi, les rapports entre les diverses forces du milieu naturel varient dans le temps et dans l'espace et sont à l'origine de modifications, d'évolutions et de différenciations donnant naissance à des unités territoriales. Le milieu naturel de la ville de Cotonou est source de nombreux problèmes socioéconomiques et environnementaux pour la population urbaine. Les inondations fréquentes ont pour principales conséquences la dégradation des infrastructures, la pollution, la prévalence des maladies d'origine hydrique, la perte de la biodiversité, la hausse des prix des produits de premières nécessités, l'exode des populations. Les zones très peuplées et de faible altitude où la capacité d'adaptation est faible et qui sont déjà confrontées à d'autres défis tels que des tempêtes tropicales ou la subsidence de la côte sont particulièrement en danger (Plans de prévention des risques naturels, 1999, p. 26). L'apparition de la subsidence est la résultante d'une dynamique morphologique innée à tout écosystème et géosystème suivant la nature des supports géologiques, pédologiques et de la tectonique. Cotonou est une ville côtière dont le site est parsemé de dépressions marécageuses et lacustres intercalées de cordons littoraux. C'est alors un milieu à risques de submersions marines. Le littoral béninois dans le Golfe de Guinée est identifié comme présentant une vulnérabilité particulière à une hausse relative du niveau moyen de la mer sous l'effet du réchauffement global (PNUE, 1985, p. 58 ; IPCC, 1994, p.10 ; MEHU, 1997, p. 95 ; MEHU et ONUDI, 1998, p. 26). Entre les cordons littoraux se sont formées des lagunes en perpétuelle évolution. Les milieux lagunaires sont reconnus pour être des systèmes en équilibre instable sur le plan morphologique et peuvent tendre à terme soit vers un comblement soit vers une érosion ou une submersion marine (F.B. Phleger, 1969 ; M.M. Nichols, 1989 ; E.C.F. Bird, 1994). Ces environnements sont soumis à des apports sédimentaires divers

d'origine terrestre, marine, endogène (production biologique) et éolienne (J. Castaings, 2008). L'hydrodynamisme historique et actuel des vagues marines a mis les côtes dans une instabilité permanente avec la variation du trait de côte à cause des phénomènes de transgression et de régression dus à des facteurs naturels et humains. Selon C. Dégbé et *al.*, (2017, p. 22), la côte béninoise constitue un géosystème hérité des dernières oscillations, mais dont la stabilité morphodynamique est bouleversée ces dernières années aussi bien par des causes anthropiques (construction des ports, des barrages, des ouvrages de protection, prélèvements de sable à la côte) et naturelles comme le réchauffement climatique et la montée des eaux marines. La mise à disposition de la communauté nationale d'un réseau de nivellement très précis sur l'ensemble du territoire et notamment sur la bande côtière urbanisée, ainsi que des outils permettant son utilisation est un enjeu important pour tout ce qui concerne les aménagements hydrauliques et de préventions des risques d'inondation au Bénin (Romieu, 2016, p. 45). Au total, la dynamique est pluridisciplinaire. Quels avantages peuvent découler de l'intégration des géomorphologies dynamique, anthropologique et de la cartographie géomorphologique à l'aménagement du territoire de la ville de Cotonou. Le présent travail vise à analyser les facteurs de la dynamique géomorphologique et les possibilités de leur prise en compte pour des aménagements durables. L'atteinte d'un tel objectif pourrait faire de la capitale économique du Bénin une ville de planification rationnelle, vivable, attractive et non une cité répulsive.

1. Matériel et méthodes

1.1. Matériel et données

Un GPS (Global Positioning System) muni d'une boussole a permis de déterminer localiser les sites géomorphologiques et de s'orienter. Une station totale a permis d'avoir les coordonnées X, Y et Z de tous les points rayonnés sur le terrain en zones couvertes à partir des points bases. Un clinomètre a servi à mesurer les pentes topographiques pour pouvoir analyser les sens des écoulements superficiels des eaux. Pour les micro-unités topographiques, c'est un topomètre qui a été utilisé. Des cartes topographiques et géologiques ont fourni des repères et la localisation des roches. Pour avoir des données relatives à la structure, à l'organisation et aux dynamiques de la ville de Cotonou, des photographies aériennes et des images Landsat TM et SPOT de 1998 et de 2018 ont été collectées à l'Institut Géographique National (IGN), au Centre National de Télédétection et de Cartographie Environnementale (CENATEL), au Service d'Etudes Régionales de l'Habitat et de l'Aménagement Urbain (SERHAU) et à la Mairie de Cotonou. A l'aide d'un stéréoscope, elles ont été interprétées. Un appareil photographique est utilisé pour la prise des images des éléments illustratifs. Une houe et un coupe-coupe ont permis de réaliser des fosses pédologiques pour analyser les

profils et la nature des composantes des couches, des structures et textures des sols. Des levées topographiques et des données bathymétriques, géologiques, socioéconomiques et environnementaux ont été collectées. Des fiches signalétiques ont permis de présenter l'état des lieux de l'emplacement des repères et de donner leurs coordonnées, système, matricule, désignation, ...

1.2. Méthodes

1.2.1. Présentation du secteur de recherche

La ville de Cotonou a été créée et a connu une extension spatiale sur une plaine côtière de faible dénivellation. Ce relief, bas, rectiligne et sablonneux, constitué de cordons littoraux, large de 2 à 5 km, est limitée au nord par des lagunes en voie de comblement ; son altitude ne dépasse pas 10 mètres (F. Médénouvo, 2012, p. 25). Cotonou est sous les influences du climat subéquatorial qui présente deux saisons sèches et deux pluvieuses. La pluviométrie est de 1300 mm/an. La moyenne annuelle de température se situe autour de 27°C (Météo-Bénin, 2019).

Les sols hydromorphes et vertisols du milieu sont de plus en plus rares car la plupart des sols urbains sont anthropiques. Pour J. L. Morel *et al.*, (2005, p. 12), il existe trois types de sols urbains : les sols possédant un horizon de surface de plus de 50 cm d'un mélange de matériaux nettement différent des environnements naturels adjacents (forêts, zones agricoles) ; les sols de parcs et de jardins et enfin les sols ayant subi de nombreuses constructions et qui sont généralement rendus étanches par un revêtement bitumineux (sols construits). Dans la ville de Cotonou, les sols sont en majorité des sols remblayés avec du matériel sableux importé des carrières (N. C. Kèlomè, 2006, p. 81). Selon B. Volkoff et P. Willaime (1976, p. 17), il y a les sols peu évolués d'origine non climatique, localisés sur le cordon actuel, les sols hydromorphes moyennement organiques, humiques à gley, pas ou peu salés développés dans les zones marécageuses et les sols hydromorphes, minéraux ou peu humifères, à gley, lessivés à tendance podzolique sur sable quaternaire, décolorés (sables blancs) sous l'action d'une nappe très fluctuante à 1 ou 3 m de profondeur qui oscille jusqu'en surface avec en dessous de l'horizon de surface, une couche d'accumulation organique de couleur brune, rousse, foncée. Pour le Groupement IGIP, GWK et GRAS (1983, cité par J. E. Gnélé, 2010, p. 206), au niveau du pont Martin Luther King appelé Nouveau, le sol a une couche supérieure constituée de sable et de sable limoneux qui s'enfonce jusqu'à -14 (IGN) et d'épaisseur qui varie de 9 à 14,5 m et d'une granulométrie très peu différenciée, typique des dépôts d'alluvions et de compacité moyenne dans les 2 à 4 m de la surface vers la profondeur et très compact au-delà ; possède une résistance allant de 300 à 500 bars.

