

Abstract

The impact of dry spells on the developmental stages of the coconut fruit from inflorescence initiation up to fruit maturity and its relation to nut production was studied. The rainfall pattern from 1976 to 1980 was superimposed on the ontogeny of the coconut fruit beginning from the time of initiation of the inflorescence primordium up to maturity of the nut. Based on the total annual rainfall and the monthly precipitation, the degree and duration of dry spells corresponding to each stage of nut development were deduced. A critical analysis of the rainfall data in relation to the stages of fruit development revealed that a prolonged dry spell at three stages viz. initiation of primordium, ovary development and button size nuts could adversely affect the productivity of palms, while other stages are comparatively less affected by water stress.

Résumé

L'influence de la sécheresse sur les différents stades de développement des fruits du cocotier, depuis l'initiation florale jusqu'à la maturation du fruit, et son incidence sur le rendement en noix ont été étudiés. Le régime pluviométrique entre 1976 et 1980 a été superposé à l'ontogénie du fruit de cocotier depuis l'initiation du primordium floral jusqu'à la maturation des noix. A partir de la pluviosité annuelle totale et des précipitations mensuelles, on a déduit l'importance et la durée de la période de sécheresse correspondant à chaque stade de développement du fruit. L'analyse critique des données pluviométriques en relation avec les différents stades de développement du fruit a montré qu'une période de sécheresse prolongée lors de trois stades, à savoir : l'initiation du primordium, le développement des ovules et lorsque les noix atteignent la taille d'un bouton, pourrait avoir un effet négatif sur la productivité du cocotier, tandis que d'autres stades sont relativement moins sensibles au stress hydrique.

Resumen

Se estudiaron la influencia de la sequía en las distintas fases de desarrollo de los frutos del cocotero, desde la iniciación de la inflorescencia hasta la maduración del fruto, y su incidencia sobre el rendimiento de nueces. El régimen pluviométrico entre 1976 y 1980 fue comparado con la ontogenia del fruto de cocotero desde la iniciación del esbozo floral hasta la maduración de las nueces. A partir de la pluviosidad anual total y de las precipitaciones mensuales, se ha deducido la importancia y la duración del periodo de sequía que corresponde a cada fase de desarrollo del fruto. El análisis crítico de los datos pluviométricos en relación con las distintas fases de desarrollo del fruto mostró que un periodo de sequía prolongado durante las tres fases, a saber: la iniciación del esbozo floral, el desarrollo de los óvulos y cuando las nueces alcanzan el tamaño de una yema, podría tener un efecto negativo en la productividad del cocotero, mientras que otras fases resultan relativamente menos sensibles al estrés hídrico.

Impact of dry spells on the ontogeny of coconut fruits and its relation to yield

Rajagopal V., Shivashankar S., Jacob Mathew

Central Plantation Crops Research Institute, Kasaragod 671 124, Kerala, India

The effects of a soil water deficit on yield and yield components are well understood in annual crops (Fischer and Turner, 1978), whereas in tree crops such information is scanty. The impact of water stress on various growth stages of wheat from initiation of the spike to maturity has been reported (Aggarwal *et al.*, 1981, Halloran and Pennel, 1982). Although, there are some reports on the influence of moisture stress in perennial tree crops like coconut (Rajagopal *et al.*, 1989), cocoa (Balasimha, 1983) and rubber (Gururaja Rao *et al.*, 1988), the precise stage of growth which is most sensitive to moisture stress is not clearly understood. This is mainly due to the perennial nature of these crops having a prolonged reproductive phase (44 months) overlapping with the vegetative phase as in coconut.

The Tall coconut palm with its indeterminate flowering habit, comes to flowering by the seventh year after planting. The first inflorescence emerges from the 45th leaf axil and thereafter one inflorescence arises every month from the subsequent leaf axils (Menon and Pandalai, 1958). The period reckoned from the initiation of the inflorescence primordium (IP) to full maturity of the nut (MN) lasts about 44 months, out of which the prefertilization phase accounts for 32 months (i.e. 73% of the total reproductive phase), as compared to only 12 months for the fertilization and post-fertilization phases (Patel, 1938). In such a system, it is difficult to assess the critical stages affected by water stress under field conditions. Thus, there is a lack of information on the interaction between the occur-

rence of dry spells and its effects on the various developmental stages in coconut. In this paper, a systematic attempt has been made for the first time, to explain the impact of drought on the ontogeny of coconut inflorescences with the help of schematic diagrams, which integrate the overall occurrence of dry spells and growth stages of the developing nut.

