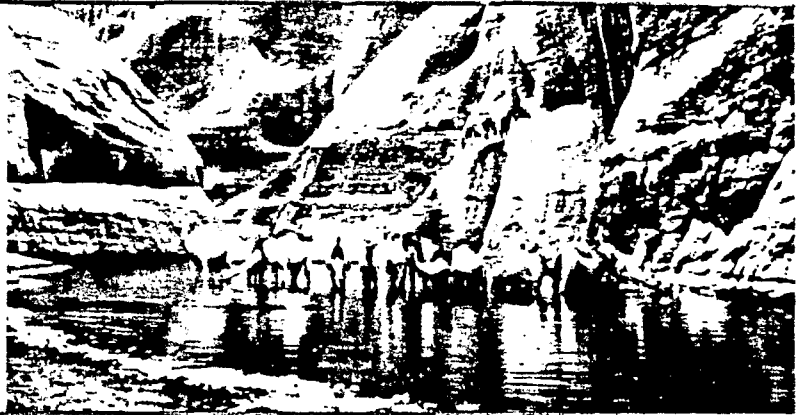


90

DOSSIER SÉCHERESSE

Les incidences climatiques et hydrologiques de la sécheresse

Chameaux à l'abreuvoir dans la Guelta d'Archej - Piedmont
- 1. Eneodi Tchao



Depuis quelques années, les précipitations se font rares au sud du Sahara, les mares et le sol s'assèchent, le débit des rivières est faible. Jusqu'en 1972, la sécheresse, quoique parfois sévère, a pu être plus ou moins bien surmontée par des populations habituées depuis toujours à faire face à de tels événements. Mais cette année là, le déficit s'est encore aggravé et la situation a pris un tour catastrophique : troupeaux décimés, installation de la famine.

Ce qui frappe le plus dans ces période de sécheresse, outre son excessive dureté, c'est son extension géographique. Certes, la bande dite sahélienne, celle qui jouxte au sud les dunes et les regs du Sahara, semble la plus touchée, au moins dans les effets de la sécheresse ; nous verrons qu'il est difficile, dans une tentative de définition de la sécheresse, de séparer les éléments physiques objectifs du phénomène, de ses conséquences sur l'environnement et sur la vie des gens. Mais la zone dite tropicale, qui reçoit en moyenne de 500 à 1 000 ou 1 200 mm d'eau par an, n'est pas épargnée et on en ressent les effets jusqu'en savane guinéenne (climat tropical de transition), voire même dans l'extrême frange nord de certains climats équatoriaux.

De plus, on retrouve des caractéristiques semblables dans d'autres régions tropicales du globe : nord-est du Brésil, Inde. Si l'Indochine a été épargnée, elle le doit à deux perturbations cycloniques qui ont relevé sensiblement les totaux pluviométriques annuels et les volumes d'écoulement en 1972. Cette extension géographique à l'échelle du globe, suivant des bandes climatiques, des phénomènes extrêmes n'est du reste pas une exception, surtout lorsqu'il s'agit de sécheresse. On a connu il y a quelques années, en 1958, une grande sécheresse équatoriale qui faisait également le tour du monde, sans affecter les bandes climatiques tropicales au nord et au sud de l'équateur.

Devant l'ampleur du phénomène et de ses conséquences, les responsables des pays touchés se posent un certain nombre de questions liées au présent et à l'avenir de leur développement. Ces questions tournent autour des deux thèmes suivants : y a-t-il dans cette région du monde une tendance générale à l'assèchement ? Ces sécheresses sont-elles soumises à des retours périodiques ?

Il faudrait, en outre, savoir s'il est possible de remédier à de telles situations, si des études supplémentaires sont donc nécessaires, et si de telles études peuvent réellement permettre d'améliorer les conditions de vie durant les périodes de sécheresse.

Pour bien comprendre le sens de ces problèmes, il est indispensable d'avoir un aperçu global des mécanismes qui régissent les phénomènes. Il convient ensuite d'en examiner les résultats au sol, c'est-à-dire les éléments mesurables ou observables — pour lesquels on dispose de séries de données suffisamment longues.

La genèse des phénomènes

L'ensemble des couches superficielles du globe et de l'atmosphère qui les entoure se comporte vis-à-vis du cycle de l'eau comme une véritable machine à vapeur, dont le foyer serait le soleil, ou plus exactement la partie du rayonnement solaire interceptée par la terre ; la chaudière, les mers et les continents ; le condenseur, les couches suffisamment froides de l'atmosphère.

