

Relations entre pluie pollinique, paramètres climatiques et sols en zone Soudano-guinéenne au Bénin

[Relationship between pollen rain, climatic parameters and soils in the Sudano-Guinean zone in Benin]

A. R. S. Zanou^{1,2}, H. M. B. Alia¹, A. Tossa Dognon¹, I. Kenali¹, K. Batawila², M. G. Tossou¹, C. Adomou¹, H. Yedomonhan¹, and A. Akoegninou¹

¹Laboratoire de Botanique et Ecologie Végétale (LaBEV), Faculté des Sciences et Techniques, Université d'Abomey-Calavi, 01 BP 4521, Cotonou, Benin

²Laboratoire de Botanique et d'Ecologie Végétale, Faculté des Sciences, Université de Lomé, BP 1515, Lomé, Togo

Copyright © 2022 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 aim of this study is to assess the relationship between pollen rain, climatic parameters and surface sediments in the Sudano-Guinean zone. Pollen rain was evaluated from the pollen analysis of 30 samples of surface sediments treated by the method of Faegri and Iversen (1989). The sediments were subjected to treatment with Hcl 10%, HF 10% and acetolysis. The floristic inventory was carried out on 500 m² plots in the Zou, Bassila and South Borgou phytodistricts in the Sudano-Guinean zone. A total of 30 surveys were obtained and submitted to the R software (R Core Team, 2019) for the various analyses. The climatic factors listed are temperature, rainfall and altitude. Pollen analysis identified a total of 271 taxa. The phytodistrict of Zou has the highest pollen richness (97 taxa) while the lowest is found in Bassila (60 taxa). Shannon's diversity index is between 3 and 4 and Piélu's equitability index is between 0.596 and 0.632. The results obtained on the relationship between pollen diversity, climatic parameters and soil characteristics in the Sudano-Guinean zone in Benin, allow us to affirm that soil texture and structure, climatic parameters such as altitude and average temperature condition the deposition and conservation of pollen and positively influence the pollen abundance in surface sediments.

KEYWORDS: pollen, plant formation, pollen analysis, taxon, Sudano-Guinean zone.

RESUME: Cette étude a pour but d'apprécier la relation entre la pluie pollinique, les paramètres climatiques et les sédiments de surface en zone soudano-guinéenne. La pluie pollinique a été évaluée à partir de l'analyse pollinique de 30 échantillons de sédiments de surface traités par la méthode de Faegri et Iversen (1989). Les sédiments ont été soumis au traitement à Hcl 10%, HF 10% et l'acétolyse. L'inventaire floristique a été réalisé sur des placeaux de 500 m² dans les phytodistricts du zou, de Bassila et de Borgou-sud dans la zone soudano-guinéenne. Au total 30 relevés ont été obtenus et soumis au logiciel R (R Core Team, 2019) pour les différentes analyses. Les facteurs climatiques répertoriés sont la température, la pluviométrie et l'altitude. L'analyse pollinique a permis d'identifier au total 271 taxons. Le phytodistrict du Zou regroupe la forte richesse pollinique (97 taxons) tandis que la plus faible est trouvée à Bassila (60 taxons). L'indice de diversité de Shannon est entre 3 et 4 et l'indice d'équitabilité de Piélu entre 0,596 et 0,632. Les résultats obtenus sur la relation entre la diversité pollinique, les paramètres climatiques et les caractéristiques des sols en zone soudano-guinéenne au Bénin, permettent d'affirmer que la texture et la structure du sol, les paramètres climatiques tels que l'altitude et la température moyenne conditionnent le dépôt, la conservation des pollens et influencent de façon positive l'abondance pollinique des sédiments de surface.

MOTS-CLEFS: pollen, formation végétale, analyse pollinique, taxon, zone soudano-guinéenne.

1 INTRODUCTION

La palynologie est couramment utilisée comme outil de paléoécologie quaternaire et de reconstruction paléoclimatique. Cependant, l'interprétation des données sur le pollen est parfois difficile, car les reconstructions doivent tenir compte des différences de production et de dispersion du pollen entre les espèces végétales, de la préservation du pollen et de la définition des zones sources de pollen [1]. De plus, les relevés de pollen varient selon les types de végétation, la taille de la zone de dépôt et d'autres caractéristiques de la zone d'étude [1].

