

# Agroclimatologie et agrométéorologie en zone tropicale sèche d'Afrique

P. FRANQUIN (1)

**RÉSUMÉ** — Tandis que l'agroclimatologie est définie comme l'application à l'agriculture, en temps différé, de l'information historique, de caractère statistique, qui renseigne notamment sur le risque climatique et vise la planification des opérations, l'agrométéorologie est l'application en temps réel de l'information actuelle qui vise directement les opérations. Sont évoquées ici certaines conditions de l'assistance météorologique à la pratique agricole, par voie d'avertissements et de recommandations, en même temps que sont proposées des voies de recherche en la matière.

**Mots clés** : Agroclimatologie, agrométéorologie, temps réel, temps différé, planification, pratique agricole, calendrier cultural, suivi agrométéorologique.

Certes, les lois de développement et de croissance des plantes restent identiques sous toutes latitudes et longitudes, qu'il s'agisse de conditions climatiques ou de conditions édaphiques. Si, fondamentalement, il n'y a donc bien qu'une biométéo-climatologie, par contre son application à l'agriculture, l'agrométéo-climatologie, doit s'ajuster aux normes de conduite des cultures dont la spécificité tient aux climats, aux sols et aux moyens techniques des hommes.

En milieu tropical, généralement, et singulièrement en zone sèche, les éléments du climat sont plus extrêmes, les sols plus fragiles, les hommes plus démunis qu'en régions tempérées. Ces réalités ont dicté les caractéristiques des systèmes traditionnels d'exploitation des ressources naturelles. En régions semi-arides tropicales, ces systèmes ont été façonnés ancestralement en vue de minimiser un risque climatique majeur et permanent, assurant la survie des populations, sauf en cas d'extrême sécheresse, comme on le voit depuis le début des années 1970. Que ces systèmes aient été conçus afin de répondre à l'éventualité d'une campagne agricole météorologiquement défavorable explique que, dans les meilleures années, les rendements restent pour le mieux médiocres.

Ils restent d'ailleurs médiocres quoi que l'on ait tenté ou réalisé dans les domaines du matériel biologique et du sol. On sait aujourd'hui que la « révolution verte » exige ressources physiques et économiques et aussi technicité. On ne saurait non plus proposer des cultivars adaptés à des conditions édapho-climatiques, physio-climatiques et parasito-climatiques que l'on connaît trop mal. Par

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

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

N° : 18655, ex 1 30

Cote : B Date : 870127

exemple, à l'égard d'un même cultivar, la période physique de végétation pourra être de durée différente, toutes autres choses identiques, selon que le sol est lourd ou léger. Un minimum d'interdisciplinarité en matière de recherche éviterait ce genre de discordance.

Pour le sol, on a déjà investi beaucoup de moyens dans sa connaissance, son inventaire, son amélioration, son enseignement. Beaucoup d'espoir aussi. Or, il n'est que de visualiser les séries chronologiques de rendements pour constater que — en zone sèche du moins — de 1965 à 1976 pour le mil et le sorgho (fig. 1), de 1960 à 1976 pour l'arachide (fig. 2), l'accroissement moyen du rendement est nul ; et ce, même dans les années 1960 à 1968, climatologiquement favorables, en ce qui concerne l'arachide. Le rendement est limité par la lame pluviale des années sèches ; dans les années les plus humides, le rendement ne dépasse pas, en moyenne, 700 kg/ha pour les céréales, 700 à 1 300 kg/ha selon les pays pour l'arachide, limité qu'il est par la technique du système de culture. Selon la loi du facteur limitant, on ne peut tirer le meilleur parti du sol ni des cultivars sans tirer le meilleur parti du climat. Et vice versa.

## Météorologie et climatologie en pratique culturale

Tirer le meilleur parti du climat, c'est-à-dire de l'information qui s'y rapporte, est d'ailleurs à réaliser à tous les échelons de l'agriculture, depuis celui des services ministériels jusqu'à celui de la pratique agricole, horizontalement et verticalement, y compris donc recherche, enseignement et formation. Mais il convient, à tous ces échelons, de distinguer, dans la perception et l'application de cette information, le « temps réel » de la météorologie du « temps différé » de la climatologie. Cette distinction quant à la nature de l'information est fondamentale concernant les objectifs et les méthodes.

