

AMBIANCES BIOCLIMATIQUES ET PERFORMANCE DES AGRICULTEURS DANS LE DÉPARTEMENT DES COLLINES AU BÉNIN (AFRIQUE DE L'OUEST)

MEDEOU K.F. ⁽¹⁾, BOKOP P. M. ⁽¹⁾, JENDRITZKY G. ⁽²⁾, OGOUWALE E. ⁽¹⁾, AFOUDA F. ⁽¹⁾, HOUSSOU S.C. ⁽¹⁾

(1) Laboratoire Pierre Pagny "Climat, Eau, Ecosystèmes et Développement" (LACEEDE), Université d'Abomey-Calavi 01 BP 526, Cotonou 01 [kmedeouf@yahoo.fr ; boko2za@yahoo.fr; ogkelson@yahoo.fr; christpasse@yahoo.fr]

(2) Meteorological Institute, University of Freiburg, Germany [gerd.jendritzky@meteo.uni-freiburg.de]

Résumé - Le lien entre les ambiances bioclimatiques et la performance des agriculteurs a été appréhendé à partir de l'analyse de l'Universal Thermal Climate Index (UTCI) à l'échelle tri-horaire, du nombre moyen d'heures de travail effectué par 150 agriculteurs dans le Département des Collines suivant les conditions pluviométriques, thermiques et de vent. En matinée, vers 6h pendant les mois de mars, avril, octobre et novembre, les ambiances sont favorables aux activités champêtres. Elles sont favorables de 6 à 12h en décembre. De novembre à mai, entre 12 heures et 18 heures, l'ambiance bioclimatique est très éprouvante pour l'organisme humain et rend plus pénible l'exécution des tâches. En cas d'ambiances inconfortables, le temps habituel consacré au travail est réduit d'environ 2 heures.

Mots clés : Département des Collines, ambiances bioclimatiques, performance, agriculteurs.

Abstract - Bioclimatic atmosphere and performance of farmers in the department of Collines in Benin (West Africa). The link between bioclimatic environments and performance of farmers was apprehended from the analysis of the Universal Thermal Climate Index (UTCI) in three-hourly basis, the average number of hours worked by 150 farmers in the Collines department following the conditions of rainfall, heat and wind. In the morning at 6 a.m during the months of March, April, October and November, the environments are favorable to farming activities and 9:00 in December. From November to May, between 12 hours and 18 hours p.m, bioclimatic atmosphere is very stressful for the human body and makes task execution more difficult. If uncomfortable atmosphere, the usual time spent at work is reduced to about 2 hours.

Keywords: Department of Collines, bioclimatic environments, performance, farmers.

Introduction

Le temps et le climat déterminent les ambiances bioclimatiques capables d'influencer l'état de santé et la performance de l'homme, en ce sens qu'elles touchent aux mécanismes régulateurs de l'organisme (ORSN, 2011). Les ambiances bioclimatiques inconfortables entraînent ou provoquent des réactions plus ou moins graves de l'organisme humain. Ces effets sont susceptibles de réduire le rendement et la performance des travailleurs (Ganem *et al.*, 2004 ; Fouillet, 2007).

Au Bénin, particulièrement dans le Département des Collines et dans un contexte climatique marqué par une évolution à la hausse des températures, les ambiances bioclimatiques connaissent de plus en plus des modifications (Médéou, 2011). Elles sont davantage éprouvantes et constituent un facteur de gêne pour le travail agricole.

Le secteur d'étude est situé dans une zone de transition climatique entre le climat béninois au sud et le climat soudanien au nord. Il est situé entre 7° 27' et 8° 46' de latitude nord, et entre 1° 39' et 2° 44' de longitude est.

1. Données et méthodes

1.1. Données

Les données bioclimatiques concernent les hauteurs de pluies, les températures, l'humidité relative, l'insolation et la vitesse du vent. Ces données, fournies par la Direction de la Météorologie Nationale, ont été collectées au pas de temps tri-horaire sur la période 1971-2012 à la station synoptique de Savè.

Les mesures instantanées choisies sont 6 heures, 9 heures, 12 heures, 15 heures et 18 heures parce qu'elles se trouvent dans les tranches horaires où se déroulent l'activité de production

agricole. C'est à ces moments que les données climatologiques pouvant faire l'objet d'analyse sont mesurées et enregistrées par les services de météorologie nationale.