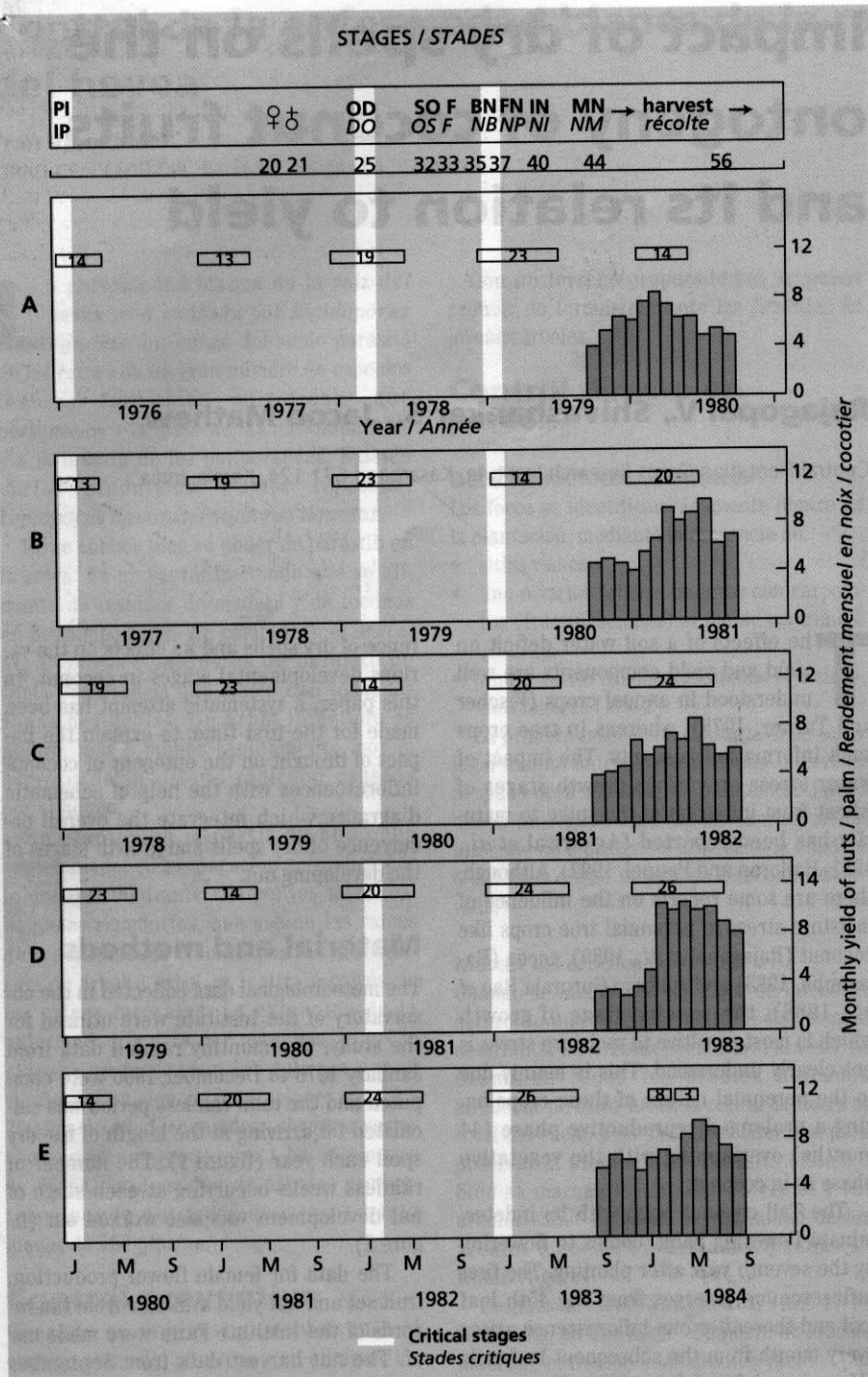
Material and methods

The meteorological data collected in the observatory of the Institute were utilized for the study. The monthly rainfall data from January 1976 to December 1980 were computed and the total rainless period was calculated for arriving at the length of the dry spell each year (figure 1). The number of rainless weeks occurring at each stage of nut development was also worked out (figure 2).

The data for female flower production, fruit set and nut yield available from the records of the Institute Farm were made use of. The nut harvest data from September 1980 to August 1984 of 20 adult coconut palms (var. West Coast Tall) grown at 7.5 m x 7.5 m spacing under rainfed conditions and receiving recommended doses of fertilizers were computed. The nut yield per palm and month are presented in figures 1, 2 and table.

Results and discussion

In the West Coast Tall variety, the formation of female and male flowers takes place 20 and 21 months respectively, after initia-



Figures 1A to 1E (1976-1980 to 1980-1984). Schematic diagram depicting the growth stages from inflorescence initiation to mature nut, superimposed on the pattern of rainfall, over a period of five years. At the top of the figures are given the ontogenic stages of nut development with corresponding months, dry spell (weeks). / Schéma des stades de développement depuis l'initiation florale jusqu'à la maturation des noix, superposé au régime pluviométrique pour une période de cinq ans. Dans la partie supérieure les stades ontogéniques du développement des noix sont présentés avec les mois correspondants, les périodes sèches (semaines). PI: primordia initiation, female flower, male flower, OD: ovary development, SO: spathe opening, F: fertilization, BN: button size nut, FN: fist size nut, IN: immature nut, MN: mature nut. The histograms on the right represent monthly nut yields per palm. IP: initiation des primordia, fleur femelle, fleur mâle, DO: développement des ovules, OS: ouverture de la spathe, F: fécondation, NB: noix de la taille d'un bouton, NP: noix de la taille d'un poing, NI: noix immature, NM: noix mûre. Les histogrammes à droite représentent les rendements mensuels en noix par cocotier.

tion of the primordium (figure 1A). The spathe opens at the 32nd month, fertilization takes place during the 33rd month and the nut development proceeds through the formation of button size, fist size and immature nut stages before the nut maturation at the 45th month. Generally, the nuts are harvested 11 to 12 months after fertilization. Figure 1A to 1E depict the schematic representation of the influence of dry spells on the ontogeny of the inflorescence. The

dry spell was longest (weeks) during 1982-1983. From figure 1A, it is evident that the inflorescence primordium which was initiated in the month of January 1976 attained maturity by September 1979, and the one initiated in February 1976 matured by October 1979 and so on (ending with the December 1976 initiated primordium maturing in August 1980 to complete the one year cycle). Likewise, figures 1B to 1E represent the data for the next set of four years ie. 1977 to 1980-1981, 1978 to 1981-

1982, 1979 to 1982-1983, 1980 to 1983-1984. In all the above cases, the monthly harvest data of rainfed palms (histograms on the right scale) between the 45th and 56th months clearly show that the low nut yields during September to December (45th to 48th months) of each year could be traced back to the initiation of the respective primordium during dry months three years earlier. On the other hand, high nut yields obtained during December to May (48th to 53rd months) could be attributed to the primordial initiation coinciding with wet months between June and October three years earlier. Thus, there is an indication that adequate soil moisture availability during the initiation of the inflorescence primordium is favorable for high nut production. This, however, does not explain the extent to which other stages are influenced by dry spells. That the length of dry spells during the summer of the previous three years and not the dry period during the year of harvest influences nut yield is clear from the yield data for 1982-1983 (figure 1D) which had 26 weeks of dry spells but still produced high yield. It may be noted that these bunches had initiation of inflorescence primordia during 1979, which had recorded 23 weeks of dry spells, followed by very heavy

