

## Perception des changements climatiques sur le bilan hydrologique et opportunités naturelles d'exploitation de l'énergie solaire dans la zone de Kouroussa

### [ Perception of climate changes on the hydrological balance and natural opportunities for exploiting solar energy in the Kouroussa area ]

*Moriba Kourouma, Daouda Keita, Mory Kourouma, and Ousmane Djènè Kaba*

Laboratoire de Recherche Appliquée en Géosciences et Environnement (LRA), Unité de Géologie Appliquée et Environnement UGEAE),  
Institut Supérieur des Mines et Géologie de Boké (ISMGB), BP: 84 Tamakènè, Boké, Guinée

Copyright © 2024 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**ABSTRACT:** The Kouroussa prefecture is one of five prefectures in the Kankan region in the North-East and is an integral part of the upper Niger basin in the Republic of Guinea. It is an area that is experiencing the effects of climate change on the hydrological balance and the activities of local populations. The objective of the study is to characterize the hydroclimatic and thermal parameters in order to foresee the possibilities of natural exploitation of solar energy for the development of agricultural activities in the study area. In this study we determined the drought indices and calculated the specific energies from solar radiation. In terms of the results of the study, we note that the period from 1981 to 1993 the average rainfall value equals 1082 mm when the drought period from 1994 to 2010 is characterized by an average rainfall of 1131 mm. From 2011 to 2022 the rainfall is 1742 mm. The river is experiencing a period of drought for an average flow of 121.5 m<sup>3</sup>/s from 1980 to 1994. The average flow of 173.3 m<sup>3</sup>/s estimated for the period 1995-2018 explains the alternating drought phenomena. and surplus. The balance deficit is worth 95% of precipitation and the energies calculated at the expense of temperatures vary between 2048.10E-26 and 2062 10E-26 joules for an average of 2054. 10E-26 joules. Solar radiation established in the north and northeast of the area is characterized by temperatures varying between 25 and 27°C for an average temperature equal to 26°C. Solar energy sources can be used among many other possibilities for exploiting renewable energy for the benefit of the populations of Kouroussa.

**KEYWORDS:** Climate, drought, solar energy, Kouroussa, Agriculture.

**RESUME:** La préfecture de Kouroussa est l'une des cinq préfectures de la région de Kankan au Nord-Est et fait partie intégrante du bassin supérieur du Niger en République de Guinée. C'est une zone qui subit des effets de changement climatique sur le bilan hydrologique et les activités des populations locales. L'objectif de l'étude est de caractériser les paramètres hydroclimatiques et thermiques afin d'entrevoir les possibilités d'exploitation naturelle de l'énergie solaire pour le développement des activités agricoles dans la zone d'étude. Dans cette étude nous avons procédé à la détermination des indices sécheresse et calculé les énergies spécifiques issues du rayonnement solaire. En termes de résultats de l'étude, nous retenons que la période de 1981 à 1993 la valeur moyenne de pluviométrie égale 1082 mm lorsque la période de sécheresse de 1994 à 2010 se caractérise par une pluviométrie moyenne de 1131 mm. De 2011 à 2022 la pluviométrie est de 1742 mm. Le fleuve connaît une période de sécheresse pour un débit moyen de 121,5 m<sup>3</sup>/s de 1980 à 1994. Le débit moyen de 173,3 m<sup>3</sup>/s évalué au compte de la période 1995-2018 explique les phénomènes d'alternance de sécheresse et d'excédentaire. Le déficit du bilan vaut 95% des précipitations et les énergies calculées aux dépens des températures varient entre 2048.10<sup>E</sup>-26 et 2062 10<sup>E</sup>-26 joules pour une moyenne de 2054. 10<sup>E</sup>-26 joules. Les rayonnements solaires établis au nord et au nord-est de la zone se caractérisent par des températures, variant entre 25 et 27 °C pour une moyenne de température égale à 26 °C. Les sources d'énergie solaire sont utilisables parmi tant d'autres possibilités d'exploitation d'énergie renouvelable en faveur des populations de Kouroussa.

**MOTS-CLEFS:** Climat, sécheresse, énergie solaire, Kouroussa, Agriculture.

## 1 INTRODUCTION

L'Afrique de l'Ouest subit les effets de changement climatique se manifestant du nord au sud avec les effets d'ensoleillement, de déficit pluviométrique et de désertification ([1]; [2]; [3]; [4]).

La Guinée enregistre des déficits pluviométriques dans les stations météorologiques placées sur toute l'étendue du territoire ([5]) et les préfectures les plus affectées de ces changements climatiques, selon le rapport du [6], nous citons Kankan (-8,12%), Siguiri (-7%), Faranah (-4,08%).

L'étude que nous effectuons consiste à caractériser les paramètres hydro climatiques de la préfecture de Kouroussa en vue de comprendre les tendances, les ruptures intervenues sur ces variables climatiques (pluviométrie, température) et de débit fluvial (Q) du fleuve transfrontalier Niger en Haute Guinée.

Ainsi, pour organiser les idées générales autour de la thématique de cet article, nous nous attelons à :

- Décrire les paramètres pluviométriques et thermiques à l'origine du déficit hydrologique (bilan);
- Décrire les indices de variation du débit fluvial du niger dans la zone d'étude pour mieux comprendre la part d'eau de précipitation infiltrée;
- Etablir les variabilités spatiales de la pluviométrie, de la température et de de l'énergie issue de rayonnement solaire en vue de montrer les populations locales exposées aux rayonnements et solaires et de déplacement dans un temps futur proche.

Les études portées sur la zone d'étude à travers les données climatiques et hydrologiques permettront, donc, de comprendre d'une part les risques encourus par les populations et d'autre part saisir les opportunités d'exploitation des énergies renouvelables thermiques du phénomène de réchauffement climatique pour entrevoir les possibilités de pratiquer les activités agricoles grâce aux énergies solaires.

## 2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

### 2.1 PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

#### 2.1.1 CONTEXTES GÉOGRAPHIQUE, GÉOMORPHOLOGIQUE ET GÉOLOGIQUE

La préfecture de Kouroussa est au Nord-Ouest de la République de Guinée (**Figure 1**). Elle appartient à la région administrative de Kankan. Elle est limitée au Nord par les préfectures de Dinguiraye et de Siguiri, au Sud par Kissidougou; à l'Est par Kankan et à l'Ouest par Faranah et Dabola. La superficie de la zone d'étude est de 15 802,7 km<sup>2</sup> avec une population 323 305 habitants et une densité de la population de 20,5 habitants/km<sup>2</sup> selon le site *city facts* (<https://fr.city-facts.com/kouroussa/population> de 17 /12/2023).

Les reliefs varient de 500 à 700 m avec un sommet plus haut observé à Souboto (650-700 m) à l'ouest (**Figure 2a**). Les formations géologiques (**Figure 2b**) sont représentées par les socles granito-gneissiques d'âge archéen Arks), de protérozoïque inférieur d'âge birimien (Prbr1), de calcaires. Les roches effusives à Kiniéro sources de minéralisation aurifère. Dans la zone d'étude les formations Cénozoïque sont détritiques (graviers, cailloutis) et alluvionnaires (dépôts récents du Quaternaire) et sont rencontrées le long des principaux cours dont le niveau d'eau fluviale est fonction des régimes pluviométriques mensuels et interannuels.

