

Le visage écologique du Bénin face aux changements climatiques : bilan et perspectives

* Cossi Modeste HOUNGBEDJI , ** Gauthier BIAOU , *** Vincent Joseph MAMA

*Ecole Doctorale Pluridisciplinaire (EDP) de la Faculté des Lettres, Arts et Sciences Humaines (FLASH) de l'Université d'Abomey-Calavi au Bénin, (lumo200x@gmail.com);

** Faculté des Sciences Agronomiques de l'Université d'Abomey-Calavi (gbiaou@yahoo.fr);

*** Institut National des Recherches Agricoles du Bénin (INRAB)

(mamvincent@coraf.org ; mamvincent@yahoo.com)

Mots clés : empreinte, biocapacité, Bénin, ressources naturelles, solde écologique

Key words: footprint, biocapacity, Benin, natural resources, ecological balance

Publication date 31/10/2020, <http://m.elewa.org/Journals/about-japs/>

1 RESUME

Dans le but de faire le bilan écologique du Bénin en mesurant les conséquences des actions de l'homme envers la nature au Bénin, une étude a été réalisée. Les travaux ont une envergure nationale et s'attellent à : apprécier par année depuis 1960 le solde écologique national, projeter l'évolution de ce solde vers l'avenir pour en apprécier le niveau et analyser les conséquences. Il ressort des analyses que : de 1960 à 2000, le solde écologique du Bénin est resté positif mais décroissant. Donc les ressources naturelles arrivaient à satisfaire les besoins de la population. Après l'année 2000, le solde est devenu négatif, signifiant ainsi, que nous consommons plus que les capacités de nos ressources naturelles. Les projections montrent ensuite qu'aux environs de 2058, le solde écologique du Bénin redeviendra positif pour ensuite croître pour longtemps. Cette situation donne une lueur d'espoir et est le fruit des efforts de sauvegarde/restauration de l'environnement constatés au niveau de tous les acteurs (étatiques ou non étatiques). En combinant les variables censitaires, climatiques et de production agricoles, il s'en est suivi que le solde écologique (SE) du Bénin mesurable en tout point du territoire national décrit une fonction du type :

$$SE = 7998923,052 + 880,888etp - 123853,092temp - 22883,697tu - 38,237ph - 0,529pvt + 2,302stc - 91098,766dp$$

avec : etp=Evapotranspiration ; temp= température ; tu= taux d'urbanisation ; ph= production halieutique ; pvt= production végétale ; stc= superficie totale cultivée en production végétale, dp= densité de population.

ABSTRACT

In order to make an ecological assessment by measuring the consequences of man's actions towards nature in Benin, a study was carried out. The work had a national scope and strived to: appreciate since the year 1960 the national ecological balance, projecting the evolution of this balance into the future in order to assess its level and analyse the consequences. It emerges from the analyses that: from 1960 to 2000, Benin's ecological balance remained positive but decreasing. So the natural resources were able to satisfy the needs of the population. After the year 2000, the balance has become negative, meaning that we consume more than the capacity of our natural resources. Projections then show that around 2058, the ecological balance of Benin will become positive and then for a long time. This hope is the

result of efforts to safeguard / restore the environment observed at the level of all actors (state or non-state). By combining the census, climate and agricultural production variables, it has followed that Benin's ecological balance (SE), which can be measured anywhere in the country, describes a function of the type:

$$SE = 7998923.052 + 880,888etp - 123853.092temp - 22883.697tu - 38.237ph - 0,529pvt + 2.302stc - 91098.766dp$$

with : etp=Evapotranspiration ; temp= temperature ; tu= urbanization rate; ph = fish production; pvt = vegetable production; stc = total area cultivated in plant production, dp=density of population.

2 INTRODUCTION

Selon Roose (1985), "l'homme utilise les ressources naturelles à des fins de production : sols et terres pour l'agriculture et comme pâturages pour l'élevage, les cours d'eau et les lacs pour la pêche, la forêt pour la production de bois : bois de chauffe, bois d'œuvre et bois de production". Aussi, tout développement de la production agricole augmente les risques de dégradation de l'écosystème. Au Bénin, la population est en augmentation (6769 914 en 2002 et 10 008 749 en 2013 selon l'INSAE). En rapportant l'effectif de population, recensé en 2013, (10 008 749 habitants) à la superficie du Bénin, 114 763 km², il se dégage une densité de 87,2 habitants au km² en 2013. Cet indicateur est passé de 29 habitants au km² en 1979 à 43 en 1992 puis à 59 en 2002 (INSAE, 2013). Par ailleurs, l'accroissement de production d'une culture découle en grande partie de l'accroissement de superficie de cette culture, les rendements étant relativement faibles et s'accroissent très peu (Houngbedji *et al.*, 2015). Ce phénomène favorise la dégradation des sols. Selon les données provenant de MAEP (2013), la dégradation de l'environnement au Bénin se manifeste sous plusieurs aspects tels que le recul du couvert végétal ; la régression des effectifs de la faune sauvage et halieutique; l'extension de l'érosion des sols et des espaces côtiers ; la pollution des eaux de surface et souterraines ; le développement urbain déséquilibré (occupation non planifiée de l'espace) ; la pollution atmosphérique ; la dégradation de la santé humaine ; la régression de la disponibilité des ressources naturelles du fait des changements climatiques ; la montée du niveau des mers et

océan; la multiplication des phénomènes climatiques extrêmes (sécheresse, inondation). Tous ces faits ont pour conséquence la détérioration de l'environnement de vie, ce qui pourra affecter la sécurité alimentaire dans nos localités. De cette situation sus décrite, il en résulte la dégradation des terres qui est l'un des problèmes qui aujourd'hui au Bénin compromet le développement et même la survie de la population (Igue, 2010). Selon Adjanohoun, (2013), les pratiques agricoles mal adaptées et inappropriées, la mauvaise application de certains produits chimiques notamment les engrais minéraux, les pesticides et autres produits de traitement phytosanitaires qui ont aussi parfois des effets nocifs sur les sols (réduction de la fertilité naturelle de sols) en seraient l'une des principales causes. Face à toutes ces photographies inquiétantes de notre environnement, plusieurs interrogations taraudent l'esprit de l'environnementaliste, au nombre desquelles :

Jusqu'où ira le combat entre l'homme et la nature ? Les ressources naturelles qui fournissent l'essentiel des besoins à l'homme, suffiront-elles à couvrir ces dernières pour longtemps ? Les méthodes qu'utilise l'homme pour tirer profit de la nature sont-elles les plus adaptées ? Que faut-il faire pour moins nuire à la nature ?

Les mesures d'atténuations des dégâts (Gestion durable des terres, gestion des ressources naturelles), telles qu'utilise l'homme aujourd'hui suffiront-elles à renverser la tendance dévastatrice des ressources naturelles ?

La bio capacité (BC) et l'empreinte écologique (EE) sont deux indicateurs utilisés pour évaluer

le niveau de consommation des ressources naturelles sur un espace donné. Le niveau pays est celui le plus couramment utilisé. Face aux défis d'accroissement de la population, ces indicateurs constituent de véritables socles pour apprécier à juste titre la capacité des ressources naturelles à supporter le rythme démographique, puisqu'il faut subvenir à ces besoins pour vivre. Le calcul de ces indicateurs nécessite d'importantes données quantitatives et qualitatives. L'organisme géniteur de ces

indicateurs, le Global Footprint Network (GFN), pour faciliter la tâche aux utilisateurs de ces indicateurs, calcule au niveau pays et rend disponible chaque année ces indicateurs et certaines autres données qui entrent dans le calcul. L'objectif de la présente étude est de faire dans le temps et dans l'espace, le bilan écologique du Bénin. Pour cela, la Bio capacité et l'empreinte écologique du Bénin seront mises à contribution.