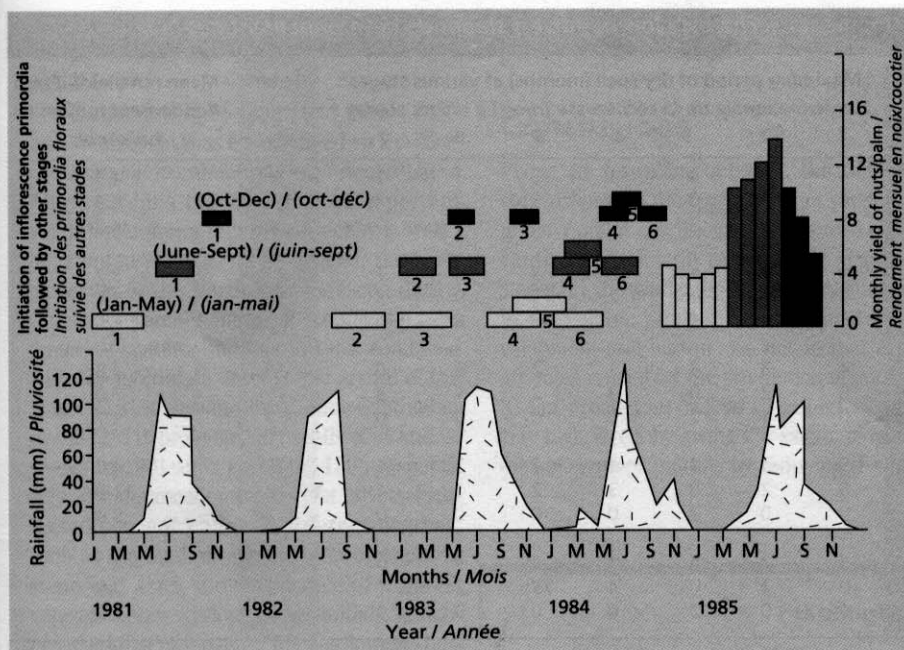


Figure 2. Schematic diagram depicting the monthly rainfall (peaks) or dry spell (troughs) superimposed on growth stages divided into three groups based on initiation of the inflorescence primordium: (I) January to May (II) June to September and (III) October to December. / Schéma montrant la pluvisité mensuelle (pics) ou période sèche (creux) superposé aux stades de développement divisés en trois groupes en fonction de l'initiation de l'ébauche florale: (I) janvier à mai (II) juin à septembre et (III) octobre à décembre.

Note the clear indication of some of the growth stages corresponding directly to rainfall or to a dry spell. The histogram on the right represents monthly nut yields per palm.

Noter la mise en évidence d'une correspondance directe entre certain stades du développement et la pluvisité ou une période sèche. L'histogramme à droite représente les rendements mensuels en noix par cocotier.

*Stage 1 / *Stade 1: primordium initiation / initiation du primordium

2: male and female phase / phase mâle et femelle

3: ovary development / développement des ovules

4: spathe opening fertilization / ouverture de la spathe, fécondation

5: button size nut / noix de la taille d'un bouton

6: mature nut / noix mûre

rainfall (2895 mm) during the monsoon months of June to September 1979. This was very well reflected in the low yield (> 4 nuts per palm) during September 1982 to January 1983 corresponding to prolonged dry spell of 1979, and very high yield (>9 nuts per palm) during February to April 1983 corresponding to high rainfall in the monsoon of 1979. This could probably be due to recovery of palms immediately preceded by prolonged moisture stress, which might have facilitated the mobilization of reserve food material (stored during stress) to the developing sinks i.e. bunches. From figure 1 it is also clear that the total nut load on the palm in any given month is not influenced by the rainfall during that month. This is proved by the fact that even though a dry spell existed in general from February to May, the nut yield during these

months always remained high irrespective of the year. Poor nut yield between September and December, in spite of a relatively low or nil dry spell, is indicative of the empty bunches or bunches with few nuts. This could perhaps be due to the imbalance in the source sink relationship caused by moisture stress during the development of nuts. Non-availability of adequate soil moisture results not only in restricting the photosynthetic activity at the level of the source (leaves), but also impairs the translocation of photosynthates to the developing sink (bunches/spikes). Kasturibai *et al.* (unpublished) reported low net photosynthesis in coconut palms during stress periods as compared to non-stress periods. From this, it is inferred that the empty bunches noticed during some period of harvest is due to the weak sink. Another inter-

esting item of information emerging from figure 1 was that the dry spell of less than 15 weeks during 1977, 1978 and 1980 corresponded with an average yield of 6.0 nuts per palm during September to January of 1979-1980, 1980-1981 and 1983-1984 respectively. When the drought exceeded 20 weeks as in 1979, the corresponding monthly average nut yield was 3.9 in 1982-1983.

Which of the stages in the ontogeny of coconut are more critical in determining the nut yield in rainfed palms? To answer this question, we selected primordia initiated during (1) January to May (2) June to September and (3) October to December. The monthly rainfall pattern, interspersed with a dry spell between January 1981 and September 1985 are represented in the lower part of figure 2. The number of growth stages were restricted to seven by merging some of the closely related stages originally represented in figure 1. Thus, the lower part of figure 2 indicates the data for rainfall or a dry spell at each stage under each group, making it thus clear whether a particular stage is coinciding with peaks of rainfall (for instance, stage 1 of group 2) or falling in the trough i.e. dry spell (stage 1 of group 3). The figure also precisely reveals distances or overlaps between the stages among the three groups. It may be noted that the length of the dry spell at each stage was the highest in group 1, followed by group 2 and group 3. The nut yield per palm from September 1984 to August 1985 with three distinct trends is a direct reflection of the ontogenic changes influenced by rainfall and/or a dry spell.

The implications of this interaction between nut growth stages and rainfall/dry spell are further elucidated in table, representing the five year cycle as in figure 1. It may be noted that the total dry spell during the five year period varied between 30 months (1977-1982) and 36 months (1976-1980). For the sake of convenience, 12 months periods in a year are grouped as: (1) January to May (2) June to September and (3) October to December. The following points emerged from table:

- group 1 is characterized by dry months at almost all stages of nut development, the maximum total dry spell being 21 months in 1977-1981 block. This works out to nearly 48% of the total reproductive stage of 44 months between PI and MN. It may be noted that the primordial stage itself passes through 4 to 5 months (1979) of dry spell.

