

Soumis le : 26/01/2022

Forme révisée acceptée le : 22/06/2022

Correspondant : [ffolegamez@live.fr](mailto:ffolegamez@live.fr)



Revue  
Nature et Technologie

<http://www.univ-chlef.dz/revuenatec>

ISSN: 1112-9778 – EISSN: 2437-0312

## Diversité des services écosystémiques et utilisation des terres dans le paysage du socle Eburnéen au Togo

Fousseni FOLEGA\*, Komla Efiio DATCHE-DANHA, Abdel akim FOLEGA,  
Agbelessesi Yao WOEGAN, Kperkouma WALA, Koffi AKPAGANA

Géomatique et Modélisation des Ecosystèmes (GME), Laboratoire de botanique et écologie végétale (LBEV), Faculté des Sciences, Université de Lomé, TOGO

### Résumé

Les écosystèmes forestiers sont des greniers de ressources qui participent au développement socio-économique tout en préservant un cadre de vie sain. L'augmentation de la population entraîne des pressions qui dégradent les services écosystémiques à l'échelle des paysages, les empêchant de remplir leurs fonctions. Cette étude a pour but de déterminer la diversité des services écosystémiques, leurs spatialisations et de proposer un modèle spatial en faveur des politiques de résilience des communautés faces aux changements climatiques à l'horizon 2025. Dans le souci de maintenir un caractère écologique à cette étude seule les services d'approvisionnement, les services de régulation et les services de soutiens ont été pris en compte. Ainsi un inventaire des services écosystémiques basé sur des observations qualitatives suivant des grandeurs (1 : Peu important, 2 : Important, 3 : très Important) a été réalisé au sein de 99 placettes dans le socle éburnéen. Les données collectées sont soumises à des codifications, classifications avant le calcul des paramètres de statistiques descriptives. En fin, des analyses géo-relationnelles couplées aux analyses spatiales de type union/intersection sous QGIS ont été réalisées. Au total 15 différents types de services écosystémiques ont été évalués et regroupés dans les 3 sous classes (services d'approvisionnement, les services de régulation et les services de soutiens). L'analyse de la diversité des services écosystémiques a montré que les services d'approvisionnement sont peu importants dans 85 % des relevés en termes de disponibilité des bois d'œuvre, 76 % en termes de bois de services, 69 % en termes de productivité, 53 % en termes de bois énergies, 52 % en termes de produits forestiers non ligneux végétale. Cependant important dans 63 % des relevés en termes de chaumes et fourrages. Le service de soutiens est également important dans 59 % des relevés en termes d'infiltration de l'eau. Dans les différentes formes d'utilisation des terres, seuls les parcs agroforestiers ont présenté des services écosystémiques importants en termes d'approvisionnement (75 %) et de régulation (75 %). L'étude relevé également qu'en 2025, 1758,09 ha (1,83 %) des parcs agroforestiers, 80,22 ha (1,48 %) des zones urbaines et 1968,47 ha (11,15 %) des végétations marécageuses saisonnières selon le scénario RCP2.6<sup>1</sup> et 8316,74 ha (8,72 %) des parcs agroforestiers, 312,40 ha (20,91 %) des zones urbaines selon le scénario RCP8.5 pourrons s'adapter au changement climatique tout en assurant des services écosystémiques de qualité. C'est également une opportunité pour la mise en œuvre des mesures de restauration écologique en lien avec les programmes [Agenda 2063](#)<sup>2</sup> et [AFR100](#)<sup>3</sup> au profit des zones urbaines.

Mots clé: Services écosystémiques ; Utilisation des terres ; Model de résilience ; Socle éburnéen ; Togo.

### *Diversity of ecosystem services and land use in the Eburnean basement landscape of Togo*

### Abstract

Forest ecosystems are storehouses of resources that contribute to socio-economic development while preserving a healthy living environment. Population growth leads to pressures that degrade ecosystem services at the landscape scale, preventing them from fulfilling their functions. The study aims to determine the diversity of ecosystem services, their spatialization and to propose a spatial model with the perspective to optimizing them in favor of the resilience of communities in context of climate change by 2025. The study has required an inventory ecosystem services carried out within 99 plots in the Eburnean landscape. In order to maintain the ecological character of this study, only provisioning, regulating and supporting services were taken into account. Thus, an inventory of ecosystem services based on

<sup>1</sup> « RCP (Representative Concentration Pathway) : sont des trajectoires de concentration (et non d'émissions) de gaz à effet de serre adoptée par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). Les trajectoires, aux nombres de six, décrivent différents scénarios climatiques possibles en fonction du volume de gaz à effet de serre (GES) émis dans les années à venir ». <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0148-z>

<sup>2</sup> Le plan d'action et plan directeur de l'Afrique pour transformer l'Afrique en une puissance mondiale de l'avenir. <https://au.int/en/agenda2063/overview>

<sup>3</sup> Initiative pour la restauration des paysages forestiers africains. <https://afr100.org/>



Ceci est un document en libre accès selon les termes de [Creative Commons Attribution License CC-BY](#), ce qui permet de le partager, copier, reproduire, distribuer, communiquer, réutiliser ou de l'adapter avec l'obligation de créditer son auteur.

qualitative observations according to magnitudes (1: Not very important, 2: Important, 3: Very important) was carried out in 99 places in the Eburnian bedrock. The collected data are subjected to coding and classification before the calculation of descriptive statistics parameters. Finally, geo-relational analyses coupled with spatial analyses of the union/intersection type under QGIS were carried out. A total of fifteen (15) different types of ecosystem services have been assessed and grouped into 3 sub-classes (provisioning services, regulating services and supporting services). The analysis of the diversity of ecosystem services showed that provisioning services are higher importances in 85 % of the surveys in terms of timber availability, 76 % in terms of service timber, 69 % in terms of productivity, 53 % in terms of fuel wood and 52 % in terms of plant non-timber forest products. However, are important in 63 % of sampling in terms of stubble and fodder. The support service is also important in 59 % of the surveys in terms of water infiltration. In the different forms of land use, only agroforestry parks presented significant ecosystem services in terms of supply (75 %) and regulation (75 %). The study also noted that in 2025, 1758.09 ha (1.83 %) of agroforestry parks, 80.22 ha (1.48 %) of urban areas and 1968.47 ha (11.15 %) of vegetation seasonal marshes according to the RCP2.6 scenario and 8316.74 ha (8.72 %) of agroforestry parklands, 312.40 ha (20.91 %) of urban areas according to the RCP8.5 scenario will be able to adapt to climate change while by providing quality ecosystem services. It is also an opportunity for the implementation of ecological restoration measures in connection with the agenda 2063 and AFR100 programs for the benefit of urban areas.

Keywords: Ecosystem services; Land use; Resilience model; Eburnean base; Togo.

## 1. Introduction

Les écosystèmes forestiers contribuent de manière importante à la lutte contre la pauvreté, au développement socioéconomique, à la sécurité alimentaire et à la préservation d'un environnement sain [1]. Ils jouent un rôle important dans l'équilibre global de carbone et représentent l'un des plus importants éléments déterminant dans l'atténuation des changements climatiques [2]. En zones soudaniennes et sahéliennes, les écosystèmes forestiers sont perçus comme des sanctuaires indéniable pourvoyeurs de services écosystémiques d'approvisionnement (en nourriture, eau, bois et fibres), de régulation du climat (Cycle climatologique, hydrologique), de soutien aux processus naturels (pédogénèse, cycle nutriments, photosynthèse) et culturels (Paysages, sources de loisirs et de satisfactions esthétiques et spirituelles) [3]. Pourtant, ils subissent des pressions anthropiques croissantes causées par l'urbanisation, les changements d'usage des terres, le prélèvement des bois et le pâturage conduisant à leurs dégradations [4]. Cette dégradation des écosystèmes entraîne des modifications des formations végétales et l'érosion de la biodiversité [5]. De plus la plupart des paysages de par le monde sont modifiés ou transformés par les activités humaines engagées pour répondre aux besoins socio-économiques des populations [6]. Cela conduit à la fragmentation et à la perte d'habitats de la faune et de la flore. Ces phénomènes sont inquiétants pour la gestion de la biodiversité et le fonctionnement des écosystèmes.

En Afrique, la perte de la superficie des écosystèmes forestiers est estimée à 5,2 % soit une perte de 3,4

millions d'hectares par an entre 2000 et 2010 [5]. Particulièrement en Afrique Occidentale, ils font face à une extension accrue des aires de production agricole et des agglomérations engendrant une réduction progressive de l'étendue des surfaces boisées [7] et une déstabilisation de la structure des sols [8]. Ces menaces ont attiré l'attention des communautés scientifiques et internationales à réfléchir sur les mesures nécessaires pour améliorer la conservation et la gestion durable des écosystèmes [9].

Au Togo, l'analyse de l'utilisation des terres sur plusieurs décennies traduit une grande variation des formes d'utilisation des terres sources de la dégradation du couvert végétal [12,13]. Les écosystèmes et les terres forestières au nord du Togo, sont sous une forte emprise humaine traduisant le degré élevé de coexistence entre la strate herbacée et la strate ligneuse [14]. Ces ressources subissent de fortes pressions anthropiques du fait de l'explosion démographique et d'un système culturel purement extensif [15].

