

Analyse et prise en compte des risques climatiques pour la production végétale

Michel ELDIN*

L'importance des risques climatiques en agriculture est connue. Qui n'a vu une culture complètement déchiquetée par la grêle ? Qui n'a pu constater les dégâts d'une gelée tardive sur des arbres fruitiers en pleine floraison ? Qui n'a entendu parler des conséquences dramatiques de la sécheresse au Sahel, en Éthiopie ou dans le Nordeste brésilien ?

On se propose d'examiner ici quelques moyens d'analyse des risques climatiques susceptibles de guider la prise de décisions en agriculture. Il peut s'agir de *choix stratégiques*, c'est-à-dire qui engagent l'agriculteur pour au moins un cycle complet de cultures et parfois pour plusieurs années : choix des cultures, des rotations, des assolements, de la fumure de fond, de la préparation du terrain... ou de *choix tactiques* que l'agriculteur est amené à faire au fil des jours en fonction de la conjoncture météorologique : dates des semis, opportunité d'un traitement phytosanitaire, d'un désherbage, d'un apport d'eau, mobilisation plus importante de main-d'œuvre,... Nous utiliserons des données de pluviosité du Burkina Faso comme support principal à l'exposé de ces moyens d'analyse et aux commentaires qu'ils suscitent.

1. RISQUES CLIMATIQUES ET STRATÉGIES AGRICOLES

1.1. Séries chronologiques et stratégies agricoles

Pour d'assez nombreuses stations météorologiques du globe, l'on dispose de données météorologiques obtenues sur plusieurs dizaines d'années consécutives et qui constituent ainsi des « séries chronologiques ». À titre d'exemple, les figures 1, 2 et 3 illustrent l'évolution de la pluviosité annuelle depuis 1920 jusqu'à 1987, pour trois stations du Burkina Faso que nous avons choisies de façon à balayer en latitude le champ de la zone soudano-sahélienne : Ouahigouya (13°36' N), Fada N'Gourma (12°02' N) et Bobo Dioulasso (11°10' N) ¹.

Les pluviosités annuelles « normales », c'est-à-dire les moyennes interannuelles calculées sur une période suffisamment longue pour pouvoir être considérées comme relativement stables, s'établissent à 668 mm, 863 mm et 1 122 mm, pour ces trois stations respectivement. Elles ont été calculées pour

* Agroclimatologie ORSTOM, Centre ORSTOM, B.P. 5045, 34032 Montpellier cedex.

