

FLUCTUATION CLIMATIQUE ET VARIABILITÉ INTERANNUELLE DES CULTURES DANS UN ESSAI D'ASSOLEMENT À LONG TERME EN RCA

Robert MOREL, Michel BRAUD et Paul QUANTIN

Résumé

Des essais agricoles sur une longue durée en République Centrafricaine avaient été interprétés seulement en relation avec l'évolution des propriétés du sol (Morel & Quantin, 1972). Ils ont montré qu'une longue jachère n'est pas nécessaire pour restaurer la fertilité du sol, parce que les propriétés du sol peuvent être stabilisées pour maintenir un bon rendement des cultures. Cependant nous tentons ici d'expliquer la variabilité interannuelle des rendements par les fluctuations climatiques. Le régime des pluies et la réserve en eau utile du sol ne peuvent expliquer complètement cette variabilité des productions. Il est nécessaire de prendre en compte d'autres paramètres climatiques, tels que : l'insolation pour l'arachide, l'engorgement hydrique du sol pour le cotonnier, ou le cumul des températures effectives pour le maïs.

Mots-clés

Arachide, coton, maïs, riz, excès d'eau, insolation

Abstract

Agricultural trials on a long time in the Central Africa Republic were interpreted only from the evolution of soil characteristics (Morel & Quantin, 1972). They showed that a long fallow is not necessary to restore the soil fertility because the soil properties can be sufficiently stabilized to maintain good crop. However in this paper we will attempt to explain the annual yield variations from climatic fluctuations. Nevertheless the rainfall regime and the groundwater balance cannot completely explain the crop variations. It is necessary to take into account other climatic parameters, like: the sunstroke for peanut crop, the groundwater logging for cotton plant growth, or the cumulative effective temperature amount for maize crop.

Keywords

Peanut, cotton, maize, rice, water excess, sunshine

INTRODUCTION

Sur la station de Grimari (Figure 1) des mesures ont été faites de 1950 à 1968 pour suivre l'évolution de la fertilité des sols tropicaux. Après la mise en oeuvre de pratiques anti-érosives un protocole d'essai a été mis en place à partir de 1954. Le climat est assez régulier de type tropical humide soudano guinéen avec une saison sèche de quatre mois, du 15 novembre au 15 mars avec moins de 50 mm par mois. On observe souvent une période aride de un à deux mois. L'harmattan peut se faire sentir quelques semaines à partir du 15 décembre. Les pluies commencent par intermittence dès le mois de mars, mais elles ne s'installent de façon régulière qu'en juillet pendant trois mois avec plus de 200 mm/mois. Les sols ferrallitiques sur une roche mère de gneiss calco-alcalins à deux micas ont une bonne fertilité potentielle initiale

(Quantin, 1965). Avec la croissance démographique on tend à l'intensification des cultures, au raccourcissement de la durée des jachères. Il était nécessaire d'observer l'évolution du niveau de productivité des cultures.

I. LA PROBLÉMATIQUE

Dans son cours au Muséum, Roland Pörtères montre l'équilibre entre les cultures et le milieu écologique. Les champs itinérants se déplacent sans cesse et les durées de jachères sont souvent longues. Mais deux phénomènes perturbent ce tableau : les feux de brousse et l'érosion des sols. Les feux obèrent la reconstitution de la jachère et modifient la biodiversité mais ils peuvent être contrôlés sous forme d'écobuage précoce. Les pluies jouent un rôle primordial : l'intensité des précipitations entraîne des ruissellements source d'érosion, la durée

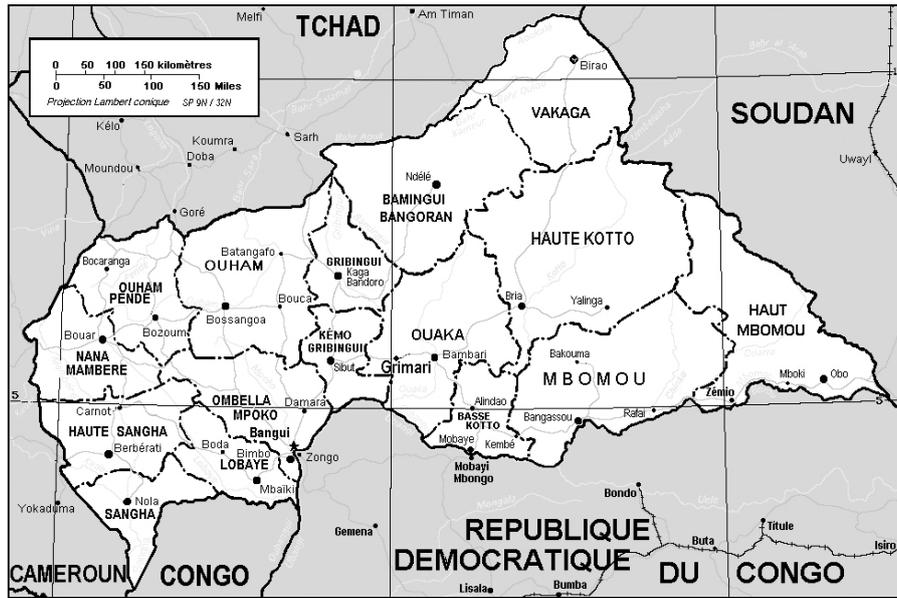


Figure 1. La République Centrafricaine et localisation de la station de Grimari. *The Central Africa Republic and localization of the Grimari experiment station*

de la saison sèche doit théoriquement fixer le temps de jachère avec une année par mois de sécheresse. Avec le développement des cultures de rente les terres ont été exploitées plus longtemps. La fixation des champs, qui sont de moins en moins itinérants, a raccourci la jachère. Les techniques agricoles proposées devaient permettre le maintien de la fertilité avec le préalable obligatoire de dispositions anti-érosives, En s’inspirant des expériences anglaises et belge en Afrique orientale et au Congo, divers dispositifs anti-érosifs ont été mis en place sur la station voisine, à Bambari (Braud & Errath,1966). Des observations et leurs mesures ont été entreprises, avec la mise en place progressive d’une expérimentation agronomique avec ses répétitions. L’agriculture traditionnelle a été prise comme témoin. Elle fut comparée avec une agriculture mécanisée (labours, sarclages) avec mesures anti-érosives, fertilisation minérale et (ou) organique et une exploitation semi intensive avec jachères ou engrais vert, ou intensive avec

exploitation continue. Cinq rotations culturales testées avec des durées de repos (jachères) variables constituèrent la trame expérimentale. Neuf plantes cultivées furent retenues mais ici nous n’avons sélectionné que les plus courantes dans le pays : le cotonnier, le maïs, l’arachide et le riz pluvial. Les récoltes de ces cultures sont très variables dans l’année ce qui montre l’hétérogénéité des parcelles expérimentales. Globalement, en culture bien conduite, les pesées de production montrent qu’il n’y a pas diminution significative des rendements même après plus de 9 ans de culture continue. L’opinion courante sur la fragilité de la fertilité des sols africains doit donc être relativisée. Une belle démonstration en a été faite sur la station de Bambari, déjà citée, où un essai d’abord baptisé « essai d’épuisement » a dû être renommé « essai de culture continue », compte tenu de la stabilité des rendements enregistrés après une dizaine d’années. Cette stabilité peut en outre être assurée par des jachères de courte durée, entre deux cycles de cultures,

