

Caractères morphophysologiques racinaires et comportement phénologique du palmier à huile en saison sèche au champ

Nodichao L.¹, Aké S.¹ et Jourdan C.²

1 Centre de Recherche Agricole Plantes Pérennes

2 Université de Cocodi, Abidjan

3 CIRAD, Montpellier France

Résumé

Une des causes de baisse de production du palmier à huile en zone susceptible à la sécheresse est la réduction de l'émission des fleurs femelles ou la modification du sexe ratio pendant les périodes sèches. L'identification de génotypes présentant des caractères morphophysologiques favorables à l'émission de fleurs femelles pendant les périodes sèches pourrait constituer une stratégie possible pour améliorer la production dans des zones marginales comme le Bénin dont le climat est caractérisé par des périodes plus ou moins longues de sécheresse. Afin de mieux comprendre le comportement de différentes catégories de semences de palmier à huile vulgarisées par le CRA-PP, face à la sécheresse, des observations phénologiques hebdomadaires sont entreprises. Parallèlement des mesures de caractéristique racinaire et de l'état de l'humidité du sol ont été entreprises sur les mêmes parcelles. Le suivi phénologique montre des différences entre génotypes pour la vitesse d'émission des inflorescences et la capacité de maintien du potentiel d'émission des fleurs femelles en saison sèche. Par ailleurs, les résultats montrent qu'en plus du développement d'un système racinaire important, l'efficacité d'extraction hydrique racinaire serait un caractère racinaire important de tolérance à la sécheresse. Les travaux devront encore s'affiner pour une meilleure compréhension du comportement de ces génotypes face à la sécheresse d'une part, mais d'autre part ils devraient aussi s'étendre à d'autres génotypes pour la caractérisation de leur comportement vis à vis du déficit hydrique.

Introduction

Le CRA-PP a entrepris en 1997 dans les différentes zones élaéicoles du Bénin, des tests de comportement de différentes catégories de semences qu'il produit. Ceci afin d'identifier pour chacune de ces régions les catégories les mieux adaptées. En effet, les facteurs environnementaux tels que la pluviométrie, les radiations solaires, la fertilité du sol et autres facteurs édaphiques ont un grand effet sur la production agricole (Ataga, 1993). Or ces différents facteurs varient souvent non seulement d'un lieu à un autre, mais aussi d'année à année au même endroit (Lee et al., 1987, cités par Ataga, 1993) et entraînent fréquemment chez les génotypes du palmier à huile des variations de comportement d'un environnement à un autre (Ataga, 1993) ou d'une année à une autre et même d'une saison à une autre.

La tolérance vis à vis de la sécheresse de certains génotypes exploités dans la création de ces catégories de semences a été établie par (Houssou, 1985) et par les travaux de (Cornaire et al., 1994). Ceci permet de présumer la sensibilité à la

Nodichao et al. : Caractères morphophysologiques racinaires et comportement phénologique du palmier à huile en saison sèche au champ

sécheresse de certains de ces génotypes (tableau 1). Mais on connaît réellement peu de choses sur la tolérance à la sécheresse de la plupart de ces catégories de semences au champ (Daniel, 1998). Le suivi de la phénologie des arbres de ces catégories de semences suivant une périodicité raisonnable permet de répondre dans une certaine mesure à cette question, car l'observation des variations pluriannuelles des rendements seule ne permet pas de déterminer avec précision les formes de réaction qu'une espèce développe vis à vis de la sécheresse (Annerose et Cornaire, 1994).

Toutefois, dans le cadre de cette communication, les résultats de phénologie qui seront présentés porteront surtout sur l'émission des fleurs notamment celle des fleurs femelles. En effet, en dehors des dégâts que la sécheresse peut causer à l'appareil végétatif du palmier à huile (Maillard et al., 1974), elle affecte négativement la production des fleurs femelles en occasionnant des avortements des inflorescences (Hartley, 1988) ou une sexualisation mâle des inflorescences (Corley, 1976; Jacquemard, 1995). Il est possible que des différences de production entre génotypes liées à l'effet de la sécheresse trouvent une explication dans la capacité d'émission des fleurs femelles en saison sèche ou dans la vitesse d'émission des fleurs femelles; ces deux phénomènes pouvant affecter le nombre total de fleurs femelles émises au cours d'une année et par conséquent la production globale. Par ailleurs, les résultats sur les caractéristiques morphophysologiques racinaires des génotypes sont aussi présentés pour expliquer la tolérance des génotypes ou les variations du comportement phénologique des arbres au cours de l'année.

Matériel et méthodes

Matériel végétal

Les trois génotypes objets de cette communication sont présentés dans le tableau 1. De même, nous avons inscrit dans le tableau 1 l'origine des parents et leur tolérance présumée à la sécheresse.

Méthodes

Les mesures de phénologie et de détermination de caractéristiques morphophysologiques ont été effectuées à OBEKE un des sites retenus par le CRA-PP pour tester le comportement des catégories de semences qu'il produit. Le site de OBEKE est à 15,5 km du CRA-PP, et est défini par les coordonnées 2°35' à 2°40' de longitude Est, 6°55' à 7°00' de latitude Nord, au Sud-Est du Bénin. Les arbres observés sont ceux des répétitions (blocs) 3, 4 et 5.