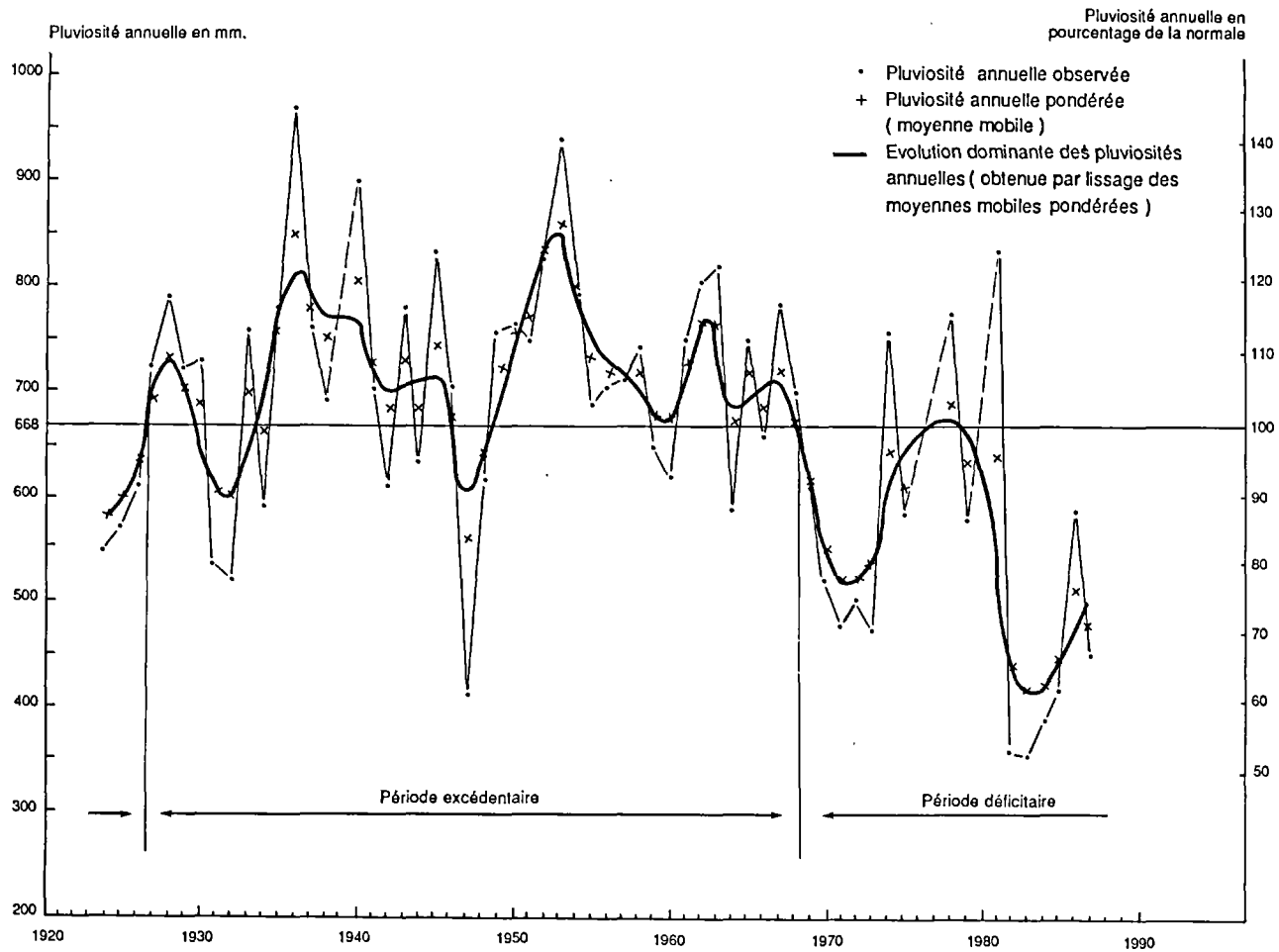


FIG. 1. — Série chronologique de Ouahigouya

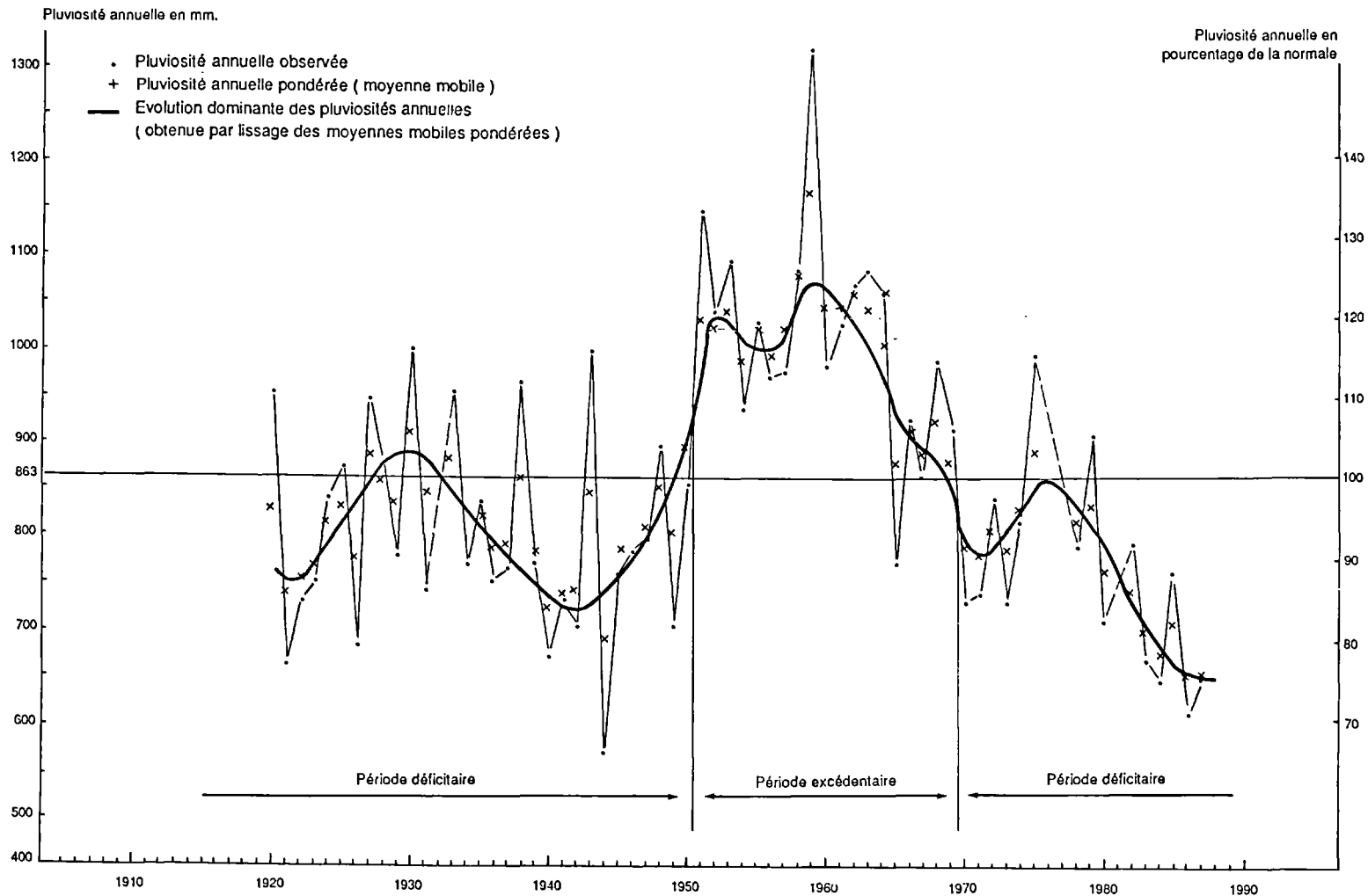


FIG. 2. — Série chronologique de Fada N'Gourma

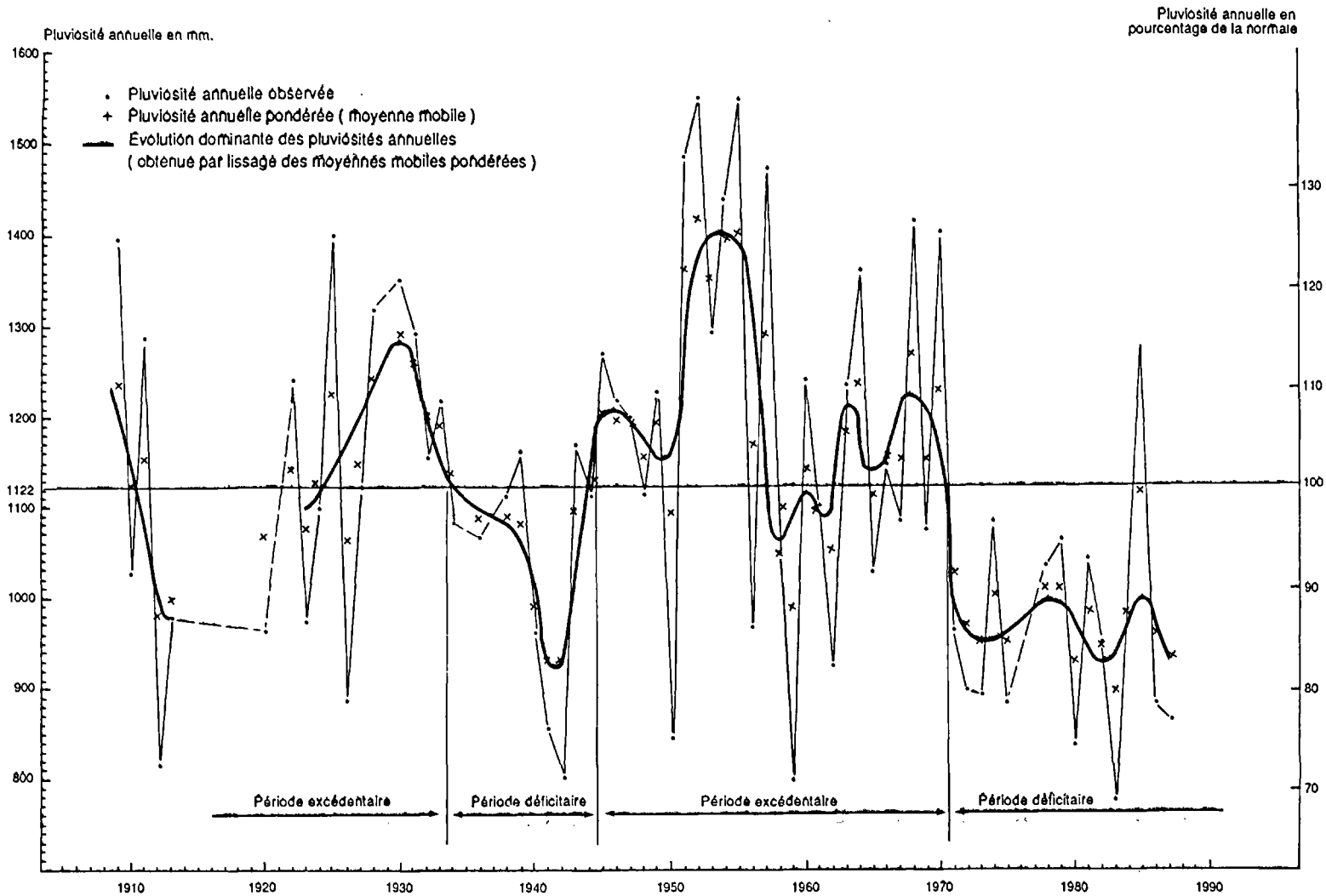


FIG. 3. — Série chronologique de Bobo Dioulasso

une période commune de 64 ans, allant de 1924 à 1987 inclus. Les pluviosités annuelles des figures 1 à 3 sont indiquées à la fois par leur montant en mm et par le pourcentage de la pluviométrie annuelle normale qu'elles représentent.

