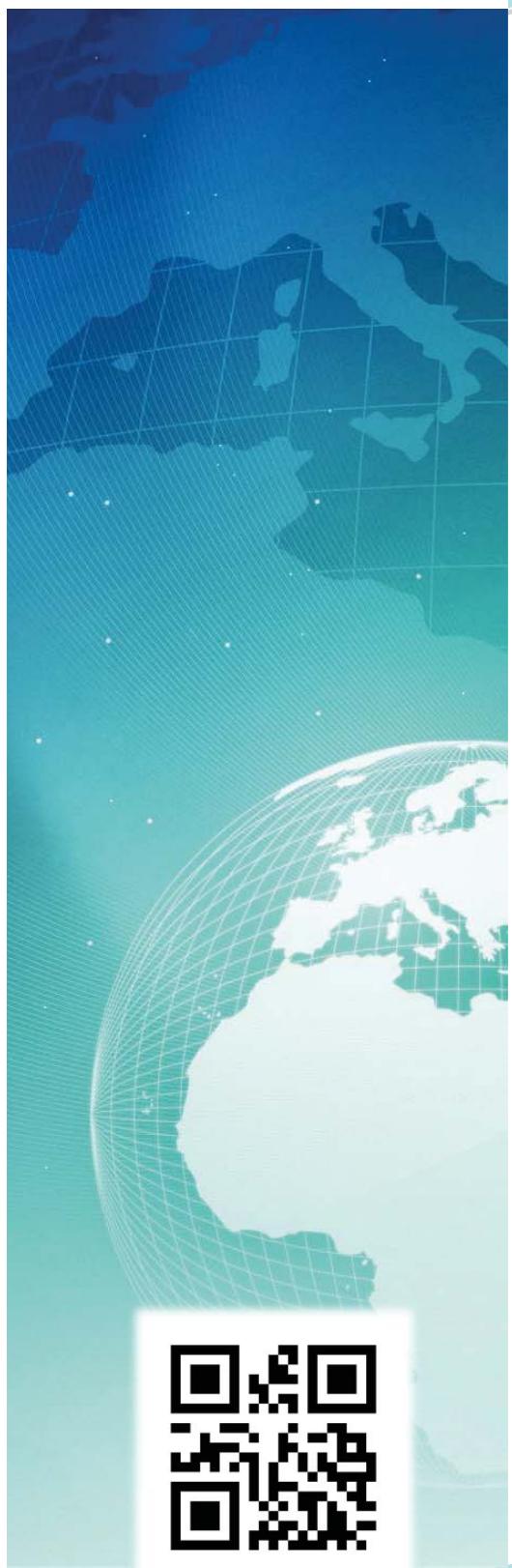




ISSN 2630-0958  
**Journal de Physique de la Soaphys**  
J. P. Soaphys



**Volume 2, Numéro 2 - Décembre 2020**  
**SOAPHYS<sup>®</sup>**

**Journal de Physique de la Soaphys**  
**Volume 2, Numéro 2, Décembre 2020**

**Directeur de publication**

- Prof. Jean KOULIDIATI

**Comité scientifique**

- Prof. Jean CHABI OROU (Benin)
- Prof. Félix HONTINFINDE (Benin)
- Prof. Dieudonné Joseph BATHIEBO (Burkina Faso)
- Prof. Fréderic OUATTARA (Burkina Faso)
- Prof. Adama DIAWARA (Côte d'Ivoire)
- Prof. Vafi DOUMBIA (Côte d'Ivoire)
- Prof Abdramane BA (Mali),
- Prof. Badié DIOURTHE (Mali),
- Prof. Saïdou MADOUGOU (Niger)
- Dr. Haoua AMADOU, MC (Niger)
- Prof. Kossi NAPO (Togo)
- Prof. Magolmèna BANNA (Togo)
- Prof. Oumar KA (Sénégal)
- Prof. Diouma KOBOR (Sénégal)

**Rédacteur en chef**

- Prof. Antoine BERE (Burkina Faso)

**Rédacteur en chef adjoint**

- Dr. Milohum Mikesokpo DZAGLI, MC, (Togo),

**Secrétaire technique**

- Dr. Sié Zacharie KAM, MA, (Burkina Faso)

