

## ANALYSE AGROCLIMATIQUE EN RÉGIONS TROPICALES

### LES CONDITIONS HYDRIQUES

PAR

**P. FRANQUIN\***

#### RÉSUMÉ

*Dans cette première partie, on examine l'incidence, sur les facteurs de la productivité et du rendement des cultures (accroissements de nombre et de masse des organes de la plante), de l'ajustement à la saison humide, caractérisée par ses événements climatiques, des cycles de développement caractérisés par leurs événements phénologiques. Dans la saison humide, fondée théoriquement — et distinctement de la saison pluvieuse proprement dite — sur la valeur du bilan hydrique potentiel, le rapprochement des courbes de pluviosité et d'évapo-transpiration permet de délimiter trois périodes principales : pré-humide, humide, post-humide, qui ont des significations agronomiques précises. De cette analyse résulte une définition des variables de nature climatique à tester corrélativement à la fluctuation d'origine climatique du rendement, isolée préalablement de la fluctuation globale.*

#### SUMMARY

*In this first part, we shall examine the influence of the adaptation to the wet season, characterised by its climatic occurrences, and of the cycles of development, characterised by their phenological occurrences, on factors on which the productivity and efficiency of cultures depend (growth in number and volume of the organs of the plant).*

---

\* Agroclimatologue à l'O.R.S.T.O.M. — S.S.C. BONDY.

O. R. S. T. O. M. Fonds Documentaire  
N° : 17519 L. 42  
Cote : A

*In the wet season, which is defined in theory by the value of the potential hydrous schedule — and which is distinct from the rainy season proper — the parallel between the precipitation and evaporation graphs enables us to determine three main periods: pre-wet, wet and post-wet, that have a precise significance in agronomy.*

*The result of this study is to define climatic variables that are to be tested in connection with the climatic fluctuation in productivity — this climatic fluctuation has to be previously distinguished from the general fluctuation.*

Une définition de l'agroclimatologie est l'étude des réactions des cultures aux conditions du *milieu climatique*, en vue notamment de délimiter leurs aires d'adaptation, cette adaptation étant évaluée, si possible, en termes de *productivité relative* (toutes autres conditions supposées identiques).

Le milieu climatique a deux composantes :

- le climat *atmosphérique* ou climat proprement dit ;
- le climat *édaphique* ou climat du sol.

Le climat édaphique dépend lui-même :

- du climat atmosphérique ;
- des caractéristiques *physiques* du sol, relief et profondeur y compris, dont le rôle est déterminant dans la réalisation du bilan hydrique *réel*.

On éprouve encore aujourd'hui, cependant, de telles difficultés pour l'évaluation de ce bilan hydrique réel, si on ne procède pas à des mesures directes de l'humidité et de la densité du sol en place, qu'on se fixera de définir le climat de la « région agroclimatique » en général, non par rapport au milieu climatique intégral (climat atmosphérique + climat édaphique), mais à partir du seul climat atmosphérique, c'est-à-dire en fonction du bilan hydrique *potentiel*.

En opposition au bilan hydrique « réel », dans lequel les pertes par restitution à l'atmosphère (limitées par le ruissellement et le drainage) constituent l'évapotranspiration réelle, on concevra ici le bilan hydrique « potentiel » comme un modèle suivant lequel la lame d'eau dans sa totalité reste théoriquement à la disposition de l'évapotranspiration potentielle.

Par ailleurs, plus on s'élève dans l'atmosphère au-dessus de la couche au contact du sol où se détermine le micro-climat, plus les valeurs des éléments climatiques ont tendance à être homogènes (au moins jusqu'à une certaine échelle), concernant des surfaces de sol de plus en plus vastes et hétérogènes. A l'*homogénéité du climat* correspond généralement l'*hétérogénéité du sol*.

On pourra donc définir la « région agroclimatique » comme celle qui correspond à une certaine « unité de climat », caractérisée par un bilan hydrique *potentiel*, recouvrant une possible « diversité de sols » physiquement distincts. Chacun de ces sols délimite alors ce qu'on pourra dénommer un « secteur agroclimatique », caractérisé en place par un bilan hydrique *réel*.