VARIATIONS pour un COTON avec fumure

VT	Totale	4459			
Vi	parc. initiales	4061	VGP grandes parcelles	3157	
			Vb blocs	664	14.67%
			Va années	661	14.82%
			e1 erreur 1	1842	
			VA emplacements	7	
			VaA emplac. x ans	300	
			Ve2 erreur 2	697	
VP	parcelles	122			
VAP	emplac x parcelle	46			
VaP	ans x parcelles	5			
VaAP	ans x emplac.x parcel	3			
Ve3	erreur 3	223			

■ variations incluant les années

■ niveaux d'erreurs

Figure 2. Exemple de répartition des variations dans une analyse d’essai. *Example of variation distribution in an analysis of test*

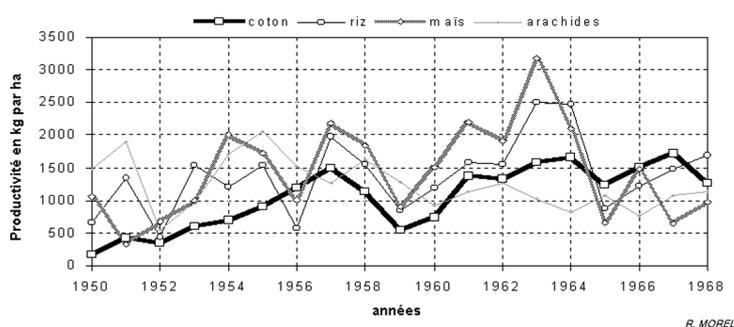


Figure 3. Évolution de l'instabilité structurale en fonction de la durée de culture. *Structural instability changes according to the cultivation time*

assurant une bonne couverture du sol (Braud, Dubernard & Fritz, 1970).

La climatologie n'a pas été prise en compte par le modèle d'interprétation statistique. En effet la variabilité annuelle n'a pas été étudiée en tant que telle. Elle avait simplement été considérée comme faisant partie de l'erreur expérimentale. Les mesures de chaque année ont été regroupées pour créer ainsi de grandes parcelles. Ces grandes parcelles permettaient de répartir les erreurs en regroupant les variations dues aux blocs et aux années, celles des emplacements et parcelles ce qui diminue l'erreur résiduelle applicable aux traitements à tester. Le mode d'analyse est complexe en raison de la subdivision des parcelles (Cochran & Snedecor, 1971). La variation totale est l'ensemble des carrés des écarts à la moyenne, dans l'exemple elle est calculée avec 180 mesures de récolte d'un coton. Dans la figure les variations sont notées avec V, les lettres suivantes rappellent les sous ensembles: ainsi VaAP représente la variation due à l'interaction années * emplacements * parcelles.

Les analyses ont permis, malgré la grande variabilité des parcelles, de mettre en évidence l'influence des façons culturales et des différentes rotations testées (Morel & Quantin, 1972). La récapitulation des sources de variations et les groupes d'erreurs (Figure 2) permettent de mettre en évidence la part des saisons (ou années) qui représentent 50% de la variation totale. La présente étude tente ici d'expliquer ces variabilités par celle du régime pluviométrique interannuel et par les autres paramètres climatiques.

II. DESCRIPTION DES DONNÉES

Cinq assolements ont été testés pendant cette étude : la culture continue et des rotations avec des temps de jachère variant de 25%, 37% et 62% de la durée de culture. L'évolution des sols a été suivie avec des mesures, à diverses profondeurs, des bases échangeables, du carbone organique, de l'azote, du rapport C/N, de l'instabilité structurale, du pH, de la granulométrie, du comportement hydrique. Nous allons rechercher comment l'ensemble de ces caractéristiques permet l'ajustement des bilans hydriques notamment par le niveau de la réserve utile.

Des fiches culturales ont permis de noter la préparation du sol, les dates de semis, les fumures, l'entretien et les pesées des récoltes parcellaires, que nous exprimons en poids par hectare. L'inventaire a été fait pour les relevés, effectués à la Station de Grimari, des paramètres climatiques de 1950 à 1971, et de la pluviométrie journalière de 1934 à 1989.

A. Les caractéristiques des sols

Ce paragraphe constitue une synthèse des résultats acquis lors de l'expérimentation. Après mise en culture mécanisée (sauf manuelle pour le témoin), avec une petite fertilisation rationnelle et des façons culturales bien contrôlées, les propriétés chimiques des sols se stabilisent (en carbone organique, azote total, bases échangeables et phosphore assimilable) à un niveau qui semble satisfaisant pour une bonne productivité (Combeau & Quantin, 1963b). La seule variation significative concerne leur structure et leur macro porosité. La macro porosité diminue fortement. Mais elle peut être améliorée ou régénérée par un labour profond avant la culture. L'instabilité structurale, exprimée par l'indice de Hénin I_s , augmente progressivement en raison de la diminution d'une certaine forme de précurseurs d'acides humiques stables (Combeau & Quantin, 1964). Il y a donc augmentation du risque de battance sous l'effet des pluies, avec diminution de l'infiltration. La stabilité structurale peut être régénérée par la mise en jachère (Figure 3, Morel & Quantin, 1964). On mesure un progrès après 2 à 3 ans de repos, sans toutefois revenir au niveau initial qui précédait la mise en culture. La stabilité structurale n'influe pas directement sur la fertilité, car sa diminution est largement compensée par l'augmentation de la macro porosité du sol après labour. La diminution de 25 à 30% du taux de bases échangeables et du carbone organique, une baisse du pH de 0,65 à 1 unité, le maintien du taux d'azote, caractérisent un nouvel équilibre conservant une bonne productivité du sol. Cet équilibre se stabilise s'il y a un bon développement des plantes avec un bon couvert végétal, s'il y a entretien du potentiel chimique et organique par le retour des résidus de récolte et une petite fertilisation. Mais la stabilité structurale participe fortement à la modification de la perméabilité et à la

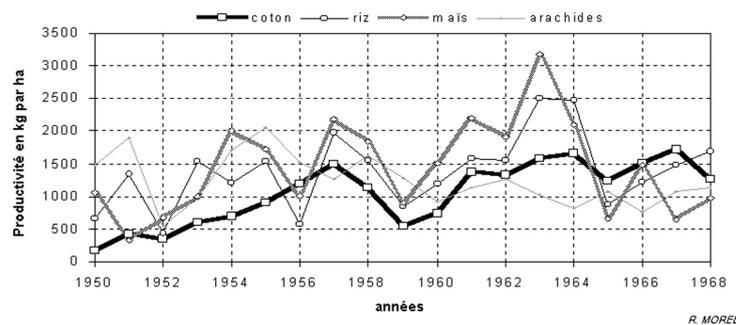


Figure 4. Variations interannuelles des rendements. *Yearly variations of crop*

capacité de rétention du sol. Il en résulte des profondeurs d'enracinement très variables. Tout ceci joue sur le niveau de la réserve maximale utile à prendre en compte dans le calcul des bilans hydriques. Par exemple le riz ou le maïs ont des profondeurs d'enracinement comprises entre 15 et 60 cm suivant l'état physique du sol. La Réserve Utile varie alors de 30 à 90 mm. Les façons culturales permettent souvent de corriger les effets de l'instabilité structurale. En améliorant la macro porosité et la profondeur on assure une bonne réserve en eau utile du sol, limite l'évaporation directe et amortit l'effet des fluctuations rapides du régime des pluies, En favorisant une bonne aération et une bonne activité biologique (microbienne et de méso faune), on permet un bon développement racinaire en profondeur. En même temps on limite les travaux superficiels qui dégradent la stabilité du sol. Le nouvel équilibre du sol semble rester stable.