**Journal de Physique de la Soaphys**  
**Volume 2, Numéro 2, Décembre 2020**

**SOMMAIRE**

Thermal destruction of gas generated from household waste <i>Palm et al.,</i>	.....	C20A15 :1-5
Energy calculations of the ( $2p^2$ 1D); ( $3d^2$ 1G) and ( $4f^2$ 1I) doubly excited states of helium isoelectronic sequence ( $Z \leq 20$ ) via the modified atomic orbital theory <i>Sow</i>	.....	C20A16 :1-7
Potentiel érosif de la pluie : identification du meilleur estimateur d'énergie cinétique de la pluie à partir des données de dropsize distribution (DSD) de pluies mesurées au nord-ouest du bénin <i>Adjikpe et al.,</i>	.....	C20A17 :1-5
Le carbone 14 ( $^{14}\text{C}$ ) un traceur idéal pour la surveillance dela pollution atmosphérique en dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) anthropogénique dans la zone de Dakar <i>Sène et al.,</i>	.....	C20A18 :1-8
Influences of local materials on the building behavior and evaluation of the cooling loads <i>Amadou et al.,</i>	.....	C20A19 :1-7
Evaluation du potentiel en petite hydroelectricite du bassin versant de wassadou en utilisant le modele hydrologique SWAT <i>Ndiaye et al.,</i>	.....	C20A20 :1-9
Modélisation de la distribution granulométrique des gouttes de pluie par la loi gamma généralisée <i>Kougbeagbede et al.,</i>	.....	C20A21 :1-5
Adaptive proportional integral controller based on ann for DC link voltage control single-phase inverter connected to grid <i>Traoré et al.,</i>	.....	C20A22 :1-6
Evaluation du pouvoir methanogene de la jacinthe d'eau sur le lac Nokoué a ganvie au Bénin <i>Dohou et al.,</i>	.....	C20A23 :1-5
Evaluation du potentiel de production du biogaz emanant des déchets organiques : cas de Bamako <i>Koné et al.,</i>	.....	C20A24 :1-6
Modélisation du rayonnement solaire global incident sur un plan horizontal et incliné par quatre modèles semi-empiriques sur le site de la ville de Ouagadougou <i>Ouédraogo et al.,</i>	.....	C20A25 :1-9
Modélisation et simulation d'un bâtiment classique vers un bâtiment à energie positive (BEPOS) <i>Sawadogo et al.,</i>	.....	C20A26 :1-7
Recherche de tendances récentes dans les séquences sèches : cas des stations synoptiques du Bénin <i>Gnihatin et al.,</i>	.....	C20A27 :1-17
Theoretical and experimental analysis of a boost converter <i>Badiane et al.,</i>	.....	C20A28 :1-9

## POTENTIEL ÉROSIF DE LA PLUIE : IDENTIFICATION DU MEILLEUR ESTIMATEUR D'ÉNERGIE CINÉTIQUE DE LA PLUIE À PARTIR DES DONNÉES DE DROP SIZE DISTRIBUTION (DSD) DE PLUIES MESURÉES AU NORD-OUEST DU BÉNIN

Adjikpe Loïc Saturnin<sup>1,2</sup>, Moumouni Sounmaïla<sup>2</sup>, Kougbeagbede Hilaire<sup>1</sup>, and Massou Siaka<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire de Physique de l'Atmosphère, Université d'Abomey Calavi, Cotonou, Bénin, [adjikpel@gmail.com](mailto:adjikpel@gmail.com)

<sup>2</sup>Ecole Normale Supérieure de Natitingou, Université Nationale des Sciences, Technologies, Ingénierie et Mathématiques, Natitingou, Bénin ;

### INFOS SUR L'ARTICLE

#### Historique de l'article:

Reçu le : 24 Novembre 2020

Reçu en format révisé le : 12 février 2021

Accepté le : 25 mars 2021

**Mots-Clés :** DSD - Taux de pluie – réflectivité radar – énergie cinétique - potentiel érosif

### RÉSUMÉ

Le potentiel érosif de la pluie est sa capacité à provoquer l'érosion du sol. Son étude s'appuie sur l'énergie cinétique (KE) de la pluie qui peut être obtenue à partir de la distribution granulométrique des gouttes de pluie (en anglais Drop Size Distribution : DSD). Ce travail propose deux estimateurs de l'énergie cinétique de la pluie (KE) au Nord-Ouest du Bénin, l'un à partir de l'intensité de pluie (I) et l'autre à partir du facteur de réflectivité radar (Z) dans l'approximation de Raleigh. Les deux relations climatologiques KE-I et KE-Z sont établies à partir des données de DSD mesurées sur trois sites au Nord-Ouest du Bénin. L'énergie cinétique de la pluie a été évaluée par l'utilisation des relations KE-Z et KE-I. Ainsi, il est noté que la relation KE- Z est plus performante que la relation KE - I. Par ailleurs, en évaluant la sensibilité de ces relations KE - I et KE - Z au pas de temps d'intégration des spectres de DSD, il ressort que la performance de ces relations augmente avec le pas de temps d'intégration.