Les données de terrain ont été collectées auprès de 150 ménages agricoles à partir des entretiens directs, semi-directs et des observations directes. Ces données ont permis d'estimer le temps de travail des agriculteurs pendant les moments de confort et d'inconfort bioclimatiques.

1.2. Méthodes

L'UTCI est défini comme la température d'air (T_a) de l'état de référence provoquant la même réponse physiologique comme l'état réel. Ainsi, l'UTCI est la température de l'air qui produirait dans des conditions de référence la même contrainte thermique que dans un environnement thermique réel. Les variables d'entrées de l'UTCI sont des paramètres climatologiques (température de l'air, radiation solaire, humidité et vent) et des données physiologiques (résistance thermique liée à l'habillement et température radiante moyenne appelée M_{rt}). La formule mathématique de l'indice climato-thermique universel se présente ainsi qu'il suit :

$$UTCI = 3,21 + 0,872t + 0,2459M_{rt} - 2,5078v - 0,0176HR$$

Avec t : température de l'air (en °C) ; M_{rt} : température radiante moyenne (en °C) ; v : vitesse du vent à 10 m au-dessus du sol (en ms^{-1}) ; HR : Humidité relative de l'air (en %).

Dans la référence climatologique, la température radiante moyenne est égale à la température ambiante (De Oliveira et Moreau, 2007). Les valeurs de l'UTCI calculées à partir du logiciel BioKlima 2.6 ont été interprétées suivant l'échelle d'appréciation présentée dans le tableau 1.

Tableau 1. Grille d'appréciation de l'UTCI

UTCI (°C)	Niveau de stress	Sensation thermique
Au-dessus de 46	Stress thermique extrême	Torrède
+38 to +46	Très fort stress thermique	Très chaud
+32 to +38	Fort stress thermique	Fortement chaud
+26 to +32	Stress thermique modéré	Chaud
+9 to +26	Aucune contrainte thermique	Confortable
+9 to 0	Léger stress dû au froid	Légèrement frais

Source: Blazejczyk et al. 2010

L'analyse des données du tableau 1 indique que le confort thermique est ressenti lorsque les valeurs de l'UTCI se trouvent entre 9 et 26 °C. En dessous de cette plage, apparaissent les ambiances froides qui varient du légèrement frais au très froid suivant les valeurs. Par contre, au-dessus de la plage de confort, les ambiances sont chaudes et évoluent du stress thermique modéré au stress thermique extrême (sensation torrède). Il faut noter que l'indice UTCI est à nuancer de la température ambiante qui devient déjà très difficile à supporter lorsqu'elle se trouve en deçà de 20 °C en milieu tropical comme le Bénin. De plus, la notion de confort thermique est très subjective et varie suivant les latitudes. En milieu tropical, la limite du confort oscille entre 20 et 26 °C (Kemajou et al., 2012).

2. Résultats

2.1. Ambiances bioclimatiques décrites par l'UTCI

Le tableau 2 présente les ambiances thermiques décrites par l'indice universel du climat thermique à l'échelle tri-horaire.

Tableau 2. Indice Universel du Climat Thermique à l'échelle tri-horaire dans le Département des Collines

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
6h	21,5	24,3	25,2	25,8	25,6	25,3	25,2	24,0	25,5	25,3	25,8	22,2
9h	23,7	25,4	26,5	27,6	28,4	27,5	25,6	24,6	26,2	27,5	28,1	25,7
12h	30,0	31,1	32,5	32,3	33,4	31,4	28,9	27,8	30,1	31,8	33,2	32,4
15h	33,2	34,6	36,0	36,5	35,1	32,9	30,9	30,9	31,2	33,6	35,6	34,0
18h	30,1	31,5	32,4	32,7	32,6	30,6	31,8	29,5	31,3	30,3	31,9	29,6

	Ambiance confortable / Aucune contrainte thermique		Ambiance fortement chaude/ Fort stress thermique
	Ambiance chaude / Stress thermique modéré		