3 MÉTHODOLOGIE

3.1 Milieu physique, climat, sol, végétation, potentialités : Le Bénin est un pays de l'Afrique de l'OUEST. Il est situé dans la zone tropicale, d'une part entre le tropique du Cancer et l'Equateur et d'autre part entre les parallèles 6°30' et 12°30' de latitude nord et les méridiens 1° et 30°40' de longitude est (www.gouv.bj, octobre 2019). Du nord au sud, le Bénin fait une longueur 700km. Sa largeur s'étend de 125 km à 325 km. La République du Bénin couvre une

superficie de 114.763 Km² (11.476.300 ha). On y trouve un réseau hydrographique important avec par moment des débordements de fleuves causant d'importantes inondations (surtout dans la vallée de l'Ouémé, le département du Mono, les communes septentrionales telles que Karimama, Malanville. En temps de fortes pluies, Cotonou, la capitale économique du Bénin reste majoritairement inondée. Porto-Novo est la capitale administrative du Bénin.

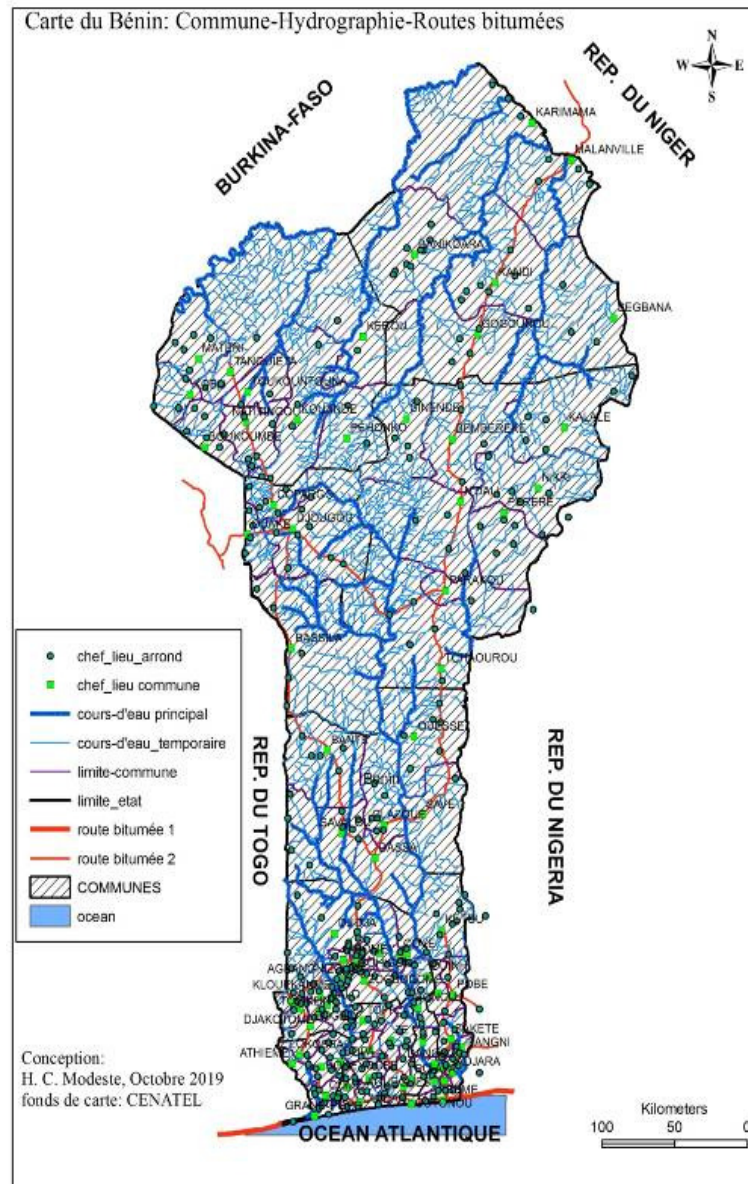


Figure 1 : Carte du Bénin

Le Bénin est caractérisé par deux zones climatiques, séparées par une zone de transition. On distingue la zone nord au climat de type tropical continental avec une saison pluvieuse et la zone sud au climat de type subéquatorial avec deux saisons pluvieuses par an. Au centre, le pays connaît un climat de transition qui est semblable au climat subsoudanien. Globalement, le Bénin dispose de 8.300.000 ha de terres arables (y compris les aires protégées et forêts classées) et 4.814.000 ha de terres réellement cultivables. Le pays dispose de 60.000 ha de bas-fonds, 117.000

ha de plaines inondables et vallées (MAEP, 2010). Dans les départements du Nord, les terres sont encore disponibles. La situation est relativement moins bonne dans le Zou Nord, et critique dans le Zou sud et les départements du Sud. Au plan intérieur, la consommation de la population repose sur les cultures vivrières. Les tendances à l'augmentation de la production vivrière résultent essentiellement d'une augmentation des surfaces, du fait de l'agriculture extensive pratiquée par les producteurs. Les principales cultures vivrières

sont le maïs, l'igname, le manioc, le sorgho, le niébé, le mil, l'arachide et le soja. Globalement, elles permettent de couvrir les besoins alimentaires de la population, mais sont encore beaucoup en deçà des potentialités qu'offrent les conditions écologiques du Bénin, à cause de l'insuffisance de mesures de gestion des risques liés au climat et catastrophes naturelles (sécheresse, inondations), des outils de transformation et de production encore rudimentaires. Les facteurs naturels directement liés à la production végétale se rapportent surtout au relief, au climat et à la pédologie. En dehors de la chaîne de l'Atacora, le Bénin présente un relief peu accidenté scindé en cinq (5) grandes régions géographiques à savoir : (i) la plaine côtière avec une altitude moyenne de 10 m; (ii) la zone intermédiaire argilo ferrugineuse appelée zone de barre avec une altitude variant entre 20 m et 200 m entrecoupée d'une dépression marécageuse (dépression de la Lama)

et parsemée de plateaux (Allada, Savè, Sakété, Aplahoué,); (iii) le plateau silico argileux (granite et gneiss) dont l'altitude varie entre 250 m et 300 m, couvert par une forêt clairsemée; (iv) le massif de l'Atacora de 400 à 700 m environ d'altitude localisé dans le Nord-Ouest constitue le "château d'eau" d'où prennent source plusieurs fleuves du pays et (v) les plaines silico argileuses du Nord descendant progressivement vers le bassin du fleuve Niger. Les sols dont dispose le Bénin sont principalement : (i) les sols minéraux (massifs de l'Atacora, plateaux gréseux de Kandi, Collines de Savè et Dassa); (ii) les vertisols (hydromorphe et lithomorphe) dans le sud Bénin; (iii) les sols à mull en bordure du fleuve Niger, de l'Alibori, à Djougou et Savalou et (iv) les sols sesquioxydes (ferralitiques et ferrugineux). Compte tenu des caractéristiques des sols, le Bénin est subdivisés en huit zones agro-écologiques.