### I. INTRODUCTION

Le détachement des matières du sol par la pluie est fortement lié à l'énergie cinétique (KE) des gouttes de pluie en chute. La connaissance de cette variable améliore les études sur les érosions hydriques des sols (Van Dijk (2002)). Mais, sa variabilité spatio-temporelle rend sa mesure directe complexe (Fornis et al. (2015)). Ainsi, des méthodes dites indirectes consistant à établir un lien entre le flux d'énergie cinétique des gouttes de pluie et d'autres variables hydrologiques mesurées, comme l'intensité des précipitations (I) ou le facteur de réflectivité radar (Z) dans l'approximation de Raleigh ont été développées. Mais les relations obtenues dans une région ne sont pas applicables à d'autres à cause de l'influence de certains facteurs comme le type de pluie, l'altitude, le climat, la méthode de mesure utilisée, etc. (Angulo-Martínez et Barros (2015)). De nombreuses relations KE-I et KE-Z sont établies dans différentes parties du monde (Carollo and al. (2017), Fox (2014), Mineo et al. (2019), Jan Petrù et al. (2018), Nan Yu (2012), Steiner and Smith (2000)). Mais aucune n'est encore établie au Nord-Ouest du Benin à l'aide de la distribution des Gouttes de pluie. Ce travail a donc pour objectif de doter le Nord-Ouest du Bénin des relations KE - I et KE-Z pouvant permettre d'estimer le flux d'énergie cinétique des gouttes de pluie à partir de

l'intensité de la pluie (I) et du facteur de réflectivité radar (Z) pour des études d'impact de la pluie en général et de l'érosion hydrique en particulier. Il s'agit, dans la première partie, de calculer l'énergie cinétique (KE), l'intensité de la pluie (I) et le facteur de réflectivité radar (Z) à partir des données de DSD de pluies mesurées ; d'établir les relations KE - I et KE - Z ; d'évaluer leurs capacités à restituer l'énergie cinétique des gouttes de pluie, leurs sensibilités aux pas de temps d'intégration et de comparer leurs performances avec des critères statistiques. La deuxième partie est consacrée aux données utilisées. Nous présentons la méthodologie exploitée dans la troisième partie. Les résultats expérimentaux et les discussions font l'objet de la quatrième partie.

### II. JEU DE DONNÉES

Les données de DSD de pluies utilisées dans ce travail sont celles mesurées lors de la période d'observations intensives de la campagne AMMA (Redelsperger et al., 2006) de 2005 à 2007. Au cours de cette période, deux types de disdromètres optiques ont été utilisés pour compléter les observations des radars météorologiques installés au Nord-Ouest du Bénin. Mais pour des raisons techniques, tous ces instruments n'ont pas fonctionné simultanément. Durant trois saisons pluvieuses (2005 à 2007), ces disdromètres optiques ont observé la pluie sur

trois sites, au centre et autour de la ville de Djougou. Au total, 93 événements ont été échantillonnés, ce qui représente 11647 spectres de DSD (de durée une minute) et 1221 mm de pluie cumulée (Moumouni et al., 2008).

Le tableau n°1 présente la synthèse des données de DSD par site mesurées de 2005 à 2007

*Tableau n°1 : Données de DSD de pluies par site de mesures au Bénin*

Localité/ Coordonnées	Site/Année	Événements/Spectres /Cumul
Nangatchiori/ 1.74°E, 9.65°N	Site1/2005	10 événements/1816 spectres/160.03mm
Djougou/ 1.66°E, 9.69°N	Site2 (a) / 2006	14 événements / 1772 spectres / 256.10mm
	Site2 (b) / 2007	27 événements/3101 spectres / 325.12 mm
Copargo/ 1.56°E, 9.82°N	Site3/2006	42 événements/4958 spectres / 479.65mm

Dans cette étude, toute l'analyse qui est faite s'appuie sur ces données. Pour la pertinence de l'analyse, cette base de données disdrométriques a été divisée en deux échantillons différents à partir des spectres de DSD obtenus sur les différents sites (voir tableau n°1):

- Echantillon DATA A constitué de 47 événements de 6175 spectres de DSD, utilisés pour la modélisation de la distribution ;
- Echantillon DATA B constitué de 46 autres événements de 5472 spectres de DSD, utilisés pour la validation des modèles.

