

Influence de la variation journalière du déficit de pression de vapeur (DPV) sur les réponses morphologiques et physiologiques de deux morphotypes d'igname cultivées au Burkina Faso.

DONDASSE Edmond^{1*}, KIHINDO Adama Pascal¹, OUEDRAOGO Razacswendé Fanta¹, TIAMA Djakaridia², BADIEL Badoua¹, KABORE Zeya¹ et ZOMBRE Gérard¹.

¹Université Joseph KI-ZERBO, Laboratoire BIOSCIENCES, Équipe d'écophysiologie végétale, 03 BP 7021 Ouagadougou 03, Burkina Faso.

²Centre National de la Recherche Scientifique et Technologique, 03 BP 7047 Ouagadougou 03, Burkina Faso.

*Auteur correspondant, Email : dondasseedmond@yahoo.fr, Téléphone : (+226) 76023131

Original submitted in on 12th January 2021. Published online at www.m.elewa.org/journals/ on 31st March 2021
<https://doi.org/10.35759/JABs.159.3>

RÉSUMÉ

Objectif : L'étude a eu pour objectif de déterminer l'effet de la variation du déficit de pression de vapeur (DPV) du milieu d'étude sur les réponses morphophysiological basées principalement sur l'évaluation du taux de transpiration et de la surface foliaire des plantes des morphotypes « *nyù* » et « *waogo* » d'igname.

Méthodologie et résultats : Le « *nyù* » et le « *waogo* » ont été évalués pour leurs réponses à différents régimes hydriques et à différents déficits de pression de vapeur (DPV) selon un dispositif en bloc complet randomisé. Sous Fort DPV le régime hydrique a eu un effet significatif sur le taux de transpiration (TT), la surface foliaire (SF), la biomasse racine (BR) et la teneur relative en chlorophylle du « *nyù* » et le TT, la SF, le nombre de feuilles (NF) et la biomasse feuille (BF) du « *waogo* ». Le NF et le BF du « *nyù* » ont été influencés par les différents DPV tandis que chez le « *waogo* » ce sont la SF, le NF et la BF qui ont été influencés. Le « *nyù* » avec une plus grande SF a eu un TT inférieur à celui du « *waogo* » sous les différents DPV. Le fort DPV a augmenté la BR et a réduit la BF des plantes, des deux morphotypes, soumises aux différents régimes hydriques.

Conclusion et application des résultats : Cette étude a révélé une influence de l'environnement sur certains paramètres morphophysiological de l'igname soumis au déficit hydrique. Les résultats nous montrent que le « *nyù* » a une meilleure capacité de restreindre la transpiration sous forte demande évaporative et est mieux indiqué pour les environnements secs. Le « *nyù* » pourrait être utilisé dans un programme de sélection pour des morphotypes d'igname résistants à la sécheresse.

Mots clé : Igname, taux de transpiration, surface foliaire, DPV, déficit hydrique, Burkina Faso.

Influence of the daily variation of the vapor pressure deficit (VPD) on the morphological and physiological responses of two yam morphotypes cultivated in Burkina Faso.

ABSTRACT

Objective : The aim was to determine the effect of the variation of the vapor pressure deficit (VPD) of the study medium on the morphophysiological responses based mainly on the evaluation of the transpiration rate and the leaf area of plants of the “nyù” and “waogo” yam morphotypes.

Methodology and results : The “nyù” and the “waogo” were evaluated for their responses to different water regimes and to different vapor pressure deficits (VPD) according to a randomized full block device. Under high VPD the water regime has had a significant effect on the transpiration rate (TT), the leaf area (SF), the root biomass (BR) and the chlorophyll content of the “nyù” and the TT, the SF, the number of leaves (NF) and leaf biomass (BF) of the “waogo”. The NF and the BF of “nyù” were influenced by the different VPD, while in the “waogo” it was SF, NF and BF that were influenced. The “nyù” with a larger SF had a TT lower than that of the “waogo” under the different VPD. The high VPD increased the BR and reduced the BF of plants of the two morphotypes, subjected to the different water regime.

Conclusion and application of the results : This work made it possible to highlight the influence of the environment on certain morphophysiological parameters of the yam subject to water deficit. The results show us that “nyù” has a better ability to restrict sweating under high evaporative demand and is better indicated for dry environments. The “nyù” could be used in a selection program for drought-resistant yam morphotypes.

Keywords : Yam, transpiration rate, leaf area, VPD, water deficit, Burkina Faso.

INTRODUCTION

L'igname est l'une des principales plantes-racines cultivées en Afrique Subsaharienne. C'est un tubercule connu pour sa grande contribution à la sécurité alimentaire (Cornet, 2015) car riche en glucides, en sels minéraux et vitamines, mais aussi pour son important rôle socioculturel (O'Sullivan et Ernest, 2008 ; O'Sullivan et Jane Nancy, 2010), économique et médicinal. Cependant, dans les tropiques arides et semi-arides, sa production est limitée essentiellement par des contraintes climatiques récurrentes. Les fortes températures et l'irrégularité spatio-temporelle des pluies amplifient l'effet l'aridité des sols. Ce qui perturbe énormément le développement et même la production de l'igname. Au Burkina Faso, le « nyù », un morphotype du complexe *Dioscorea cayenensis* - *Dioscorea rotundata* est exploité par les communautés paysannes à petite échelle et le « waogo », un morphotype du *Dioscorea alata* est exploité à plus grande échelle (Tiama, 2016). Au cours de ces dernières décennies, le Burkina Faso a fait face à une succession de périodes climatiques caractérisées par des variations saisonnières des conditions climatiques. La réponse des cultures aux fluctuations des

conditions environnementales défavorables découlerait de l'intensité et de la durée de leurs effets (Halilou, 2016) qui compromettrait sérieusement la production agricole. Cet effet des aléas climatiques est amplifié par les émissions des gaz à effet de serre, les incendies et la déforestation. Ce qui augmentera la vulnérabilité des différents systèmes naturels de production agricole avec des conséquences plus drastiques sur l'agriculture et la sécurité alimentaire, principalement dans les pays en développement (Rosenzweig et Colls, 2005 Yang et al., 2010) comme le Burkina Faso. Par conséquent, pour améliorer efficacement la tolérance des plantes à la sécheresse de nombreux efforts ont été réalisés (Halilou, 2016). Cependant, la faible résilience des systèmes cultureux, les fortes interactions culture et environnement pour le rendement (Cooper et Hammer, 1996 ; Halilou, 2016) et la faible utilisation des plantes adaptées aux nouvelles conditions environnementales, minent nos attentes. Les travaux sur le niébé, l'arachide, le soja et l'igname respectivement de Hamidou et al. (2012), Belko (2013), Kihindo et al. (2015), Kihindo (2016), Halilou (2016) Kaboré et al. (2018), Harou et al. (2018) et

Dondassé *et al.* (2020) ont montré que certains traits physiologiques comme la surface spécifique foliaire, la quantité d'eau transpirée, l'efficacité de la transpiration et le rapport biomasse plantes sur biomasse racines sous stress hydrique seraient des paramètres pertinents pour évaluer la tolérance à la sécheresse. Ainsi, pour une bonne compréhension de la réponse physiologique d'une plante au déficit hydrique, il est important d'étudier l'effet de l'environnement sur la plante d'une part, et d'autre part, d'identifier les caractères intrinsèques qui lui permettent de tolérer les effets du déficit hydrique. Le déficit de pression de vapeur atmosphérique (DPV), variable climatique dont l'intensité dépend de l'humidité relative et de la température ambiante, est importante pour le maintien de l'état hydrique des plantes. La réponse de la plante à une augmentation de la valeur de DPV peut se traduire par une augmentation de la transpiration (Halilou, 2016), une fermeture partielle des stomates (El-Sharkawy, 1990), une réduction de la surface foliaire (Sinclair *et al.*, 2005 ; Belko *et al.*, 2012a ; Halilou, 2016) et une transpiration plus efficace (Ray *et al.*, 2002 ; Devi *et al.*, 2010 ; Lobell et

