

## Ajustement des cycles de développement des cultivars à la période climatique fréquentielle de végétation<sup>1</sup>

par P. FRANQUIN

ORSTOM, 70-74 route d'Aulnay, 93140 Bondy (France)

Est présenté un modèle fréquentiel global de la période climatique de végétation des cultures. Ce système s'applique en particulier à l'ajustement dans la saison des cycles de développement des cultivars. Quand la variabilité interannuelle des températures est grande, il convient d'évaluer la durée des cycles de développement, non pas en nombre de jours, mais en somme de degrés-jour. Somme de degrés-jour et nombre de feuilles à l'initiation de la floraison peuvent être estimés chez les cultivars photopériodiques au moyen de formules développées par modélisation des relations de l'oscillation exogène jour/nuit avec l'oscillation circadienne endogène de la plante.

### Période fréquentielle de végétation

En agriculture, il est utile de disposer, à des fins multiples, d'un modèle « statistique » global de la période climatique de végétation. Une expression fréquentielle ou probabiliste de cette période, décrite par Franquin (1981, 1982), est présentée sommairement ci-après ; elle s'inscrit dans un système de coordonnées dont l'axe des x est le temps et celui des y une échelle de fréquences relatives ou de probabilités. La variabilité d'occurrence interannuelle de tout événement remarquable (début, fin, états intermédiaires), climatique ou phénologique, de la période de végétation est figurée par un histogramme de densité de fréquences et une sigmoïde intégrale de fréquences relatives cumulées (fig. 1). L'ensemble de ces distributions de fréquences et de leurs relations mutuelles définissent la période fréquentielle. Prises deux à deux, successivement ou non, ces distributions de fréquences délimitent statistiquement des périodes et des sous-périodes. La sigmoïde « début » d'une période ou sous-période donne les probabilités qu'elle soit « déjà ouverte » à une date quelconque ; la sigmoïde « fin » donne les probabilités qu'elle soit « déjà fermée » ; mais on s'intéresse plutôt aux probabilités qu'elle soit « encore ouverte » : elles sont données par la sigmoïde horizontalement symétrique (fig. 1). Les sigmoïdes de début et de fin sont dites « réciproques » : la surface qu'elles enveloppent (c'est-à-dire son aire et sa forme) intègre les variabilités de la position et de la durée de la période. Si les deux sigmoïdes réciproques sont indépendantes, ce qui est généralement le cas, la probabilité composée que la période soit ouverte entre deux dates données est le produit des deux probabilités élémentaires attachées à ces deux dates.

Entre autres applications, on tire parti de ces propriétés pour ajuster ou « caler » à la meilleure probabilité pour le rendement les phases de développement des cultivars. La figure 2 présente un exemple de période fréquentielle de végétation construite en termes de probabilités de dépassement de 0,50 ETR/ETP (1<sup>er</sup> et 4<sup>e</sup> sigmoïdes réciproques) et de 0,90 ETR/ETP (2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> sigmoïdes réciproques). Les valeurs de ETR/ETP ont été obtenues par simulation de bilans hydriques sur 50 ans, avec RU (réserve utilisable) de 50, 100 ou 200 mm d'eau. Dans le cadre des trois modèles correspondant à chacune des trois RU, on a calé les cycles de développement d'un sorgho non photopériodique, d'une part (fig. 2a), et d'un sorgho photopériodique, d'autre part (fig. 2b). Le premier présente, quelle que soit la date de semis, un cycle de durée, en jours, approximativement constante (en régions tropicales où les températures varient peu interannuellement), tandis que le deuxième

<sup>1</sup>) Communication présentée au Symposium OEPP/OMM sur l'agrométéorologie au service de la protection des plantes, Genève (Suisse), 8-10 mars 1982.