Les sols salés portent une formation forestière climacique de mangrove composée essentiellement de *Rhizophora racemosa* et d'*Avicennia germinans* fortement dégradée. Par endroits, il est observé des formations végétales marécageuses comme des forêts

claires et des prairies marécageuses constituées de *Symphonia globulifera*, *Mitragyna ciliata*, *Alstania congensis* et *Ficus congensis* dans les milieux d'eau douce.

Les cordons sableux formés par la dérive littorale ont fermé des rias et créé des lagunes ou des marais inondables. Le Continental terminal est représenté par des formations conglomératiques et argilo-sableuses, effectivement continentales, reposant sur une série continue du Cretacé à l'Eocène moyen, voire supérieur ; cette dernière, marine ou continentale, a subi au niveau de la discordance, une évolution pédogénétique en milieu continental (A. Houessou et J. Lang, 1978, p. 140). Les formations pétrographiques du littoral béninois ont subi d'intenses transformations. Pour C. G.E. Dégbé (2009, p.16), du point de vue géologique, la plaine côtière du Bénin et le rivage datent de l'Holocène ; mais les dépôts du Pléistocène et plus récents forment la dernière bande de la côte avant la mer constituée de plages, de cordons dunaires et de marais, s'élevant quelques mètres au-dessus du niveau de la mer. La ville de Cotonou est située entre 6°20' et 6°23' latitude nord et entre 2°22' et 2°30' longitude est (figure 1) et limitée au sud par l'océan Atlantique, au nord par la commune de Sô-Ava et le lac Nokoué, à l'ouest par la commune d'Abomey-Calavi, à l'est par la commune de Sèmè-Podji (L. Akomagni et E. Guidigbi, 2006, p. 26).

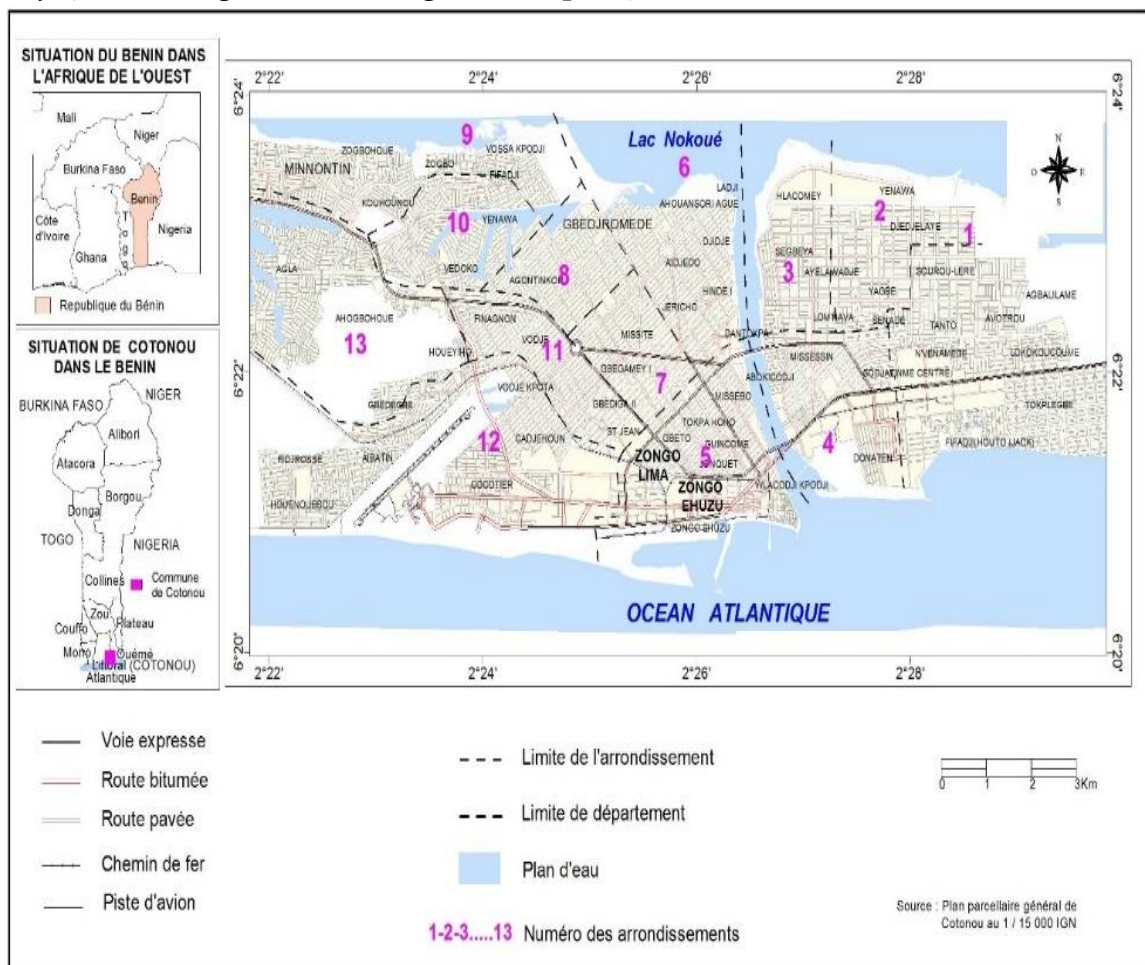


Figure 1 : Situation géographique de Cotonou

Cotonou est une entité administrative décentralisée qui compte 13 arrondissements et de nombreuses institutions nationales et internationales, abrite la quasi-totalité du potentiel économique du pays : maisons de commerce, industries, le marché international de Dantokpa, le port maritime, l'aéroport, etc., (F. Médénouvo, 2012, p.136). Elle a été depuis la période coloniale, un point d'attraction des immigrants venus de l'intérieur du pays ou de l'international. C'est ce que révèle D. B. N'Bessa (1979, p. 7) lorsqu'il écrit « L'accroissement de la population cotoinoise a été particulièrement rapide après le second conflit mondial. De 16 000 habitants en 1945, la population de la ville passait à 50 000 habitants en 1955 dont quelques 1 500 Européens ». La population qui était de 1100 habitants en 1905 a atteint 877358 habitants en 2016 (INSAE, 2013, p.51), soit une progression de 796,6%.

