

# Bilan hydrique simulé du maïs au Togo méridional

R. POSS (1), H. SARAGONI (2), J. IMBERNON (3)

**RÉSUMÉ** — Le rendement du maïs dans des conditions de bonne alimentation minérale est fortement lié à deux paramètres du bilan hydrique : l'évapotranspiration totale, qui caractérise un potentiel de rendement, et le manque d'eau à la floraison, qui constitue un facteur de risque. La simulation de ces paramètres permet de proposer une stratégie optimale de semis pour deux variétés de maïs et met en évidence l'effet de l'épuisement des sols sur la valorisation de l'eau. Des rendements potentiels sont ensuite définis à l'échelle régionale, en simulant le bilan hydrique sur l'ensemble des postes climatiques du Togo méridional. Ceci permet un zonage agropédoclimatique des potentialités du maïs, qui met en évidence une importante variabilité du nord au sud au cours de la deuxième saison de culture.

**Mots clés** : *Zea mays*, maïs, bilan hydrique, dates de semis, rendement, zonage, Togo.

Le Togo méridional (figure 1) est une zone vitale pour l'agriculture du pays. En effet, sur moins du dixième du territoire national (environ 4 000 km<sup>2</sup>), près du tiers de la population totale, soit 800 000 habitants, est installé. Les densités de la population rurale dépassent fréquemment 100 hab./km<sup>2</sup>, ce qui est en partie dû à la présence de sols ferrallitiques profonds, les terres de barre, qui présentent d'excellentes propriétés physiques.

Dans cette zone, le problème agronomique étudié depuis le plus longtemps est celui de l'épuisement des sols (DABIN, 1956 ; RAUNET, 1973), lié à la surexploitation du milieu. Pour y remédier, des itinéraires techniques associant le travail du sol, la fertilisation minérale et les apports organiques ont été proposés, pour maintenir ou améliorer les rendements (MARQUETTE, 1986).

Plus récemment, le problème des dates de semis pour la culture du maïs est apparu. Il résulte principalement de la conjonction de deux facteurs :

- le premier est l'introduction de nouvelles variétés, plus productives, mais dont les cycles végétatifs sont plus longs que ceux des variétés auxquelles les paysans sont habitués ;
- le second est la modification de la répartition des pluies. En effet, il apparaît clairement maintenant que des changements climatiques affectent le Togo méridio-

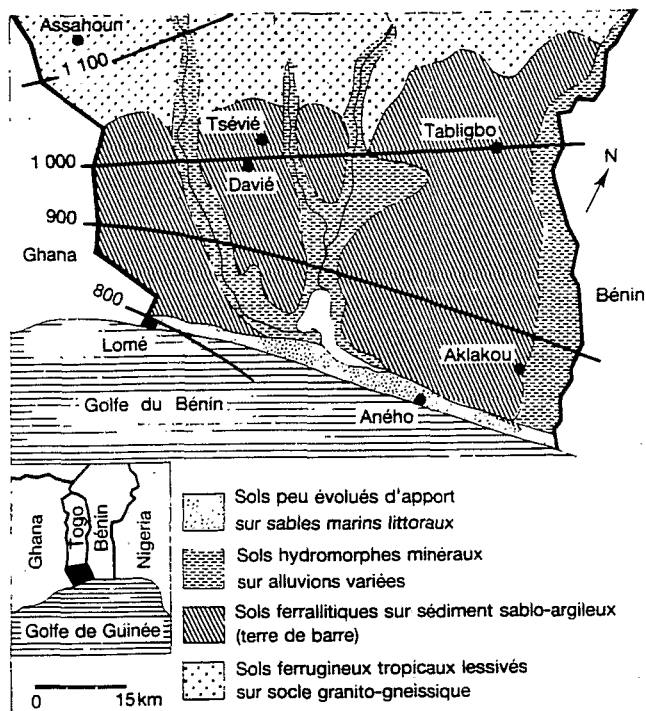


Figure 1 : Organisation des sols au Togo méridional (d'après Lamouroux, 1969) et isohyètes annuelles moyennes (1965-1985).

nal. Une évolution est apparue depuis une vingtaine d'années, et les pratiques culturales traditionnelles ne permettent pas d'y faire face.

Le plus souvent, pour caler les dates de semis, les études agroclimatiques reposent sur l'analyse fréquentielle des pluies (VAN DIEPEN et AZONTONDE, 1979 ; LHQMM et MONTENY, 1979). Mais cette approche tient peu compte des caractéristiques du sol (réserve utile) et considère les pas de temps de calcul (pentade ou décade) comme indépendants entre eux.

Pour cette étude, nous avons préféré utiliser un modèle de simulation du bilan hydrique des cultures (FRANQUIN et FOREST, 1977) déjà testé avec succès en Afrique de l'Ouest (FOREST et KALMS, 1984). Dans un premier temps, ce modèle a été ajusté aux conditions de culture sur les terres de barre, à l'aide de mesures tensio-neutro-niques *in situ*, méthode bien adaptée à ce milieu non gonflant et sans éléments grossiers (FRETEAUD *et al.*, 1987). Nous allons maintenant présenter l'analyse à la fois dans le temps (séries pluviométriques historiques) et dans l'espace (Togo méridional) des relations entre les termes du bilan hydrique simulé et les rendements observés.

(1) ORSTOM, BP 375, Lomé, Togo.

(2) DRA-IRAT, BP 1163, Lomé, Togo.

(3) IRAT-CIRAD, BP 5035, 34032 Montpellier Cedex, France.

## Les données utilisées

### L'organisation des sols dans le paysage

Le cordon littoral (figure 1), dont la largeur atteint quatre kilomètres par endroits, provient de dépôts marins récents. La différenciation pédologique y est très discrète : seule une imprégnation organique de l'horizon de surface est visible dans un matériau constitué par plus de 90 % de sables grossiers quartzeux. Le littoral est séparé de la partie centrale par une lagune partiellement asséchée.

La plus grande partie de la région a été recouverte au début du quaternaire par un dépôt continental épais qui se présente actuellement sous forme de vastes plateaux à pentes très faibles. Une très longue évolution a provoqué l'individualisation de sols rouges ferrallitiques profonds sans éléments grossiers, appelés localement « terres de barre ». Sur les plateaux, ces sols sont très homogènes latéralement, la répartition toposéquentielle habituelle des sols tropicaux ne se retrouvant que sur les versants de raccord aux rares axes de drainage (VIEILLEFON et MILLETTE, 1965). Les plateaux sont incisés par une série de rivières, dont les lits comblés lors de la transgression flandrienne ont donné naissance à de vastes plaines alluviales très planes recouvertes de sols hydromorphes à texture variable.

Dans la partie septentrionale de la région, le socle granito-gneissique et ses sols ferrugineux tropicaux hétérogènes (organisation toposéquentielle marquée) succèdent aux plateaux de terres de barre.

La présente étude porte essentiellement sur les terres de barre, qui constituent les meilleures terres agricoles de la région, dont l'homogénéité favorise l'analyse, et qui sont les plus répandues (environ 80 % des sols) et les plus exploitées. Pour effectuer le zonage agropédoclimatique, les sols sableux du cordon littoral ont été également pris en compte ; on leur a affecté une faible réserve hydrique (25 mm) et une fertilité minérale égale à celle des terres de barre les plus épuisées. Il a par contre été impossible d'intégrer les sols hydromorphes et les sols ferrugineux tropicaux : dans les sols hydromorphes, le régime hydrique est trop différent, et dans les sols ferrugineux tropicaux la différenciation d'horizons très contrastés modifie entièrement le comportement des cultures.

### Les données climatiques

#### Pluviométrie

Le Togo méridional compte 21 postes pluviométriques, dont 15 présentent des données fiables et pratiquement sans lacunes depuis 1965. Certains sont de création ancienne, ce qui permet d'étudier l'évolution du climat sur une cinquantaine d'années.

Des fichiers informatisés des pluviométries journalières depuis la création des stations jusqu'en 1972 ont été constitués par l'ORSTOM. Ces fichiers ont été ac-

tualisés jusqu'en 1985 à l'aide des microfiches des relevés journaliers de terrain et de logiciels de l'IRAT. Les données ont été contrôlées par corrélations (méthode des doubles masses) entre stations voisines, pour ne retenir finalement que celles représentées sur la figure 10.