Dry spell during different stages of nut development. / Sécheresse lors des divers stades de développement des noix.

Year/Année	Group/Groupe	Months of initiation Mois de l'initiation	Maximum period of dry spell (months) at various stages* Durée maximale de la sécheresse (mois) à divers stades *							Total	Mean nut yield/month Rendement moyen en noix/mois
			1	2	3	4	5	6	7		
1976	1	Jan-May/jan-mai	4	3	4	1	2	3	1	18	4.5
	2	Jun-Sept/juin-sept	0	3	0	4	3	2	2	14	6.3
	3	Oct-Dec/oct-déc	1	0	2	0	0	1	0	4	4.3
1977	1	Jan-May/jan-mai	4	2	5	2	3	4	1	21	3.7
	2	Jun-Sept/juin-sept	0	3	1	2	1	0	3	10	8.1
	3	Oct-Dec/oct-déc	1	0	1	0	0	0	0	2	7.6
1978	1	Jan-May/jan-mai	4	3	3	1	2	3	0	16	4.8
	2	Jun-Sept/juin-sept	0	2	0	3	2	1	3	11	7.0
	3	Oct-Dec/oct-déc	0	1	2	0	0	0	0	3	5.7
1979	1	Jan-May/jan-mai	5	3	4	1	2	3	1	19	4.0
	2	Jun-Sept/juin-sept	0	2	0	3	2	1	4	12	11.8
	3	Oct-Dec/oct-déc	0	0	2	0	0	0	0	2	8.9
1980	1	Jan-May/jan-mai	4	2	4	1	2	3	0	16	4.2
	2	Jun-Sept/juin-sept	0	2	0	4	3	2	1	12	7.9
	3	Oct-Dec/oct-déc	1	0	2	0	0	0	0	3	7.0

*Stage 1 / *Stade 1: primordium initiation / initiation du primordium

2: male and female phase / phase mâle et femelle

3: ovary development / développement des ovules

4: spathe opening fertilization / ouverture de la spathe, fécondation

5: fertilization / fécondation

6: button size nut / noix de la taille d'un bouton

7: mature nut / noix mûre

- Group 2 is free of dry spells at two stages namely, PI and ovary development (OD), the total dry period ranging from 10 (1977) to 14 (1976) months.
- Group 3 has a total dry spell of only 2 to 4 months and most of the growth stages did not experience drought. The significance of the above trend is evident from the yield data. The mean monthly nut yield per palm from group 1 bunches ranged from 3.7 to 4.8 (average of five years: 4.2 nuts), indicating thereby that the total dry spell of 18 months (five year average) with almost 25% occurring at the primordial stage, is highly detrimental for nut production. Conversely, a total dry spell of about 12 months (group 2) is less damaging especially because the critical stages of 1,3 and 6 (PI,OD and BN) are free of drought. This is amply supported by yield data which recorded a monthly average of 8.3 nuts per palm. It is intriguing that average nut yield was 6.6 per palm in group 3 palms, although the dry spell was relatively much less as compared to group 1 and 2. This could be explained on the basis of the occurrence of dry months immediately after the October - December period in each year. Although the seven stages of nut development may not

exactly pass through drought in this group, the fact that some of the stages may have relatively low metabolic activity caused by moisture stress cannot be ruled out. The situation can be visualized by comparing a stage like PI during a dry spell immediately followed by a recovery period (during monsoon) and the one entering moisture stress (dry season) immediately after a brief period of normal soil moisture availability. In the first instance (group 1), even if there was initial damage to tissues, there was the possibility of a revival in metabolic activity as soon as the stress was relieved by the monsoon extending to four months, whereas in the latter case (group 3) even though the tissues started with the initial advantage of adequate moisture availability, the subsequent dry spell of 4-5 months could impair, if not completely inhibit, their development. In other words, group 1 exhibited a more favorable period (monsoon) after initiation of primordia than group 3. Thus, table clearly reveals that group 2 conditions are most favorable for maximum nut production.

From the foregoing, it is also apparent that the total rainfall, number of rainy days and the total dry spell are not as crucial as the length of dry spell at the critical stages

such as, primordium initiation, ovary development and button size nuts which ultimately determine the yield potential of rainfed palms. To assess which among these three stages was more affected by the dry spell, the data for June to May of five years were computed. It was found that out of an average of 18 months of dry period, PI, OD and BN experienced dry spells of 4.2 months, 4 months and 3.2 months respectively which worked out at 23.4%, 22.2% and 18% of the total. This clearly indicated that the PI stage was the most sensitive to moisture stress, followed by the ovary development stage. These three stages together accounted for 63.6% of the total dry spell, while other stages shared the remaining 34.4%.

Vijayakumar *et al.* (1988) in a study of the relationship between 11 weather variables and coconut yields, identified 7 lag periods, which corresponded with the growth stages indicated in figure 1. Among the variables tested, rainfall had a positive influence consecutively on five of the seven lag periods, while temperature and relative humidity had their influence on two or three lag periods. This means that, if the monsoon failed and dry weather continued during the critical stages mentioned above, the yield would be drastically reduced. Their results thus support the present yield analysis as influenced by dry spells. Kasturibai *et al.* (1988) reported the influence of weather va-

riables like light, temperature and relative humidity on stomatal regulation in coconut palms.