#### 2.1.2 CONTEXTES- CLIMATIQUE, HYDROGRAPHIQUE ET DÉMOGRAPHIQUE

Le régime climatique à Kouroussa est tropical humide avec l'alternance de saison sèche (de novembre à avril) et de saison pluvieuse (de mai à octobre). Les mois chauds sont avril et mai avec une température moyenne annuelle variant entre 26 et 30°C. Le réseau hydrographique de la préfecture (Figure 3a) est constitué du Niger et de ses affluents, le Mafou, le Tinkisso et ses affluents (Banié et Niéma). La population de Kouroussa inégalement répartie (**Figure 3b**) est essentiellement composée d'agriculteurs, d'éleveurs, d'artisans et de travailleurs salariés. Les 13% de la population sont installés dans le centre urbain ([7]).

### 2.2 DONNÉES CLIMATOLOGIQUES ET HYDROTIMÉTRIQUES

Les données pluviométriques définies dans la période 1980-2018 sont recueillies auprès de la Direction nationale de la Météorologie de la Guinée et hydrotimétriques du Niger à Kouroussa. Les données de température nécessaires dans le calcul d'énergie rayonnante est téléchargeable sur le site (<https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer>).

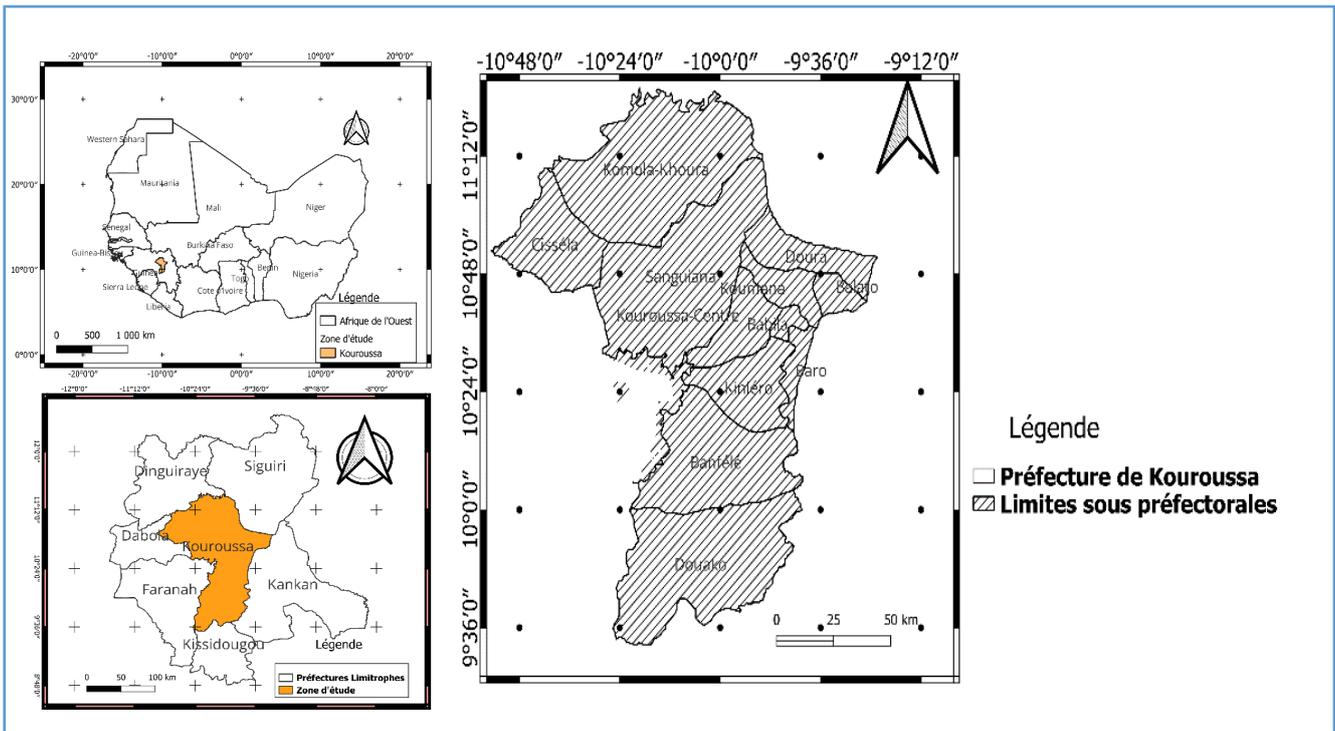


Fig. 1. Localisation de la zone d'étude

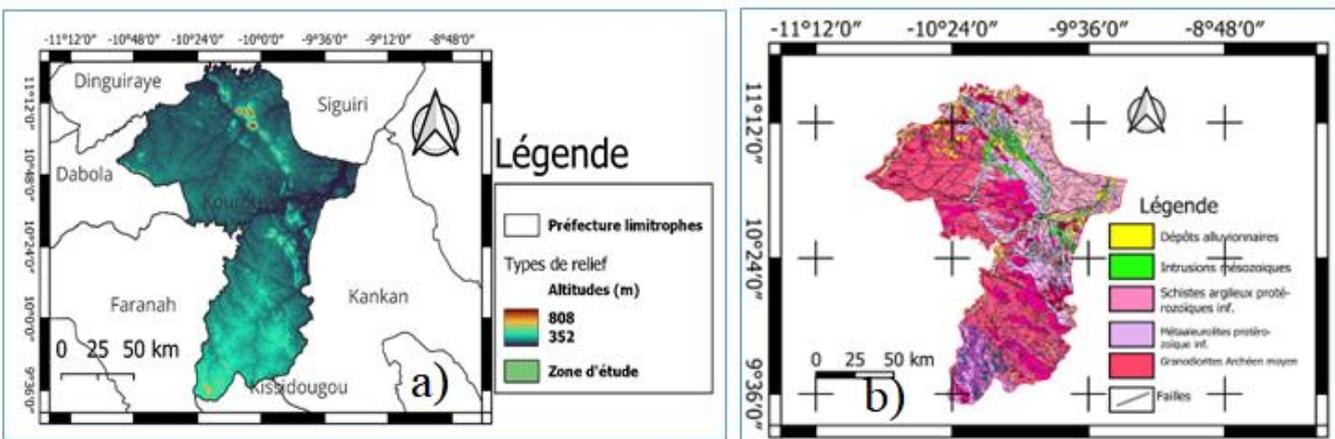


Fig. 2. Aspects géomorphologique (2a) et géologique (2b) de la zone d'étude

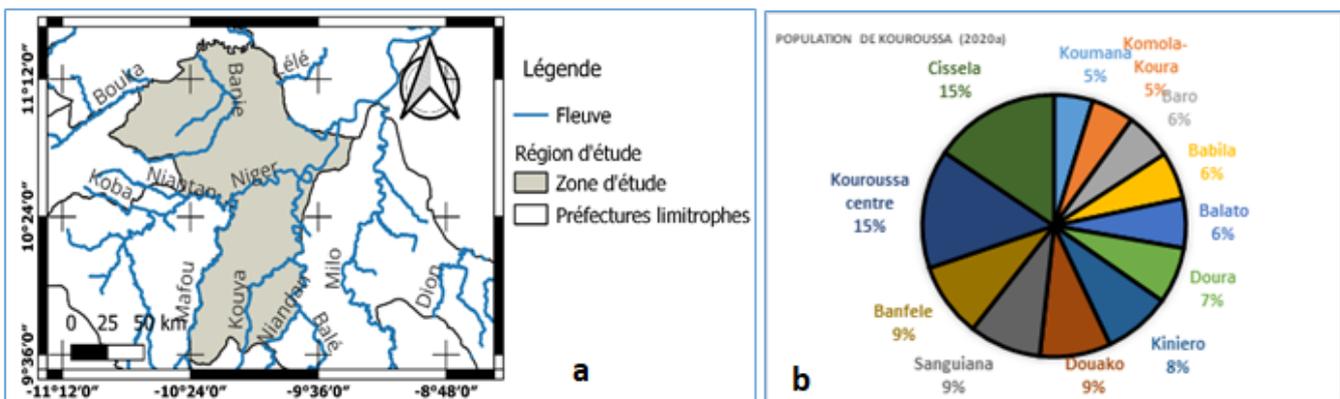


Fig. 3. Réseau hydrographique (3a) et Population (3b) de la zone d'étude

## 2.3 ANALYSE DES DONNEES CLIMATOLOGIQUES ET HYDROLOGIQUES

### 2.3.1 INDICES PLUVIOMETRIQUES OU HYDROMETRIQUES STANDARDS

Les indices IPS (IQS) traduisent l'excédent ou le déficit pluviométrique (hydrométrique) pour l'année considérée en comparaison avec la pluviométrie (débit fluvial) moyenne de la période d'étude ([8]). Ils mettent également en évidence l'intensité du déficit ou de l'excès pluviométrique (hydrotimétrique) sur un bassin versant. L'équation 1 permet de calculer l'indice pluviométrique (hydrotimétrique) défini comme une variable centrée réduite

$$I_{ps} = \frac{x_i - x_m}{\sigma} \quad (\text{Eq. 1})$$

Avec:

- $X_i$ : valeur de la pluviométrie annuelle (ou du débit annuel) de l'année  $i$ ;
- $X_m$ : valeur moyenne interannuelle de la pluviométrie (ou du débit annuel) sur la période étudiée;
- $\sigma$ : l'écart-type de la pluviométrie interannuelle (ou du débit annuel) sur la période étudiée;
- $I_p$ : indice pluviométrique.

### 2.3.2 CALCUL DE DÉFICITS HYDROCLIMATIQUES

Le déficit de la période sèche, par rapport à la période humide, est évalué en appliquant la formule représentée par l'équation 2 ([14]):

$$D = \frac{X_j}{X_i} - 1 \quad \text{Eq. (2)}$$

Avec :

D: le déficit hydro climatique

$X_j$ : la moyenne sur la période après rupture

$X_i$ : la moyenne sur la période avant rupture

### 2.3.3 DESCRIPTION HYDRO CLIMATIQUE PAR UN MODELE DE KHONOSTAT 1.01

Le Khronostat est un modèle développé par l'IRD (Institut de recherche et de Développement) pour l'école des sciences de l'eau de Montpellier (France). Il permettait de caractériser les variabilités hydro climatiques de l'Ouest au Centre de l'Afrique ([9]).