Autrement dit, suivant cette conception, évidemment schématique et idéale, un *même climat atmosphérique* régional, en principe indivisible à ce niveau et caractérisé par un bilan hydrique potentiel, se scinde en *milieux climatiques distincts*, caractérisés chacun par un bilan hydrique réel propre, selon la nature physique des sols qu'il recouvre.

Le « secteur agroclimatique » pourra constituer, relativement au climat et au sol,

une *unité écologique* si les propriétés chimiques sont elles aussi suffisamment homogènes. Sinon le secteur pourra se subdiviser à son tour suivant ce critère supplémentaire.

Le bilan hydrique potentiel détermine la *durée possible* théorique (ou « saison humide » telle que définie plus loin) du développement et de la croissance des cultures, c'est-à-dire les possibilités d'*accroissement de nombre total* des organes de la plante (nombre de fruits en particulier, FRANQUIN 1966), lequel résulte de la *multiplication* cellulaire, dont la vitesse est par ailleurs climatiquement fonction de la température, toutes autres conditions supposées favorables.

D'autre part, les possibilités d'*accroissement de masse* de ces organes (masse des fruits en particulier), lequel résulte aussi du *grandissement* cellulaire, climatiquement fonction du rayonnement net et de la température (par voie de photosynthèse nette), sont déterminées, comme déjà l'accroissement de nombre, par le rapport des disponibilités en eau aux besoins instantanés (ROBELIN 1961, BOUCHET 1963) au cours de cette saison humide. Ce rapport est celui même, ETR / ETP, de l'évapotranspiration réelle à l'évapotranspiration potentielle.

C'est aux seules conditions hydriques que seront rapportés, dans cette première partie, les phénomènes d'accroissement de nombre et d'accroissement de masse qui déterminent la productivité de la plante et le rendement de la culture, lesquels sont, en dernière analyse, le produit du nombre de fruits par leur masse moyenne.

## CONSIDÉRATIONS PHYSIO-CLIMATIQUES

En culture strictement pluviale, l'évaluation des besoins en eau a pour fin d'assurer aux disponibilités la meilleure efficacité, par un ensemble de décisions (choix de la culture, de la variété, de la date du semis, de la densité de plantation, des techniques ; programmation des interventions culturales...) fondées aussi, par ailleurs, sur l'analyse fréquentielle du régime des pluies.

Ces besoins sont fixés, aux effets d'oasis près, par le rayonnement net et le pouvoir évaporant de l'air, dont les valeurs *instantanées* ont sur l'accroissement de masse une incidence qui peut être considérable (BOUCHET 1964).

Cependant, les besoins globaux d'une culture sont déterminés avant tout par le temps durant lequel (dont dépend l'accroissement de nombre) elle doit occuper le sol pour achever son cycle. Ce temps est fonction : de l'espèce et de la variété d'une part, de la photopériode et / ou de la température (somme de température<sup>1</sup> entre semis et floraison essentiellement) d'autre part.

En fait, le temps de végétation sera généralement déterminé par la date du semis et la fin de la saison humide, vu l'intérêt de cultiver des variétés de cycle long, plus productives. La durée de cette saison humide, qui va décroissant quand la latitude augmente, et sa position dans le temps ont ainsi en général (quoique de façon variable avec les espèces) plus d'importance que la répartition des disponibilités en eau vis à vis des

---

(1) On admettra ici sans plus de fondements, après bien d'autres auteurs, que la somme de température, produit du temps par la température moyenne de la période considérée, constitue un critère commode et plus précis que le temps seul des possibilités de développement d'une plante. On peut montrer d'ailleurs (FRANQUIN 1966) que la productivité de celle-ci est mathématiquement liée à cette variable climatique.

besoins instantanés au cours de cette saison, et surtout que la lame d'eau totale de la saison pluvieuse.

Le problème de l'utilisation optimale des disponibilités hydriques est donc avant tout d'*ajuster les cycles de développement des cultures*, définis par leurs événements phénologiques, à la *saison humide*, définie par ses événements climatiques remarquables, dont durée et limites probables.