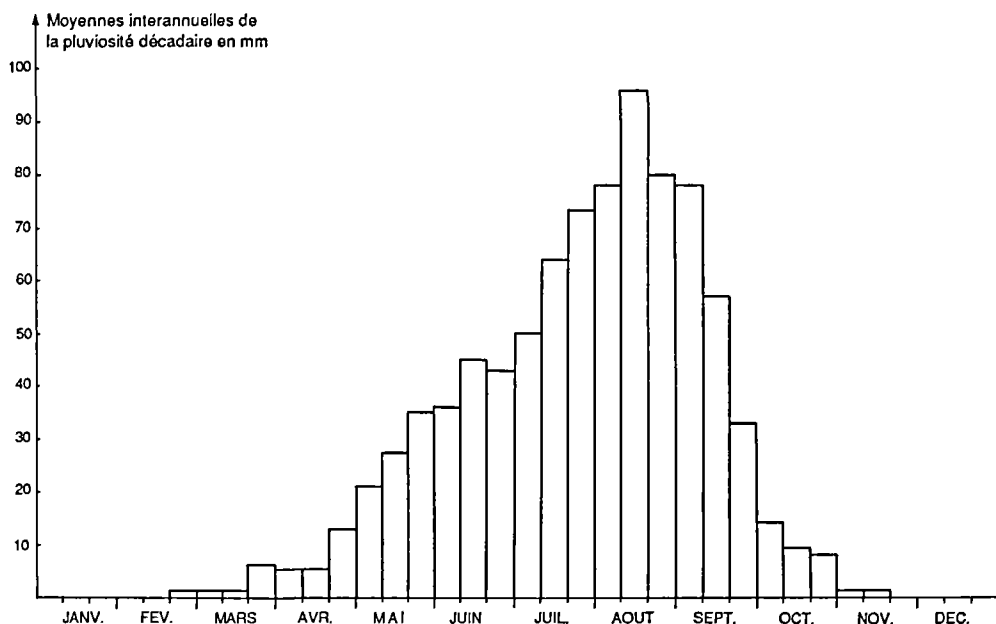


FIG. 4. — Répartition des pluies décadaires à Fada N'Gourma (1920-1983)

La figure 4 donne la répartition au cours de l'année des moyennes interannuelles des pluviosités décadaires à Fada N'Gourma qui est bien représentative des trois stations considérées. On remarque que, pour la zone soudano-sahélienne, les pluviosités annuelles ont un intérêt agricole évident car elles représentent assez bien la quantité d'eau disponible pour la culture pluviale. Il est d'ailleurs intéressant de noter que les nombreuses études statistiques qui se sont attachées à relier les rendements des principales cultures vivrières sahéliennes (mil, sorgho, arachide, niébé) aux pluviosités annuelles reçues, font en général état d'une assez bonne corrélation entre ces grandeurs (SNIJDERS, 1986 ; SICOT, 1989 ; GROUZIS & ALBERGEL, 1989).

Dans certains cas, ce n'est pas le rendement mais l'écart au rendement prévu selon une évolution obéissant à des facteurs non climatiques, qui est corrélé à la pluviométrie annuelle : exemple du coton au Burkina Faso (ALBERGEL, CARBONNEL & VAUGELADE, 1985). À une même pluviométrie annuelle peut correspondre un grand nombre de répartitions des précipitations au cours de la saison pluvieuse, plus ou moins favorables à la production agricole. On peut sans doute attribuer à cette diversité des distributions de la pluie au cours de l'année le fait que ces corrélations soient généralement assez bonnes, sans être cependant excellentes.

L'examen des séries chronologiques de pluviosités annuelles présentées sur les figures 1 à 3 conduit aux commentaires suivants :

— Ces pluviosités présentent une grande variabilité interannuelle dont le tableau I donne quelques éléments quantitatifs. On réalise ainsi à quel point la

TABLEAU I

Variabilités interannuelles des totaux pluviométriques annuels de Ouahigouya, Fada N'Gourma et Bobo Dioulasso au cours de la période 1924-1987 (64 ans)

	OUAHIGOUYA	FADA N'GOURMA	BOBO DIOULASSO
Latitude	13° 36' N	12° 02' N	11° 10' N
Longitude	2° 26' W	0° 22' W	4° 19' W
Nombre (N) d'années complètes	60	60	59
Normale (m) en mm	668	863	1122
Ecart-type (s) en mm	143	151	203
Coefficient de variation : s/m	0,21	0,17	0,18
Valeur minimale de l'échantillon en mm	358	569	778
Valeur maximale de l'échantillon en mm	971	1314	1552
Nbre (n) de valeurs hors de l'intervalle : normale \pm 10 %	42	40	35
n/N x 100	70 %	67 %	59 %

grande incertitude dans laquelle se trouve l'agriculteur soudano-sahélien quant à la quantité de pluie dont il peut disposer pour ses cultures, le place en situation de risques élevés. D'autant qu'à cette incertitude, il faut ajouter celle tout aussi redoutable qui concerne la distribution des précipitations au cours de la période de culture : des pluies abondantes de début et/ou de fin de cycle cultural accompagnées d'une période de sécheresse prolongée en milieu de cycle à un moment où la plante est très sensible au manque d'eau, peuvent être aussi catastrophiques qu'une année à pluviosité annuelle faible.

Cette situation à hauts risques explique en grande partie le caractère extensif de l'agriculture sahélienne et la réticence naturelle d'un grand nombre de paysans à la mise en pratique de techniques coûteuses en argent ou en temps de travail. Ils préfèrent se prémunir contre la sécheresse en répartissant les risques dans l'espace (nombreuses parcelles en situation pédologique ou topographique différente, profondeur variable de semences dans le sol,...) et dans le temps (semis échelonnés ou recommencés, mélange de variétés à longueurs de cycle différentes,...) (MILLEVILLE, 1989).

— Considérant que les années dont la pluviosité annuelle se situe aux environs de 120 % de la normale sont généralement décrites comme nettement excédentaires (années 1961 à 1964 à Fada N'Gourma, par exemple) et que celles dont la pluviosité annuelle se situe aux environs de 80 % de la normale sont décrites comme franchement déficitaires (années 1940 à 1942 à Fada N'Gourma), il apparaît raisonnable de classer les années suivant les trois catégories :

- Années moyennes si la pluviosité annuelle est comprise entre 90 et 110 % de la normale.
- Années excédentaires si la pluviosité annuelle est supérieur à 110 % de la normale.
- Années déficitaires si la pluviosité annuelle est inférieure à 90 % de la normale.

Sur cette base, on remarque (fig. 1 à 3 et tabl. I) qu'environ 35 % des années des trois stations considérées peuvent être qualifiées de « moyennes ». Une stratégie agricole moyenne — basée sur la bonne utilisation de ces précipitations annuelles moyennes — est donc vouée à un échec relatif dans 65 % des cas, soit parce que l'année sera anormalement sèche et les rendements très bas par manque d'eau, soit parce qu'elle sera anormalement pluvieuse et que la stratégie moyenne mise en place ne permettra pas de tirer un profit suffisant de cette ressource hydrique pour regarnir les greniers et les porte-monnaie. Il nous semble plus judicieux d'envisager la mise en place de trois stratégies différentes :

- Une stratégie des années pluvieuses qui permettrait de valoriser les potentialités climatiques du moment par des choix correspondant à une agriculture plus intensive : variétés à cycle un peu plus long, plus productive, investissement en temps de travail (préparation du terrain, sarclage, binage,...) en engrais, en pesticides,...

- Une stratégie des années sèches pour lesquelles il faut minimiser la prise de risque tout en essayant d'assurer un minimum de récolte. On pense immédiatement à l'utilisation des techniques de l'aridoculture : choix de variétés à cycle court ou très court, robustes, résistantes à la sécheresse ; travaux permettant l'infiltration de la lame d'eau précipitée ou la concentration du ruissellement sur des surfaces privilégiées ; réduction de l'évaporation à la surface du sol et, si nécessaire, réduction de la surface foliaire transpirante ; amélioration de la capacité du sol à retenir l'eau ; dispersion spatiale et temporelle des risques...

- Une stratégie des années moyennes, intermédiaires entre les deux précédentes, bien adaptée dans seulement 35 % des cas.

La question qui se pose alors est bien évidemment : « Comment savoir si la saison des pluies que l'on attend sera pluvieuse ou sèche ? » Disons tout de suite qu'en l'état actuel des connaissances, l'on ne sait pas encore répondre de façon satisfaisante à cette question. Cependant diverses voies explorées actuellement par la recherche devraient aboutir assez vite à des prédictions correctes, c'est-à-dire présentant une marge d'erreur acceptable.