Phénologie

Les observations de (Lamade et al., 1998) sur la phénologie ont révélé des différences de quelques jours entre des génotypes de palmier à huile, pour les temps moyens nécessaires à la réalisation de certains événements phénologiques. Cependant, les pas de temps choisis par ces auteurs pour présenter la plupart de leurs résultats montrent qu'un suivi quotidien des phénomènes phénologiques directement liés à l'émission foliaire n'est pas nécessaire pour déceler des différences génétiques intéressantes. Dans tous les cas, une différence de 3 à 4 jours entre matériels nous semble peu suffisante pour justifier l'effort lié à un suivi

quotidien de la phénologie du palmier à huile. Ceci nous a conduit à penser qu'un suivi hebdomadaire du processus phénologique chez le palmier à huile est raisonnable pour identifier des différences entre géotypes lorsqu'elles existent. En conséquence, pour un arbre donné, les observations ont été réalisées avec une périodicité d'une semaine. Au total 18 à 27 arbres étaient suivis par catégorie. Pour chaque arbre suivi, toute nouvelle feuille émise est enregistrée chronologiquement à partir des anciennes feuilles et grâce à la phyllotaxie en spirale du palmier à huile, qui permet de reconstituer l'ordre d'apparition des feuilles à partir d'une feuille dont le rang est déterminé. Chaque feuille émise reçoit un numéro d'ordre qui croît avec le nombre d'observation. Les dates de son émission et de son passage au rang 1 ainsi que la date d'apparition d'inflorescence à son aisselle sont enregistrées. De même, le sexe de l'inflorescence et les dates de sa floraison, de la formation du régime vert et de la maturation du régime sont notés. Ces données ont été utilisées pour calculer la durée qui sépare l'émission de la feuille et les différents événements phénologiques.

Caractérisation racinaire

Un arbre était retenu par géotype dans chacun des 3 blocs retenus. Un douzième de l'aire autour du palmier retenu est excavée pour la collecte des racines qui sont par la suite séparées de la terre et lavées sous de faibles jets d'eau. Le domaine excavé est celui délimité par un triangle rectangle de 450 cm de hauteur et 520 cm d'hypoténuse au pied de l'arbre. Ce domaine est divisé en trois zones de prélèvements racinaires, qui correspondent respectivement aux sous domaines du triangle, compris entre 0-150cm, 150-300cm et 300-450cm. Dans chaque zone, toutes les racines sont collectées d'abord dans la strate du sol de 0-20cm, puis après, dans les horizons successifs de 30cm d'épaisseur jusqu'à 170cm de profondeur. Les racines sont transportées au laboratoire pour la détermination de la surface totale et de la longueur totale des racines à partir d'images racinaires projetées sur un ordinateur à l'aide d'un scanner LA 1600. Cette analyse est effectuée par un logiciel spécifique, Win Rhizo de Régent Instruments Inc. Après les analyses d'images racinaires, la biomasse totale de racines est déterminée par passage des racines à l'étuve à 80°C pendant 48h.

Extraction hydrique racinaire

Mesure de l'humidité du sol

Elle est effectuée avec un humidimètre à neutrons. L'humidimètre utilisé est une sonde à neutrons 503 DR de CPN International, Inc. L'étalonnage de l'appareil est effectué au champ par la méthode gravimétrique (Vachaud et al., 1978). La droite d'étalonnage est établie à partir des mesures effectuées sur toutes les parcelles. Les mesures d'humidité du sol étaient réalisées dans 4 tubes d'accès de sonde à neutrons, installés dans chaque parcelle élémentaire, jusqu'à 250cm de profondeur. L'évolution du stock d'eau durant la période des observations a été appréciée à partir des variations d'humidité du sol au cours du temps.

Extraction hydrique par unité de surface racinaire (EAH)

Pour le calcul de la capacité d'extraction racinaire des géotypes en saison sèche, nous nous sommes limités à une période sans pluies, et en supposant que le drainage à cette période est nul. Dans ces conditions l'extraction hydrique racinaire entre deux instants t_0 et t dans un horizon du sol, est égale en se référant aux

Nodichao et al. : Caractères morphophysologiques racinaires et comportement 383 **phénologique du palmier à huile en saison sèche au champ**

termes de l'équation du bilan hydrique (Leenhardt, 1991), à la variation du stock d'eau entre les deux instants t_0 et t dans l'horizon considéré. A partir de ces considérations les variations de stocks d'eau par horizon ont été calculées sur la base des variations du profil d'humidité du sol entre le 21 novembre 2001 et le 3 janvier 2002. Les variations du stock d'eau ont été calculées pour chaque strate et zone où nous avons prélevé des racines. Ceci a permis de quantifier la capacité d'extraction hydrique par unité de surface racinaire ou Efficacité d'absorption hydrique (Annerose, 1990) de chaque géotype dans chaque zone et strate du sol pour définir un profil moyen d'EAH chez les géotypes.