B. Les relevés culturaux

Les rendements présentent des valeurs très dispersées du fait de la gamme assez étendue des plantes testées, des traitements agronomiques et des écarts interannuels. De 1950 à 1968 on ne constate pas globalement de diminution des rendements dans les relevés des rapports annuels de la station (Figure 4). Les droites de tendance sont toutes à croissances positives, mais peu significatives, sauf pour le coton dont la droite de tendance a un coefficient

de détermination R^2 de 0,65. La courbe de tendance du maïs est également positive mais avec une très grande dispersion des résultats. Le R^2 est de 4% (Figure 5).

Les récoltes présentent une assez grande variabilité entre les parcelles qui est probablement due à l'hétérogénéité des propriétés physiques et chimiques des sols et à des traitements de parcelles pas toujours identiques. Le report graphique de toutes les mesures de rendement donne une idée de cette variabilité (Figure 5). Ceci s'ajoute aux fluctuations interannuelles certainement dues aux conditions climatiques. On observe une tendance à la progression pour le coton et le maïs reste à un niveau convenable avec l'année record de 1957. Les mêmes dispersions sont constatées pour les autres cultures notamment le riz pluvial et les arachides.

L'interprétation des modifications interannuelles est délicate pour tenir compte des écarts entre les récoltes parcelles, souvent dus à des réserves en eau utile (RU) très variables en fonction de la profondeur travaillée du sol, de la stabilité structurale et du type d'enracinement des plantes. La moyenne des coefficients de variation est de 30% (Figure 6). Il s'agit des écarts type rapportés à la moyenne. On observe des écarts importants pour le coton en 1959 et 1960 avec un coefficient de variation (CV) de 70% car il y a eu quelques faibles productions parcelles associées à d'autres de haut niveau... L'irrégularité interannuelle est ici encore mise en évidence. Le climat peut-il expliquer ces fluctuations ?

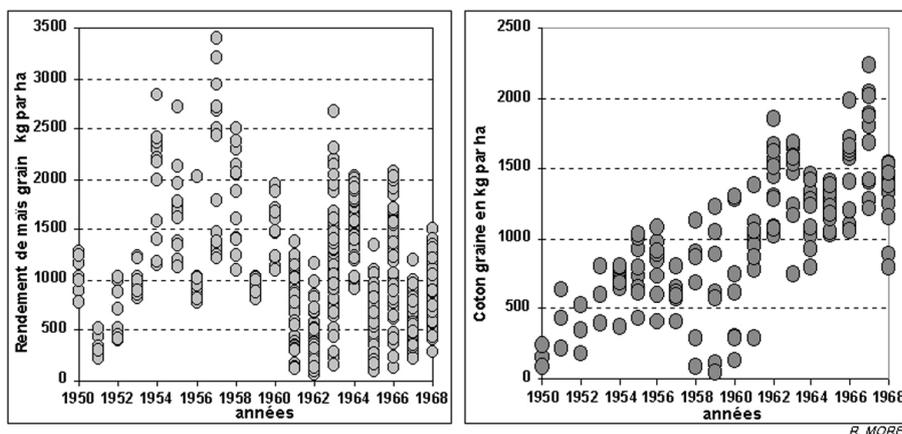


Figure 5. Exemple de variation des productions parcelles. *Example of plots yields variability*

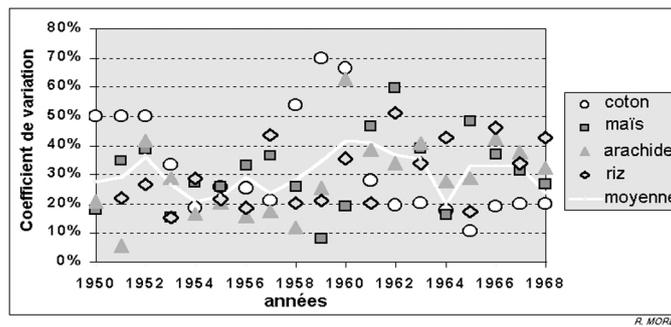


Figure 6. Variabilité interannuelle des cultures. *Yearly variability of crops*

C. Les données climatiques

Comme la demande climatique varie chaque année, on la traduit par le calcul de l'ETP (Evapotranspiration potentielle) Penman. C'est cette ETP qui sera comparée à la pluviométrie dans les calculs de bilans hydriques. Les variations annuelles des pluies et de l'ETP (Figure 7), ne sont pas concordantes. Nous ne parlons pas de l'action des pluies sur le sol car des mesures anti-érosives (bandes de niveau) ont pratiquement éliminé les risques de fort ruissellement.

Le détail des paramètres climatiques tels que températures et ensoleillement sera présenté plus loin avec l'étude des cultures sensibles à chacun d'eux : arachides et insolation, maïs et somme de températures (il s'agit du cumul des températures journalières moyennes au-dessus d'un seuil minimum). Il est intéressant de

comparer les coefficients de variation des cultures avec ceux des facteurs climatiques pour voir s'il y a une analogie entre les niveaux. Seules les vitesses du vent et les pluies présentent un coefficient de variation plus élevé que celui des cultures, respectivement de 40 et 60% (Figure 8). Le vent est généralement faible avec une moyenne de 1,7 à 2 mètres m/s. Les pluies très aléatoires pendant les 12 décades de la saison sèche, de fin novembre à mars, ne sont pas significatives pour un emploi agricole ; il n'y a d'ailleurs pas de cultures à cette époque. La variabilité des autres paramètres climatiques est relativement faible et varie entre 10 et 15% au cours de la saison (Figure 8). On peut donc penser que les bilans hydriques seront plus explicatifs que les seules précipitations. Lorsque les bilans ne suffisent pas à justifier les fluctuations interannuelles de production, on recherchera l'effet conjugué d'autres paramètres climatiques.