L'interprétation des spectres polliniques en termes de végétation et de climat suppose que la pluie pollinique caractérise plus ou moins bien les types de végétation dont elle est issue. C'est le fondement même de l'analyse palynologique ([2, 3, 4, 5, 6, 7]). Cependant, en raison des variations dans la production et le mode de dispersion des pollens chez les plantes, il existe des distorsions entre la représentation d'une espèce dans la végétation et sa représentativité dans les spectres polliniques [8]. En Afrique en général, et en Afrique tropicale en particulier, on ne dispose que de très peu d'informations sur la production pollinique des différentes espèces et sur leur mode de dissémination. Ainsi, l'analyse pollinique de la couche superficielle des sols reste le seul moyen pour tenter d'établir une relation entre une formation végétale donnée et sa pluie pollinique. Dans les régions de transitions, une difficulté supplémentaire est liée aux pollens des arbres soufflés en amont des ceintures de végétation de basse altitude entre les ceintures guinéenne et soudanienne [9]. Dans ce cas, les sédiments sont couramment utilisés comme échantillons de surface pour le dépôt local de pollen moderne. Ils sont supposés enregistrer en moyenne plusieurs années de dépôt de pollen et être de bons analogues des assemblages de pollen. Basé sur l'analyse des spectres modernes de pollen de la zone soudano-guinéenne échantillonnés de part et d'autre. Ce travail vise à évaluer les relations entre les variables climatiques, la représentativité de la pluie pollinique et les caractéristiques des sols.

2 MILIEU D'ÉTUDE

Le secteur d'étude est la zone soudano-guinéenne située entre les parallèles 7°30' et 9°45' de latitude nord et les méridiens 1°30' et 2°40' de longitude est. Elle est limitée au nord par la zone soudanienne, au sud par la zone guinéenne, à l'ouest par la République du Togo et à l'est par la République du Nigéria (Figure 1).