Résultats et discussion

Rythme d'émission des fleurs

L'apparition des fleurs à l'aisselle des feuilles est plus rapide chez le matériel B que chez les matériels C et E. La figure 1 montre la distribution des fleurs mâles en fonction du temps nécessaire à leur sortie après l'apparition des flèches portantes. Elle évolue plus vite chez B que chez C et E. Cette même tendance est observée pour l'émission des fleurs femelles (figure 2). 75% des fleurs femelles émises par B étaient visibles entre 26 et 47 semaines après la sortie des flèches, dont plus de 70% émises entre 36 et 47 semaines. Le seuil de 75% d'émission de fleurs femelles a été atteint 50 semaines après l'apparition des flèches chez C et E. Plus de 70% de ces fleurs étaient émises entre 39 et 50 semaines après la sortie des flèches.

Répartition mensuelle des fleurs femelles

Chez les trois catégories, la plus grande partie des fleurs femelles provient des feuilles apparues entre juin et août (figure 3) et semble dépendre de la pluviométrie ou de l'humidité du sol. Cependant, on remarque une alternance dans les variations de la répartition d'émission des fleurs chez les géotypes B et C sur toute l'année, une combinaison des deux types de matériel végétal peut permettre de réduire la différence entre les creux et les pics qu'engendrerait l'utilisation d'un seul matériel végétal. Ce résultat suggère, qu'il serait peut être possible de réduire à l'échelle d'une plantation, les écarts entre les hauts et les bas de la production en zones marginales (Nouy et al., 1999), en installant sur une même plantation des matériels dont les émissions de fleurs femelles s'alternent dans le temps. Toutefois, une telle option devra garantir l'optimisation de la production globale et une meilleure efficacité du travail. D'autres facteurs qui influencent la vitesse d'émission des fleurs, tels que la température et l'insolation influenceraient également la distribution mensuelle des fleurs. Par exemple l'apparition de fleurs à l'aisselle des feuilles émises en juin, était étalée sur plus de 29 semaines (figure 4), tandis que l'apparition des fleurs émises par les feuilles de décembre n'était étalée que sur 8 à 11 semaines selon les géotypes (figure 5). Cette différence dans l'étalement de l'émission florale semble être liée à des différences de température et d'ensoleillement entre les deux mois (tableau 2). Le mois de juin est moins chaud et moins ensoleillé que le mois de décembre. L'étalement de l'émission des fleurs femelles sur plusieurs mois, devrait être suivi d'une augmentation des quantités de chaleur et d'insolation, reçues par les feuilles porteuses émises pendant les périodes fraîches, en d'autre terme, plus une feuille traîne pour émettre de fleurs, plus elle recevra de chaleur et de radiation. Ces feuilles pourraient ainsi, compenser les différences de température et notamment d'insolation, entre les mois de forte chaleur

et de grande insolation, et les mois moins ensoleillés et moins chauds. On pourrait penser que l'émission d'inflorescence dépend des sommes de radiation et de température reçues par les feuilles après leur émission. Une telle hypothèse implique que plus les jours après l'émission des feuilles, sont frais et moins ensoleillés, plus les feuilles mettront du temps pour émettre de fleurs. Une conséquence importante d'un tel mécanisme est la possibilité de report et de concentration d'émission de fleurs femelles sur certains mois de l'année où des fleurs issues de mois frais peuvent se chevaucher avec des fleurs portées par des feuilles émises pendant des mois chauds et très ensoleillés. Une telle hypothèse est bien concordante avec les mauvaises répartitions de la production observées dans les pays d'Afrique de l'Ouest (Nouy et al., 1999) d'une part, et d'autre part elle est cohérente avec le fait qu'une irrigation en saison sèche augmente la production, mais n'élimine pas les mauvaises répartitions de la production (figure 6), car la répartition est aussi conditionnée par les fortes températures et insulations de saisons sèches, ou les basses températures et faibles insulations des mois frais. Toutefois, les hypothèses de l'influence du déficit hydrique ou de forte radiation de saison sèche sur la distribution mensuelle du sexe ratio, donc de la répartition mensuelle de la production ne sont pas faciles à démontrer (corley et al., 1976). Car, selon ces auteurs, si la répartition mensuelle était contrôlée par la radiation, une irrigation en saison sèche devrait aboutir à une augmentation de l'efficacité de la radiation et accroître le pic du sexe ratio, sans une grande influence sur ses creux. Mais si la répartition mensuelle était contrôlée par le déficit hydrique, l'irrigation en saison sèche devrait accroître les creux de sexe ratio, sans un grand effet sur le pic de sexe ratio. Ces résultats suggèrent que des études d'interactions génotype x environnement visant l'impact de l'eau, doivent tenir compte des différences de durée d'ensoleillement et de températures notamment en ce qui concerne l'interprétation des résultats sur la mauvaise répartition de la production. La clarification des trois hypothèses souvent émises sur la répartition mensuelle de la production ou du sexe ratio, c'est-à-dire que le sexe ratio dépendrait du ratio C/N (Beirnaert, 1935 cité par Corley et al., 1976) ou de l'humidité du sol ou de la radiation (Sparnaaij et al., 1963 cités par Corley et al., 1976), passe après tout par un dispositif expérimental factoriel prenant en compte, le génotype, l'irrigation en saison sèche et probablement la fertilité en N. Il est évident qu'un tel dispositif ne sera bien exploité que lorsqu'il est installé dans les régions de l'Afrique de l'Ouest où les variations saisonnières des radiations sont assez marquées (tableau 2).