Sources des données : Résultats de calcul, 2013

À 6 heures du matin, les valeurs de l'UTCI décrivent une ambiance confortable pendant tous les mois. Ce confort thermique se poursuit jusqu'à 9 heures entre décembre et février, puis en juillet et août. Les plus faibles valeurs de l'UTCI ont été obtenues à 6 heures respectivement en janvier, décembre, août et février puis à 9 heures en janvier. De mars à mai et en novembre, le stress thermique est modéré aux environs de 9 heures et devient fort entre 12 heures et 18 heures. Dans ces conditions, l'agriculteur éprouverait une sensation chaude à 9 heures et très chaude entre 12 heures et 18 heures. En réalité, les mois de novembre, mars, avril et mai sont les plus éprouvants tandis que les mois de juillet, août et septembre apparaissent plus favorables pour le travail agricole du point de vue thermique.

Au cours de l'année, les valeurs de l'UTCI sont globalement plus élevées à 15 heures traduisant une sensation thermique fortement chaude. Conséquemment, le travail agricole reste très pénible aux environs de 15 heures dans le Département des Collines.

2.2. Incidences des ambiances bioclimatiques sur la performance des agriculteurs

Dans l'ensemble, les ambiances bioclimatiques observées sont globalement éprouvantes. De telles ambiances bioclimatiques restent peu favorables au travail agricole qui dans le Département des Collines, nécessite de nombreux efforts physiques et se pratique avec des moyens rudimentaires et archaïques. En réalité, tout travail exigeant un effort musculaire demande un surcroît d'énergie. Sous le soleil, la charge calorique emmagasinée impose une déperdition par transpiration, d'où une diminution du tonus, une perte d'eau et de sels minéraux (Houssou, 1998).

L'organisme n'est plus de nature à soutenir l'effort physique pendant longtemps. La forte chaleur entraîne donc la baisse du tonus musculaire, difficilement compatible avec un effort musculaire prolongé et soutenu. Selon de nombreuses études, le travail sous une forte température ambiante peut moduler les habilités et les capacités des paysans lors de l'exécution de tâches physiques. En effet, les performances psychomotrices, notamment la dextérité manuelle, peuvent être modifiées suite à une exposition à la chaleur (Parsons, 2003 ; Ganem *et al.*, 2004 ; INRS, 2009). Ce qui réduit la capacité de travail du paysan.

En période de fort ensoleillement, 98 % des agriculteurs ont souligné que le travail agricole est pénible et le temps habituel consacré au travail diminue. Ce temps qui se trouve entre 7 heures et 8 heures pour 85 % des personnes interrogées peut passer à 6 heures voire 4 heures. En effet, les agriculteurs qui commencent les travaux champêtres aux environs de 6 heures voire 7 heures, observent le repos entre 9 heures et 11 heures selon l'intensité du rayonnement solaire. Ils reprennent le travail à partir de 16 heures ou 17 heures lorsque le rayonnement diminue.

Dans le Département des Collines, il existe une forte liaison statistique entre la température et la durée de l'ensoleillement ($r=0,882$ et $R^2=0,778$) comme l'illustre le tableau 3.

Tableau 3. Synthèse des résultats des tests de corrélation de Pearson entre la température, l'ensoleillement et le nombre d'heures de travail

Variabes	Durée de l'ensoleillement	Température	Nombre d'heures de travail
Durée de l'ensoleillement	$r=1$	$r=0,882$	$r=-0,900$
	$p\text{-values}=0$	$p\text{-values}=0,000$	$p\text{-values}=0,000$
	$R^2=1$	$R^2=0,778$	$R^2=0,811$
Température	$r=0,882$	$r=1$	$r=-0,898$
	$p\text{-values}=0,000$	$p\text{-values}=0$	$p\text{-values}< 0,0001$
	$R^2=0,778$	$R^2=1$	$R^2=0,806$
Nombre d'heures de travail	$r=-0,900$;	$r=-0,898$;	$r=1$
	$p\text{-values}< 0,0001$	$p\text{-values}< 0,0001$	$p\text{-values}=0$
	$R^2=0,811$	$R^2=0,806$	$R^2=1$