29 DEC. 1983

O. R. S. T. O. M. Fonds Documentaire

N° : 4014 ex 1

Cote : B

B4014 ex 1

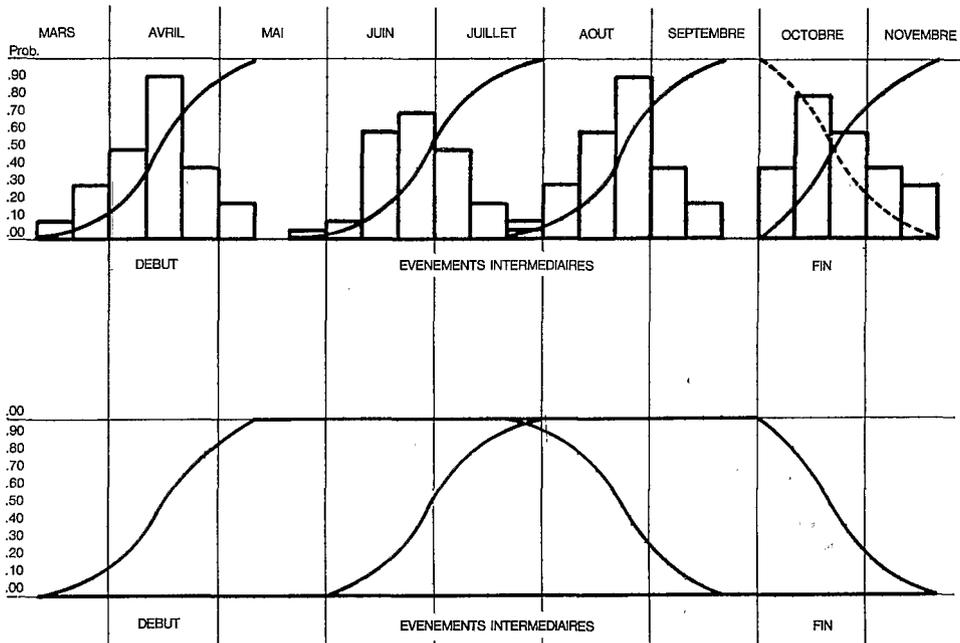


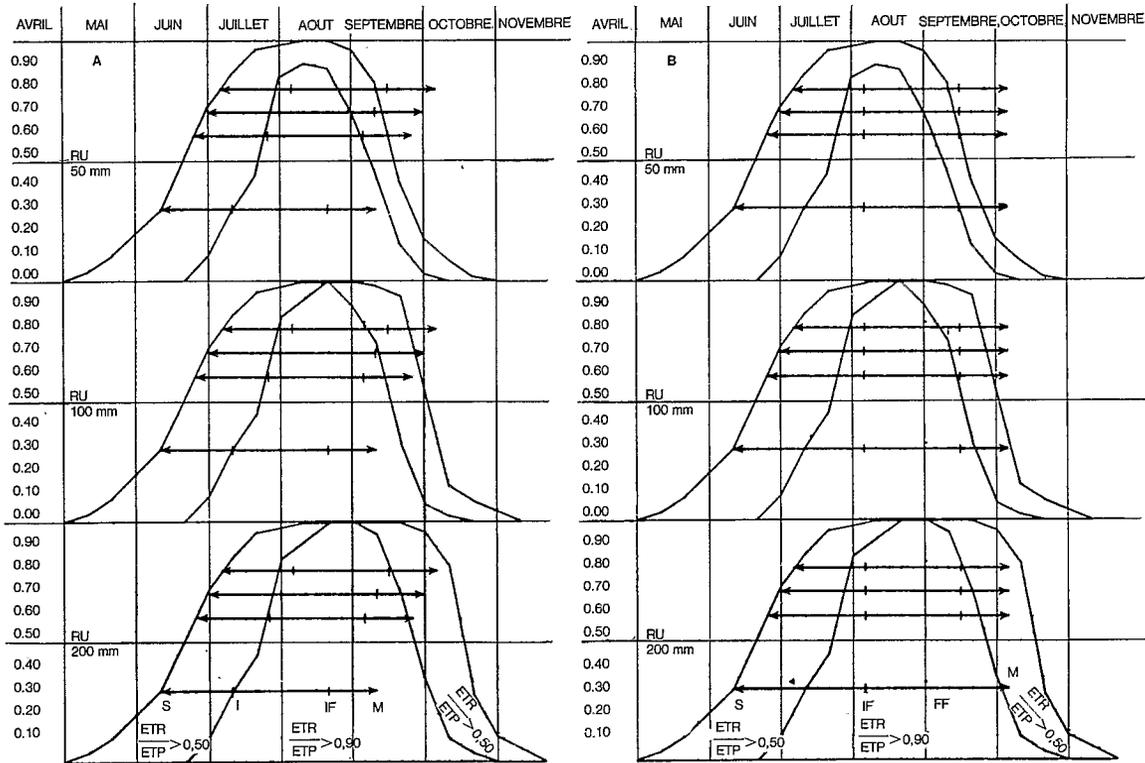
Fig. 1. Principe du modèle de « période fréquentielle de végétation ». La variabilité interannuelle de tout événement remarquable (début, fin, états intermédiaires) de la période climatique de végétation est représenté par un histogramme de densité de fréquences et une sigmoïde intégrale de fréquences relatives cumulées (haut de la figure). La représentation fréquentielle globale de la période climatique associée entre elles l'ensemble des sigmoïdes (bas de la figure).