Lorsque le rayonnement solaire arrive aux confins de l'atmosphère, il commence à subir une série de transformations qui, jusqu'à son arrivée au sol, modifient son énergie totale et sa composition (modification du spectre). Ce qui compte pour notre machine à vapeur, c'est finalement la quantité totale d'énergie reçue par le sol et par les océans, et la part de cette énergie qu'ils seront capables d'utiliser pour l'évaporation de l'eau qu'ils contiennent. Ce bilan d'énergie conditionne à la fois les quantités d'eau transférées à l'atmosphère et les mouvements des masses d'air qui les transporteront jusqu'au moment où les conditions de leur précipitation seront réalisées.

L'ensemble des mécanismes qui président à ces différentes transformations est extrêmement complexe, mais il est facile de voir qu'une varia-

Collection de Référence

tion globale du bilan, sur une période suffisamment longue, se traduisant par une variation globale du climat, ne pourrait être obtenue que par une variation de l'énergie solaire parvenant aux confins de l'atmosphère, ou bien par une modification des conditions de réception, c'est-à-dire de la composition physico-chimique de l'atmosphère y compris sa teneur en vapeur d'eau, ou des conditions de réception de la surface du globe elle-même (par exemple par une variation du pourcentage des terres émergées). Il ne s'agit là que de suggestions très générales, car les facteurs intervenant sont en fait extrêmement nombreux.

Il convient maintenant de distinguer entre les variations climatiques rapides ou relativement rapides — saisonnières ou selon d'autres cycles s'ils existent — et les variations à long terme.

Les variations saisonnières sont le résultat d'un facteur purement mécanique qui est la rotation de la terre autour du soleil, avec ses conséquences sur l'angle d'incidence et sur la durée journalière de l'insolation. Ces effets d'ordre mécanique ne sauraient affecter le climat à long terme, puisque leur évolution est périodique et toujours semblable à elle-même, au moins à l'échelle de temps qui nous intéresse.

Une variation à long terme, vers un climat plus sec, pourrait être la conséquence d'une *variation moyenne de l'énergie solaire* aux confins de l'atmosphère, entraînant une nouvelle répartition moyenne de la circulation des masses d'air génératrices de pluie et une modification du taux général d'évaporation sur le globe. Une telle variation moyenne à long terme, que les statisticiens appellent tendance, est certaine : il est bien évident que le soleil ne peut pas rayonner indéfiniment la même quantité d'énergie.

Toutefois, il ne s'agit que de variations extrêmement lentes qui ne sont certainement pas perceptibles à l'échelle de quelques siècles ou même de quelques millénaires. Mais on pourrait se demander si des

variations plus rapides sont susceptibles de se produire autour de cette valeur moyenne de l'énergie solaire.

Si de telles variations étaient périodiques, elles expliqueraient effectivement les variations périodiques de la pluviométrie autres que les variations saisonnières. Dans l'état actuel des connaissances, il n'est absolument pas possible de dégager une conclusion quelconque à ce sujet; lorsqu'on aura quelques dizaines d'années d'observations par satellite, la question pourra être reprise.

Considérons maintenant les autres facteurs. Le premier qui vient à l'idée est la *composition physico-chimique de l'atmosphère*, qui peut se traduire par une plus ou moins grande perméabilité au rayonnement solaire. Tout le monde sera d'accord que, là encore, s'il y a modification, elle doit être d'une lenteur extrême, car une modification rapide aurait des effets beaucoup plus importants sur quantité d'autres phénomènes, notamment biologiques, qui y seraient infiniment plus sensibles. De toutes façons, l'état actuel des connaissances et de l'information ne permet, une fois de plus, de tirer aucune conclusion.

On peut alors examiner *l'influence de la surface du sol* lui-même. On n'insistera pas sur la distribution des mers et des continents dont la lenteur d'évolution est hors de proportion avec l'échelle de temps qui nous intéresse. Il reste que le sol peut absorber une plus ou moins grande quantité d'énergie, suivant la matière dont il est fait et surtout suivant sa couleur (albédo). Si, par exemple, on remplace une terre couverte de végétation par du sable clair, l'énergie captée par le sol sera beaucoup moins importante. Mais ceci n'aura une influence notable sur l'ensemble du cycle de l'eau que si les surfaces, qui d'une part reçoivent l'énergie et d'autre part fournissent de l'eau par évaporation à l'atmosphère, sont modifiées sur une très grande étendue. Or ces modifications sont limitées aux terres émergées, quoique dans des proportions encore relativement faibles; elles ne

touchent pas les océans, qui apportent à l'atmosphère la quasi totalité de son eau. Par conséquent, le bilan général de l'atmosphère ne peut pas s'en trouver altéré de façon perceptible.

On a souvent écrit qu'une modification de la couverture végétale entraîne une modification du climat et en particulier de la pluviométrie. C'est une question d'échelle; il est assez probable que, si on rasait totalement la forêt amazonienne, le régime pluviométrique de la région s'en trouverait modifié, quoiqu'à vrai dire on ne sache pas très bien dans quel sens le phénomène jouerait.