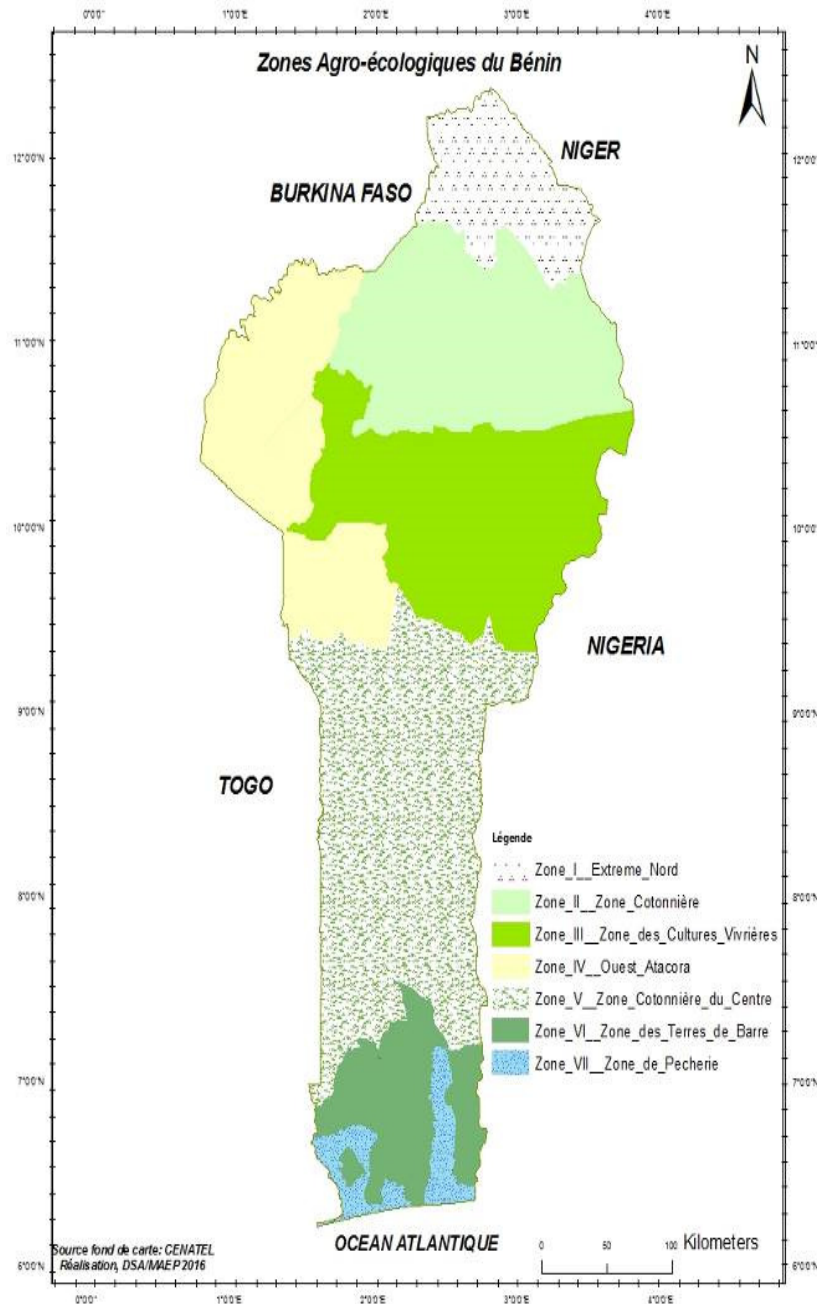


Figure 2 : Zones agro écologiques au Bénin

Source : MAEP, 2015

3.2 Milieu humain : Le Bénin compte actuellement 12 départements et 77 Communes. En 2013, la population du Bénin était estimée à 10 008 749 habitants contre 6 769 914 habitants en 2002 (INSAE, 2013). En 2013, il a été dénombré 5 120 929 personnes de sexe féminin, soit 51,2% de la population totale, contre 51,5%

en 2002). l'Atlantique avec une population de 1 398 229 habitants, soit 14,0% de la population totale, le Borgou avec 1 214 249 habitants (12,1%) puis l'Ouémé 1 100 404 habitants (11,0%) sont les départements les plus peuplés. Le taux annuel censitaire du Bénin est de 3,5%, entre 2002 et 2013, contre 3,25%, entre 1992 et

2002. La densité de la population était de 87,2 habitants au kilomètre carré en 2013, contre 59 en 2002, 43 en 1992 et 29 habitants au kilomètre

carré en 1979. Le graphe n°4 ci-dessous montre l'évolution de la population du Bénin entre 1960 et 2018. On note un accroissement régulier.

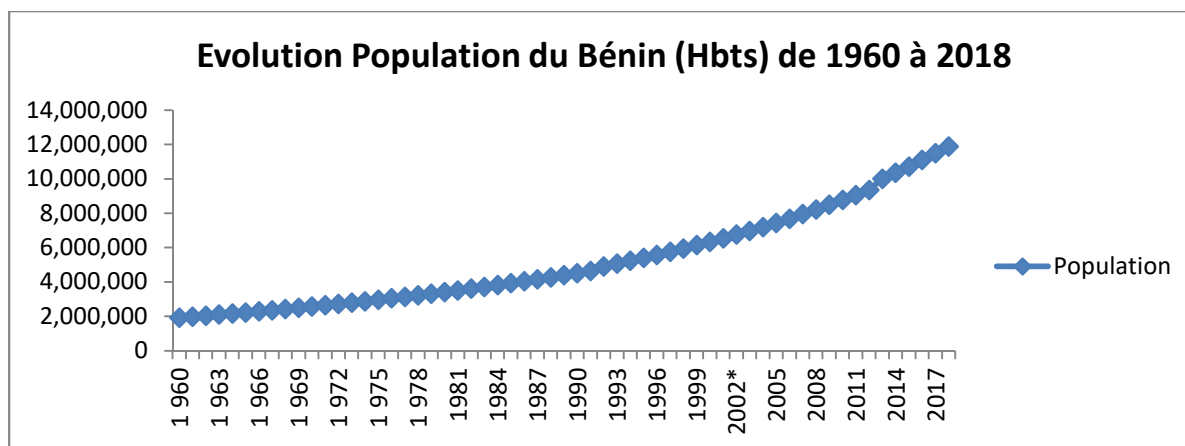


Figure 3: Evolution Population du Bénin (Hbts) de 1960 à 2018

3.3 Méthodes et données

Nous proposons d'utiliser le solde écologique dans nos calculs.

3.3.1 Sources des données: Pour atteindre les objectifs de cette étude, les activités suivantes ont été réalisées :

✓ une étude à partir de la documentation provenant notamment des institutions telles que le Ministère de l'Agriculture, de l'Élevage et de la Pêche (MAEP), le Centre National de Télédétection et de Surveillance de l'Environnement (CENATEL), l'Organisation des Nations Unies pour l'Agriculture et l'Alimentation (FAO), ;

✓ la collecte des données disponibles à l'Institut National des Statistiques et de l'Analyse Économique (INSAE), METEO-Bénin.

✓ le traitement et l'analyse des données recueillies.

L'étude documentaire a permis de faire la synthèse des informations disponibles sur les défis environnementaux face aux changements climatiques et l'accroissement de la population. Les données collectées sont relatives aux productions, aux superficies mises en cultures des principales spéculations pratiquées au Bénin. Ces spéculations qui constituent les majeures cultivées dans le pays sont : le maïs, le manioc, le niébé, l'arachide, le sorgho, le mil, la tomate.

Elles représentent environ 90% de la production nationale.