Les termes de cet ajustement seront cependant précisés à des échelles d'espace et de temps plus ou moins fines selon le cadre considéré :

**a** — Dans le cadre de la « région agroclimatique », qu'on a vue fondée sur le bilan hydrique potentiel, l'ajustement se fera évidemment compte tenu du bilan hydrique *réel* caractérisant chaque type de sol. On a en effet défini la région comme une unité de climat recouvrant une possible diversité de sols<sup>1</sup>.

Pareil ajustement ne pourra être étudié, dans l'état des connaissances, qu'expérimentalement « *in situ* », car le bilan hydrique réel résulte :

— Des caractéristiques *locales* (mésoclimatiques) de pluviosité et d'évapotranspiration, que l'on considérera à l'échelle de la semaine ou de la *décade* : ce sont les caractéristiques du climat de l'exploitation agricole.

— Des caractéristiques *hydriques* et *hydrodynamiques* du sol, dont profondeur et relief, qui déterminent les quantités d'eau ruisselée, drainée et finalement disponible. Le bilan sera, quand devenu possible, modulé en fonction du potentiel *efficace* de l'eau du sol (HALLAIRE 1964), lui-même sous la dépendance non seulement du taux d'humidité mais aussi du volume de sol exploité, de sa conductibilité pour l'eau et de l'intensité de l'évapotranspiration.

Le découpage de la saison humide en périodes successives sera effectué en considération non seulement de ses événements *climatiques* remarquables mais aussi de tous les événements *phénologiques* connus de la culture : il sera dit « découpage phénoclimatique ».

**b** — Dans le cadre de la « zone agroclimatique », l'ajustement se fera en fonction du bilan hydrique *potentiel* de chaque région. On peut définir la zone agroclimatique comme celle qui correspond à un *type de climat* (aride, subaride, semi-aride...) permettant de pratiquer *un même système d'agriculture d'intensivité déterminée*<sup>2</sup>, dans les régions ou unités climatiques bien différenciées qu'elle recouvre<sup>3</sup>.

---

(1) Les limites de la région agroclimatique devraient être alors celles de l'aire d'action de la station « élémentaire » de recherche agronomique contrôlant, en principe, autant de stations expérimentales ou de points d'essais qu'il y a de grands types physiques de sols. Dans la conception d'une régionalisation de la recherche en Afrique, où les problèmes sont avant tout d'ordre *agrologique* (du fait de la médiocrité et de la fragilité générales du complexe sol-climat), la station « élémentaire » serait la station régionale réduite à sa plus simple expression, la « cellule de base », nécessairement constituée de l'agropédologue (à temps complet parce que contrôlant, sous un même climat, plusieurs types de sol) et de l'agroclimatologiste (à temps partiel parce que contrôlant, du niveau de la « zone », plusieurs unités climatiques régionales). A cette cellule de base viendraient se joindre d'autres spécialités, selon les besoins.

(2) Zone aride : pas de culture possible sans irrigation ou utilisation de nappe résiduelle de décrue — Zone subaride : monoculture (céréalière) extensive — Zone semi-aride : polyculture extensive — Zone semi-humide : polyculture semi-intensive — Zone subhumide : polyculture intensive — Zone humide : cultures spécialisées, généralement arbustives, pérennantes.

(3) La zone comprendrait donc, en principe, autant de stations élémentaires de recherche agronomique que de régions.

Le bilan hydrique potentiel de chaque région (indépendant donc de la nature des sols) sera établi pour des périodes de l'ordre non plus de la décade mais du *mois*, généralement de durée variable d'ailleurs, à partir des valeurs *climatiques* (moyennes des valeurs locales ou mésoclimatiques) d'évapotranspiration et de pluviosité.

Parallèlement, les caractéristiques de végétation des cultures ne seront considérées que pour des événements phénologiques *majeurs* : phase végétative, émission des boutons floraux, floraison ou épiaison, fructification.