Vu l'ampleur de la situation, le pays a intégré en 2013 le programme de Réduction des Emissions dues à la Déforestation et à la Dégradation des forêts plus (REDD +) dans son plan national de développement. Cependant il n'existe que peu d'études et de connaissances disponibles sur les services écosystémiques pour véritablement mesurer ou apprécier la contribution des écosystèmes au bien-être de la population [16,17]. La présente étude dans le paysage du socle éburnéen vise à contribuer à la prise en compte des services écosystémiques dans la gestion durable des paysages. Plus spécifiquement il s'agit de déterminer la

diversité des services écosystémiques et leurs spatialisations ; d'établir une relation entre services écosystémiques et les formes d'utilisation des terres ; et de proposer un modèle spatial en vue d'optimiser les services écosystémiques en faveur de la résilience des communautés faces aux changements climatiques.

## 2. Matériels et Méthodes

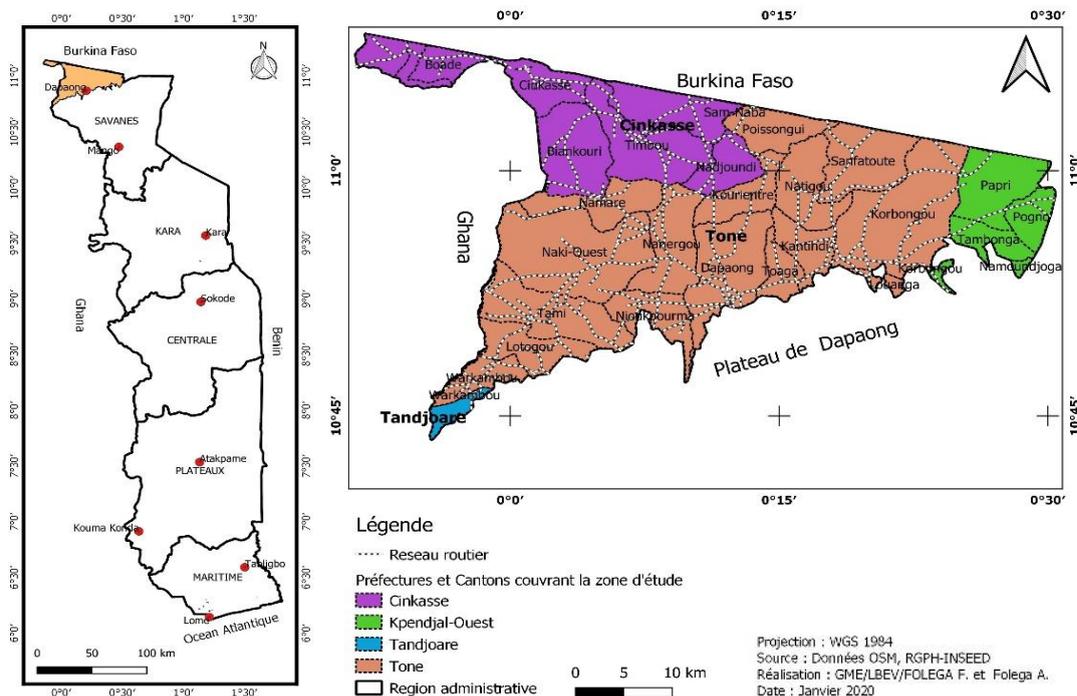


Figure 1. Localisation de la zone d'étude

Le paysage du socle Eburnéen est une pénéplaine constituée d'un vaste ensemble de terrains très plissés, métamorphisés et largement granitisés sur lequel repose en discordance des terrains sédimentaires du bassin de la volta formant la couverture [18]. Il s'agit d'un socle très ancien qui s'étend sur une grande partie de l'Afrique occidentale dont la bordure est située en territoire togolais. Le socle Eburnéen est principalement constitué de granite et de gneiss très hétérogènes même à une échelle métrique. Il comprend également des amphibolites et des amphibolo-pyroxénites qui affleurent sous forme d'auréoles de bandes quelques hectares [18].

Deux types de sols se sont développés sur le socle Eburnéen. Il s'agit des sols peu évolués d'apport (sols

### 2.1. Milieu d'étude

Le socle Eburnéen est situé au nord-ouest du Togo dans la région des Savanes (Figure 1). L'affleurement s'observe entre  $-0^{\circ}14'$  et  $0^{\circ}49'$  LE et  $10^{\circ}77'$  et  $11^{\circ}11'$  LN. Ce paysage a une superficie de  $1\,293\text{ km}^2$  [18], soit 13,4 % de la région des Savanes [19].

ferrugineux tropicaux lessivés à faible profondeur) et des sols peu évolués d'érosion. En dehors des deux principaux types, on retrouve également ; des sols hydromorphes formés des alluvions déposées par les cours d'eau. Le socle Eburnéen est drainé par plusieurs cours d'eau relevant des sous bassins de la Volta blanche et de l'Oti. Les plus importants sont entre autres le Biankouri, Oubiario et le Zintagou [19].

Le paysage du socle Eburnéen jouit d'un climat tropical soudanien à deux saisons [18]. Une saison sèche d'environ sept mois (octobre à avril) et une saison des pluies couvrant une période relativement courte (mai à septembre). Les températures oscillent entre  $23$  et  $32\text{ }^{\circ}\text{C}$  en saison sèche et entre  $22$  et  $34\text{ }^{\circ}\text{C}$  en saison des pluies. La température moyenne annuelle dans cette zone est de

28 °C [22,23]. La quantité de pluies varie entre 800 et 1100 mm [19]. Le socle Eburnéen est sous l'emprise de l'harmattan et de la mousson, qui s'installe respectivement en saison sèche et en saison pluvieuse.

Sur la base des travaux de recherche menés en 2019, quatre formes d'utilisations [20] majeures des terres ont été identifiées. Il s'agit :

Des zones de végétation marécageuses saisonnières complètement dominées par les espèces de *Dichrostachys cinerea* (L.) Wight & Arn. (46 %), *Azadirachta indica* A. Juss. (13 %), *Sarcocephalus latifolius* (Smith) Bruce (9 %), *Vitellaria paradoxa* Gaertn. f. (9 %), *Acacia sieberiana* DC. (7 %). Ce sont des zones humides, où l'eau réside en permanence en faible couche, dominée par les herbacées.

Des parcs agroforestiers constitués essentiellement de *Vitellaria paradoxa* Gaertn. f. (26 %), *Azadirachta indica* A. Juss. (24 %), *Dichrostachys cinerea* (L.) Wight & Arn. (3 %), *Anogeissus leiocarpus* (DC.) Guill. & Perr. (4 %). Les agro systèmes sont en majorité sur des sols argilo- sableux soit (32,78 %). Cependant, on y rencontre d'autres sur des sols cuirassés (09,83 %), argileux (14,75 %) et sableux (04,71 %).

Jardins de case/trame urbaine à majorité *Senna siamea* (Lam.) Irwin & Barneby (51 %), *Azadirachta indica* A. Juss. (18 %), *Mangifera indica* L. (5 %), *Lannea microcarpa* Engl. & K. Krause (4 %), *Moringa oleifera* Lam. (4 %). Elle résulte en majorité de la transformation régressive des parcs agro forestiers et s'étale sur des sols argileux à argilo-sableux soit 14,75 % des types de sols à l'échelle du paysage.

Savanes dégradées dominées par *Vitellaria paradoxa* Gaertn. f. (10 %), *Dichrostachys cinerea* (L.) Wight & Arn. (11 %), *Vitex doniana* Sweet (3 %), *Terminalia laxiflora* Engl. (3 %). Ces savanes occupent majoritairement des sols cuirassés (47,1 %) et des sols sableux (16,3 %) des différents types de sols. Le niveau du drainage des savanes est estimé à 32,7 %. Seul 6,53 % de la superficie des savanes est soumise à des pratiques culturelles.

Tout comme les ressources végétales, la faune subit de fortes pressions dues à la croissance démographique

et à l'urbanisation. Outre les feux de végétations couplés au braconnage, d'autres pratiques cynégétiques basées sur l'abattage illicite de la faune représentent un grave danger pour la faune sauvage dans cette zone [21]. Cependant, il dispose d'une faune aquatique dominée par *Synodontis obesus*, *Hepsetus odoe*, *Labeo coubie*, *Gymnarchus niloticus*, *Heterotis niloticus*, *Paraphiocephalus obscurus*, *Pelmatochromis guntheri*, *Tilapia zillii*, etc. Les reptiles représentés *Crocodylus niloticus*, *Python sebae*, *Varanus* y sont rencontrés dans les écosystèmes et agrosystèmes. L'avifaune très diversifiée est à dominance pélican (*Pelecanus* sp.) et jabiru du Sénégal (*Ephippiorhynchus senegalensis*). La population de la zone est estimée de 253 566 habitants selon le 4ème Recensement Général de la Population et de l'habitat réalisé en 2010 [22]. Cette population est inégalement répartie dans 29 cantons qui couvrent quatre préfectures (Cinkassé, Tône, Kpendjal et Tandjoare) et est exclusivement composée des groupes socioculturels tel que les Moba, Gourma, Mamproussi, Yanga, Bissa et Peuls. Les revenus des ménages de ce paysage sont basés essentiellement sur l'agriculture, l'élevage et la commercialisation des produits agricoles. Sur les marchés locaux, le mil, le sorgho, le soja, le maïs sont des céréales couramment rencontrées. D'autres produits tels que les produits saisonniers comme la patate douce, les ignames, le manioc, les produits maraichers et les fruits spontanés (Karité, Raisinier, Vitex, etc.) ne sont pas du reste. On y trouve aussi des produits de la pêche (anguilles, silures, carpe, crabe) et de l'élevage (volaille, fromage, bétails). Les marchés sont les lieux publics où se déroulent les transactions. La plupart de ces marchés sont bihebdomadaires dans les grands cantons [23].