Gourdji, 2012). Une utilisation judicieuse de la ressource hydrique du sol s'avère donc capitale dans les environnements secs. De nombreuses études sur les réponses morpho-physiologiques au déficit hydrique chez plusieurs espèces ont été réalisées. Cependant, ces réponses sont peu ou pas documentées chez l'igname, car négligée. D'où la nécessité d'entreprendre des investigations sur les réponses morpho-physiologiques de l'igname au déficit hydrique afin de comprendre sa stratégie d'adaptation. La connaissance des mécanismes morpho-physiologiques sous différents DPV peut aussi permettre une meilleure sélection des morphotypes d'igname adaptés aux différentes conditions agro-climatiques. Pour connaître ces mécanismes, nous avons mené une étude qui vise à comparer, en fonction du régime hydrique, (i) la réponse journalière de la transpiration du « *nyù* » et du « *waogo* » et (ii) établir les relations entre les paramètres mesurés et les fréquences optimales et rationnelles d'irrigation qui pourraient permettre un bon rendement sous les deux environnements (saisons) afin de renseigner les producteurs.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Milieu : Un essai en pot a été conduit dans le jardin expérimental de l'Unité de Formation et de Recherche en Science de la Vie et de la Terre (UFR/SVT) de l'Université Joseph KI-ZERBO en condition naturelle d'éclairage, de température et d'hygrométrie pendant deux saisons. Une saison sèche chaude (mars-juin) caractérisée par un fort DPV (1,3/4,3 kPa, min/max) et une saison des pluies (juin-septembre) caractérisée par un faible DPV (0,9/2,9 kPa, min/max) (figure 1a et figure 1b). Le jardin est situé à 319m d'altitude, 12°22'45,6" de latitude Nord et 001°29'52,3" de longitude Ouest. La pluviométrie annuelle de cette zone varie entre 600 et 900mm (Thiombiano *et al.*, 2010). La mesure de la

transpiration a été faite au 65^{ème} jour après semis (JAS) sous des températures qui oscillent entre 32,5 et 42,1°C (Figure 2b) en saison sèche et des températures qui varient entre 24,3 et 31,6°C (Figure 2a) saison de pluies. Les données climatiques ont été respectivement mesurées à l'aide d'un thermohygromètre.

Matériel biologique : L'étude a porté sur deux morphotypes d'igname cultivés au Burkina Faso : le « *nyù* » (*Dioscorea cayenensis-rotundata*) et le « *waogo* » (*Dioscorea alata*). Les caractéristiques agronomiques du « *nyù* » et du « *waogo* » sont consignées dans le tableau 1.

Tableau 1 : Caractéristiques agronomiques des morphotypes d'igname utilisés.

Caractéristiques	Origine	Port	Durée du cycle	Croissance	Couleur des feuilles	Couleur de la tige	Couleur des tubercules	Résistance (+) et sensible (-) aux maladies (insectes, virus)
« nyù »	Burkina Faso	Volubile	6 à 8 mois	Indéterminé	Vert foncé	Violet	Brun-jaunâtre	Mosaïque de l'igname (+) Anthracnose (+)
« waogo »	Asie du Sud-Est	Volubile	7 à 10 mois	Indéterminé	Vert	Vert	Noir	Mosaïque de l'igname (-) Anthracnose (-)

Source : Tiama, 2016 ; Dondassé et al. (2020).

Méthode de culture : Les plantes ont été cultivées en milieu naturel dans des pots en plastique de capacité 20L (diamètre supérieur 33 cm, diamètre inférieur 22 cm et profondeur 33cm) sous deux DPV très contrastants. Chaque pot a été rempli avec dix-sept (17) kg de terre sèche préalablement tamisée à l'aide d'un tamis à 2mm. Le fond de chacun des pots est soigneusement troué et recouvert d'une serviette de table papier afin de permettre le drainage de l'eau après arrosage. Le dispositif expérimental utilisé est en blocs complets randomisés avec trois répétitions et deux facteurs. Le premier facteur est le morphotype utilisé et le deuxième facteur est le régime hydrique [plantes arrosées tous les deux jours (J2), tous les trois jours (J3) et tous les quatre jours (J4)]. Chaque bloc se composait de 18 pots dont l'unité expérimentale était constituée de 3 pots par morphotype et les différentes plantes d'un même bloc ont été soumises au même régime hydrique. Les plantations ont été effectuées raison d'une semence au par pot. 2000 ml d'eau par pot ont été apportés aux plantes à partir du 1^{er} JAS. Ce volume d'eau (2000 ml) équivaut à la capacité au champ de la terre utilisée.

Mesures et observations : Un thermohygromètre de marque HANNA HI 9564 a permis de relever la température et l'humidité relative de l'air, afin d'évaluer l'impact des facteurs environnementaux sur les plantes au cours de chaque essai. Les mesures ont été faites à 6 h, 9h, 12h, 15h, et 18h mais nous n'avons retenu que les valeurs minimales et maximales journalières. Pour évaluer l'impact des facteurs environnementaux qui ont influencé le fonctionnement des plantes à différents

DPV, les paramètres morphophysologiques comme le taux de transpiration (TT), la surface foliaire, le nombre de feuilles, les poids secs des feuilles et des racines, et la teneur relative en chlorophylle ont été mesurés. Une balance électronique de marque Sartorius de précision d'une capacité maximale de 35 kg a été utilisée pour les mesures de transpiration. Les mesures ont été faites par gravimétrie toutes les 2 h (6 h à 18 h). Après les pesées, les plantes ont été coupées au ras du sol et les feuilles détachées par folioles pour mesurer la surface foliaire par plante. La surface foliaire de chaque plante a été mesurée à l'aide d'un planimètre mesureur laser portable de marque CI-202 / CID Biosciences. Les feuilles et les racines ont ensuite été séchées à l'étuve à 105°C pendant 24 h. Les poids secs des feuilles et des racines ont été mesurés à l'aide d'une balance électronique de marque DENVER AC-1200D de précision 0,001. Le poids sec des feuilles a servi aux calculs du TT. Pour notre étude, la teneur relative en chlorophylle (TRC) a été déterminée à l'aide d'un chlorophylle-mètre (SPAD-502 plus) entre 5 h et 6 h au niveau du même étage foliaire.

Traitement des données et analyse statistique : Les calculs de moyennes et les graphiques ont été réalisés avec le tableur Microsoft Office Excel 2013. Les analyses statistiques ont été faites à l'aide logiciel XLSTAT-Pro version 7.5.2 pour une analyse de variance (ANOVA). Les différences significatives entre les moyennes et les interactions ont été comparées par le test de Student Newman-Keuls à un niveau de signification de 5%.

RÉSULTATS

Effet du DPV sur le taux de transpiration : Les figures 3 et 4 présentent la variation du taux de transpiration (l'eau transpirée par unité de surface foliaire et par unité de temps) chez le « nyù » et le « waogo » soumis aux

différents régimes hydriques sous DPV faible et fort. L'analyse des résultats du taux de transpiration (TT) a montré que le régime hydrique (RH), l'environnement (E) et l'interaction ExRH ont significativement influencé la

variation du TT chez le « *nyù* » alors que chez le « *waogo* » seuls l'environnement et le régime hydrique ont significativement influencé le TT. Le « *waogo* » transpire significativement plus que le « *nyù* » sous les deux DPV ($p=0,011$). Le pic du taux de transpiration a été obtenu pour le « *nyù* » soumis aux différents régimes hydriques à 10h sous DPV faible par contre ce pic est obtenu à 12h pour le « *waogo* » période pendant laquelle le DPV a été maximal. Cependant, sous fort DPV, le pic du « *nyù* » a été obtenu à 12h et celui du « *waogo* » à 14h. Ceci s'expliquerait par la forte transpiration du

« *nyù* » le matin qui à la mi-journée réduit sa transpiration augmentation avec l'augmentation du DPV. Ce qui n'est pas le cas chez le « *waogo* » qui a un pic de TT à 14h sous fort DPV. Le TT des plantes du morphotype « *waogo* » arrosées tous les deux jours, montrent qu'elles transpirent davantage pendant les périodes chaudes de la journée quel qu'en soit l'environnement. Le TT du « *waogo* » et du « *nyù* » varie significativement en sens inverse en fonction du régime hydrique sous fort DPV.