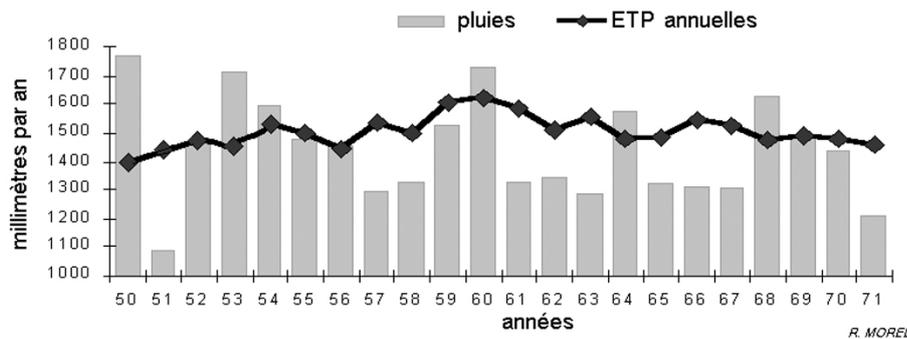


Figure 7. Pluies et ETP Penman annuelles. *Yearly rains and Penman PET*

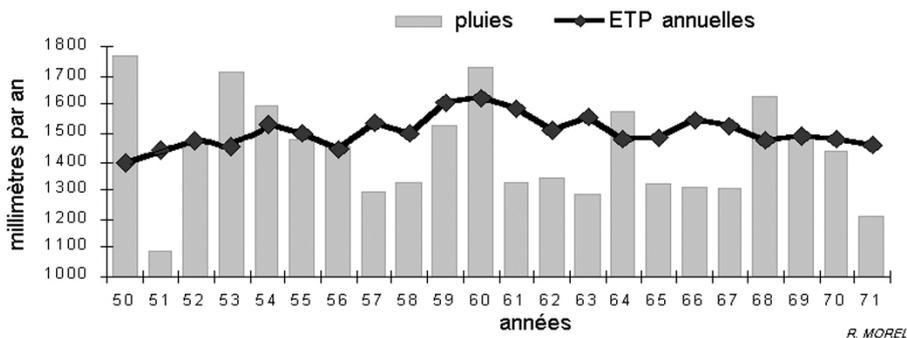


Figure 8. Variabilité annuelle des paramètres climatiques. *Annual climatic parameters variability*

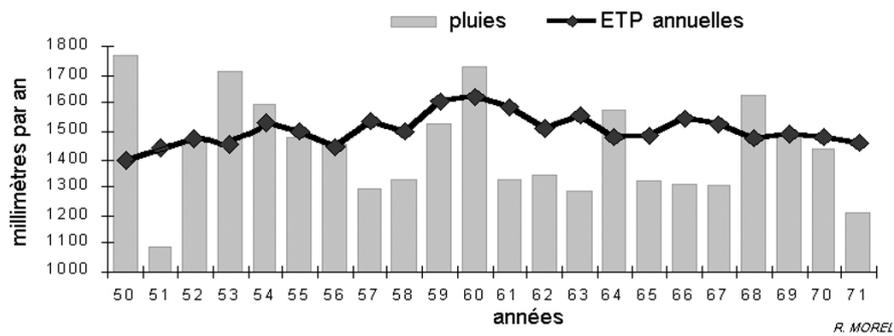


Figure 9. Les pluies décadaires et leur grande variabilité. *Per 10 days rainfall distribution and their big variability*

III. LA DISPONIBILITÉ EN EAU

La pluviométrie est le premier facteur explicatif qui vient à l'esprit car elle est la source de l'alimentation en eau des cultures (Figure 9). Les totaux décadaires présentent une grande dispersion entre 1950 et 1971. Nous allons voir que ces fluctuations, reprises dans les bilans hydriques, coïncident avec les variations de production.

Le bilan hydrique (Baron & Dinghun, 2001 et 2003) calculé pour chaque culture, aux dates de semis pratiquées dans l'essai, fournit des indices à comparer avec les rendements. On tient compte de la réserve utile du sol (RU) suivant sa profondeur, sa nature et son occupation par les racines (Combeau & Quantin, 1963a). La RU correspond à l'eau utilisable en millimètres : il s'agit de la capacité maximale de stockage par le sol de l'eau pouvant être absorbée par les plantes. Elle est estimée par la différence entre les quantités d'eau présentes à la capacité de rétention (maximum) et le point de flétrissement (minimum). Le niveau de la RU intègre les qualités du sol (porosité, pouvoir de rétention capillaire) mais aussi certaines caractéristiques des plantes cultivées comme la profondeur d'enracinement. En cas d'absence de mesures on choisit la RU qui maximise la corrélation entre le rendement observé et les résultats du bilan hydrique. Les bilans hydriques calculent, pendant le cycle végétatif, les niveaux de disponibilité en eau pour les cultures. Parmi

les sorties du modèle on retiendra l'Evapotranspiration Relative qui est le rapport ETR / ETM , lequel évolue tout le long de l'année dans des limites comprises entre 0 et 1. Les déficiences éventuelles apparaissent avec des rapports inférieurs à 0,8. Ce rapport est déterminant pour la production de matière sèche de la culture puisque la relation est généralement linéaire. C'est donc à la fois un indice de satisfaction en eau et un indice de productivité de la plante.

Sur cette base on conçoit un indicateur de productivité de la plante. Il s'agit de l'indice de rendement espéré (IRESP) en %. Il est mis à 100% en début de bilan avec l'espérance maximale. Le déficit relatif d'évapotranspiration ou stress hydrique (SH) est le complément à l'unité de l'évapotranspiration relative : $1 - ETR / ETP$. Un stress entraîne une diminution proportionnelle de l'indice de rendement d'une valeur, fonction de K_y où K_y est le coefficient de réponse du rendement au stress pour la plante au stade de développement correspondant. Le résultat du bilan (Figure 10) est très sensible au niveau de la Réserve Utile (RU). Ce niveau varie pour un même type de sol en fonction de l'enracinement des plantes et des façons aratoires. La date de semis joue également un très grand rôle dans la productivité des plantes.

Chaque type de plante a des besoins différents en eau au cours de son développement. Ces besoins sont traduits par des coefficients culturaux (Figure 11) qui traduisent

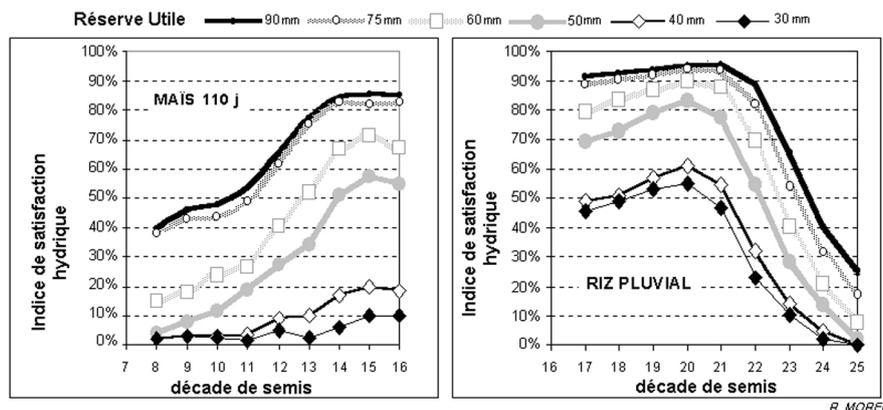


Figure 10. Influence de la réserve utile et de la date de semis sur le bilan hydrique. *Influence of the available ground water capacity and the date of seedling on water balance*