## 2.2. Collecte des données de terrain

À partir du fichier vecteur du socle éburnéen et du logiciel QGIS 3.83 [24], 99 points à maille régulière de 5 km ont été posées afin de générer de façon aléatoire et systématique les placettes d'inventaire (Figure 2).

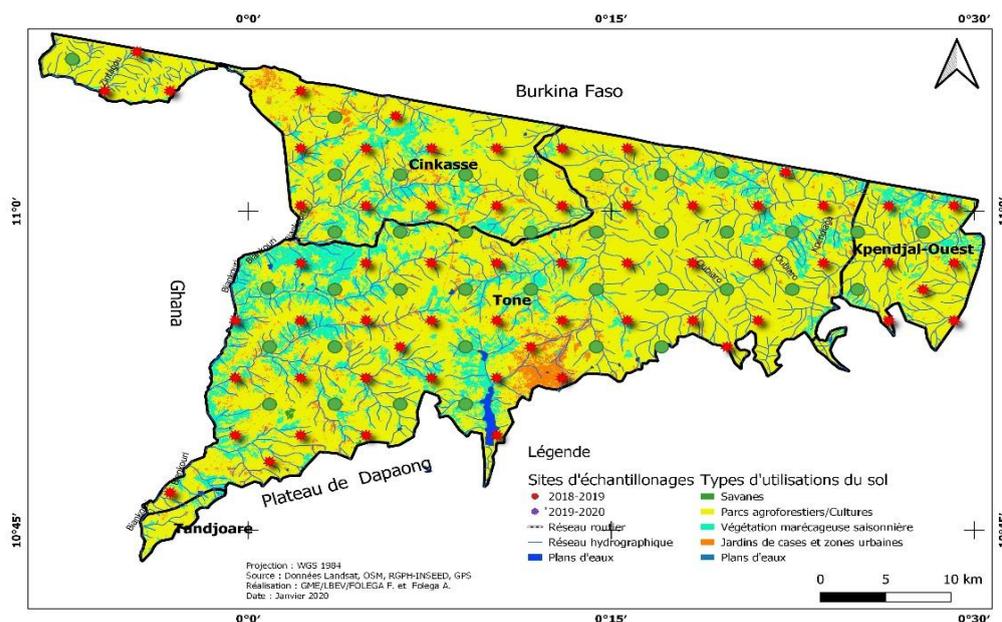


Figure 2. Présentation des 99 points d'étude

Les points d'échantillonnage ont été traqués à partir de l'application MapsME installé sur un téléphone portable. À chaque point d'échantillonnage un quadra de 1 ha soit 100 m×100 m a été établi grâce au penta décimètre et au GPS.

### 2.3. Inventaires des services écosystémiques et leurs spatialisations

L'inventaire des services écosystémiques dans le socle éburnéen a pris en compte la disponibilité des différents types de services écosystémiques. Il s'agit notamment des types de services tels que les produits forestiers non ligneux (PFNL) végétal, le bois-énergie, les bois d'ouvres, les chaumes, la proportion des cultures, la litière, le drainage, le recouvrement général, l'infiltration de l'eau et l'absence/présence feu de végétation. Ces paramètres sont notés en utilisant une échelle à trois grandeurs : « peu important », « important » et « très important ».

Les types de services écosystémiques inventoriés ont été regroupés suivant les trois premières sous classes de services écosystémiques à savoir : services d'approvisionnements, de régulation et de soutien. Les fréquences des différents types de services écosystémiques dans l'ensemble des relevés ont été évaluées en fonction de leurs grandeurs et regroupé dans

leurs sous classes respectifs.

Les différents types de services écosystémiques ont été réorganisés dans les différents relevés en fonction de leurs grandeurs (peu important, important et très important) et de leurs sous classes (services d'approvisionnement, de régulations et de soutiens). Les moyennes par relevé des différents types de services écosystémiques dans les trois sous classes géolocalisées en fonction des sites d'inventaires ont été déterminées et soumises à une analyse géotraitement et géostatistique de type interpolation sous QGIS 2.18. Ainsi une distribution des services écosystémiques par sous classe a été mise en évidence sur l'ensemble du paysage du socle éburnéen.

### 2.4. Modèle spatiale de résilience (SE) en fonction des paramètres climatique à l'horizon 2025

Les observations faites sur le terrain ont permis de distinguer 4 formes d'utilisation des terres à savoir : les cultures-champs, les parcs agro forestiers, les jardins de cases-zones urbaines et les savanes dégradées. Pour établir la relation entre les services écosystémiques et les formes d'utilisation des terres, le vecteur relatif à la carte de végétation (2017), couplée aux fréquences des différents types de services écosystémiques évaluées dans les différentes formes d'utilisation des terres en

fonction de leurs grandeurs et de leurs sous classes respectifs.

Ainsi les moyennes des trois sous classes de services écosystémiques géolocalisées en fonction des sites d'inventaires ont été croisées avec les données démographiques (échelle du canton), des données des formes d'utilisation de l'année 2017 et des données climatiques (température et précipitation) extraites dans les scénarios climatiques de la troisième communication nationale sur les changements climatiques à l'horizon 2025. Cette masse de données codifiées suivant un gradient de vulnérabilité a été soumise à une analyse spatiale de type intersection sous QGIS 2.18.

### 3. Résultats

#### 3.1. Diversité des services écosystémiques et leurs spatialisations

##### 3.1.1. Analyse des différents services écosystémiques

Les différents types de services écosystémiques évalués dans le paysage du socle éburnéen sont au

nombre de 15. Ces types de services écosystémiques appartiennent essentiellement aux catégories de services d'approvisionnement, de régulation et de soutien. Parmi les 15 types de services écosystémiques, 6 soit un taux de 40 %, correspondent aux services d'approvisionnements, 5 soit un taux de 33 %, sont des services de soutien et 4 soit un taux de 27 %, correspondant aux services de régulation.

##### 3.1.2. Services d'approvisionnement

Il ressort de cette analyse que les services d'approvisionnement du paysage du socle éburnéen sont peu importants dans 85 % des relevés en termes de disponibilité de bois d'œuvre, 76 % en termes de bois de service, 69 % en termes de productivité, 53 % en termes de bois énergies, 52 % en termes de produits forestiers non ligneux (PFNL) et important dans 63 % des relevés en termes de disponibilité de chaumes et de fourrages. On constate également que 44 % des relevés ont des PFNL importants. C'est aussi le cas pour les bois énergies qui sont importants dans 42 % des relevés (Figure 3).

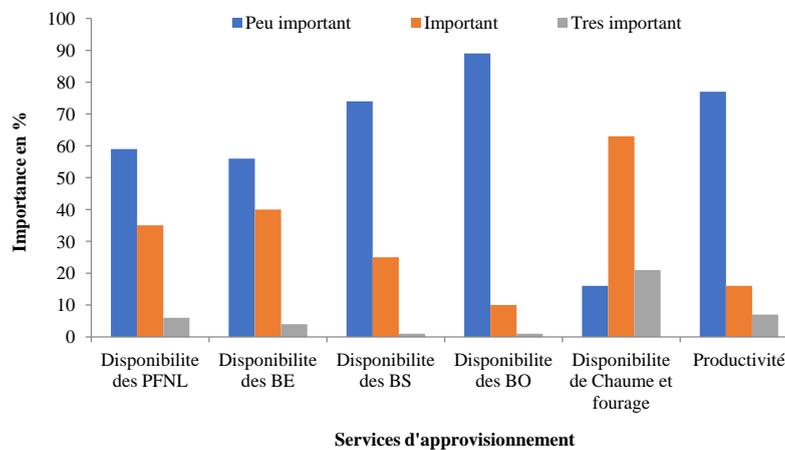


Figure 3. Niveaux d'importance des services d'approvisionnement (PFNL : Produits Forestiers Non Ligneux, C-F : Chaume et Fourrage, BE : Bois Énergie, BS : Bois de Services, BO : Bois d'œuvre)

Les services écosystémiques d'approvisionnement sont moyennement repartis dans les relevés situés vers le

Nord-Ouest et le Sud-ouest et élevés dans les relevés situés vers l'Est du centre du socle éburnéen (Figure 4).