3.3.2 Les données utilisées proviennent de plusieurs sources :

1. Ministère de l'Agriculture, de l'Élevage et de la Pêche (MAEP) du Bénin. il s'agit des données des productions animales (quantités de viande, œufs, lait) et végétales (quantités produites, superficies, rendements). Ces données sont produites chaque année à l'occasion des enquêtes statistiques nationales ou par compilation de données administratives mensuellement collectées par des agents de terrain.

2. Les autres informations proviennent :

- du Global Footprint Network, (valeurs de l'empreinte écologique, valeurs de la bio capacité),

- l'Institut National des Statistiques et de l'Analyse Économique (INSAE) pour les données de démographie.

- Les bases de données du Programme des Nations unies pour le développement (PNUD), du Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE), de l'Organisation Mondiale de l'Environnement (OME) et d'autres ont été consultées pour les besoins d'analyse.

- Les données sur la pluviométrie, l'ETP, les températures, ont été obtenues au niveau de METEO-Bénin.

Ces informations ont été traitées et analysées avec les logiciels SPSS et Excel.

3.3.3 Méthode : La méthodologie utilisée s'articule autour des points essentiels tels, le choix des variables, le mode de détermination du solde écologique, de bilan écologique et de projection.

a) Détermination de l'empreinte écologique, la bio capacité et du solde écologique.

Selon le Global Footprint Network (GFN) (2012), l'Empreinte Ecologique(EE) est calculée

en convertissant les consommations de certaines ressources et les productions de certains déchets en surfaces biologiquement productives.

La Bio Capacité (BC) par contre, est calculée à partir d'un système de comptes qui additionne les consommations de plusieurs produits primaires après les avoir exprimées dans une même unité conventionnelle, appelée hectare global (gha). Autrement dit, elle fait la somme de surfaces distinctes (mutuellement exclusives), fournissant des ressources et assimilant des déchets, qui sont requises pour satisfaire la demande d'une population. Les modes de calcul de l'empreinte écologique et de la bio capacité (capacité écologique) sont schématisés dans la figure 4.

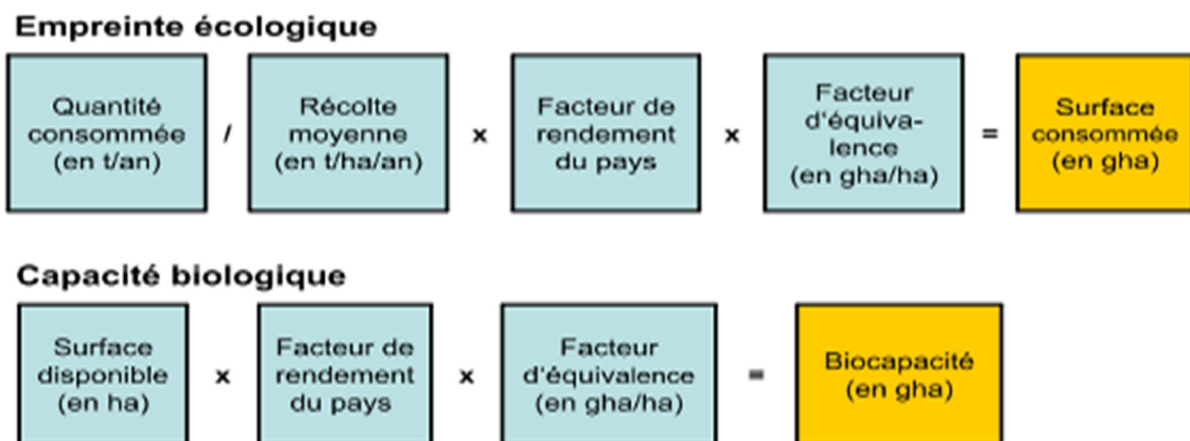


Figure 4 : Schéma du calcul de l'empreinte écologique et de la bio capacité (Source : GFN, 2010)

Le facteur d'équivalence permet de normaliser les différents types de surface. Il sert, par exemple, à rendre des terres agricoles comparables avec des zones de pêche en leur donnant une valeur de rendement égale

(Caldwell, Schindlmayr, 2002). Le facteur d'équivalence est calculé chaque année par le GFN au niveau mondial et est le même d'un pays à un autre

$$\text{Facteur d'équivalence} = \frac{\text{Rendement moyen mondial d'un type de surface (tonne/ha)}}{\text{Rendement moyen mondial de l'ensemble des types de surface (tonne/ha)}}$$

Le facteur de rendement est calculé à l'aide de la formule ci-dessous :

$$\text{Facteur de rendement} = \frac{\text{Rendement moyen national d'un type de superficie (tonne/ha)}}{\text{Rendement moyen mondial du même type de superficie (tonne/ha)}}$$

NB : « Type de superficie » ici est l'ensemble des superficies d'une catégorie de données (pour notre cas, on peut distinguer les superficies

utilisées pour les différentes formes de production (végétale, animale, halieutique). Le solde écologique (SE) d'un pays pour une période donnée se calcule en soustrayant la

valeur de l'empreinte écologique (EE), de celle de la Bio capacité (BC).

Donc, $SE=BC-EE$

Il est retenu certaines situations pour expliquer les résultats :

Si $SE > 0$, cela signifie que les besoins en ressources naturelles sont couverts par celles disponibles, c'est une situation souhaitée et heureuse ;

Si $SE < 0$, cela signifie que les besoins en ressources naturelles ne sont pas couverts par les ressources disponibles, c'est une situation non souhaitée ;

Si $SE = 0$, cela signifie que les besoins en ressources naturelles sont exactement couverts par les disponibles, c'est une situation critique et qui nous rappelle que nous mangeons tous nos biens sans rien laisser pour le lendemain.

b) Détermination de la relation entre le solde écologique et autres variables climatologiques/démographiques et de productions agricoles

Le solde écologique (SE) est la différence entre la Bio capacité et l'empreinte écologique. Dans notre cas, ce sont les données rendues disponibles par le GFN pour le cas du Bénin, qui seront utilisées pour faire le calcul. Pour les années dont les données manquent, elles seront comblées par une moyenne sur les cinq dernières années dans la série disponible.

Il sera ensuite testé l'existence d'une relation fonctionnelle (f) entre le solde écologique (SE),

la température, la pluviométrie, la population urbaine, la superficie cultivée, la production agricole des principales cultures, le taux d'urbanisation du Bénin.

Une forme fonctionnelle sera ensuite établie et un modèle linéaire expliquant la relation entre le solde écologique (SE) et les autres variables, sera retenue.

Les données utiles pour l'analyse sont donc :

- La Température ;
- L'évapotranspiration (ETP)
- La pluviométrie ;
- Le taux d'urbanisation / population urbaine:
- Production des principales spéculations végétales ;
- Superficie cultivée des principales spéculations végétales ;

Pour les données de production, les spéculations principales retenues sont : maïs, manioc, arachide, niébé, tomate, sorgho, mil. Ces spéculations sont de premières nécessités pour la consommation alimentaire des populations et représentent environ 90% de la production végétale nationale et même au niveau des communes productrices de vivriers au Bénin.

Il est avant tout important de montrer le comportement de certaines des variables considérées dans le modèle projeté.

c) Taux d'urbanisation

Pour la présente étude, le taux d'urbanisation a été calculé en divisant la population urbaine par la population totale.