Les tests de rupture de PETTIT ([10]) et les statistiques de BUSHAND ([11]; [12]) sont appliqués dans cette étude pour analyser la variation pluviométrique et comprendre les tendances de la zone à la sécheresse ou à l'humidité.

#### TEST DE BUSHAND

Le test de Buishand est formulé sur la même base théorique celle de Lee and Heghinian. L'élément statistique représenté par U est noté par les relations 3, 4 et 5.

$$U = \sum_{k=1}^{N-1} \frac{(S_k)^2}{N(N+1)} \quad \text{Eq. (3)}$$

$$S_k = \sum_{i=1}^k (X_i - \bar{X}) \quad \text{Eq. (4)}$$

Où  $S_k$ , es une somme partielle et  $\sigma_x$  représente l'écart quadratique moyen calculé d'après la relation

$$\sigma_x^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2 \quad \text{Eq. (7)}$$

L'hypothèse nulle signifie qu'il n'y a pas de rupture dans la série temporelle. Le rejet de l'hypothèse nulle signifie qu'il y a un point de rupture dans la série temporelle. Outre ces différentes procédures, la construction d'une ellipse de contrôle permet d'analyser l'homogénéité de la série ( $x_i$ )

**TEST DE PETTITT**

Le test de Pettitt se détermine par la relation 8

$$U_{t,N} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=t+1}^N Sgn(x_i - x_j) \tag{Eq. (8)}$$

Si N est le nombre de séries chronologiques, Sgn est un coefficient déterminé par la formule 9

$$Sgn = \begin{cases} +1 & \text{if } (x_j - x_i) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_j - x_i) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_j - x_i) < 0 \end{cases} \tag{Eq. (9)}$$

Sous l’hypothèse nulle, la statistique de la variable à tester est K donnée par l’Equation 10.

$$K = \text{Max} |U_t| \tag{Eq. (10)}$$

La probabilité de dépassement de k comme (Equation 11):

$$Prob(K_N > k) \approx 2 \exp\left(\frac{-6k^2}{N^2 + N^3}\right) \tag{Eq. (11)}$$

Lorsque la probabilité de dépassement est inférieure au niveau significatif  $\alpha$ , l’hypothèse nulle est rejetée pour un niveau de signification  $\alpha$  ([13]).

**2.3.4 CALCUL DES INDICES DE SÉCHERESSE**

Le SPI est un indice permettant de mesurer la sécheresse météorologique. Il est l’indication de variation d’une quantité de climatologie sur 30 ans. L’indice est négatif pour les sécheresses, et positif pour les conditions humides ([14]; [15]; [16]).

Cet indice standardisé des précipitations (ISP ou SPI) est noté par la formule 12.

$$SPI = \frac{(P_i - P_m)}{\sigma} \tag{Eq. (12)}$$

avec  $P_i$ : la pluie du mois ou de l’année i.  $P_m$ : la pluie moyenne de la série sur l’échelle temporelle considérée.  $\sigma$ : l’écart-type de la série sur l’échelle temporelle considérée. Les conditions de sécheresse sont établies par [17] dans le tableau 1.

*Tableau 1. Critères de classification des indices de sécheresse*

Classes	Degré de la sécheresse
$\epsilon > 2$	Humidité extrême
$1 < \epsilon < 2$	Humidité forte
$0 < \epsilon < 1$	Humidité modérée
$-1 < \epsilon < 0$	Sécheresse modérée
$-2 < \epsilon < -1$	Sécheresse forte
$\epsilon < -2$	Sécheresse extrême

**2.3.5 CALCUL DU BILAN HYDROLOGIQUE**

Pour calculer le bilan hydrologique nous avons appliqué une relation 13 de ([18]) notée par:

$$P = Le + De; m \tag{Eq. (13)}$$

P- la lame annuelle précipitée en mm; Le-la lame annuelle écoulee (mm) et De -le déficit annuel d’écoulement (mm) sur le bassin versant.