présente un cycle de durée variable avec la date de semis. On remarquera en passant que dans les deux cas les probabilités de réussite des phases de floraison et de fructification croissent avec la RU.

En régions tempérées, les limites de la période climatique de végétation sont généralement conditionnées par les températures ; on construira donc la période fréquentielle en termes de probabilités de dépassement de seuils de température. Les distributions de fréquences des passages de seuils de température se montrant normales, les sigmoïdes deviennent des droites en échelle gaussienne (fig. 3). Hormis les six droites de la figure qui, prises deux à deux réciproquement, définissent neuf périodes fréquentielles, il est possible de constituer encore des sous-périodes sur la base d'humidités relatives, d'insolations, d'évapotranspirations, etc. Ce qui est important ici, c'est qu'à tout couple de dates début/fin est liée une distribution de fréquences de degrés-jour, ce qui permet de caler les cycles de développement des cultivars exprimés en sommes de degrés jour.

### Développement phasique et morphogénétique

En raison de la variabilité interannuelle des températures en régions tempérées, il convient en effet d'exprimer la durée des phases de développement des cultivars, non pas en nombre de jours, mais en somme de degrés-jour. Or, si cette somme est approximativement constante chez un cultivar non photopériodique, elle est variable chez un cultivar photopériodique. Une solution à cette difficulté résulte de la modélisation ci-après.



S = semis, IF = initiation floraison, FF = fin floraison, RU = réserves utilisables d'eau.

Fig. 2. Ajustement des cycles de développement de cultivars de sorgho à la période fréquentielle de végétation construite pour Ouagadougou en termes de probabilités de dépassement de 0,50 ETR/ETP et de 0,90 ETR/ETP. 2a) exemples de calage du cycle d'un sorgho non photopériodique de 90 jours ; la date de semis optimale est le 1<sup>er</sup> juillet ; 2b) exemple pour un sorgho photopériodique terminant sa floraison approximativement au 15 septembre, quelle que soit la date de semis ; la productivité dépend, pour une RU donnée, de la durée de la phase végétative (S-IF). Remarquer que les probabilités de réussite des phases de floraison et de fructification, inscrites le long du cycle, croissent avec la RU (50, 100 ou 200 mm d'eau).