4 RÉSULTATS ET DISCUSSION

4.1 Le bilan écologique au Bénin et perspectives : Les graphes n°5 et n°6 ci-

dessous montrent l'évolution du solde écologique du Bénin de 1960 à 2018

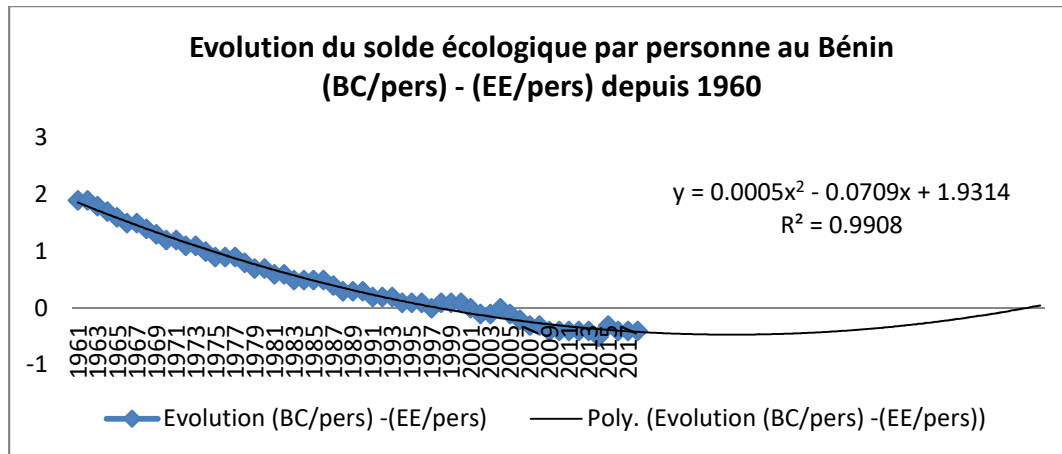


Figure 5: évolution du solde écologique par personne au Bénin

Le graphe ci-dessus montre que l'évolution du solde écologique suit une tendance polynomiale de degré 2 avec pour équation :

$$y = 0,0005x^2 - 0,0709x + 1,9314 \quad (1) ; \text{ avec } y=\text{valeur du solde écologique et } x \text{ le nombre d'années } (1)$$

Le solde écologique du Bénin depuis 1960 est resté positif mais décroît régulièrement au fil des ans pour se retrouver en dessous de zéro après l'année 2000. Cette situation est demeurée jusqu'en 2018. Une projection dans le temps avec l'outil Excel montre qu'au-delà de 40 ans

par rapport à 2018, c'est-à-dire après 2058, la valeur du solde écologique par personne au Bénin redeviendra positive pour continuer de croître (voir courbes ci-dessous). Ce qui signifie qu'entre 2000 et 2058, le solde écologique restera négatif.

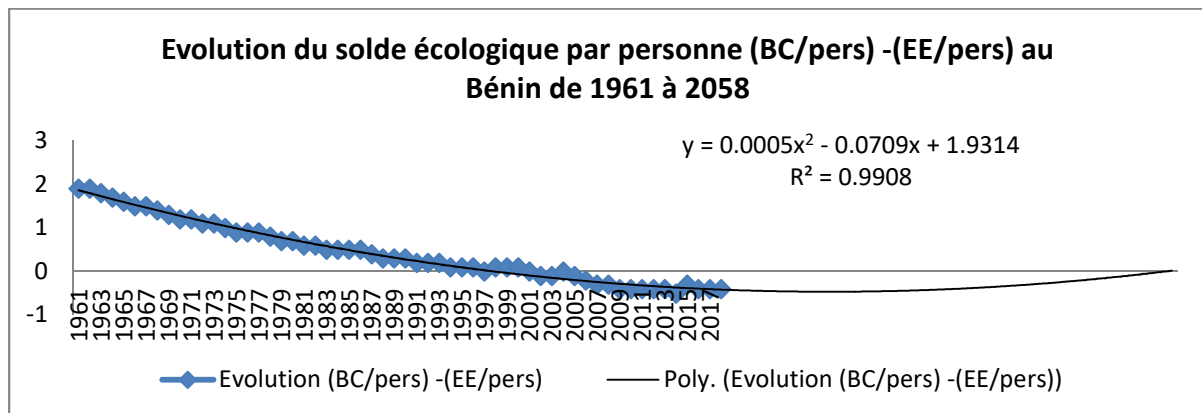


Figure 6 : Evolution du solde écologique de 1960 à 2058

Comme le montrent les figures (graphes) successives, la tendance positive sera gardée. Le niveau du solde sera régulièrement croissant après 2058.

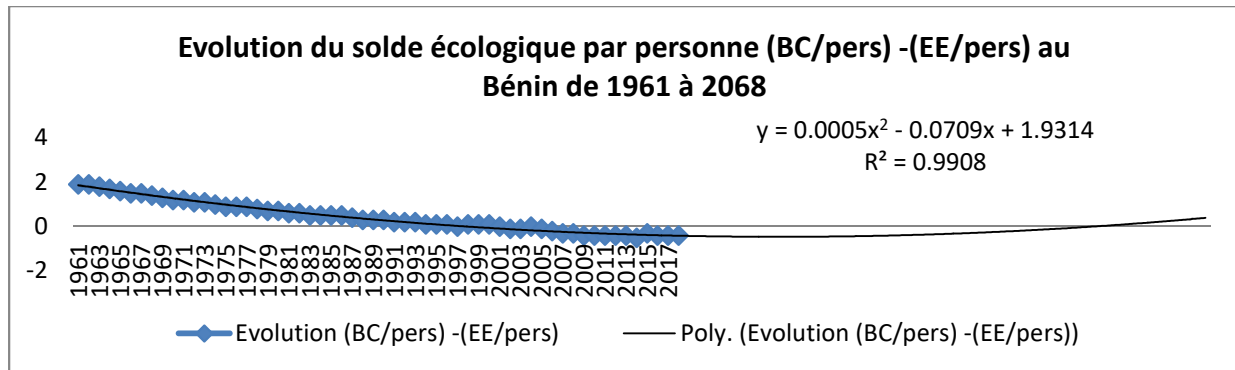


Figure 7 : Evolution du solde écologique de 1960 à 2068

Les analyses permettent globalement de retenir que : Entre 1960 et 2000, le solde écologique a été positif. Entre 2001 et 2058, le solde écologique reste régulièrement inférieur à zéro. Au-delà de 2058, le solde redeviendra positif pour croître pour longtemps. On peut donc conclure que toutes choses étant égales par ailleurs, la situation du solde écologique du Bénin redeviendra positive aux environs de l'année 2058 pour croître pendant longtemps. Qu'est-ce qui peut expliquer ce retournement heureux de situation ?

4.2 Les causes possibles du phénomène projeté après 2058 (SE >0): Ce phénomène projeté, semble être la combinaison de plusieurs facteurs : en effet, l'instauration de la journée de l'arbre au Bénin depuis dans les années 80, a donné un déclic à la prise de conscience par rapport au danger que constitue la dégradation de notre environ. Ainsi, chaque année, des milliers d'arbres sont plantés. Au-delà de cette initiative, le Bénin a été régulièrement présent aux des grands rendez-environnementaux internationaux. Pour respecter ses engagements pris dans le cadre des contributions climatiques des Etats (INDC), élaborées avant la COP 21, le gouvernement du Bénin a intégré les données environnementales dans ses stratégies de développement, afin de les soutenir en préservant la biodiversité. Des stratégies d'adaptation aux changements climatiques ont été élaborées et mises en œuvre. La gestion des dégradations environnementales (assainissement, déchets, érosion, pollution,) a connu plus d'attention. Les pratiques agricoles

qui préservent l'environnement et s'adaptent aux changements climatiques sont soutenues. Le Bénin dispose de nos jours, d'un cadre institutionnel adapté à la mise en œuvre des projets liés au changement climatique et à l'environnement. Il existe aussi un cadre d'élaboration et de mise en œuvre des politiques environnementales au ministère du Cadre de vie. Plusieurs structures jouent un rôle important dans la veille environnementale et climatique au Bénin, c'est le cas du Comité National sur les Changements Climatiques (CNCC), le Fonds National pour l'Environnement et le Climat (FNEC), la Commission Nationale de Développement Durable (CNDD). Des sensibilisations de la population au sujet de la protection de l'environnement se sont multipliées au fil des ans. ces actions sont parmi tant d'autres, celles qui ont favorisé la prise de conscience et par conséquent sont des facteurs qui favorisent un renversement de la situation critique de l'environnement. En supposant que ces situations vont perdurer dans le temps, on peut arriver à comprendre la remontée probable du solde écologique telle que le montre la projection vers 2058.