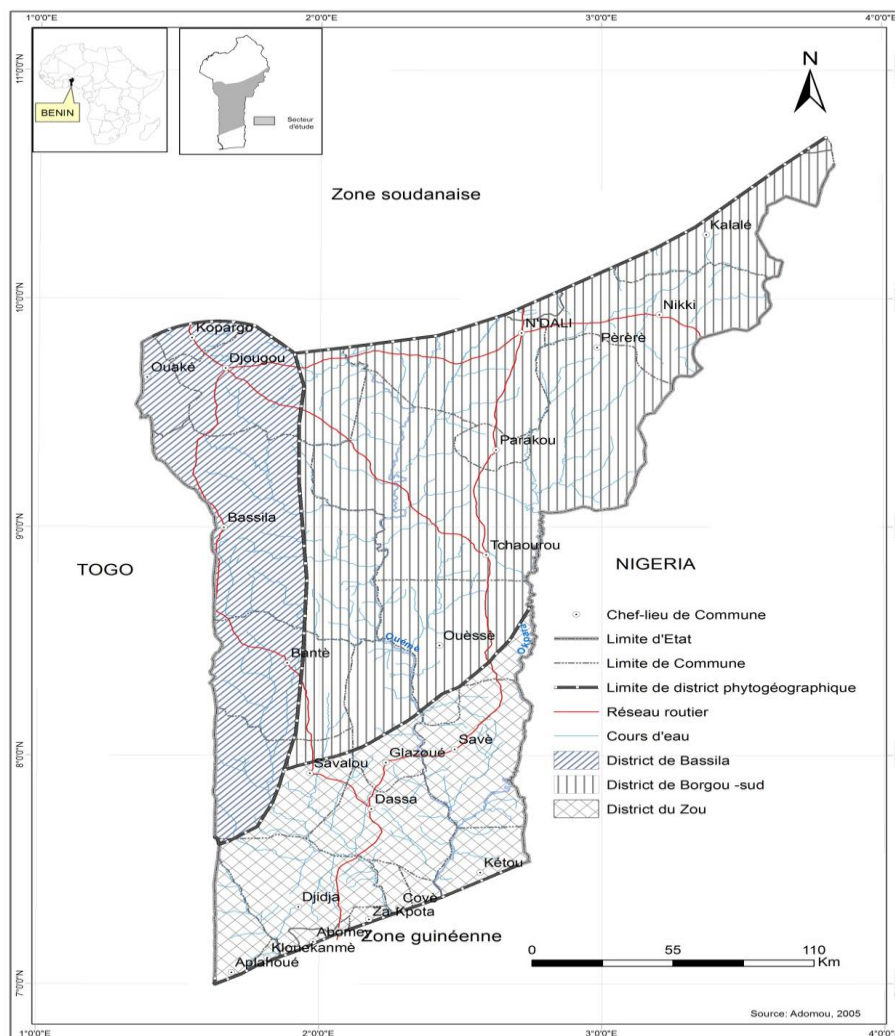


Fig. 1. Situation géographique du milieu d'étude

C'est une zone à trois districts phytogéographiques à savoir Zou, Borgou sud et Bassila [10] qui bénéficie d'un climat de transition entre le climat subéquatorial du sud et le climat soudanien du nord. Les totaux pluviométriques varient de façon très disparate du sud vers le nord [11]. C'est ainsi que les hauteurs de pluie de l'ordre de 1332 mm à Savè décroissent à 1067 mm à Savalou. Elle remonte à 1381 mm à Djougou. La zone soudano-guinéenne a un relief peu accidenté avec une altitude moyenne de 200 m [11], bien que possédant des escarpements rompant brusquement la monotonie du paysage [12, 13]. On rencontre dans cette zone du Bénin, des sols ferralitiques et des sols ferrugineux. Selon [14], la zone de transition soudano-guinéenne est composée d'une mosaïque de forêt claire, de forêt dense sèche, de forêt dense humide semi décidue, de savanes arborée et arbustive et de galerie forestière et groupements saxicoles. Elle comprend 3 secteurs désignés sous le nom de district par [15, 5]. Les espèces les plus importantes dans la zone sont *Antiaris toxicaria*, *Aubrevillea kerstingii*, *Ceiba pentandra*, *Cola gigantea*, *Holoptelea grandis*, *Ricinodendron heudelotii*, *Anogeissus leiocarpa*, *Bequaertiodendron oblanceolatum*, *Blighia sapida*, *Dialium guineense*, *Lannea nigritana*, *Mimusops andongensis*, *Tamarindus indica*, *Monotes kerstingii*, *Anogeissus leiocarpa*, *Khaya senegalensis*, *Berlinia grandiflora*, *Elaeis guineensis*, *Hexalobus crispiflorus*, *Pouteria alnifolia*, *Cola gigantea*, *C. millenii*, *Lecaniodiscus cupanioides*, *Napoleonaea vogelii*, *Pterocarpus santalinoides*, *Uvaria chamae*, *Afrotrilepis pilosa*, *Hildegardia barteri*, *Bombax costatum* et *Isobertia doka*, *Pteleopsis suberosa*, *Isobertia tomentosa*, *Uapaca togoensis*, *Monotes kerstingii*, *Protea madiensis* var. *eliottii*, *Khaya grandifoliola*, *Celtis zenkeri*, *Celtis toka*, *Zanha golungensis*, *Bosqueia angolensis*, *Anogeissus leiocarpa*, *Trichilia prieuriana*, *Diospyros mespiliformis*, *Cola gigantea*, *Diospyros monbuttensis* et *Antiaris toxicaria*, [14].

3 MÉTHODES D'ÉTUDE

3.1 PRÉLÈVEMENT DES ÉCHANTILLONS DE SURFACE

Les prélèvements des sédiments de surface ont été réalisés dans différentes formations végétales rencontrées dans la zone d'étude. Ces formations ont été choisies en tenant compte de la présence des aires classées suivant la méthode de ligne transect [16] du sud au nord de la zone soudano-guinéenne. Le mode de prélèvement utilisé est celui de [16,17,18,19] qui a consisté à prélever les 5 premiers centimètres de profondeur du sol à l'aide d'une spatule. Ainsi soixante (60) placettes de 500 m² ont été installées dans la zone d'étude à raison de dix (20) placettes par phytodistrict. Au total 60 échantillons de sédiment de surface ont été prélevés et conservés dans des sachets plastiques hermétiquement fermés à l'abri des contaminations.

3.2 TRAITEMENT CHIMIQUE DES SÉDIMENTS ET ANALYSE POLLINIQUE

Dix (10) grammes de chaque échantillon ont été prélevés et homogénéisés avec de l'eau distillée puis passés à travers un tamis de mailles de 200 µm de diamètre. La solution obtenue a subi un traitement chimique à base d'acides forts (HF et HCl) selon les méthodes combinées de [20,21]. Suite aux traitements par les acides, les culots obtenus ont ensuite subi une acétolyse suivie de plusieurs centrifugations et rinçages à l'eau distillée. Un millilitre du culot obtenu par échantillon est mélangé à l'huile de silicone puis monter entre lame et lamelle pour analyse microscopique. Les observations ont été faites avec le microscope Jeulin® à caméra intégrée aux grossissements x200, x400 et x1000 pour le comptage et l'identification des pollens et des spores. La nomenclature utilisée est celle de [14]. Les déterminations ont été effectuées par comparaison aux ouvrages d'identifications des pollens de [21, 22, 23, 24, 25]. L'identification des pollens a été faite soit seulement au niveau de la famille, soit du genre et/ou de l'espèce.

3.3 TRAITEMENT STATISTIQUE

DIVERSITÉ TAXONOMIQUE DES SÉDIMENTS

Afin d'évaluer la diversité pollinique des sites d'étude, la richesse spécifique, l'abondance, l'indice de Shannon-Wiener et l'indice d'équitabilité de Pielou ont été calculés. Ces indices ont été évalués par phytodistrict.

La richesse spécifique correspond au nombre d'espèces identifiées au cours des analyses polliniques.

L'abondance représente quant à elle le cumul du nombre de pollen comptés par phytodistrict.

Le calcul des différents indices et toutes les analyses ont été réalisées sous R [26], et le niveau de significativité des tests statistiques a été fixé à 5%.