Remarquons tout d'abord que les séries chronologiques des figures 1 et 3 présentent toutes des phénomènes de persistance se traduisant par l'existence de périodes durant lesquelles les années à pluviosité supérieure à la normale dominent très nettement et de périodes où dominent les années à pluviosité inférieure à la normale. Par commodité, nous appellerons « périodes excédentaires » les premières et « périodes déficitaires » les secondes. Pour la délimitation de ces périodes, il est d'usage d'effectuer un traitement des séries chronologiques étudiées afin d'atténuer l'effet de la forte variabilité inter-annuelle et de mieux mettre en évidence l'évolution générale de la pluviosité au cours des ans. Ce traitement peut s'opérer par moyenne glissante de plusieurs années consécutives ou par la méthode des moyennes mobiles pondérées (OLIVRY, 1983) qui prend en compte pour le calcul de chaque moyenne mobile l'ensemble des pluviosités annuelles disponibles antérieures à l'année considérée.

Par ailleurs, pour avoir une vision régionale qui minimise le poids des phénomènes locaux, on fait généralement appel à diverses méthodes comme celle du vecteur pluviométrique régional (BRUNET MORET, 1979 ; HIEZ, 1986) ou comme celle des indices pluviométriques (LAMB, 1982 ; SNIJDERS, 1986).

Le tableau II, extrait d'un travail de J. ALBERGEL (1988) donne un exemple

TABLEAU II
Évolution des pluviosités annuelles pour sept stations du Burkina Faso, de 1930 à 1983
D'après J. ALBERGEL, 1988

Station Année	DORI	OUAHI- GOUYA	DEDOU- GOU	FADA	BOBO	BANFO- RA	GAOUA	E	N	D	n	n				
												-6	-4	-2	0	2
1930	-	+	+	+	+	+	0	5	1	1	4					
31	-	-	+	0	+	+	+	4	1	2	2					
32	0	-	+	0	+	+	0	3	3	1	2					
33	0	0	+	+	+	+	+	5	2	0	5					
34	-	0	+	0	0	+	+	3	2	2	1					
35	0	+	0	0	+	+	+	4	3	0	4					
36	-	+	+	-	+	+	+	5	0	2	3					
37	-	+	0	-	0	0	+	2	3	2	0					
38	-	+	0	0	0	0	+	2	4	1	1					
39	0	+	+	-	0	0	+	3	3	1	2					
1940	0	+	+	-	-	-	+	3	1	3	0					
41	0	+	+	-	-	-	+	3	3	1	2					
42	+	0	+	-	-	-	+	3	1	3	0					
43	+	+	+	0	-	-	+	4	1	2	2					
44	0	0	0	-	-	-	0	0	4	3	-3					
45	+	+	+	-	0	-	0	3	2	2	1					
46	0	+	+	-	+	-	0	3	2	2	1					
47	0	-	0	-	+	-	-	1	2	4	-3					
48	0	-	0	0	0	-	-	0	4	3	-3					
49	0	+	0	-	+	-	-	1	3	3	-2					
1950	+	+	+	-	-	-	0	3	1	3	0					
51	0	+	+	+	+	+	0	5	2	0	5					
52	+	+	+	+	+	+	0	6	1	0	6					
53	+	+	+	+	+	+	-	6	0	1	5					
54	+	+	-	+	+	+	+	5	2	0	5					
55	+	+	0	+	+	+	+	6	1	0	6					
56	+	+	+	+	+	-	+	6	0	1	5					
57	+	+	+	+	+	0	+	6	-1	0	6					
58	+	+	+	+	+	0	0	5	2	0	5					
59	+	0	0	+	-	0	0	2	3	2	0					
1960	0	0	+	+	0	0	-	2	4	1	1					
61	+	+	-	+	0	-	-	3	1	3	0					
62	+	+	+	+	-	0	-	4	1	2	2					
63	+	+	+	+	0	+	0	5	2	0	5					
64	+	0	+	+	+	+	0	5	2	0	5					
65	+	+	+	+	0	+	0	5	2	0	5					
66	+	0	+	+	0	+	0	4	3	0	4					
67	+	+	-	+	0	+	-	4	1	2	2					
68	-	+	0	+	+	+	+	5	1	1	4					
69	+	0	-	+	+	0	+	4	2	1	3					
1970	-	-	-	-	+	0	+	2	1	4	-2					
71	-	-	-	-	0	-	0	0	2	5	-5					
72	-	-	-	-	-	-	-	0	0	7	-7					
73	-	-	-	-	-	-	-	0	0	7	-7					
74	-	-	-	-	-	-	-	0	0	7	-7					
75	-	-	-	0	-	-	-	0	1	6	-6					
76	-	-	-	-	-	-	-	0	0	7	-7					
77	-	-	-	0	-	-	-	0	1	6	-6					
78	-	-	-	-	-	-	-	0	0	7	-7					
79	-	-	-	0	-	-	-	0	1	6	-6					
1980	-	-	-	-	-	-	-	0	0	7	-7					
81	-	+	-	-	-	-	-	1	0	6	-5					
82	-	-	-	-	-	-	-	0	0	7	-7					
83	-	-	-	-	-	-	-	0	0	7	-7					

Comparaison, pour chaque station, entre la moyenne mobile de l'année considérée et la moyenne interannuelle :

+ moyenne mobile > moyenne interannuelle : année excédentaire

0 moyenne mobile < moyenne interannuelle : année déficitaire

0 moyenne mobile = moyenne interannuelle : année normale

E : nombre de stations à pluviosité excédentaire pour l'année considérée

D : nombre de station à pluviosité déficitaire pour l'année considérée

N : nombre de stations à pluviosité normale pour l'année considérée

n = E - D, marque le caractère de l'année pour l'ensemble, des sept stations considérées.

de traitement par la méthode des moyennes mobiles pondérées des données de sept stations du Burkina Faso, observées depuis au moins 60 ans et considérées, après test d'homogénéisation, comme fiables. Pour chaque année, on a calculé la différence algébrique n entre le nombre E de stations présentant une pluviosité annuelle excédentaire et le nombre D de stations présentant une pluviosité annuelle déficitaire. L'évolution de n au cours des ans donne une bonne image moyenne des oscillations pluviométriques observées au Burkina Faso depuis 1930. Cette étude confirme l'existence du phénomène de persistance déjà mentionné. Quatre périodes apparaissent nettement :

- une période excédentaire de 1930 à 1943.
- une période déficitaire, courte et assez mal marquée, de 1944 à 1950.
- une période excédentaire, longue et accentuée, de 1951 à 1969.
- une période déficitaire, longue et très accentuée, de 1970 à 1983, et dont on sait qu'elle s'est poursuivie jusqu'en 1987.

Un examen plus approfondi des données de ces 7 stations met en évidence des disparités importantes entre celles-ci, dont une explication est proposée au paragraphe suivant, et qui sont révélées par le faible niveau des corrélations calculées entre ces stations (JACKSON, 1977 ; SNIJERS, 1986 ; ...). À cause de cette grande hétérogénéité spatiale, il nous semble préférable dans l'optique d'une étude destinée à faciliter la prise de décision agricole, de raisonner à l'échelle locale et de traiter séparément les pluviosités annuelles des 3 stations que nous avons choisies pour illustrer notre commentaire.