Fluctuations in coconut yield during different years could thus be explained on the basis of variations in rainfall pattern. According to Abeyawardana (1968) the most important yield-determining factor in coconut is well-distributed rainfall. At Kasaragod, the early cessation of the North East monsoon during October-November 1981, followed by the total failure of summer showers in 1982, combined with the inordinate delay in the arrival of the South-West monsoon during June-September in 1982 led to prolonged dry spells of 24 and 26 weeks in 1981-1982 and 1982-1983 respectively. The unprecedented drought adversely affected coconut palms to different degrees, such as the total absence of inflorescences in some leaf axils, the emergence of inflorescence bunches without flower initials, enhanced shedding of fertilized female flowers (buttons) and immature nut fall, depending on the stages of growth which suffered the effects of the dry spell the most. All these resulted in a significant reduction in nut yield during the subsequent two to three years. In a separate study, the authors observed significant differences in the number of days taken for spathe opening between dry and wet seasons (CPCRI, 1988), showing that water stress delays the time taken for spathe opening. During summer months, it is a common experience to find abnormal shedding of buttons, ranging from 75% to 90% of the total female flowers produced (i.e., only 10% to 25% fruit set), in coconut gardens under rainfed conditions, whereas the irrigated palms exhibit good retention of nuts i.e. fruit set ranging from 35% to 45%. Ramadasan *et al.* (1991) observed genotypic differences in leaf and nut characters, like bending/breaking and drying of leaves, shedding of buttons in palms that suffered the severe drought of 1982. Rao (1985) had assessed the extent of damage to coconut palms by drought on the basis of an aridity index.

That coconut palms respond well to irrigation during summer months (January to May), resulting in significantly higher yields (Nelliat and Padmaja, 1978) indicates clearly that adequate moisture in the soil during primordium initiation is most essential. This is in agreement with the present observation that copious water availability through heavy rainfall (group 2) enhanced nut production, while inadequate soil moisture in summer months (group 1) adversely affected nut yield. A comparative study of the data on climatic changes and nut yield from four countries indicated that water deficit plays an important role in yield fluctuations under

non-limiting conditions of sunshine and temperature (Coomans, 1975).

Conclusions

From the foregoing account, the following conclusions are drawn: 1) coconut production under rainfed conditions is influenced significantly by the length of dry spells at critical stages, 2) the availability of adequate moisture in the field on primordium initiation, ovary development and button size nut in that order, are most crucial for the production of nuts and 3) nut production can be sustained at relatively high levels by giving life saving irrigation during summer months by reducing the ill-ef-

fects of dry spells, especially on the development of the inflorescence primordium. The study highlights the possibility of developing a computer model for prediction of coconut yield based on the rainfall and dry spell pattern during the three critical stages prior to harvest. ■

Acknowledgements

Our sincere thanks are due to Dr. K.V. Ahmed Bavappa, former Director of CPCRI for his keen interest and to the Head, Agronomy Division for allowing us to use the meteorological data.

Bibliographie / References

- ABEYAWARDANA, 1968. Forecasting coconut crops using rain fall data. *Ceylon Coconut Quarterly* 19 (4) : 161-176.
- AGGARWAL P.K., CHATURVEDI G.S., SINHA S.K., 1981. Frequency distribution of yield components as an index of stability in wheat at different levels of water availability. *Proc. Indian Nat. Sci. Acad. (B)* 47 : 756-767.
- BALASIMHA D., 1983. Effect of abscisic acid and kinetin on growth and proline accumulation in cocoa seedlings under water stress. *Indian J. Plant Physiol.* 26 : 139-142.
- COOMANS P., 1975. Influence of climatic factors on seasonal and annual fluctuations in the coconut yield. *Oléagineux* 30 (4) : 153-159.
- CPCRI, 1988. Annual Report of the Central Plantation Crops Research Institute, 1986. Kasaragod, Inde, CPCRI, p. 54-57.
- FISCHER R.A., TURNER N.C., 1978. Plant productivity in the arid and semi-arid zones. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 29 : 277-317.
- GURURAJA RAO G., DEVAKUMAR A.S., RAJAGOPAL R., ANNAMMA Y., VIJAYAKUMAR K.V., SETHURAJ M.R., 1988. Clonal variation in leaf epicuticular waxes and reflectance : possible role in drought tolerance in *Hevea*. *Indian J. Nat. Rubber Res.* 1 (2) : 84-87.
- HALLORAN G.M., PENNEL A.L., 1982. Duration and rate of development phase in wheat in two environments. *Ann. Bot.* 49 : 115-121.
- KASTURIBAI K.V., VOLETI S.R., RAJAGOPAL V., 1988. Water relations of coconut palms as influenced by environmental variables. *Agric. and Forest Meteorol.* 43 (3-4) : 193-199.
- MENON K.P.V., PANDALAI K.M., 1958. Floral biology. In : *The coconut palm: a monograph*. Ernakulam, Inde, Indian Central Coconut Committee, p. 39-85.
- NELLIAT E.V., PADMAJA P.K., 1978. Irrigation requirement of coconut and response to levels of fertilizer under irrigated condition during the early bearing stage. In : *PLACROSYM I. Agronomy, soils physiology and economics of plantation crops*, E.V. Nelliat éd., Kasaragod, Inde, Indian Society for Plantations Crops, p. 186-199.
- PATEL J.S., 1938. *The coconut: a monograph*. Madras, Inde, Government Press, 313 p.
- RAJAGOPAL V., RAMADASAN A., KASTURI BAI K.V., BALASIMHA D., 1989. Influence of irrigation on leaf water relations and dry matter production in coconut palms. *Irrigation Sci.* 10 : 73-81.
- RAMADASAN A., BALAKRISHNAN T.K., RAJAGOPAL V., 1991. Response of coconut genotypes to drought. *Indian Coconut J.* 16 (12) : 2-5.
- RAO G.S.L.H.V.P., 1985. Drought and coconut palm. *Indian Coconut J.* 15 (12) : 3-6.
- VIJAYAKUMAR K., JACOB MATHEW., AMARNATH C.H., NAMBIAR P.T.N., 1988. Influence of weather on coconut yield. In : *Agrometeorology of Plantation Crops*, GSLHV Prasada Rao et R.R. Nair éd., Trichur, Inde, Kerala Agricultural University, p. 124-132.