La lame annuelle écoulee en m s’obtient à travers la relation 14 notée par :

$$Le = 365 * \overline{86,4} * Q/S \text{ ce qui équivaut à écrire } Le = 31,6 \cdot 10^6 * Q/S \quad \text{Eq. (14)}$$

Où: **Q** est le module d'écoulement ( $m^3/s$ ); **S** est la superficie du bassin versant (Km<sup>2</sup>). Le déficit d'écoulement (**De** mm) est calculé selon la relation 15:

$$De = P - Le; \text{ mm} \quad \text{Eq. (15)}$$

$$L'indice de débit est déterminé par la relation:  $le = (Q - Q_m) / Q_m$  \quad \text{Eq. (16)}$$

où **P** et **Q** - constituent respectivement la pluie et le débit annuels. Quant à **P<sub>m</sub>** et **Q<sub>m</sub>** - ce sont les moyennes interannuelles calculées sur la période 1951-1989 de la pluie et des modules du bassin versant.

## 2.4 DÉTERMINATION DE L'ÉNERGIE SOLAIRE

Le rayonnement solaire est caractérisé par une émission de particules. Ce flux de particules, appelées photons, atteint la terre avec différentes longueurs d'ondes à la quelle correspond une énergie spécifique décrite par les relations [24].

$$E [J] = h \nu = h \cdot c / \lambda \quad \text{Eq. (17)}$$

Où **H** est constante de Planck  $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$  J.S; **C**, est la vitesse de la lumière égale à  $3 \cdot 10^8$  m/s

;  $\lambda$  est la longueur d'onde de rayonnement en m et en  $\mu m$ , calculée sur la base de la relation 18 de Wien et de la transformation de la température suivant la relation 19.

$$\lambda_m = \frac{2,9}{T^{\circ}K}; \mu m \quad \text{Eq. (18)}$$

$$T^{\circ}K = t^{\circ}C + 273,15 \quad \text{(Eq.19)}$$

**Transformations:** L'énergie d'un photon a une valeur très faible en joule (J). Pour mieux les comparer, il est souvent commode de changer d'échelle pour avoir des valeurs sans puissance de dix négatives. Ainsi, on a:  $1 \text{ eV} = 1,60 \cdot 10^{-19}$  J. Dans ce cas nous prendrons  $1 \text{ joule} = 0,625 \cdot 10^{22}$  milli électron volt (mev).

## 2.5 APPLICATION DE LA METHODE DES ISOHYETES (ISO VALEURS)

Les isohyètes sont des lignes de même pluviosité (iso valeurs de pluies annuelles, température, d'énergie annuelles) tracées grâce aux valeurs des paramètres acquises dans la zone d'étude. Lorsque les courbes isohyètes sont tracées, la pluie moyenne peut être calculée à partir des relations 20 et 21.

$$Y_M = \frac{\sum_{i=1}^k [(A)_i * X_i]}{A} \quad \text{Eq. (20)}$$

$$X_i = \frac{h_i + h_{i+1}}{2} \quad \text{Eq. (21)}$$

$Y_M$ , est la moyenne des paramètres (pluviométrie, température, énergie) considérés. **A** est la superficie en km<sup>2</sup> du bassin versant. **A<sub>i</sub>** est la surface unitaire entre deux isohyètes ou iso valeurs de  $h_i$  et  $h_{i+1}$  et **K** est le nombre de mesures.

## 3 RESULTATS

### 3.1 EVOLUTION DE LA PLUVIOMETRIE ET DE LA TEMPERATURE ANNUELLES

#### 3.1.1 INDICES DE PLUIES ET DE DEBIT FLUVIAL

La préfecture de Kouroussa a connu les années d'humidité de 1981 à 1993. Alors que de 1994 à 2009 nous avons observé des années de sécheresse. Le retour aux conditions d'humidité est signalé entre 2010 et 2021 (Figure 4a). De 1981 à 1993 la pluviométrie est de 1082 mm et de 1994 à 2010 la pluviométrie moyenne annuelle vaut 1131 mm. De 2011 à 2022 nous avons obtenu 1746 mm de hauteurs pluviométriques moyennes (Figure 4a). Le débit moyen du fleuve Niger de 1980 à 1994 est estimé à  $121,5 m^3/s$  alors que le débit évalué entre 1995 et 2018 est de  $173,3 m^3/s$  (Figure 4b).

### 3.1.2 VARIATIONS ANNUELLES - INTERANNUELLES DE LA PLUVIOMETRIE ET DE LA TEMPERATURE

On observe sur la **figure 5a** que de 1981 (2090,48 mm) à 1992 (1495,57 mm) la pluviométrie annuelle est supérieure ou égale à la moyenne générale (1492,57 mm). Les deux années de 1993 (1154,88 mm) et de 1994 (1377,25 mm) sont marquées par les pluviométries inférieures à la moyenne générale (**Figure 5a**). En 1995 la pluviométrie enregistrée se confond à la moyenne générale (1495,57 mm) avant de baisser en intensité en 1996 (970,31 mm). Les pluviométries enregistrées au cours des années 1997 (1684,86 mm), 1998 (1918,21 mm) baissent à 1495,57 mm en 1999a (**Figure 5a**). La baisse de la pluviométrie est importante selon la **figure 5a** de l'année 2000 (1131,15 mm), de l'année 2001 (605,13 mm), 2002 (556,35 mm), 2003 (696,53 mm), 2004 (742,24 mm), 2005 (759,82 mm), 2007 (619,19 mm). A partir de cette année 2007 la tendance des précipitations est à la hausse en 2008 (1495,57 mm), 2009 (1868,12 mm), 2010 (1754,74 mm) avant de baisser en intensité en 2011 (1131,59 mm). De l'année 2012 de hauteur pluviométrique évaluée à 1729,25 mm jusqu'à l'année 2021, qui enregistre une hauteur pluviométrique de 1703,34 mm, les variations pluviométriques sont oscillatoires autour de la moyenne de 1495,57 mm (**Figure 5a**). L'année la plus pluvieuse est 2021 (2427,01 mm). On observe que de 1981 (2090,48 mm) à 1992 (1495,57 mm) la pluviométrie annuelle est supérieure ou égale à la moyenne générale (1492,57 mm). Les deux années de 1993 (1154,88 mm) et de 1994 (1377,25 mm) sont marquées par les pluviométries inférieures à la moyenne générale (**Figure 5a**). En 1995 la pluviométrie enregistrée se confond à la moyenne générale (1495,57 mm) avant de baisser en intensité en 1996 (970,31 mm). Les pluviométries de grandes hauteurs qui sont enregistrées au cours des années 1997 (1684,86 mm), 1998 (1918,21 mm) baissent à 1495,57 mm en 1999a. La baisse de la pluviométrie est importante durant l'année 2000 (1131,15 mm), les années 2001 (605,13 mm), 2002 (556,35 mm), 2003 (696,53 mm), 2004 (742,24 mm), 2005 (759,82 mm), 2007 (619,19 mm). A partir de cette année 2007 la tendance des précipitations est à la hausse en 2008 (1495,57 mm), 2009 (1868,12 mm), 2010 (1754,74 mm) avant de baisser en intensité en 2011 (1131,59 mm). De l'année 2012 de hauteur pluviométrique évaluée à 1729,25 mm jusqu'à l'année 2021, qui enregistre une hauteur pluviométrique de 1703,34 mm. Les variations pluviométriques oscillatoires autour de la moyenne de 1495,57 mm. L'année la plus pluvieuse est de 2021 (2427,01 mm) selon le **figure 5a**.