## Agrométéorologie et agroclimatologie

L'agroclimatologie est l'application à l'agriculture, en temps différé, de l'information de nature climatologique, statistique, qui s'accumule avec le temps ; cette information renseigne notamment sur le *risque climatique* et s'adresse surtout à la planification de toutes les activités

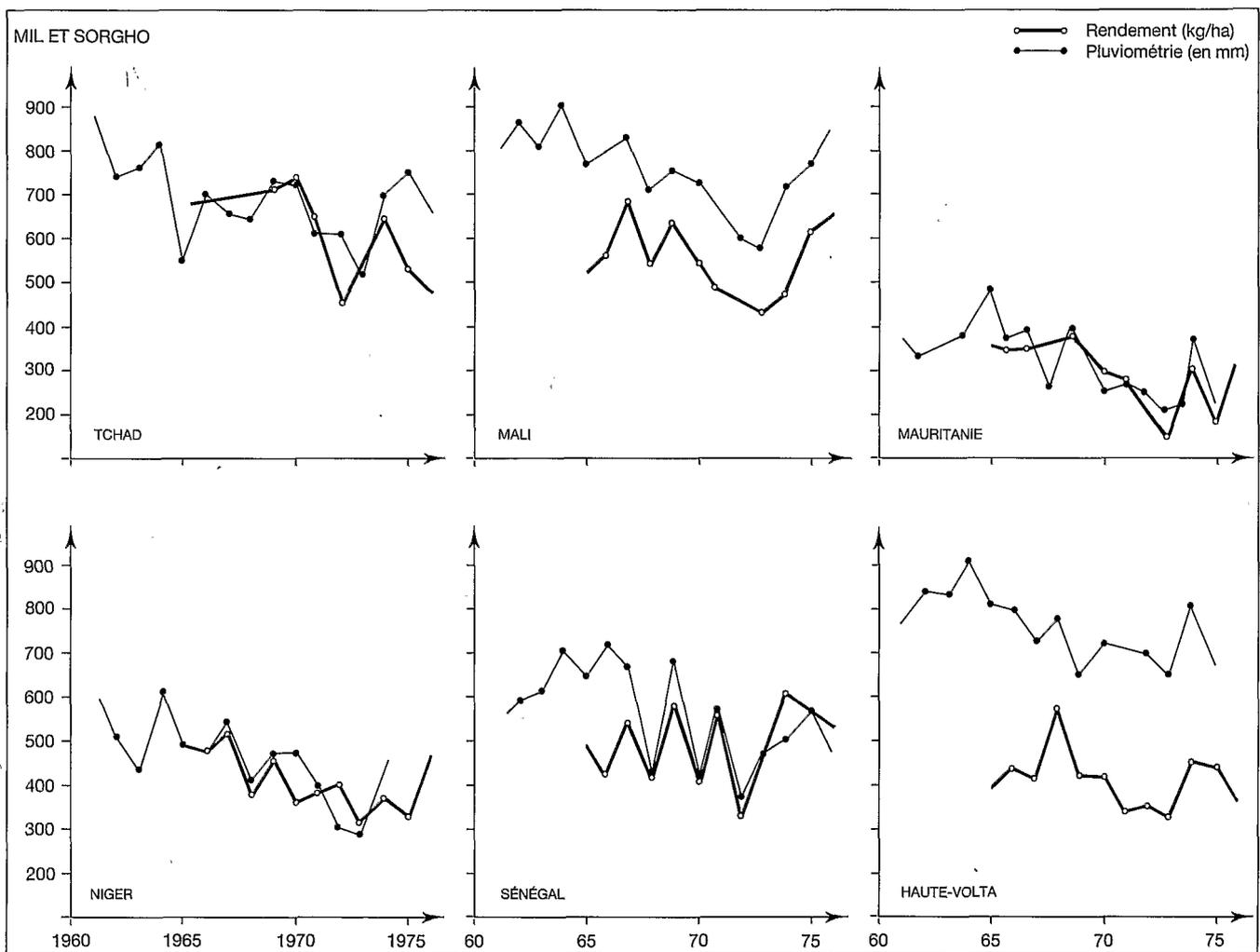


Fig. 1 : Séries chronologiques de rendements de mil et sorgho (en mélange) et de pluviométries (données de la FAO communiquées par l'OCDE).

de caractère agricole à tous les niveaux : du niveau national (services ministériels) au niveau cultural (pratique agricole), en passant par les niveaux régionaux et par ceux des services spécialisés, de la recherche, de la vulgarisation, de l'encadrement...

Les méthodes de l'agroclimatologie procèdent généralement au moyen d'outils informatiques (produits de modélisation), par traitements statistiques, fréquentiels, des éléments climatiques (pluie, température, insolation, etc.) et de leurs dérivés (bilans, déficits, indices, relations, formules, etc.), lesquels sont à la base de la description du milieu et de l'évaluation des besoins et des disponibilités (potentialités).

L'agrométéorologie est l'application à l'agriculture, en temps réel, de l'information de nature météorologique, synoptique spatialement, relative au temps actuel et, si possible, au temps à venir. Cette information ponctuelle dans le temps perd progressivement son intérêt opéra-

tionnel pour se rattacher finalement à l'information climatologique.

Car la météorologie vise les opérations de l'agriculture, aux mêmes niveaux des mêmes activités de l'agriculture que la climatologie. Mais on ne s'arrêtera ici qu'au dernier échelon, celui de la pratique agricole, où se réalise la production et où se fait finalement l'impact de toute planification, de toute recherche, de toute organisation, en somme de toute décision.