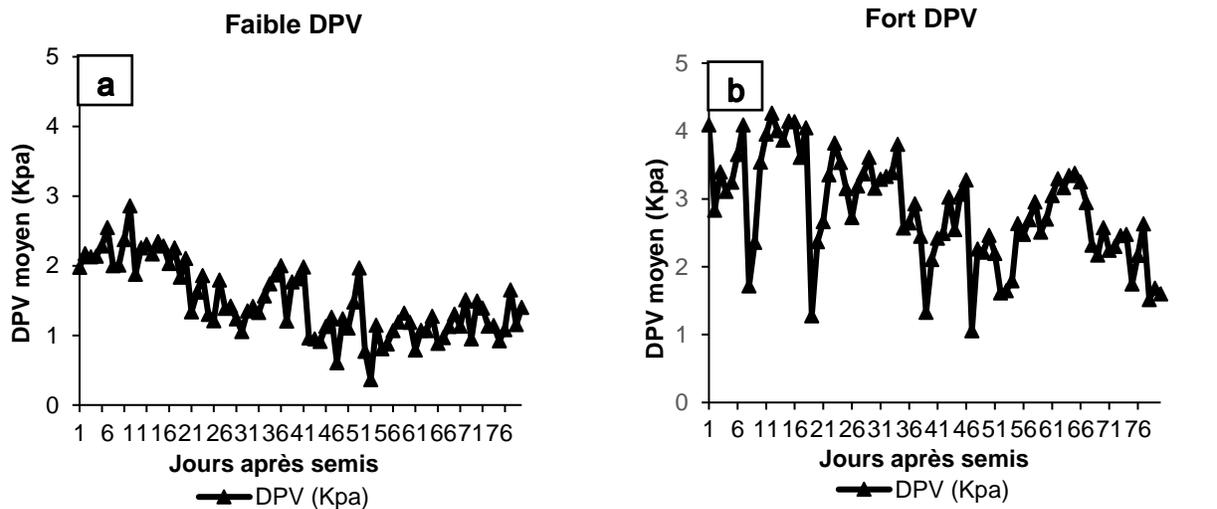


Figure 1 : Évolution du déficit de pression de vapeur (DPV) au cours des saisons de pluies ou faible DPV (a) et sèche ou fort DPV (b).

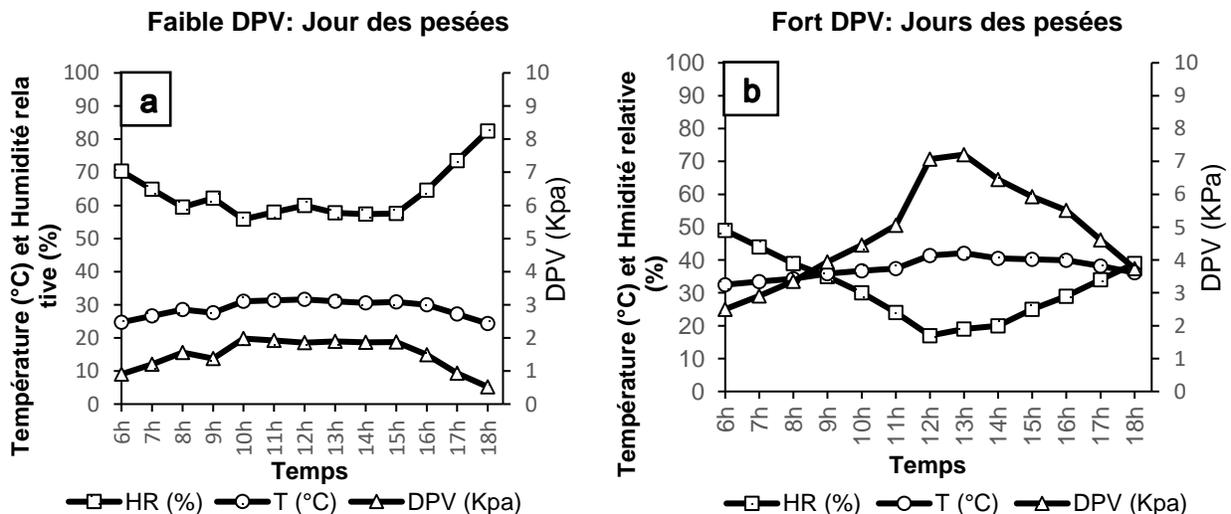


Figure 2 : Évolution de la température (T), de l'humidité relative (HR) et du déficit de pression de vapeur (DPV) au 65^{ème} JAS des saisons de pluies ou faible DPV (a) et sèche ou fort DPV (b).

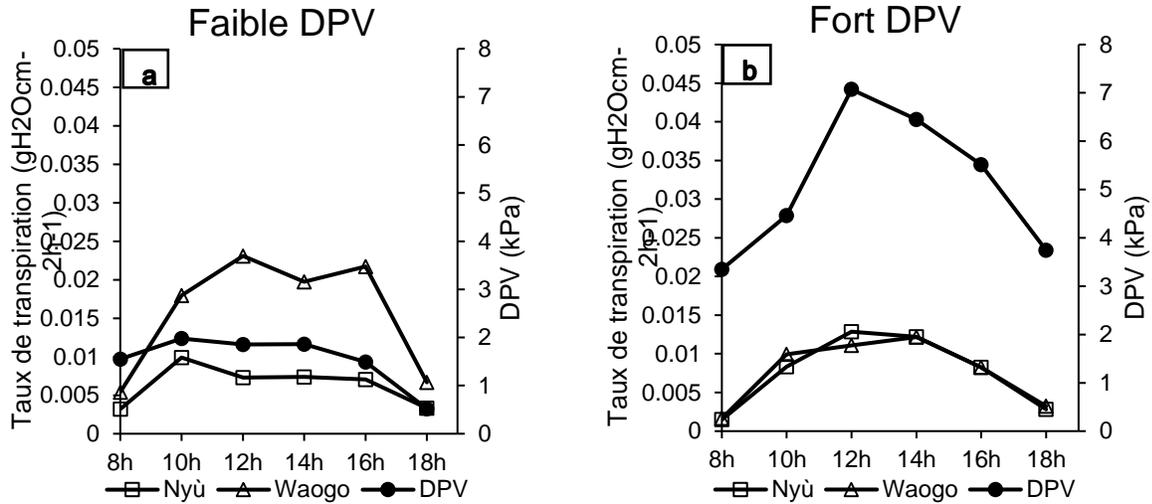
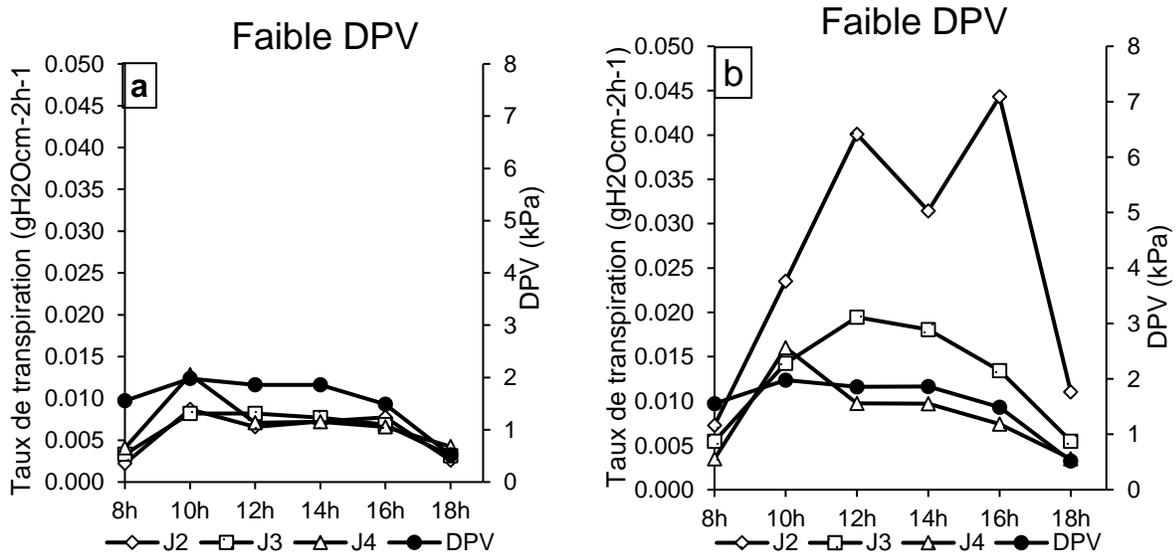


Figure 3 : Évolution journalière du taux moyen de transpiration du « nyù » et du « waogo » sous DPV faible (a) et fort (b).