Source des données : Travaux de terrain, novembre 2013

Il existe une forte liaison statistique entre la température et la durée de l'ensoleillement, entre la température et le temps de travail, entre la durée de l'ensoleillement et le temps de travail. En effet, une diminution de la température entraîne une réduction de la durée de l'insolation et une augmentation du temps de travail (le niveau de significativité du test de Pearson est respectivement $p=0,000$ et $p< 0,0001$). Autrement dit, lorsque les températures sont élevées, les agriculteurs travaillent moins que dans des conditions thermiques faibles. S'il apparaît tout évident d'admettre que le temps de travail est favorisé par la décroissance thermique, il semble difficile de comprendre pourquoi le temps de travail est une fonction décroissante de l'insolation (*a priori*, une augmentation de la durée de l'insolation devrait prolonger le temps de travail). En fait, dans une zone tropicale de transition climatique comme le Département des Collines, les mois où l'ensoleillement est long correspondent à des mois chauds où les températures sont élevées. C'est ce qui explique d'ailleurs la forte corrélation significative entre la température et la durée de l'ensoleillement. C'est dire donc que la performance de l'agriculteur est plus liée à la température ou à l'ampleur de la radiation solaire qu'à la durée de l'ensoleillement.

Par ailleurs, l'inconfort physique associé à une augmentation de la température corporelle peut modifier l'état émotif du travailleur (irritabilité, rage), et ainsi favoriser la négligence des procédures de sécurité et diminuer la vigilance lors de l'exécution de tâches (Hémon et Jouglu, 2004). Autrement dit, l'inconfort thermique peut amener le paysan à négliger les

équipements de protection individuelle comme les bottes, les gants, etc. C'est pourquoi, 78 % des agriculteurs utilisant des matériels de protection ont déclaré qu'ils n'arrivent pas à supporter les bottes en temps de forte chaleur. Bien entendu, d'autres raisons expliquent l'absence de port de matériel de protection à savoir le manque de moyens financiers.

Le travail effectué sous un soleil ardent s'avère nuisible pour la santé et la performance, du fait que l'organisme doit fournir trop d'effort pour rétablir l'équilibre homéostatique. De plus, la faible vitesse du vent engendre une forte sensation de touffeur qui, associée à un effort physique intense ou un travail pénible prédispose l'organisme à la fatigue dans le Département des Collines.

Les pluies diurnes sont également un élément de baisse de performance pour les agriculteurs. Pendant ces moments, les agriculteurs cessent leurs activités et rentrent à la maison surtout lorsque la pluie diurne est intense ou tombe sur une longue durée. Il faut aussi noter que certains agriculteurs dont les habitations sont plus proches rentrent des champs dès qu'ils perçoivent l'imminence d'une pluie (assombrissement du ciel, augmentation de la vitesse du vent, etc.).

En comparant le diagramme matriciel des ambiances bioclimatiques aux différentes activités champêtres exécutées par les populations, il est aisé de voir dans le détail les moments de la journée qui sont favorables à une bonne performance des agriculteurs (tableau 4).

Tableau 4. Synthèse des bioclimats humains et calendrier agricole dans le Département des Collines

Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
CALENDRIER AGRICOLE											
	Préparation des champs (Défrichage, buttage, billonnage) de maïs, d'arachide et de manioc			Semis maïs et arachide		Récotte de maïs et d'arachide			Préparation des champs et plantation de l'igname (1 ^{ère} saison)		
						Préparation des champs de maïs, d'arachide et de manioc (2 ^e saison)					
						1 ^{ère} Récotte d'igname					
Semis et entretien des champs d'igname		Semis et 1 ^{er} sarclage		2 ^e Sarclage			Préparation des champs d'igname (2 ^e saison)			Récotte d'igname (2 ^e saison)	
			Préparation des champs de coton et de soja				Entretien et traitement de coton		Récotte de soja		Récotte de coton
	Préparation des champs de niébé		Semis	Sarclage et traitement des champs de niébé			Récotte, Préparation des champs de niébé (2 ^e saison)			Récotte de niébé	
								Semis, sarclage et traitement			
AMBIANCES BIOCLIMATIQUES											
6 h											
9 h											
12 h											
15 h											
18 h											

Confortable / Aucune contrainte thermique
 Ambiance chaude / Stress thermique modéré
 Ambiance fortement chaude / Fort stress thermique

Sources des données : Travaux de terrain, novembre 2013 ; Modèle inspiré de Houssou (1998)

La superposition du calendrier agricole aux ambiances bioclimatiques permet de conclure que les activités agricoles se déroulent dans des ambiances bioclimatiques peu confortables.