1.2.2. Collecte des données

Elle a commencé par une recherche documentaire. Des moyennes annuelles de pluies et de températures de la période de 1989-2019 ont été collectées à Météo-Bénin pour l'analyse de leurs effets socioéconomiques, géomorphologiques et environnementaux. Des données démographiques ont été fournies par l'Institut National de la Statistique et de l'Analyse Economique (INSAE) pour apprécier leurs pressions et impacts sur les ressources naturelles, les états des écosystèmes et les réponses apportées par la population aux problèmes du cadre de vie. Celles géologiques et géomorphologiques (nature, résistance des roches, dénivellations, etc.) utilisées sont issues de l'Institut Géographique National (IGN), des laboratoires des départements de géologie et de géomorphologie de l'Université d'Abomey-Calavi, de l'Office Béninois des Mines (OBMINES), etc. Les coûts d'endommagement des infrastructures urbaines ont été obtenus du ministère de l'Intérieur, de la Sécurité et de l'Administration Territoriale (MISAT), du celui des Affaires Sociales, etc. Les données relatives à l'occupation du sol et à la gestion du cadre de vie ont été collectées au Ministère de l'Environnement et de l'Habitat Urbain et au Service d'Etudes Régionales de l'Habitat et de l'Aménagement Urbain (SERHAU), au Centre National de Télédétection et de Cartographie Environnementale (CENATEL) et à la Mairie de Cotonou. L'Agence Béninoise pour l'Environnement (ABE), la Direction de Gestion des Forêts et des Ressources Naturelles (DGFRN) ont également fourni des données sur les ressources naturelles, leurs modes de gestion et les risques environnementaux. Un inventaire des géotopes a été réalisé grâce à la contribution des photographies aériennes et des images satellitaires Landsat TM et Spot de 1998 et de 2018 de 30 m de résolution qui, interprétées ont permis la réalisation des cartes d'occupation du sol après des corrections apportées par des observations du terrain. La méthode diachronique appliquée aux images a permis d'apprécier la dynamique des paysages de Cotonou et la variation des limites urbaines. La cartographie a permis d'établir un diagnostic du cadre de vie en mettant en exergue les entités géographiques, les

géotopes et surtout leur répartition sur le territoire de la ville de Cotonou avec des critères géomorphologiques. Des levés topographiques ont servi à déterminer les sens des écoulements des eaux pluviales. Dans le cadre de cette recherche, les altitudes des points ont été déterminées par nivellement direct avec un niveau Léica LS10 et une paire de mire invars de deux (02) mètres. Un contrôle de stabilité a été réalisé à partir des triplets, la fermeture des cheminements n'excédant pas cinq (05) millimètres avec une moyenne des fermetures à moins de deux (02) millimètres.

Les fosses pédologiques réalisés ont permis d'apprécier le bilan morphogénèse/pédogénèse dans les différents écosystèmes du secteur de recherche. Un échantillon représentatif a été constitué en utilisant le protocole de Schwartz et le choix raisonné en tenant compte des critères comme avoir vécu à Cotonou au moins pendant 30 ans, être un septuagénaire, une personne ressource, ingénieur en génie civil, professionnel en construction des infrastructures publiques et privées, spécialiste en sciences de terre (géologie, géomorphologie, hydrologie, géophysique, etc.) et des sciences de la vie (écologie, biogéographie, botanique, etc.). Cet échantillon a été entretenu pour avoir les perceptions des populations sur la planification des aménagements et les impacts du milieu naturel sur les infrastructures. Au total, les données utilisées sont pluridisciplinaires.

Les statistiques projetées sur 2020 des populations des arrondissements par l'Institut National de la Statistique et de l'Analyse Economique (INSAE) ont été utilisées pour contourner la vétusté des données de 2013. Selon la formule de Schwartz, $N = T^2PQ/e^2$ avec N = taille de l'échantillon par arrondissement ; T^2 = écart fixé à 1,96 correspondant à un degré de confiance de 95% ; P = effectif de la population par arrondissement/effectif de la population-mère ; $Q = 1-P$; e = marge d'erreur qui est égale à 5%. Le nombre de personnes à interroger est déterminé par arrondissement. Soient $N_1, N_2, N_3, N_4, N_5, N_6, N_7, N_8, N_9, N_{10}, N_{11}, N_{12}, N_{13}$ les effectifs respectifs de personnes à interroger du 1^{er} au 13^e arrondissement de Cotonou. En appliquant la formule au 1^{er} arrondissement, l'effectif de personnes à interroger (N_1) est connu. $N_1 = 1,96 \times 1,96(68395 : 801047) (1-0,09) / (0,05)^2 = 126$. C'est ainsi que les effectifs des personnes à interroger dans les 12 arrondissements restant ont été calculés. La méthode statistique de Schwartz a déterminé 1386 personnes à interroger. Pour maîtriser l'échantillon, un dixième des effectifs à interroger de chacun des arrondissements a été réellement interrogé. Soient $n_1, n_2, n_3, n_4, n_5, n_6, n_7, n_8, n_9, n_{10}, n_{11}, n_{12}, n_{13}$, les effectifs interrogés de chacun des 13 arrondissements. Les résultats sont transcrits dans le tableau I.

Tableau I : Répartition des personnes interrogées

Arrondissements de la commune de Cotonou	Effectif de la population en 2020	Nombre de personnes à interroger (N ₁ , N ₂ , N ₃ , N ₄ , N ₅ , N ₆ , N ₇ , N ₈ , N ₉ , N ₁₀ , N ₁₁ , N ₁₂ , N ₁₃)	Nombre de personnes interrogées (n ₁ , n ₂ , n ₃ , n ₄ , n ₅ , n ₆ , n ₇ , n ₈ , n ₉ , n ₁₀ , n ₁₁ , n ₁₂ , n ₁₃)	Pourcentage (%) des personnes interrogées
1	68395	126	13	8%
2	72768	126	13	8%
3	82589	138	14	8%
4	42901	73	7	7%
5	23460	45	5	4%
6	88896	150	15	10%
7	32492	59	6	4%
8	38256	73	7	5%
9	68075	113	11	8%
10	45699	87	9	7%
11	41157	73	7	5%
12	115546	185	19	15%
13	80813	138	14	11%
Total	801047	1386	140	100%

Source : Travaux de terrain, décembre 2019

En dehors des 140 personnes à interroger réellement, déterminées par l'application de méthode de Schwartz, 10 spécialistes des questions d'aménagements, des sciences de la terre et autres ont été choisis dans le cadre de la présente recherche. Au total 150 personnes ont constitué l'échantillon qui a été soumis à un questionnaire à raison de 95% de ses membres disponibles et les 5% restant ont fait objet d'un guide d'entretien. Une grille d'observation a permis de collecter des données en milieu réel. Les données collectées ont été traitées et les résultats obtenus analysés.