L'indice de Shannon-Wiener est calculé de la manière suivante [27]:

$$H' = - \sum_{i=1}^s p_i \log_{10} p_i$$

Où:

p_i = abondance proportionnelle ou pourcentage d'importance de l'espèce:

$$p_i = \frac{n_i}{N}$$

S = nombre total d'espèces;

n_i = nombre d'individus d'une espèce dans l'échantillon;

N = nombre total d'individus de toutes les espèces dans l'échantillon

L'indice de Shannon permet d'exprimer la diversité en prenant en compte du nombre d'espèces et l'abondance des individus au sein de chacune de ces espèces. Ainsi, une communauté dominée par une seule espèce aura un coefficient moindre qu'une communauté dont toutes les espèces sont en codominances. La valeur de l'indice varie de 0 (une seule espèce, ou bien une espèce dominante très largement toutes les autres) à $\log S$ (lorsque toutes les espèces ont même abondance). Cet indice varie donc de 0 à 6,35 ($\log(185)$) dans le cas de la présente étude. Plus la valeur de l'indice H' est élevée, plus la diversité est grande.

L'indice d'équitabilité permet de mesurer la répartition des individus au sein des espèces, indépendamment de la richesse spécifique. Sa valeur varie de 0 (dominance d'une des espèces) à 1 (équirépartition des individus dans les espèces). Cet indice est calculé de la manière suivante:

$$J' = \frac{H'}{H'max}$$

$$H'max = \log_2 S$$

Avec :
 S = nombre total d'espèces
 J' = l'indice d'équitabilité de Piélou
 H' = Indice de Shannon
 H'max = la diversité maximale

Une analyse discriminante de redondance (RDA) dans le package *vegan* a été réalisée sur la matrice constituée de la richesse pollinique, l'abondance pollinique et l'ensemble des variables climatiques afin d'évaluer les relations entre la pluie pollinique et les paramètres climatiques.

Enfin, un GLM (Generalized Linear Model) négative binomiale a permis de mettre en exergue l'effet du type de végétation, du type et de la texture du sol sur l'abondance pollinique dans le package *MASS* [28] et les moyennes d'abondance pollinique ont été projetées dans le package *ggplot2* [29].

4 RÉSULTATS

4.1 DIVERSITÉ TAXONOMIQUE DES SÉDIMENTS DE SURFACE DE LA ZONE SOUDANO-GUINÉENNE

L'analyse pollinique des sédiments a permis d'identifier au total 4868 Taxons (Tableau 1). Dans le phytodistrict du Zou, 97 taxons ont été identifiés répartis en 67 espèces, 63 genres regroupés en 33 familles. Il présentait la plus grande richesse pollinique suivi du phytodistrict Borgou-Sud avec 78 taxons subdivisés en 65 espèces, 61 genres et 35 familles. A Bassila, les 60 taxons polliniques appartiennent à 25 familles, en 40 genres et regroupant 41 espèces. L'indice de Shannon tourne autour de 3 et 4 indiquant une abondance moyenne des taxons au sein des phytodistricts. Par ailleurs, quelle que soit la zone, l'indice d'équitabilité de Piélou oscille entre 0,596 et 0,632. Cela indique une bonne répartition des taxons dans les différents phytodistricts.

Tableau 1. Diversité taxonomique et abondance des sédiments suivant les phytodistricts

Zone	Phytodistrict	Richesse Taxonomique	Abondance	Indice de Shannon	Indice de Piélou
Soudano-guinéenne	Zou	97	3114	4,173	0,632
	Bassila	60	1696	3,518	0,596
	Borgou-Sud	78	3127	3,954	0,629

Le tableau II montre la diversité pollinique des formations végétales suivant les phytodistricts. Dans le phytodistrict de Zou, la plantation (72 espèces) et la savane (56 espèces) présentaient plus de taxons polliniques et une grande abondance en espèces comparativement aux autres formations végétales avec 3 à 46 espèces. La jachère et le champ ont présentés la plus faible richesse pollinique (25 espèces). On constate que quelque soit le type de formation végétale, la répartition des espèces est plus ou moins bonne.

Dans les phytodistricts de Bassila et du Borgou-Sud, la forêt a présenté plus de taxons polliniques et une bonne abondance de ces espèces comparativement aux autres formations végétales (jachère, galerie forestière, champs). Ici également, la répartition des espèces est plus ou moins bonne quelque soit le type de formation végétale.