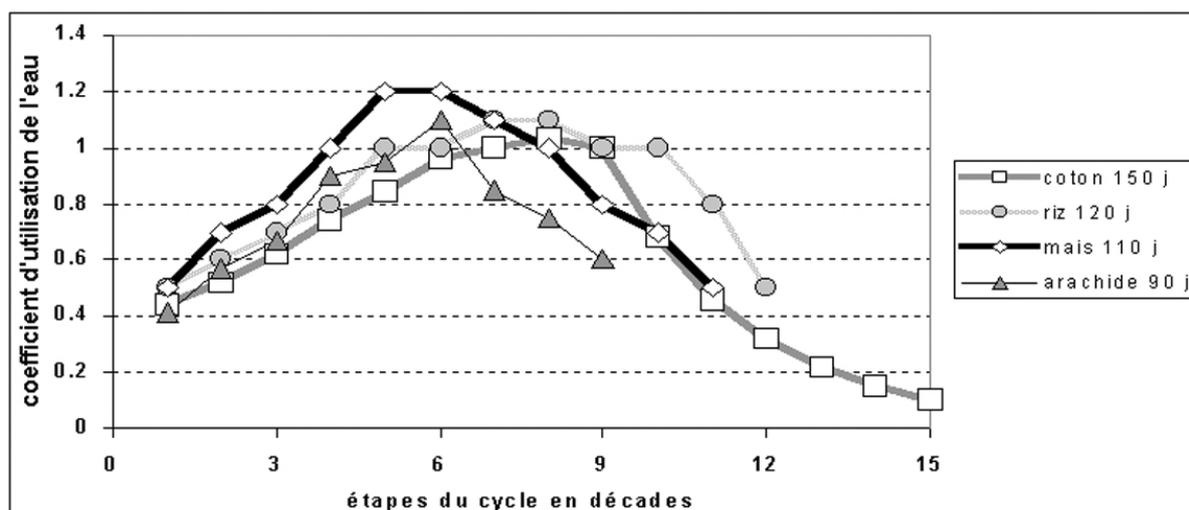


Figure 11. Utilisation de l'eau par les plantes suivant leur stade de développement. *Water needs of plants related to their crop growth stages*

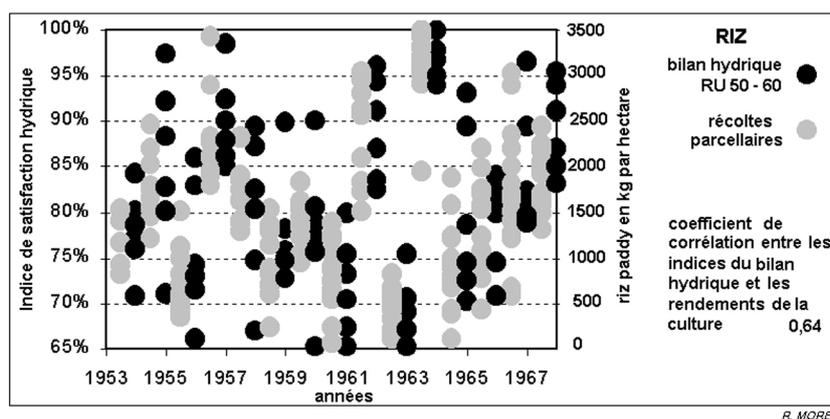


Figure 12. Rendements parcelaires du riz et simulation des bilans hydriques. *Yields of rice on tested lots and simulations of water balances*

les besoins par une fraction de l'ETP variant en fonction du stade de développement de la plante. Nous avons retenu ceux proposés par la FAO (Doorenbos, 1986).

L'étendue des indices de rendement espéré (IRESP) est obtenue par la différence des valeurs extrêmes issues des bilans. Cette étendue est différente d'une plante à l'autre : 80% pour le maïs, qui est très sensible à l'alimentation hydrique, 25% pour le riz plus indifférent à l'effet du climat. On retrouve au niveau des bilans la variabilité parcelaire des productions. Ainsi pour le riz, les bilans hydriques calculés sur l'ensemble des dates de semis réelles, avec une gamme de RU comprises entre 50 et 60 mm, donnent des indices de rendement espérés qui peuvent être comparés aux récoltes mesurées sur les parcelles d'essai (Figure 12). Le coefficient de corrélation est $R=0,64$ pour les deux séries. Si on passe aux moyennes annuelles la corrélation devient meilleure.

Dans les figures on ajuste les deux échelles pour faire coïncider le mieux possible les deux séries représentées.

D'une plante à l'autre les résultats peuvent diverger car elles n'ont ni la même durée de végétation ni les mêmes dates de semis (Figure 13). Ainsi pour le maïs et le riz en 1962 le niveau des résultats est très différent. Le maïs, avec une durée de végétation de 110 jours, a été semé la première décade d'avril, tandis que le riz d'une durée de 120 jours a été mis en place entre le 25 juin et le 5 juillet. Les corrélations entre les indices de rendement espéré et les rendements mesurés, sont bonnes : $R=0,841$ pour le maïs et $R=0,950$ pour le riz. Mais avec les autres cultures l'ajustement est un peu moins bon $R=0,740$ pour l'arachide et $R=0,895$ pour le cotonnier (Figure 14).

Ainsi, les seuls bilans hydriques n'expliquent que partiellement les fluctuations de productions. Les résultats donnent des coefficients de détermination de 55% pour l'arachide, de 70% pour le maïs, de 75% pour le cotonnier et de 90% pour le riz. Afin que les indices de rendement espérés s'approchent le plus du niveau des productions mesurées il faut regarder quel est le rôle des paramètres climatiques autres que la pluie et l'évaporation.

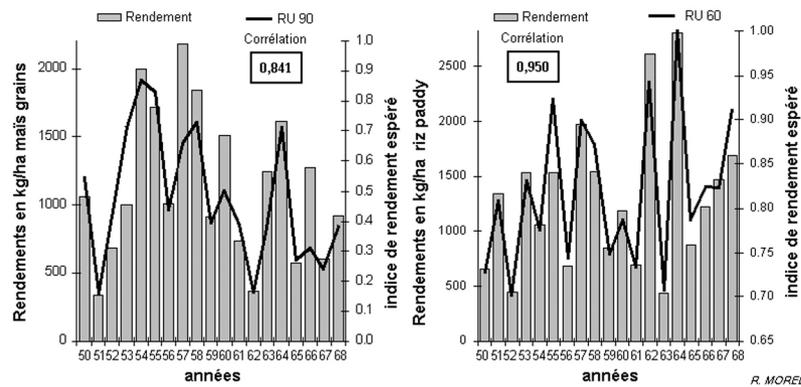


Figure 13. Variabilité des bilans hydriques et rendements moyens des céréales. *Variability of water balance and average cereals yields*