L'évolution de la pluviométrie annuelle (de type bimodal) a été plus particulièrement étudiée sur quatre stations de longue durée (Lomé, Tsévié, Tabligbo et Aklakou) réparties sur l'ensemble de la zone méridionale. En considérant la pluviométrie totale annuelle de Lomé (figure 2), l'évolution de la moyenne glissante sur cinq ans met en évidence des périodes plus humides (1930, 1960, 1970) et d'autres plus sèches (1938, 1945, 1965, 1977), sans toutefois qu'aucune tendance générale à la baisse ou à la hausse ne se dégage. Par contre, sur la pluviométrie des cinq derniers mois de l'année (figure 3), une diminution entre les années 1960 et 1965 apparaît nettement, suivie d'une stabilisation à un niveau inférieur à celui qui prévalait auparavant.

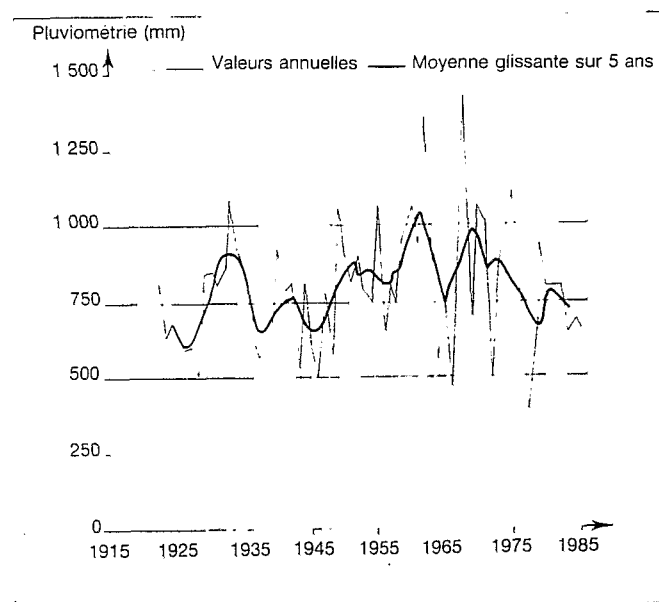


Figure 2 : Pluviométrie annuelle à Lomé.

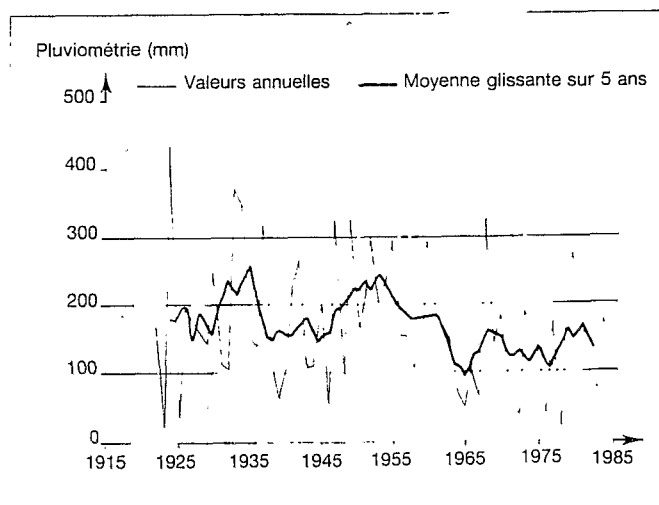


Figure 3 : Pluviométrie de septembre à décembre à Lomé.

Sur les moyennes mensuelles calculées de 1934 à 1960 et de 1961 à 1985 (figure 4), on constate que le total pluviométrique de la deuxième saison des pluies diminue et que celui de la première saison augmente. Ce phénomène, qui s'observe sur l'ensemble de la région, s'est traduit par une baisse du total pluviométrique de l'ordre de 40 mm en octobre et de 20 mm en novembre. Il semble toutefois, en étudiant la pluviométrie des stations les plus anciennes, que le régime pluviométrique actuel soit comparable à celui observé au début du siècle, rien ne permettant d'affirmer une évolution vers l'aridité à l'échelle des 80 dernières années.

Si l'on s'intéresse aux 50 dernières années, le changement constaté à partir de 1960 est fondamental pour la conduite du deuxième cycle de culture. En effet, le total pluviométrique de la deuxième saison, de l'ordre de 250 à 350 mm entre 1934 et 1960, était déjà à peine suffisant. De plus, la diminution des précipitations a surtout affecté le mois d'octobre, où le maïs, alors au stade de la floraison, a ses besoins en eau les plus élevés.

En contrepartie, l'augmentation des précipitations en juin et juillet n'a qu'une faible influence sur le premier cycle de culture : elle permet seulement d'obtenir une plus grande sécurité pour les variétés à cycle long comme « La Posta ».

Le Togo méridional est donc soumis depuis les années 60 à un régime pluviométrique qui tend vers celui du climat tropical sec à une seule saison des pluies.

Dans ces conditions, il paraît préférable d'adapter l'agriculture du Togo méridional à ces conditions climatiques, stables depuis plus de vingt ans, plutôt que d'espérer un retour à un régime plus favorable. Notre étude portera sur les données pluviométriques de la période 1965-1985, dont les isohyètes sont représentées dans la figure 1.

### Evaporation du bac de classe A

Les mesures de l'évaporation selon Penman sont moins répandues en Afrique de l'Ouest que les mesures d'évaporation du bac de classe A. Plusieurs auteurs (DANCETTE, 1976 ; BALDY, 1978 ; PERRIER et HALLAIRE, 1979) ont montré par ailleurs qu'il existait une proportionnalité entre les deux estimations de la demande climatique lorsque l'humidité relative moyenne de l'air est proche de 100 % (ce qui est le cas en saison des pluies). C'est pourquoi l'évaporation maximale de nombreuses cultures sous différents climats a été déterminée depuis par référence à l'évaporation du bac de classe A (DANCETTE, 1983).

Au Togo méridional, la mesure de l'EVA n'est réalisée qu'à Lomé, au sud de la zone étudiée, et à Ativémé, 35 kilomètres plus au nord. Les valeurs décadales (figure 5), peu variables d'une année à l'autre, sont très proches pour les deux stations entre janvier et juillet, avec un maximum au mois de mars, à la fin de la grande saison sèche. La différence observée au cours des six derniers mois de l'année est probablement due à la présence d'une brise de mer diurne modérée, de secteur

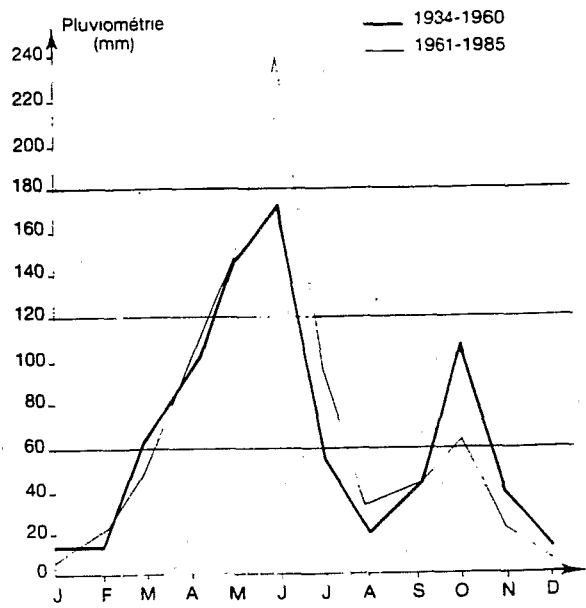


Figure 4 : Evolution de la pluviométrie moyenne mensuelle à Lomé.

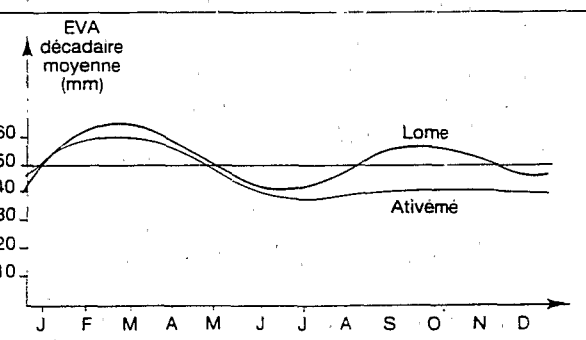


Figure 5 : Evaporation moyenne du bac de classe A à Lomé (1976-1985) et Ativémé (1983-1987).

sud, et à une couverture nuageuse moins dense sur la zone côtière.