Capacité de maintien du potentiel d'émission des fleurs femelles en saison sèche

Le pic d'émission de fleurs femelles a été observé chez les feuilles de juillet et août chez les trois catégories de matériel végétal avec un léger avantage au profit de B, surtout lorsque comparé au génotype E, mais le génotype C avait une valeur intermédiaire (figure 7). Toutefois, nous ne pouvons tirer une conclusion définitive à cet effet, car à cette étape des observations, nous n'avons pas suffisamment de données appropriées pour faire une analyse de variance adéquate de ces résultats. Si nous considérons le niveau d'émission des inflorescences femelles issues des feuilles d'août comme nombre potentiel d'émission de fleurs femelles chez les génotypes, on observe une baisse de ce potentiel d'émission de fleurs femelles chez les feuilles émises en cours de saison sèche, qui atteint son maximum en février (figure 8). Par rapport aux matériels B et E, le génotype C présumé tolérant, a moins réduit son potentiel d'émission de fleurs femelles au cours de la saison

Nodichao et al. : Caractères morphophysologiques racinaires et comportement phénologique du palmier à huile en saison sèche au champ

sèche. La différence entre matériels a été plus importante en décembre, mais à mesure que le sol est devenu probablement plus sec, la différence entre matériels était devenue moins marquée. A la reprise des pluies en mars on assiste à un redémarrage d'émission de fleurs femelles et une récupération un peu plus rapide en avril de la capacité potentielle d'émission des fleurs femelles chez B par rapport à C et E.

Variation de l'humidité du sol et des caractères morphophysologiques

Une seule campagne du suivi d'humidité du sol a pu être organisée du 21 novembre 2001 au 16 mai 2002. L'humidité du sol pendant la campagne de mesures a baissé jusqu'à 250 cm de profondeur (résultats non présentés). En conséquence, nous avons considéré comme réserve d'eau utilisable (RU) par les arbres, la réserve d'eau jusqu'à cette cote. La figure (9) montre l'évolution de la pluviométrie et de la réserve d'eau du sol exprimée en % de RU dans le sol. La réserve d'eau a diminué de façon importante dans les trois premières quinzaines des observations, c'est à dire entre 21 novembre 2001 et 5 janvier 2002 chez les trois matériels. Entre la 3^e et la 7^e quinzaine (couvrant le mois de janvier et février) on observe une plus lente réduction de la réserve d'eau du sol qui indique une très faible extraction d'eau par les racines chez tous les génotypes, malgré une réserve d'eau qui selon les génotypes, est supérieure 44% à 51% de. Cette prudence du système racinaire du palmier à extraire l'eau sur sol en dessèchement, traduit l'existence d'un mécanisme pessimiste de régulation d'eau, qui probablement est lié à la très grande sensibilité de ses racines à l'assèchement du sol en surface (Lamade, 1999). Il coïncide avec la réduction du rythme d'émission foliaire (figure 10) chez les trois matériels. Ces deux mécanismes constituent une stratégie efficace pour réduire la perte d'eau par transpiration pour mieux tolérer la sécheresse, mais cette stratégie de réduction de transpiration pénalise la production (Nouy et al., 1999), car elle réduit la photosynthèse (Adjahossou, 1983) et contribue à une réduction du nombre de fleurs femelles (figure 10). A cet égard, le génotype C présumé tolérant à la sécheresse, a moins extrait d'eau du sol pendant la saison sèche que les génotypes B et E, alors qu'il avait un système racinaire beaucoup plus développé que le génotype E présumé sensible à la sécheresse (tableau 3). Ce résultat quelque peu contradictoire avec l'idée selon laquelle un système racinaire important favorise la tolérance du palmier à la sécheresse en permettant une meilleure alimentation en eau en conditions sèches (Cornaire et al., 1994; Nouy et al., 1999), peut s'expliquer par des différences physiologiques racinaires entre génotypes, notamment une différence de perméabilité ou de conductance hydraulique racinaire (Stuedle, 2000) qui affecte la capacité d'extraction de l'eau des racines sous stress hydrique. La figure 11 montre le profil d'extraction hydrique par unité de surface racinaire (EAH) chez les trois types de matériel végétal. L'EAH est plus faible dans les horizons supérieurs du sol qu'en profondeur. Ce gradient d'EAH le long du système racinaire peut être lié au gradient de différenciation des tissus racinaires le long des racines du palmier à huile (Jourdan, 1995). Les parties proximales noires à brunes des racines sont plus lignifiées et moins perméables au passage de l'eau que les parties intermédiaires de couleur marron à beige clair et moins lignifiées. Quant aux parties blanches plus proches de l'apex racinaire, elles sont peu différenciées et beaucoup plus perméables à l'eau. Nos résultats suggèrent également que le système racinaire du matériel C serait moins perméable au passage de l'eau que les systèmes racinaires des matériels B et E. La différence