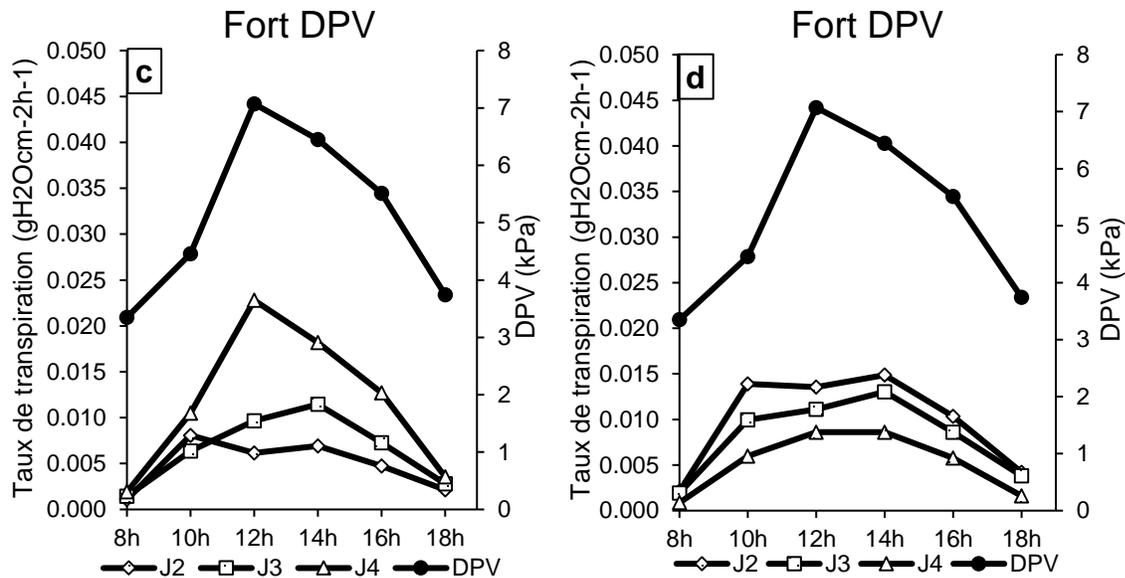


Figure 4 : Évolution du taux de transpiration au cours de la journée des morphotypes « nyù » (à, c) et « waogo » (b, d) sous fort DPV et faible DPV.

Effet du DPV sur la surface foliaire : L'analyse de variance a montré une variation significative de la surface foliaire du « nyù » ($P=0,004$) et du « waogo » ($p=0,003$), en fonction du régime hydrique, soumis au fort DPV, ce qui n'est pas le cas sous faible DPV (tableaux 2 et 3). En effet, les plantes du « nyù » ont une surface foliaire moyenne de $3499,334 \text{ cm}^2$ avec une variation de $3178,02 \text{ cm}^2$ à $4031,84 \text{ cm}^2$ soumises au faible DPV tandis que sous fort DPV, elles ont une surface foliaire moyenne de $3344,459 \text{ cm}^2$ avec une variation de $2476,7 \text{ cm}^2$ à $5347,9 \text{ cm}^2$ (tableau 2, figure 5). Chez le « waogo » la surface foliaire moyenne de $2739,811 \text{ cm}^2$ allant de $2369,88 \text{ cm}^2$ à $2869,25 \text{ cm}^2$ sous de faible DPV tandis que sous fort DPV, elle varie de $1529,3 \text{ cm}^2$ à $3244,6 \text{ cm}^2$ avec une moyenne de $1977,460 \text{ cm}^2$ (tableau 3 et figure 6). La surface foliaire du « nyù » est plus grande que celle du « waogo » (figure 6). La surface

foliaire est faible pour les plantes soumises au régime J4 pour le morphotype « waogo » en période de fort DPV (tableau 3). Chez le « nyù » et le « waogo » les plantes soumises au régime J2 ont une surface foliaire significativement plus grande que celles des régimes J3 et J4 (tableaux 2 et 3). Le fort DPV a favorisé l'expansion foliaire des plantes, des deux morphotypes, soumises au régime J2. En effet, les plantes du « nyù » arrosées tous les 2 jours ont une surface foliaire de $4689,877 \text{ cm}^2$ avec une variation de $4031,84 \text{ cm}^2$ à $5347,9 \text{ cm}^2$ par contre chez le « waogo », les plantes arrosées soumises au régime j2 ont une surface foliaire de $3056,925 \text{ cm}^2$ avec une variation de $2869,25 \text{ cm}^2$ à $3244,6 \text{ cm}^2$ (tableaux 2 et 3). Les plantes du « nyù » et du « waogo » soumises au fort DPV et au régime J2 présentent une plus grande surface foliaire (Figure 5a et 5b).

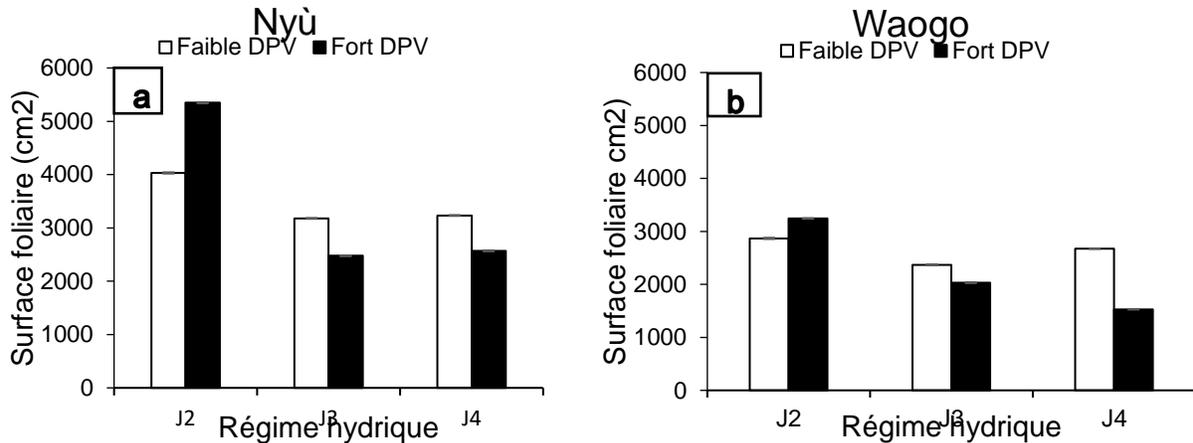


Figure 5 : Surface foliaire des morphotype « nyù » (a) et « waogo » (b) en conditions de pots sous DPV faible et élevé.

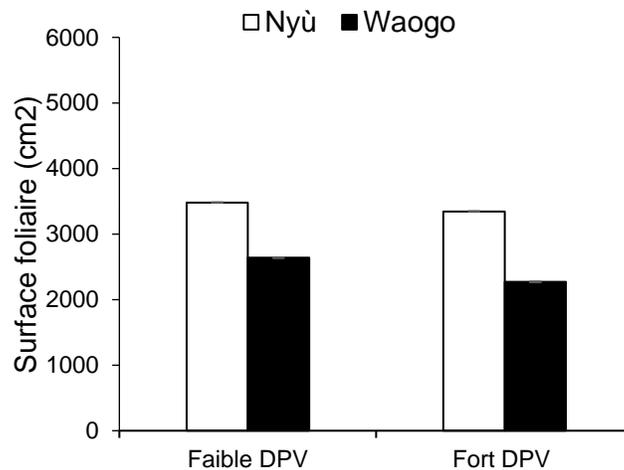


Figure 6 : La surface foliaire moyenne du « nyù » et du « waogo » sous différents DPV.