Les figures 1 à 3 donnent l'évolution des moyennes mobiles pondérées calculées à partir des pluviosités annuelles de chaque station. Un lissage supplémentaire par moyenne glissante d'année en année et portant sur 3 moyennes mobiles pondérées consécutives a été effectuée. Sur cette base, on obtient un découpage en périodes excédentaires et déficitaires dont les caractéristiques sont indiquées par le tableau III. L'existence de cette succession de périodes pluviométriquement très différentes met en garde contre le déphasage des stratégies agricoles. Après 10 à 15 ans d'une période excédentaire, les agriculteurs ont adapté progressivement leurs choix et leurs techniques de production à cet environnement relativement favorable (en particulier constitution d'un cheptel abondant) et se trouvent soudainement désarçonnés par l'arrivée d'une période déficitaire. Inversement, à la fin d'une période sèche, les généticiens ont réussi à sélectionner et à mettre sur le marché des variétés à cycle court résistantes à la sécheresse lorsqu'arrive la succession des années anormalement pluvieuses... Il est sans doute possible de réduire considérablement cette inertie des stratégies, c'est-à-dire celle des agriculteurs, des services, des chercheurs et développeurs, et de se préparer longtemps à l'avance à la période qui inéluctablement suivra celle qui caractérise le présent.

Par ailleurs, on remarque (tabl. III) que ces périodes ont des durées très variables mais généralement assez longues, ce qui amène à penser — qu'à défaut d'un système de prédiction annuelle — les stratégies que nous avons décrites ci-avant pourraient être adoptées pour plusieurs années consécutives avec un risque limité de se tromper (environ une année sur quatre). En fait, les séries chronologiques dont on dispose sont trop courtes pour extrapoler avec sécurité ces observations dans le futur et les traduire en termes de recommandations agricoles. Par contre, on saisit tout l'intérêt qu'il y aurait à s'intéresser davantage au déterminisme de cette alternance de périodes excédentaires et déficitaires dont on pressent qu'il résulte du rythme de l'activité solaire, des grands mouvements de la circulation atmosphérique à la surface du globe, et

TABLEAU III

Caractéristiques des périodes présentant des pluviosités annuelles « excédentaires » ou « déficitaires » à Ouahigouya, Fada N'Gourma et Bobo Dioulasso

	1920	1930	1940	1950	1960	1970	1980	1990
OUAHIGOUYA								
Nature des périodes	26 27					68 69		87
	Déficit.		Excédentaire			Excédent.		Déficit.
Durée des périodes			42 ans					19 ans
Nbre (N) d'années complètes			41					16
Nbre (n) d'années présentant le caractère dominant de la période			30					13
Pourcentage : $\frac{n}{N} \times 100$			73 %					81 %
FADA N'GOURMA								
Nature des périodes	21				50 51	69 70	87	
	Déficitaire			Excédent.		Déficit.		
Durée des périodes	30 ans			19 ans		18 ans		
Nbre (N) d'années complètes	29			19		17		
Nbre (n) d'années présentant le caractère dominant de la période	21			18		14		
Pourcentage : $\frac{n}{N} \times 100$	72 %			95 %		82 %		
BOBO DIOULASSO								
Nature des périodes			33 34	44 45			70 71	87
	Excédent.		Déficit.		Excédentaire		Déficit.	
Durée des périodes			11 ans		26 ans		17 ans	
Nbre (N) d'années complètes			9		26		17	
Nbre (n) d'années présentant le caractère dominant de la période			7		16		14	
Pourcentage : $\frac{n}{N} \times 100$			78 %		62 %		93 %	

de facteurs locaux tels que topographie, albédo, rugosité,... On en est encore dans ce domaine à l'élaboration de modèles théoriques dont la fiabilité reste à vérifier. Les meilleurs espoirs d'obtention d'une méthode permettant de choisir la bonne stratégie agricole semblent se trouver actuellement dans les recherches conduites pour la mise en place d'un système de prédiction annuelle à moyen terme.

1.2. Prédiction à moyen terme et stratégies agricoles

Nous faisons référence ici à des recherches conduites à Lannion (France) par une équipe de l'ORSTOM et du centre de Météorologie Spatiale (Météorologie Nationale) sur le déterminisme des précipitations en Afrique de l'Ouest (J. P. LAHUEC *et al.*, 1986 ; CARN *et al.*, 1987).

Ces chercheurs utilisent l'imagerie satellitaire disponible pour suivre la position et l'activité des grands moteurs de la circulation générale de

l'atmosphère et le déplacement des masses d'air au-dessus de l'Afrique de l'Ouest afin d'élucider les mécanismes qui conduisent aux chutes de pluie.

Des résultats ont déjà été obtenus en ce qui concerne l'explication de la formation des « amas convectifs », c'est-à-dire de nuages à sommets froids susceptibles d'engendrer des pluies. Par contre les raisons qui font que ces amas convectifs donnent ou ne donnent pas naissance à des précipitations ne sont pas totalement élucidées. Les climatologues (JANICOT & FONTAINE, 1987 ; HISARD, 1987) estiment qu'environ 70 % des précipitations de l'Afrique de l'Ouest proviennent des lignes de grains. Par ailleurs, ils considèrent comme bien établi que le Jet d'Est Tropical (TEJ) et le Jet d'Est Africain (AEJ) — qui constituent des circulations rapides d'air d'est en ouest, et qui coexistent au-dessus de l'Afrique de l'Ouest, vers 12 000 et 3 000 m d'altitude respectivement — déterminent au-dessus de cette région une structure verticale du champ de vent ayant une influence fondamentale sur le développement de ces lignes de grains.

Ainsi il semble bien que la sécheresse au Sahel soit également sous la dépendance des anomalies de la structure verticale du champ de vent bien au-dessus du seul flux de la mousson africaine de sud-ouest.

Enfin, il se confirme (MOREL, 1988) que la topographie (collines, vallées,...) joue un rôle important dans le déterminisme des précipitations, ce qui complique encore la mise au point d'un système de prédiction et rend sans doute nécessaire la régionalisation de l'analyse.

Il faudra probablement encore plusieurs années de recherches pour arriver à une explication satisfaisante du déterminisme des pluies sur l'Afrique de l'Ouest. Pour l'instant, il faut remarquer qu'une prédiction faite seulement un mois avant le début de la saison des pluies serait suffisante pour mettre en place une stratégie agricole bien adaptée au type de saison des pluies attendue : choix des cultures et variétés, préparation du terrain, niveau d'intensification (fumure de fond, densité de semis,...), surface mise en culture,... D'autre part, une prédiction qui s'avérerait exacte trois années sur quatre constituerait déjà un magnifique outil pour améliorer les résultats de l'agriculture sahélienne.

1.3. Analyse fréquentielle et stratégies agricoles

L'analyse fréquentielle constitue une méthode très utile pour définir ou préciser une stratégie agricole. Nous avons vu, au moins en ce qui concerne la zone sahélo-soudanienne, l'intérêt qu'il y aurait à déterminer trois stratégies agricoles : une pour les années déficitaires, une autre pour les années excédentaires et une troisième pour les années moyennes. Le choix d'une telle stratégie revêtira toujours la forme d'un pari que l'on est jamais certain de gagner car d'une part, l'on ne disposera sans doute jamais d'un système de prédiction infailible du type de saison des pluies attendue et d'autre part, il existe une grande variabilité interannuelle à l'intérieur même des trois groupes constitués, en particulier en ce qui concerne la répartition des précipitations au cours de la saison pluvieuse.

A ce pari, l'analyse fréquentielle apporte une réponse appropriée en termes de probabilités d'obtention des quantités d'eau dont on estime avoir besoin au cours du cycle cultural (fréquences au dépassement de ces quantités d'eau).

Pour une première approche, purement agro-climatique des besoins en eau des cultures, on choisit généralement deux seuils hydriques qui correspondent à l'évotranspiration potentielle (ETP) et à ETP/2. Bien que les besoins maximaux en eau d'une culture puissent être supérieurs à l'ETP lorsque l'on se trouve en présence d'un apport important d'énergie advective, l'on considère

que les précipitations supérieures ou égales à ETP permettent une alimentation hydrique correcte des cultures lors des phases qui correspondent à la fois à un développement important du système foliaire et à une grande sensibilité au manque d'eau (floraison et remplissage des grains pour les céréales, par exemple). De son côté, la quantité d'eau correspondant à ETP/2 représente assez bien la consommation hydrique minimale en dessous de laquelle la culture aura du mal à survivre et à assurer un minimum de production, sauf en début et en fin de cycle où les besoins en eau sont généralement voisins ou même inférieurs à ETP/2.