En pays en développement surtout, le niveau le plus critique est là, au ras du sol, soit que l'information n'y parvienne pas, soit qu'elle n'y passe pas, qu'elle soit d'ailleurs climatologique ou météorologique. Et c'est, par exemple, la raison d'être d'AGRHYMET, au Sahel, que de collecter, de traiter, diffuser l'information en temps réel dans tous les compartiments de l'agriculture, en visant finalement les opérations de la pratique agricole, car le programme AGRHYMET a pour fin, avant tout, l'agrométéorologie opérationnelle.

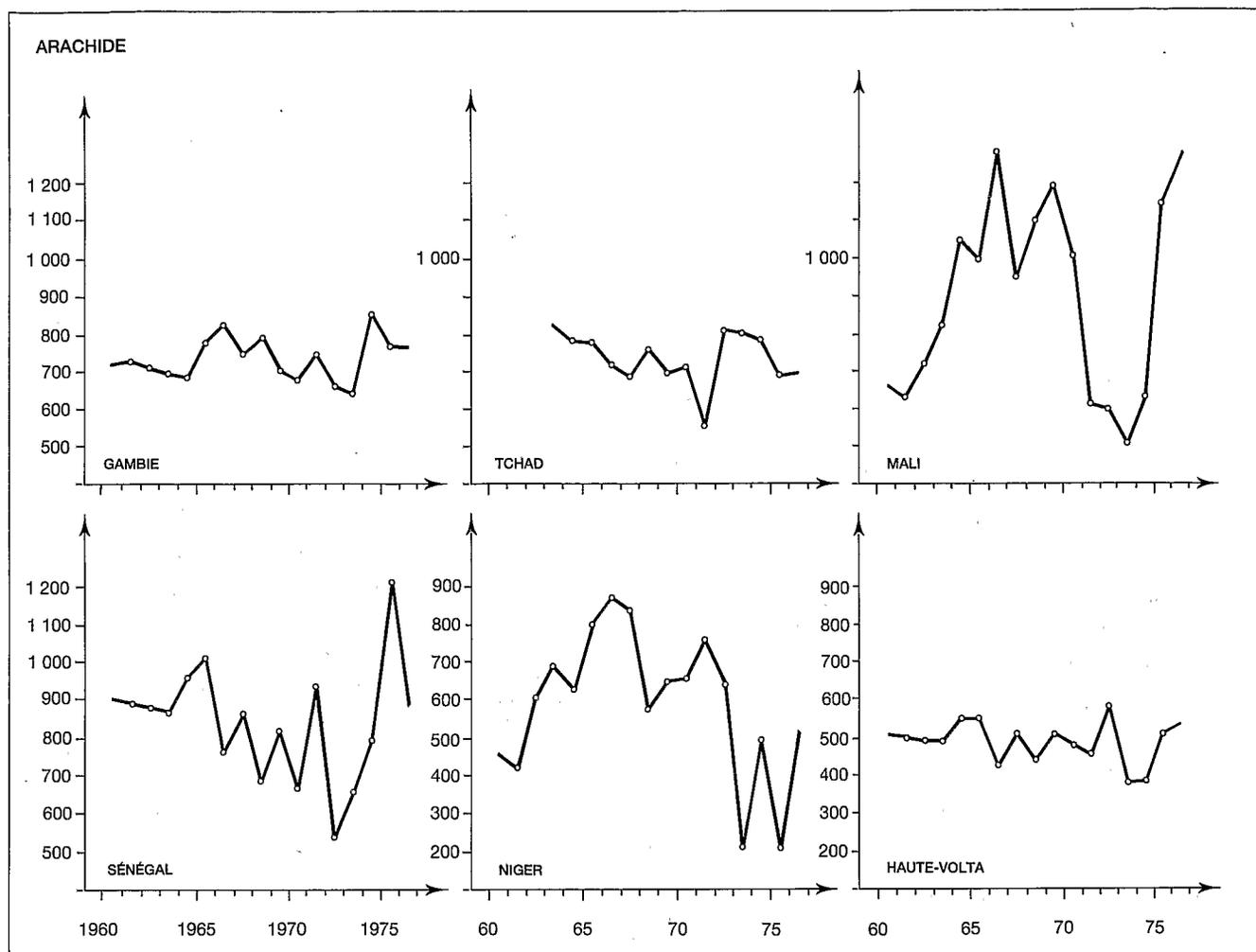


Fig. 2 : Séries chronologiques de rendements d'arachide (données de la FAO communiquées par l'OCDE).

En fait, information climatologique et information météorologique bénéficieront d'un effet synergique à converger et interférer au plan de la pratique agricole, où se pose le problème d'un calendrier cultural, lequel doit d'abord avoir été planifié puis devra être appliqué en temps réel, compte tenu de la situation météorologique au jour le jour, et ce avec la moindre improvisation.