Le découpage de la saison humide en périodes successives tendra à n'être fait qu'en fonction des événements *climatiques* remarquables, afin de n'être pas contingent au matériel végétal : il sera dit « découpage climatique ». C'est ainsi qu'on pourra ne considérer, dans cette saison, que *trois périodes principales* :

— La « période préhumide », durant laquelle la pluviosité  $P$  est *globalement inférieure* à l'évapotranspiration potentielle  $ETP$  et représente, dans le cas d'une végétation permanente couvrante, l'évapotranspiration réelle  $ETR$ . Débutant non pas en  $A_1$ , qui situe de façon imprécise la première pluie, mais en  $A_2$ , moment où le déficit hydrique *maximal* (au point de flétrissement, le bilan étant dit nul) commence à décroître, elle prend fin au moment  $B_1$  où  $P$  équilibre juste  $ETP$  (figure 1). Ce dernier moment correspond à la première intersection des courbes  $P$  et  $ETP$ . Les instants  $A_2$  et  $B_1$  peuvent être précisés à tout niveau de probabilité désirable. A la fin de cette période, le bilan hydrique est *positif* si la culture ne couvre pas encore le sol, ce qui est généralement le cas pour des cultures annuelles récemment semées.

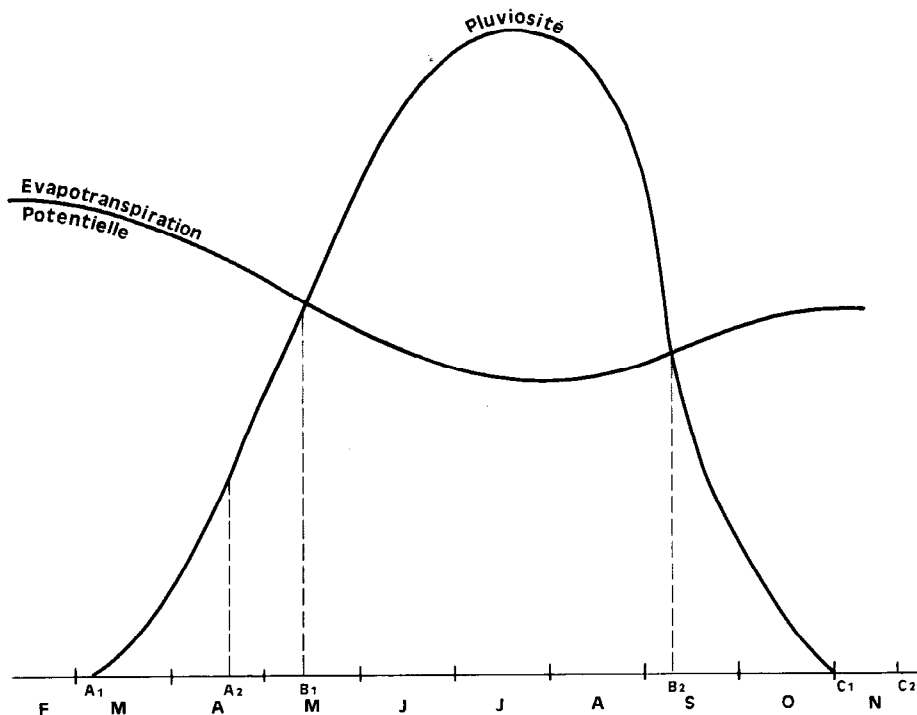


Fig. 1. —  $A_1-C_1$  : saison pluvieuse

( $A_2-B_1$  : période pré-humide

$A_2-C_2$  : saison humide

( $B_1-B_2$  : période humide

( $B_2-C_2$  : période post-humide

— La « période humide », durant laquelle  $P$  est *globalement supérieure* à ETP qui représente alors, en principe, l'ETR d'une culture couvrante. Elle est située entre les instants  $B_1$  et  $B_2$  qui correspondent aux deux points d'intersection des courbes  $P$  et ETP, où  $ETR = P = ETP$ . Comme celles de  $A_2$  et  $B_1$ , la position de  $B_2$  peut être précisée à tout niveau de probabilité désirable. A la fin de cette période, le bilan est évidemment *positif*.