Nous avons donc choisi de prendre une EVA égale à celle de Lomé pour toutes les stations du littoral et égale à celle d'Ativémé pour les stations de la partie nord. Pour les stations intermédiaires (Sanguéra, Akoumapé et Atitogon), une valeur moyenne a été retenue.

## Les résultats des essais agronomiques

### Essais agronomiques et rendements

La variété sélectionnée NH1 F1 (Niaouli, hybride n° 1), créée en 1968 par l'IRAT au Bénin, est la seule variété qui soit vulgarisée, grâce à certains critères qui la font bien accepter par le monde paysan. C'est une variété à cycle de 110 jours, dont la potentialité est de 45 q . ha<sup>-1</sup> dans les conditions climatiques de la région.

La variété La Posta (cycle de 120 jours), qui est une des premières sélections du CIMMYT et est à l'origine de la population 43, présente une potentialité supérieure

(environ 55 q · ha<sup>-1</sup>). Elle est moins bien acceptée par les paysans, parce que plus difficile à mouler.

La fertilisation minérale à apporter au maïs NH1 F1 est étudiée depuis 1976 dans le cadre d'un essai factoriel réalisé sur deux points d'essais choisis pour leur fertilité initiale très contrastée. Le premier correspond à des sols qui n'étaient pas épuisés au début de l'expérimentation (station de Davié). Le second (Agbomédji) est situé sur des sols morphologiquement voisins de ceux de Davié, mais dont le niveau de fertilité initial était faible, en raison d'une mise en culture continue depuis plusieurs décennies (tableau 1).

Tableau 1 Caractéristiques physico-chimiques des horizons de surface (0-20 cm) à Davié et Agbomédji (d'après Marquette, 1986).

Élément analysé	Site	
	Davié	Agbomédji
<b>Granulométrie</b>		
Argile (%)	8,1	6,5
Limon (%)	3,8	2,4
Sable très fin (%)	9,3	4,4
Sable fin (%)	26,4	41,3
Sable grossier (%)	52,3	45,9
<b>Matière organique</b>		
Matière organique (%)	1,05	0,59
Carbone (%)	0,61	0,34
Azote total (%)	0,42	0,23
Rapport C/N	15	15
<b>Phosphore</b>		
Total (ppm)	226	196
Assimilable (Olsen) (ppm)	10	14
<b>Complexe absorbant</b>		
Calcium (mé/100g)	1,21	0,79
Magnésium (mé/100g)	0,58	0,40
Potassium (mé/100g)	0,12	0,08
Somme des bases (mé/100g)	1,92	1,28
Capacité d'échange (mé/100g)	2,80	2,00
Saturation (V) (%)	69	64
<b>Acidité</b>		
pH eau	5,50	5,60
pH KCl	4,40	4,50

Dans cette étude nous nous sommes limités à l'observation des rendements obtenus à Davié et Agbomédji entre 1976 et 1986 sur des parcelles en culture continue de maïs avec restitution des résidus de récolte et fertilisation préconisée (60 N-45 P-60 K).

### Besoins en eau du maïs

Les besoins en eau (ETM) ont été déterminés pour les variétés NH1 F1 et La Posta. L'étude a été réalisée sur la station de Davié, à l'aide de la méthode tensionneutronique (POSS et SARAGONI, 1987). Les parcelles (5 × 5 m), situées au centre d'une parcelle de 0,5 ha pour éviter l'effet d'oasis, étaient équipées d'un système

d'irrigation par couverture totale afin d'assurer une alimentation hydrique non limitante.

Les besoins en eau sur un cycle ont ainsi été estimés à 350 mm pour la variété NH1 F1 et 400 mm pour la variété La Posta. Par périodes de cinq jours, ces besoins ont été exprimés à l'aide des coefficients culturaux déterminés par référence à l'évaporation du bac de classe A.

En début de cycle, où les besoins estimés traduisent principalement l'évaporation du sol nu, nous avons évalué expérimentalement la relation entre cette évaporation et l'état d'humectation de la surface du sol (FRETEAUD *et al.*, 1987).

## Réponse à l'eau : liaison entre bilan hydrique et rendement

### Présentation du modèle de simulation utilisé

Le modèle de simulation du bilan hydrique utilisé est dérivé du modèle développé par l'IRAT depuis 1977 (FRANQUIN et FOREST, 1977). Le sol est assimilé à un réservoir qui se remplit par effet piston et dans lequel les racines puisent d'autant plus difficilement que la quantité d'eau disponible est plus faible (EAGLEMAN, 1971).

Sur trois années de mesures tensionneutroniques à Davié, le modèle a bien rendu compte de l'évolution de l'évapotranspiration réelle et du drainage à l'échelle pentadaire (FRETEAUD *et al.*, 1987).

Les données que nous avons présentées (pluviométrie journalière, évaporation décadaire du bac de classe A et coefficients culturaux pentadaires) constituent les données d'entrée du modèle. La réserve utile sur les terres de barre a été prise égale à celle mesurée à Davié (77 mm), du fait de l'homogénéité latérale de ces sols. Sur le cordon littoral (texture sableuse à sables très grossiers), elle a été estimée à 25 mm.

Pour le calage des dates de semis, le modèle permet de choisir :

- une date de début de simulation, à partir de laquelle le modèle calcule l'évaporation du sol nu (FRETEAUD *et al.*, 1987) ;
- une date de semis « au plus tôt », qui est la date la plus précoce à laquelle le semis peut être réalisé. Après cette date le modèle simule le semis dès que le seuil de pluie de semis sera atteint ;
- un seuil de pluie de semis, qui fixe la décision de semis, donc la date à partir de laquelle le bilan hydrique de la culture est simulé. En choisissant une pluie de semis nulle, il est possible d'imposer le semis à la date de semis « au plus tôt ».

Le calcul des termes du bilan hydrique est réalisé au pas de temps pentadaire et sur l'ensemble du cycle cultural. Les taux de satisfaction en eau (ETR/ETM)

peuvent être estimés pour chacune des phases physiologiques de la culture par cumul des valeurs pentadaires sur la période.

Dans le cas de simulations sur des années successives, un fichier de sortie du modèle récapitule les termes du bilan hydrique année par année pour chacune des phases du cycle de culture et présente les moyennes inter-annuelles.

### Relations entre l'ETR sur le cycle et le rendement observé

Le bilan hydrique du maïs a été simulé à Davié et Agbomédji dans des conditions de fertilisation équilibrée, de 1976 à 1986, en respectant les dates de semis adoptées sur l'essai factoriel.

L'ajustement linéaire entre ETR et rendements, en première et deuxième saison à Davié et Agbomédji, donne les coefficients suivants :

- Davié (sols non épuisés) :  
rendement ( $q \cdot ha^{-1}$ ) =  $0.16 (ETR - 131)$   
 $r = 0.86$  pour  $n = 20$

- Agbomédji (sols épuisés) :  
rendement ( $q \cdot ha^{-1}$ ) =  $0.10 (ETR - 100)$   
 $r = 0.83$  pour  $n = 13$

Au-dessus du seuil d'ETR pour lequel le rendement est nul, la réponse à l'eau à Davié ( $16 q \cdot ha^{-1}$  pour 1 mm) est bien meilleure qu'à Agbomédji ( $10 q \cdot ha^{-1}$ ). Pour une évapotranspiration de 300 mm (habituelle en première saison), les rendements moyens sont de  $27 q \cdot ha^{-1}$  à Davié et  $20 q \cdot ha^{-1}$  à Agbomédji.

Nous retrouvons là l'importance de l'alimentation hydrique dans l'élaboration du rendement (RITCHIE, 1983 ; EHLERS, 1986) et la grande sensibilité du maïs au manque d'eau (ROBELIN, 1984).