### Planification et exécution du calendrier cultural

On a déjà une expérience partielle, fragmentaire de la planification du calendrier cultural. Il conviendrait d'étendre ce calendrier planifié, que l'on dira « indicatif », à l'ensemble intégré du système de culture, encore que cette planification ne soit jamais achevée, compte tenu de l'expérience chaque année acquise de l'interaction entre planification et application. Pour ce faire, bien

des méthodes de traitement des données climatologiques ont été proposées afin de situer dans le temps des jours de travail, des dates de plantation, des calages de cycles de cultivars, etc. On ne fait même que cela et sans plus.

Or l'application en temps réel, dans le cadre de l'année en cours et en rapport avec l'occurrence météorologique au jour le jour, de ce calendrier cultural indicatif devrait être subordonnée à des règles d'expérience qu'il serait temps d'établir. Nulle recherche, du moins systématique semble-t-il, n'a été programmée dans ce sens. Cette recherche relève de la question générale suivante : comment, par voie d'avertissements et de recommandations diffusés en temps réel au ras du sol, transformer l'information (une certaine forme d'énergie) en surplus de produits agricoles ?

En vérité, tout n'est pas à inventer, car l'agrométéorologie, telle qu'elle est ici circonscrite, trouve déjà des applications en défense des cultures et en culture irriguée.

## Suivi agrométéorologique des cultures

Irrigation et protection des cultures reposent sur un suivi : « un suivi agrométéorologique » (agronomique et météorologique) paraît être une condition *sine qua non* de l'application de l'information météorologique. C'est la base d'un diagnostic (comme d'ailleurs d'un pronostic) générateur de décisions et aussi de questions qui interpellent l'agrométéorologue et, à travers lui et rétroactivement, l'agroclimatologue, le dialogue entre ces deux spécialistes (en une seule et même personne éventuellement) étant indispensable. Ce suivi devrait privilégier l'observation micrométéorologique dans le couvert végétal, en rapport avec la pression de compétition pour l'eau, le microclimat étant évidemment déterminant de la productivité et pouvant justement être modifié par la conduite de la culture. Le suivi agrométéorologique est donc lui-même objet de recherche.

Et il s'impose à l'agrométéorologue d'être présent sur le terrain, dans le cadre d'un système de culture intégré, au contact des autres chercheurs impliqués dans cette intégration. Il y assure le suivi agrométéorologique au jour le jour, pour la réalisation du calendrier cultural indicatif, soumettant par ailleurs à l'expérimentation avertissements et recommandations, si possible à la fois en conditions réelles et en conditions optimales de station. Ces considérations se rapportent à la culture irriguée comme à la culture strictement pluviale.

## Organisation et structures

Il doit être bien entendu que l'application au ras du sol de l'information, qu'elle soit météorologique ou climatologique, exige l'existence et le fonctionnement effectif de structures relevant de l'agriculture et de la météorologie, organisées et coordonnées pour produire, centraliser, contrôler, traiter, interpréter, diffuser cette information. Une telle organisation est concevable à toutes échelles spatiales, qui peuvent être emboîtées, de celle du périmètre d'un projet à celle d'un territoire national.

Elle se trouve par exemple concrétisée — plus ou moins parfaitement mais perfectible — dans chacun des pays du Sahel relevant du CILSS. Cette organisation est celle du programme AGRHYMET. Débordant les frontières de chacun de ces pays, elle les intègre dans un vaste cadre géographique dit « régional » (du Cap-Vert au Tchad), centralisé à Niamey (Niger). Cette région s'intègre elle-même dans le mouvement général de la circulation atmosphérique au-dessus de l'Afrique occidentale.

Dans chacun des pays concernés devrait être programmée une « opération-pilote », banc d'essai destiné à tester finalement avant diffusion, en conditions réelles auprès de paysans intéressés, avertissements et recommandations proposés par une recherche relative à la planification du calendrier cultural et à sa réalisation en rapport avec la météorologie.

## Propositions de recherche

### Stratégie et tactique

Concernant la zone tropicale semi-aride, la stratégie de la pratique agricole — et donc celle de la recherche s'y rapportant — doit être une stratégie de « culture sèche » (*dry farming* ne comportant pas nécessairement une jachère nue), c'est-à-dire tendant à transformer en produits la totalité de la lame pluviale, ce qui n'est pas le cas actuellement, les pratiques culturales y différant peu de celles de la zone humide. On ne s'étendra pas sur ce point, pourtant capital.

Dans le cadre de cette stratégie de conversion en évapotranspiration réelle de la lame pluviale totale — ce dans l'objectif d'obtenir le maximum de produits agricoles utiles —, la tactique devrait prendre en considération deux catégories de recherche, catégories entre lesquelles la frontière n'est pas immuable, selon les circonstances et notamment l'importance des disponibilités hydriques.