Mais aller s'imaginer qu'en plantant des arbres dans le désert on provoquera une amélioration des précipitations est totalement faux, en outre on ne voit pas très bien comment les arbres en question pourraient pousser, en dehors d'une micro-culture de luxe à grand renfort d'une irrigation provenant d'une eau déjà rare. En réalité, la végétation arborée, qui peut avoir d'autres vertus, par exemple pour la protection du sol, consomme beaucoup d'eau, et la reforestation en pays semi-aride doit être conduite avec beaucoup de circonspection: on connaît des cas où des plantations d'acacias ont fait complètement disparaître des pâturages par suite de l'abaissement du niveau de la nappe qu'elles provoquaient.

Quant aux grands réservoirs artificiels ou naturels, ils créent effectivement des micro-climats, en ce sens qu'ils modifient la répartition des températures et de l'humidité de l'air dans leur voisinage immédiat.

Mais cette action est très réduite, surtout en zone aride; c'est ainsi que *l'influence du lac Tchad*, qui présente pourtant un plan d'eau relativement important, ne se fait guère sentir dans sa partie nord, la plus aride, au-delà de quelques kilomètres.

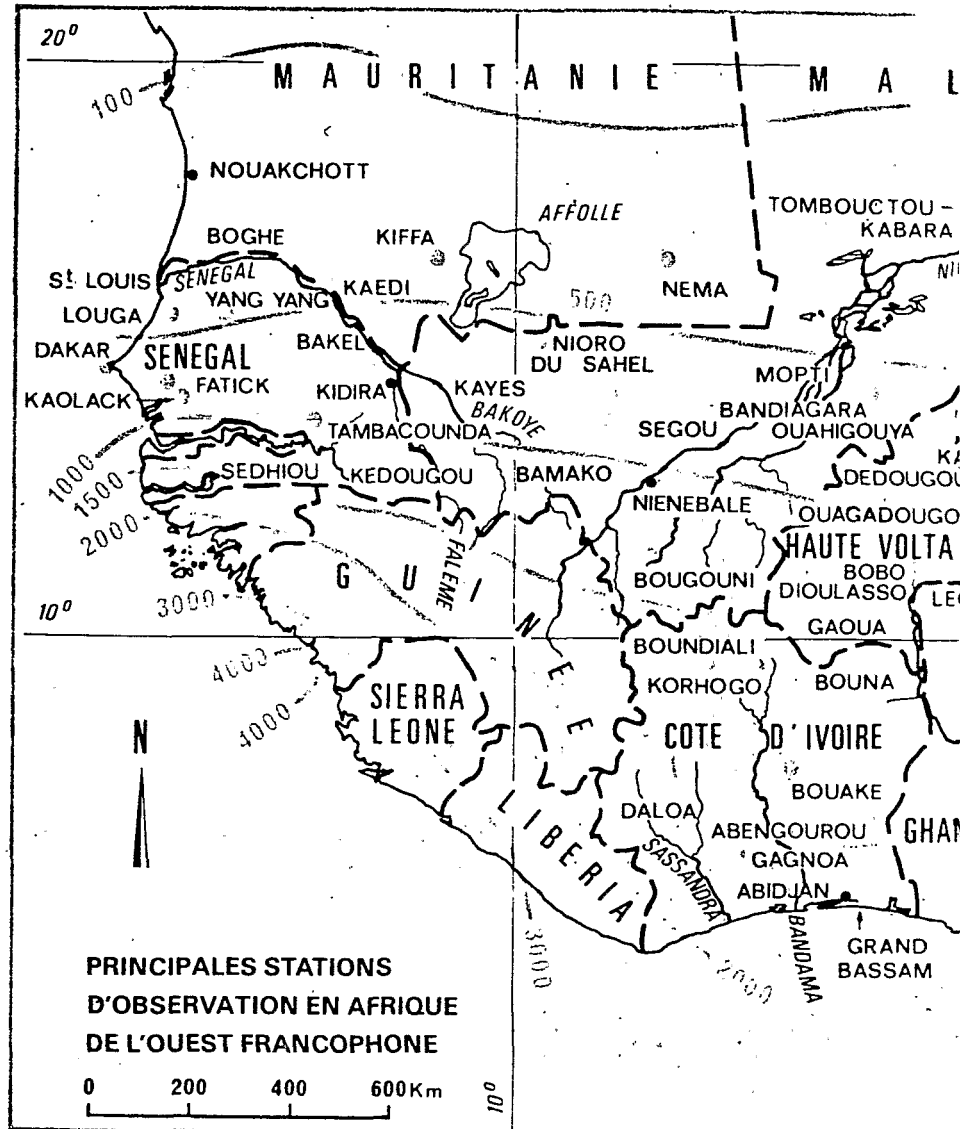
En fait, la formation des pluies dépend de phénomènes qui se passent à un niveau relativement élevé; elle puise pratiquement toute l'énergie nécessaire dans les différentes sortes d'énergies contenues

dans les masses d'air elles-mêmes, et son eau des océans; toutes les modifications que l'homme est capable d'apporter au niveau du sol ne peuvent donc avoir sur le climat qu'une influence extrêmement marginale par rapport aux autres facteurs.