De 1981 à 1995 les températures moyennes annuelles ont peu varié de 25,01°C (1981) à 25,69°C (**Figure 5b**). Les valeurs de températures sont restées inférieures à la moyenne de 26,10°C. En 1996 la température est montée à 26,76°C avant de décroître jusqu'à 25,2°C (1999), peu évoluée de l'ordre de 25,5°C à l'année 2000 (**Figure 5b**). Les années 2001 (27,86°C), 2002 (29,18°C), 2003 (28,73°C), 2004 (28,47°C), 2005 (28,21°C), 2006 (28,38°C), 2007 (28,3°C), 2008 (28,58°C) observables sur la **figure 5b**.

### 3.1.3 VARIATIONS DE LA PLUVIOMETRIE ET DE LA TEMPERATURE SAISONNIERES

On observe sur la **figure 6a** les températures différentes déterminées au cours des mois. Nous obtenons au mois de janvier (23,69°C), de février (27,26°C), de mars (30,52°C), d'avril (31,42°C), de mai (29,18°C) et de novembre (23,80°C) et décembre (22,42°C). Ce sont les plus hautes valeurs pendant cette saison correspondant aux saisons sèches dans la zone d'étude (**Figure 6a**). Pendant la saison pluvieuse les valeurs de température sont les suivantes sur la **figure 6a**: juin (26,72°C), juillet (24,90°C), août (24,08°C), septembre (24,39°C) et octobre (24,94°C). Les mois qui couvrent la saison pluvieuse concernent mai (123 mm), juin (218 mm), juillet (304 mm), août (397 mm), septembre (294 mm), octobre (118 mm).

### 3.1.4 VARIATIONS MENSUELLES DE LA TEMPERATURE ET DE L'ENERGIE SPECIFIQUE

Les températures selon la **figure 6a** baissent à partir du mois de mai (29,18°C) commencent à baisser au mois de juin (26,72°C), en juillet (24,90°C), au mois d'août (24,08°C), au mois de septembre (24,39°C) et au mois d'octobre (24,94°C). Les températures se caractérisent au mois de novembre par 23,80°C et 22,42°C au mois de décembre. Les mois de janvier (23,69°C), de février (27,26°C), de mars (30,52°C) et d'avril (31,42°C) sont très chauds (**Figure 6a**). Les données sur les coordonnées de points d'observation et les résultats de calculs de l'énergie spécifique des photoélectrons sont présentés dans le tableau... Nous avons trois mois qui connaissent de grandes énergies rayonnantes: le mois de février ( $2036 \cdot 10^E-26J$ ), de mars ( $2083 \cdot 10^E-26J$ ), d'avril ( $2089 \cdot 10^E-26J$ ) et de mai ( $2074 \cdot 10^E-26J$ ).

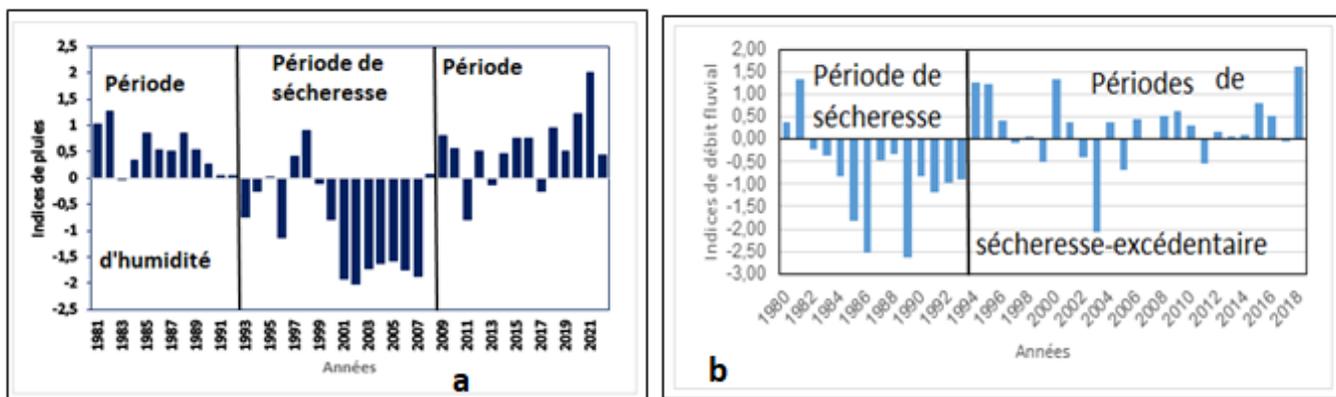


Fig. 4. Indices de pluies (4a de la période 1981-2022) et de débit fluvial (4b de la période 1980-2018)

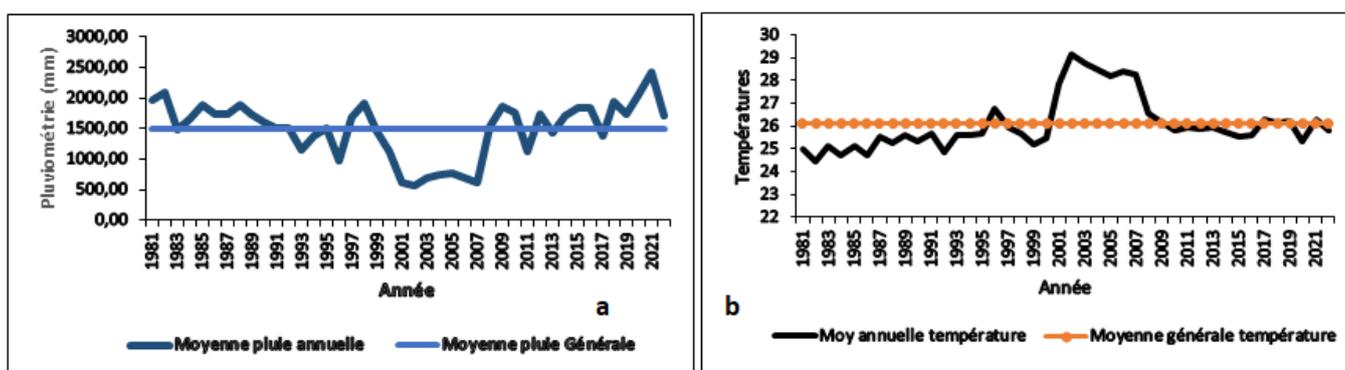


Fig. 5. Variations de la pluviométrie moyenne (5a) et de température moyenne (5b) autour de leurs moyennes annuelles (période de 1981-2022)