La première catégorie est celle des recherches, de caractère classique en culture sèche, qui se rapportent aux opérations culturales relativement invariables dans leurs modalités d'application ; ces opérations seront programmées dans le calendrier cultural de façon relativement identique quelles que soient les circonstances météorologiques de l'année. Elles concernent surtout la préparation du sol et son entretien : aménagement de la surface du sol contre tout ruissellement, notamment au début des pluies ; labours de fin ou de début de saison ; sarclages et binages, mulch éventuellement, etc. Elles concernent aussi la séquence des cultures dans le temps — y compris éventuellement, en zone sub-aride, la jachère plus ou moins nue — dans ses effets sur l'humidité résiduelle du sol. On peut ranger encore dans cette classe les recherches relatives à la sélection et au calage (date de semis) des cultivars, photopériodiques ou non, résistants à la sécheresse et notamment de durée de cycle bien adaptée à la variabilité de durée et de position de la période physique de végétation. On ne se contentera pas de tester les objets en comparaison sur la seule base du niveau de rendement en fin de campagne : la comparaison reposera pour beaucoup sur la pratique codifiée du suivi agrométéorologique de la culture en question.

La deuxième catégorie est celle des recherches, de caractère moins classique, qui visent à donner au paysan, à partir de recommandations, la possibilité d'intervenir, selon la situation météorologique, quant aux modalités de réalisation de certaines opérations culturales. Ces opérations sont capitales et déterminantes en ce que, placées dans la première phase de développement de la culture, elles en engagent le devenir. On pourrait qualifier cette tactique de « flexible », selon l'exemple qui en est donné dans une étude récente au Kenya (STEWART et HASH, 1982).

Selon cet exemple, la question peut se poser comme suit : la date de semis étant ce qu'elle est (aussi précoce que possible) dans les conditions météorologiques de la campagne qui s'ouvre, que devront être : les proportions relatives de culture pure et de culture associée (mil, sorgho ou maïs avec niébé) ? les densités de plantation ? la fumure minérale (en nature et en distribution) ?

Tout en minimisant à l'extrême (5 %) le risque d'un échec grave (au demeurant inévitable en cas de sécheresse extrême), il s'agit de faire un pari sur le devenir de la campagne en cours. Ce pari, qui reste prudent, se fonde sur ce que l'on peut prévoir, en termes probabilistes, du développement à long terme de la situation météorologique ; ceci à partir d'analyses statistiques de la pluviométrie et du bilan hydrique, et compte tenu de l'occurrence météorologique. Si le pari est gagné, le rendement sera multiplié par deux, trois... S'il est perdu, on se contentera de la médiocrité actuelle de la productivité, compte tenu, bien sûr, de la perte d'énergie dépensée.

En cas, en effet, de faible compétition pour l'eau (parce qu'elle est suffisante), densité et fumure fortes, opportunément ajustées, manifesteront leur potentialité. Par contre, pour une même ETR limitée par une ressource en eau insuffisante, la production de matière sèche reste identique quelle que soit la densité de plantation, mais avec des proportions de matières sèches, brute et utile, (grain) bien différentes selon l'importance de la transpiration des plants individuels. Il convient donc d'ajuster au mieux et opportunément la densité : la pression de compétition des individus pour l'eau sera l'objet d'une attention étroite lors du suivi agrométéorologique, surtout dans la première phase de développement de la culture. La densité maximale de plantation (selon le cultivar, sa durée de cycle, sa taille, son tallage, etc.) ayant été réalisée au semis, on la réajustera compte tenu des situations météorologiques en cours et à venir, dans les cinquante jours en moyenne nécessaires à une culture pour couvrir le sol. De même, on pourra limiter ou augmenter et fragmenter la fumure minérale (pour N tout au moins). Le pari sera peut-être plus difficile à gagner concernant les proportions de cultures pure et associée. Enfin, binage et sarclage peuvent entrer encore dans cette catégorie d'opérations culturales de modalités d'application flexibles.

## Prévision

Il n'est pas illusoire d'espérer prédire qualitativement, mais en termes probabilistes, l'importance (faible, moyenne ou forte) de la lame pluviale à venir, à partir des lames pluviales relevées en début de saison. C'est là un champ d'investigation qui n'a que peu été exploré. Par exemple, à Dori (fig. 3), au Sahel voltaïque, la lame médiane sur 60 ans est de 500 mm (sigmoïde T), et les lames médianes des mois de mai et juin sont respectivement de 20 mm et 60 mm. On peut montrer que la tendance à la sécheresse ou à la pluie de la campagne s'établit dès les mois de mai et de juin.