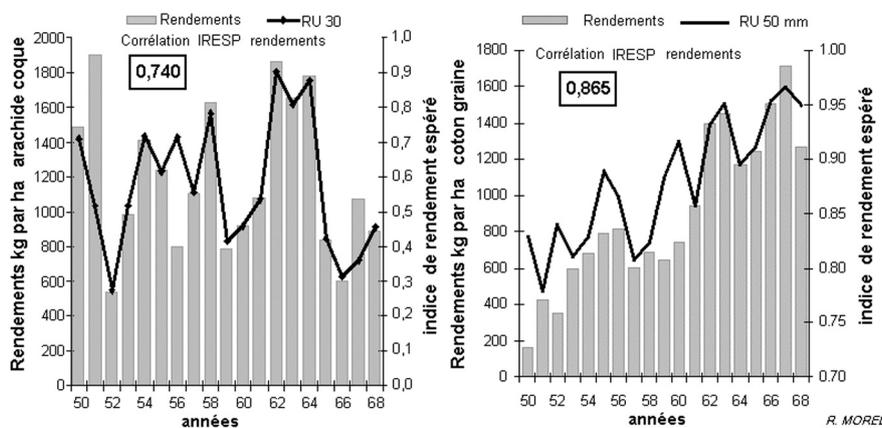


Figure 14. Bilans hydriques et rendements de l'arachide et du cotonnier. *Water balance and yields of peanut and the cotton crops*

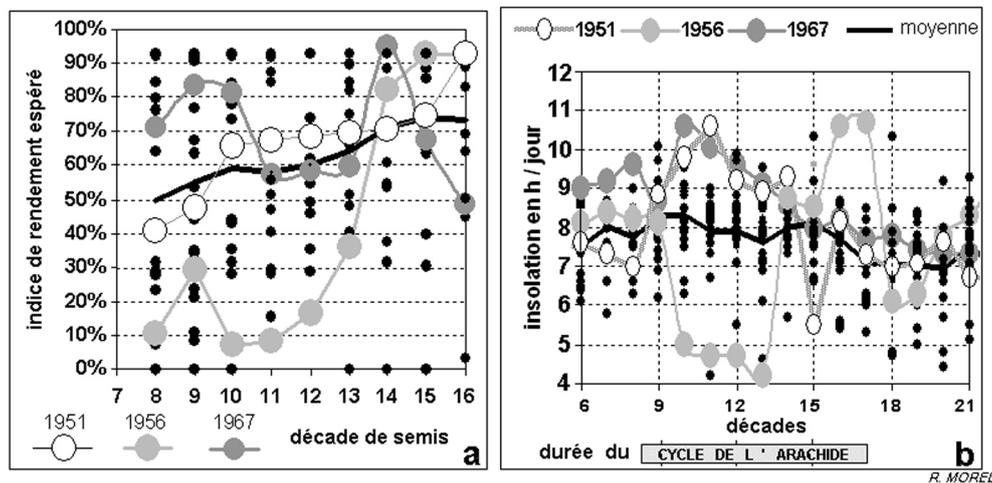


Figure 15. Bilans hydriques de l'arachide (a) et ensoleillement (b). *Water balance of peanut (a) and sunshine (b)*

IV. LES FACTEURS CLIMATIQUES COMPLÉMENTAIRES

A. L'ensoleillement

L'ensoleillement joue un double rôle sur l'arachide : d'abord il y a effet proportionnel sur la fonction chlorophyllienne, ensuite sur le nombre de gousses puisque l'initiation florale dépend de la durée de l'insolation journalière. Une faible durée d'ensoleillement ne permet

pas la formation des fleurs. Ainsi le déficit d'insolation de 1956 (Figure 15b) explique un rendement observé plus faible que l'indice de rendement espéré (IRESP) calculé à partir du bilan hydrique (Figure 15a). Les années 1951 et 1967 ont connu au contraire un meilleur éclaircissement, ce qui a majoré la production grâce à une floraison plus abondante.

La correction de l'IRESP se fait en le multipliant par la moyenne de l'insolation pour la période de floraison

rapportée à la moyenne annuelle de l'ensoleillement. L'ajustement entre le rendement et la durée d'insolation combiné au niveau de satisfaction en eau donne un coefficient de détermination de 97%. L'insolation permet une photosynthèse maximale lorsque la satisfaction en eau est optimale (Boote & Lones, 1986). C'est l'ensoleillement qui occasionne de plus faibles rendements si on cultive les arachides en arrière-saison. Ce phénomène se retrouve dans une moindre mesure sur le cotonnier qui possède une floraison indéfinie, c'est-à-dire pratiquement continue jusqu'à la mort de la plante. Nous ne l'avons donc pas pris en compte.

B. L'engorgement du sol en eau

Les mesures anti-érosives, notamment le billonnage de niveau, limitent le ruissellement des pluies en excès. La destinée de l'eau devient alors la percolation verticale ou oblique suivant les situations topographiques. Or la vitesse d'infiltration, qui est inversement proportionnelle à la capacité de rétention (Quantin, 1965b), conditionne les durées de saturation en eau de l'horizon cultivé. L'engorgement du sol peut nuire à la productivité des cultures : le rendement diminue si le sol reste saturé trop longtemps car il y a création de petites nappes perchées temporaires provoquant une mauvaise aération du milieu racinaire. On raisonne ici comme pour les calculs de drainage en admettant qu'un excès d'eau de trois jours occasionne une perte de production. C'est le cas du coton qui subit une chute des capsules, quand il y a excès d'eau de pluie pendant leur phase de grossissement, c'est à dire à partir de la 7^e décade de végétation. Ceci explique les écarts constatés les années pluvieuses entre les indices calculés par le bilan hydrique et les pesées au champ (Figure 17). Le nombre de jours pendant lesquels les racines sont en condition d'asphyxie permet d'estimer la baisse de productivité. Il est facile de calculer le temps d'engorgement en divisant l'excès d'eau, estimé avec le bilan hydrique, par la per-

méabilité (c'est aussi la vitesse d'infiltration) rapportée à trois jours. Par exemple pour une RU de 60 mm la vitesse d'infiltration mesurée est, en moyenne, de 300 mm par jour, soit 900 mm en trois jours.

En généralisant le calcul, un indice d'engorgement (kRU) est affecté à l'excès d'eau (RD) pour obtenir la diminution de l'indice de rendement. L'indice kRU découle de la formule : $kRU = RU / 900$. Ainsi en 1950 et 1955 on observe un engorgement pendant 5 jours en septembre. Le phénomène le plus important est en septembre 1960 où il y a eu 9 jours de saturation. La correction de l'indice de rendement espéré, par diminution proportionnelle à la durée d'engorgement, permet de bien simuler la variabilité agronomique avec une probabilité de 99,3 % soit un coefficient de détermination de 99%.

C. Les températures de l'air

Les températures restent comprises entre des valeurs qui n'entraînent pas d'accident de végétation. Mais la somme des températures utiles pour les cultures, notamment pour le maïs, agit sur la croissance. Pour le maïs on calcule la somme de la part de température effective au dessus d'un seuil de 10°C. Ces sommes sont comprises entre 2160° et 2443°C pour un maïs de 110 jours (Figure 18). Leur introduction dans le modèle améliore la représentativité du climat et la corrélation passe alors de $R=0.892$ à $R=0.995$ (Figure 19). L'indice résultant étant le produit du résultat d'un bilan hydrique avec une RU de 90 mm par le rendement calculé avec la somme des températures utiles. L'impact des températures sur le rendement du maïs s'accompagne d'un raccourcissement de la durée du cycle lorsqu'elles augmentent.