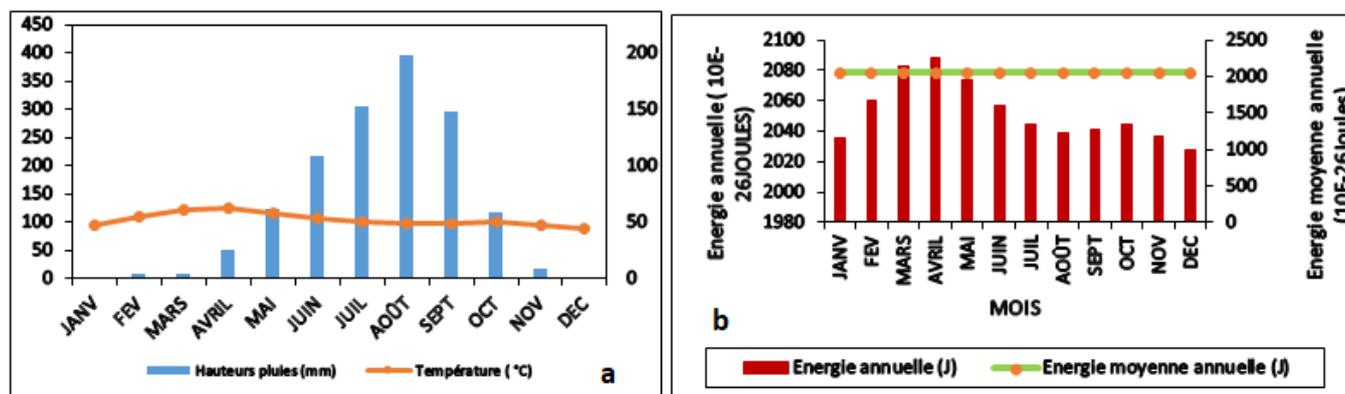


Fig. 6. Diagrammes ombrothermique (6a) et Variation mensuelle de l'énergie solaire par rapport à la moyenne (6b)

### 3.1.5 BILAN HYDROLOGIQUE

Les résultats du bilan hydrologique calculé à partir des données de précipitation (P) et de lame d'eau d'écoulement du bassin du fleuve Niger (Le) à Kouroussa sont notés dans le **tableau 2**. Le déficit est représenté par la valeur de 1461 mm qui correspond à 95% des précipitations.

Tableau 2. Le bilan hydrologique de la zone d'étude (période 1981-2022)

P (mm)	Le (mm)	De (mm)	Ke (%)
1540,55	80	1460,55	95

### 3.1.6 RESULTATS DE CALCULS ÉNERGETIQUES AUX POINTS D'OBSERVATION

Sur la **figure 7**, les résultats donnés suite aux calculs sont différents selon les positions géographiques de localités de Kouroussa et de ses environs: A Banko à l'ouest ( $E=2048.10E-26J$ ), Banfele au sud ( $E=2048.10E-26J$ ), Douako au sud ( $E=2048.10E-26J$ ), Cissela au nord ( $E=2051.10E-26J$ ), Bissikrima au nord-ouest ( $E=2051.10E-26J$ ), Babila à l'est ( $E=2052.10E-26J$ ), Kiniero au centre est ( $E=2052.10E-26J$ ), Kouroussa centre ( $E=2052.10E-26J$ ), Dinguiraye centre au Nord ( $E=2054.10E-26J$ ), Norassoba au nord est ( $2057.10E-26J$ ), Komola au nord ( $E=2056.10E-26J$ ), Sanguiana au nord-ouest ( $E=2056.10E-26J$ ), Balato à l'est ( $E=2057.10E-26J$ ), Baro au centre est ( $E=2057.10E-26J$ ), Koumana à l'est ( $E=2057.10E-26J$ ), Banora au nord-ouest ( $E=2058.10E-26J$ ), Doura à l'est ( $E=2058.10E-26J$ ), Bate Nafadji au nord-est ( $E=2060.10E-26J$ ).

### 3.1.7 REPRESENTATION DE VARIATION SPATIALE DE SECHERESSE, RECHAUFFEMENT ET DES ÉNERGIES SPECIFIQUES DANS LA ZONE D'ETUDE

Le déficit pluviométrique est observé dans la zone d'étude au fur et à mesure que l'on évolue du nord au sud (**Figure 8a**). Les hauteurs pluviométriques établies à 1260 mm aux extrêmes nord-est et nord-ouest augmentent progressivement de 1280 mm à 1460 mm vers le centre de la zone d'étude (**Figure 8a**). Du centre vers les parties sud-est et sud-ouest les hauteurs pluviométriques augmentent en intensité de 11480 mm à 1660 mm vers le sud de la zone d'étude (**Figure 8a**). Les températures très chaudes de 27°C sont observées au nord et au nord-est avec des valeurs de températures annuelles qui sont variables entre 26 et 27,3°C. Les températures, moyennement chaudes au nord au sud, oscillent entre 26,8 et 25,6°C. Plus au sud, nous observons les basses températures qui sont variables entre 25,5 et 25,2°C (**Figure 8b**). La période 1981-1990 a été caractérisée par des températures de 24 et 25°C alors que la période de 1991-2000 s'est distinguée par les températures de 24 et 26°C. L'évolution décennale des températures de la série chronologique 1981-2022 est représentée sur la figure 7c. Il apparaît que la période 2001-2010 fut très chaude. A cette période les températures ont été évaluées entre 24 et 28°C. Durant la période 2011-2022 les températures sont au minimum 24°C et maximum de 26,5°C (**Figure 8c**). Sur la **figure 7d** les zones de grands rayonnements énergétiques sont liées aux rayonnements de photons qui sont observables lorsque nous quittons de l'extrême Nord et continuons vers le Nord-Est. Les bandes d'énergies importantes sont variables entre 300,4 et 299,9.  $10^E-26$  Joules (**Figure 8d**). Dans la partie centrale les énergies sont moyennes et varient entre 299,7 et 299,00.  $10^E-26$  Joules. Les parties Sud et Sud-Ouest sont moins productrices d'énergie spécifique rayonnantes. Les valeurs d'énergie varient entre 298,9 et 298,3.  $10^E-26$  Joules (**Figure 8d**).



**Fig. 7. Evolution de l'énergie solaire spécifique par localités (1981-2022)**

La Guinée s'étend sur une superficie de 245 857 km<sup>2</sup> avec une radiation solaire évaluée à 4,8 kWh/m<sup>2</sup>/j [25], soit 1752 kWh/m<sup>2</sup>/an. Ainsi, les points d'énergie calculés correspondent à des unités de surface. En multipliant le rapport de proportionnalité entre les surfaces des localités par rapport à la superficie totale de la Guinée, à la radiation solaire de Guinée nous avons pu obtenir des radiations spécifiques telles que définies sur la **figure 8**.

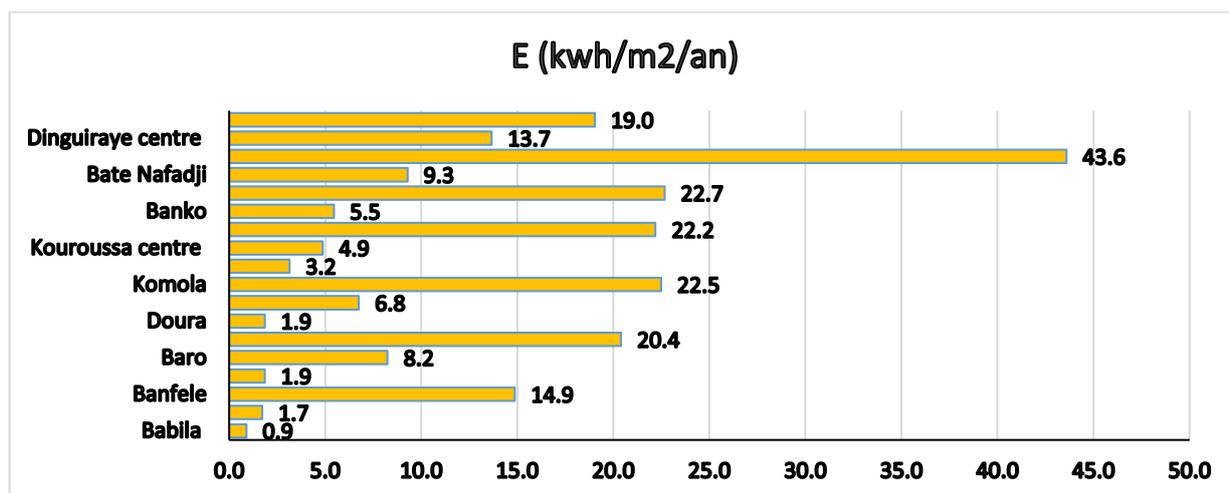


Fig. 8. Radiation solaire moyenne annuelle des localités par rapport à la superficie totale de Guinée