1.2.3. Traitement et analyse des résultats

Les données collectées ont été classées en catégories quantitative et qualitative, puis rangées sous formes de tableaux et graphiques à l'aide du tableur Excel. Les logiciels Arcgis et Orgis ont servi respectivement à la numérisation des cartes et le traitement des images. Enfin ArcView3.2 a permis l'élaboration des cartes. Une analyse écosystémique des résultats a permis de mettre en exergue les interrelations qui existent entre les différentes composantes du milieu. Pour ce faire, le modèle d'analyse SWOT (*Strength-Weaknesses-Opportunities-Threats*) a permis d'apprécier les forces, les faiblesses, les menaces et opportunités qu'offre le système Cotonou. Le modèle PEIR (Pressions, Etats, Impacts, Réponses) a été utilisé pour analyser les états des écosystèmes, la planification des aménagements, les impacts des activités humaines sur l'environnement et les réponses que la population apporte aux difficultés.

2. Résultats et discussion

2.1. *Facteurs de différenciation des écosystèmes et des aménagements du territoire*

Les natures des écosystèmes et des aménagements du secteur d'étude dépendent de certains facteurs comme la dynamique hydrologique, les types de roches, la structure des sols, la montée des eaux marines, les actions anthropiques, etc.

La dynamique hydrologique a induit des différenciations morphologique, géologique et géomorphologique en mettant en place des systèmes de cordons littoraux, de lagunes et de lacs. Il en a résulté des substratums argilo-sableux, d'autres sablo-argileux, sablonneux, argileux, hydromorphes, des espaces d'eau salée et d'autres d'eau douce. Les cordons littoraux sont les parties élevées de faibles dénivelées tandis que les milieux lagunaires et lacustres sont bas et souvent immergés.

Le caractère meuble des roches en place (sables marins et dépôts fluviaux) et la dynamique perpétuelle des eaux rendent l'environnement naturel de Cotonou instable.

La structure pédologique du milieu relativement naturel varie suivant les sites. Dans les zones marécageuses ou bas-fonds, les fosses pédologiques réalisés dans le cadre de cette recherche ont permis de constater que le profil pédologique présente au sommet un horizon de vase entremêlé de système racinaire d'épaisseur variant entre 1 et 2,5 m, suivi d'une strate noire argileuse de hauteur oscillant entre 0,5 m à 1, 5 m qui repose sur une couche sablonneuse de couleur brun d'épaisseur allant de 1 à 1, 4 m et enfin une couche de sable blanc très fin. Il s'agit des sols hydromorphes sur vases et alluvions responsables des inondations.

Ces inondations sont aussi dues à l'élévation du niveau des eaux marines provoquée par des dérèglements climatiques, des fortes températures saisonnières et des glissements de terrains. Ces glissements sont souvent causés par des prélèvements de sable pour la construction des infrastructures, la forte concentration humaine, des habitations et d'autres infrastructures.

Les fosses pédologiques au niveau des cordons littoraux présentent du haut vers le bas, une strate de 0 à 0, 5 m d'épaisseur et composée d'un système racinaire. Cette dernière est suivie d'un horizon de sables grossiers et moyen d'une profondeur variant entre 1, 5 et 2,5 m qui repose sur du sable de couleur blanche. Les plus anciens cordons de coloration jaune de l'oligolien et du quaternaire sont en contact avec la terre de barre de couleur rouge, ceux intermédiaires sont gris car entremêlés avec des éléments organiques surtout d'origine végétale et enfin les plus récents de couleur brune sont en contact avec les traits de côte. Les cordons gris et bruns sont l'œuvre des dernières oscillations marines de la période post-holocène. Ils constituent des sites originaux de

la ville de Cotonou. A ces différentes morphologies correspondent des écosystèmes appropriés.

Il est observé sur le terrain des zones bioécologiques : les sommets des cordons littoraux, les versants, les zones inondables, les dépressions et les bas-fonds. Ces différents milieux sont occupés et leurs ressources gérées suivant des politiques d'aménagement du territoire. La topographie de Cotonou a structuré le territoire en zones basses immergées temporairement ou de façon permanente et des zones relativement émergées (Figure 2).



Figure 2 : Configuration topographique de Cotonou

La figure 2 montre les niveaux altimétriques des différentes parties du territoire de Cotonou. Il en ressort que les surfaces de terrain dont les altitudes sont comprises entre 0-5 m font 72,1% de la superficie totale de Cotonou, celles de 5-10 m, 18,5% et enfin les parties d'altitude comprise entre 10-15 m représentent 9,4%. Cette répartition naturelle du territoire a attribué des fonctions à chaque partie occupée par des

aménagements. La mauvaise gestion des ressources pédologiques, hydrologiques, géologiques et végétales et autres, autrement dit du patrimoine géomorphologique est à la base des multiples difficultés auxquelles les aménagements sont confrontés. L'une des difficultés majeures liées au patrimoine géomorphologique est l'imprécision du nivellement topographique.

2.2. Imprécision du nivellement topographique et effets socioéconomiques et environnementaux de l'occupation du sol

La platitude très remarquée du relief de Cotonou conduit souvent les acteurs des aménagements à négliger les dénivellations. Le cadre de référence altimétrique officiel du Bénin est le nivellement général de l'Afrique occidentale (NGAO) selon l'arrêté 0068/MUHRFLEC/DC/SGM/IGN/DGURF/SA du 28 décembre 2009. Il est constitué de repères de nivellement implantés le long des Routes Nationales Inter-Etats (RNIE) et basé sur le datum du Niveau Moyen de la Mer (NMM) de Dakar en 1954, calculé par l'IGN-France. Ces repères pour la plupart détruits, sont en reconstruction par le Service de la Géodésie et du Nivellement de l'IGN-Bénin. La dénomination du cadre référentiel de nivellement béninois est le Réseau de Nivellement Général du Bénin (RNGB). La plupart des repères de la ville de Cotonou sont constitués de macarons et de rivets réalisés dans les années 1965, 2009 et 2016. Le traitement des fiches signalétiques et les coordonnées au GPS de navigation retrouvées dans les archives de l'IGN a permis d'associer les anciennes dénominations des repères aux nouveaux numéros des repères du plan Registre Foncier Urbain (RFU) de Cotonou. La présente recherche a permis d'identifier 32 repères. Cet effectif est insuffisant pour le quadrillage de la ville de Cotonou, d'où les imprécisions dans les calculs des dénivelées. L'inventaire a permis d'exploiter deux répertoires de 64 fiches signalétiques de nivellement pour Cotonou-Ouest et 31 fiches signalétiques de nivellement pour Cotonou-Est. Des fiches signalétiques ont indiqué les emplacements de plus de 100 repères (bornes, macarons ou rivets) dans la ville de Cotonou et quelques fiches de réhabilitation ou de densification du réseau de nivellement. L'inventaires sur le réseau de nivellement a permis de constater que sur 08 rivets annoncés, seulement 01 est retrouvé, pour 48 macarons annoncés, c'est 12 qui sont retrouvés. L'inventaire a révélé que 75% des repères sont détruits par des travaux d'aménagements. La densification du réseau de nivellement de précision dans la ville de Cotonou s'impose.