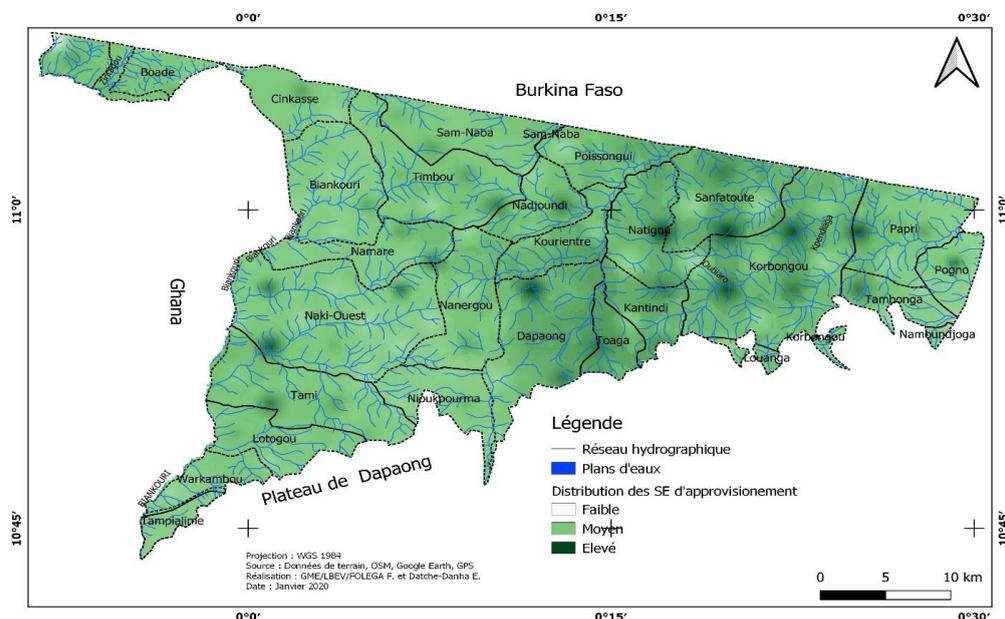


Figure 4. Spatialisation des services d'approvisionnement

### 3.1.3. Services de régulations

Les résultats de cette analyse montrent que les services de régulation dans le paysage du socle éburnéen sont peu importants en termes d'évaluation de l'équivalence en tonne du CO<sub>2</sub>, de la densité, du stock de carbone et de la surface terrière dans respectivement 68 %, 66 %, 63 % et 44 % des relevés. Les résultats montrent également que les services de régulation sont importants dans 40 % des relevés en termes de surface terrière, 30 % en termes de stock de carbone, 24 % en termes de densité des ligneux et 21 % en termes d'équivalence en tonne du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) (Figure 5).

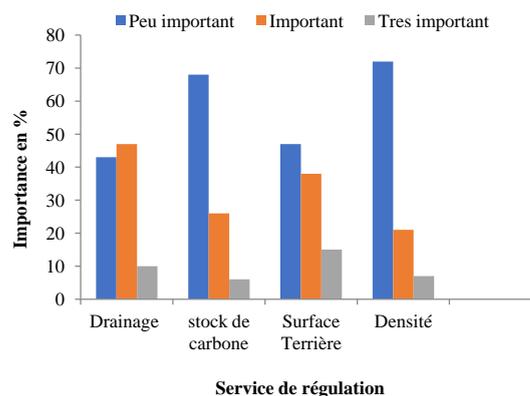


Figure 5. Niveaux d'importance des services de régulation

On constate que les services écosystémiques de régulation sont faiblement répartis dans les relevés situés vers le Sud-Ouest du socle, moyens vers le centre et élevés dans les relevés situés vers le Sud-Est et le Nord-Ouest du paysage du socle (Figure 6).

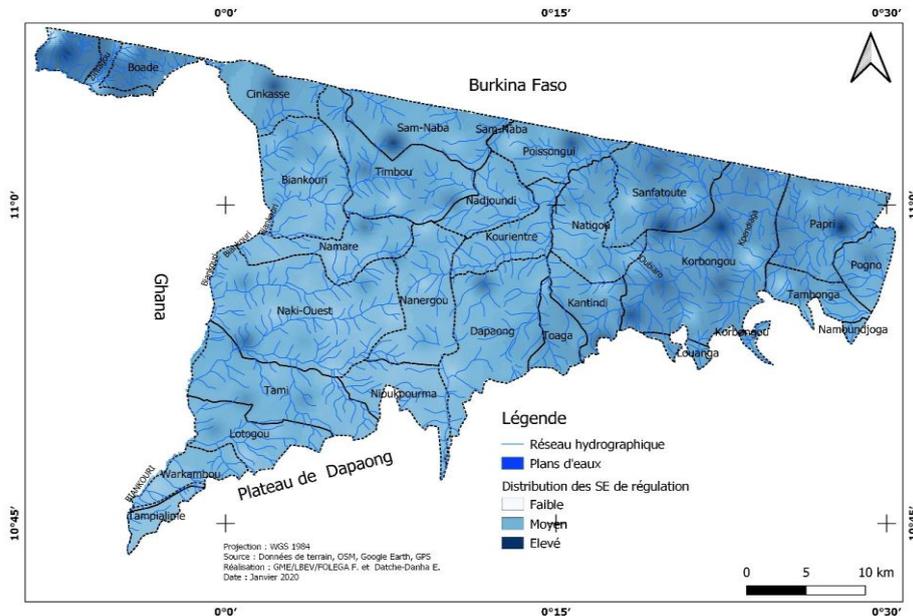


Figure 6. Spatialisation des services de régulations

#### 3.1.4. Services de soutien

Le traitement révèle que les services de soutien dans le paysage du socle éburnéen sont peu importants dans 75 % des relevés en termes de disponibilité de la litière, 73 % en termes de recouvrement des ligneux, 49 % en termes de drainage et d'intensité de feu de végétation et important dans 59 % des relevés en termes de l'intensité d'infiltration de l'eau. On constate également que les

services de soutien sont affectés dans 43 % des relevés par d'importante intensité de feu de végétation. Cependant, 42 % de la zone échantillonnée sont relativement bien drainés (Figure 7).

La distribution des services écosystémiques de soutien est faible dans les relevés situés au Sud-Ouest du socle, moyens vers l'Ouest du centre et élevé au Nord-Est du socle comme le montre la figure 8.

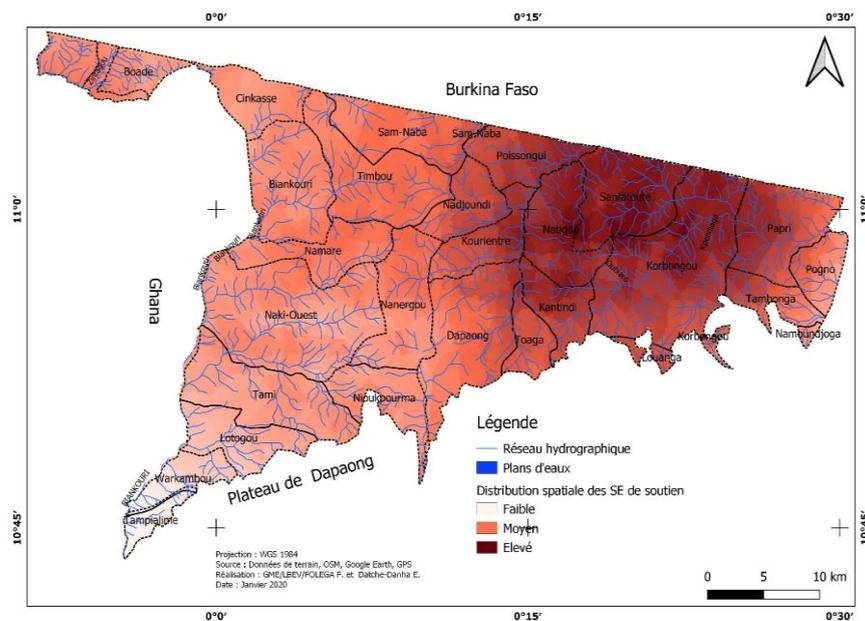


Figure 8. Spatialisation des services de soutiens

### 3.2. Relation entre services écosystémiques et forme d'utilisation des terres

Les observations faites à travers les 99 points échantillonnés à l'échelle de la zone d'étude ont permis de distinguer quatre formes d'utilisation des terres : les cultures-champs (69 %), les parcs agroforestiers (12 %), les jardins de cases-zones urbaines (11 %) et les savanes dégradées (6 %).

L'analyse des services écosystémiques dans les différentes formes d'utilisation des terres dans le paysage du socle éburnéen révèle une disponibilité peu importante des services d'approvisionnement dans les jardins de cases-zones urbaines (65 %), les cultures-champs (60 %), les savanes dégradées (58 %) et une importante disponibilité dans les parcs agroforestiers (51 %).