entre les trois matériels varie d'un génotype à un autre à un autre selon la profondeur. Ceci confirme les observations de (Annerose, 1990) sur l'arachide en ce qui concerne l'existence d'une variation génétique et de gradient, d'efficacité d'absorption hydrique chez les plantes cultivées. Cette différence de perméabilité racinaire a dû permettre au matériel C de maintenir un stock d'eau un peu plus élevé dans le sol que les matériels B et E. Ceci a eu probablement un effet favorable sur le maintien du potentiel d'émission de fleurs femelles chez le matériel C pendant la saison sèche. La perte du potentiel d'émission de fleurs femelles (de juin à août) par rapport aux mois secs (décembre à février), était de 76,29%, 64,62% et 72,1% respectivement chez les matériels B, C et E. Si nous considérons que la capacité à maintenir le potentiel d'émission des fleurs femelles sous stress hydrique est un signe de tolérance à la sécheresse, parce qu'elle permet une certaine conservation du potentiel de production, la tolérance à la sécheresse du matériel C (Daniel 1998) est confirmée par nos résultats. Par contre, le caractère intermédiaire du matériel B (CRA-PP, 1997) n'est pas confirmé par ce résultat, bien que ce dernier matériel ait présenté un développement racinaire intermédiaire entre ceux des matériels C et E (tableau 3). Ceci montre l'importance des mécanismes de régulation racinaires des pertes d'eau pour la tolérance à sécheresse. Ils constituent un moyen de différer l'effet de la sécheresse et offrent au matériel qui possède ces types de mécanismes la facilité de traverser une période de sécheresse plus ou moins grande.

Conclusion

Nos résultats montrent que la mauvaise répartition de la production dans les régions comme le Bénin, est liée d'une part à une mauvaise répartition des émissions foliaires du fait de la stratégie pessimiste de limitation des pertes d'eau du palmier à huile face à la sécheresse, et d'autre part aux influences de la température et de l'insolation sur le rythme d'apparition des fleurs femelles à l'aisselle des feuilles. Ces faits sont liés à l'espèce et sont présents chez l'ensemble des matériels étudiés. Ceci pourrait rendre difficile la sélection de matériels avec des pics de production très distants dans le temps. Cependant, l'alternance observée dans la distribution du rythme d'émission des fleurs femelles chez les matériels B et C, qui serait probablement liée à une différence de vitesse d'émission florale peut être exploitée pour réduire la différence entre les bas et les hauts de production chez ces deux matériels. Toutefois, les études actuelles devront se poursuivre pour la confirmation de l'alternance observée dans la distribution de fleurs femelles chez les matériels B et C. La capacité du système racinaire de ce dernier à mieux réguler l'absorption hydrique pendant la saison sèche lui a permis de maintenir le sol plus humide et conserver mieux que les matériels B et E son potentiel d'émission de fleurs femelles. Il serait intéressant d'installer un essai factoriel génotype x irrigation pour une étude physiologique similaire à celle en cours, pour une meilleure compréhension des interactions génotype x environnement visant l'effet de l'eau, car ceci offre un moyen de minimiser les effets d'autres facteurs tels que la température et l'insolation, qui pourraient varier d'un environnement à un autre et influencer l'interprétation des résultats.

Tableau n°1. Tolérance présumée des génotypes à la sécheresse selon leur catégorie et l'origine des parents