L'analyse directe des données au sol

Les pluies sont connues depuis un certain nombre d'années par des mesures systématiques effectuées dans un réseau de stations, au moyen de pluviomètres : elles sont exprimées en hauteur d'eau (millimètres et dixièmes de mm). C'est sur l'ensemble des séries de hauteurs de pluies annuelles observées aux différentes stations d'une ré-

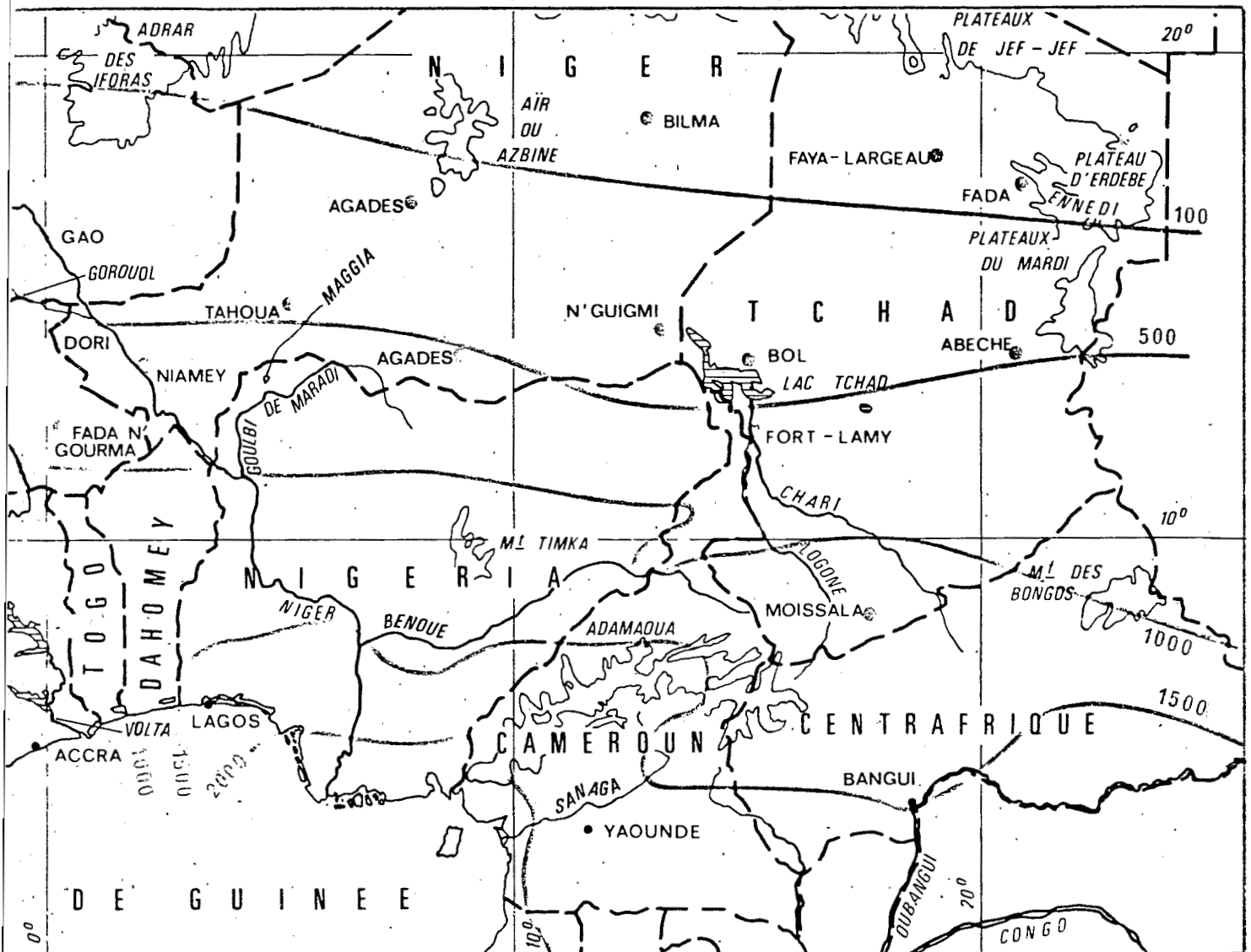
Pluviographe installé à Guilab au sud de Tamchakett (Mauritanie) pour une campagne de mesures.