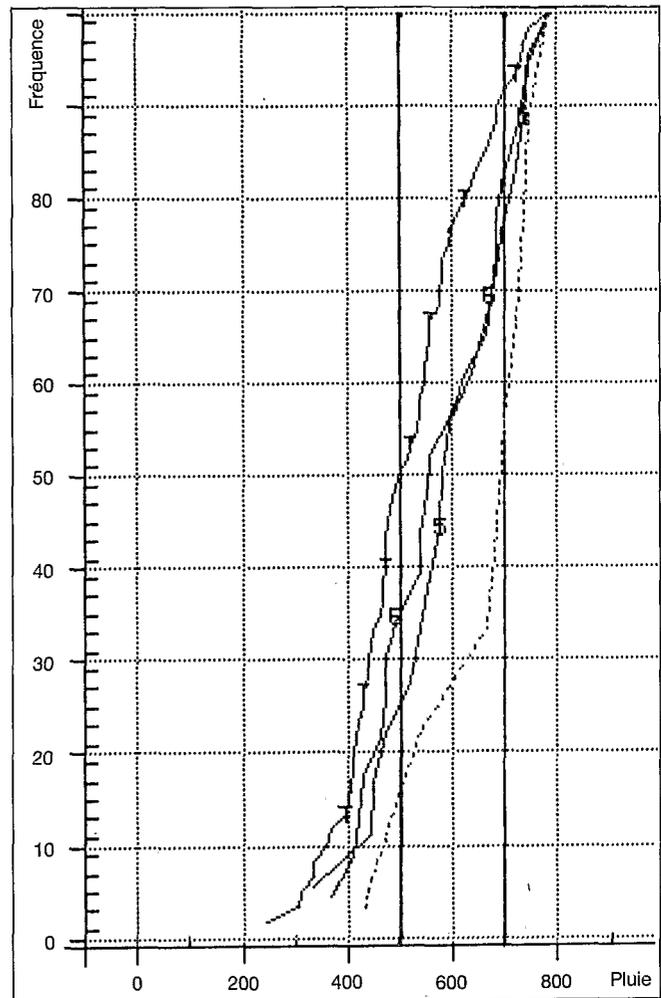


Fig. 3 : Courbes sigmoïdes de fréquences cumulées des pluviométries annuelles à Dori, selon logiciel ORPRED. La sigmoïde T se rapporte aux 60 ans de l'échantillon pluviométrique ; la sigmoïde 5 aux 18 ans pour lesquels mai est d'au moins 33 mm ; la sigmoïde 6 aux 23 ans pour lesquels juin est d'au moins 70 mm ; enfin la sigmoïde en pointillés aux 9 ans (seulement) pour lesquels mai et juin sont respectivement d'au moins 33 et 70 mm.

La probabilité, pour les années (45 % des 60 ans) dont le mois de mai est d'au plus 20 mm, de recevoir au plus 500 mm (médiane générale) passe de 50 à 70 % ; la probabilité, pour les années (50 %) dont le mois de juin est d'au plus 60 mm, de recevoir au plus 500 mm est de 67 % ; et la probabilité, pour les années (30 %) dont à la fois mai et juin sont au plus égaux à leur médiane, de recevoir au plus 500 mm est de 72 %.

Inversement, pour les années (50 % des 60 ans) dont le mois de mai est d'au moins 20 mm, la probabilité de recevoir au moins 500 mm est de 70 % ; pour les années (52 %) dont le mois de juin est d'au moins 60 mm, la probabilité de recevoir au moins 500 mm est de 65 % ; et la probabilité, pour les années (32 %) dont à la fois mai et juin sont au moins égaux à leur médiane, de recevoir au moins 500 mm est de 84 %.

Plus précisément, supposons une année dans laquelle mai et juin ont reçu 33 et 70 mm, soit plus que leur

médiane (20 et 60 mm). On constate que : pour les années (30 % des 60 ans) dont mai est d'au moins 33 mm (sigmoïde 5), la probabilité de recevoir au moins 500 mm (médiane générale) passe à 75 % ; pour les années (38 %) dont le mois de juin est d'au moins 70 mm (sigmoïde 6), la probabilité de recevoir au moins 500 mm est de 66 % ; et pour les années dont à la fois mai et juin sont respectivement d'au moins 33 et 70 mm (15 % seulement, sigmoïde en pointillé), la probabilité d'au moins 500 mm passe à 89 % et leur médiane est de 700 mm. Ou encore, celle de 400 mm (limite inférieure des années moyennes) passe de 87 à 100 %. Il va sans dire qu'il convient encore de compter avec les erreurs qui affectent ces pourcentages.