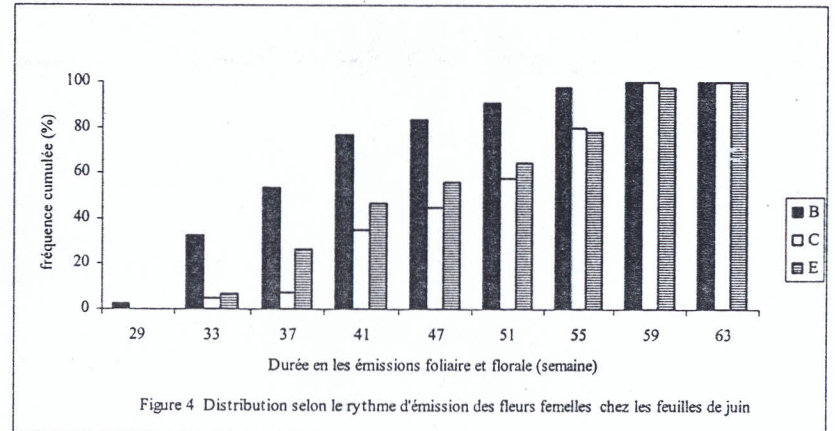
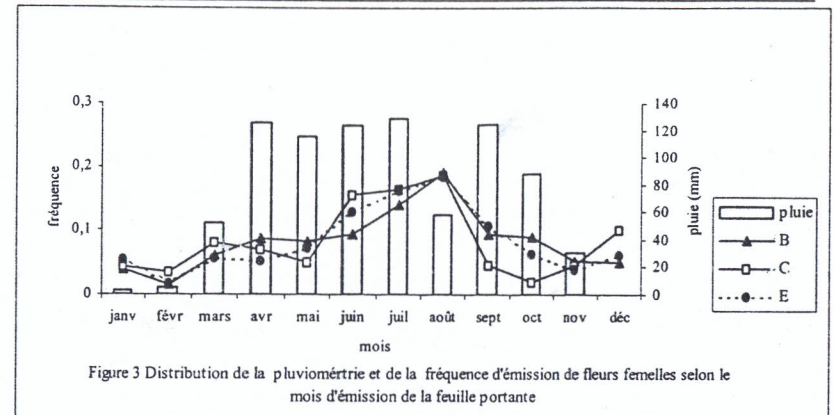
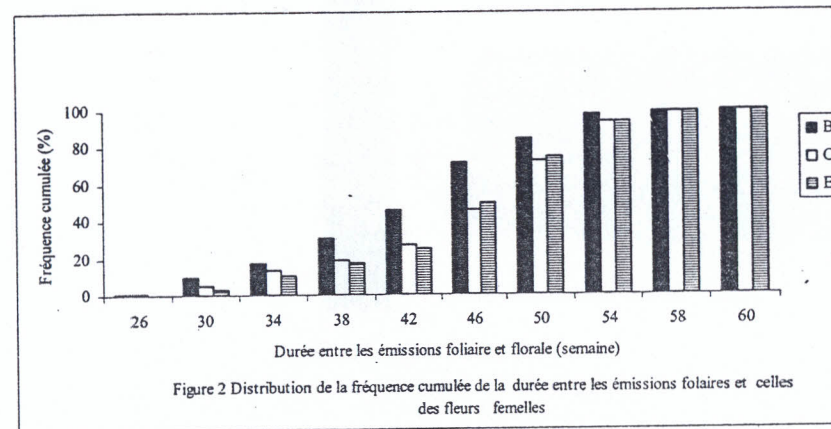
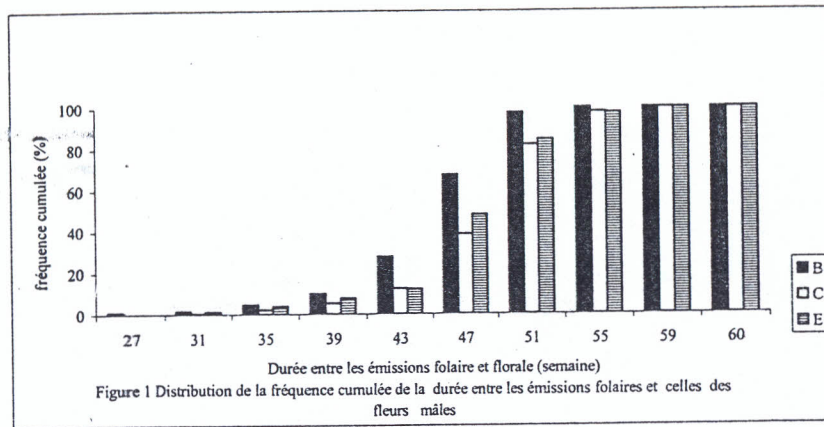
Catégorie	Origine	génotype		Tolérance
		femelle	Mâle	
C1001F (B)	Dura x Ténéra	PO3179 D	PO2558 P	moyen
C6446 (C)	DA8D x (LM 9T x LM13T)	PO3724 D	PO3643 P	Tolérant
C2001 (E)	(LM404D x DA10D) x LM2T	PO4672 D	PO2558 P	Sensible

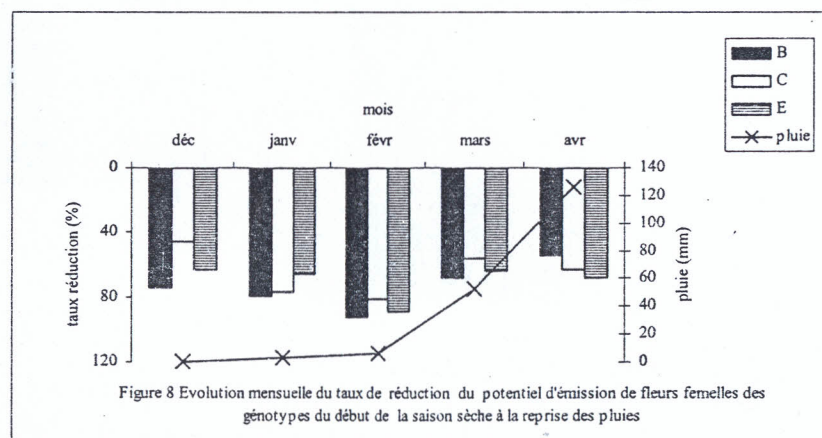
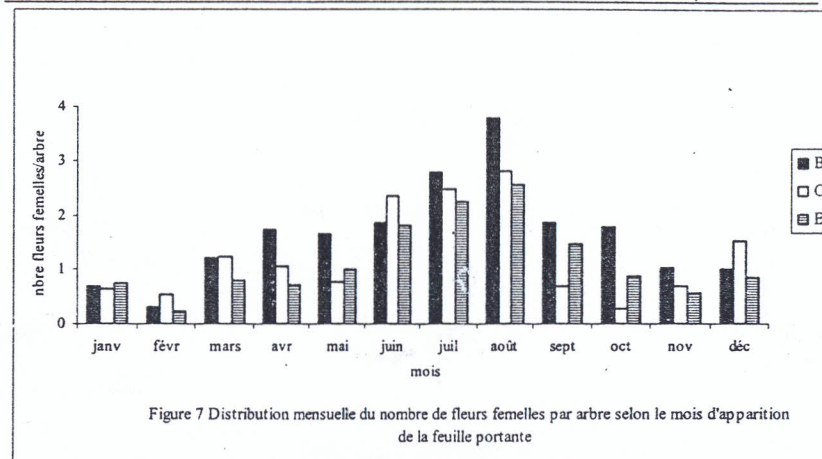
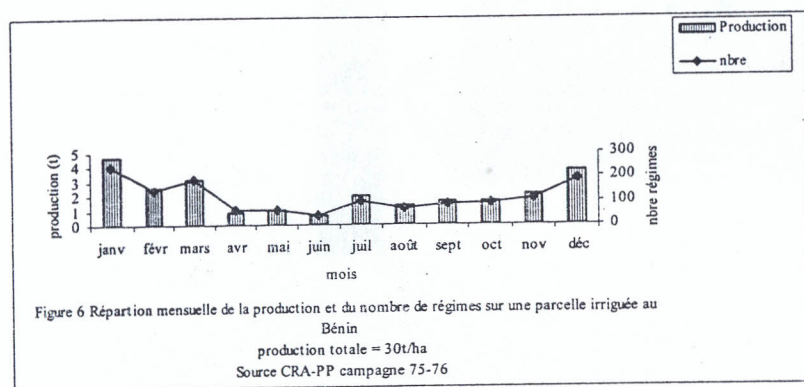
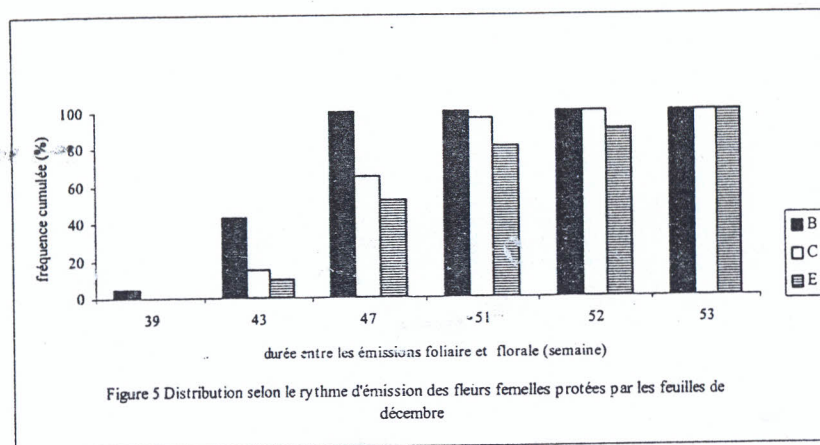
Tableau 2 Température et insolation moyennes des mois de juin et décembre des années 2000 - 2002