gion, sur un certain nombre d'années, qu'on peut tenter d'étudier directement les variations du climat pluviométrique. Si on prend une station quelconque en Afrique Occidentale et qu'on regarde la suite des pluies annuelles qu'elle a fournies, on s'aperçoit que les années les plus faibles sont parfois isolées au milieu d'années humides, mais parfois aussi groupées sur une période plus ou moins longue. Lorsque cette période est assez longue et que les sécheresses sont assez sévères, on l'appelle souvent une série noire. On observe quelque chose de tout-à-fait analogue pour les débits des rivières, avec la dif-

férence qu'une rivière intègre les précipitations tombées sur une surface d'autant plus importante que son bassin versant est plus grand, et qu'en climat aride ou semi-aride l'irrégularité se trouve exagérée par l'opération de transformation des pluies en débits.

On s'est souvent posé la question, et on se la pose encore, de savoir si les chroniques de précipitations admettent des composantes périodiques. Pour bien voir comment se pose le problème, il est indispensable d'avoir une vue au moins qualitative sur ce qu'est une série chronologique. Si nous prenons comme exemple la suite des pluies



annuelles observées à une station, on peut imaginer que cette suite comporte au plus trois composantes : la tendance ou variation continue monotone (croissante ou décroissante) ; la composante périodique, qui peut elle-même se décomposer en un certain nombre d'harmoniques ; la composante aléatoire.

Si on additionne la composante périodique et la tendance, la composante aléatoire est définie comme une distribution purement au hasard des pluies annuelles autour de la courbe de variation constituée par la somme de ces deux autres composantes. Elle est caractérisée par une

loi de distribution statistique qui peut être ou non constante dans le temps (stationnaire ou non).

Comme nous l'avons dit à propos de l'analyse physique des phénomènes, il est certain qu'en matière climatologique la tendance existe, c'est-à-dire qu'il y a en chaque point du globe une variation continue du climat ; mais il faut ajouter que la vitesse de cette variation est trop faible, et que les séries d'observations qu'on possède ne sont actuellement jamais suffisantes, pour que la tendance puisse être mise objectivement en évidence. Il faut également se méfier des erreurs systématiques dues à l'appareillage, souvent génératrices

d'une hétérogénéité pouvant faire croire à l'existence d'une tendance.

Un point probablement plus important, sur le plan pratique, est celui des *variations cycliques*. On imagine facilement l'intérêt que pourrait présenter le fait de retrouver à date connue d'avance des ensembles de phénomènes gênants (crue catastrophique, sécheresse, etc.). On comprend donc parfaitement que de nombreux chercheurs aient essayé et essayent encore de définir de telles relations. Si on veut rester sur un plan purement objectif, les variations cycliques doivent être recherchées sur les échantillons disponibles. Les méthodes utilisées pour

la détermination de la périodicité sont de trois sortes.

La méthode de la *moyenne mobile* consiste, un temps de base t étant donné, à calculer la moyenne sur les t premières années de la série disponible, puis de la deuxième à la $t + \text{unième}$ année, etc. On espère ainsi régulariser (on dit « lisser ») les variations dues à la composante aléatoire de façon à mettre en évidence la part qui revient à la variation périodique. Il faut savoir que l'utilisation de la moyenne mobile crée par elle-même des variations périodiques, de période voisine du temps de base choisi pour le calcul.

C'est ce qu'on appelle en statistique l'effet Slutsky. On peut engendrer ainsi de très belles courbes de variations cycliques, à partir d'échantillons qu'on a soi-même fabriqués, en effectuant des tirages parfaitement au hasard.

L'analyse harmonique, consiste à rechercher les valeurs des différents harmoniques d'une courbe de variation périodique.

L'analyse spectrale, dont la théorie fait appel à des notions mathématiques assez spécialisées, consiste en gros à rechercher des effets de résonance dans les séries soumises à l'analyse. C'est finalement la seule méthode qui convienne pour essayer de mettre en évidence les différentes périodicités qu'on peut observer dans une série chronologique.

Malheureusement, pour obtenir des valeurs significatives du test que constitue cette méthode, il faudrait opérer sur des séries très longues, au moins vingt fois la durée du cycle supposé exister. Aussi bien en hydrologie qu'en climatologie on ne dispose jamais de telles séries.

En conclusion, si on excepte le cycle évident des variations saisonnières, cycle dont le mécanisme physique est parfaitement connu et dont la recherche ne présente par conséquent aucun intérêt, il est actuellement impossible de se prononcer pour ou contre l'existence des cycles climatiques et encore moins de pouvoir en mesurer les effets et d'en prévoir les conséquences. Il convient d'ajouter que toutes les tentatives

pratiques qui ont été faites pour baser une prévision sur l'existence des cycles ont totalement échoué.