— La « période post-humide », durant laquelle la pluviosité  $P$  redevient *globalement inférieure* à ETP. Elle se place entre l'instant  $B_2$  et le point  $C_2$ , moment où ETR s'annule, le bilan étant redevenu *nul* (déficit maximal atteint), les réserves théoriques accumulées durant la « période humide » étant épuisées. En dépit de ces réserves, ETR, durant cette troisième période, sera en fait généralement inférieure à ETP car dépendante non seulement du taux d'humidité du sol mais aussi de la disponibilité de l'eau, c'est-à-dire de son potentiel efficace à tout instant, ainsi que de la nature de la culture en fin de végétation. Dans la réalité, la position de  $C_2$  est donc contingente à la culture et ne constitue pas, à proprement parler, un événement purement climatique.  $C_1$ , enfin, situe de façon imprécise la dernière pluie, antérieurement à  $C_2$ .

## IMPLICATIONS AGRONOMIQUES

Ce modèle théorique de découpage de la saison humide d'après ses événements majeurs s'interprète bien en termes d'agronomie :

**a** — La « période pré-humide »  $A_2$ - $B_1$  est normalement celle des semis.  $A_2$  est en effet le moment où ETR, donc en principe<sup>1</sup> la pluviosité  $P$ , est égale au *tiers de l'évaporation* potentielle  $E_0$  de PENMAN (albedo de 0,05) ou encore, grossièrement, à la *moitié de l'évapotranspiration* potentielle  $ET$  du même auteur (albedo de 0,25).

Cette valeur correspondrait, selon certains auteurs (TRUMBLE 1937, HUTCHINSON *et al.* 1958) à l'évaporation moyenne d'un sol nu ou très faiblement couvert, lorsqu'il n'est que de temps à autre mouillé par les pluies.

On obtient la même relation en utilisant les formules proposées par TURC pour évaluer l'évaporation des sols nus (Thèse 1953) et l'évapotranspiration potentielle (1961). Les calculs exécutés avec ces formules indiquent en effet que, dans les régions considérées, c'est lorsque la précipitation mensuelle dépasse environ la moitié de l'évapotranspiration potentielle que le sol nu reconstitue ses réserves.

En grossière approximation, à partir de ce moment  $A_2$  où  $P$  devient supérieur à  $\frac{1}{2}$  ETP, le semis deviendrait donc possible, en moyenne ou pour tout autre seuil de probabilité.

Pour un semis effectué aux environs de  $A_2$ , ETR augmentera proportionnellement à la surface foliaire elle-même, jusqu'au moment où, la culture devenant couvrante, on aura :  $ETR = ETP$ . La possibilité, pour une culture semée en  $A_2$ , de couvrir le sol au moment  $B_1$ , dépendra : d'une part de l'espèce, de la variété et de la densité de plan-

(1) Le ruissellement, à cette époque où les risques d'engorgement du sol sont faibles, est supposé nul, dans la perspective d'une agriculture un peu évoluée.

tation ; d'autre part de la somme de température entre  $A_2$  et  $B_1$  (en fait, la régularité des pluies jouera aussi).

La période antérieure,  $A_1-A_2$ , qu'on pourra appeler « préparatoire », sera celle du semis dit « en sec » (il sera en réalité possible de semer en sol mouillé à cette époque à la suite d'une pluie précoce de hauteur suffisante). Ce mode de semis aléatoire n'est praticable que pour des cultures, comme celles de Mil (*Pennisetum*) et de Maïs, dont les plantules opposent une très grande capacité de résistance aux sécheresses pouvant survenir après la levée. Ce sera aussi, en région où la pluviosité est à la limite tolérable, l'époque de semis d'une culture de rendement marginal dont la durée de cycle exige que soit allongé son temps réel de végétation. Le risque d'avoir à refaire plusieurs fois le semis est alors considéré comme compensé par la chance d'obtenir un rendement meilleur, risque et chance ayant des probabilités à estimer dans chaque cas particulier.