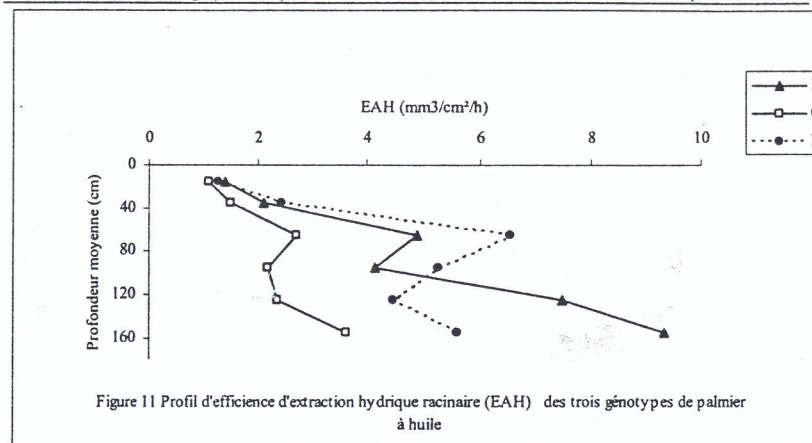
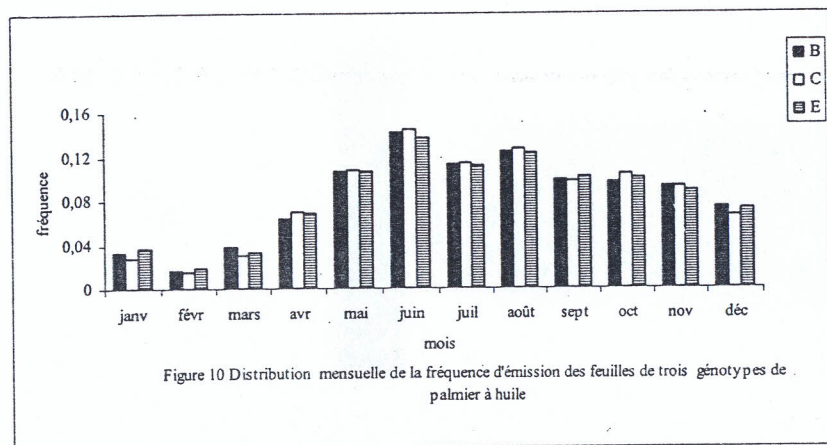
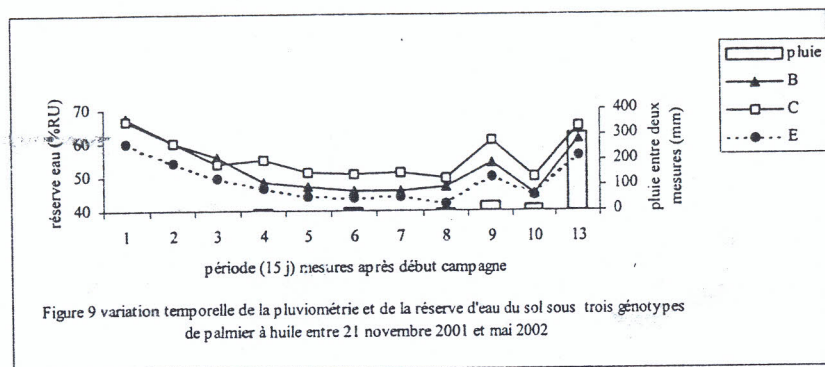
Mois	Température mensuelle moyenne (°C)	Insolation mensuelle moyenne (h)
juin	26,82±0,09	139,6±6,61
décembre	28,77±0,5	197,57±19,83