4.3 Analyse de la Relation fonctionnelle entre l'empreinte écologique et autres variables climatologiques/démographiques et de productions agricoles: L'Existence d'une relation fonctionnelle (f) significative entre l'empreinte écologique (EE), la température (T), la pluviométrie(P), la population urbaine(Pu), la superficie utile cultivée(Su) et la production agricole (pa) des principales cultures, le taux

d'urbanisation (Tu) du pays, méritent d'être analysée. Cela est nécessaire pour modéliser la relation.

La forme fonctionnelle du modèle est la suivante :

$$EE = f(T, P, P_u, S_u, T_u, p_a)$$

Les données utiles pour l'analyse sont donc :

- Données de Température :
- Données de pluviométrie :
- Données de population totale :
- Données de superficie utiles/cultivée pour la production agricole :
- Données de taux d'urbanisation / population urbaine:

- Données de production des principales spéculations végétales ;

- Données de superficie des principales spéculations végétales.

Pour les données de production, les spéculations principales retenues sont : maïs, manioc, arachide, niébé, tomate, sorgho, mil. Ces spéculations sont de premières nécessités pour la consommation alimentaire des populations.

- L'analyse sera faite avec les données de somme de superficies et celle des productions Il est avant tout important de montrer le comportement de certaines des variables considérées dans le modelé projeté.

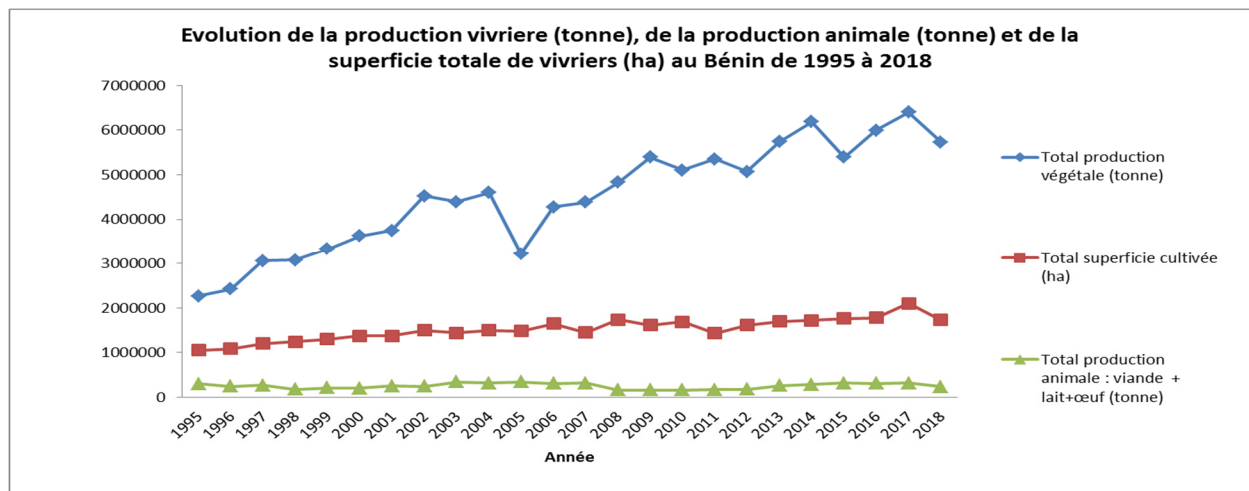


Figure 8 : Evolution de la production vivrière (tonne), de la production animale (tonne) et de la superficie totale de vivriers (ha) au Bénin de 1995 à 2018 :

La production vivrière et la superficie cultivée au Bénin croissent régulièrement de 1995 à 2018, tandis que la production animale est presque statique sur la période.

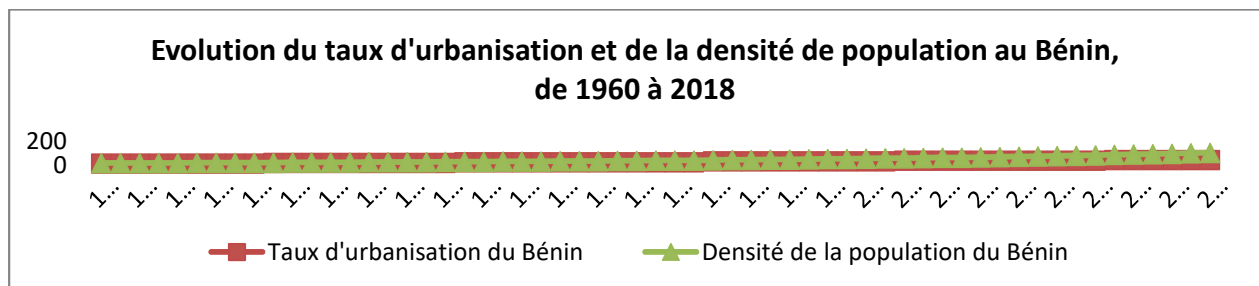


Figure 9 : Evolution du taux d'urbanisation et de la densité de population au Bénin, de 1960 à 2018 : Le taux d'urbanisation (population urbaine / population totale) et la densité de population évoluent de manière croissant, de 1960 à 2018.

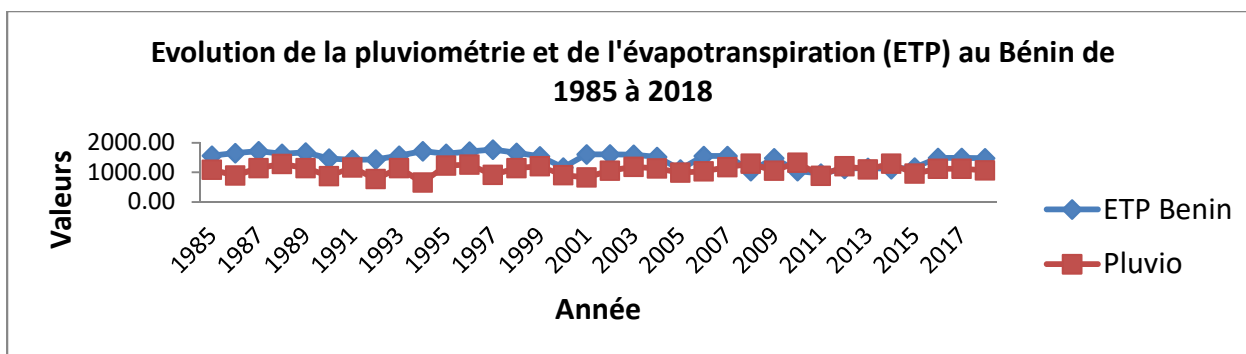


Figure 10 : Evolution de la pluviométrie et de l'évapotranspiration (ETP) au Bénin de 1985 à 2018 :

De 1985 à 2018, la pluviométrie et l'ETP du Bénin évoluent en dents de scie et les valeurs de l'ETP sont régulièrement et majoritairement au-dessus de celles de la pluviométrie.