La période  $A_1-B_1$ , enfin, est celle de préparation du sol, en début de saison, quand il n'est pas possible, comme il est préférable pour la précocité des semis, de l'effectuer enfin de saison humide. Cette préparation devient de plus en plus aisée en direction de  $B_1$ , pour devenir très difficile au-delà (et même impossible en sol lourd) parce que la terre se trouve généralement trop mouillée.

La considération du point  $A_2$ , qu'il est possible de situer à n'importe quel niveau de probabilité, donne du début de la saison « humide » une définition plus concrète finalement que celle qui consiste à fixer la date de la première pluie dite « efficace ».

Il sera en conséquence bien distingué entre une saison « humide » qui commence en  $A_2$  et une saison « pluvieuse » qui débute au moment mal déterminé  $A_1$  (première pluie). De même, la saison « humide » se termine en  $C_2$  et la saison « pluvieuse » au moment mal précisé  $C_1$  (dernière pluie).

La saison humide  $A_2-C_2$ , contrairement à la saison pluvieuse  $A_1-C_1$ , est ainsi caractérisée par la *permanence*, au moins théorique, d'eau dans le sol en-deçà du point de flétrissement. Et cette saison humide comprend 3 périodes : pré-humide, humide, post-humide.

Un point supplémentaire, symétrique de  $A_2$ , pourrait être envisagé entre  $B_2$  et  $C_1$  : celui où  $P$  redevient égal à  $\frac{1}{2}$  ETP. On remarquera cependant que cet instant, en période post-humide, alors que ETR est partiellement assurée par les réserves du sol, n'a pas de signification agronomique précise, au contraire de  $A_2$ .

**b** — La « période humide »  $B_1-B_2$  est celle où les besoins en eau des cultures, alors en état de végétation active, peuvent en principe (au moins globalement sinon à tout instant) être assurés de façon *optimale* ( $ETR = ETP$ ). Considérés globalement, ou bien ils ne le seront pas, du fait du *ruissellement* (sur sols limoneux donnant lieu au « sealing », phénomène d'imperméabilité superficielle ; sur sols argileux dont le gonflement crée une imperméabilité de masse ; sur sols à trop forte pente...), ou bien ils le seront et il pourra y avoir *comblement du déficit* dans la zone exploitée par les racines et même *drainage* au-delà.

**c** — La « période post-humide »  $B_2-C_2$  s'ouvrira alors (le profil utile étant saturé) dans les meilleures conditions pour le maintien d'un état de végétation favorable au rendement. Cet état de végétation sera plus ou moins prolongé, en réalité, suivant les caractéristiques physiques du sol, la profondeur d'enracinement de la culture et les valeurs instantanées et moyenne de ETP.

Ainsi la durée cumulée  $A_2-C_2$  des 3 périodes (pré-humide, humide, post-humide) composant la saison humide conditionne l'importance du rendement en déterminant le

nombre de fruits arrivant à maturité. Mais les positions respectives des points  $A_2$ ,  $B_1$ ,  $B_2$ ,  $C_2$  ne sont pas sans signification.

Notamment, les positions relatives de l'instant  $B_2$  et de la date d'épiaison ou de floraison jouent un rôle qui peut être considérable dans la réalisation du rendement, comme on le montrera sur un exemple.

La période post-humide permettra en effet de mener à maturité une fraction de la floraison (floraison *utile* : cas surtout des plantes à floraison axillaire indéfinie, comme le cotonnier, l'arachide) d'autant plus grande que cette période sera plus longue et / ou plus tardive.

Mais la floraison et la fructification seront d'autant plus exposées aux effets d'impact direct des pluies (coulture, maladies cryptogamiques de l'inflorescence : cas surtout des plantes à floraison terminale définie, comme les graminées) que le moment  $B_2$  sera plus proche en-deçà ou plus éloigné au-delà de la fin de floraison.