La compatibilité statistique des deux régressions précédentes autorise le regroupement des deux sites. En première saison, il apparaît (figure 6) que les rendements d'Agbomédji, où les sols sont épuisés, sont plus faibles que ceux de Davié. Cette différence n'est plus visible, par contre, pour la deuxième saison. Il semble donc que, lorsque les conditions hydriques sont peu contraignantes (première saison), le potentiel de fertilité du sol influence les rendements. En revanche, lorsque le déficit hydrique est important (deuxième saison), il joue un rôle prépondérant dans l'élaboration du rendement, et la déficience de la fertilité du sol est masquée.

### Relation entre le rapport ETR/ETM à la floraison et le rendement en grains

Si l'on représente l'évolution des rendements en fonction des coefficients de satisfaction en eau ETR/ETM au moment de la floraison (du 45<sup>e</sup> au 60<sup>e</sup> jour après le semis), une relation de type exponentiel apparaît (figure 7).

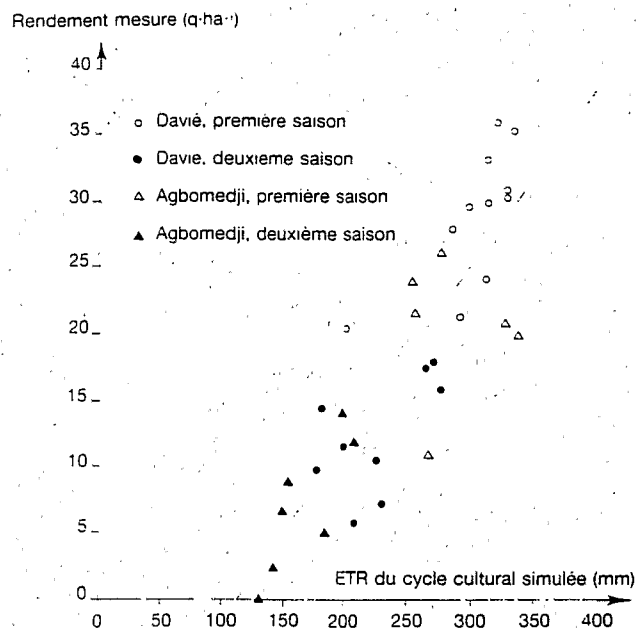


Figure 6 : Relation entre l'ETR simulée du cycle cultural et le rendement mesuré.

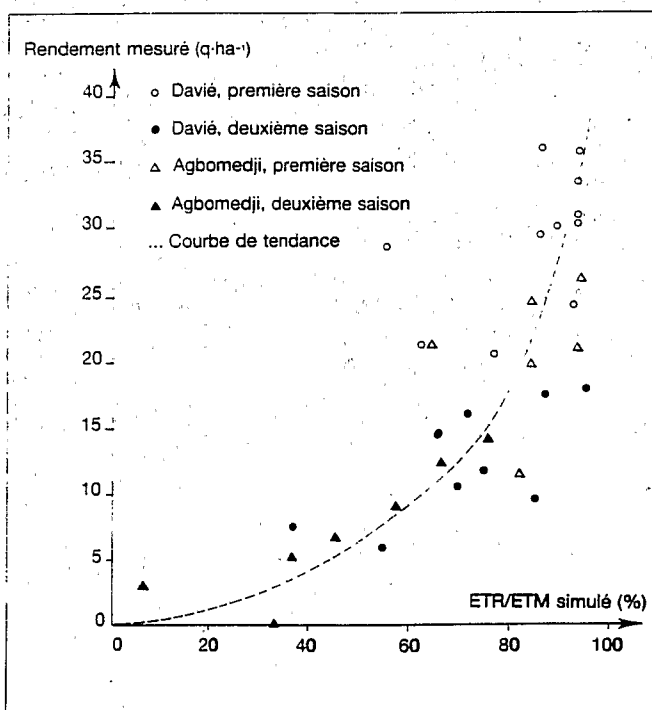


Figure 7 : Relation entre le rapport ETR/ETM à la floraison et le rendement mesuré.

Jusqu'à un taux de satisfaction de l'ordre de 60 %, les rendements restent limités (inférieurs à  $8 q \cdot ha^{-1}$ ). Ils augmentent ensuite très rapidement entre 60 et 100 %. Cette sensibilité au moment de la floraison (ROBINS et DOMINGO, 1953 ; DENMEAD et SHAW, 1960 ; SALTER

et GOODE, 1967) peut donc être interprétée en termes de facteur de risque. La définition d'une stratégie agricole devra par conséquent chercher à obtenir la meilleure satisfaction des besoins en eau au cours de cette période sensible.

## Impact des dates de semis sur le bilan hydrique. Recommandations pour les deux saisons de culture

### Analyse sur quatre stations représentatives

#### Période de semis et bilan hydrique

Pour déterminer la période de semis, nous avons calculé quelles seraient l'évapotranspiration sur le cycle et la satisfaction des besoins en cours de floraison en fonction de la date de semis. Nous avons donc simulé des semis effectués tous les 15 jours sur l'ensemble de l'année (quelle que soit la pluviométrie) et ceci sur la période 1965-1985. Les résultats sont reportés sur la figure 8. Les périodes de semis favorables correspondent aux maximums des courbes d'ETR du cycle et d'ETR/ETM à la floraison.

En première saison de culture, les maximums sont décalés : un semis début mars permet d'obtenir des ETR élevées, mais les risques au moment de la floraison sont

alors très importants. L'expérience acquise permet de préciser qu'il ne faut pas descendre en dessous d'un taux de satisfaction de 70 % au moment de la floraison : ce seuil permet de fixer les dates extrêmes de semis pour chaque station. La période de semis est d'autant plus étalée que la station est plus arrosée : dans le nord de la zone (Tsévié, Tabligbo), les semis sont possibles entre le 15 mars et le 20 mai, alors qu'au sud la période favorable ne s'étend que du 5 avril au 10 mai à Lomé, et du 20 mars au 15 mai à Aklakou.

En deuxième saison de culture, la différence entre le nord et le sud de la zone s'accroît. Si à Tabligbo et à Tsévié la deuxième saison des pluies se traduit par un deuxième maximum d'ETR simulée, à Lomé et à Aklakou, par contre, les ETR restent faibles et aucune période particulièrement favorable n'apparaît. Les taux de satisfaction à la floraison, déjà peu élevés à Tabligbo (80 % à la fin du mois d'août), ne dépassent pas 45 % à Aklakou et 35 % à Lomé.

Pour Tsévié et Tabligbo, il est donc possible de définir les dates de semis extrêmes (du 20 juillet au 10 septembre). Il faut éviter de semer après le 10 septembre, car les deux courbes d'alimentation en eau décroissent ensuite très rapidement (diminution brutale de la pluviométrie à la fin du mois d'octobre, cf. figure 4).

Dans la partie sud, la notion de date de semis extrême ne s'applique pas : les résultats montrent que les conditions actuelles de pluviométrie sont trop faibles pour la culture du maïs. Si elle est malgré tout pratiquée, les rendements seront d'autant moins médiocres que le semis aura été effectué plus précocement.