CONCLUSION

L'évolution des sols, cultivés d'une manière rationnelle, montre un équilibre suffisamment stable (et entretenu)

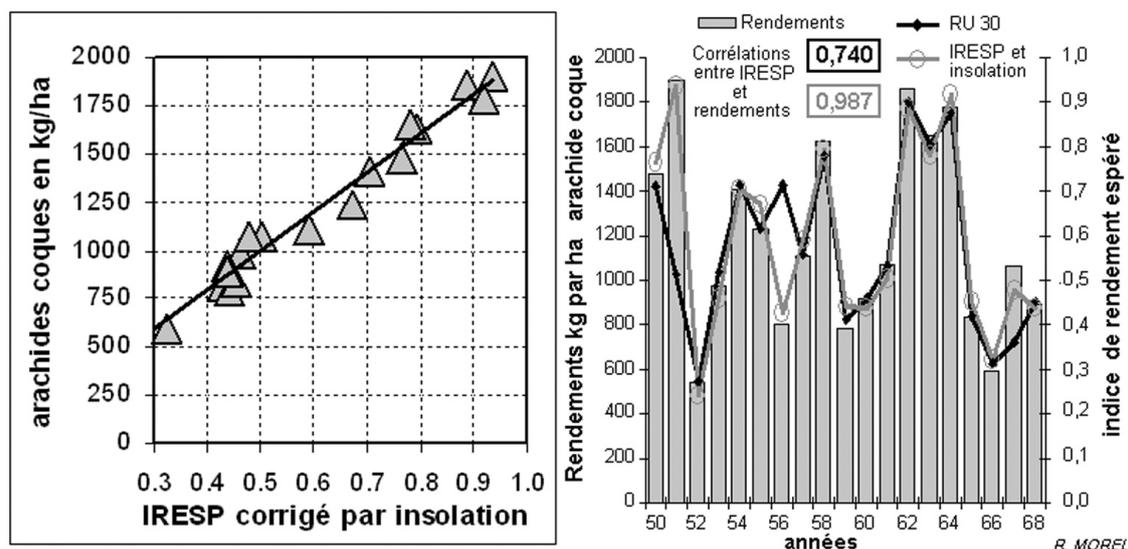


Figure 16. Ajustement du modèle climatique pour les arachides. *Adjustment of the climatic model for peanut crops*

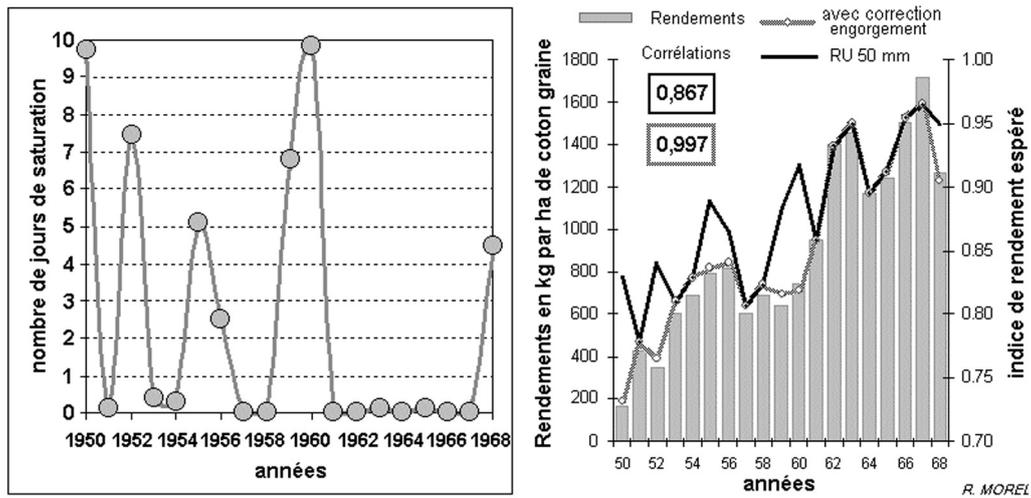


Figure 17. Engorgement du sol et rendements du cotonnier. *Ground water logging and cotton yields*

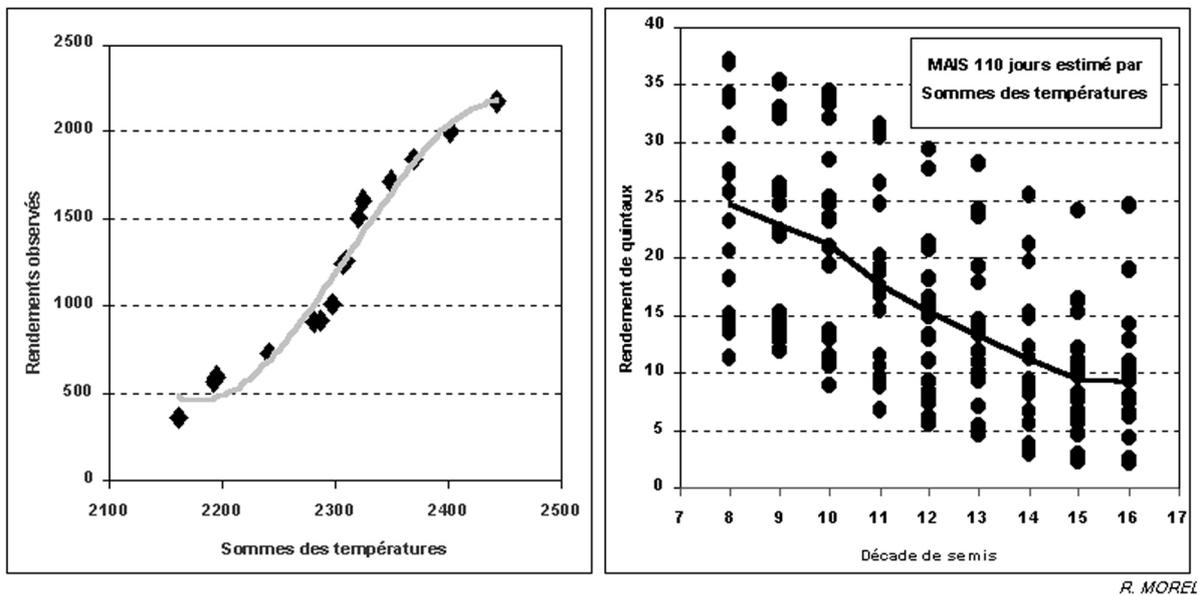


Figure 18. Impact des sommes de température utile sur le rendement du maïs. *Impact of sums of effective temperature on maize yield*