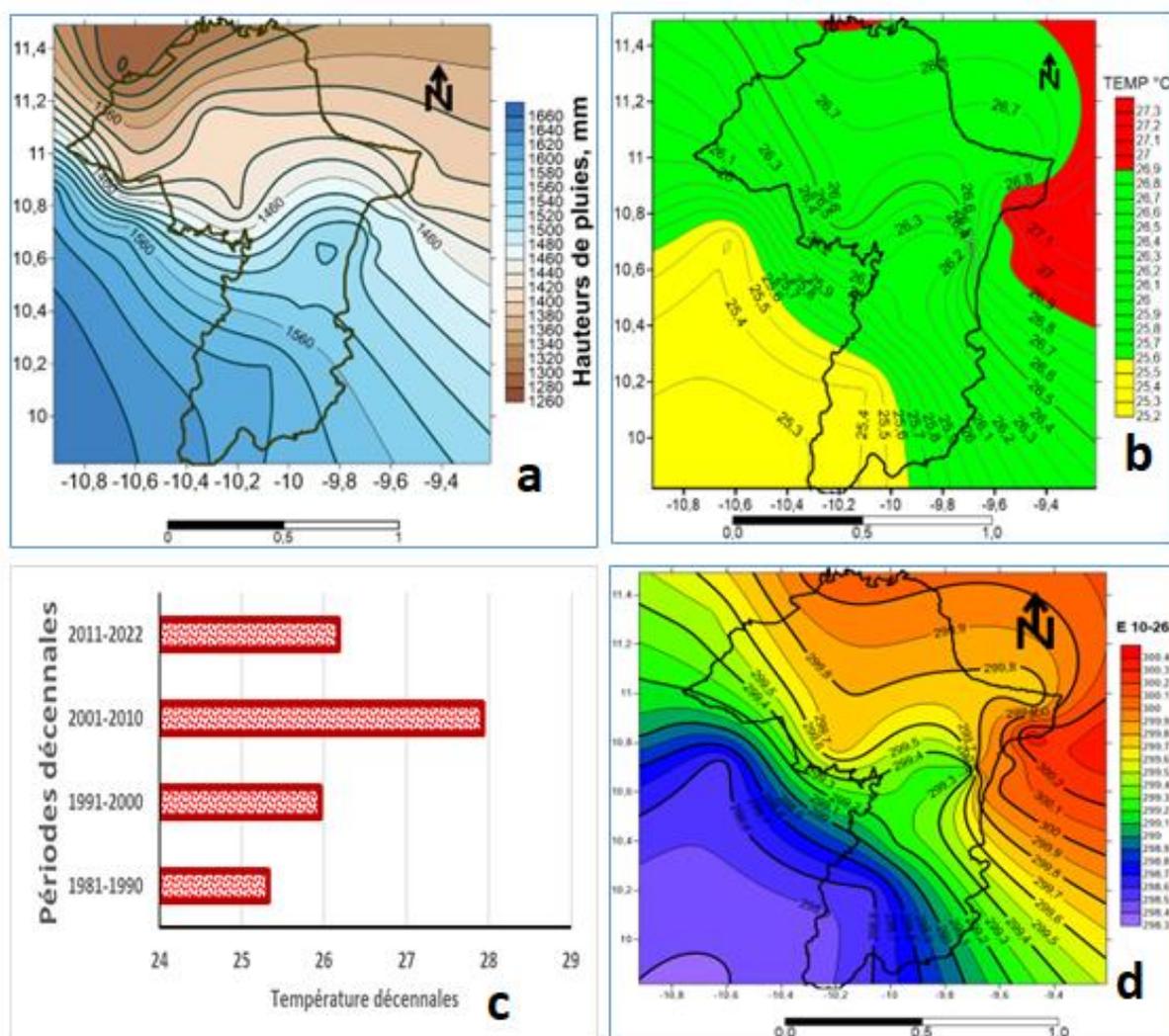


Fig. 9. Variations spatiales des données climatiques et d'énergies rayonnantes dans la zone d'étude

## 4 DISCUSSION

Les changements climatiques observés du nord au sud de la Guinée sont localement observés dans la zone de Kouroussa. Les déficits pluviométriques sont remarquables lorsque nous évoluons du centre vers le nord et le nord-est de la zone d'étude. Les parties soumises à la sécheresse sont les plus exposées aux rayonnements solaires. Les températures de la surface terrestre contenant des quantités de photons sont sources d'énergie thermique. C'est pourquoi les énergies solaires sont parmi les formes d'énergie renouvelables les plus sollicitées en cette période de réchauffement climatique en Europe. En France la transition écologique pour soutenir le développement durable passe par l'exploitation de l'énergie solaire. Dans notre cas nous avons exposé que les parties qui sont les plus chaudes sont productrices également de grandes énergies spécifiques. Les rayonnements solaires et les augmentations de température placent des populations à d'importants risques de maladies quand bien même il serait important d'exploiter l'énergie solaire dans cette partie de la République de Guinée. L'énergie solaire photovoltaïque consiste à transformer directement la lumière provenant du soleil en électricité. L'effet photovoltaïque même qui a été découvert par Antoine Becquerel en 1839 et expliqué scientifiquement par Einstein (1905) dans [19]. C'est une énergie naturelle quoiqu'il en soit on aura besoin de réglementations pour sa production, comme cela est le cas en Europe. Il faut savoir que le rayonnement solaire est une émission de particules appelées photons correspondant à une manifestation d'énergie utilisable. La transition énergétique est entreprise en France au courant de ce 21<sup>ème</sup> siècle pour soutenir un nouveau programme de modèle énergétique. L'investissement scientifique et technologique dans ce programme permet de protéger l'environnement et faire face à l'épuisement des ressources ([20]). Le Soleil émet dans son entourage une énergie fantastique, qui correspond à une perte de masse de 4 millions de tonnes par seconde; 4 millions de tonnes de lumière ! Pourtant, à l'échelle de la cellule, la conversion de l'énergie lumineuse utile en glucide est excellente: le rendement est de 30 %, ce qui est le rendement d'une bonne centrale électrique ([21]).