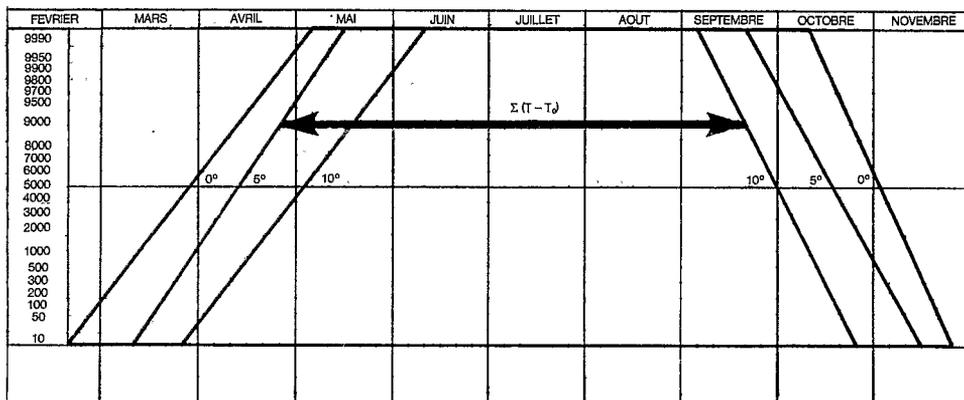


Fig. 3. Exemple de période fréquentielle de végétation construite en terme de probabilités de dépassement de seuils de température (0, 5 et 10°C). En échelle gaussienne, les sigmoïdes deviennent des droites. A tout couple de dates début/fin est liée une distribution de fréquences de sommes de degrés-jour, d'où la possibilité de caler au mieux les cycles de développement.

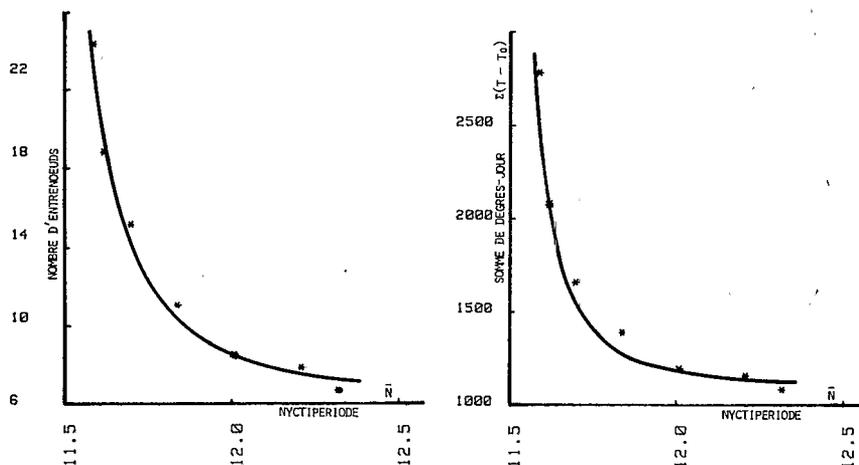


Fig. 4. Adéquation aux résultats expérimentaux de la formule (2) relative à la somme de degrés-jour et de la formule (3) relative au nombre de nœuds ou entre-nœuds d'un sorgho photopériodique.

La plante est le siège d'un « rythme circadien » qui comporte deux périodes en 24 h, l'une de sensibilité « lumineuse » de durée  $H_0$ , l'autre de sensibilité « obscure » de durée  $N_0$  (avec  $H_0 + N_0 = 24$ ). L'oscillation du système endogène  $H_0/N_0$  procure la « base de temps circadien » à laquelle sont comparées, au moyen du phytochrome, les oscillations du système exogène  $H_i/N_i$  des durées réelles  $H_i$  et  $N_i$  du jour et de la nuit. L'oscillation « forcée »  $H_i/N_i$  à l'égard de l'oscillation  $H_0/N_0$ , perçue au niveau des feuilles, constitue pour la plante une « information » qui peut être entrée dans l'équation différentielle d'un oscillateur harmonique forcé, amorti par frottement de l'alternance jour/nuit, soit :

$$u'' + \cotg^2\left(\frac{\pi}{2} \frac{H_0/N_0}{H_i/N_i}\right) u' + \left(\frac{\pi}{H_0/N_0}\right)^2 u = a (T_i - T_0) \frac{1}{H_i/N_i} \sin\left(\frac{\pi}{H_i/N_i} h\right) \quad (1)$$