Effet du DPV sur les paramètres morphophysologiques : L'analyse statistique a révélé un effet de l'environnement (E), du régime hydrique (RH) et une interaction ExRH significatifs pour le nombre des feuilles des plantes des morphotypes « nyù » et « waogo ». Le « nyù » a produit plus de feuilles que le « waogo » au cours des deux saisons (tableaux 2 et 3). Le DPV élevé a réduit la production foliaire. Sous fort DPV, le régime hydrique a influencé significativement la production foliaire des plantes du morphotype « waogo » (tableau 3). En saison à faible DPV, la production de feuille a été plus importante. Le « waogo » a produit en moyenne 114 feuilles. Le « nyù » a montré une production foliaire nettement plus élevée (164 feuilles) que celle du « waogo » (114 feuilles). Un effet de l'environnement et du régime hydrique significatif pour la biomasse des feuilles a été observé dans les deux morphotypes. Le « waogo » a produit plus de biomasse foliaire que le « nyù » au cours de la saison à faible DPV.

La biomasse foliaire des deux morphotypes a diminué sous fort DPV. Sous faible DPV, la biomasse foliaire du « waogo » a été en moyenne de 18,4 g par plante. Les plantes soumises au régime J2 (23,6 g) ont produit une biomasse plus élevée alors que celles soumises à J4 (14,8 g) ont présenté une faible production de biomasse des feuilles. Sous ce faible DPV, le « nyù » a montré une biomasse des feuilles plus faible que celle du « waogo ». Les plantes de « nyù » du régime J2 (15,6 g) ont produit plus de biomasse feuilles alors que les plantes soumises à J4 (12,4 g) ont eu les faibles productions de biomasse foliaire. Sous fort DPV, la production de biomasse feuilles de tous les régimes hydriques confondus a été baisse. Le « waogo » a produit en moyenne 7,6 g. Le « nyù » a montré une biomasse légèrement plus élevée (8,1 g) que celle du « waogo ». L'analyse statistique a révélé un effet du régime hydrique significatif pour la biomasse racinaire chez le « nyù » (tableau 2). Une interaction ExRH significative a été aussi révélée chez le

« nyù » et le « waogo ». Mais l'effet environnement a influé plus que l'effet du régime hydrique. Les biomasses racinaires du « waogo » et du « nyù » ont été plus élevées sous fort DPV par rapport au faible DPV. L'environnement, le régime hydrique et l'interaction ExRH n'ont pas influencé significativement la teneur relative en chlorophylle des feuilles du « nyù » et du « waogo » (tableaux 2 et 3). Par contre sous fort DPV, le

régime hydrique a influencé significativement le teneur en chlorophylle du « nyù » ($p= 0,000$). Les plantes de « nyù » soumises à J4 sous ce DPV ont la TRC faible tandis que sous faible DPV la tendance est inversé (tableau 2). Les plantes des deux morphotypes, soumises au régime J3 ont développé plus de racine sous fort DPV. Le « nyù » arrosé avec J2 a une plus forte TRC sous fort DPV que sous faible DPV (tableau 2).

Tableau 2 : Moyennes de la surface foliaire, du nombre de feuilles, de la biomasse racinaire, des feuilles et de la teneur en chlorophylle des feuilles des plantes des morphotypes « nyù » sous faible DPV (DPV -) et fort DPV (DPV+) en fonction du régime hydrique. DPV = déficit de pression de vapeur

	RH	Surface Foliaire (cm ²)		Nbre de feuilles		Biomasse feuille (g)		Biomasse racine (g)		TRC	
		DPV -	DPV+	DPV -	DPV+	DPV -	DPV+	DPV-	DPV+	DPV-	DPV+
	2 jours	4031,84	5347,9	181,944	94,1	15,6	10,6	10	12,8	33,04	35,7
	3 jours	3178,02	2476,7	171,667	61,3	12,7	6,2	4,31	8,3	30,89	30,4
	4 jours	3233,08	2569,9	137,417	69,5	12,4	7,5	4,73	5,5	34,01	27,7
	F value	1,12161	16,143	0,481	2,490	0,337	3,114	1,765	6,554	0,482	39,121
	F < pr	0,386	0,004	0,640	0,163	0,726	0,118	0,250	0,031	0,640	0,000
E	F value	0,183		17,554		9,027		1,999		3,366	
	F < pr	0,677		0,001		0,011		0,183		0,091	
	F value	12,297		11,418		9,822		5,846		2,388	
RH	F < pr	0,001		0,002		0,003		0,017		0,134	
	F value	4,168		4,102		2,393		0,326		3,838	
E x RH	F < pr	0,042		0,044		0,133		0,728		0,051	

[SF= surface foliaire. NF= nombre de feuilles BF = biomasse feuilles. BR= biomasse racine. TRC= teneur relative en chlorophylle. E= environnement, RH= régime hydrique, ExRH= interaction environnement*régime hydrique]

Tableau 3 : Moyennes de la surface foliaire, du nombre de feuilles, de la biomasse racinaire, des feuilles et de la teneur en chlorophylle des feuilles des plantes des morphotypes « waogo » sous faible DPV (DPV-) et fort DPV (DPV+) en fonction du régime hydrique. DPV = déficit de pression de vapeur

	RH	SF (cm ²)		NF		BF (g)		BR (g)		TRC	
		DPV -	DPV+	DPV -	DPV+	DPV -	DPV+	DPV-	DPV+	DPV-	DPV+
	2 jours	2869,25	3244,6	139,111	49,2	23,6	10,9	10,3	18,5	37,9	37,1
	3 jours	2369,88	2033,2	108,889	25,2	17,0	6,3	7,97	17,8	36,6	39,3
	4 jours	2675,09	1529,3	93,3333	34,0	14,8	5,5	5,46	6,2	36,3	38,9
	F value	0,283	18,275	3,637	5,311	1,931	12,928	1,402	1,877	0,058	0,360
	F < pr	0,763	0,003	0,092	0,047	0,225	0,007	0,316	0,233	0,945	0,712
E	F value	6,63176		22,556		7,307		1,521		0,299	
	F < pr	0,02431		0,000		0,019		0,241		0,594	
	F value	1,01831		54,463		18,876		1,343		0,015	
RH	F < pr	0,3904		< 0,0001		0,000		0,298		0,985	
	F value	0,43871		6,883		1,371		2,369		0,254	
E x RH	F < pr	0,65481		0,010		0,291		0,136		0,780	

[SF= surface foliaire. NF= nombre de feuilles BF = biomasse feuilles. BR= biomasse racine. TRC= teneur relative en eau. E= environnement, RH= régime hydrique, ExRH= interaction environnement*régime hydrique]