Les services de régulation sont peu importants dans 72 % des savanes dégradées, dans les jardins de cases-zones urbaines (71 %) et dans les cultures-champs (65 %). Quant aux parcs agroforestiers, il ressort qu'ils sont disponibles en une quantité importante dans (63 %).

Les services de soutiens sont peu importants (85 %) dans les jardins de cases-zones urbaines, dans les parcs agroforestiers (55 %) et dans les cultures-champs (53 %). Par contre, on constate que les services de soutien sont peu importants 50 % et importants 50 % dans les savanes dégradées.

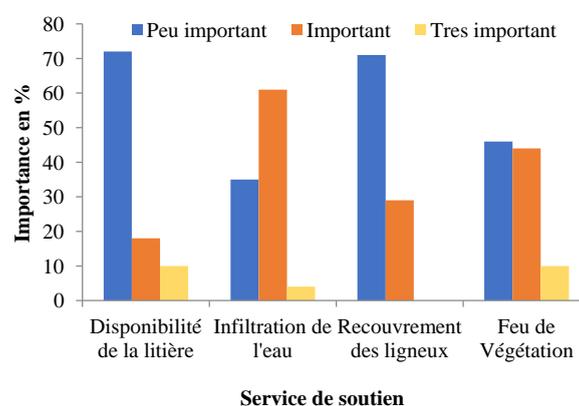


Figure 7. Niveaux d'importance des services de soutien

#### 3.2.1. Services d'approvisionnement et les formes d'utilisations des terres

Il ressort de cette analyse que les services d'approvisionnement sont peu importants dans les champs en termes de disponibilité de bois d'œuvre, de bois de service, de produits forestiers non ligneux (PFNL), de bois énergies, de productivité et important en termes de disponibilité de chaumes et fourrages.

Dans les parcs agroforestiers, les services d'approvisionnement sont importants en termes de productivité, des produits forestiers non ligneux, de chaumes-fourrages, de bois énergie et peu importants en termes de bois de services et de bois d'œuvre.

Les services d'approvisionnement évalués dans les jardins de cases-zones urbaines sont importants en produits forestiers non ligneux et peu importants en bois de services, en bois d'œuvre, en productivité, en bois énergie et en chaumes-fourrage.

Dans les savanes dégradées. Les services d'approvisionnement sont importants en produits forestiers non ligneux et en chaumes-fourrages, en bois énergie et peu importants en productivité, en bois d'œuvre et en bois de services (Figure 9).

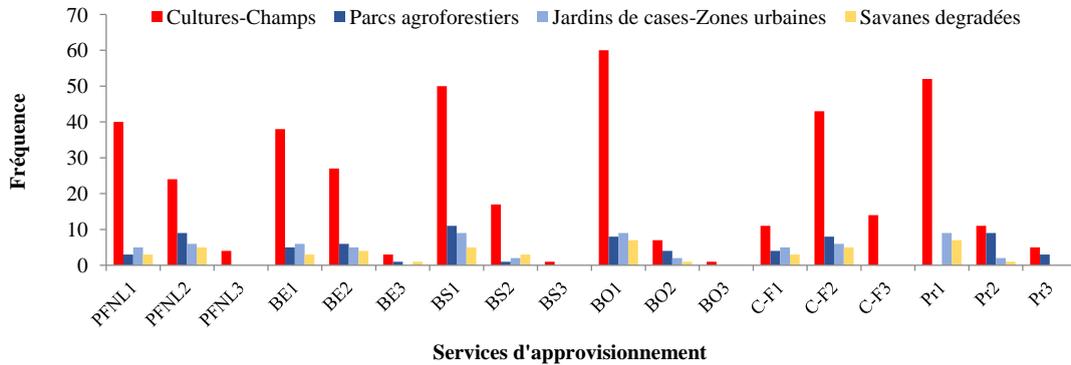


Figure 9. Relations services d'approvisionnement et les FUT

(PFNL : Produits Forestiers Non Ligneux, BE : Bois Energie, BS : Bois de services, BO : Bois d'œuvre, C-F : Chaumes et Fourrages, Pr : Productivité, 1 : Peu important, 2 : Important, 3 : très Important).

### 3.2.2. Services de régulation et les formes d'utilisation des terres

Les résultats de cette analyse révèlent que les services de régulations dans le paysage du socle éburnéen sont importants dans les parcs agroforestiers en termes de densité des ligneux, du stock de carbone,

de l'équivalence en tonne du CO<sub>2</sub> et en surface terrière. Par contre dans les champs, les jardins de cases-zones urbaines et dans les savanes dégradées, les services de régulation sont peu importants en termes du stock de carbone, d'équivalence en tonne du CO<sub>2</sub>, de la densité des ligneux et de la surface terrière (Figure 10).

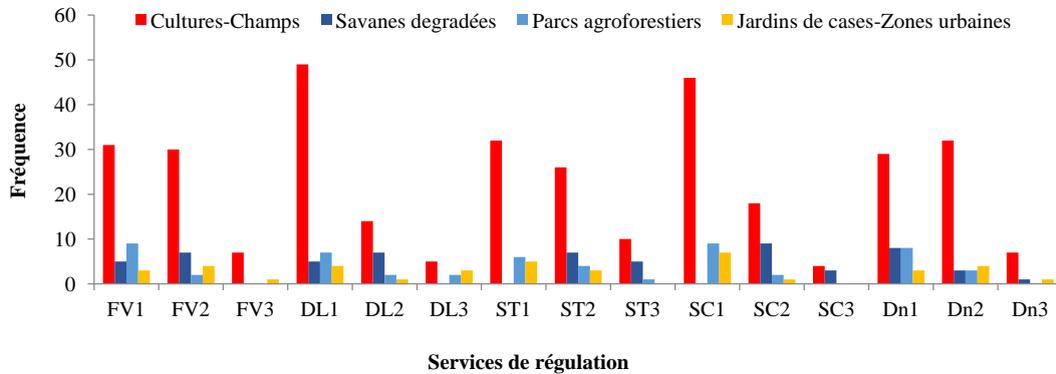


Figure 10. Relation services de régulations et les FUT

(DL : Densité des Ligneux, SC : Stock de Carbone, EqCO<sub>2</sub> : Équivalent en tonne du CO<sub>2</sub>, ST : Surface Terrière, 1 : Peu important, 2 : Important, 3 : très Important)

### 3.2.3. Services de soutien et les formes d'utilisation des terres

L'analyse de cette étude révèle que les services de soutien dans le paysage du socle éburnéen sont peu importants dans la majorité des champs en termes d'intensité de feu de végétation, de disponibilité de la litière, du recouvrement des ligneux et importants en termes de drainage et d'infiltration de l'eau.

Dans la majorité des savanes dégradées, les services

de soutiens sont peu importants en termes de disponibilité de la litière, d'infiltration de l'eau, de recouvrement des ligneux sans doute à cause de l'intensité des feux de végétations (Figure 11).

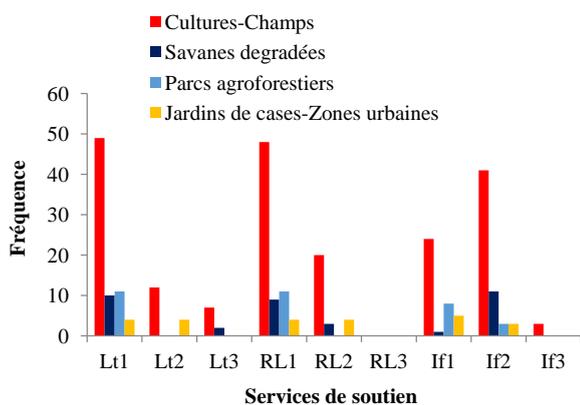


Figure 11. Relation services de soutiens et les FUT  
(Dn : Drainage, If : Infiltration de l'eau, Lt ; Litière, RL :  
Recouvrement des Ligneux ;  
1 : Peu important, 2 : Important, 3 : très Important)

### 3.3. Model spatial de résilience (SE) en fonction des paramètres climatiques à l'horizon 2025

Il ressort de cette analyse qu'à l'horizon 2025 selon le scénario RCP2.6, les zones de gradient 8 et 9 ne pourront pas résister en services écosystémiques au changement climatique. Les zones de gradient 10 et 11 auront tendance à maintenir leurs services écosystémiques face au changement. Quant aux zones de gradient 12 et 13 on n'aura pas de changement en services écosystémiques.

Par contre les zones de gradient 14, 15 et 16 auront tendance à s'adapter en services écosystémiques au changement climatique. Seules les zones de gradient 7 et 17 pourront s'adapter en services écosystémiques au changement climatique en 2025 (Figure 12).