Pour une analyse plus fine du bilan hydrique, spécifique d'une culture particulière, les besoins en eau à satisfaire peuvent être définis comme une fraction $k \cdot ETP$ de l'ETP, variable en fonction du stade de développement de la variété considérée et des objectifs de production visés.

Ce type d'analyse fréquentielle s'effectue généralement en choisissant un pas de temps de 5 à 10 jours qui s'avère pertinent pour le suivi de l'alimentation hydrique des cultures et pour la prise de décisions concernant les interventions culturales.

Reprenant, à titre d'exemple, les données de Fada N'Gourma, les figures 5 et 6 donnent l'évolution au cours de l'année des probabilités que les pluies

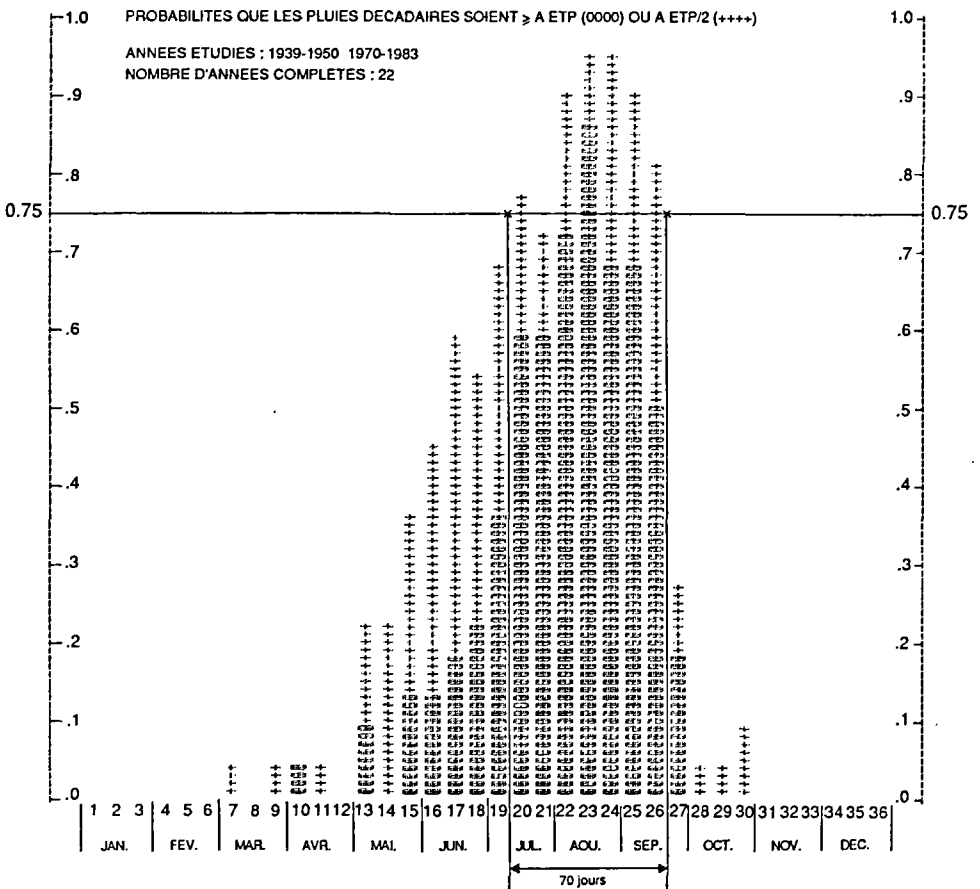


FIG. 5. — Période climatique de culture en années déficitaires à Fada N'Gourma

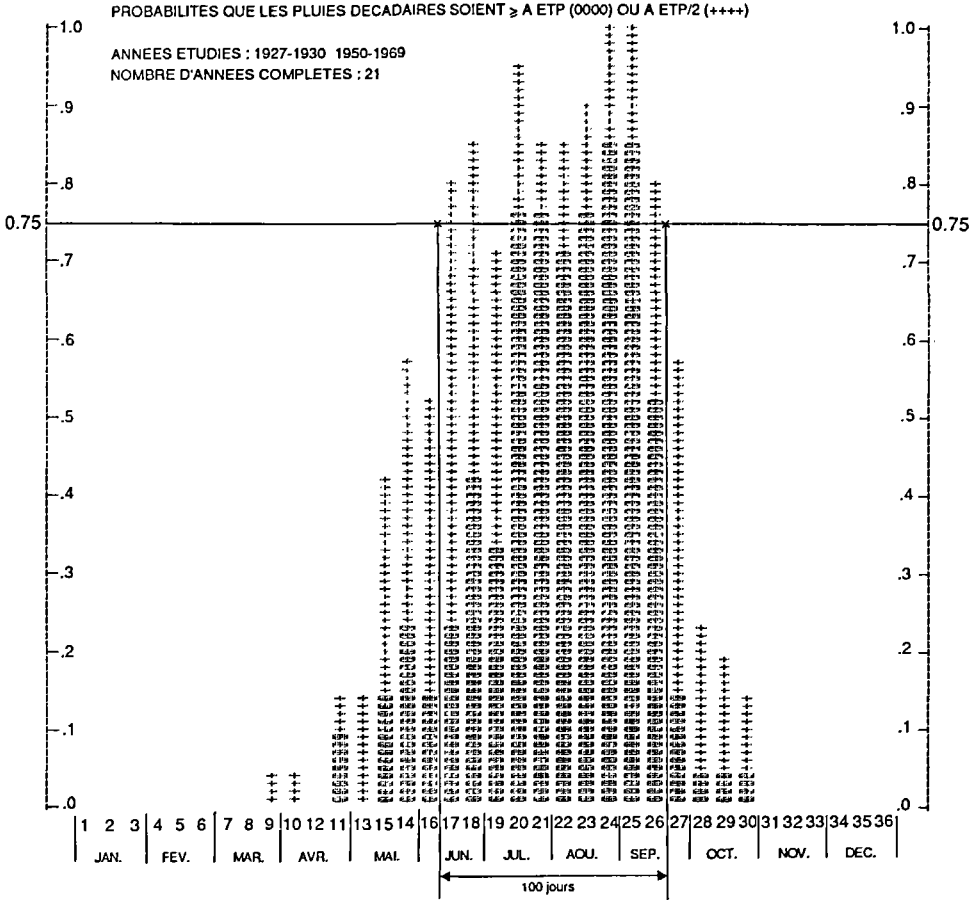


FIG. 6. — Période climatique de culture en années excédentaires à Fada N’Gourma

décadaires soient supérieures ou égales aux ETP et aux ETP/2 décadaires. Ces probabilités (ce sont en réalité des fréquences observées que l’on considère comme des estimations des probabilités correspondantes) ont été calculées sur des échantillons de totaux pluviométriques décadaires provenant d’une vingtaine d’années appartenant exclusivement soit à une période déficitaire (fig. 5), soit à une période excédentaire (fig. 6), telles qu’elles ont été définies à partir de l’examen de la série chronologique de Fada N’Gourma (fig. 2).