Cette répartition est faite afin de tester la capacité des modèles établis sur la base des données de l'échantillon DATA A à estimer le flux d'énergie cinétique des gouttes de pluie à partir des données de l'échantillon DATA B.

### III. MÉTHODOLOGIE

La méthode utilisée repose sur le calcul du flux d'énergie cinétique des gouttes de pluie à partir des spectres de DSD de pluies et de la vitesse terminale de chute des gouttes de pluie ( $V_t$ ). A partir de chaque spectre de DSD de pluies, on calcule la fonction notée  $N(D)$  qui représente le nombre de gouttes de pluie par unité de volume et par intervalle de diamètre exprimée en  $m^{-3}mm^{-1}$ .

$$N(D_i) = \frac{N_i}{ST\Delta D_i V_t(D_i)} \quad (1)$$

Dans cette expression,  $D_i$  est le diamètre équivalent des gouttes de pluie mesurées,  $\Delta D_i$  est la largeur de l'intervalle de diamètres centrés sur  $D_i$ .  $D_i$  et  $\Delta D_i$  sont exprimés en millimètre et  $S$  (surface de captation horizontale du disdromètre) est exprimée en mètre carré. Au bout d'un pas de temps  $T = 60s$ , le nombre de gouttes comptées par le disdromètre dans chaque intervalle de diamètres est  $N_i$ .  $V_t(D_i)$  est la vitesse de chute des gouttes de diamètre  $D_i$ . Les vitesses de chute

des gouttes sont pour la plupart des études, modélisées afin de faciliter les calculs. Dans le cadre de cette étude, la relation (2) ci-dessous proposée par Atlas et Ulbrich (1977) et utilisée par Moumouni et al. (2008) sur les mêmes données est exploitée afin que le taux de pluie soit proportionnel à un moment de la fonction  $N(D)$ .

$$V_t(D) = 3,78D^{0.67}[m \cdot s^{-1}] \quad (2)$$

Les variables  $KE$ ,  $I$  et  $Z$  respectivement le flux d'énergie cinétique de la pluie, l'intensité de pluie et le facteur de réflectivité radar dans l'approximation de Raleigh sont ensuite calculées pour chaque spectre de DSD mesurée. L'intensité de pluie  $I$  étant le volume d'eau tombée par unité de surface et par unité de temps. Elle est définie par la relation suivante : (Moumouni, 2009)

$$I = \frac{6\pi 10^{-4}}{ST} \sum_i N_i D_i^3 \quad (3a)$$

En introduisant l'expression (1) dans (3a), on obtient :

$$I = \frac{6\pi}{10^4} \sum_i D_i^3 V(D_i) N(D_i) \Delta D_i \quad (3b)$$

Dans la relation (3.b), l'intensité de pluie  $I$  s'exprime en  $mm.h^{-1}$ . De même, l'énergie cinétique d'une goutte  $i$  notée  $E_{ci}$  est fonction à la fois de sa masse  $m_i$  et de sa vitesse terminale  $v(D_i)$  :

$$E_{ci} = \frac{1}{2} m_i [v(D_i)]^2 \quad (4)$$

En supposant qu'une goutte de pluie a une forme

$$\text{sphérique}, m_i = \rho V_i = \frac{\pi \rho D_i^3}{6} \quad (4.a)$$

$V_i$  étant le volume sphérique d'une goutte et  $\rho$  sa densité dans les conditions standard.

L'énergie cinétique d'une goutte (en Joule) peut être écrite comme suit :

$$E_{ci} = \frac{\pi \rho D_i^3 v_i^2}{12} \quad (4.b)$$

L'énergie cinétique par unité de surface et par unité de profondeur de pluie  $Ke_i$  est obtenue en divisant l'équation (4.b) par l'intensité de pluie correspondante  $I$  (en  $mm.h^{-1}$ ), par le temps d'exposition à la pluie  $t$ (en s), et par la surface de captation horizontale du capteur  $S(m^2)$ . Ainsi, on obtient (Kinnell, 1987) :