En ne considérant finalement que des événements *climatiques* ou, à la rigueur, phénoclimatiques (date constante d'épiaison ou de floraison d'une variété photopériodique, par exemple), mais non des événements purement phénologiques (ce qui rendrait l'analyse contingente au matériel végétal), la fluctuation *d'origine climatique* du rendement — préalablement isolée de la fluctuation globale — devrait être essentiellement fonction, à ne considérer que les conditions hydriques, de 4 variables :

1. DURÉE DE LA SAISON HUMIDE (durée possible de végétation, en termes de somme de température, si possible, dont résulte l'accroissement du nombre de fruits), du semis fictif en  $A_2$  jusqu'au moment  $C_2$  où s'annule en principe ETR.

2. POSITION DU MOMENT  $B_2$  (passage de la période humide à la période post-humide) par rapport à une origine fixe quelconque.

3. VALEUR DE ETR / ETP (rapport des disponibilités en eau aux besoins instantanés, dont résulte l'accroissement de masse moyen) Or ETR, et surtout les valeurs instantanées de ETR et ETP ne sont pas connues. Mais en saison humide, quand le milieu évapore, les variations de la différence entre ETR et ETP sont liées aux variations de la température. Cette différence est maximale, et donc ETR / ETP minimal, au moment du maximum  $T_M$  de température. Sans préjuger de la nature de la relation entre les deux variables, on considère donc les variations de  $T_M$  au lieu de celles de ETR / ETP.

4. EXCÈS, rapporté au nombre de jours entre  $B_1$  et  $B_2$  (ou au nombre de jours de pluie), de  $P$  sur ETP en période humide, parce que cet excès représente les effets possibles d'un engorgement du sol et donc d'asphyxie des racines (phénomène auquel une plante comme le cotonnier est très sensible).

Mais, pour plus de précision, la variable 1 peut être décomposée :

**a** — La durée théorique de la période post-humide  $B_2$ - $C_2$  résulte du bilan, relativement à ETP, de la hauteur d'eau qui totalise deux lames distinctes : lame de pluie postérieure à  $B_2$  plus lame excédentaire de  $P$  sur ETP en période humide (lame en principe passée en réserve utilisable durant la période post-humide). Or l'eau de la première de ces deux lames, qui provient directement de pluies *actuelles*, est à un potentiel plus faible que l'eau de la deuxième.

Par ailleurs, ces pluies de période post-humide ont sur le végétal (aux moments critiques de la floraison et de la fructification) des effets d'impact (coulture, attaques cryptogamiques...) qu'il peut être intéressant de séparer et d'évaluer.



Il devrait donc être intéressant de dissocier, dans l'analyse, ces deux lames, la variable de durée (1) se trouvant alors ramenée à  $A_2-B_2$ . A ce point l'analyse comportera donc 6 variables.

**b** — La variable de durée  $A_2-B_2$  peut encore être scindée en ses deux parties restantes : la durée de la période pré-humide  $A_2-B_1$  et la durée de la période humide  $B_1-B_2$ . Les disponibilités instantanées en eau sont en effet moins bonnes dans la première que dans la deuxième, même si les besoins de la culture, encore non couvrante, y sont moins grands.

Un autre intérêt de cette dernière partition est que, la position de  $B_2$  étant, comme on l'a vu, définie par rapport à une origine fixe, les positions de  $B_1$  et  $A_2$  se trouveront de ce fait elles-mêmes définies par les durées  $B_1-B_2$  et  $A_2-B_1$  correspondantes. L'analyse comportera dès lors une variable supplémentaire, soit 7 au total<sup>1</sup>.

Des équations de régression multiple représentant la *fluctuation d'origine climatique* du rendement en fonction de ces 4 à 7 variables indépendantes permettront de juger de l'importance de chacune d'elles. C'est dire tout l'intérêt qui doit être porté aux *données de rendement* et aux méthodes, encore à perfectionner, qui permettent d'isoler, dans la fluctuation globale, celle qui se rapporte en propre à la variabilité climatique.

D'autre part, des régressions de cette même fluctuation sur des variables indépendantes tirées du découpage de la saison humide suivant à la fois les événements climatiques et les événements phénologiques (découpage phéno-climatique) conduiront (comme il sera montré ailleurs) à un ajustement meilleur qu'en ne considérant, comme ci-avant, que les premiers (découpage climatique).