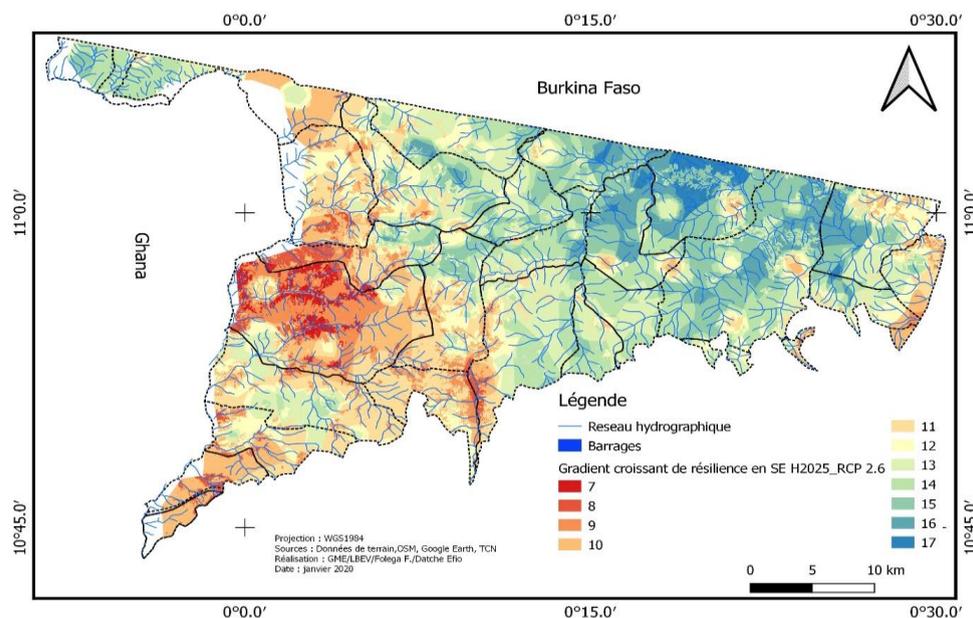


Figure 12. Model de résilience en services écosystémiques à l'horizon 2025 (RCP2.6)

La figure 12 montre qu'en 2025, 33,01 % (5827,65 ha) des végétations marécageuses saisonnières, 62,81 % (266,04 ha) des plans d'eau, 3,52 % (3394,97 ha) des parcs agroforestiers, 0,63 % (0,67 ha) des savanes et 3,54 % (191,51 ha) des zones urbaines ne pourront pas résister en services écosystémiques au changement climatique.

Par contre 30,64 % (29475,18 ha) des parcs agroforestiers, 63,48 % (68,32 ha) des savanes, 16,17 % (2854,50 ha) des végétations marécageuses saisonnières, 34,26 % (1851,27 ha) des zones urbaines et 5,83 %

(24,69 ha) des plans d'eau ne subiront pas de changement en services écosystémiques face au changement climatique. 1,83 % soit 1758,09 ha des parcs agroforestiers, 1,48 % soit 80,22 ha des zones urbaines, 11,15 % soit 1968,47 ha des végétations marécageuses saisonnières et 2,05 % soit 8,70 ha des plans d'eau quant à eux pourront s'adapter en services écosystémiques au changement climatique en 2025.

L'analyse montre qu'à l'horizon 2025 selon le scénario RCP8.5, les zones de gradient 7 et 8 ne pourront pas résister en services écosystémiques au

changement climatique. Les zones de gradient 9 et 10 auront tendance à maintenir leurs services écosystémiques face au changement. Quant aux zones de gradient 11 et 12 on n'aura pas de changement en services écosystémiques. Par contre les zones de gradient 13, 14 et 15 auront tendance à s'adapter en services écosystémiques au changement climatique. Seules les zones de gradient 16 et 17 pourront s'adapter en services écosystémiques au changement climatique en 2025 (Figure 13).

La figure 13 montre qu'en 2025, 24,02 % (4012,43 ha) des végétations marécageuses saisonnières et 15,04 % (62,32 ha) des plans d'eau ne pourront pas

résister en services écosystémiques au changement climatique.

Par contre 28,89 % (27547,57 ha) des parcs agroforestiers, 75,47 % (67,28 ha) des savanes, 24,45 % (4085,02 ha) des végétations marécageuses saisonnières, 23,94 % (1260,23 ha) des zones urbaines et 8,93 % (37 ha) des plans d'eau ne subiront pas de changement en services écosystémiques face au changement climatique. 8,72 % soit 8316,74 ha des parcs agroforestiers et 20,91 % soit 312,40 ha des zones urbaines quant à eux pourront s'adapter en services écosystémiques au changement climatique en 2025.

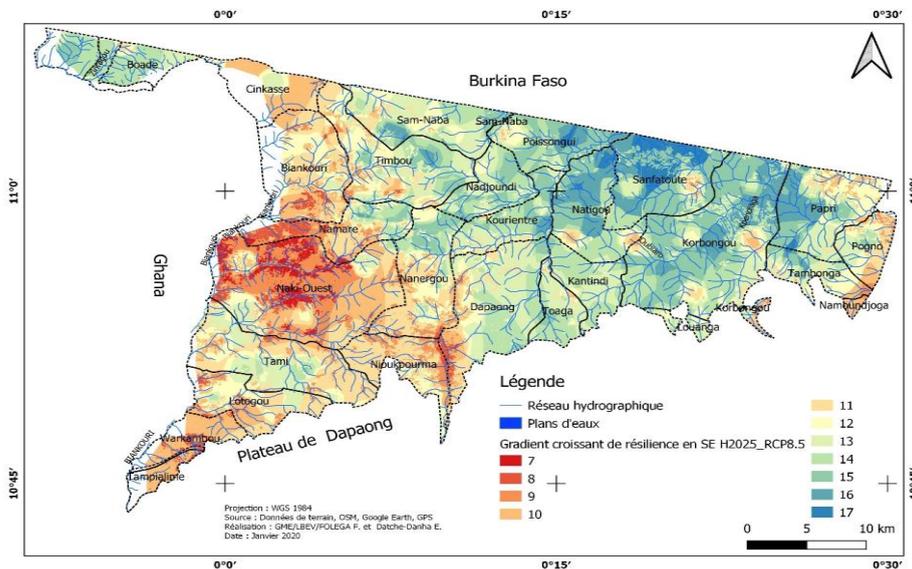


Figure 13. Model de résilience en SE à l'horizon 2025 (RCP8.5)

#### 4. Discussion

Cette étude menée dans le paysage du socle éburnéen a permis de constater une disponibilité peu importante des services écosystémiques tels que les bois d'œuvre, les bois de services, les bois énergies, les produits forestiers non ligneux (PFNL) et de la productivité. Ce qui montre que ces services écosystémiques sont les plus fréquemment utilisés par la population du socle éburnéen. Ce résultat est similaire à celui obtenu par Sabi *et al.* [25] sur la diversité et l'importance socio-économique des services écosystémiques dans la réserve de biosphère de la pendjari au Nord-Benin. Cette faible disponibilité des services d'approvisionnement pourrait être liée aux activités humaines (coupe de bois-énergie, des bois de

services, des bois d'œuvres et de la surexploitation des PFNL). Ces activités ont pour conséquences la raréfaction de certaines espèces végétales, la diminution de la couverture forestière, la perte d'habitats des animaux et de la biodiversité, l'érosion des sols, la réduction de la disponibilité des bois de feu et d'œuvre, la réduction de la disponibilité des produits forestiers non ligneux végétal, la perturbation climatique, etc. [15]. Ce qui a influencé sans doute l'évaluation peu importante des services de régulations (la surface terrière, la densité, le stock de carbone et l'équivalence en tonne du CO<sub>2</sub>) et de certains types de services de soutien (le recouvrement des ligneux et de la litière).

Par contre la disponibilité importante des services d'approvisionnement en chaumes et fourrage montre que les populations du paysage du socle éburnéen prélèvent

moins les chaumes et les fourrages. Ce résultat est contraire à celui obtenu par Sabi *et al.* [25] et Sokpon [26]. Cela peut justifier l'évaluation importante de la disponibilité de feu de végétation dans les services de soutien.

Les résultats d'analyse montrent que la disponibilité des services d'approvisionnement est peu importante dans les jardins de cases-zones urbaines, dans les cultures-champs, dans les savanes dégradées et importante dans les parcs agroforestiers. Cette situation des services d'approvisionnement dans les parcs agroforestiers est sans doute liée à la conservation des espèces utiles qui auraient bénéficiées des traitements sylvicoles de la part des paysans durant les diverses campagnes agricoles [27,28]. Ce résultat observé dans les parcs agroforestiers est aussi une résultante d'un long processus de dégradations sélectives de certaines essences au profit des autres essences jugées utiles par les paysans. Cela montre que la population du socle éburnéen accorde une importance capitale aux parcs agroforestiers à cause des multiples services écosystémiques qu'ils fournissent. Ce résultat est similaire à celui obtenu par Diatta *et al.* [29] sur les services écosystémiques du parc agroforestier à *Cordyla pinnata* dans le Sud du bassin arachidier au Sénégal. Les parcs agroforestiers constituent une source importante dans l'alimentation humaine et du bétail, la pharmacopée, la protection des sols et l'amélioration de leur fertilité. Diop [30] et Yameogo *et al.* [31] attestent que les parcs jouent un rôle capital dans la vie des populations locales. Dans le socle éburnéen, les parcs agroforestiers fournissent une importante disponibilité des produits alimentaires et médicinaux (PFNL végétal), du fourrage, du bois d'énergie et de la productivité.