$$Ke_i = \frac{300 \pi \rho D_i^3 v_i^2}{ItS} \quad (4.c)$$

$Ke_i$  s'exprime en ( $J.mm^2.m^{-1}$ ) et  $\rho = 10^{-6} kg/mm^3$

Lorsqu'on considère  $N_i$  gouttes de pluie, on obtient le flux d'énergie cinétique  $KE$  ( $KE = \sum_i KE_i$ ) par unité de surface et par unité de temps (exprimé en  $J.m^{-2}.h^{-1}$ ) en multipliant (4.c) par l'intensité de pluie  $I$  correspondante et en insérant la relation (1). On obtient :

$$KE = \frac{3\pi}{10^4} \sum_i D_i^3 [V_t(D_i)]^3 N(D_i) \Delta D_i \quad (4.d)$$

Le facteur de réflectivité radar ( $Z$  exprimé en  $m^{-3}mm^6$ ) peut être exprimé comme le moment d'ordre six de la

distribution de la taille des gouttes de pluie dans l'approximation de Raleigh. Il est calculé à partir de la relation (Sauvageot, 1982) :

$$Z = \sum_i D_i^6 N(D_i) \Delta D_i \quad (5)$$

Deux relations KE – I et KE – Z sont établies par régression linéaire de KE par I et de KE par Z sous la forme d'une loi puissance pour l'ensemble des données de la zone Nord-Ouest du Bénin.

Cette même méthode a été utilisée par Jan Pétrù et al. (2018), Steiner and Smith (2000) et Nan Yu et al. (2012). Elles se présentent sous la forme :

$$KE = a_1 I^{b_1} \quad (6)$$

$$KE = a_2 Z^{b_2} \quad (7)$$

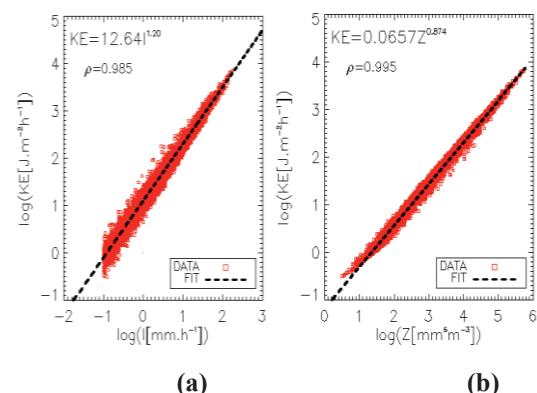
Dans les expressions (6) et (7), les constantes  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $b_1$  et  $b_2$  sont déterminées à l'aide des courbes de régression linéaire. Les trois critères à savoir le coefficient de corrélation, le critère d'efficience Nash et le biais normalisé définis en annexe sont les trois critères statistiques utilisés pour analyser les modèles obtenus.

Après la détermination des estimateurs KE - I et KE - Z, le coefficient de corrélation de Pearson, le critère d'efficience Nash et le biais normalisé (relations (10), (11) et (12) définis en annexe) sont calculés pour analyser leur performance.

#### IV. RÉSULTATS ET DISCUSSION

##### 4.1. Relations KE - I et KE - Z

Les relations **KE-I** et **KE-Z** sont établies par régression linéaire de **KE** par **I** et de **KE** par **Z** à partir de l'ensemble des données de l'échantillon DATA A. Le graphe (a) de la figure 1 montre le flux d'énergie cinétique des gouttes de pluie en fonction de l'intensité de pluie (**I**) et le graphe (b) montre le flux d'énergie cinétique des gouttes de pluie en fonction du facteur de réflectivité radar (**Z**).



**Figure 1 :** Échantillon DATA A ; Relations entre le flux d'énergie cinétique (KE), l'intensité des gouttes de pluie (I) et le facteur de réflectivité radar (Z) : (a) la relation KE-I ; (b) la relation KE-Z

Les relations climatologiques entre le flux d'énergie cinétique des gouttes de pluie noté KE et l'intensité des gouttes de pluie (I) d'une part et entre le flux d'énergie cinétique des gouttes de pluie (KE) et le facteur de

réflectivité radar (Z) d'autre part obtenues en appliquant les formules (3.b) et (4.d) à l'ensemble des données de DSD de l'échantillon DATA A et en utilisant la méthode de régression linéaire en log-log de KE par I et de KE par Z sont :