L'objectif n'est pas d'expliquer toute la fluctuation de nature climatique du rendement, ce qui serait illusoire dans l'état des connaissances. *Il s'agit de s'en rapprocher le plus possible en testant d'abord les hypothèses les plus vraisemblables.*

Dans le cas de découpage phéno-climatique, l'ajustement aura essentiellement pour fin de critiquer en premier lieu *la validité de la méthode utilisée pour isoler de la fluctuation globale du rendement celle qui est proprement d'ordre climatique.*

La comparaison des deux ajustements, climatique et phéno-climatique, permettra encore de juger *dans quelle mesure la considération de tels événements purement climatiques rend bien compte de la réalité.* On s'efforcera de rechercher ceux d'entre eux — à découvrir éventuellement — qui permettraient d'obtenir un ajustement climatique se rapprochant de l'ajustement phéno-climatique.

L'importance enfin de la fluctuation climatique telle qu'isolée de la fluctuation globale sera un test, si elle se trouve suffisamment bien validée par l'ajustement phéno-climatique, de la mesure dans laquelle l'introduction de telle variété ou pratique culturale aura permis de réduire cette même fluctuation.

Outre les besoins en eau, les exigences climatiques des cultures se rapportent encore à :

— *L'éclairement lumineux*, qui détermine l'activité photosynthétique et la réaction photopériodique.

(1) Il est encore possible, avec une simple calculatrice électrique, de calculer des équations de régression linéaire à 7 variables indépendantes, puis de passer par procédé graphique aux régressions curvilinéaires éventuelles. Mais une calculatrice électronique permettrait d'aller bien plus vite et loin.

— *L'éclaircement énergétique*, qui fournit l'énergie dont dépend la vitesse des phénomènes de la croissance et du développement.

La région agroclimatique, qu'on vient de voir fondée, en première approximation, sur le bilan hydrique potentiel, devra donc une part de ses caractéristiques aux *conditions du complexe héliothermique*, qui feront le sujet de la deuxième partie de cette étude.

Cette deuxième partie montrera enfin que, parallèlement à la voie qui s'efforce, comme dans la première partie, de rechercher les *corrélations statistiques* entre variables climatiques et *rendement*, il en est au moins une autre qui tente d'établir des *relations fonctionnelles* entre un ou plusieurs facteurs de l'environnement et le développement et la croissance de la plante, dont résulte sa *productivité*.

## BIBLIOGRAPHIE

- BOUCHET (R. J.), 1964. — Évapotranspiration réelle, évapotranspiration potentielle et production agricole. In : L'eau et la production végétale, I.N.R.A., Paris, pp. 151-232.
- FRANQUIN (P.), 1966. — Le développement chez des espèces cultivées de jour court. Équations et déterminisme climatique. Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Biol., 2, pp. 73-90.
- FRANQUIN (P.), 1966. — Les équations climatiques du développement. Intérêt agronomique. Agron. trop., vol. XXI, 12, pp. 1370-1381.
- HALLAIRE (M.), 1964. -- Le potentiel efficace de l'eau dans le sol en régime de dessèchement. In : L'eau et la production végétale, I.N.R.A., Paris, pp. 27-62.
- HUTCHINSON (J.), MANNING (H. L.), FARBROTHER (H. G.), 1958. — Crop water requirements of cotton. J. agric. Sci., vol. 51, 2, pp. 177-188.
- ROBELIN (P.), 1961. — Éléments sur la rentabilité de l'irrigation. Ann. agron., vol. 12, pp. 65-73.
- TRUMBLE (H. C.), 1937. — Trans. Roy. Soc. Aust., vol. 51,1.
- TURC (L.), 1954-55. — Le bilan d'eau des sols. Relations entre les précipitations, l'évaporation et l'écoulement. Thèse, Paris, 1953. Ann. agron., vol. 5, pp. 491-595 et vol. 6, pp. 5-131.
- TURC (L.), 1961. — Évaluation des besoins en eau d'irrigation. Évapotranspiration potentielle. Ann. agron., vol. 12, 1, pp. 13-49.