Dans la matinée à 6 heures pendant les mois de mars, avril, octobre et novembre, les ambiances sont favorables aux activités champêtres ainsi qu'à 9 heures en décembre. Les ambiances légèrement favorables aux activités champêtres sont observées entre 6 heures et 9 heures de mars à septembre et de janvier-février, et à 18 heures de juin à octobre. De novembre à mai, entre 12 heures et 18 heures, l'ambiance bioclimatique est très éprouvante pour l'organisme humain et rend plus difficile l'exécution des tâches. De façon générale, au cours de l'année, la tranche horaire qui s'étale de midi à 18 heures n'est pas favorable aux travaux champêtres, en l'occurrence ceux qui nécessitent beaucoup d'énergie.

Les activités les plus pénibles qui regroupent le défrichage, le buttage et le billonnage se déroulent globalement dans une ambiance éprouvante. La période de juin à septembre semble plus favorable aux travaux champêtres mais elle est parfois perturbée par les pluies diurnes qui raccourcissent le temps de travail des agriculteurs. La réduction de la durée de travail due aux ambiances bioclimatiques inconfortables ne permet pas toujours aux paysans d'exécuter les travaux d'entretien des champs à temps ; ce qui laisse les plants en concurrence avec les mauvaises herbes et face aux attaques des rongeurs. L'insuffisance d'entretien occasionne des pertes agricoles et par conséquent la baisse du revenu des paysans.

Ces situations sont bien perçues par les agriculteurs qui partent très tôt aux champs ou qui dorment dans les champs pour reprendre tôt les activités afin de maximiser leur rendement.

Conclusion

Les ambiances bioclimatiques sont globalement très éprouvantes en raison de l'intensité du rayonnement solaire et des températures élevées. Du point de vue thermique, les matinées sont plus confortables jusqu'aux environs de 9 heures, sauf en mars, avril, mai, juin, septembre, octobre et novembre où le stress thermique modéré s'installe plus tôt. Ce moment de la journée est associé à une bonne performance des agriculteurs. En revanche, les après-midi apparaissent très inconfortables aux activités champêtres : l'organisme fragilisé n'arrive plus à supporter les efforts physiques. Cet inconfort oblige le paysan à se reposer ou à développer des stratégies qui sont susceptibles de limiter sa vulnérabilité : le recours à un chapeau ou un foulard, le travail à l'ombre, etc. En situation d'ambiance thermique favorable au travail, d'autres facteurs climatiques comme les pluies diurnes et les vents violents perturbent le déroulement des travaux agricoles et impacte la performance ou l'endurance de l'agriculteur.

Références bibliographiques

- Fouillet A., 2007 : Surmortalité liée aux vagues de chaleur : modélisation des variations spatio-temporelles de la mortalité générale en fonction des caractéristiques climatiques. Thèse de doctorat soutenue à la faculté de médecine Paris-sud, 175 p.
- Ganem Y., Meyer J. P., Luzeaux N., Brasseur G., 2004 : Ambiances thermiques : Travail en période de fortes chaleurs. *In Document pour le Medecin du travail*, **97**, 51-68.
- Hémon D., Jouglé E., 2004 : Surmortalité liée à la canicule d'août 2003. Rapport remis au ministre de la santé et de la protection sociale. Paris, INSERM, 76 p.
- INRS, 2009 : Travailler par de fortes chaleurs en été. Dossier INRS, 20 p. <http://www.inrs.fr>, Consulté le 16 octobre 2013.
- Kemajou A., Tseuyep A., Egbewatt N. E., 2012 : Le confort thermique en climat tropical humide vers un réaménagement des normes ergonomiques. *In Revue des Energies Renouvelables*, **15**, 427-438
- Médéou K. F., 2011 : Changements climatiques et vulnérabilité de la santé des populations dans le département des Collines. Mémoire de DEA, EDP, FLASH, UAC, 86 p.
- ORSN, 2011 : Climat, météo et santé. http://www.orsnpdc.org/observation/270080_1climat20.pdf, consulté le 25 novembre 2013, 19 p.

Parsons K. C., 2003: Human thermal environments : the effects of hot, moderate, and cold environments on human health, comfort and performance. Taylor & Francis. New York: London, 527 p.