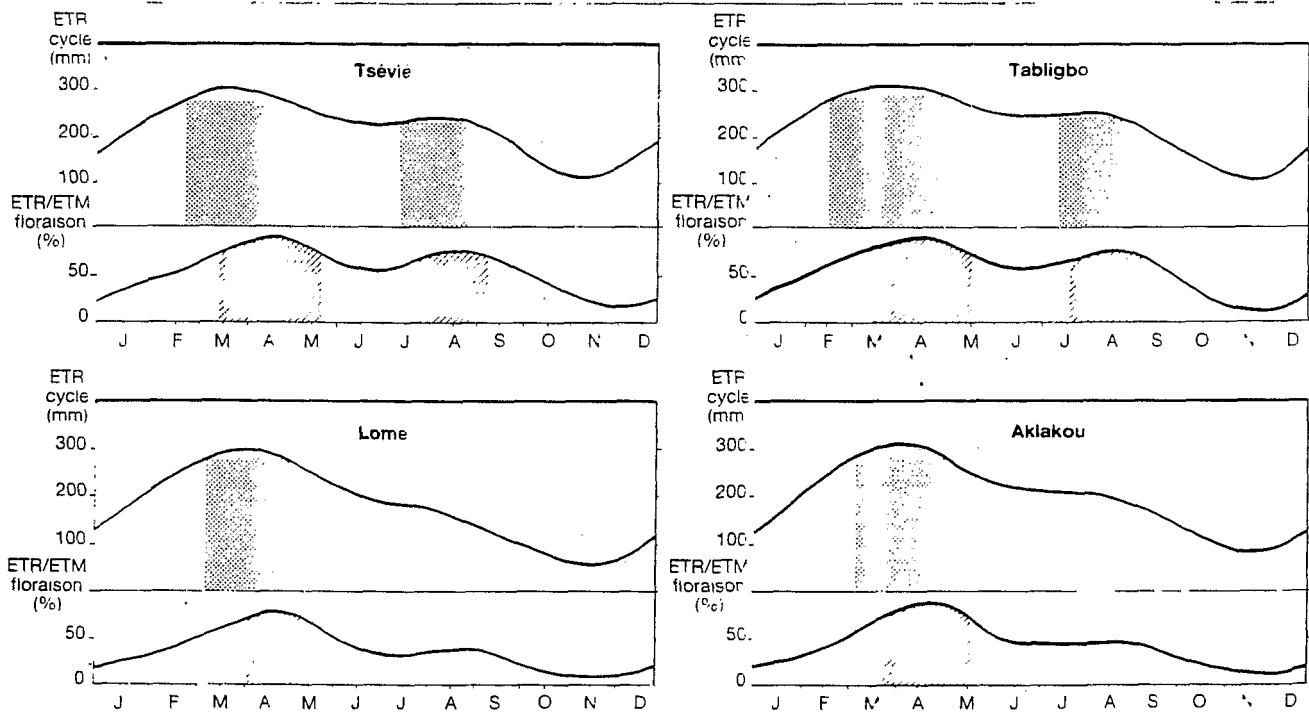


Figure 8 : Evolution de l'ETR du cycle et du rapport ETR/ETM à la floraison (moyennes 1961-1985) pour différentes dates de semis (maïs NH1 F1)

### Critères de décision pour semer

Les résultats qui précèdent ont été obtenus avec des dates de semis prédéfinies, dont l'impact a été ensuite analysé en termes de valeur moyenne.

En réalité, la décision de semer est fondée sur deux critères : la date et la hauteur des précipitations antérieures. Les essais agronomiques ont permis de préciser qu'il faut que la somme des pluies sur cinq jours consécutifs soit supérieure à 20 mm pour pouvoir effectuer le semis dans de bonnes conditions. Cette valeur, comme nous le verrons, est réaliste en première saison. En deuxième saison, par contre, elle est trop élevée, car il est fréquent de ne pas l'observer durant toute la saison des pluies : il a donc été nécessaire de fixer la pluie de semis à 15 mm sur cinq jours consécutifs.

De nouvelles simulations ont été effectuées sur la période 1965-1985 en faisant varier la date de semis « au plus tôt » entre le 5 mars et le 25 avril avec un seuil de 20 mm en première saison, et entre le 20 juillet et le 15 septembre avec un seuil de 15 mm en deuxième saison. Les principaux résultats obtenus sont reportés dans le tableau II.

En première saison de culture, nous pouvons définir pour chaque station une date de semis « au plus tôt » permettant d'obtenir le meilleur compromis entre la maximisation de l'ETR sur le cycle (potentiel de la culture) et de l'ETR à la floraison (risque minimal) : par exemple, le 1<sup>er</sup> avril à Aklakou. Mais cette optimisation pour chaque station n'a pas de sens dans le cadre d'une politique agricole régionale et nous proposons le 1<sup>er</sup> avril comme date de semis « au plus tôt », c'est-à-dire date à partir de laquelle, lorsque le seuil pluviométrique de 20 mm est atteint, le semis doit être réalisé.

En deuxième saison, le problème est différent car les pluies sont rares en fin juillet-début août : quel que soit le début de la période de semis, du 20 juillet au 15 août, la date moyenne de semis varie peu, car il faut généralement attendre les premières pluies de fin août-début septembre. Après le 15 août, par contre, l'ETR du cycle diminue rapidement (figure 8). Il est donc préférable de choisir le 10 août comme date de semis « au plus tôt » sur l'ensemble de la région, ce qui laisse davantage de temps au paysan entre la récolte de la première culture et le semis de la seconde.

Le tableau III résume l'ensemble de ces recommandations.

Tableau II Principaux résultats de simulation du bilan hydrique (1965-1985) selon la date de semis « au plus tôt ».

Maïs NH1 F1	Date de semis au plus tôt	Aklakou			Lomé			Tabligbo			Tsévié		
		Date de semis moyenne	ETR/ETM floraison (%)	ETR cycle (mm)	Date de semis moyenne	ETR/ETM floraison (%)	ETR cycle (mm)	Date de semis moyenne	ETR/ETM floraison (%)	ETR cycle (mm)	Date de semis moyenne	ETR/ETM floraison (%)	ETR cycle (mm)
Première saison	5-03	22-03	70	302	18-03	65	299	19-03	74	315	17-03	74	308
	15-03	01-04	75	306	02-04	71	305	24-03	75	315	24-03	77	307
	25-03	12-04	80	311	09-04	77	307	02-04	81	311	02-04	78	305
	05-04	15-04	80	310	17-04	80	300	12-04	84	308	14-04	84	298
	15-04	23-04	82	303	23-04	82	290	21-04	88	298	22-04	86	289
	25-04	04-05	70	284	04-05	77	270	30-04	87	286	01-05	87	282
Deuxième saison	20-07	01-09	41	199	01-09	23	161	19-08	75	243	17-08	70	240
	30-07	03-09	41	197	04-09	24	157	24-08	73	238	24-08	73	240
	10-08	07-09	40	190	10-09	28	148	28-08	71	238	24-08	71	239
	20-08	16-09	37	176	16-09	27	141	05-09	69	227	04-09	70	230
	30-08	18-09	36	171	19-09	27	134	10-09	67	216	10-09	68	223
	10-09	24-09	29	160	24-09	22	130	17-09	58	198	15-09	62	211

Tableau III Dates de semis optimisées des maïs NH1 F1 et La Posta.

Variété	Première saison des pluies			Deuxième saison des pluies		
	Semis le plus tôt	Semis le plus tard	Optimum : semis lorsque les pluies dépassent 20 mm après le	Semis le plus tôt	Semis le plus tard	Optimum : semis lorsque les pluies dépassent 15 mm après le
Maïs NH1 F1 (110 jours)	20 mars	15 mai	1 <sup>er</sup> avril	15 juillet	15 septembre	10 août
Maïs La Posta (120 jours)	15 mars	5 mai	20 mars	-	-	-

## Extension à l'ensemble du Togo méridional

A partir de ces recommandations (tableau III) :

- en première saison, semis sur la première pentade recevant plus de 20 mm après le 1<sup>er</sup> avril.

- en deuxième saison, semis sur la première pentade recevant plus de 15 mm après le 10 août,

nous avons défini plus précisément les dates de semis par simulation sur l'ensemble des 15 postes pluviométriques de la région.

Pour la première saison (tableau IV), la date moyenne de semis sur les 21 années est un peu plus précoce pour les stations du nord que pour celles du sud. Mais la date moyenne de semis est toujours située dans la première quinzaine d'avril. A la fréquence observée de quatre années sur cinq, le semis peut être réalisé avant le 1<sup>er</sup> mai sur toutes les stations. Dans tous les cas, le semis est possible entre le 1<sup>er</sup> avril et la mi-mai.

En deuxième saison, en revanche (tableau V), les dates de semis sont beaucoup plus étalées : selon les sta-

Tableau IV Dates de semis, bilan hydrique et rendements potentiels simulés du maïs NH1 F1 en première saison.