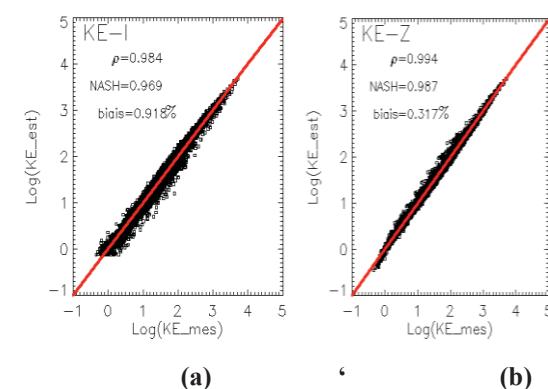
$$KE = 12,64I^{1.20} \quad (8)$$

$$KE = 0,0657Z^{0.874} \quad (9)$$

Les relations (8) et (9) sont celles établies pour la première fois au Nord-Ouest du Bénin. Les coefficients de corrélation ( $\rho$ ) entre les variables mesurées et les variables estimées par les relations **KE-I** et **KE-Z** tendent vers 1. Il y a donc une très bonne corrélation entre le flux d'énergie cinétique mesurée et le flux d'énergie cinétique estimée par les deux modèles d'ajustement **KE-I** et **KE-Z**. Par ailleurs les relations (8) et (9) sont différentes de celles établies par d'autres auteurs notamment Steiner and Smith (2000) au nord de Mississippi ( $KE_{SS}=11 I^{1.25}$  et  $KE_{SS}=0,0536Z^{0.909}$ ), Nan Yu (2012) au Sud de la France ( $KE_{NY}=10,16 I^{1.251}$  et  $KE_{NY}=0,0912Z^{0.832}$ ), Jan pétrù (2018) ( $KE_{JP}=50,633 I^{0.666}$ ) en République Tchèque, Francesco Napolitano (2019) à Rome en Italy ( $KE_{NF}=31,75 I[(1-0,64\exp(-0,05I))]$ ). Ces différentes formes de relations sont adaptées au climat de chaque zone où elles sont efficaces pour estimer le flux d'énergie cinétique de la pluie. La différence observée entre les relations de ces auteurs et nos relations est évidente car les conditions climatiques des zones où elles sont établies sont différentes de celle du Nord-Ouest du Bénin qui est une zone de transition entre les conditions climatiques sahariennes et Soudanaises

##### 4.2. Validation des deux relations climatologiques KE-I et KE-Z

Les relations (8) et (9) sont validées en utilisant les données de l'échantillon DATA B. Les critères d'efficience Nash et le biais normalisé, entre la valeur mesurée et la valeur estimée par les deux relations, sont calculés et affichés sur la figure 2.



**Figure 2 :** Échantillon DATA B ; Validation des deux relations ; les symboles en noir représentent les flux d'énergies cinétique des gouttes de pluie et la ligne en rouge est la première bissectrice. (a) cas de la relation KE-I ; (b) cas de la relation KE-Z

De l'analyse des deux graphes de la figure (2), il ressort que les deux modèles sont de bons estimateurs du flux d'énergie cinétique des gouttes de pluie avec Nash=96,9% pour la relation KE-I et 98,4% pour la relation KE-Z. Pour comparer la performance des deux relations (équations (8) et (9)), nous avons comparé les biais normalisés (exprimés par la relation (12) en annexe), calculés entre le flux d'énergie cinétique des gouttes de pluie mesurée et le flux d'énergie cinétique des gouttes de pluie estimée par les deux relations. Ainsi, les valeurs des biais normalisés montrent que le flux d'énergie cinétique des gouttes de pluie est mieux estimé par la relation KE-Z (biais=0,317%) que par la relation KE-I (biais=0,918%). Ce résultat n'est pas surprenant puisque dans la relation KE-Z, les ordres des moments des deux variables Z (moment d'ordre 6 de la DSD) et KE (moment d'ordre 5,01 de la DSD) sont plus proches que dans la relation KE-I où I est le moment d'ordre 3,67 de la DSD. Comme dans toutes les régions les données radar ne sont pas disponibles, on utilise la relation KE-I pour l'estimation du flux d'énergie cinétique des gouttes de pluie.