Le contrôle de la stabilité des repères de nivellement a permis de déterminer trois mailles. La ligne de la maille 1 prend en compte le tronçon « la Communauté Electrique du Bénin (CEB) et le Bénin Marché en passant par l'Ecole Primaire Publique de Mènantin jusqu'aux quartiers de ville Zogbohouè et Fifadji ». Mesurées en 2016, les

altitudes des lieux ont des dénivelées variant entre 0,771m et 1, 026 m. La ligne de maille 2 concerne le tronçon « Transformateur de la SBEE au carrefour Fidjrossè-Passage supérieur de Houéyiho en passant par l'aéroport de la ville de Cotonou ». Les différences entre les altitudes varient en moyenne entre 0, 479 m et 0,826 m. La ligne de maille 3 part de l'Ancien pont de Cotonou-Bâtiment principal IGN en passant par la guérite OCBN pour finir au carrefour Zongo. Les dénivellations varient entre 0,086 m et 1,689 m. Les altitudes obtenues sont comparées à quelques anciens repères. La moyenne des écarts avec le nivellement direct est correcte, avec un maximum de 23,7 mm sur le repère de la CEB à Védoko. Pour chaque tronçon de cheminement, il est trouvé la longueur ainsi que la dénivelée correspondante. Pour chaque maille formée, la fermeture brute est calculée. La fermeture la plus importante d'une maille est de 1,2 mm / km (8 mm pour 38, 7 km) et la fermeture moyenne ramenée au kilomètre de cheminement est de 0,3 mm / km. La fermeture de la plus grande maille ceinturant la municipalité de Cotonou est de 1,79 mm (ancien macaron de l'Ecole Primaire Publique de Mémontin) pour une longueur de 62,4 km. Néanmoins un écart de 23,7 mm est constaté sur l'ancien macaron de la Communauté Electrique du Bénin (CEB) à Védoko. Ce nivellement est réalisé par maille avec de nouveaux repères (Figure 3).



Figure 3 : Répartition des repères dans la ville de Cotonou

L'observation de la figure 3 permet de constater que la majorité des repères sont installés le long des voies. En sont plus concentrés en centre-ville qu'à la périphérie. Sur les tronçons de nivellement 75 macarons ont été mis en place. Pour la précision dans la détermination et le calcul des altitudes, le centimètre est l'unité de mesure choisi pour tous les points du réseau et plusieurs macarons sont mis en place pour la réhabilitation du réseau de nivellement de la ville de Cotonou. Grâce au LS10 rattaché au système de Réseau de Nivellement Général du Bénin et à l'utilisation du GPS de navigation gamin par l'IGN, les coordonnées planimétriques et les altitudes au niveau numérique de hautes précisions de tous les repères ont été implantées (Figure 4).

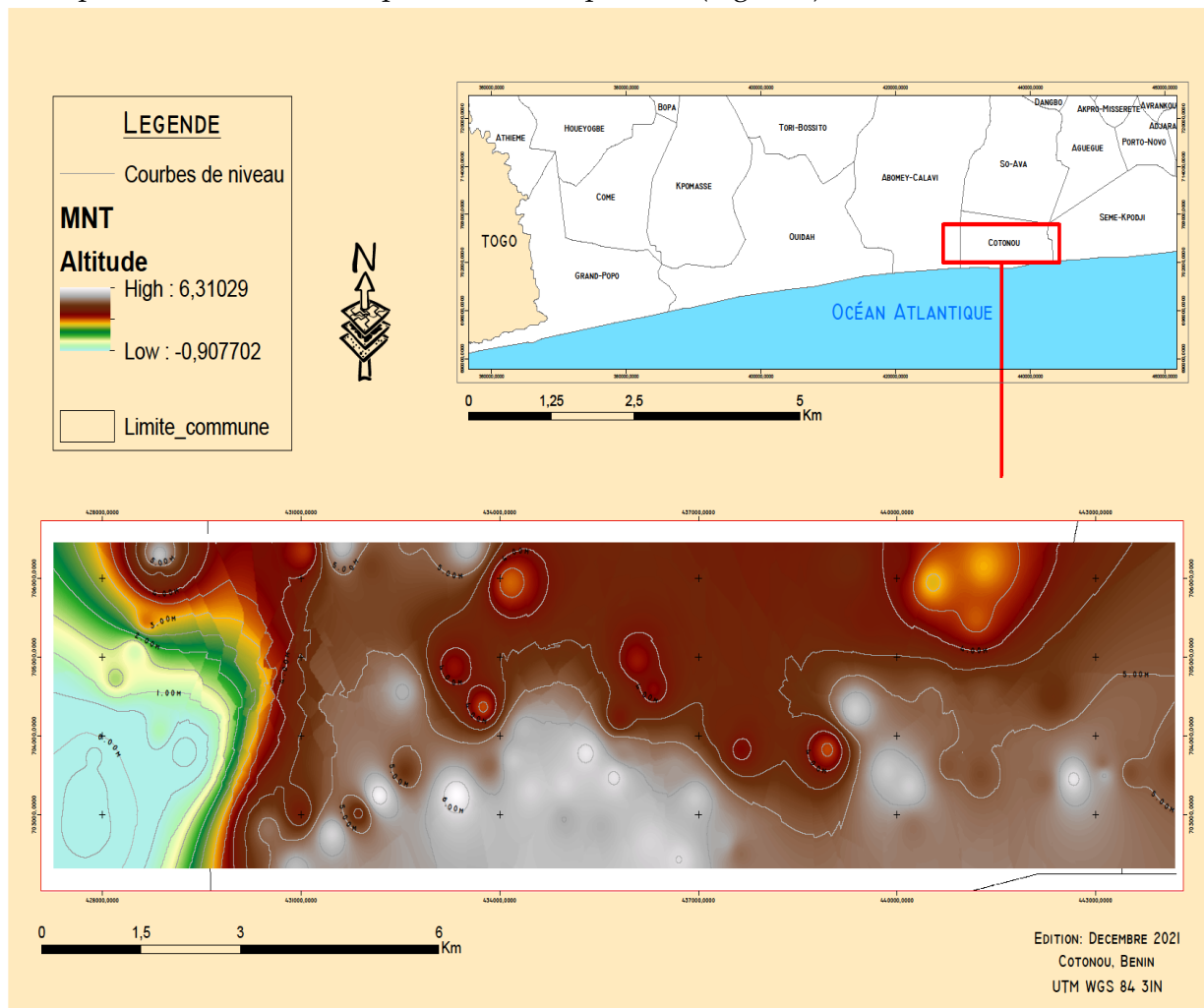


Figure 4 : Carte des altitudes à base du modèle numérique de terrain

Source : Travaux de terrains, juin 2020

Cette figure révèle que la ville de Cotonou présente un relief plat dans son ensemble. En effet, les côtes varient entre - 0,908 m et 6,311 m par rapport au niveau zéro de la mer. Les cordons littoraux offrent des cotes qui oscillent entre 4,585 m et 6,311 m. Les altitudes des dépressions marécageuses sont comprises entre - 0,908 m et 4, 585 m. Il existe alors dans la ville de Cotonou des points situés en dessous du niveau zéro marin. C'est le cas des quartiers Vossa, Fifadji, Awansori, Agla, Akpakpa Dodomè, etc., qui

sont lotis et urbanisés. Des mesures de pentes réalisées à l'aide de clinomètre ont mis en relief des valeurs allant de 0 à 5 %. Il s'agit alors des pentes très faibles peu favorables à l'écoulement des eaux pluviales. Selon les enquêtes réalisées dans le cadre de cette étude, 89,4% des techniciens de génie civil interrogés déclarent n'être suffisamment informés des précisions de nivellement topographique de Cotonou. C'est ainsi que 95,3% des habitations et infrastructures sociocommunitaires ont été réalisées sans tenir compte des précisions du nivellement topographique. Elles sont sous-dimensionnées. La non intégration des patrimoines géologique et géomorphologique à la gestion du milieu naturel et notamment dans la protection des géotopes du territoire de Cotonou est à l'origine des problèmes socioéconomiques et environnementaux.