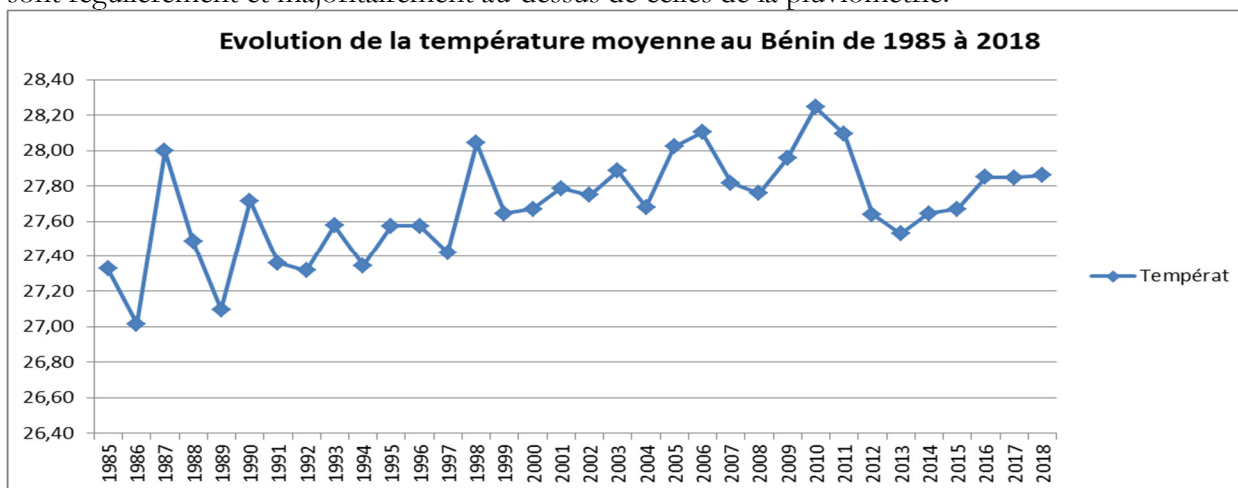


Figure 11 : Evolution de la température moyenne au Bénin de 1985 à 2018

De 1985 à 2018, la température moyenne au Bénin a varié entre 27°C et 28 °C avec un pic en 2010 à 28,2 °C. Les tests statistiques entre le solde écologique (BC-EE) du Bénin et les différentes variables dépendantes permettent d'obtenir les résultats des tableaux ci-dessous. L'analyse de Significativité a montré que les

variables pluviométrie et Total production animale : (viande + lait+œuf) n'expliquent pas significativement l'Evolution (BC -EE) totale au Bénin sur la période d'analyse. Donc, nous avons sorti ces variables de notre modelé. Les tableaux ci-dessous donnent les caractéristiques du modelé obtenu avec le reste des variables.

Tableau 1 : Récapitulatif des modèles

Modèle	R	R-deux	R-deux ajusté	Erreur standard de l'estimation	Changement dans les statistiques				
					Variation de R-deux	Variation de F	ddl1	ddl2	Sig. Variation de F
dimension01	,989 ^a	,978	,975	4,1494695E5	,978	330,399	7	51	,000

a. Valeurs prédites : (constantes), Densité de la population du Bénin, Evolution de la production halieutique (en tonne) (INSAE), Températ, ETP Benin, Total superficie cultivée (ha), Taux d'urbanisation du Bénin, Total production végétale (tonne)

Tableau 2 : Tableau ANOVA^b

Modèle		Somme des carrés	ddl	Moyenne des carrés	D	Sig.
1	Régression	3,982E14	7	5,689E13	330,399	,000 ^a
	Résidu	8,781E12	51	1,722E11		
	Total	4,070E14	58			

a. Valeurs prédites : (constantes), Densité de la population du Bénin, Evolution de la production halieutique (en tonne) (INSAE), Températ, ETP Benin, Total superficie cultivée (ha), Taux d'urbanisation du Bénin, Total production végétale (tonne)

b. Variable dépendante : Evolution (BC -EE) totale au Bénin

Tableau 3 : Tableau des Coefficients^a

Modèle	Coefficients non standardisés		Coefficients standardisés		t	Sig.	95,0% % intervalles de confiance pour B		Corrélations			Statistiques de colinéarité	
	A	Erreur standard	Bêta	t			Borne inférieure	Limite supérieure	Corrélation simple	Partielle	Partie	Tolérance	VIF
1 (Constante)	7998923,052	8297278,976	,964	,340									
Taux d'urbanisation du Bénin	-22883,697	23238,132	-,078	-,985	,329	-,69536,195	23768,800	-,939	-,137	-,020	,067	14,939	
ETP Benin	880,888	413,524	,061	2,130	,038	50,704	1711,072	,548	,286	,044	,522	1,916	
Températ	-123853,092	297984,921	-,010	-,416	,679	-722082,782	474376,599	-,470	-,058	-,009	,684	1,463	
Evolution de la production halieutique (en tonne) (INSAE)	-38,237	37,080	-,027	-,307	,1031	-112,678	36,204	-,290	-,143	-,021	,622	1,609	
Total production végétale (tonne)	-,529	,213	-,263	-,016	2,485	-,956	-,102	-,936	-,329	-,051	,038	26,499	
Total superficie cultivée (ha)	2,302	,881	,239	2,612	,012	,533	4,070	-,911	,344	,054	,051	19,746	
Densité de la population du Bénin	-91098,766	13554,855	-,843	-,000	6,721	-118311,273	-63886,260	-,986	-,685	-,138	,027	37,160	

a. Variable dépendante : Evolution (BC -EE) totale au Bénin

De l'analyse des tableaux, il se dégage que :
 Le solde écologique (Evolution (BC -EE) totale au Bénin) a une corrélation significative au seuil inférieur à 5% avec le taux d'urbanisation du Bénin, l'ETP Benin, la Température, la densité de population (hbts/km²), la production végétale totale, la superficie totale cultivée (ha), la production halieutique totale (tonne). Cette situation permet de dire que les variables ci-dessus citées expliquent significativement le

solde écologique. Le modelé à écrire prendra donc en compte ces variables. Par contre les variables telles que la pluviométrie du Bénin, la production animale totale n'ont pas de corrélations significatives avec le solde écologique BC – EE et ne peuvent donc expliquer valablement le solde écologique. Sur la base des différents coefficients des variables significatives, le modelé est de la forme :

$$\text{Solde écologique} = a_0 + a*\text{etp} + b*\text{temp} + c*tu + d*ph + e*pvt + f*stc + g*dp + \mu$$

etp=Evapotranspiration ; temp= température ; tu= taux d'urbanisation ; ph= production halieutique ; pvt= production végétale ; stc= superficie totale cultivée ; dp=densité de population

Il faut analyser la colinéarité. Suivant cette analyse de colinéarité, la tolérance est le pourcentage de la variable explicative non expliquée par les autres variables explicatives. Elle doit être en tout cas $> 0,3$. Quant au VIF (variance inflation factor) : degré d'augmentation de l'erreur lié à la multicollinéarité, il doit être inférieur à 4)