On peut déterminer ainsi une période climatique de culture en régime pluvial qui est constituée des décades consécutives pour lesquelles les probabilités que les pluies soient supérieures ou égales à ETP/2 sont elles-mêmes supérieures ou égales à un seuil qui traduit le risque que l’agriculteur est prêt à assumer. On a pris ici un seuil de 0,75, norme souvent utilisée, qui signifie que pour chacune des décades de la période climatique de culture, on obtiendra au moins trois années sur quatre, des pluies supérieures ou égales à ETP/2. Ces probabilités ne sont bien évidemment pas indépendantes les unes des autres. Les figures 5 et 6 indiquent clairement, aussi bien pour les années excédentaires que pour les années déficitaires, une installation assez progres-

sive de la saison des pluies qui, par contre se termine très rapidement en 2 ou 3 décades. Pour la délimitation de la période climatique de culture, on peut donc ne s'intéresser qu'aux premières et aux dernières décades de celle-ci.

La période *réelle* de culture se déduit de la période *climatique* de culture en y ajoutant quelques décades supplémentaires en fonction de l'aptitude des sols considérés à restituer à la culture, à la fin de la période climatique, l'eau stockée en réserve durant la saison pluvieuse. Si l'on compare des situations correspondant à des sols très différents, il faut donc utiliser la notion de période réelle de culture. Si, comme c'est le cas ici, on se livre à la comparaison de conditions pluviométriques en un même lieu, il est plus simple de se servir du concept de période climatique de culture.

Ainsi, en ce qui concerne les périodes déficitaires (fig. 5), on détermine une période climatique de culture de l'ordre de 70 jours qui commence vers le 10 juillet, tandis que pour les années excédentaires (fig. 6) la période climatique de culture dure environ 100 jours et commence vers le 10 juin, soit un mois plus tôt. Même si la variabilité interannuelle entraîne de nombreuses et importantes fluctuations autour de ces deux schémas qui correspondent à une vision interannuelle (moyenne) de la réalité, ces derniers mettent en évidence des différences très nettes entre périodes déficitaires et excédentaires dont on peut facilement imaginer l'incidence sur la définition des stratégies agricoles en particulier en ce qui concerne le choix de variétés ayant une longueur de cycle végétatif bien adapté à la climatologie et la détermination des dates optimales du calendrier cultural.

Dans l'exemple précédent, la période de culture a été définie par rapport au seul risque de sécheresse *climatique*. On peut de la même manière, mais à partir du calcul des fréquences d'occurrence de grêle, de températures minimales inférieures à -2°C , des déficits hydriques du sol supérieurs à un certain seuil,... définir des périodes de culture par rapport au risque de grêle, au risque de gelée, au risque de sécheresse *édaphique*,... respectivement.

Lorsque plusieurs risques climatiques peuvent apparaître au cours d'une même saison, il est également possible de définir une période de culture vis-à-vis de l'ensemble de ces risques qui correspond donc à la succession des décades pour lesquelles la probabilité de voir apparaître l'un ou l'autre de ces risques reste en dessous d'un niveau jugé acceptable (M. ELDIN, 1986). Il est clair qu'une telle analyse permet de bien préciser dans le temps et dans l'espace le champ et les modalités des spéculations agricoles possibles, c'est-à-dire celles qui — pour une période de plusieurs années — ont les meilleures chances de conduire à une production convenable.

2. RISQUES CLIMATIQUES ET TACTIQUES AGRICOLES

Il s'agit ici de risques qui apparaissent au cours de la période de culture, et qui impliquent une prise de décision rapide de la part de l'agriculteur. Une stratégie agricole a été mise en place pour l'année en cours et il n'est plus possible d'en changer mais, par des choix tactiques bien adaptés à la conjoncture météorologique, l'agriculteur essaye de minimiser les effets néfastes des risques encourus.

2.1. Typologie de la saison des pluies et tactiques agricoles

Certains auteurs : STEWART I. J. et HASH C. T. (1982) pour les zones semi-arides du Kenya, FRANQUIN P. (1984) pour les pays du Sahel ont tenté

d'établir une typologie de saisons des pluies en recherchant une relation statistique entre d'une part la précocité et/ou l'abondance du début de la saison des pluies (4 à 8 premières semaines) et d'autre part la durée et/ou l'abondance de la saison des pluies dans son ensemble.

Lorsqu'une telle relation existe en un lieu ou une région donnée, on dispose alors d'un moyen de prédiction à court terme qui peut guider l'agriculteur pour le choix des façons culturales à entreprendre : si les premières pluies laissent présager une saison des pluies non déficitaire, il s'orientera vers une prise de risque plus grande et essaiera d'améliorer les rendements de ses cultures par un apport plus important d'intrants et de temps de travail. À l'inverse, une prédiction pessimiste l'encouragera à adopter une tactique prudente et à choisir des interventions susceptibles de permettre aux plantes de tirer parti des faibles quantités d'eau attendues : éclaircissage, désherbage, binage, mulching,...

Travaillant sur les données de 58 stations du Niger et du Burkina Faso, SIVAKUMAR M. V. K. (1988) a trouvé une bonne corrélation entre la date d'installation de la saison des pluies et sa durée. Un minimum de 20 mm en 3 jours consécutifs non suivis, pendant 1 mois, d'une période sèche de plus de 7 jours détermine la date d'installation de la saison des pluies.

2.2. Analyse fréquentielle et tactiques agricoles

L'analyse fréquentielle n'est pas utilisée ici de façon identique à celle que nous avons présentée ci-avant, c'est-à-dire pour une description interannuelle des risques climatiques conduisant à l'élaboration d'une stratégie agricole convenable, mais pour répondre à des questions qui se posent à l'agriculteur au cours d'une année particulière, dans un contexte météorologique donné. Un des exemples les plus classiques de ce genre de choix tactique est celui qui concerne la date de semis. La possibilité d'un semis est souvent dictée par la météorologie et en particulier, en zone sèche, par l'obtention d'une pluie suffisante. Si cette pluie est précoce, l'agriculteur se demande si d'autres précipitations se produiront au cours des 2 ou 3 semaines qui suivent le semis de façon à assurer la levée des plantes semées. Si cette première pluie est tardive, l'agriculteur se demande si la saison des pluies sera assez longue pour que la variété semée puisse achever son cycle dans de bonnes conditions et produire une récolte satisfaisante. Il se demande aussi, compte tenu de la date effective de ce semis précoce ou tardif par rapport à la normale, quel est le risque d'occurrence d'une gelée ou d'une sécheresse qui, se produisant à un stade phénologique critique du développement de la culture, compromettrait tout ou partie de la récolte.

A toutes ces questions et d'autres du même genre, l'analyse fréquentielle apporte une réponse adaptée, exprimée en termes de probabilité que l'événement météorologique espéré (pluie, chaleur, lumière,...) ou redouté (froid, sécheresse, excès d'eau, grêle, vent, échaudage,...) se produise effectivement. Cette donnée objective permet à l'agriculteur de décider des risques qu'il accepte ou qu'il refuse de prendre.

Cette méthode est couramment utilisée en irrigation complémentaire pour déterminer la probabilité qu'une précipitation d'une certaine importance se produise au cours d'une période donnée et rende ainsi inutile ou même néfaste un apport d'eau par irrigation juste avant ou pendant cette même période (FRANQUIN & SICOT, 1986).

De la même manière, LHOMME & MONTENY (1981) ont appliqué l'analyse fréquentielle à l'étude de la culture du riz pluvial et de l'arachide dans le centre

de la Côte d'Ivoire, pour calculer en fonction des dates de semis possibles les probabilités que ces cultures bénéficient grâce aux précipitations d'une alimentation hydrique convenable au cours de la levée, au cours de la floraison (période particulièrement sensible au manque d'eau) et pendant la phase de maturation.

Il faut cependant noter que la validité des résultats de cette analyse fréquentielle dépend de la taille des échantillons sur lesquels on travaille et bien sûr de la qualité des données de base. En zone intertropicale, la variabilité des précipitations décennales est telle que l'on estime à une vingtaine d'années la taille minimale des échantillons sur lesquels l'analyse fréquentielle peut être pratiquée valablement. Le choix d'un pas de temps plus court que la décennie entraîne une variabilité interannuelle des données encore plus forte et implique donc la constitution d'échantillons à effectifs plus élevés.