Station	Date de semis		ETR/ETM floraison (%)	ETR cycle (mm)			Rendement potentiel ( $q \cdot ha^{-1}$ )					
	Moyenne	1 an/5		Moyenne	4 ans/5	1 an/5	Sols non épuisés			Sols épuisés		
			Moyenne				4 ans/5	1 an/5	Moyenne	4 ans/5	1 an/5	
Aklakou	14-04	01-05	80	312	296	337	28	27	32	22	22	25
Akoumapé	14-04	01-05	78	295	263	327	26	21	31	21	17	24
Alokouegbé	08-04	20-04	83	306	292	330	28	26	32	22	20	24
Anecho	10-04	20-04	53	247	216	280	18	14	24	16	12	19
Assahoun	06-04	20-04	83	313	293	340	29	26	33	23	20	25
Atitogon	08-04	20-04	79	301	270	325	27	22	31	21	18	24
Baguida	12-04	25-04	53	242	200	284	18	11	24	15	11	20
Ganavé	12-04	20-04	80	307	280	337	28	24	33	22	19	25
Kouvé	05-04	15-04	76	299	278	325	27	23	31	21	19	24
Lomé	14-04	01-05	54	233	185	277	16	9	23	14	9	19
Mission Tové	10-04	20-04	77	291	275	313	25	23	29	20	19	23
Sanguéra	14-04	25-04	77	295	270	325	26	22	31	21	18	24
Tabligbo	08-04	25-04	82	310	300	333	28	27	32	22	21	25
Tchekpo	07-04	20-04	77	297	270	319	26	22	30	21	18	23
Tsévié	12-04	01-05	82	298	280	315	26	24	29	21	19	23
Davié (1972-1988)	05-04	10-04	77	303	-	-	27	-	-	22	-	-
Agbomédji (1977-1986)	05-04	-	83	316	-	-	29	-	-	23	-	-

Tableau V Dates de semis, bilan hydrique et rendements potentiels simulés du maïs NH1 F1 en deuxième saison.

Station	Date de semis		ETR/ETM floraison (%)	Cycle : ETR (mm)			Rendement potentiel ( $q \cdot ha^{-1}$ )		
	Moyenne	1 an/5		Moyenne	4 ans/5	1 an/5	Moyenne	4 ans/5	1 an/5
Aklakou	06-09	01-10	40	190	126	261	10	1	20
Akoumapé	11-09	01-10	40	200	118	257	11	0	19
Alokouegbé	25-08	15-09	67	227	167	283	15	7	23
Anécho	08-09	01-10	21	133	92	169	2	0	7
Assahoun	25-08	15-09	79	249	215	268	18	13	21
Atitogon	29-08	10-09	52	212	148	260	13	4	20
Baguida	11-09	05-10	16	108	44	170	0	0	7
Ganavé	08-09	01-10	21	164	91	242	6	0	17
Kouvé	23-08	10-09	73	236	203	275	16	12	22
Lomé	10-09	05-10	20	115	56	148	0	0	4
Mission Tové	31-08	20-09	71	230	203	270	16	12	21
Sanguéra	30-08	15-09	49	213	155	265	13	5	20
Tabligbo	19-08	20-09	71	238	177	289	17	8	23
Tchekpo	05-09	01-10	67	225	163	291	15	6	24
Tsévié	26-08	20-09	71	239	200	292	17	11	24
Davié (1972-1986)	01-09	20-09	65	224	185	278	15	9	22
Agbomédji (1977-1986)	31-08	-	68	194	-	-	11	-	-



tions. la date moyenne de semis varie entre le 19 août et le 11 septembre. Sur certaines stations, les semis sont réalisés une année sur cinq après le 1<sup>er</sup> octobre. Comme nous avons vu qu'il ne fallait pas semer après le 10 septembre, les semis ne peuvent être assurés plus d'une année sur deux dans la zone méridionale et quatre années sur cinq dans les zones les plus arrosées.

Le paysan qui souhaite cultiver du maïs en deuxième saison doit donc être prêt à semer dès le 10 août et doit réaliser le semis dès que le total pluviométrique sur une pentade dépasse 15 millimètres. Si les pluies ne sont pas favorables en août, il lui est possible de décaler son semis jusqu'au 10 septembre. Passée cette date, les chances de réussite du maïs sont très faibles, et il est préférable de mettre en place des cultures à cycle plus court et moins exigeantes en eau.

La même étude a été menée pour la variété La Posta. En première saison, la période de semis optimale se situe entre le 5 mars et le 25 avril, avec une décision optimale de semis après le 20 mars. Les semis sont plus précoces que pour la variété NH1 F1, car le cycle végétatif est plus long (120 contre 110 jours). En deuxième saison, cette variété n'est pas adaptée du fait de son cycle et de besoins en eau trop élevés. Elle est donc déconseillée. Des études sont actuellement en cours sur une variété du CIMMYT d'un cycle de 95 jours (Mexico 80.49).

### Conclusion sur les dates de semis

Les principaux résultats de cette étude sont résumés dans le tableau IV. Il apparaît que la période de floraison qui résulte de la stratégie de semis proposée correspond en première saison à la plus forte pluviosité (figure 9). En deuxième saison, ce n'est plus le cas, en raison des difficultés à assurer le semis.

Il faut noter par ailleurs que la date de semis présentée (14 avril pour le maïs NH1 F1 en première saison) est

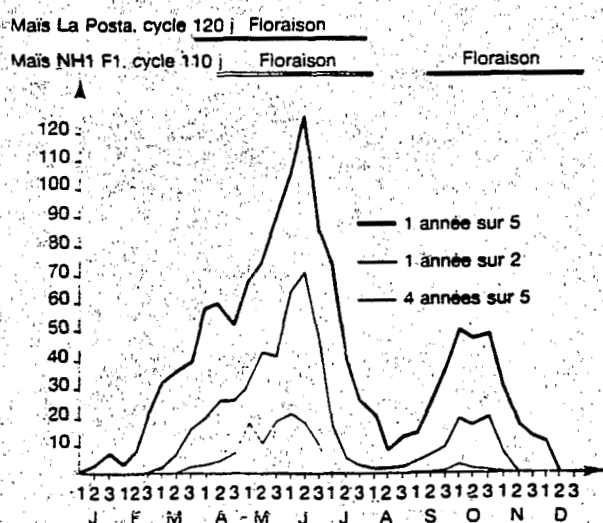


Figure 9 : Analyse fréquentielle décadaire de la pluviométrie à Lomé (1934-1985).

une date moyenne. l'application de la stratégie de semis optimale conduisant à un semis entre le 1<sup>er</sup> avril et le 1<sup>er</sup> mai quatre années sur cinq.

Le maïs La Posta, d'une productivité plus élevée, peut être envisagé en première saison. Mais il est fortement déconseillé en deuxième saison.

Soulignons enfin que les critères de décision et les recommandations proposés sont fondés uniquement sur l'optimisation du bilan hydrique et des rendements. Ils devraient être évalués en fonction des schémas d'organisation du travail au sein des exploitations (en particulier des contraintes de temps au moment des sarclages), avant d'être vulgarisés. Par ailleurs, ces recommandations ne sont pas valables pour les sols de bas-fond bénéficiant d'un apport hydrique supplémentaire.

### Zonage agropédoclimatique des potentialités du maïs

A partir des relations trouvées entre l'ETR et les rendements, il est possible d'évaluer, pour la variété NH1 F1, les potentialités résultant de l'application des stratégies de semis proposées.

Pour la première saison de culture, il faut distinguer les sols épuisés des sols non épuisés, et la réponse correspondante du maïs à l'eau. A partir des ETR simulées sur chaque poste pluviométrique, les rendements potentiels moyens en sols épuisés et non épuisés ont été estimés, ainsi que les rendements potentiels aux fréquences de une année sur cinq et quatre années sur cinq (tableau IV). La présentation des résultats pour les sols épuisés au cours de la première saison des pluies fait apparaître un potentiel de production plus faible des sols sableux du littoral (figure 10), lié à leur faible réserve en eau. Sur toutes les stations situées sur terres de barre, les rendements potentiels moyens ne diffèrent que de  $4 \text{ q} \cdot \text{ha}^{-1}$ . A fertilité égale du sol, il n'y a donc pas de différences régionales de productivité en première saison de culture. Les différences de rendement entre années quinquennales sèches et humides ne sont que de l'ordre de  $3 \text{ q} \cdot \text{ha}^{-1}$ . La variabilité interannuelle est donc faible et la production sécurisée.

En deuxième saison, cette même approche ne nécessite qu'une seule droite de régression puisque nous avons vu que l'effet de la fertilité intrinsèque du sol était masqué par des conditions hydriques très limitantes. Les rendements potentiels moyens (tableau V) sont faibles (pratiquement nuls sur le littoral) et présentent une très importante variabilité interannuelle : en année quinquennale sèche ou humide, le rendement varie de plus de 50 % par rapport à la moyenne. La carte des rendements potentiels moyens (figure 11) met en évidence un important gradient de productivité, les stations situées au nord de la zone présentant des rendements deux fois plus élevés que ceux des stations du sud.