DISCUSSION

La réponse du taux de transpiration (TT) à la variation du DPV n'a pas une variation significative au niveau des deux morphotypes (« *nyù* » et « *waogo* »). Sous les DPV faible et fort, le « *waogo* » a un TT relativement plus élevé que le « *nyù* ». Ce qui signifie que la relation entre la transpiration et le DPV serait relativement plus importante chez le « *waogo* » que chez le « *nyù* ». Chez les végétaux, une augmentation importante brutale du DPV provoquerait une transpiration importante suite à une stimulation de l'ouverture des stomates par la température. Mais, selon Kihindo (2016), au-delà d'un certain seuil de température (30°C) cette transpiration est réduite. Ce qui explique la baisse du TT du « *nyù* » à partir de 12h et du « *waogo* » à partir de 14h. Cela suppose que sous de très fortes températures, le « *nyù* » fermerait précocement ses stomates par rapport au « *waogo* ». Cette fermeture des stomates conduirait à la réduction de la transpiration. Ces résultats corroborent ceux de nombreux auteurs (Belko *et al.*, 2012 ; Halilou, 2016 ; Kihindo *et al.*, 2015 ; Dondassé *et al.*, 2020). Un fort TT entraîne un dessèchement rapide du sol qui rendrait le potentiel hydrique foliaire de plus en plus négatif (Acherar *et al.* 1991). Cependant, la limitation de la transpiration des deux morphotypes sous fort DPV favoriserait une amélioration du maintien de l'état hydrique des tissus foliaires en permettant une absorption d'eau par les racines tout en réduisant les pertes d'eau par transpiration (Kihindo, 2016). Ce qui permet à la plante de limiter sa transpiration tout en poursuivant l'exploration du sol (Cramer *et al.*, 2013) à la recherche de l'eau. Selon Turner (1986), la capacité d'extraction d'eau du sol sous contrainte hydrique et la réduction de la transpiration sous fort DPV permettrait à la plante de maintenir un potentiel hydrique élevé. Cette réduction de la transpiration serait due à une accumulation d'osmolites permettant de créer une entrée massive d'eau dans la cellule (Crowe *et al.*, 1992). Face à l'augmentation des forces de rétention dans le sol en cours de dessiccation, Tahri *et al.* (1998) pensent que des ajustements osmotiques pourraient se manifester à des degrés divers chez la plupart des végétaux. Ce sont ces ajustements qui ont permis au « *waogo* » de réduire sa transpiration sous fort DPV par la fermeture des stomates. La fermeture des stomates, suite au déficit hydrique, affecte la fabrication, le métabolisme et la translocation de l'acide abscissique (ABA) vers les cellules de garde, chez la majorité des végétaux (Stoll *et al.*, 2000 ; Cramer *et al.*, 2007). En situation de dessèchement du sol, les plantes ferment leurs stomates. Cette fermeture des stomates est une

réponse capitale qui retarde la déperdition de la réserve hydrique du sol et limite la diminution du potentiel hydrique et la déshydratation des tissus végétaux (Simonneau *et al.*, 2014). Selon Tyree et Alexander (1993) la limitation de l'ouverture des stomates réduit l'effet du déficit hydrique durant les périodes de la journée où la demande hydrique est importante. Les plantes ferment partiellement leurs stomates pour réduire la perte d'eau qu'elles utiliseraient en cas de déficit hydrique (Halilou, 2016). Cette fermeture partielle ou totale des stomates va limiter l'activité photosynthétique des plantes par la diminution de l'approvisionnement du CO₂ atmosphérique. La fermeture des stomates expliquerait la faible biomasse produite par le « *waogo* » pendant la saison à fort DPV. Les régimes J3 et J4 ont entraîné chez le « *waogo* » un TT plus faible. Ces régimes entraînent chez le « *waogo* » un déficit hydrique qui diminue la transpiration. Par contre, chez le « *nyù* », avec ces régimes hydriques (J3 et J4), on observe une augmentation du taux de transpiration. Cela s'expliquerait par le fait que, chez ces plantes dont le régime hydrique aurait occasionné un stress hydrique, la surface foliaire, le nombre de feuille et la biomasse feuille sont les plus faibles. Donc une forte transpiration n'affecterait pas trop le fonctionnement de la plante. Malgré leur forte transpiration, leurs photosynthèses ne leur ont pas permis une forte croissance car leur surface foliaire a été plus faible. Selon Chaves (1991) ; Cramer *et al.* (2007), un des corollaires du déficit hydrique est la décélération de la croissance qui, pour Pellegrino *et al.* (2006) ; Cramer *et al.* (2013), interviendrait avant toute modification de l'activité photosynthétique. Cette décélération de la croissance est due d'une part, à une diminution de la turgescence des cellules des tissus et d'autre part, à une altération de la biosynthèse des parois cellulaires et des mécanismes de division cellulaire (Simonneau *et al.*, 2014). Sous les deux DPV le « *nyù* » a eu un TT presque identique. Mais sous faible DPV, le TT est très élevé chez le « *waogo* ». Ceci serait lié à un contrôle stomatique de la transpiration plus strict chez le « *nyù* » que chez le « *waogo* ». Ce faible contrôle stomatique expliquerait un faible contrôle de la transpiration du « *waogo* » par rapport au « *nyù* » sous faible DPV. La réduction de l'accroissement foliaire a conduit à une baisse de l'activité photosynthétique (Farooq *et al.* 2010) chez le « *nyù* » soumis à J3 et J4. En situation de déficit hydrique, les plantes, pour limiter la transpiration, ajustent leur surface foliaire (Anyia et Herzog, 2004) et/ou ferment leurs stomates (Puangbut

et al. 2009 ; Belko 2013 ; Halilou 2016 ; Harou et al., 2018). Ce qui explique la faible surface foliaire et la faible biomasse des plantes arrosées tous les quatre jours. Ces résultats sont en accord avec ceux rapportés chez le niébé (Belko, 2013 ; Kihindo, 2016 ; Halilou, 2016 ; Harou et al., 2018), le mil (Kholova et al., 2010), le riz (Bois et al., 1984), l'arachide (Halilou, 2016) et l'igname (Dondassé et al., 2020). La limitation de la transpiration augmente la température foliaire (Agbicodo et al., 2009). Cette élévation de la température combinée à un stress hydrique persistant est perceptible, ici, par la réduction de la surface foliaire compromettant ainsi la photosynthèse et la croissance. La limitation de la photosynthèse réduit la croissance des plantes avec pour conséquence une réduction de la biomasse. La plus grande surface foliaire des plantes des deux morphotypes (« *nyù* » et « *waogo* ») soumises à J2 sous fort DPV, est due à une température relativement basse du sol qu'occasionnerait ce régime hydrique (Kihindo, 2016). Ces basses températures du sol impactent la croissance des plantules (Beauchamp et Lathwell, 1967). En effet, la température du milieu racinaire contrôle la croissance des jeunes plantes en raison de la proximité des zones méristématiques avec la surface du sol (Watts, 1972 ; Kihindo, 2016). La température relativement basse du sol s'explique par le fait que le régime J2 fournit suffisamment d'eau au niveau du sol pour atténuer la chaleur du sol pendant la période de fort DPV. Ce qui crée des conditions adéquates à la croissance des plantes arrosées tous les 2 jours. La sécheresse subie par les plantes au cours de leur cycle de développement dépend des effets non dissociables de la déshydratation du sol et de la température de l'air ambiant (Belko, 2013). De ce fait, en condition naturelle, tout stress thermique intensifierait éventuellement l'impact du stress hydrique sur la croissance et le développement des plantes. Plusieurs travaux antérieurs ont révélé que la croissance des plantes dépend de l'effet combiné des stress thermique et hydrique (Prasad et al., 2000 ; Lobell et al., 2011 ; Cairns et al., 2012 ; Hamidou et al., 2013 ; Halilou 2016 ; Kihindo, 2016 ; Dondassé et al., 2020). Chez le « *nyù* » et le « *waogo* » le nombre de feuilles, le poids sec des feuilles sous fort DPV ont été plus faibles que sous faible DPV dans tous les traitements hydriques. L'observation inverse a été faite pour la biomasse des racines. Sous fort DPV, les fortes chaleurs auraient entraîné une activation des mécanismes de conservation d'eau par le « *nyù* » et le « *waogo* » ce qui limite la croissance foliaire. Cette limitation de la croissance foliaire réduit la surface