#### 4.2. Sensibilité des relations KE-I et KE-Z au pas de temps d'intégration des spectres

Pour évaluer la sensibilité des relations KE-I et KE-Z nous avons appliqué la méthode d'intégration des DSD sur 2min, 5min et 10min utilisée par Chapon et al. (2008) pour constituer de nouveaux échantillons de DSD. Nous avons ensuite fait régression linéaire en log-log du flux d'énergie cinétique KE par I et du flux d'énergie cinétique KE par Z sur la base de ces nouveaux échantillons. Les relations obtenues sont consignées dans le tableau 2

Tableau N°2 : Échantillon DATA A ; relations KE-I et KE-Z établies pour différents pas de temps d'intégration de la résolution temporelle des spectres T=1min, 2min, 5min et 10min.

T (min)	KE = a I <sup>b</sup>			KE = a Z <sup>b</sup>		
	a	b	ρ	a	b	ρ
1	12,64	1,20	0,985	0,0657	0,874	0,995
2	12,82	1,20	0,986	0,064	0,875	0,995
5	13,04	1,19	0,987	0,062	0,878	0,996
10	13,32	1,19	0,989	0,0605	0,880	0,996

On constate une variabilité des relations KE - I et KE - Z en fonction du pas de temps d'intégration. Par ailleurs, nous avons analysé la performance de ces relations en fonction du pas de temps d'intégration en calculant les erreurs quadratiques moyennes RMSE (eq (13) en annexe) entre les flux d'énergie cinétique mesurée et le flux d'énergie cinétique estimée par les relations. La figure 3 montre l'évolution de l'erreur quadratique RMSE en fonction du pas de temps d'intégration pour chacune des relations KE - I et KE - Z.

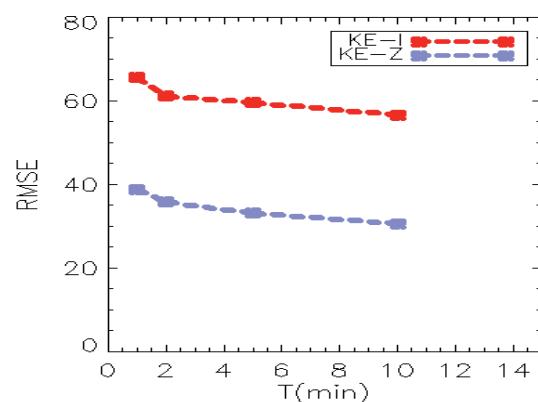


Figure 3 : Tendance de l'erreur quadratique moyenne entre le flux d'énergie cinétique mesurée et le flux d'énergie cinétique estimée par les relations KE-R et KE-Z en fonction des pas de temps d'intégration des spectres

La figure 3 montre que les valeurs des erreurs quadratiques moyennes RMSE calculées décroissent lorsque le pas de temps d'intégration augmente ; ce qui prouve que la performance des relations KE-R et KE-Z augmente avec le pas de temps d'intégration des spectres. Le pas d'échantillonnage du radar étant t=5min, la relation KE-Z obtenue à ce pas de temps serait plus appropriée pour une estimation du flux d'énergie cinétique par radar. Mais malheureusement nous ne disposons pas de données radar.

## V. CONCLUSION

L'estimation de l'énergie cinétique de la pluie est nécessaire pour étudier ses effets sur le sol notamment l'érosion hydrique du sol. En raison des difficultés à mesurer directement cette importante variable, plusieurs relations KE - I et KE - Z (dans l'approximation de Rayleigh) sont établies dans plusieurs régions du monde. Dans cette étude, deux relations KE - I et KE-Z ont été établies pour le Nord-Ouest du Bénin. La comparaison des performances de ces deux relations sur la base du biais révèle que la relation KE-Z est plus performante que la relation KE-I, alors qu'on ne dispose pas de données radar dans toutes les régions. De même, en étudiant la sensibilité des relations KE - I et KE-Z au pas de temps d'intégrations des spectres, il ressort que leur efficacité augmente en fonction du pas de temps d'intégration.

## REFERENCES

- Van Dijk, I.J.M.; Bruijnzeel, L.; Rosewell, C., 2002. "Rainfall intensity–kinetic energy relationships: A critical literature appraisal", J. Hydrol., 261, 1–23.
- Fornis, R. L., H. R. Vermeulen, and J. D. Nieuwenhuis, 2005. "Kinetic energy–rainfall intensity relationship for Central Cebu, Philippines for soil erosion studies", J. Hydrol., 300, 20–32.116
- Carollo, F.G.; Ferro, V.; Serio, M.A., 2017. "Reliability of rainfall kinetic power-intensity relationships", Hydrol. Process., 31, 1293–1300.