Dans ce modèle de l'oscillateur-plante,  $h = t/(24 - t)$  avec  $t$  variant de 0 à 24 h ;  $u$  est une variable d'état qui n'importe pas ici. Si on note  $m$  le minimum d'excitation thermique, liée à  $a (T_i - T_0)$ , requis pour assurer l'induction florale, on montre que l'intégration par rapport à  $h$  du 2<sup>e</sup> membre de (1) conduit aux relations suivantes :

$$- \text{développement phasique} \quad \Sigma (T_0 - T_0) = k_0 + \frac{\pi m}{2a} (1 + \operatorname{tg}^2 ( \frac{\pi}{2} \frac{H_0/N_0}{H_i/N_i} )) \quad (2)$$

$$- \text{développement morphogénétique} \quad \left\{ \begin{array}{l} n = n_0 + \alpha \operatorname{mtg}^2 ( \frac{\pi}{2} \frac{H_0/N_0}{H_i/N_i} ) \\ n = n_0 + \alpha \frac{2a}{\pi} \sin^2 ( \frac{\pi}{2} \frac{H_0/N_0}{H_i/N_i} ) \Sigma (T_i - T_0) \end{array} \right. \quad (3)$$

$$\left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} n = n_0 + \alpha \frac{2a}{\pi} \sin^2 ( \frac{\pi}{2} \frac{H_0/N_0}{H_i/N_i} ) \Sigma (T_i - T_0) \quad (4)$$

$\Sigma (T_i - T_0)$  est la somme de degrés-jour et  $n$  le nombre de nœuds ou feuilles au début de la floraison ;  $k_0$  et  $n_0$ , la somme de degrés-jour et le nombre de nœuds correspondant à la phase juvénile de la plante.

L'expérience vérifie bien ces relations théoriques, pour un sorgho par exemple, comme le témoignent les ajustements de courbes de la figure 4.

### Conclusion

Le système de « période fréquentielle de végétation » facilite notamment la recherche de l'ajustement, statistiquement le meilleur pour le rendement, du cycle d'une culture. Ne permettrait-il pas aussi de caler ce cycle à l'égard du développement d'un parasite dont le propre cycle pourrait être décrit selon les mêmes principes ?

### A Frequential Model of Physiological and Morphogenetic Development of the Vegetative Plant

A frequential model is presented for the entire vegetative period of a crop in relation to climate. It is mainly aimed at optimal fitting of the development cycle of individual cultivars within the growing season. If temperature variability between years is great, the duration of growth cycles is best expressed not in numbers of days but in degree-day sums. It is possible to estimate degree-day sums and number of leaves at flowering in photoperiodic cultivars from formulae based on the modelling on the endogenous circadian rhythm of the plant in relation to the exogenous day/night oscillation.

#### ЧАСТОТНАЯ МОДЕЛЬ ФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО И МОРФОГЕНЕТИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ РАСТЕНИЯ

В статье представлена глобальная частотная модель климатического периода произрастания различных культур. Модель применима, в частности, для регулирования внутри конкретного сезона циклов развития различных сортов. При высокой межгодовой изменчивости температур необходимо производить оценку продолжительности циклов развития, но не по числу суток, а по сумме градусов-суток. Сумма градусов-суток и количество листьев в начале периода цветения на фото-периодических сортах могут оцениваться с помощью специальных формул, разработанных для моделирования взаимодействия между экзогенным ритмом (день-ночь) и циркадным эндогенным ритмом растения.

#### BIBLIOGRAPHIE

- FRANQUIN, P. (1981). Modèles fréquentiels de la période climatique de végétation. Potentialités culturales. Actes du 9<sup>e</sup> Colloque d'Informatique et Biosphère, Paris, 1981 : 127-155.  
FRANQUIN, P. (1982). Statistical models of the climatic growing period. Actes du First Inter-American Symposium on Agro-Climatic Modeling, Caracas, 1981 (sous presse).