Le rayonnement solaire provoque le départ d'électrons et donc la génération d'un courant électrique. Les matériaux susceptibles de convertir relativement efficacement l'énergie contenue dans la lumière en déplacement d'électrons sont de type semi-conducteur. Les semi-conducteurs ont la particularité de ne conduire l'électricité qu'à partir du moment où l'énergie incidente (l'énergie solaire) est suffisante. Ces matériaux sont généralement à base de silicium. On en fait des cellules d'une taille de quelques centimètres. L'assemblage de ces cellules conduit aux panneaux photovoltaïques. Ces derniers permettent d'alimenter des pompes hydrauliques, des sources lumineuses (panneaux d'affichage, éclairage...), de batteries afin de stocker l'énergie électrique et tout autre appareil électrique de puissance similaire. Pour un fort ensoleillement (de l'ordre de 1000 watts par m<sup>2</sup>), un panneau d'1 m<sup>2</sup> fournira au mieux de 100 à 150 watts (compte tenu des rendements actuels compris entre 10 et 15 %).

Le stockage de l'électricité dans des batteries permet de s'affranchir des intermittences de l'ensoleillement et de satisfaire les besoins sans interruption ([22]). Annuellement, c'est environ de 60 % de l'énergie solaire qui nous arrive sous forme de rayonnement diffus, et 40 % sous forme de rayonnement direct.

Pour permettre une comparaison de l'efficacité de différentes cellules, on définit ces caractéristiques dans des conditions de test bien précises (STC = Standard Test Conditions). Ces conditions sont: émission lumineuse de 1 000 W/m<sup>2</sup>, température de 25 °C, conditions spectrales Air Mass 1.5 de composition du spectre identique au spectre solaire lorsqu'il traverse une épaisseur et demie d'atmosphère, ce qui correspond à un angle d'incidence de 41.8° par rapport à l'horizontale ([24]; [26]; [23]). En Guinée la durée annuelle moyenne d'ensoleillement en Haute Guinée est 2700 heures avec un potentiel énergétique de 500MW qui représentent 8,9% du potentiel total ([25]).

## REFERENCES

- [1] Sangaré, S., Mahé, G., Paturol, J. E., & Bangoura, Y. (2002). Bilan hydrologique du fleuve Niger en Guinée de 1950 à 2000. *Sud Sciences et Technologies*, 9, 21-33.
- [2] Diarra D. Z., (2004). Impacts des changements climatiques en Afrique. 35p. <https://www.wamis.org/agm/meetings/iwacc09/S3-Diarra.pdf>.
- [3] Al Hamndou D. Et Requier-Desjardins M. (2008). Variabilité climatique, désertification et biodiversité en Afrique: s'adapter, une approche intégrée. *Vertigo- la revue électronique en sciences de l'environnement* [En ligne], Volume 8 Numéro 1 | avril 2008, mis en ligne le 07 novembre 2008, consulté le 07 janvier 2022.
- [4] Pachauri, R. K., & Reisinger, A. (2008). Bilan 2007 des changements climatiques : Rapport de synthèse. GIEC.
- [5] PANA-Guinée. 2007. Programme d'Action National d'Adaptation aux changements climatiques (PANA-Guinée), PNUD/CCNUCC, pp. 92.
- [6] MEEF, (2018). Seconde communication nationale à la convention cadre des nations unies sur les changements climatiques, Conakry. 162p.
- [7] INS (2014). Recensement général de la population et de l'Habitat 2014. Données sociodémographiques et économiques: Préfecture de Siguiri. Institut National de la Statistique, Bureau Technique du Recensement, Région Haute Guinée, République de Guinée.
- [8] Abdou A., Thierry Lebel T.L. & Abou A., 2008. Signification et usage de l'indice pluviométrique au Sahel. *Sècheresse* (19), 227-235.

- [9] Boyer J.F. (2002): Khronostat 1.01: Logiciel d'analyse statistique de séries chronologiques. Disponible en ligne: <http://www.hydrosciences.org/spip.php?article1000>.
- [10] Pettitt A.N. (1979): « A non-parametric approach to the change point problem ». *Applied Statistics*; 28 (2): 126-35.
- [11] Buishand T.A., 1984. Tests for detecting a shift in the mean of hydrological time series. *Journal of Hydrology*, vol. 58, pp. 51-69, 1984.
- [12] Buishand T.A. (1982). « Some methods for testing the homogeneity of rainfall records ». *Journal of Hydrology*; 58 (1-2): 11-27.
- [13] Bodian, A. (2014). Caractérisation de la variabilité temporelle récente des précipitations annuelles au Sénégal (Afrique de l'Ouest). *Physio-Géo. Géographie physique et environnement*, (Volume 8), 297-312.
- [14] Hayes M., Svoboda M., Wall N., Widhalm M. (2011). The Lincoln Declaration on Drought Indices: Universal Meteorological Drought Index Recommended. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 92, 485-488.
- [15] Kourouma, M., Kourouma, M., Keita, D., Soro, T. D., Soro, G., Soumaré, O., Soro, N., (2023). Study of spatial and temporal climate variability in the Siguiri sub-basin (North-Eastern Guinea). *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 20 (1), Article 1. <https://doi.org/10.30574/wjarr.2023.20.1.2072>.
- [16] Mc Kee, T. B., Doesken, N. J., Kleist, J. (1995). Drought monitoring with multiple time scales. *Proceedings of the Ninth Conference on Applied Climatology*, p. 233-236. Amer. Meteor. Soc., Boston.
- [17] Faye C., Sow A.A. & Ndong J.B. (2015). Étude des sécheresses pluviométriques hydrologiques en Afrique tropicale caractérisation et cartographie de la sécheresse par indices dans le haut bassin du fleuve Sénégal. *Physio-Géo*, 9, 17-35.
- [18] Bamba, F., Diabaté, M., Mahé, G., & Diarra, M. (1998). Variabilité hydrologique sur le haut bassin du fleuve Niger. *Revue Malienne de Science et de Technologie*, 4, 6-22.
- [19] Abdelhady, S. (2011). Comments on Einstein's explanation of electrons, photons, and the photo-electric effect. *Applied Physics Research*, 3 (2), 230-240.
- [20] Schwarz, V., & Lavergne, G. (2015). Why must there be an energy transition?. *Responsabilité et Environnement*, 2 (78), 7-10.
- [21] Peychès, I. (1974). Soleil, énergie et agriculture. *Journal de la société française de statistique*, 115, 317-326.
- [22] Avadikyan, A., & Mainguy 1, C. (2016). Accès à l'énergie et lutte contre le changement climatique: opportunités et défis en Afrique subsaharienne—Présentation. *Mondes en développement*, (4), 7-24.
- [23] Kharef, F. Z., & Masmoudi, R. (2021). *Commande MPPT pour les panneaux photovoltaïques en ombrage* (Doctoral dissertation, Commande Electriques).
- [24] Energieplus, 2010. Caractéristiques électriques des cellules et des modules photovoltaïques. <https://energieplus-lesite.be/theories/photovoltaique6/caracteristiques-electriques-des-cellules-et-des-modules-photovoltaiques/>.
- [25] ECOWAS Center for Renewable Energy and Energy Efficiency (ECREEE), MHE- Guinée (2015). <http://www.ecreee.org>.
- [26] Belhadj, M., Benouaz, T., Cheknane, A., & Bekkouché, S. M. E. A. (2010). Estimation de la puissance maximale produite par un générateur photovoltaïque. *Journal of Renewable Energies*, 13 (2), 257-264.