L'information prédictive tirée de cette méthode d'approche globale, synthétique, peut être recoupée par celle donnée par une approche de caractère au contraire analytique. Cette dernière consiste à tracer et lister, à partir de chacune des décades présumées de semis d'un cultivar, chacune des courbes de pluie cumulée de 10 en 10 jours, afin d'en observer la cinétique durant, par exemple, les 100 jours du cycle d'un mil, sorgho, maïs non-photopériodique. On constate alors, à Dori, que :

– toutes les courbes initiées en M3 et J1 (3<sup>e</sup> décade de

mai et 1<sup>re</sup> de juin), au nombre de 13 sur 60 (près de 1 sur 5), atteignent ou dépassent 400 mm à 100 jours (400 mm = 80 % environ de l'ETM). Celles, parmi elles (10 sur 13), qui dépassent 200 mm à 50 jours, ont 80 % de chances de dépasser 500 mm (100 % de l'ETM), dont 4 dépassent 600 mm ;

– des 12 courbes initiées en J2, 2 seulement, qui ne dépassent pas 200 mm à 50 jours, n'atteignent pas 380 mm ;

– des 10 courbes initiées en J3, 9 dépassent 400 mm, dont 2, qui dépassent 200 mm à 40 jours, atteignent au moins 500 mm ;

– des 14 courbes initiées en Jt1, 4 restent inférieures à 400 mm, dont 3 n'atteignent pas 200 mm à 40 jours ; 3 dépassent 500 mm ;

– des 11 courbes (près de 1 sur 5) initiées en Jt2 et Jt3, la moitié terminent à 100 jours entre 300 et 400 mm, l'autre moitié entre 200 et 300 mm (il y aurait lieu de planter ces années là un cultivar de 90 ou 80 jours).

Une troisième voie encore, qui intègre en termes de bilan hydrique la capacité de rétention d'eau du sol, consiste à caler le cycle de développement du cultivar dans le cadre de la période fréquentielle de végétation (FRANQUIN, 1981), telle qu'elle est représentée en figure 4. Selon la date de semis, de M3 à Jt3, la probabi-