Les parties immergées et leurs alentours permettent les activités halieutiques, les cultures maraîchères, les activités culturelles et notamment culturelles. Les lieux émergés sont prévus pour les installations humaines, les centres de loisirs et d'activités sportives. Les différentes formes d'occupation ont généré des problèmes environnementaux et socioéconomiques. L'un des problèmes récurrents engendrés par la configuration topographique de Cotonou est l'inondation. Les inondations les plus récentes sont celles de 2010 et 2019. Les enquêtes dans le cadre de cette recherche ont révélé qu'avec ces inondations la montée des eaux a varié entre 0,95 m et 6,5 m ; 100 % des ménages localisés dans les bas-fonds sont sinistrés tandis que dans les parties émergées, ils varient entre 27,3 à 52,1%. Cette situation a pour corollaires la pollution, la prolifération des maladies d'origine hydrique, la dégradation des infrastructures, des ressources végétales, animales et minérales et du patrimoine géomorphologique. Dans les marécages, 14,2 à 20,9% des personnes interrogées ont déclaré que les eaux détruisent parfois la totalité de leurs biens conservés dans leurs locaux ; incapables d'aller au service, leurs revenus s'effondrent considérablement. La recherche documentaire dans les centres de santé a révélé que pendant les périodes d'inondations entre 40,6 et 69,1 % de la population souffrent du paludisme, 30,7 à 49,3% d'infections intestinales, 26 à 45 personnes de choléra, etc. Il est enregistré des migrations de 10 à 15% des populations vers les localités environnantes situées sur le plateau de terre de barre plus élevé que la plaine côtière. Le relief est le support et le réceptacle des êtres vivants, de l'eau, des roches, des sols, etc.

L'observation des sols a permis de distinguer des particules minérales dont les tailles varient entre 0,2 et 2 mm qui sont du sable grossier, les unes ont des tailles qui oscillent entre 20 et 200 microns et sont des sables fins ; d'autres ont des tailles variant entre 2 et 20 microns ; il s'agit des limons ensuite des grains de taille inférieure à 2 microns appelés argile. Cette composition minéralogique du sol permet à l'hydrodynamisme, aux pentes topographiques et à la forte densité des populations du littoral de rendre les particules sablonneuses très mobiles par saltation ou en suspension dans les eaux de ruissellement. Ainsi, les sols et les sous-sols de la ville de Cotonou sont instables. Il

en résulte l'ensablement et le comblement des caniveaux, des collecteurs et des plans d'eau, des inondations, l'affaissement des maisons et autres infrastructures car le patrimoine géomorphologique est érodé. Cette érosion des supports géologiques, pédologiques libère dans l'atmosphère des masses de carbone et détruit des microorganismes vivants. Les populations des zones marécageuses sont les grandes victimes des inondations. Le remblai de certains de ces domaines par de la terre de barre et des ordures non biodégradables rend les sols de ces endroits imperméables à l'eau, favorables aux inondations. L'occupation anarchique, la forte densité de la population, les activités économiques et l'hydrodynamisme ont généré la dynamique de l'espace urbain et la dégradation du couvert végétal (figures 5 et 6) et donnant lieu au niveau des formations végétales, une tendance à la dynamique régressive tandis que dans les quartiers de ville elle est progressive (Tableau I). L'observation des figures 4 et 5 permet de retenir que la structure de la ville de Cotonou est dans sa quasi-totalité en damier. En 1990, la voirie était peu développée avec très peu de routes tracées et les existantes sont dégradées. En 2018, la voirie a connu des aménagements et présente des routes tracées et grandes qu'en 1990.