photosynthétisante, indépendamment de tout mécanisme biochimique (Riou, 1989). C'est pourquoi nous pensons que les températures élevées modifieraient donc l'effet des régulateurs de croissance chez l'igname. À cela s'ajoute une grande destruction des chlorophylles due au déficit hydrique ; ce qui réduit la photosynthèse. Ceci pourrait expliquer les faibles biomasses chez le « *nyù* » et le « *waogo* » sous fort DPV. Le stress thermique agit en outre sur la répartition des photoassimilats entre les parties aériennes et les parties souterraines de la plante. Un ralentissement ou un arrêt de la croissance foliaire diminue la taille du puit et augmente la translocation des photoassimilats vers le tubercule chez le « *nyù* » et les racines chez le « *waogo* ». Ces faits ont été observés par Kihindo (2016) chez le niébé qui lorsque la croissance foliaire diminue la taille du puit également diminue. Ce qui provoque la translocation des photoassimilats vers les racines augmentant ainsi la biomasse racinaire. Une hausse de température des premiers décimètres du sol est constatée après une augmentation des températures ambiantes (Popiel et al., 2001). Cette augmentation de la température du sol induirait un stress thermique des racines qui aurait impacté négativement la croissance racinaire (Nielsen, 1974) des plantes soumises à J3 et J4. Ce qui aurait entraîné une réduction la croissance des plantes (Li et al., 1994). Nos résultats sont en congruence avec ceux de Watanabe et Tarao (1998) ; Hamidou (2006) ; Wang et al., (2006). Selon certains auteurs (Salahh et Tardieu, 1997 ; Tivet, 2000 ; Belko, 2013 ; Halilou, 2016), le fort DPV réduirait la croissance foliaire même en condition d'irrigation non limitante. Ce qui aurait influencé négativement les différents paramètres de croissance du « *nyù* » et du « *waogo* ». Par contre, plusieurs travaux sur différentes espèces cultivées ont révélé qu'un important système racinaire permettrait une meilleure alimentation hydrominérale et améliorerait la tolérance des plantes à la sécheresse dans les régions semi-arides voire arides (Sarr et al., 2001 ; Vadez et al., 2012 ; Belko, 2013 ; Kihindo, 2016 ; Dondassé et al., 2020). Le « *nyù* » et le « *waogo* » ont une biomasse racinaire plus grande sous fort DPV. Cette augmentation de la biomasse racinaire serait due au stress dû aux conditions environnementales. Les résultats de nos travaux montrent que le « *nyù* » et le « *waogo* » se distinguent par leur croissance végétative, leur capacité de limitation de la transpiration et par l'utilisation rationnelle de l'eau en condition de déficit hydrique.

CONCLUSION ET APPLICATION DES RESULTATS

Il ressort de cette étude que le DPV influe sur le fonctionnement des morphotypes « nyù » et « waogo ». En effet, l'étude a mis en évidence une influence du DPV sur la réponse morphophysio-logique du « nyù » et du « waogo ». L'étude a montré également que le taux de transpiration (TT) du « nyù » et du « waogo » augmente avec le DPV, puis décline légèrement lorsque le DPV est maximal. En condition d'irrigation non limitante (J2), le « nyù » et le « waogo » ont une plus grande surface foliaire sous fort DPV. Il existe une différence de gestion de l'eau entre le « nyù » et le « waogo » lorsqu'ils sont soumis au régime J2. Le TT du « waogo » est supérieur à celui du « nyù » sous les deux DPV alors que le « nyù » a eu une

plus grande surface foliaire sous les mêmes DPV. Ceci montre un faible contrôle de la transpiration du « waogo » par rapport au « nyù » en conditions d'irrigation non limitante. Le « nyù » qui a développé plus de surface foliaire a restreint ces pertes d'eau par transpiration. Ainsi, à partir d'une certaine valeur de DPV, les plantes ferment leurs stomates et ne transpirent presque plus, et donc presque plus de photosynthèse. Au regard de ces résultats, le « waogo » donnerait de bonnes performances agronomiques dans des zones de faible DPV et non permanemment soumis au déficit hydrique alors que le « nyù » serait apte en condition de fort DPV et de déficit hydrique.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Acherar M., Rambal S., Lepart J., 1991. Évolution du potentiel hydrique foliaire et de la conductance stomatique de quatre chênes méditerranéens lors d'une période de dessèchement. *Annales des sciences forestières* 5 : 561-573.
- Agbicodo E.M., Fatokun C.A., Muranaka S., Visser R.G.F., 2009. Breeding drought tolerant cowpea : constraints, accomplishments, and future prospects. *Euphytica*, 167(3), 353-370.
- Anyia A.O. and Herzog H., 2004. Water-use efficiency, leaf area and leaf gas exchange of cowpeas under mid-season drought. *Europ. J. Agronomy* 20 : 327-339.
- Beauchamp E. G., Lathwell D. J., 1967. Effect of changes in root zone temperature on the subsequent growth and development of young corn plants. *Agron. J.* 59 : 189-193.
- Belko N., 2013. Phénotypage pour l'adaptation à la sécheresse : Variations génotypiques des caractères agro-morphologiques et physiologiques et leurs contributions à la production en condition de sécheresse de fin-de-cycle chez le niébé (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). Thèse Doc., Université de Ouagadougou. 121p.
- Belko N., Zaman-Allah M., Cisse N., Diop N. N., Zombre G., Ehlers J. D., and Vadez V. 2012. Lower soil moisture threshold for transpiration decline under water deficit correlates with lower canopy conductance and higher transpiration efficiency in drought-tolerant cowpea. *Functional Plant Biology* 39 (4), 306-322.
- Bois J. F., Couchat P. et Moutonnet P., 1984. Étude de la réponse à un stress hydrique de quelques variétés de riz pluvial et de riz irrigué. *Plant and Soil* Vol 80, pp 237-246.
- Cairns J., Sonder K., Zaidi P., Verhulst N., Mahuku G., Babu R., Nair S., Das B., Govaerts B., and Vinayan M., 2012. 1 Maize Production in a Changing Climate : Impacts, Adaptation, and Mitigation Strategies. *Advances in Agronomy* 114, 1-58.
- Chaves M.M., 1991. Effects of water deficits on carbon assimilation. *Journal of Experimental Botany* 42, 1-16.
- Cornet D., 2015. Influence des premiers stades de croissance sur la variabilité du rendement parcellaire de deux espèces d'igname (*Dioscorea spp.*) cultivées en Afrique de l'Ouest. Thèse Doct., L'Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement (AgroParisTech), 174p.
- Cramer G.R., Ergül A., Grimplet J., Tillett R.L., Tattersall E.R., Bohlman M.C., 2007. Water and salinity stress in grapevines : early and late changes in transcript and metabolite profiles. *Functional & Integrative Genomics* 7, 111-34.
- Cramer G.R., Van Sluyter S.C., Hopper D.W., Pascovici D., Keighley T., Haynes P., 2013. Proteomic analysis indicates massive changes in metabolism prior to the inhibition of growth and photosynthesis of grapevine (*Vitis vinifera* L.) in response to water deficit. *BMC Plant Biology* 13, 49.
- Crowe J. H., Hoekstra F. A., Crowe L. M., 1992. Anhydrobiosis. *Annu. Rev. physiol* 54: 579-599.
- Devi M. J., Sinclair T. R., and Vadez, V., 2010. Genotypic variation in peanut for transpiration response to