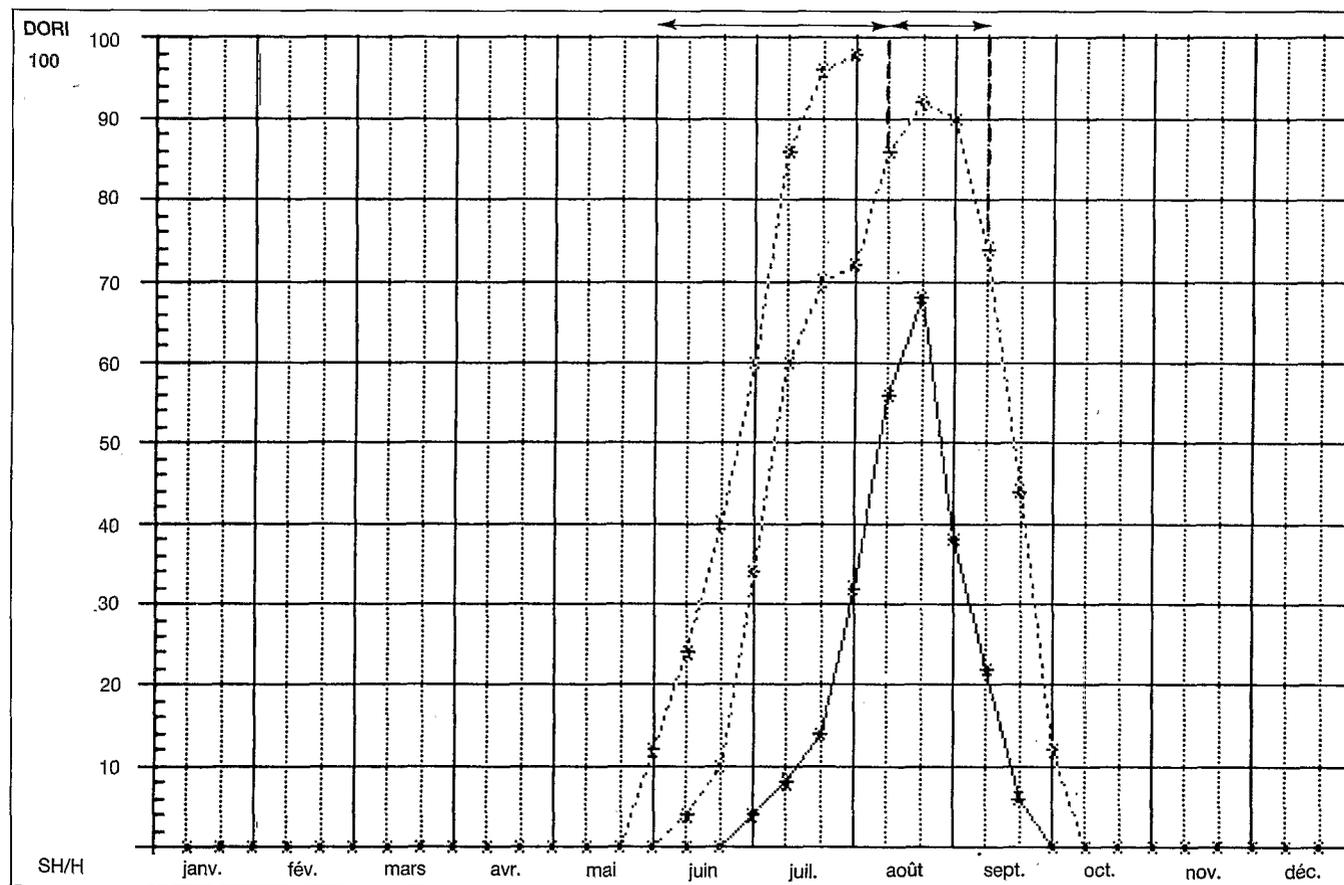


Fig. 4 : Période fréquentielle de végétation à Dori, selon logiciel ORPFVA. En RU 100 mm, le polygone interne délimite en fréquence la période de l'année pour laquelle ETR/ETP est égale ou supérieure à 0,90 ; le polygone externe, la période pour laquelle ETR/ETP est égale ou supérieure à 0,50.

lité, sur RU de 100 mm par exemple, et à 70 jours (début de maturation), d'une disponibilité hydrique ETR/ETP supérieure à 0,50 est la suivante : pour M3, 86 % ; pour J1 et J2, 90 %, pour J3, 74 % ; pour Jt1, 44 % ; pour Jt2, 12 % ; pour Jt3, 0 %.

Sur la base de l'ensemble des informations tirées de ces multiples approches (et d'autres à imaginer), on décidera de la densité de plantation, à 50 jours au plus tard, comme de la fumure minérale en cours de saison, comme des binages et sarclages selon les circonstances, etc.

La seule alternative à cette nécessité d'une tactique flexible, dont l'application au Sahel serait rendue plus aisée dans le cadre du programme AGRHYMET, est celle de la culture irriguée, laquelle ne doit pas se concevoir en termes classiques, c'est-à-dire visant, sinon le rendement maximal, du moins le rendement économiquement optimal. Dans les circonstances où l'eau est rare et le rendement très aléatoire, il ne peut s'agir de l'irrigation de sécurité : un seul apport d'eau complémentaire aux pluies, de quelques dizaines de millimètres, opportunément placé, peut sauver la culture et régulariser le niveau des récoltes.

C'est dans cette optique qu'il serait intéressant d'utiliser les eaux souterraines, celles des mares naturelles, et les eaux de ruissellement de bassins versants retenues par de petits barrages. Et c'est donc dans cette perspective qu'il conviendrait de programmer dès à présent une expérimentation à conduire à la fois en conditions optimales et en conditions réelles.

---

## Conclusion

Sans pour autant délaisser le domaine agroclimatologique (les deux voies sont complémentaires), il est urgent de passer aux recherches et aux applications de caractère agrométéorologique, particulièrement au plan de la pratique agricole où se fait finalement l'impact de toute décision, qu'il s'agisse de mesure planificatrice ou de mesure opérationnelle. Les structures d'organisation et de coordination mises en place récemment à ces fins ne pourront longtemps assurer leurs fonctions d'assistance météorologique à l'agriculture sans trouver dans une recherche appropriée aux objectifs les éléments de base fondant avertissements et recommandations.

*Reçu le 11 mai 1984.  
Accepté le 24 juillet 1984.*

---

## Références bibliographiques

FRANQUIN P., 1981. Modèles fréquentiels de la période climatique de végétation. Potentialités culturales. In : Actes du neuvième colloque Informatique et Biosphère, Paris, p. 127-155.

STEWART I.J., HASH C.T., 1982. Impact of weather analysis on agricultural production and planning decisions for the semi-arid areas of Kenya. J. Appl. Meteorol., 21 (4) : 477-494.

---

## Summary

FRANQUIN P. – Agroclimatology and agrometeorology in dry tropical Africa.

Whereas agroclimatology is defined as the application to agriculture, in deferred time, of historical information of a statistical nature, giving information more particularly about climatic hazards and directed towards operation planning, agrometeorology is the application in real time of present information directly related to operations. Here the author outlines some conditions of meteorological assistance to agriculture through warning and recommendations and suggests research lines in this field.

**Key words :** Agroclimatology, agrometeorology, real time, deferred time, planning, agriculture, cropping calendar, agrometeorological monitoring, competition.

---

## Resumen

FRANQUIN P. – Agroclimatología y agrometeorología en zona tropical seca de Africa.

Mientras que la agroclimatología se define como la aplicación a la agricultura, en tiempo diferido, de la información histórica, de carácter estadístico, que informa entre otras cosas acerca del riesgo climático y tiene por objeto la planificación de las operaciones, la agrometeorología es la aplicación en tiempo real de la información actual que tiene directamente por objeto las operaciones. Lo que aquí se evoca son ciertas condiciones de la asistencia meteorológica a la práctica agrícola, por medio de avisos y de recomendaciones, y se proponen al mismo tiempo vías de investigación en esa materia.

**Palabras-clave :** Agroclimatología, agrometeorología, tiempo real, tiempo diferido, planificación, práctica agrícola, calendario de cultivos, vigilancia agrometeorológica, competición.