Examen objectif de la sécheresse actuelle

Il est intéressant de rechercher dans les données disponibles, si la sécheresse actuelle paraît vraiment très exceptionnelle, si la suite de ces données ne montre pas, malgré tout, une tendance générale à l'assèchement dans cette partie du monde, venant contredire les éléments d'analyse physique que nous avons exposés précédemment.

La documentation la plus riche que l'on possède se rapporte aux précipitations. C'est donc elles que nous commencerons à examiner, puis nous donnerons quelques indications d'ordre hydrologique sur le débit des rivières.

Avant d'aborder l'analyse, il conviendrait de définir une ou plusieurs caractéristiques de la sécheresse qui répondent aux préoccupations des intéressés. Ce n'est pas si simple. En effet, si l'on peut dire d'une façon générale que la sécheresse correspond à une insuffisance d'eau, il n'est pas nécessaire que cette insuffisance affecte la totalité de l'année hydrologique pour porter préjudice aux populations qui la subissent. S'il s'agit notamment d'agriculture, il suffit qu'elle se produise à un moment critique pour la végétation, l'époque de la germination par exemple, ou que la crue annuelle soit retardée de façon significative, dans le cas des cultures de décrue par exemple, même si les apports annuels sont tout à fait normaux. Il y a donc une liaison entre la nature des usages de l'eau et la définition des paramètres de la sécheresse. Comme on ne peut pas, dans un article de portée générale comme celui-ci, répondre à toutes ces questions, on s'est contenté d'envisager la sécheresse sous l'angle du *déficit annuel*.

L'emploi des données pluviométriques ou celui des données hydrologiques pour l'examen d'une situation de sécheresse n'a pas tout à fait la même portée. Tandis que l'étude pluviométrique peut se faire poste par poste, et par conséquent fournir des données ponctuelles sur la sécheresse, les débits observés à une station intègrent ce qui se passe sur l'ensemble d'un bassin. Il est théoriquement possible, lorsque le réseau hydrométrique est dense, de diviser les bassins en sous-bassins et en bassins intermédiaires, mais les résultats sont souvent bien décevants et, de toute manière, l'analyse reste beaucoup moins ponctuelle que pour la pluviométrie.

La sécheresse et les précipitations

On a sélectionné dans les Etats francophones de l'Afrique de l'Ouest un certain nombre de stations pluviométriques d'après les critères suivants : répartition géographique et climatique à peu près assurée, périodes d'observation aussi longues que possibles, fichier pluviométrique aussi fiable que possible.

L'ORSTOM (1), qui s'est vu confier par le Secrétariat d'Etat aux Affaires Etrangères chargé de la Coopération, la mise en ordre et la publication des données pluviométriques des pays africains francophones, a accompli ces dernières années un effort considérable pour constituer un fichier reproduisant le plus fidèlement possible les observations originales; c'est ce qu'on appelle le fichier « en l'état ». Il resterait à le débarrasser des erreurs systématiques dues aux changements de sites, aux modifications de l'environnement et à la non adéquation du matériel utilisé. C'est malheureusement une opération fort longue, qui n'en est qu'à son début. Cependant, pour une étude de ce type, on peut admettre, au moins provisoirement, que les choses se compensent sur le plan géographique et que le fichier en l'état permet de dégager les tendances de la sécheresse de façon satisfaisante.

(1) Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer.