Ces quelques méthodes d'analyse des risques climatiques ne constituent bien évidemment pas une liste exhaustive des outils dont dispose l'agronome pour l'élaboration des stratégies et tactiques agricoles. Certaines de ces méthodes sont parfaitement opérationnelles et de plus en plus largement utilisées en particulier par les responsables agricoles au niveau national ou régional. D'autres, en particulier les techniques de prédiction à moyen ou long terme, nécessitent encore beaucoup de recherches pour devenir réellement utilisables. Nous en avons parlé car elles représentent un magnifique espoir pour la nécessaire intensification de l'agriculture des zones tropicales semi-arides. En effet, face à une pression démographique très forte, l'augmentation de production est souvent recherchée par le biais de l'extension des surfaces mises en culture. Cette pratique entraîne des conséquences graves à long terme : protection insuffisante des sols, érosion, raccourcissement de la durée moyenne de la jachère, perte de fertilité, diminution des superficies recouvertes d'arbustes ou utilisées comme parcours pour le bétail... Nous croyons donc qu'en dehors de la mise en œuvre de solutions de type socio-démographique, il est important de rechercher l'augmentation et la régularisation des rendements en se servant de tout l'arsenal des méthodes et techniques de l'agronome.

BIBLIOGRAPHIE

- ALBERGEL (J.), CARBONNEL (J. P.), VAUGELADE (J.), 1985. — Aléas climatiques et production agricole : le coton au Burkina. *Acta Oecologica. Oecol. Applic.*, Vol. 6, n° 3 : 199-211.
- ALBERGEL (J.), 1988. — Genèse et prédétermination des crues au Burkina Faso. In : *Études et thèses*. Éditions de l'ORSTOM. Paris. 341 p.
- BRUNET MORET (Y.), 1979. — Homogénéisation des précipitations. *Cah. ORSTOM, sér. Hydrol.*, Vol. XVI, n° 3 (4) : 147-170.
- CARN (M.), DAGORNE (B.), GUILLOT (B.), LAHUEC (J. P.), 1987. — Estimation des précipitations par satellite au Sahel pour la période de mai à septembre 1987. *Veille climatique Satellitaire*, Lannion, Bull. n° 20 : 26-30.
- ELDIN (M.), 1986. — Risques et potentialités climatiques pour la production agricole. *Colloques et Séminaires. Climat et Développement*, ORSTOM Paris : 179-187.
- FRANQUIN (P.), 1984. — Agroclimatologie et agrométéorologie en zone tropicale sèche d'Afrique. *Agron. Trop.*, n° 39 (4), Paris : 301-307.
- FRANQUIN (P.), SICOT (M.), 1986. — Un modèle de simulation de l'irrigation complémentaire : le système probabiliste ORACLE. Application au Sahel : l'irrigation de sécurité. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, Vol. XXII, n° 1 : 51-62.
- GROUZIS (M.), ALBERGEL (J.), 1989. — Du risque climatique à la contrainte écologique. Incidence de la sécheresse sur les productions végétales et le milieu au Burkina Faso. In : *Le risque en Agriculture. A travers champs*, ORSTOM, Paris.

- HIEZ (G.), 1986. — Bases théoriques du « vecteur régional ». Les premières applications et leur mise en œuvre informatique. In : Premières journées hydrologiques de l'ORSTOM à Montpellier. *Colloque & Séminaire*. ORSTOM, Paris.
- HISARD (P.), 1987. — Bulletin de liaison du Département TOA. ORSTOM. Montpellier, n° 14, *multigr.*
- JACKSON (J. J.), 1977. — Climate, water and agriculture in the tropics. Longman, 248 p.
- JANICOT (S.), FONTAINE (B.), 1987. — La structure du champ de vent et ses variations sur l'Ouest Africain. Sous presse.
- LAHUEC (J. P.), BELLEC (B.), DAGORNE (D.), 1986. — Convection intertropicale et pluviométrie. Essai de mise en relation pour l'Afrique de l'Ouest du 11 mai au 20 août 1985. *Veille Climatique Satellitaire*, Lannion. Bull. n° 12 : 13-19.
- LAMB (J. P.), 1982. — Persistence of Subsaharan drought. *Nature*, 299 : 46-48.
- LHOMME (J. E.), MONTENY (B.), 1981. — Une méthode d'analyse agroclimatique pour le calage des cycles culturaux en zone intertropicale. *Agron. Trop.*, Vol. XXXVI, n° 4 : 334-338.
- MILLEVILLE (P.), 1989. — Activités agro-pastorales et aléa climatique en région sahélienne. In : Le risque en Agriculture. *À travers champs*, ORSTOM Paris.
- MOREL (R.), 1988. — Remarques à propos de l'effet des facteurs locaux sur la baisse de pluviométrie observée en Afrique de l'Ouest sur le Sahel. *Veille Climatique Satellitaire*, Lannion. Bull. n° 23 : 23-28.
- OLIVRY (J. C.), 1983. — Le point en 1982 sur la sécheresse en Sénégal et aux Iles du Cap Vert. Examen de quelques séries de longues durées (débits et précipitations). *Cah. ORSTOM, sér. Hydrol.* Vol. XX, n° 1 : 47-69.
- SICOT (M.), 1989. — Contraintes et risques hydriques encourus par l'activité agro-pastorale au Sahel. Exemple de la Mare d'Oursi au Burkina Faso. In : Le risque en Agriculture. *À travers champs*, ORSTOM Paris.
- SIVAKUMAR (M. V. K.), 1988. — Predicting rainy season potential from the onset of rains in southern sahelian and sudanian climatic zones of west africa — *Agricultural and Forest Meteorology*, 42 (4) : 295-305.
- SNIJDERS (T. A. B.), 1986. — Improving estimators of crop yield distribution by the use of historical rainfall data. Proceeding Third International Conference on Statistical Climatology. Vienna, 23-27 June, 5 p.
- SNIJDERS (T. A. B.), 1986. — Interstation correlations and nonstationarity of Burkina Faso rainfall. *Journal of climate and applied Meteorology*. Vol. 25 : 524-531.
- STEWART (I. J.), HASH (C. T.), 1982. — Impact of weather analysis on agricultural production and planning decisions for the semi-arid areas of Kenya. *J. Appl. Meteorol.*, 21 (4) : 477-494.

NOTE

1. Les données pluviométriques utilisées dans cet article sont extraites du fichier des pluies journalières de l'Afrique de l'Ouest réalisé par les hydrologues de l'ORSTOM dans le cadre d'une convention passée avec le Comité Inter-africain d'Études Hydrauliques (CIEH) en ce qui concerne les années antérieures à 1984 et des publications du Département d'Agrométéorologie de la Météorologie Nationale du Burkina Faso pour les dernières années. Les pluviosités annuelles de certaines années incomplètes ont été estimées en remplaçant la pluie de la décade ou du mois absent par la normale décadaire ou mensuelle correspondante, chaque fois que cette décade ou ce mois présentait une normale inférieure à 10 mm (mois de décembre, janvier et février principalement) et qu'une seule valeur décadaire ou mensuelle était manquante pour l'année considérée. La probabilité que cette estimation entraîne une erreur supérieure à 10 mm sur le total pluviométrique annuel correspondant est inférieure à 5 %. Grâce à ce procédé, nous avons pu obtenir des séries chronologiques presque complètes pour la période 1920-1987. Ces données n'ont pas fait l'objet d'une critique systématique et l'exactitude de certains totaux annuels est sans doute sujette à caution. On peut cependant espérer que les résultats de l'étude interannuelle globale qui est faite ici restent valables dans leur ensemble. De toutes manières, l'exposé se veut surtout méthodologique.