Tableau n°3 Biomasse, surface et longueur totale de racines par ha de trois génotypes de palmier âgés de 4,5ans

génotypes	Biomasse (t)	surface (m²)	longueur (km)
B	2,87±0,17	23337,88±376,96	4060,79±132,45
C	3,2182±0,25	26950,15±3251,49	4909,27±729,93
E	2,4087±0,3	18700,13±3231,18	3130,55±685,75







Références

- Adjahossou D.F. (1983) Contribution à l'étude de la résistance à la sécheresse chez le palmier à huile (*Elaeis guineensis* Jacq.). Thèse Doct. D'Etat. Univ. Paris VII, Paris, 203 p.
- Annerose D. J. et Cornaire B. (1994) Approche physiologique de l'adaptation à la sécheresse des espèces cultivées pour l'amélioration de la production en zones sèches. P. 137-150. In: Reyniers F-N. et Netoyo L. (eds). Bilan hydrique agricole et sécheresse en Afrique tropicale. John Libbey Eurotext, Paris
- Annerose D.J. (1990) Recherches sur les mécanismes physiologiques d'adaptation à la sécheresse. Application au cas de l'arachide (*Arachis hypogaea* L.) cultivée au Sénégal. Thèse Doct. Paris VII. 282 p.
- Ataga C.D. (1993) Genotype - environment interaction and stability analysis for bunch yield in the oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Oléagineux* 48, 2:59-63
- Corley R.H.V. (1976) Inflorescence abortion and sex differentiation. P. 37-55. In: Corley R.H.V., Hardon J.J. and Woods B.J. (eds). Oil Palm research. Elsevier Sci. Publ. Comp., Amsterdam,
- Cornaire B., Daniel C., Zuily-Fodil Y. et Lamade E. (1994) Le comportement du palmier à huile sous stress hydrique. Données du problème, premiers résultats et voies de recherche. *Oléagineux* 49:1-12
- CRA-PP (1997) Tests de comportement PO-GP 28 Protocole général. INRAB(document interne)
- Daniel C. (1998) Tour d'horizon des activités de la SRPH Pobè (Bénin) en agronomie, agrophysiologie, appui à la filière, diversification. Rapport Mission du 5 au 17 février 1997. Doc. n° CP 992. CIRAD, 31 p.(document interne).
- Hartley C.W.S. (1988) The oil palm, 3rd edn. Longman Singapore Publishers (Pte) Ltd, Singapore
- Houssou M. (1985) Amélioration du palmier a huile en zone peu humide. Résultats

récents obtenus au Bénin. thèse Doct. Univ. Paris-Sud Orsay. 119 p.

Jacquemard J-C. (1995) Le palmier à huile, vol 33. Maisonneuve et Larose, Paris

Jourdan C. (1995) Modélisation de l'architecture et du développement du système racinaire du palmier à huile (*Elaeis guineensis* jacq.). Thèse Doct. Univ. Montpellier II. 243 p.

Lamade E. (1999) Etude de l'agrosystème palmier à huile et son fonctionnement à l'échelle de la parcelle: Synthèse du projet commun IOPRI-CIRAD (1994-1998). CIRAD-CP, Montpellier (France) Doc.CP Sic1187

Lamade E., Bonnot F., Kabul P. and Setiyo I.E. (1998) Quantitative approach of oil palm phenology in different environments for La Me x Deli and Yangambi x Deli materials. International Oil Palm Conference, september 23-25 1998. Nusa Dua, Bali, Indonesia

Leenhardt. D. (1991) Spatialisation du bilan hydrique. Propagation des erreurs d'estimation des caractéristiques du sol au travers des modèles de bilan hydrique. Cas du blé dur d'hiver. Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier.129p.

Maillard G., Daniel C. et Ochs R. (1974) Analyse des effets de la sécheresse sur le palmier à huile. *Oléagineux* 29 (8-9):395-404

Nouy B., Baudouin L., Djégui N. et Omoré A. (1999) Le palmier à huile en conditions hydriques limitantes. *Plantations, recherche, développement* Janv. - Févr.:31-40

Steudle E. (2000) Water uptake by roots: effects of water deficit. *Journal of Experimental Botany* 51:1531-1542

Vachaud G., Dancette C., Sonko S. et Thony J.L. (1978) Méthodes de caractérisation hydrodynamique in situ d'un sol non saturé. Application à deux types de sol du Sénégal en vue de la détermination des termes du bilan hydrique. *ann. agron.* 29 (1):1-36