TABLEAU I CARACTÉRISTIQUES PLUVIOMÉTRIQUES DES PRINCIPALES SÈCHERESSES
DANS LES DIFFÉRENTES ZONES CLIMATIQUES

Station	Pays	Médiane mm	Nbre années	1913 ?	Minimum		1913		1971		1972	
					Haut- mm	Année	Haut- mm	Fréq.*	Haut- mm	Fréq.*	Haut- mm	Fréq.*
CLIMAT SUBDESERTIQUE												
Faya Largeau	Tchad	12	36	non	0	35-40-70	—	—	18	0,57	0,4	0,10
Bilma	Niger	15	48	non	1	40-41	—	—	2	0,05	20	0,63
Fada	Tchad	70	39	non	0	1972	—	—	10	0,06	0	0,01
CLIMAT SAHELIEU												
Agadès	Niger	150	50	non	40	1970	—	—	93	0,11	74	0,05
Nguigmi	Niger	190	48	non	41	1928	—	—	125	0,20	69	0,05
Tombouctou-Kabara	Mali	210	59	oui	89	1966	142	0,16	202	0,50	107	0,04
Gao	Mali	260	53	non	60	1931	—	—	175	0,20	163	0,14
Nema	Mauritanie	280	47	non	167	1928	—	—	238	0,18	250	0,29
Bol	Tchad	290	38	oui	46	1913	46	(0,01)	204	0,14	62	(0,02)
Boghe	Mauritanie	310	54	non	112	1972	—	—	146	0,03	112	0,01
Saint Louis	Sénégal	330	69	oui	144	1914	150	0,01	177	0,08	152	0,02
Kiffa	Mauritanie	350	50	non	119	1972	—	—	164	0,09	119	0,01
Kaedi	Mauritanie	400	49	non	120	1920	—	—	267	0,20	129	0,03
Tahoua	Niger	400	51	non	209	1942	—	—	267	0,07	267	0,07
Louga	Sénégal	420	50	non	156	1972	—	—	300	0,21	156	0,01
Abéché	Tchad	420	38	non	307	1970	—	—	340	0,12	313	0,04
Zinder	Niger	490	66	oui	215	1912	229	0,02	352	0,11	303	0,07
Yang Yang	Sénégal	500	52	non	156	1972	—	—	378	0,20	156	0,01
Bakel	Sénégal	500	55	non	357	1954	—	—	541	0,67	394	0,17
Dori	Hte-Volta	520	50	non	244	1926	—	—	427	0,15	472	0,31
Mopti	Mali	530	50	non	360	1947	—	—	493	0,39	390	0,11
Bandiagara	Mali	580	52	non	315	1938	—	—	417	0,09	442	0,13
Niamey	Niger	580	66	oui	(290)	1915	337	0,04	370	0,08	412	0,13
Nioro du Sahel	Mali	600	47	non	310	1921	—	—	341	0,03	440	0,12
CLIMAT TROPICAL PUR												
Dakar	Sénégal	500	75	oui	117	1972	310	0,06	367	0,12	117	0,01
Fort-Lamy	Tchad	620	49	oui	306	1913	306	0,01	423	0,07	618	0,41
Kaya	Hte-Volta	670	53	non	479	1970	—	—	688	0,52	582	0,18
Kidira	Sénégal	680	49	non	385	1968	—	—	552	0,15	623	0,28
Kayes	Mali	690	66	non	361	1898	—	—	596	0,23	485	0,04
Segou	Mali	710	54	oui	456	1949	708	0,50	510	0,05	531	0,08
Ouahigouya	Hte-Volta	720	51	non	413	1947	—	—	481	0,03	502	0,05
Kaolaek	Sénégal	780	54	non	480	1972	—	—	850	0,62	480	0,01
Fatick	Sénégal	800	53	non	298	1972	—	—	803	0,50	298	0,01
Ouagadougou	Hte-Volta	810	71	oui	408	1913	408	0,01	717	0,27	966	0,85
Fada N'Gourma	Hte-Volta	870	52	non	569	1944	—	—	739	0,18	840	0,44
Koulikoro-Niébalé	Mali	890	50	oui	556	1972	646	0,03	685	0,09	556	0,01
Tambacounda	Sénégal	900	52	non	476	1931	—	—	988	0,70	632	0,01
Dédougou	Hte-Volta	980	50	non	670	1972	—	—	789	0,11	670	0,01
Iéou	Hte-Volta	1 010	51	non	647	1926	—	—	1 152	0,76	827	0,13
Bamako	Mali	1 040	50	non	728	1972	—	—	1 038	0,50	728	0,01
Bobo-Dioulasso	Hte-Volta	1 110	61	oui	694	1921	980	0,27	964	0,22	894	0,16
Maïssala	Tchad	1 130	35	non	900	1941	—	—	1 061	0,30	1 142	0,57
Kédougou	Sénégal	1 300	50	non	839	1932	—	—	1 179	0,33	972	0,07
Sedhiou	Sénégal	1 350	66	oui	808	1905	914	0,07	1 032	0,14	846	0,04
REGIMES TROPICAL DE TRANSITION ET A TENDANCE EQUATORIALE												
Bouna	Côte d'Iv.	1 080	53	non	350 ?	1920	—	—	1 081	0,50	936	0,25
Bouaké	Côte d'Iv.	1 160	59	oui	580	1919	741	0,03	1 268	0,67	1 284	0,70
Gaoua	Hte-Volta	1 210	57	oui	823	1947	1 684 ?	0,89	1 083	0,31	874	0,06
Bougouni	Mali	1 300	52	non	805	1947	—	—	1 104	0,28	908	0,07
Abengourou	Côte d'Iv.	1 360	53	non	852	1946	—	—	908	0,03	1 242	0,39
Daloa	Côte d'Iv.	1 410	51	non	1 120	1932	—	—	1 720	0,85	1 283	0,34
Korhogo	Côte d'Iv.	1 420	47	oui	811	1961	2 738 ?	maxi observ.	1 151	0,16	994	0,10
Gagnoa	Côte d'Iv.	1 460	50	non	899	1925	—	—	1 505	0,53	1 260	0,23
Boundiali	Côte d'Iv.	1 510	46	non	1 022	1946	—	—	1 975	0,89	2 058	0,92
Grand Bassam	Côte d'Iv.	2 050	61	oui	(1 470)	1918	2 477	0,87	1 637	0,17	1 686	0,22