Fox, N.I., 2004. "TECHNICAL NOTE: The representation of rainfall drop-size distribution and kinetic energy", *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 8, 1001–1007. Mineo C. and Elena Ridolfi, 2019. "Assessment of rainfall kinetic-energy–intensity relationships", *J. water, MDPI*, 2019, 11,16 18.1994

Jan Pétrù and Jana KALIBOVÁ, 2018. "measurement and Computation of Kinetic Energy of Simulated Rainfall in Comparison with Natural Rainfall", Original Paper *Soil & Water Res.*,13,(4):226–233. <https://doi.org/10.17221/218/2016-SWR>

Nan Yu, B., Boudevillain and G., Delrieu, 2012. "Estimation of rain kinetic energy from radar reflectivity and/or rain rate based on a scaling formulation of the raindrop size distribution", *Water Resources Research*, vol. 48, w04505, doi:[10.1029/2011wr011437](https://doi.org/10.1029/2011wr011437).

Steiner M., Smith J.A. Reflectivity, 2000. "Rain rate, and kinetic energy flux relationships based on raindrop spectra". *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 39: 1923–1940.

Redelsperger, J.,L.,C.; Thorncroft, A. ; Diedhiou, T.; Lebel, D, 2006, "Parker, and J. Polcher. African Monsoon, Multidisciplinary Analysis (AMMA)", An International Research Project and Field Campaign: *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **88**, 1739-1746.

Atlas, D., and C.,W.,Ulbrich., 1977. "Path and area-integrated rainfall measurement by microwave attenuation in the 1-3 cm band". *J. Appl. Meteor.*, 16, 1322-1331.

Moumouni S., Gosset M., and Hougninou E., 2008, Main features of rain drop size distributions observed in Benin, West Africa, with optical disdromètres: *Geophys. Res. Lett.* **35**: L23807, DOI:[10.1029/2008GL035755](https://doi.org/10.1029/2008GL035755).

Moumouni S., 2009, Analyse des distributions granulométriques des pluies au Bénin : caractéristiques globales, variabilité et application à la mesure radar, *Thèse de Doctorat, INP-Grenoble*.

Kinnell, P., 1987. Rainfall energy in eastern Australia–Intensity kinetic energy relationships for Canberra, *ACT. Australian Journal of Soil Research*, 25 (4), 547–553. doi:[10.1071/SR9870547](https://doi.org/10.1071/SR9870547) [Crossref], [Web of Science ®], [Google Scholar]

Sauvageot, H., 1982. "Radarmétéorologie. Télédétection Active de l'Atmosphère", Eyrolle, Paris, 296 p.

Nash, J., E. and J.,V., Sutcliffe, 1970. "River flow forecasting through conceptual models part I - A discussion of principles", *J. Hydrol.*,**10**, 282-290.

Chapon B., Delrieu G. and Gosset M.,2008," Variability of rain drop size distribution and its effect on the Z–R relationship: A case study for intense

Mediterranean rainfall," *J. Atmospheric Research* 87 (2008) 52–65

#### Annexe :

**Critères de comparaison** : Si on note  $Y^{obs}$  une grandeur observée ou calculée directement à partir des observations, et  $Y^{est}$  une grandeur estimée à partir d'une formule proposée,  $E[Y^{obs}]$  et  $E[Y^{est}]$  respectivement leurs moyennes, et  $\sigma_{obs}$  et  $\sigma_{est}$  respectivement leurs écart-types, les critères utilisés pour tester l'efficacité des relations établies sont :

Coefficient de corrélation de Pearson

$$\rho = \frac{E[(Y^{obs} - E[Y^{obs}])(Y^{est} - E[Y^{est}])]}{\sigma_{obs}\sigma_{est}} \quad (10)$$

le coefficient de Nash (Nash et Sutcliffe, 1970)

$$Nash = 1 - \frac{E[(Y^{est} - Y^{obs})^2]}{E[(Y^{obs} - E[Y^{obs}])^2]} \quad (11)$$

le biais normalisé est défini par :

$$\text{Biais} = \frac{100\%}{N} \sum_i \left[ \frac{(Y^{est} - Y^{obs})}{(Y^{obs})} \right] \quad (12)$$

Plus le biais normalisé est faible, plus l'estimation est performante.

L'erreur quadratique moyenne est définie par :

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_i (Y^{est} - Y^{obs})^2}{N}}. \quad (13)$$



Journal de Physique de la Soaphys  
Volume imprimé avec la contribution de :