Influence de la sécheresse sur l'ontogénie des fruits du cocotier et sur le rendement

Rajagopal V., Shivashankar S., Jacob Mathew

Central Plantation Crops Research Institute, Kasaragod 671 124, Kerala, Inde

Les effets du déficit hydrique du sol sur le rendement et ses composantes sont bien connus chez les cultures annuelles (Fischer et Turner, 1978), mais de telles informations sont rares dans le cas des cultures pérennes. L'influence du stress hydrique sur les divers stades de développement du blé, depuis l'initiation de l'épi jusqu'à sa maturité, a été décrite (Aggarwal *et al.*, 1981, Halloran et Pennel, 1982). Bien que l'influence du stress hydrique sur les cultures pérennes, dont le cocotier (Rajagopal *et al.*, 1989), le cacaoyer (Balasimha, 1983) et l'hévéa (Gururaja Rao *et al.*, 1988), ait déjà été signalée, le stade de développement le plus sensible au stress hydrique reste inconnu. Cette situation s'explique par la nature pérenne de ces cultures chez lesquelles la phase reproductrice prolongée (44 mois) recouvre partiellement la phase végétative, comme dans le cas du cocotier.

Le cocotier Grand, dont la floraison est indéterminée, commence à fleurir sept ans après la plantation. La première inflorescence apparaît à l'aisselle de la 45^e feuille ; ensuite, une inflorescence est émise chaque mois à l'aisselle des feuilles suivantes (Menon et Pandalai, 1958). La période entre l'initiation du primordium floral (EF) et la maturation des noix (MN) dure 44 mois environ, dont 32 mois pour la période de préfécondation (soit 73% de la phase reproductrice totale), par rapport à 12 mois seulement pour les phases de fécondation et de post-fécondation (Patel, 1938). Dans le cadre d'un tel système, il est difficile de déterminer les stades critiques influencés par le stress hydrique au champ. Il y a donc un manque d'information concernant l'interaction entre l'arrivée d'une période de sécheresse et ses effets sur les divers stades de développement du cocotier. Dans cet article, on essaie pour la première fois, de manière systématique et à l'aide de schémas intégrant l'ensemble des périodes de sécheresse et des stades de développement de la noix, d'expliquer l'influence de la sécheresse sur l'ontogénie de l'inflorescence du cocotier.

Matériel et méthodes

Cette étude utilise les données météorologiques relevées par l'observatoire de l'Institut. La pluviosité mensuelle entre janvier 1976 et

décembre 1980 a été calculée, ainsi que la période totale sans pluie, afin de déterminer la durée annuelle des périodes sèches (figure 1). Le nombre de semaines sans pluie, pour chaque stade de développement des noix, a aussi été calculé (figure 2).

Les données de la ferme de l'Institut concernant la production de fleurs femelles, la nouaison et le rendement en noix ont également été utilisées. On a calculé les données relatives aux récoltes de noix entre septembre 1980 et août 1984 sur 20 cocotiers adultes (var. Grand Côte Ouest), plantés à une densité de 7,5 x 7,5 m sans irrigation et recevant des apports d'engrais aux doses recommandées. Les rendements en noix par cocotier et par mois sont présentés dans les figures 1 et 2 et dans le tableau.

Résultats et discussion

Chez la variété Grand Côte Ouest, le développement des fleurs femelles et mâles a lieu respectivement 20 et 21 mois après l'initiation de l'ébauche florale (figure 1A). La spathe s'ouvre dès le 32^e mois, et la fécondation se produit pendant le 33^e mois ; le développement de la noix passe par les stades taille d'un bouton et taille d'un poing et par les diverses étapes de l'immaturité jusqu'à la maturité totale du fruit au 45^e mois. En général, les noix sont récoltées 11 à 12 mois après la fécondation.

Les figures 1A à 1E montrent schématiquement l'influence de la sécheresse sur l'ontogénie de l'inflorescence. La sécheresse la plus longue (en semaines) a eu lieu en 1982-1983. La figure 1A montre clairement comment le primordium floral initié en janvier 1976 atteint la maturité en septembre 1979, et celui initié en février 1976 atteint la maturité en octobre 1979, et ainsi de suite (pour terminer par le primordium initié en décembre 1976 qui atteint la maturité en août 1980, achevant ainsi le cycle d'un an). De même, les figures 1B à 1E présentent les données correspondant aux séries des quatre années suivantes, soit 1977 à 1980-1981, 1978 à 1981-1982, 1979 à 1982-1983, et 1980 à 1983-1984. Dans tous ces cas, les résultats de production mensuelle des cocotiers non irrigués (histogramme à droite) entre le 45^e et le 56^e mois montrent bien que les faibles rendements en noix entre septembre et décembre (du 45^e au 48^e mois) de chaque année sont liés à l'initiation du primordium floral

coïncidant à une période sèche trois ans auparavant. En revanche, les rendements élevés en noix obtenus entre les mois de décembre et de mai (du 48^e au 53^e mois) pourraient être liés à l'initiation du primordium floral au cours de la période pluvieuse, trois ans auparavant, qui s'étale de juin à octobre. Ainsi, il semblerait qu'une teneur en eau satisfaisante du sol lors de l'initiation du primordium soit favorable à un rendement élevé en noix. En revanche, ceci n'explique pas l'importance de la sécheresse à d'autres stades du développement.

Les rendements de l'année 1982-1983 (figure 1D) qui étaient élevés malgré une période de sécheresse de 26 semaines, montrent bien que le rendement en noix est influencé davantage par les périodes de sécheresse des trois années précédentes que par celle de l'année de la récolte. Il est à noter que les primordia floraux correspondant à ces régimes ont été initiés au cours de l'année 1979, où l'on a enregistré une sécheresse de 23 semaines, suivie d'une pluviosité importante (2 895 mm) pendant la mousson de juin à septembre 1979. Ceci est très bien illustré par le faible rendement (<4 noix/cocotier) entre septembre 1982 et janvier 1983, correspondant à la période de sécheresse prolongée en 1979, et le rendement très élevé (>9 noix/arbre) entre février et avril 1983, correspondant à la période de pluviosité abondante pendant la mousson de l'année 1979. Cette situation pourrait être due au rétablissement des cocotiers après une période prolongée de stress hydrique, ce qui aurait facilité la mobilisation des éléments nutritifs en réserve (stockés pendant la sécheresse) vers les puits en formation, c'est-à-dire les régimes. La figure 1 montre bien également que la charge totale en noix des cocotiers, pour un mois donné, n'est pas influencée par la pluviosité durant ce mois. Cette observation est confirmée par le fait que les rendements en noix sont restés élevés, pour toutes les années considérées, entre les mois de février à mai, malgré les périodes de sécheresse enregistrées à cette époque. Les faibles rendements obtenus entre les mois de septembre à décembre, malgré un stress hydrique faible ou nul, traduisent la présence de régimes sans fruit ou avec peu de fruits. Cette situation pourrait être due à un déséquilibre de la relation source-puits provoqué par un stress hydrique au cours du développement des noix. Une humidité