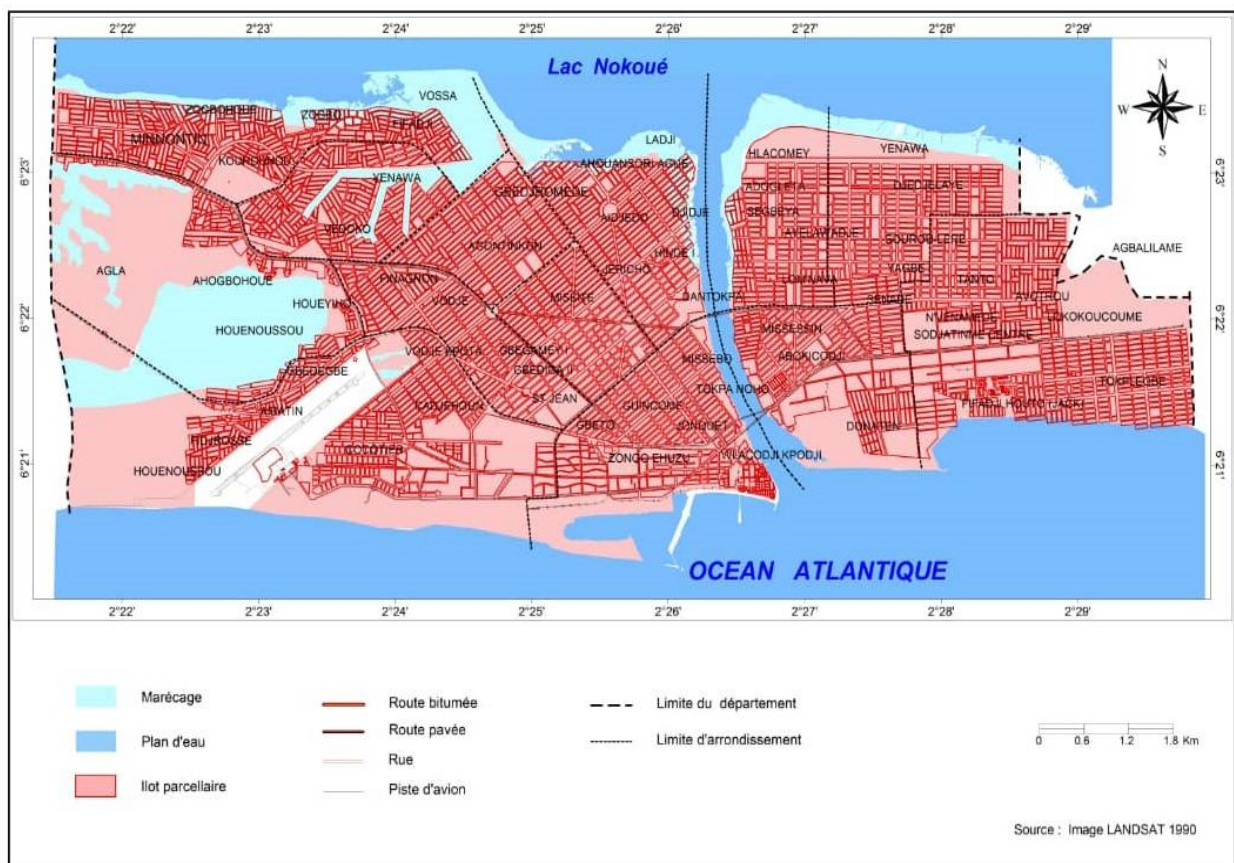


Figure 5 : Occupation du sol de la ville de Cotonou en 1990



Figure 6 : Occupation du sol de la ville de Cotonou en 2018

Cotonou a connu une extension spatiale et les surfaces des marécages ont été sensiblement réduites. A l'est les marécages de Hlacomey et de Yénowa sont occupés. A l'ouest ceux de Houénoussou sont envahis par des habitations dans une proportion de 58, 2% tandis que les terres marécageuses du quartier Vossa sont occupées à 76, 1 %. C'est ainsi que de 1990 à 2018, les unités paysagères ont connu de profondes transformations (Tableau I).

Tableau I : Dynamique de l'occupation du sol de la ville de Cotonou de 1990 -2018

Unités d'occupation du sol	Superficie en ha en 1990	Pourcentage (%) en 1990	Superficie en ha en 2018	Pourcentage (%) en 2018
Îlots parcellaires	3146	39,82%	6126	77,54%
Marécage	2903	36,75%	1485	18,80%
Non occupé	1562	19,77%	0	0,00%
Plan d'eau	289	3,66%	289	3,66%
Total	7900	100,00%	7900	100,00%

Source : Résultats des enquêtes de terrain

Ce tableau I révèle que les îlots parcellaires ont augmenté de 37,72% de 1990 à 2018 et que les surfaces des marécages sont réduites de 17,95% en 28 ans. Pour pallier à ces difficultés, la mise en œuvre des outils appropriés de planification est nécessaire.

2.3. Outils de planification pour des aménagements durables à Cotonou

Les enquêtes dans le cadre de cette recherche ont révélé que la ville de Cotonou a connu des documents de planification : le Plan Directeur de Cotonou de 1951, le Plan

Directeur d'Urbanisme de 1961, le Schéma de Structure de 1985, le Schéma Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme (SDAU) du grand Nokoué de 2007, les Plans de développement Communal (PDC) accompagnés du Schéma Directeur d'Aménagement de la Commune (SDAC), du Plan de Développement Economique et Social (PDES), des Plans d'Urbanisme dans les zones agglomérées (PU), des règles relatives à l'usage et à l'affectation des sols, des Plans de Détail d'Aménagement Urbain et de Lotissement (PDAUL), le rapport économique sur la ville de Cotonou. Il y a également les travaux de l'aménagement du territoire national comme le Programme d'Aménagement des Zones Humides (PAZH) élaboré en 1997, le Schéma Directeur d'Aménagement du Littoral (SDAL) élaboré en 1999, des Etudes Nationales de Perspectives à Long Terme, (NLTPS), Bénin 2025, Alafia, la Déclaration de Politique Nationale d'Aménagement du Territoire (DEPONAT) dont la mise en œuvre a nécessité le Document de Stratégie Opérationnelle (DSO) qui a proposé le Schéma National d'Aménagement et de Développement du Territoire (SNADT) et les Schémas des Secteurs Collectifs (SSC) qui fixent la vision de l'Etat pour un secteur et ses déclinaisons spatiales. Malgré cette panoplie d'outils d'aménagement, les infrastructures et activités publiques et privées sont réalisées et pratiquées sans tenir compte de la dynamique géomorphologique naturelle et anthropique liée à l'altimétrie. L'extension spatiale de Cotonou a été spontanée, sans aménagements intégrés aux écosystèmes. Les zones humides ont été massivement occupées par les installations humaines. Peu d'importance est accordée à l'aménagement des espaces verts, de jeux, de loisirs, des parcs, des jardins, et à l'esthétique des paysages. Pour la durabilité des aménagements, il importe d'identifier les différents écosystèmes et leur fonctionnement.

Dans le cadre de cette recherche des inventaires des géotopes géomorphologiques incluant des paramètres géologiques, pédologiques et écologiques ont permis d'élaborer la carte de l'état bioécologique et du degré de sollicitation des entités géographiques. Cet exercice a permis de déterminer comme entités géographiques à Cotonou, les zones marécageuses, lagunaires et lacustres d'eau douce, ensuite la bordure marine ou bande côtière d'eau salée et enfin les cordons littoraux qui sont pour la plupart des milieux émergés. Des sites naturels, culturels et des géotopes ont été identifiés en tenant compte de leurs intérêts pour la communauté, de leurs objets géomorphologiques de valeur qui ont une importance paysagère et des géotopes menacés. Il s'agit par exemples des côtes, de la plate-forme continentale, des plans d'eau, les plages et des carrières de sable. Ces géotopes menacés peuvent être confiés à des groupes d'intérêts locaux ou régionaux concernés par leur conservation (sociétés scientifiques, associations de protection de la nature, universités, planificateurs, etc). C'est le cas de l'entreprise Online Training Development Platform (OTD) pour l'évaluation de l'érosion côtière au Bénin en général et à Cotonou en particulier. En

outre, la répartition des paysages a été élaborée pour le respect de leurs différentes composantes et l'amélioration de leur valeur. Ainsi, l'inventaire des géotopes géomorphologiques et leur aperçu géomorphologique ont permis de déterminer des paysages d'intérêts pour la population ou la municipalité. Les paysages des zones humides ont été différenciés de ceux des cordons littoraux. Ils présentent des intérêts environnementaux, écologiques, culturels, socioéconomiques. Des objectifs spécifiques sont à définir pour chacun d'eux afin d'en tirer pleinement profit. Après les délimitations précédentes et tenant toujours compte du patrimoine géomorphologique, paysagé, des plans d'affectations ont été établis. C'est ainsi que les cordons littoraux sont affectés à des habitations, les plans d'eau à des activités halieutiques et culturelles, les marécages à des activités agricoles (cultures maraîchères), les alentours des plans d'eau sur un rayon de 500 m sont à protéger. Les zones industrielles sont à être installées loin des agglomérations suite à des Etudes d'Impact Environnemental (EIE).

L'exploration de l'arsenal juridique du Bénin et de la municipalité de Cotonou a révélé l'existence des textes et lois de protection de l'environnement pour un développement durable mais très peu appliqués. Pour 54,2% des personnes interrogées, c'est la corruption qui est à la base du non application de ces dispositions réglementaires et législatives ; 20,6% indexent les imbrications sociales et 25,2% évoquent la méconnaissance des textes. Pour 65,4 % des spécialistes des disciplines des sciences de la Terre interrogés, des ordonnances sur la protection des géotopes sont nécessaire pour l'atteinte d'un développement durable. Les enquêtes réalisées dans le cadre de cette recherche ont montré 95,3% des installations humaines ou des opérations d'aménagement ont souffert de manque d'Etudes d'Impact Environnemental.