L'évaluation importante des services écosystémiques de régulation dans le socle éburnéen en termes de stock de carbone, d'équivalence en tonne de CO<sub>2</sub>, de la densité des ligneux et de la surface terrière confirme le rôle important que joue les parcs agroforestiers. Les travaux de Marone *et al.* [32] dans la zone semi-aride des Niayes du Sénégal ont montré un résultat similaire en termes de stock de carbone dans les parcs agroforestiers. Les parcs agroforestiers constitueraient donc des secteurs dynamiques et prometteurs de l'atténuation des changements climatiques [33]. Ceci met en évidence une interaction entre les services d'approvisionnement et ceux des

régulations. Plus les services de prélèvement sont importants, peu on a également une régulation du climat. Par contre, la disponibilité peu importante des services écosystémiques de prélèvement et de régulations observées au niveau des autres formes d'utilisation des terres (cultures-champs, jardins de cases-zones urbaine et dans les savanes dégradées) est sans doute en lien avec la propension des pratiques anthropiques de gestions des ressources naturelles. Cette situation traduirait également l'effet d'une forte pression zoo-anthropique exercée sur les ligneux à travers le pâturage, étêtage, écimage ou élagage inadapté et nocif, coupe frauduleuse, écorçage partiel, la pharmacopée par les populations riveraines [15, 30, 35-38]. Quant aux services de soutien, les résultats montrent qu'ils sont peu importants dans les jardins de cases-zones urbaines, dans les parcs agroforestiers et dans les cultures-champs. Ce résultat peut se justifier par le taux important d'infiltration de l'eau car plus l'infiltration de l'eau est faible plus le soutien est important.

Cette étude montre qu'à l'horizon 2025, les superficies des différentes formes d'utilisation des terres situées dans les zones de gradient 8 ou 9 selon le scénario RCP2.6 [39] et celles situées dans les zones de gradient 7 ou 8 selon le scénario RCP8.5 ne pourront pas résilier en services écosystémiques au changement climatique [40]. Ce résultat montre que ces zones auront une forte augmentation de la population. Cette croissance significative de la population entrainera l'extension des agglomérations et des formations anthropisées, la réduction de la durée de jachère et la dégradation souvent irréversible de la végétation. Plusieurs auteurs Mengue-Medou [13], Lalou *et al.* [41] et Sounon *et al.* [37] ont mis en cause la croissance démographique et certains modes d'exploitation comme étant responsables de dégradation des terres ayant pour conséquence la perturbation des équilibres écologiques. Djagni [42], à travers ces résultats de recherches, révèle qu'une forte croissance démographique de 3,1 % par an particulièrement dans les zones cotonnières du Togo, avait très vite débouché sur la réduction des temps de jachère, la régression de leur superficie, voire leur disparition. Par contre les superficies des formes d'utilisation des terres se trouvant dans le gradient 12 et 13 selon le scénario RCP2.6 et celles situées dans les zones de gradient 11 et 12 selon le scénario RCP8.5 ne subiront pas de changement en services écosystémiques

face au changement climatique. Cela montre qu'en 2025 il y aura une stabilité de la population dans ces zones. Seules les superficies des formes d'utilisation des terres se trouvant dans le gradient 7 et 17 selon le scénario RCP2.6 et celles situées dans les zones de gradient 16 et 17 selon le scénario RCP8.5 pourrons s'adapter au changement climatique en termes de services écosystémiques.

## 5. Conclusion

Ce travail effectué sur le paysage du socle éburnéen a permis de déterminer la diversité des services écosystémiques et leurs spatialisations ; de ressortir la relation entre les services écosystémiques et les formes d'utilisation des terres et de proposer un modèle spatial de résilience des services écosystémiques en fonction des paramètres climatiques à l'horizon 2025. Les services écosystémiques mis en relation avec les formes d'utilisation des terres ont permis de constater que seuls les parcs agroforestiers fournissent une quantité importante de services de régulation et de services d'approvisionnement. Cette étude se veut d'apporter une vue d'ensemble rapide des potentialités que peut offrir cet environnement très sensible aux effets du changement climatique. Elle pourrait se révéler être une opportunité pour la mise en œuvre des mesures de restauration écologique en lien avec les programmes Agenda 2063 et AFR100. Cependant à l'avenir, il est souhaitable de faire une mise à échelle en abordant l'étude sous un prisme d'estimation quantitative avec des outils couramment utilisés en écologie numérique.

## Remerciements

Notre gratitude s'adresse à The Matsumae International Foundation et à l'Université de Kyoto (Japon) qui nous ont offert un cadre favorable et soutien financier en 2018 pour la conception de la démarche méthodologique.

## Références

- [1] Ouattara A., & Podoor N. et Gourène G., Études préliminaires de la distribution spatio-temporelle du phytoplancton dans un système fluvio-lacustre africain (Bassin Bia; Côte d'Ivoire). *Hydroécologie Appliquée*, 13 (2001) : 113-132. <https://doi.org/10.1051/hydro:2001010>
- [2] Touzard J.M., Innover face au changement climatique. *Innovations*, 3 (54) (2017) : 5-13. <https://doi.org/10.3917/inno.054.0005>
- [3] Maljean-Dubois S., Climat. La COP 22 de Marrakech, une conférence d'étape avant les prochaines échéances, *Énergie-Environnement-Infrastructures*, 1 (2017) : 1-8. <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-01675532>
- [4] Dourma M., Soou E., Kpémessi A.E., Atakpama W., Folega F., Polo-Akpisso A., Wala K., Akpagana K., La forêt classée d'Atakpamé : diversité, typologie, séquestration de carbone et activités anthropiques, *Journal de la Recherche Scientifique de l'Université de Lomé*, 19 (3) (2017) : 29-45. <https://www.ajol.info/index.php/jrsul/article/view/167464>
- [5] FAO. Évaluation des ressources forestières mondiales 2010. Rapport principale. Rome 2010. <https://www.fao.org/3/i1757f/i1757f00.htm>
- [6] Fahrig L., Effets of habitat fragmentation on biodiversity, *Annual review of ecology, evolution and systematics*, 34 (1) (2003): 487-515. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.34.011802.132419>
- [7] FAO. 2016. Situation des forêts du monde 2016. Forêts et agriculture : défis et possibilités concernant l'utilisation des terres. Rome. <https://www.fao.org/3/i5588f/i5588f.pdf>
- [8] Akognongbe D.M., Michel B et Wissin R., Dynamique saisonnière de la qualité physico- chimique des eaux de surface dans le Bassin de l'Oueme à l'exutoire du Beterou, Ivoir. *Sci. Technol*, 24 (2014) : 278-298. [https://revist.net/REVIST\\_24/REVIST\\_24\\_18.pdf](https://revist.net/REVIST_24/REVIST_24_18.pdf)
- [9] Moutouama F.T., Biao S.S.H., Kyereh B., Asante W. A. and Natta A.K., Factors shaping local people's perception of ecosystem services in the Atacora Chain of Mountains, a biodiversity hotspot in northern Benin. *Journal of ethnobiology and ethnomedicine*, 15(1) (2019a) : 1-10. <https://doi.org/10.1186/s13002-019-0317-0>
- [10] Kemavo A., « *Potentialités des données de télédétection optique et radar libres d'accès pour l'évaluation et le suivi des écosystèmes forestiers tropicaux : étude de cas au Togo, en République Démocratique du Congo, en Guyane française et en République Dominicaine* ». Thèse de doctorat. Université Paris-Est, 2018, p258. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-02384384/>
- [11] Dao B.P., Abotsi K.E., Kargbo A., Kokou K. and Kone D., Diversity of agroecosystems and ecosystem services gain for agrobiodiversity conservation in agricultural landscape in northern Togo, *Agronomie Africaine*, 33(1) (2021): 21-32. <https://www.ajol.info/index.php/aga/article/view/207392>
- [12] Foussemi F., Andrianamenoso R.M., Kperkouma W., Woegan Y.A., Kanda M., Pereki H., Polo-Akpisso A., Batawila K. et Akpagana K., Écologie et dynamique spatio-temporelle des mangroves au Togo. *Vertigo* : la revue électronique en sciences de l'environnement, 17(3) (2017) : 1-22. <https://doi.org/10.4000/vertigo.18791>
- [13] Polo-Akpisso A., Wala K., Ouattara S., Folega F. and Tano Y., Changes in land cover categories within Oti-Kéran-Mandouri (OKM) complex in Togo (West Africa) between 1987 and 2013, *Implementing Climate Change Adaptation in Cities and Communities*, Springer Cham, (2016): 3-21. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-28591-7\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-28591-7_1)
- [14] Andriamahefazafy F., Méral P. et Rakotoarijaona J.R., La planification environnementale : un outil pour le développement durable ? Dans : Chaboud Ch., Froger G., Méral Ph. Et Deberre J.C. (2007). *Madagascar face aux enjeux du développement durable : des politiques environnementales à l'action collective locale*. pp23-49, Paris : Karthala, 308p. (Economie et Développement). ISBN 978-2-84586-908-0.
- [15] Mengue-Medou C., Les aires protégées en Afrique : perspectives pour leur conservation. *Vertigo-la revue électronique en sciences de l'environnement*, 3 (1) (2002) : 1-16. <https://doi.org/10.4000/vertigo.4126>
- [16] Jacquin A., Sheeren D. and Lacombe J.P., Vegetation cover degradation assessment in Madagascar savanna based on trend analysis of MODIS NDVI time series, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 12 (2010): S3-