Tableau 2. Diversité taxonomique (RT) et abondance pollinique des sédiments de surface suivant les formations végétales des phytodistricts

Phytodistricts	Formations végétales	RT	Abondance	Indice de Shannon	Indice de Piéluou
Zou	Galerie forestière	30	300	2,776	0,566
	Savane	56	1021	3,69	0,635
	Plantation	72	1061	3,917	0,635
	Jachère	25	465	2,63	0,566
	Champs	25	493	2,76	0,594
Bassila	Forêt Claire	41	541	3,167	0,591
	Savane	28	330	2,840	0,591
	Plantation	25	329	2,899	0,624
	Champs	20	431	2,71	0,627
	Jachère	3	65	1,065	0,672
Borgou-Sud	Forêt Claire	49	1048	3,329	0,593
	Savane	36	482	3,091	0,598
	Plantation	46	788	3,494	0,633
	Champs	28	598	2,956	0,615
	Jachère	11	211	2,133	0,617

4.2 RELATION ENTRE L'ABONDANCE POLLINIQUE, LA RICHESSE POLLINIQUE DES SÉDIMENTS DE SURFACE ET LES VARIABLES CLIMATIQUES DES SITES D'ÉTUDE

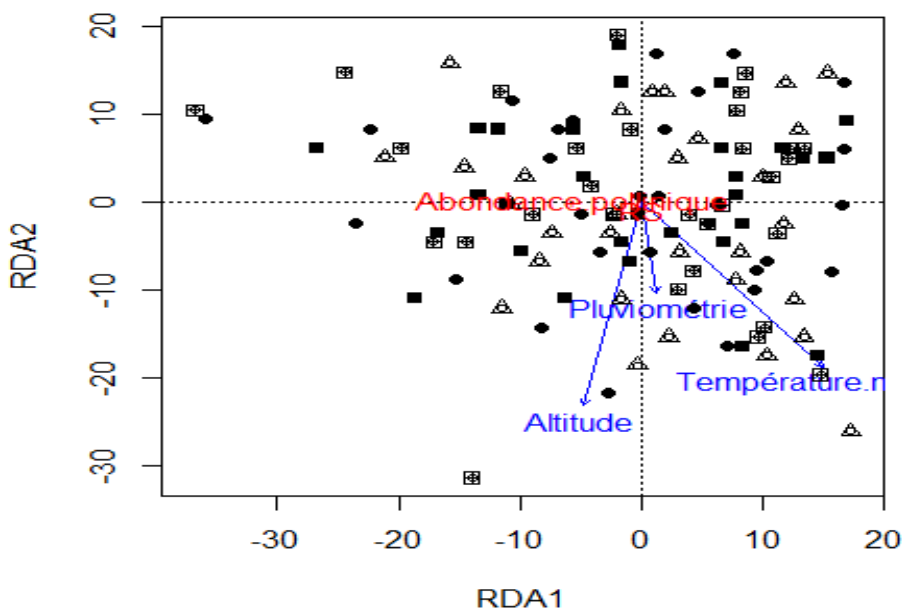


Fig. 2. Projection des espèces polliniques sur les axes

L'analyse de redondance révèle que seules deux (2) des 3 variables climatiques sont importantes pour expliquer les variations de l'abondance et de la richesse pollinique discriminantes (Prob = 0,043, F= 3,73, AIC= 1004,36, R² ajusté = 0,028). Il s'agit de l'altitude et de la température moyenne. Seul le premier axe est significatif (Prob. =0,001) et les deux premiers axes expliquent à eux seuls 100% de la variance totale de l'abondance et de la richesse pollinique en relation avec les variables climatiques. L'axe 1 (RDA1) prend en compte 99% de la variance totale. Cet axe est caractérisé par la température moyenne (tableau III). L'axe 2 (RDA2) explique 1% de la variance totale et est caractérisé par l'altitude. Les variables climatiques telles que l'altitude et la température moyenne sont significatives (Prob. < 0,05) dans le modèle.

Tableau 3. Significativité des variables climatiques et leurs scores sur les axes

Variables	ANOVA avec permutation				Axis scores	
	Df	Variance	F	Pr (>F)	RDA1	RDA2
Pluviométrie	1	0,320	0,022	0,901	0,048	-0,426
Altitude	1	118,1	3,339	0,057	-0,1948	-0,9808
Température moyenne	1	181,8	5,141	0,021	0,621	-0,784
Résidu	117	4138,2	-	-	-	-

En considérant les variables polliniques discriminantes et les deux axes retenus (tableau IV), on note que l'abondance est prise en compte par l'axe 1 (RDA1), tandis seule la richesse pollinique est pris en compte sur l'axe 2 (RDA2).

Tableau 4. Scores des variables morphologiques des arbres sur des axes

Variables polliniques	RDA1	RDA2
RS	0,009	-0,909
Abondance	-5,594	-0,001

4.3 RELATION ENTRE ABONDANCE POLLINIQUE, FORMATIONS VÉGÉTALES ET SOLS

L'abondance pollinique la plus élevée se retrouve dans les forêts et les plantations tandis que les jachères sont moins abondantes en pollen (Tableau 2). Selon la texture des sols, les argileux et argilo-sableux sont les plus abondants en pollen tandis que les sols sablo-limoneux et hydromorphes sont les moins abondants en pollens (figure 3.a). Quant au type de sol, le vertisol est plus riche en pollen que les sols hydromorphe et halomorphe (figure 3.b).