3. Discussion

La présente recherche est parvenue à plusieurs résultats. Elle a révélé l'hétérogénéité du milieu de recherche qui s'explique par la diversité des déterminants physiques et humains : la dynamique hydrologique, ameublissement du sol, les actions anthropiques. Une étude paléoclimatique pourrait permettre de mieux comprendre les transgressions et les régressions marines. Les causes de l'instabilité du milieu côtier béninois ont été montrés par plusieurs auteurs (Ceda, 1998, p.26 ; Dégbé Georges et al., 2017, p. 24). Pour 95,3% des aménagements le patrimoine géomorphologique et en l'occurrence le relief n'y sont pas intégrés. Ce phénomène est attesté par l'Institut Géographique National (IGN, 2017, J. E. Gnélé, 2010, p.195, L. Andres, 2015, p. 58). L'imprécision du nivellement topographique est également mise en exergue en 2018 par l'IGN qui rend ce phénomène responsable des aménagements non durables. Les documents de planification élaborés pour les aménagements du territoire de la ville de Cotonou n'ont pas pu encore donner satisfaction aux problèmes environnementaux, esthétiques et socioéconomiques que vivent les populations. En

effet, le patrimoine géomorphologique n'est pas suffisamment intégré dans les plans directeurs de la ville de Cotonou. Il importe alors de prendre en compte les interrelations entre les différentes composantes du milieu de recherche, inventorier les géotopes, les milieux stables et instables afin de savoir les solutions à apporter aux problèmes. Les fonctions, les objectifs et les intérêts de chaque écosystème délimité doivent être clairement définis. Les milieux, les valeurs géomorphologiques à protéger sont connus et les législations de protection sont vulgarisées auprès des acteurs locaux et étrangers de développement. Ces exigences sont aussi évoquées par (V. Grandgirard, 1997, p. 52).

Conclusion

Le patrimoine géomorphologique est la pierre angulaire de l'aménagement durable du territoire. L'efficacité de sa gestion dépend de la prise de conscience par ses utilisateurs et par les personnes impliquées dans la protection de la valeur de ce patrimoine. Les aménagistes ont l'obligation d'avoir une Education Relative à l'Environnement (ERE) afin de maîtriser l'environnement actuel et le passé (histoire) de dernier car tout coule et rien n'est constant. Le relief, en tant que support écologique, géologique, porte tous les hommes qui en tirent des substances pour sa survie. L'intégration des géomorphologies dynamique, anthropologique et de la cartographie géomorphologique à l'aménagement du territoire de la ville de Cotonou contribuerait à un développement durable. En outre, la gestion participative incluant toutes les parties prenantes de l'aménagement du territoire ferait de Cotonou une ville attrayante.

Références bibliographiques

- Andres Ludovic, 2015 : Le géoïde côtier : problématique et détermination pratique par des techniques de positionnement spatial nivellement direct et télémétrie. PUF, Paris, 144 p
- Akomagni Léon.et Guidigbi Emmanuel., 2006 : Monographie de la commune de Cotonou, Afrique Conseils, Cotonou, p.10
- Bird Eric Charles rédéric, 1994: Physical settings and geomorphology of coastal lagoons. In Coastal Lagoon Processes. B. Kjerfve, pp 9-39. Doi : 10.1016/S0422-9894(08)70007-2
- Castaigns Jérôme., 2008 : Etat de l'art des connaissances du phénomène de comblement des milieux lagunaires. Rapport Master 2 GLM, Université de Montpellier 2, Cepalmar. 100 p.
- Ceda, 1998 : Profil de la zone côtière du Bénin, 93 p

- Dégbé Georges, Sohou Zacharie, Oyédé Marc, Adjè Christian, Du Penhoat Yves, Bourles Bernard, Chuchla Rémi, Almar Rafael, 2017 : Evolution du trait de côte du littoral béninois de 2011 à 2014. *Revue. CAMES*, vol05, n°01, ISSN 2424-7235, pp : 21-28
- Grandgirard Vincent, 1995 : Méthode pour la réalisation d'un inventaire de géotopes géomorphologiques. Dans : *Ukpik Cahiers de l'Institut de Géographie*. Fibourg, 10, 121-137
- Houessou Aurelien et Lang Jacques, 1978 : Contribution à l'étude de « Continental terminal » dans le Bénin méridional. *Sciences Géologiques, bulletins et mémoires* 31-4, pp. 137-149
- IPCC, 2001: Working Group II, Third Assessment Report « Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability) » (<http://www.ipcc.ch/pub/pub.htm>)
- Kédomé Neully C., 2006 : Identification et évaluation de pollutions dans les zones urbaines et péri-urbaines de l'Afrique de l'ouest : exemple de l'agglomération de Cotonou, domaine margino-littoral du sud-Bénin. Thèse de Doctorat. Bourgogne. Dijon. Université de Bourgogne, 266 p
- Médénou Firmin, 2012 : Géographie. Géographie du Bénin CM2. Le Perroquet, Paris, 167 p
- MEHU, 1997 : Agenda 21 National de la République du Bénin, 210 p
- MEHU et ONUDI, 1998 : Profil de la zone côtière du Bénin. (Ed. Ceda), Cotonou Bénin, 93 p
- Morel Jean Louis, Schwartz Christophe, 2005 : Urbains soils. *Encyclopedia of soils in the environment*. E. Lid :202-OBEMINES (1989). Carte géologique du Bénin à 1/200000. Office Béninois des Mines. Cotonou, Bénin. Notice explicative, 36 p
- N'Bessa Benoît. Damien, 1979 : *Les fonctions urbaines de Cotonou*, Thèse de Doctorat de 3^e cycle, Université de Bordeaux, p. 7
- Nichols Mike Michael, 1989: Sediment accumulation rates and relative sea-level rise in lagoons. *Marine Geology*, n° 88, pp 201-219. doi:10.1016/0025-3227(89)90098-4
- Phleger Fred B., 1969: Some general features of coastal lagoons. *Coastal lagoons symposium*, Novembre 1967, Mexico, pp 5-26.
- Plans de prévention des risques naturels, 1999 : Risques d'inondation, Paris, La Documentation française, 123 p. (ISBN 2-11-004402-0), p. 26
- PNUE : Erosion côtière en Afrique de l'Ouest et du Centre, Collaboration des Nations Unies et de l'UNESCO, Paris, 105 p
- Tricart Jean, 1973 : La géographie dans les études intégrées d'aménagement du milieu naturel. *Annales de géographie* 432, pp. 420-453.
- Volkoff Boris et Willaime Pierre, 1976 : Carte pédologique de reconnaissance de la République Populaire du Bénin à 1/200 000 : feuille de Porto-Novo. Notice explicative. OROSTOM. Paris, IGN.