insuffisante dans le sol réduit l'activité photosynthétique au niveau des sources (feuilles) mais diminue également la translocation des produits de la photosynthèse vers les puits en formation (régimes/épillets). Kasturibai *et al.* (non publié) ont signalé un faible niveau de photosynthèse nette chez le cocotier lors d'une période de stress par rapport à une période sans stress. On peut en déduire que les régimes sans noix observés à un moment donné de la récolte sont dus à la faiblesse du puits. Par ailleurs, la figure 1 montre que les périodes de sécheresse de moins de 15 semaines en 1977, 1978 et 1980 correspondent à un rendement moyen de 6,0 noix/arbre entre septembre et janvier en 1979-1980, 1980-1981 et 1983-1984. Lorsque la période de sécheresse a dépassé les 20 semaines en 1979, le rendement mensuel moyen en 1982-1983 a été de 3,9 noix.

Quels sont les stades les plus critiques de l'ontogénie du cocotier non irrigué pour la détermination du rendement en noix ? Afin de répondre à cette question, nous avons étudié des ébauches florales initiées (1) entre janvier et mai, (2) entre juin et septembre et (3) entre octobre et décembre. La pluviométrie mensuelle entre janvier 1981 et septembre 1985, entrecoupée des périodes de sécheresse, est présentée dans la partie inférieure de la figure 2. On a limité à sept le nombre de stades de développement, en regroupant certains stades étroitement liés, représentés dans la figure 1. Ainsi, la partie inférieure de la figure 2 présente les données relatives à la pluviométrie ou aux périodes de sécheresse lors de chaque stade pour chaque groupe et montre bien si un stade particulier coïncide avec les pics pluviométriques (par exemple, le stade 1 du groupe 2) ou s'il correspond à un creux, c'est-à-dire à une période sèche (stade 1 du groupe 3). Cette figure montre également avec précision les écarts ou les chevauchements entre les stades des trois groupes. Il est à noter que la longueur de la période sèche à chaque stade était la plus importante dans le groupe 1, suivi du groupe 2 et du groupe 3. Les rendements en noix par arbre entre septembre 1984 et août 1985, qui présentent trois évolutions distinctes, traduisent directement les changements ontogéniques influencés par la pluviométrie et/ou les périodes sèches.

Une autre illustration des implications de cette interaction entre pluviométrie et sécheresse et les stades de développement des noix est donnée dans le tableau, représentant un cycle de cinq ans comme dans la figure 1. Il est à noter que la période totale de sécheresse au cours de ces périodes de cinq ans varie entre 30 mois (1977-1982) et 36 mois (1976-1980). Afin de simplifier les choses, les 12 mois de l'année sont divisés en trois groupes, à savoir (1) janvier à

mai, (2) juin à septembre et (3) octobre à décembre. Le tableau permet de voir que :

- le groupe 1 est caractérisé par des mois secs à presque tous les stades de développement des noix, la durée maximale totale de la période sèche totale étant de 21 mois entre 1977 et 1981, ce qui représente près de 48 % du stade total de la reproduction (44 mois) entre IP et MN. Il est à noter que le stade «ébauche florale» lui-même traverse une période de sécheresse d'une durée de 4 à 5 mois (1979).
- Le groupe 2 est épargné par la sécheresse à deux stades, à savoir l'IP et le développement des ovules (DO), la période totale de sécheresse variant entre 10 mois (1977) et 14 mois (1976).
- Le groupe 3 présente une période totale de sécheresse d'une durée de 2 à 4 mois seulement et la plupart des stades de développement ne subissent pas de sécheresse. L'importance de cette tendance est illustrée par les résultats de production. Le rendement moyen mensuel par cocotier provenant des régimes de groupe 1 s'élève de 3,7 à 4,8 noix (moyenne de cinq ans : 4,2 noix), ce qui signifie que la période totale de sécheresse de 18 mois (moyenne de cinq ans), qui correspond pour 25 % au stade du primordium, est très défavorable à la production de noix. Inversement, une période totale de sécheresse d'une durée d'environ 12 mois (groupe 2) est moins nuisible, tout particulièrement parce que les stades critiques 1, 3 et 6 (IP, DO et noix de la taille d'un bouton : NB) ne subissent pas de sécheresse, ce qui est largement confirmé par le rendement qui atteint une moyenne mensuelle de 8,3 noix par cocotier. Il est intéressant de noter que le rendement moyen en noix est de 6,6 par cocotier pour ceux du groupe 3, malgré une période de sécheresse bien plus courte que celle du groupe 1 ou du groupe 2. Ceci peut s'expliquer du fait de l'apparition de mois secs immédiatement après la période octobre-décembre de chaque année. Bien que les sept stades de développement des noix ne subissent pas forcément une période de sécheresse dans le cas de ce groupe, on ne peut pas exclure l'existence éventuelle d'une activité métabolique faible lors de certains stades, due à un stress hydrique. On peut illustrer cette situation en comparant un stade tel que l'IP pendant une période de sécheresse, suivie immédiatement d'une période de récupération (mousson), avec le stade entrant dans une période de stress hydrique (saison sèche) immédiatement après une brève période de disponibilité hydrique normale. Dans le premier cas (groupe 1), même si les tissus subissent des dégâts au

début, il existe la possibilité d'une reprise de l'activité métabolique dès l'élimination du stress par l'arrivée de la mousson d'une durée de quatre mois, tandis que dans le cas du dernier groupe (groupe 3), même si les tissus bénéficient au début d'une disponibilité en eau suffisante, la période de sécheresse d'une durée de 4-5 mois qui suit peut réduire, voire inhiber, leur développement. Autrement dit, la période suivant l'initiation des primordia floraux (mousson) est plus favorable dans le cas du groupe 1 que dans le cas du groupe 3. Ainsi, le tableau montre bien que les conditions du groupe 2 sont les plus propices à un rendement en noix maximal.