- vapor pressure deficit. *Crop Science* 50 (1), 191-196.
- Dondassé E., Kihindo A. P., Tiama D., Badiel B., et Zombré G., 2020. Étude comparative des paramètres morphophysologiques d'adaptation à la sécheresse de morphotypes d'igname (« Waogo » et « Nyù ») cultivés au Burkina Faso. *International Journal of Innovation and Applied Studies* Vol (30) 1, pp. 112-120.
- El-Sharkawy M. A., 1990. Effect of humidity and wind on leaf conductance of field grown cassava. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal* 2, 17-22.
- Farooq M., Kobayashi N., Ito O., Wahid A., Serraj R., 2010. Broader leaves result in better performance of indica rice under drought stress. *Journal of plant physiology* 167(13) :1066-75. DOI : 10.1016/j.jplph.2010.03.003.
- Halilou O., 2016. Réponses physiologiques de l'arachide (*Arachis hypogaea* L.) et du niébé (*Vigna unguiculata* [L.] Walp.) à la sécheresse. Thèse Doc., Université Abdou Moumouni de Niamey, 187p.
- Hamidou F., 2006. Paramètres physiologiques, biochimiques et agronomiques pertinentes pour les programmes d'amélioration de l'adaptation du niébé [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] au déficit hydrique. Thèse de doctorat, Université de Ouagadougou, 169 p.
- Hamidou F., Ratnakumar, P., Halilou O., Mponda O., Kapewa T., Monyo E., Faye I., Ntare B., Nigam S., and Upadhyaya H., 2012. Selection of intermittent drought tolerant lines across years and locations in the reference collection of groundnut (*Arachis hypogea* L.). *Field Crops Research* 126, 189-199.
- Hamidou, F., Halilou, O., and Vadez, V., 2013. Assessment of groundnut under combined heat and drought stress. *Journal of Agronomy and Crop Science* 199 (1), 1-11.
- Harou A., Hamidou F., Bakasso Y., 2018. Performances morpho-physiologiques et agronomiques du niébé [*Vigna unguiculata* (L.) Walpers] en conditions du déficit hydrique. *Journal of Applied Biosciences* 128, pp 12874 -12882.
- Kaboré Z., Kihindo A. P., Bazié H. R., Ouédraogo R. F., Dianou D. et Zombré G., 2018. Effet de l'inoculation de *Rizobium vignae* sur la physiologie et l'agromorphologie de la variété NIIZWE de niébé [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] soumise à un stress hydrique aux stades végétatif et floraison. *Afrique SCIENCE* (14) :1, 334-350.
- Kholová J., Hash C., Kumar P. L., Yadav R. S., Kočová M., and Vadez V., 2010. Terminal drought-tolerant pearl millet [*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.] have high leaf ABA and limit transpiration at high vapour pressure deficit. *Journal of experimental botany* 61 (5), 1431-1440.
- Kihindo A. P., Bazié R. H., Ouédraogo R. F., Somé P. P., Zombré G., et Tozo K., 2015. Effets de la date de semis et du régime hydrique sur la réponse agromorphologique de deux variétés de niébé (KN1 et KVX 61-1) au Burkina Faso. *IJIAS ISSR journal*, Vol. 12 No. 3, pp 564-573.
- Kihindo A. P., 2016. Influence du régime hydrique et de la date de semis sur les réponses physiologiques, biochimiques et agromorphologiques de deux variétés de niébé [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] au Burkina Faso. Thèse Doct. ; Université Ouaga I Pr Joseph KI-ZERBO. 182p.
- Li X., Feng, Y. and Boersma, L. 1994. Partition of photosyn-thates between shoot and root in spring wheat (*Triticum aestivum* L.) as a function of soil water potential and root temperature. *Plant Soil* 164: 43-50.
- Lobell D. B., and Gourdji S. M., 2012. The influence of climate change on global crop productivity. *Plant Physiology* 160 (4), 1686-1697.
- Lobell, D. B., Bänziger, M., Magorokosho, C., and Vivek, B., 2011. Nonlinear heat effects on African maize as evidenced by historical yield trials. *Nature Climate Change* 1 (1), 42-45.
- O'Sullivan and Jane Nancy, 2010 Yam nutrition nutrient disorders and soil fertility management. Canberra, A.e.T., *Australian Centre for International Agricultural Research*.
- O'Sullivan I. N. and Ernest J. 2008 Yam nutrition and soil fertility management in the Pacific. *Australian Centre for International Agricultural Research*, Brisbane. 143p.
- Pellegrino A., Gozé E., Lebon E., Wéry J., 2006. A model-based diagnosis tool to evaluate the water stress experienced by grapevine in field sites. *European Journal of Agronomy* 25, 49-59.
- Popiel, C. O., Wojtkowiak, J., and Biernacka, B., 2001. Measurements of temperature distribution in ground. *Experimental thermal and fluid science* 25 (5), 301-309.

- Prasad, P. V. V., Craufurd, P. Q., Summerfield, R. J., and Wheeler, T. R., 2000. Effects of short episodes of heat stress on flower production and fruit-set of groundnut (*Arachis hypogaea* L.). *Journal of experimental botany* 51 (345), 777-784.
- Puangbut D., Jogloy S., Vorasoot N., Akkasaeng C., Kesmla T., Rachaputi R. C.N., Wright G.C., Patanotai A., 2009. Association of root dry weight and transpiration efficiency of peanut genotypes under early season drought. *Agricultural Water Management* 96 : 1460–1466.
- Ray J. D., Gesch R. W., Sinclair T. R., and Allen L. H., 2002. The effect of vapor pressure deficit on maize transpiration response to a drying soil. *Plant and Soil* 239 (1), 113-121.
- Riou C., 1989. La sécheresse : diagnostics et conséquences. Peut-on en limiter les effets ? Les travaux de l'INRA. *LA HUILLE BLANCHE*. N° 7/8.
- Rosenzweig C., Colls J., 2005. Global warming and agriculture. In : Sylvester-Bradley R., Wiseman J. (Eds.), *Yield of Farmed Species : Constraints and Opportunities*. University of Nottingham, Nottingham, UK, pp. 143-165.
- Salahh B. H., and Tardieu F., 1997. Control of leaf expansion rate of drought maize plants under fluctuating evaporative demand. A superposition of hydraulic and chemical messages. *Plant Physiology* 114, 893-900.
- Sarr B., Diouf O., Diouf M., and Roy-Macauley H., 2001. Utilisation des paramètres agromorphologiques comme critères de résistance à la sécheresse chez trois variétés de niébé cultivées au Sénégal et au Niger. *Sécheresse* 12 (4), 253–266.
- Simonneau T., Ollat N., Pellegrino A. et Lebon E., 2014. Contrôle de l'état hydrique dans la plante et réponses physiologiques de la vigne à la contrainte hydrique. *Innovations Agronomiques* 38, 13-32.
- Sinclair T. R., Hammer G. L., Van Oosterom E. J., 2005. Potential yield and water-use efficiency benefits in sorghum from limited maximum transpiration rate. *Funct. Plant Biology* 32: 945-952.
- Stoll M., Loveys B., Dry P., 2000. Hormonal changes induced by partial rootzone drying of irrigated grapevine. *Journal of Experimental Botany* 51, 1627–34.
- Tahri E.H., Belabed A., Sadki K., 1998. Effet d'un stress osmotique sur l'accumulation de proline, de chlorophylle et des ARNm codant pour la glutamine synthétase chez trois variétés de blé dur (*Triticum durum*). *Bull. de l'institut scientifique*, Rabat, 1997-1998, 21: 81-87.
- Thiombiano A., Kampmann D., Atlas de biodiversité de l'Afrique de l'Ouest, Tome II : Burkina Faso, Ouagadougou et Frankfurt/Main, 2010.
- Tiama D., 2016. Diversité génétique des ignames dioscorea sp du Burkina Faso : yùyà du Passoré. Thèse Doc., Université Ouaga I Pr. Joseph KI-ZERBO. 176p.
- Tivet, F., 2000. Étude des facteurs génotypiques et environnementaux déterminant la mise en place de la surface foliaire chez le riz (*Oryza sativa* L. et *Oryza glaberrima* Steud.). Incidence particulière d'un déficit hydrique. PhD Thesis, INAPG (Institut National Agronomique Paris-Grignon), France, pp. 116.
- Turner, N. C., 1986. Crop water deficit : a decade of progress. *Ads. Agrom.* 39: 1 – 15.
- Tyree M. T. and Alexander J. D., 1993. Hydraulic conductivity of branch junctions in three temperate tree species. *Trees* 7:156-159.
- Vadez V., Rao S., Bhatnagar Mathur P., Sharma K.K., 2012. DREB1A promotes root development in deep soil layers and increases water extraction under water stress in groundnut. *Plant Biology*, 15, pp. 45-52 doi: 10.1111. /j.1438-8677.2012.00588.x.
- Wang H., Lemke R., Goddard T., and Sprou C., 2006. Tillage and root heat stress in wheat in central Alberta. *Canadian Journal of Soil Science*, pp 8.
- Watanabe I., Tarao T., 1998. Drought tolerance of cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.]. II. Field trial in the dry season of sudan savanna and dry matter production of potted plants under water stress. *JIRCAS J.*, 6, 29-37.
- Watts W. R., 1972. Leaf extension in *Zea mays*. II. Leaf extension in response to independent variation of the temperature of the apical meristem of the air around the leaves and of the root-zone. *J. Exp. Bot.* 76: 713-721.
- Yang S., Vanderbeld B., Wan J., Huang Y., 2010. Narrowing down the targets : towards successful genetic engineering of drought-tolerant crops. *Molecular Plant* 3: 469-490.