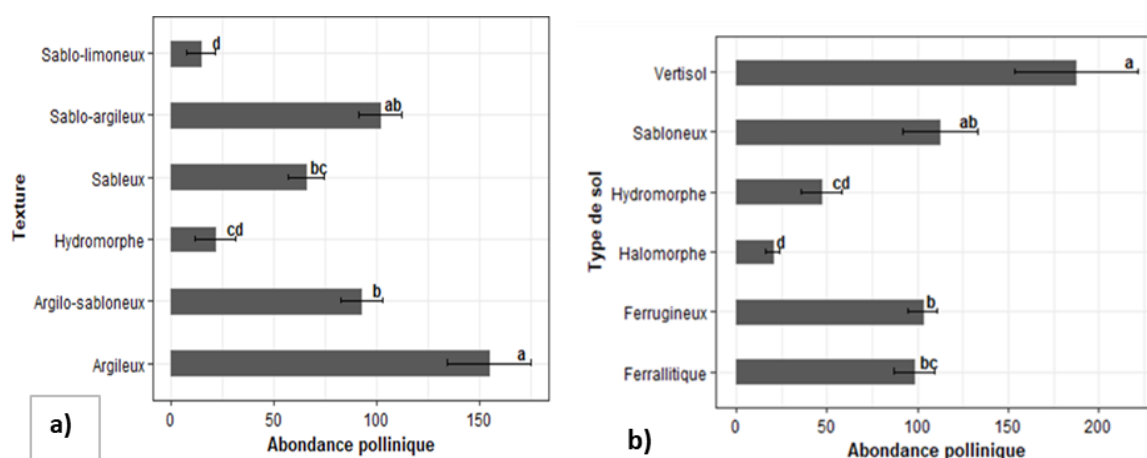


Fig. 3. Barplot avec barre d'erreur de l'abondance pollinique suivant le type de texture du sol (a) et le type de sol (b)

Les types de formation végétale, le type de sol et la texture du sol influencent hautement l'abondance pollinique ($p < 0,001$). La relation entre ces trois paramètres est présentée dans le tableau V.

Tableau 5. Influence des variables sur l'abondance pollinique

Variables	DL	Déviante résiduelle	p
Type de formations végétales	8	50.183	<0,001
Type de sol	5	54.609	<0,001
Texture du sol	3	16.323	<0,001

5 DISCUSSION

La richesse taxonomique et pollinique des sédiments varie d'un phytodistrict à un autre. Ainsi les différentes valeurs obtenues dans le Zou (97 taxons), le Borgou-Sud (78 taxons) et Bassila (69 taxons) sont supérieures aux 62 taxons identifiés par [30] dans la forêt classée de la Lama. Ces données sont néanmoins inférieures aux 126 taxons identifiés par [31] au sud du Bénin, aux 199 taxons de [32] en Inde et au Sri Lanka, aux 138 taxons recensés par [33] à Franche-Comté et aux 112 taxons identifiés par [35] au Congo. Les paramètres pouvant influencer la diversité et l'abondance pollinique des sédiments pourraient s'expliquer d'une part, par la différence de la taille des zones d'échantillonnages et des zones géographiques et d'autre part, par la différence des formations végétales, le nombre d'échantillons analysés et les conditions climatiques.

Quant à l'abondance pollinique elle varie de 3127 pollens (Borgou-sud) à 1696 pollens (Bassila). Ces valeurs polliniques sont supérieures à celles obtenues par [33] qui varient entre 531 et 1082 grains de pollens et inférieures à celles obtenues par [35] au Pérou qui se situent entre (5 et 3000 grains de pollens). En effet, selon [35], la structure, la texture et la composition chimique des sédiments pourraient impacter la richesse pollinique des échantillons.

Ainsi, l'analyse de redondance effectuée sur l'abondance pollinique et quelques paramètres climatiques (l'altitude, la pluviométrie et la température moyenne) révèle que seules deux (2) de ces 3 variables climatiques (altitude, température moyenne) sont importantes pour expliquer les variations de l'abondance pollinique discriminantes [36].

La présente étude a permis de montrer que les paramètres climatiques tel que l'altitude et température moyenne influencent la répartition des pollens lors de leur dépôt.

Parmi les facteurs qui participent à l'abondance pollinique des sédiments figurent le type de formation végétale et la nature du sol (texture et structure). En effet selon [36] les sols argileux et les formations végétales ouvertes regorgent une importante abondance pollinique. Ces résultats viennent confirmer l'hypothèse de [30] selon laquelle la typologie des formations végétales, le nombre d'échantillons de sédiments analysés et les conditions climatiques constitueraient les paramètres pouvant influencer la diversité et l'abondance pollinique des sédiments.