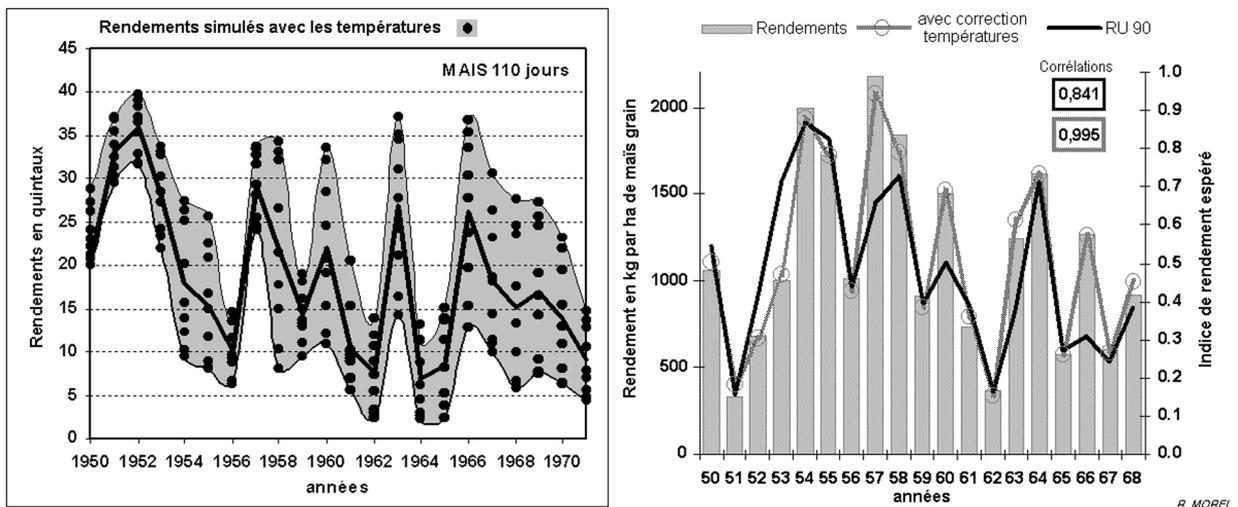


Figure 19. Modélisation des rendements du maïs avec les températures utiles. *Modelling of yields of the corn with effective temperatures*

du potentiel de fertilité pour assurer une productivité durable. Mais la dispersion importante des rendements interannuels ne s'explique pas avec l'évolution des seuls caractères physiques et chimiques du sol. D'où l'idée de faire intervenir des facteurs climatiques. Malgré la forte variabilité intrinsèque des résultats de l'essai d'assolement, due à l'hétérogénéité des parcelles, il a été possible d'établir une relation entre la fluctuation des rendements et celle du régime pluviométrique et du régime hydrique du sol. Cependant le seul bilan hydrique, même modulé par les différentes réserves hydriques du sol, inhérentes au type d'enracinement de chaque plante, n'explique pas totalement la variabilité interannuelle des rendements. Il faut introduire d'autres facteurs climatiques comme l'insolation, la saturation hydrique (engorgement) du sol et la somme des températures utiles au-dessus d'un seuil caractérisant chaque cultivar. Il serait souhaitable de poursuivre le travail sur d'autres cultures : sésame, manioc, courge, sorgho et engrais verts. Cette approche agroclimatique montre l'intérêt des nombreuses observations existantes pour entreprendre des analyses plus détaillées en fonction du type de plante et du mode de culture. Certes le régime climatique est déterminant sur le rendement des cultures mais il est régulé par le pédoclimat, c'est dire l'importance d'un management rationnel du sol et du rôle d'un bon développement du couvert végétal.

BIBLIOGRAPHIE

- BARON C. & DINGKUH N. M. 2001. A simple crop model for sorghum, millet and groundnut to translate PROMISE climate simulations into agronomic scenarios, 11-15 June 2001, *The Abdus Salam international center of theoretical physics (ICTP)*, Trieste, Italie.
- BARON C., SARR B., MARAUX F. & DINGKUH N. M. 2003. SARRA vs SARRAH : From a simple crop water balance model to a simple crop water and carbon balance model in water limited environments, in : *Monsoon environments : Agricultural and Hydrological Impacts of seasonal variability and Climate Change*, 24-28 March 2003, The Abdus Salam international center of theoretical physics (ICTP), Trieste, Italie.
- BONNAL V. 2002. SARRAH V2.3 *Manuel utilisateur*, Montpellier : CIRAD, 54 p.
- BOOTE K.J., LONES J.W., MISHOE J.W. & WILKERSON G.G. 1986. Agro meteorology of groundnut, *Proceeding of an International Symposium*, 21-26 Aug. 1985, ICRISAT Sahelian Center, Niamey, Niger, pp. 243-254.
- BRAUD M. & ERRATH CH. 1966. La lutte contre l'érosion, *Communication aux journées d'Agronomie*, IRCT, 17 p.
- BRAUD M., DJUBERNARD J. & FRITZ A. 1970. Contribution à l'étude des rotations dans les zones de savanes de la République Centrafricaine, *Coton et Fibres tropicales*, pp. 419-434.
- COCHRAN W.G. & SNEDECOR G.W. 1971. *Méthodes statistiques*. Traduction de la 6^e édition par H. Boelle & E. Camhaji, Paris : ACTA, 647 p.
- COMBEAU A. & QUANTIN P. 1963a. Observations sur la capacité au champ de quelques sols ferrallitiques. Rapprochement avec les courbes de pF- Humidité, *Science du sol*, n° 1, mai 1963, pp. 5-11.
- COMBEAU A. & QUANTIN P. 1963b. Observations sur les variations dans le temps de la stabilité structurale des sols en région tropicale. *Cahiers ORSTOM Série Pédologie*, T 3, pp. 17-26.
- COMBEAU A. & QUANTIN P. 1964. Observations sur les relations entre stabilité structurale et matière organique dans quelques sols d'Afrique Centrale. *Cahiers ORSTOM Série Pédologie*, T II, n° 11, pp. 3-11.
- DOORENBOS J. & PRUITT W.O. 1986. Les besoins en eau des cultures. FAO, *Bulletin irrigation et drainage*, n° 24, Rome, 198 p.
- GRIMARI (Station Expérimentale Agricole de), 1954 à 1968, *Rapports annuels*, Service de l'Agriculture, Bangui, République Centrafricaine.
- MOREL R. & QUANTIN P. 1964. Les jachères et la régénération du sol en climat soudano-guinéen d'Afrique centrale. *L'Agronomie tropicale*, 2, février, pp. 108-136.
- MOREL R. & QUANTIN P. 1972. Observations sur l'évolution à long terme de la fertilité des sols cultivés à Grimari. Résultats d'essais de culture mécanisée semi-intensive sur des sols rouges ferrallitiques moyennement désaturés en climat soudano-guinéen d'Afrique centrale, *L'Agronomie Tropicale*, XXVII, n° 6-7, Paris, pp. 667-739.
- QUANTIN P. 1965a. *Les sols de la République Centrafricaine*, ORSTOM, Paris, 113 p.
- QUANTIN P. 1965b. *Les sols de Grimari*. Notice de la carte pédologique de reconnaissance à 1/50.000, ORSTOM, Paris.

Adresse des auteurs :

Robert MOREL
Ingénieur Général d'Agronomie (C.H.),
19, Rue Henri Lot,
F-91860 EPINAY sous SENART
bobmorel@orange.fr

Michel BRAUD
Ancien directeur du département CIRAD-IRCT,
14, Rue des Ponts
F-17380 TORXE
mob.torxe@wanadoo.fr

Paul QUANTIN
Directeur de Recherches Honoraire de l'IRD,
5, Rue Boileau
F-21000 DIJON
quantin.paul@wanadoo.fr