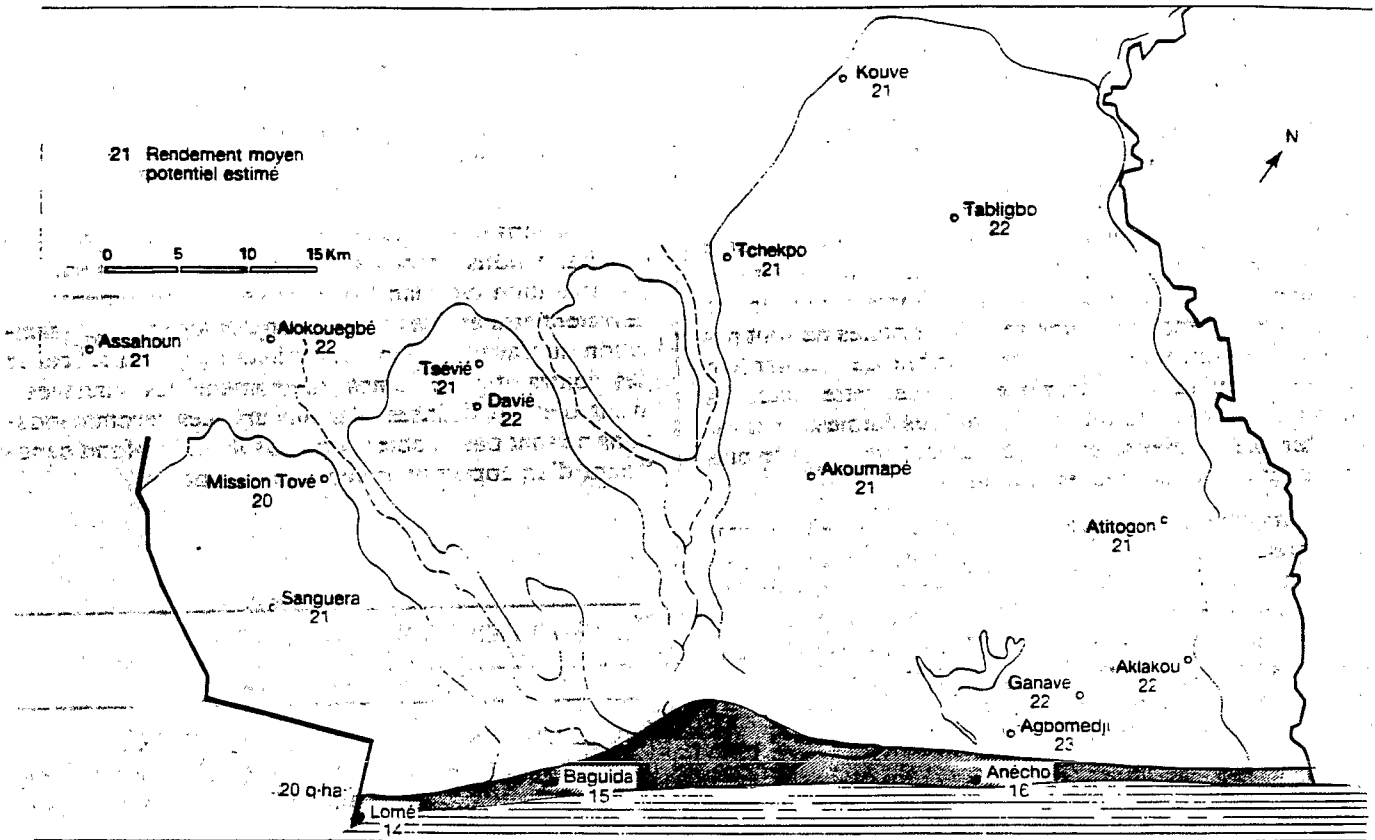


Figure 10 : Rendement potentiel moyen (q-ha<sup>-1</sup>) du maïs NH1 F1 en première saison de culture sur sols épuisés

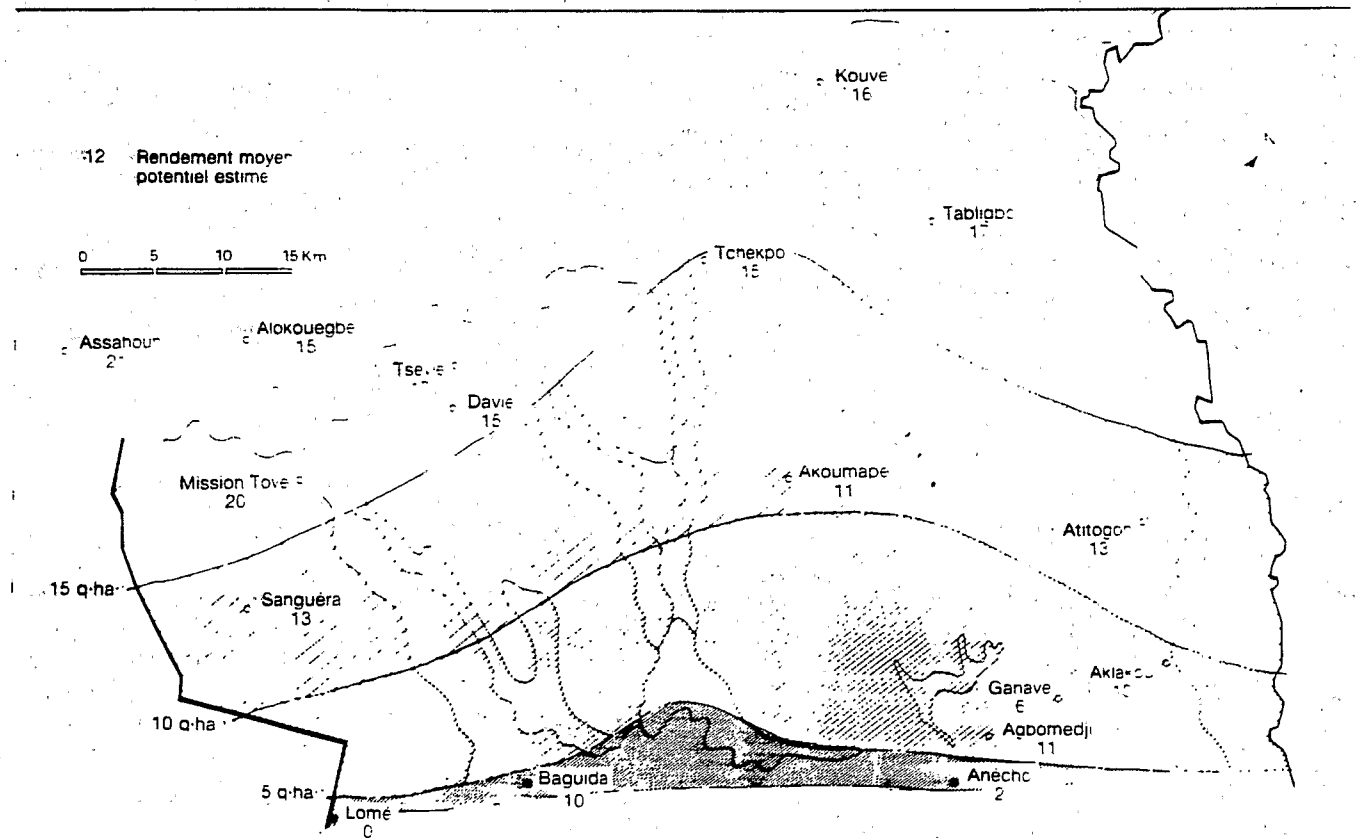


Figure 11 : Rendement potentiel moyen (t-ha<sup>-1</sup>) du maïs NH1 F1 en deuxième saison de culture

Il est donc possible, sur terres de barre, d'obtenir en première saison des rendements de l'ordre de  $28 \text{ q} \cdot \text{ha}^{-1}$  sur sol non épuisé et de l'ordre de  $22 \text{ q} \cdot \text{ha}^{-1}$  sur sol épuisé. Même sur le cordon littoral, des rendements de l'ordre de  $15 \text{ q} \cdot \text{ha}^{-1}$  peuvent être espérés. En deuxième saison de culture, par contre, non seulement les rendements dépassent à peine  $15 \text{ q} \cdot \text{ha}^{-1}$  dans les zones les plus favorables, mais de plus la variabilité interannuelle est considérable, ce qui n'assure aucune sécurité à la production agricole. Dans les conditions actuelles de climat, il n'est donc pas souhaitable de cultiver du maïs en deuxième saison sur toute la moitié sud de la région : une reorientation de la production vers des espèces plus résistantes à la sécheresse est indispensable (mil, sorgho, niébé...).