Les différentes observations faites corroborent celles de [36] qui ont montré qu'il existe une variation des abondances polliniques suivant les types de formations végétales. Aussi ont-ils fait remarqué que l'abondance pollinique variait suivant l'altitude et la pluviométrie.

6 CONCLUSION

L'étude de la relation entre la diversité pollinique, les paramètres climatiques et les facteurs physiques en zone soudano-guinéenne au Bénin a permis d'évaluer l'effet des paramètres climatiques et des types de végétations sur la diversité et l'abondance pollinique des sédiments. La richesse taxonomique et l'abondance pollinique des sédiments varient d'un phytodistrict à un autre. L'analyse de redondance nous a montré que l'altitude et la température moyenne influencent la répartition et l'abondance pollinique des sédiments. Aussi, les formations végétales telles que la forêt claire, les champs, les jachères et les plantations sont de bons milieux de conservation des pollens. Les sols ferrugineux, ferralitiques et vertisols avec des textures argileuses, sablo-argileux et argilo-sableux constituent les meilleurs sédiments pour réaliser des études sur la pluie pollinique.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient:

- L'Organisation for Women in Science for the Developing World (OWSD) pour la subvention de séjour de recherche N° 3240291651 accordée à Salomé Adeline Rodica ZANOOU
- Projet Erasmus+ K107 de l'Université de Malagà (Espagne)

REFERENCES

- [1] Bunting.M, 2003. Pollen–vegetation relationships in non-arboreal moorland taxa. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 125 (3–4), pp. 285-298.
- [2] J. Dubey, R. Ghosh, S. Agrawal, M.F. Quamar, P. Morthekai, R.K. Sharma, A. Sharma, P. Pandey, V. Srivastava and S.N. Ali, Characteristics of modern biotic data and their relationship to vegetation of the Alpine zone of Chopta valley, North Sikkim, India: Implications for palaeovegetation reconstruction: The Holocene 1–14. 2017.
- [3] S. JAOUADI, V. LEBRETON, V. BOUT-ROUMAZEILLES, G. SIANI, R. LAKHDAR, R. BOUSSOFFARA, L. DEZILEAU, N. KALLEL, B. MANNAITAYECH, N. COMBOURIEUNEBOUT, Environmental changes, climate and anthropogenic impact in south-east Tunisia during the last 8 kyr, *Clim. Past*, 12, 1339–1359, 2016.
- [4] M. COURT-PICON, A. BUTTLER, J.L. BEAULIEU, Modern relations pollen / vegetation/utilisation des terres dans les ronnements: Un exemple de la vallee du Champsaur (français/Alpes). *VHistoire et archéobotanique de la végétation* 15: 151- 168, 2006.
- [5] R. CALCOTE, Identification des types de peuplements forestiers à l'aide de pollen creux forestiers. *L'Holocène* 8: 423–32, 1998.
- [6] R. BRADSHAW, T. WREFLUX, Relations entre les donnees contemporaines sur le pollen et la vegetation du Wisconsin et Michigan, Etats-Unis. *Écologie* 66: 721–737, 1985.
- [7] T. WEBB, S.E. HOWE, R.H.W. BRADSHAW, Estimat -l'abondance des plantes a partir des pourcentages de pollen: analyse de regression. *Revue de Paléobotanique Palynologie* 34: 269–300,1981.
- [8] Y. MIRAS, L'étude des relations entre végétation et pluie pollinique actuelle sur le plateau de Millevaches (Limousin, France): outil pour une meilleure caractérisation pollen analytique des formes paysagères et des pratiques agrosylvopastorales. *Revue des Sciences Naturelles d'Auvergne*, 73 P.71-104, 2009.
- [9] H. Elenga, O. Peyron, R. Bonnefille, D. Jolly, R. Cheddadi, J. Guiot, V. Andrieu, S. Bottema, G. Buchet, J.-L. de Beaulieu, A. C. Hamilton, J. Maley, R. Marchan, R. Perez-Obiol, M. Reille, G. Riollet, L. Scott, H. Straka, D. Taylor, E. Van Campo, A. Vincens, F. Laarif and H. Jonson. Pollen-based biome reconstruction for southern Europe and Africa 18,000 yr BP, *Journal of Biogeography*, 27, 621–634.
- [10] C. A. Adomou (2005): *Vegetation Patterns and Environmental gradients in Benin. Implications for biogeography and conservation*. PhD Thesis; Wageningen University, Wageningen, 133 p.
- [11] A. K. Adam et M. Boko (1993): *Le Bénin*. Nouvelle édition. Edition du Flamboyant, Paris (France). 93 p.
- [12] R. Black (1967): Sur l'ordonnance des chaînes de métamorphiques en Afrique occidentale. *Chron. Min. Rech. Min.*, Fr., n° 364, pp. 225-238.
- [13] Anonyme (1989): *Carte géologique de reconnaissance de la République Populaire du Bénin à 1/200000: Feuilles de Pira-Savè-Abomey-Zangnannado-Lokossa-Porto-Novo*. Notice explicative, mém. N° 3, 77 p.
- [14] A AKOEGNINO., W.J. VAN DER BURG. & L. J. G. VAN DER MAESEN, (2006) *Flore analytique du Benin*. Backhuys Publishers, Wageningen, 1034 p.
- [15] Houinato M., Delvau C. et Pauwels L. (2000): Les *Eragrostis* (Poaceae) du Bénin. *Belg. Journ. Bot.* 133, 1-2: pp. 21-35.
- [16] F. MAZIER., *Modelisation de la relation entre pluie pollinique actuelle, vegetation et pratiques pastorales en moyenne montagne (Pyrenees ET Jura): Application pour l'interprétation des données polliniques fossiles*. *Ecologie, Environnement*. Thèse de Université de Neuchatel, 244p, 2006.
- [17] M.G. TOSSOU, *Recherche palynologique sur la vegetation holocene du Sud-Benin (Afrique de l'Ouest)*. These de l'Universite de Lome, 136 p. 2002.
- [18] Y. MIRAS, *Environnement et peuplement de la moyenne montagne du tardiglaciaire à nos jours*. 166p, P.158-164, 2004.
- [19] C. BRUN., *Indicateurs anthropiques dans les diagrammes de pollen dans l'est de la France: une revue critique*. *Veget Hist Archaeobot* 20, 135-142, 2011.
- [20] K. FAEGRI and J. IVERSEN, *Text book of Pollen Analysis*, Fourth ed., Wiley, Chichester, UK. 1989.
- [21] P.D. MOORE, J.A. WEBB, M.E. COLLINSON, *Pollen analysis*. Blackwell Scientific Publications, Oxford. 216 p, 1991.
- [22] J-P. Ybert, *Atlas des Pollens de Côte d'Ivoire*. ORSTOM: Paris; 40 p. 1979.
- [23] M.A. SOWUNMI, *Pollen grains of Nigeria plants I. Woody species*. *Grana*, 13: 145-186, 1973.
- [24] M.A. SOWUNMI, *Pollen grains of Nigeria plants II. Woody species*. *Grana*, 34: 120-141, 1995.
- [25] W. D. GOSLING, C. S. MILLER, D.A. LIVINGSTONE, *Atlas du pollen tropical ouest-africainflora*, *Review of Paleobotany and Palynology*, 199, P. 1-135, 2013.
- [26] Frank E Harrell Jr, with contributions from Charles Dupont and many others. (2019). *Hmisc: Harrell Miscellaneous*. R package version 4.3-0. <https://CRAN.R-project.org/package=Hmisc>.
- [27] E H. Jr. Frank, with contributions from C.Dupont. (2019). *Hmisc: Harrell Miscellaneous*. R package version 4.3-0. <https://CRAN.R-project.org/package=Hmisc>.