Il devient évident que la pluviométrie totale, le nombre de jours de pluie et la période totale de sécheresse sont moins importants que la durée de la période de sécheresse aux stades critiques du développement, tels que l'initiation du primordia primordium, le développement des ovules et les noix de la taille d'un bouton (NB), qui déterminent définitivement le potentiel de production des cocotiers non irrigués. Afin de savoir lequel de ces trois stades était le plus sensible à la sécheresse, on a calculé les données sur cinq ans pour la période juin-mai. Les résultats obtenus montrent que, sur une période de sécheresse de 18 mois en moyenne, les stades IP, DO et NB subissent respectivement des périodes de sécheresse d'une durée de 4,2 mois, 4 mois et 3,2 mois, soit 23,4 %, 22,2 % et 18 % du total. Il est donc évident que le stade IP est le plus sensible au stress hydrique, suivi de celui du développement des ovules. Ensemble, ces trois stades représentent 63,6 % de la période totale de sécheresse, tandis que les autres stades partagent les 34,4 % restants.

Vijayakumar *et al.* (1988), dans une étude sur la relation entre 11 variables climatiques et le rendement du cocotier, ont identifié 7 périodes décalées correspondant aux stades de développement indiqués dans la figure 1. Parmi les variables testées, la pluviométrie exerce successivement une influence positive sur cinq périodes décalées sur sept, tandis que la température et l'hygrométrie influencent deux ou trois périodes décalées, ce qui signifie que si la mousson fait défaut et que le temps sec continue pendant les stades critiques cités ci-dessus, les rendements seront considérablement réduits. Ces résultats confortent donc la présente analyse des rendements dans le cas d'une période de sécheresse. Kasturibai *et al.* (1988) ont signalé l'influence de variables climatiques, telles que la lumière, la température et l'hygrométrie, sur la régulation stomatique du cocotier.

Les variations des régimes pluviométriques pourraient donc expliquer les fluctuations des rendements des cocotiers observées au cours de

différentes années. Selon Abeyawardana (1968) le facteur déterminant le plus important en ce qui concerne le rendement du cocotier serait une pluviométrie bien répartie. A Kasaragod, l'arrêt précoce de la mousson du Nord-Est en octobre-novembre 1982, suivi d'un manque total d'averses estivales en 1982, ceci associé à l'arrivée extrêmement tardive de la mousson du Sud-Ouest de juin-septembre 1982, a provoqué une période de sécheresse de 24 et de 26 semaines respectivement en 1981-1982 et 1982-1983. Cette sécheresse sans précédent a eu un effet plus ou moins négatif sur les cocotiers, allant d'une absence totale d'inflorescences dans un certain nombre d'aisselles foliaires en passant par l'émission d'inflorescences sans ébauches florales, l'avortement accru de fleurs femelles fécondées (boutons) et la chute précoce des noix, en fonction des stades de développement ayant le plus souffert des effets de la sécheresse. L'ensemble de ces effets a eu pour résultat une réduction importante des rendements en noix au cours des deux ou trois années suivantes. Dans une autre étude, les mêmes auteurs ont observé des différences significatives entre la saison sèche et la saison des pluies pour le nombre de jours nécessaires à l'ouverture de la spathe (CPCRI, 1988), montrant ainsi que le stress hydrique retarde l'ouverture des spathe. Pendant les mois d'été, on observe souvent un avortement anormal des boutons, allant de 75 à 90 % du nombre total de fleurs femelles émises (soit une nouaison de

seulement 10 à 25 %) dans des champs de cocotiers non irrigués, tandis que les cocotiers irrigués retiennent bien leurs noix et présentent un taux de nouaison allant de 35 à 45 %. Ramadasan *et al.* (1991) ont observé des différences génotypiques entre les caractères des feuilles et des noix, en particulier sur la courbure, la casse et le dessèchement des feuilles et l'avortement des boutons chez les cocotiers ayant subi la sécheresse sévère de 1982. Rao (1985) a évalué la gravité des dégâts provoqués par la sécheresse chez les cocotiers selon un indice d'aridité.

La bonne réponse des cocotiers à l'irrigation pendant les mois d'été (janvier à mai), associée à un rendement significativement plus élevé (Nelli et Padmaja, 1978), montre bien qu'un taux d'humidité suffisant du sol lors de l'initiation de l'ébauche florale est indispensable. Cette constatation concorde bien avec les résultats présents qui montrent qu'une disponibilité abondante en eau grâce à une bonne pluviométrie (groupe 2) améliore le rendement en noix, tandis qu'un manque d'humidité dans le sol pendant les mois d'été (groupe 1) exerce un effet négatif sur le rendement en noix. Une étude comparative de données provenant de quatre pays et concernant les variations climatiques et le rendement en noix montre bien que le déficit hydrique joue un rôle important dans les fluctuations du rendement dans des conditions non-limitantes d'ensoleillement et de température (Coomans, 1975).

Conclusions

A partir de ce qui précède, on peut tirer les conclusions suivantes : 1) le rendement des cocotiers non irrigués est influencé de façon importante par la durée de la sécheresse aux stades critiques, 2) la disponibilité d'une humidité suffisante dans le sol lors de l'initiation du primordium floral, du développement des ovules et au stade de noix de la taille d'un bouton, dans cet ordre, est cruciale pour le rendement en noix et 3) le rendement en noix peut être maintenu à un niveau relativement élevé par l'irrigation des cocotiers pendant les mois d'été afin de réduire les effets néfastes de la sécheresse sur le développement du primordium floral. Cette étude souligne la possibilité de mettre au point un modèle informatique destiné à prévoir les rendements en noix à partir de la répartition de la pluviométrie et des périodes de sécheresse lors des trois stades critiques précédant la récolte. ■

Nous remercions vivement le Dr. K.V. Ahmed Bavappa, ancien directeur du CPCRI, qui s'est beaucoup intéressé à notre travail, ainsi que le responsable de la division agronomie qui nous a permis d'utiliser les données météorologiques.