Cette conclusion entraîne une remise en question totale du système de production actuel, dans lequel la récolte de deuxième saison est utilisée pour l'alimentation en fin de grande saison sèche (soudure). Il nécessite des décisions politiques prenant en compte des données socio-économiques qui dépassent le champ agronomique de cette étude.

## Conclusion

L'évolution de la pluviométrie dans le sud du Togo a profondément modifié les conditions de culture du maïs. L'utilisation d'un modèle de simulation du bilan hydrique a permis d'en définir les contraintes et potentialités pédoclimatiques. L'étude comparée des rendements observés et des paramètres hydriques obtenus par simulation sur la même période a fourni une évaluation de la productivité du maïs en fonction des conditions pluviométriques et de la fertilité intrinsèque des terres de barre. De plus, en simulant différentes périodes de semis, une stratégie optimale de semis a été élaborée, augmentant, en termes statistiques, le potentiel de rendement, et diminuant le risque à la floraison.

A l'échelle régionale, un zonage agropédoclimatique a été réalisé, révélant un important gradient de potentialités. Cette approche, qui intègre les hétérogénéités spatiales et temporelles, a permis d'obtenir des résultats agronomiques immédiats. Sa généralisation à d'autres cultures et à l'ensemble du territoire togolais peut s'envisager, malgré les difficultés méthodologiques liées à la rareté des données agronomiques fiables sur une longue période et à l'hétérogénéité latérale des sols tropicaux.

Reçu le 24 juillet 1987.  
 Accepté le 15 février 1988.

## Références bibliographiques

BALDY C.M., 1978. Utilisation d'une relation simple entre le bac classe A et la formule de Penman pour l'estimation de l'ETP en zone soudano-sahélienne. *Ann. Agron.*, 30 (4) : 329-336.

DABIN B., 1956. Contribution à l'étude de la fertilité des terres de barre. *L'Agron. Trop.*, 11 (4) : 490-506.

DANCETTE C., 1976. Mesures d'évapotranspiration potentielle et d'évaporation d'une nappe d'eau libre au Sénégal. Orientation des travaux portant sur les besoins en eau des cultures. *L'Agron. Trop.*, 31 (4) : 321-338.

DANCETTE C., 1983. Estimation des besoins en eau des principales cultures pluviales en zone soudano-sahélienne. *L'Agron. Trop.*, 38 (4) : 281-294.

DENMEAD O.T., SHAW R.H., 1960. Effects of soil moisture stress at different stages of growth on the development and yield of corn. *Agron. J.*, 52 : 272-274.

EAGLEMAN J.R., 1971. An experimentally derived model for actual evapotranspiration. *Agric. Meteorol.*, 8 (4-5) : 385-394.

EHLERS W., 1986. Transpiration and yield relations of oats. *Comm. XIII Congr. ISSS (Hambourg)*.

FOREST F., KALMS J.M., 1984. Influence du régime d'alimentation en eau sur la production du riz pluvial. Simulation du bilan hydrique. *L'Agron. Trop.*, 39 (1) : 42-50.

FRANQUIN P., FOREST F., 1977. Des programmes pour l'évaluation et l'analyse fréquentielle des termes du bilan hydrique. *L'Agron. Trop.*, 32 (1) : 7-11.

FRETEAUD J.P., POSS R., SARAGONI H., 1987. Ajustement d'un modèle de bilan hydrique à des mesures tensio-neutroniques *in situ* sous culture du maïs. *L'Agron. Trop.*, 42 (2) : 94-102.

LAMOUREUX M., 1969. Carte pédoclimatique du Togo au 1:1000 000. Notice explicative n° 34. Paris. ORSTOM, 91 p. Carte n.t.

LHOMME J.P., MONTENY B., 1979. Etude agroclimatique de la région centre-Bandama de Côte-d'Ivoire. Adiopodoume. ORSTOM-AVB, 43 p.

MARQUETTE J., 1986. Maintien et amélioration des rendements du maïs sur les terres de barre dans le sud du Togo. *L'Agron. Trop.*, 41 (2) : 132-148.

PERRIER A., HALLAIRE M., 1979. Rapport de l'évaporation potentielle calculée à l'évapotranspiration mesurée sur bac. I - Justification d'une relation expérimentale obtenue en zone tropicale. *Ann. Agron.*, 30 (4) : 329-336.

POSS R., SARAGONI H., 1987. Quelques problèmes posés par l'estimation du bilan hydrique en plein champ. Milieux poreux et transferts hydriques. *Bull. GFHN*, 22 : 32-46.

RAUNET M., 1973. Contribution à l'étude pédo-agronomique des terres de barre du Dahomey et du Togo. *L'Agron. Trop.*, 28 (11) : 1049-1069.

RITCHIE J.T., 1983. Efficient water use in crop production : discussion of the generality of relations between biomass production and evapotranspiration. In : Taylor (H.M.), Jordan (W.R.) and Sinclair (T.R.) : Limitations to efficient water use in crop production. Madison. American Society of Agronomy, p. 29-44.

ROBELIN M., 1984. Fonctionnement hydrique et adaptation à la sécheresse. In : *Physiologie du maïs*. Paris. INRA, p. 445-476.

ROBINS J.S., DOMINGO C.E., 1953. Some effects of severe soil moisture deficits at specific growth stages in corn. *Agron. J.*, 45 : 618-621.

SALTER J.P., GOODE J.E., 1967. Crop responses to water at different stages of growth. *Commonw. Bur. Hortic. Plant Crop Res. Rev.* n° 2.

VAN DIEPEN C.A., AZONTONDE A.H., 1979. Détermination des dates de semis basée sur l'analyse fréquentielle de la pluviométrie décadaire au Bénin. Cotonou. CENAP, 97 p.

VIEILLEFON J., MILLETTE G., 1965. Etudes pédohydrologiques au Togo. Vol. II : Les sols de la région maritime et des savanes. Rome. ONU-FAO. Paris. ORSTOM, 189 p., 5 cartes h.t.

## Summary

POSS R., SARAGONI H., IMBERNON J. - **The simulated water balance of maize in Southern Togo.**

Under good conditions of mineral supply, maize yield is highly connected with two parameters of the water balance : total evapotranspiration which characterizes a yield potential, and water stress, a factor of risk at the flowering stage. Simulating of the two parameters makes it possible to propose an optimal sowing strategy for two maize varieties and to point out the effect of exhausted soils on the use of water to best advantage. Potential yields are then defined at the region level by simulating the water balance on all the climatological stations in Southern Togo, thereby making it possible to zone maize potential on the basis of agroclimatic and soil conditions. This zoning shows an important North-South gradient during the second crop season.

**Key words :** *Zea mays*, maize, water balance, sowing dates, yield, zoning, Togo.

## Resumen

POSS R., SARAGONI H., IMBERNON J. - **Balance hídrico simulado del maíz en Togo meridional.**

El rendimiento del maíz en buenas condiciones de alimentación mineral depende mucho de dos parámetros del balance hídrico : la evapotranspiración total que caracteriza un potencial de rendimiento y la falta de agua durante la floración que constituye un factor de riesgo. La simulación de estos parámetros permite proponer una estrategia óptima de siembra de dos variedades de maíz y pone de manifiesto el efectos del agotamiento de los suelos sobre el aprovechamiento del agua. Se definen a continuación rendimientos potenciales a escala regional, simulando el balance hídrico en todas las estaciones climáticas de Togo meridional. Eso permite una división en zonas agroedafoclimáticas de las potencialidades del maíz, que revela un gradiente norte-sur considerable durante la segunda temporada de cultivo.

**Palabras-clave :** *Zea mays*, maíz, balance hídrico, fechas de siembra, rendimiento, división en zonas, Togo.