- S10. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2009.11.004>
- [17] Foussemi F., Marra D., Wala K., Batawila K., Zhang, C.Y., Zhao X.H. and Akpagana K., Assessment and impact of anthropogenic disturbances in protected areas of northern Togo. *Forestry Studies in China*, 14 (3) (2012) : 216-223. [doi: 10.1007/s11632-012-0308-x](https://doi.org/10.1007/s11632-012-0308-x)
- [18] Gü-Konu Y.E. et Georges L., Atlas du Togo, Editions JA, 1981, 64p. ISBN 978-2-85258-224-8
- [19] Poss R., Étude morphopédologique du nord du Togo à 1/500 000. (Notice Explicative ; 109) 101, (1996) Paris, France : ORSTOM. [https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins\\_textes/pleins\\_textes\\_5/notexp/010005399.pdf](https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_5/notexp/010005399.pdf)
- [20] Folega F., Atakpama W., Wala K., Mukete B., Shozo S., Akira O. and Akpagana K., Land use patterns and tree species diversity in the Volta Geological Unit, Togo. *Journal of Mountain Science*, 16 (8) (2019): 1869-1882. [doi: 10.1007/s11629-018-5154-4](https://doi.org/10.1007/s11629-018-5154-4)
- [21] Jacquin A. and Goulard M., Using spatial statistics tools on remote-sensing data to identify fire regime linked with savanna vegetation degradation, *International Journal of Agricultural and Environmental Information Systems (IJAEIS)*, 4 (1) (2013) : 68-82. [DOI: 10.4018/jaeis.2013010105](https://doi.org/10.4018/jaeis.2013010105)
- [22] ISEED-TOGO, Recensement général de la population et de l'habitat (du 06 au 21 novembre 2010). Résultats définitifs République Togolaise, Lome, Togo, (2011).
- [23] Hutchinson J.S., Jacquin A., Hutchinson S.L. and Verbesselt J. Monitoring vegetation change and dynamics on US Army training lands using satellite image time series analysis, *Journal of Environmental Management*, 150 (2015): 355-366. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.08.002>
- [24] QGIS-Dev-Team., QGIS geographic information system. Open-source geospatial Foundation project (2016). <https://qgis.org/fr/docs/index.html>
- [25] Sabi L.I.B., Sogbohossou E., Toko I.I., Houinato M. et Sinsin B., Diversité et importance socio-économique des services écosystémiques dans la Réserve de Biosphère de la Pendjari au Nord-Bénin, *Journal de la Recherche Scientifique de l'Université de Lomé*, 19 (3) (2017) : 15-28. <https://www.ajol.info/index.php/jrsul/article/view/167462>
- [26] Sokpon N., Recherches écologiques sur la forêt dense semi-décidue de Pobè au Sud-Est du Bénin : groupements végétaux, structure, régénération naturelle et chute de litière, Université libre de Bruxelles, Faculté des sciences, Bruxelles (1995). [ulbcat.ulb.ac.be:35671](http://ulbcat.ulb.ac.be:35671)
- [27] Aleza K., Wala K., Bayala J., Villamor G.B., Dourma M., Atakpama W. and Akpagana K., Population structure and regeneration status of *Vitellaria Paradoxa* (CF Gaertner) under different land management regimes in Atacora department, Benin, *Agroforestry Systems*, 89 (3) (2015): 511-523. <https://doi.org/10.1007/s10457-015-9787-9>
- [28] Koumou Z., Alassane A., Djambédja M., Boukpepsi, T. et Kouya A.E., Dynamique spatio-temporelle de l'occupation du sol dans le Centre-Togo. AHOHO - Revue de Géographie du LARDYMES, 7 (10) (2013) :163-172. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01564256/document>
- [29] Diatta A.A., Ndour N., Manga A., Sambou B., Faye C.S., Diatta L., Goudiaby A., Mbow C. et Dieng S.D., Services écosystémiques du parc agroforestier à *Cordyla pinnata* (Lepr. ex A. Rich.) Milne-Redh. dans le Sud du Bassin Arachidier (Sénégal), *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 10 (6) (2016) : 2511-2525. [DOI: 10.4314/ijbcs.v10i6.9](https://doi.org/10.4314/ijbcs.v10i6.9)
- [30] Diop M., Kaya B., Niang A et Olivier A. 2005. Les espèces ligneuses et leurs usages : les préférences des paysans dans le Cercle de Ségou, au Mali. ICRAF Working Paper no. 9. Nairobi : World Agroforestry Centre. [http://apps.worldagroforestry.org/downloads/Publications/PDFS/w\\_p05071.pdf](http://apps.worldagroforestry.org/downloads/Publications/PDFS/w_p05071.pdf)
- [31] Yameogo G., Yelemou B., Boussim I.J. et Traore D., Gestion du parc agroforestier du terroir de Vivalogo (Burkina Faso): contribution des ligneux à la satisfaction des besoins des populations, *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 7 (3) (2013) : 1087-1105. [DOI: 10.4314/ijbcs.v7i3.16](https://doi.org/10.4314/ijbcs.v7i3.16)
- [32] Marone D., Poirier V., Coyea M., Olivier A. and Munson A.D., Carbon storage in agroforestry systems in the semi-arid zone of Niayes, Senegal, *Agroforestry Systems*, 91 (5) (2017): 941-954. <https://doi.org/10.1007/s10457-016-9969-0>
- [33] Mbow C., Smith P., Skole D., Duguma L. and Bustamante M., Achieving mitigation and adaptation to climate change through sustainable agroforestry practices in Africa. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 6 (2014): 8-14. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2013.09.002>
- [34] Foussemi F., Xiuhai Z., Chunyu Z., Kperkouma W. and Koffi, A. Ecological and numerical analyses of plant communities of the most conserved protected area in North-Togo, *International Journal of Biodiversity and Conservation*, 2 (11) (2010) : 359-369. <https://doi.org/10.5897/IJBC.9000046>
- [35] Hahn-Hadjali, K., Schmidt, M. & Thiombiano, A. (2006). Phytodiversity dynamics in pastured and protected West African savannas. In: S.A. Ghazanfar & H.J. Beentje (eds), *Taxonomy and ecology of African plants, their conservation and sustainable use*, pp. 351–359. Royal Botanic Gardens, Kew. Proceedings of the 17<sup>th</sup> AETFAT Congress Addis Abeba, (2006).
- [36] Leßmeister A., Bernhardt - Römermann M., Schumann K., Thiombiano A., Wittig R. and Hahn K., Vegetation changes over the past two decades in a West African savanna ecosystem, *Applied Vegetation Science*, 22 (2) (2019): 230-242. <https://doi.org/10.1111/avsc.12428>
- [37] Liu H. and Zhou Q., Accuracy analysis of remote sensing change detection by rule-based rationality evaluation with post-classification comparison, *International Journal of Remote Sensing*, 25 (5) (2004): 1037-1050. <https://doi.org/10.1080/0143116031000150004>
- [38] Sounon B.B., Sinsin B. et Goura S.B., Effets de la dynamique d'occupation du sol sur la structure et la diversité floristique des forêts claires et savanes du Bénin, *Tropicicultura*, 25 (4) (2007): 221-227. <http://www.tropicicultura.org/content/v25n4.html>
- [39] Benabou A., Moukrim S., Laariby S., Aafi A., Chkchichek A., El Maadidi T. & El Aboudi A., Mapping Ecosystem Services of Forest Stands: Case Study of Maamora, Morocco. *Geography, Environment, Sustainability*, 15 (1) (2022) : 141–149. <https://doi.org/https://doi.org/10.24057/2071-9388-2021-047>
- [40] Riahi K., Gruebler A. & Nakicenovic N., Scenarios of long-term socio-economic and environmental development under climate stabilization. *Technological Forecasting and Social Change*, 74 (7) (2007): 887–935. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2006.05.026>
- [41] van Vuuren D., den Elzen M., Lucas P., Eickhout B., Strengers B., van Ruijven B., Wornik S. & van Houdt R., Stabilizing greenhouse gas concentrations at low levels: an assessment of reduction strategies and costs. *Climatic Change*, 81 (2007): 119-159. <https://doi.org/doi:10.1007/s10584-006-9172-9>
- [42] Djagni K.K., L'agriculture togolaise face à des mutations environnementales multiples : nécessité d'un ensemble d'innovations techniques et organisationnelles cohérentes; necessity of a coherent package of technical and organisational innovations. In *Savanes africaines: des espaces en mutation, des acteurs face à de nouveaux défis*. Actes du colloque, Garoua, Cameroun, Cirad-Prasac. 2003, 9 p. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00128887>