- [28] Venables, W. N. & Ripley, B. D. (2002) *Modern Applied Statistics with S*. Fourth Edition. Springer, New York. ISBN 0-387-95457-0.
- [29] Wickham. H. *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer-Verlag New York, 2016.
- [30] A. R. S. ZANOU., A.D. TOSSA-DOGNON., M. G. TOSSOU., K. BATAWILA, A. AKOUEGNINO, K. AKPAGANA. Étude de la pluie pollinique de la forêt classée de la lama en zone guinéenne au Bénin. *J. Rech. Sci. Univ. Lomé (Togo)*, 2020, 22 (1&2): 63-76.
- [31] M.G. TOSSOU, H. YEDOMONHAN, A. ADOMOU, A. AKOEGNINO, K. AKPAGANA, Dépôt pollinique actuel et végétation du sud du Benin. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 6 (4): 1647- 1668. 2012.
- [32] R. BONNEFILLE, K. ANUPAMAL, D. BARBONI, J. PASCAL, S. PRASADL, J. P. SUTRAL, *Modern pollen spectra from tropical South India and Sri Lanka: altitudinal distribution*. Scientific Publications, Oxford. 216 p, 1992.
- [33] C. BRUN., *Archeophytes et neophytes. Pour une nouvelle détermination des marqueurs polliniques de l'anthropisation. Le cas des milieux cultivés et rudéraux de Franche-Comte*. 431 p, 2007.
- [34] M. ROUX, G. ACHOUDONG, H. ELENGA, C. de NAMUR, I. REYNAUDFARRERA, A. VINCENS, *Relations statistiques pluie pollinique végétation en forêt tropicale africaine, Dynamique à Long Terme des Ecosystèmes Forestiers Intertropicaux: Symposium International, Paris (FRA)*, P. 291-296, 2000.
- [35] P. T. WENG, M. B. BUSH, M. R. SILMAN., *An analysis of modern pollen rain on an elevational gradient in southern Peru*. *Journal of Tropical Ecology* 20: 113-124. 2004.