On remarque alors, que seules les variables : ETP Benin, Température, production halieutique (en tonne) passent avec succès, l'étape de la colinéarité. Mais de manière exceptionnelle, nous décidons de garder aussi les autres variables (Total production végétale (tonne) et Total superficie cultivée (ha), densité de population) dans le modèle car les enlever diminuerait considérablement le caractère hautement agricole et censitaire de l'empreinte écologique (et donc du solde écologique). Ainsi, le solde écologique est de la forme :

$$\text{Solde écologique(SE)} = a_0 + a \cdot \text{etp} + b \cdot \text{temp} + c \cdot \text{tu} + d \cdot \text{ph} + e \cdot \text{pvt} + f \cdot \text{stc} + g \cdot \text{dp} + \mu$$

Avec :

etp=Evapotranspiration ; temp= température ; tu= taux d'urbanisation ; ph= production halieutique ; pvt= production végétale ; stc=

superficie totale cultivée en production végétale, dp= densité de population. En considérant le tableau des coefficients estimés, le modèle devient :

$$\text{SE} = 7998923,052 + 880,888\text{etp} - 123853,092\text{temp} - 22883,697\text{tu} - 38,237\text{ph} - 0,529\text{pvt} + 2,302\text{stc} - 91098,766\text{dp} \quad (2)$$

Avec :

etp=Evapotranspiration ; temp= température ; tu= taux d'urbanisation ; ph= production halieutique ; pvt= production végétale ; stc= superficie totale cultivée en production végétale ; dp= densité de population.

On retient donc qu'au Bénin, le solde écologique (Bio capacité - empreinte écologique) pour une période (une année pour notre cas, suit la forme de l'équation (2). Cette forme fonctionnelle sera considérée valable en tout point/localité du Bénin. Elle pourra être utilisée pour déterminer le solde écologique globale d'une commune.

Mais dans ce cas, la fonction sera pondérée par le poids que représente la superficie de la commune par rapport à celle du pays. Les graphes plus haut montrent que l'évolution moyenne du solde écologique au Bénin suit une tendance polynomiale de degré 2 avec pour équation $y = 0,0005x^2 - 0,0709x + 1,9314$ (avec y =valeur du solde écologique et x le nombre d'années depuis 1960). Cette équation (1) est valable au Bénin et pourra être utilisée pour estimer, l'évolution du solde écologique dans le temps. On retiendra en somme que les deux équations (1) et (2) se complètent.

5 DISCUSSION

L'homme a tendance à consommer sans se soucier de l'avenir. La nature, en fournissant les ressources naturelles à l'homme, a besoin d'être sauvegardée pour continuer à donner aux hommes les ressources pour satisfaire leurs besoins. Après 1984, avec l'instauration de la journée nationale de l'arbre, une prise de conscience était née, même si elle n'était pas suffisante. Les multiples actions qui ont suivi cette nouvelle conscience écologique ont

quelque peu contribué à changer la tendance : il faut consommer les ressources de la nature mais penser à en sauvegarder pour les générations futures. Les indicateurs que sont l'empreinte écologique et la bio capacité permettent non seulement de mesurer le niveau de consommation des ressources mais aussi par le biais du solde écologique, on peut tenter de lever le voile sur le futur. Les modèles obtenus dans la présente étude permettent non seulement par

l'équation (1) en se basant sur la série historique, de voir les conséquences possibles (dans le temps) des actions issues de la prise de conscience, mais aussi par l'équation (2), d'étudier le comportement spatial du solde écologique au niveau donc des localités déconcentrées du pays. Nous sommes persuadés que ces modèles ne peuvent exprimer totalement la réalité dans le temps et dans l'espace qu'en supposant que toutes choses sont égales par ailleurs. Au cas où les conditions dans lesquelles les estimations ont été faites, vont changer, certaines imperfections pourraient subvenir.

6 CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

La présente étude a permis de comprendre que les actions de sauvegarde de la nature et des ressources naturelles ont de bonnes perspectives. Dans ce cas il importe d'accentuer ces actions pour si possibles raccourcir le délai des bonnes conséquences projetées. En effet, il a été remarqué que le solde écologique du Bénin est devenu négatif vers l'année 2000. Il est resté ainsi jusqu'en 2018. Il y restera en croissant pour ensuite redevenir positif vers l'année 2058. Le solde restera alors ascendant au-delà de cette année et certainement pour longtemps. Cette perspective même si elle est heureuse car permettra de dire que la restauration des ressources naturelles a atteint sa phase bénéfique, peut manquer de souffrir en chemin. Cette dernière analyse appelle donc à redoubler d'effort dans les actions de sauvegarder et de restauration qui se mènent déjà. Il importe donc que des dispositions conséquentes continuent d'être prises pour sauvegarder/régénérer les ressources naturelles et environnementales surtout que la population béninoise est croissante.

7 REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Caldwell J. C., Schindlmayr T. (2002). Historical Population Estimates: Unraveling the Consensus, *Population and Development Review* 28 (2): p.183-204.
- FAO, (2000) *Mesure du potentiel des terres agricoles*. Focus/2000. <http://www.fao.org/ag/fr/magazine/0012.sp1.htm> (consulté le

Néanmoins, les armes ici trouvées sont suffisamment solides pour aider l'environnementaliste à voir clair partout au Bénin et très loin dans le temps, les conséquences des actions de sauvegarde de l'environnement. En dépit des limites qu'elles présentent, l'EE et la BC constituent tout de même des outils importants pour l'appréhension de la capacité des terres d'une localité donnée à supporter le style de vie de sa population (Stiglitz *et al.*, 2010 ; Vitousek *et al.*, 1997).

Au nombre des actions recommandées on peut :

- accroître/susciter la sensibilisation des populations sur les textes qui régissent l'environnement dans la pratique des activités économiques ;
- prendre les dispositions pour sauvegarder les ressources naturelles notamment susciter/encourager les reboisements ;
- sensibiliser les populations sur les méfaits de l'utilisation abusive des produits chimiques (engrais minéraux, produits phytosanitaires...) dans l'agriculture et dans les activités de pêcheries ;
- inscrire dans tous projets /programmes les volets de sauvegarde/restauration de l'environnement que les études d'impact révèlent ou non des préjudices à l'environnement ;
- encourager les actions de nettoyage des plans d'eau, et de lutte contre les techniques de pêche qui appauvrissent les plans d'eau en produits aquatiques non matures.

18 septembre 2015)

- GLOBAL FOOTPRINT NETWORK (2012). *Method paper, Accounting for demand and supply of the Biosphere's regenerative capacity: the National Footprint Accounts' underlying methodology and framework*, 39p
- GLOBAL FOOTPRINT NETWORK (2014).

- Glossary. <http://www.footprintnetwork.org/en/index.php/gfn/page/glossary> (consulté le 10 septembre 2015).
- Houngbedji, Biau et Mama J. V. (2018). Agriculture et consommation ressources naturelles à Adjohoun, au Bénin, 52p
- Kitzes J. (2005). Current Methods for Calculating National Ecological Footprint Accounts. Science for Environment & Sustainable Society, Vol. 4 n° 1, p. 7.
- Stiglitz J. E., Sen A. Et Fitoussi J. P. (2010). Rapport CMPEs. Rapport de la Commission sur la mesure des performances économiques et du progrès social. France. 159 p.
- Vitousek P.M., Mooney H. A., Lubchenco J. Et Melillo J. M. (1997). Human domination on Earth's Ecosystems, *Science*, 277, p. 494–499. (<https://bj.ambafrance.org/Journee-mondiale-de-l-environnement-L-AFD-l-environnement-et-le-climat-au-Benin>, consulté le 22 octobre 2019. www.gouv.bj, consulté le 21 octobre 2019