Pour essayer de constituer un ensemble cohérent du point de vue de la sécheresse, on a choisi de grouper les stations, non pas par États, ni même par régions géographiques, mais par zones climatiques : subdésertique (bordure sud du Sahara); sahélienne, qui s'étend à peu près de l'isohyète 100 à l'isohyète 600; tropicale pure, qui va en principe de l'isohyète 600 à l'isohyète 1200; enfin tropicale de transition, que la pluviométrie ne suffit pas à définir, mais qui ne commencent pas en-dessous de 1100 mm.

Comme une partie importante de notre information se rapporte aux climats subdésertique et sahélien, pour lesquels la distribution des totaux pluviométriques annuels est très asymétrique, il nous a paru préférable, pour caractériser les régimes, d'utiliser les médianes plutôt que les moyennes. Les médianes, du point de vue de l'irrégularité interannuelle auquel on se place ici, sont en effet plus significatives : les comparaisons qu'on effectue à partir d'elles pour définir la sécheresse d'une année ou d'une série d'années, permettent une vue plus « fréquentielle » du phénomène.

L'examen des données montre effectivement une grande sécheresse dans les dernières années, spécialement en 1971-72, et, antérieurement, une autre période très sévère plus ou moins centrée sur 1913. C'est ce qui nous a conduit à présenter d'abord les résultats contenus dans le *tableau I*. Les stations y sont groupées par zones climatiques (bandes sensiblement parallèles à l'Équateur); dans chaque bande elles sont classées par précipitations annuelles médianes croissantes. En gros, on se dirige du désert vers la côte atlantique sud de l'Afrique de l'Ouest.

Pour chaque station, on donne la médiane (toutes les hauteurs de précipitations sont indiquées en mm), le nombre d'années de la période; on précise si on dispose de données pour 1913; puis on indique la hauteur minimale observée, avec son année. On indique, enfin, pour

1913, 1971 et 1972, la hauteur observée et la fréquence de non dépassement qui lui correspond. Cette fréquence est calculée d'après l'échantillon des hauteurs classées par ordre croissant, suivant la formule

$$f = \frac{n - \frac{1}{2}}{N} \text{ où } n \text{ est le rang de}$$

l'année et N le nombre d'années de la période d'observation.

On ne dispose malheureusement que d'un nombre très réduit d'observations en 1913 et dans les années qui l'entourent, mais on constate toutefois que, lorsque des données sont disponibles dans les zones arides, cette période est presque toujours plus sèche que 1971-72.

Une extension géographique exceptionnelle

Examinons avec un peu plus de détail les différentes zones climatiques présentées dans le *tableau I*.

Climat subdésertique. Les précipitations peuvent y être considérées comme sporadiques. Il n'est pas rare que le total annuel soit nul ou très voisin de zéro; par contre une seule averse transforme une année, très sèche par ailleurs, en année record. Il est donc difficile dans ces régions de définir une sécheresse à partir du total pluviométrique annuel. On notera seulement que le couple 1971-72 se situe très largement du côté des années sèches, au sens que nous avons défini. On n'a aucune indication sur la période entourant 1913.

Climat sahélien. C'est là où les choses sont les plus nettes. Partout le couple 1971-72 est exceptionnellement sec. Dans la partie la plus aride avec médiane inférieure à 500 mm (du point de vue géographique, sensiblement la ligne Bakel, Zinder, Abéché), 1972 est plus sec que 1971. Au-delà de 500 mm, c'est le contraire. Lorsqu'on dispose de relevés anciens, on a toujours une sécheresse « 1913 » pire que celle de « 1972 ». C'est vrai pour Tombouctou au Mali, où la sécheresse 1913 s'étend au moins de 1910 à 1913 (on ne dispose pas de relevé pour les années suivantes),

encore plus à Bol (Tchad), un peu moins net à Saint-Louis (Sénégal), bien que 1914 ait connu le minimum absolu. A Zinder, la période 1910-1915 est bien pire que celle de 1966-1972. A Niamey, la sécheresse 1913 se prolonge de 1910 à 1917, alors que celle de 1972 est relativement modérée. Il y a, bien entendu, d'autres séries sèches, ou des années sèches et isolées, durant les périodes d'observation, mais elles ne présentent ni le même caractère de gravité, ni la même extension géographique.

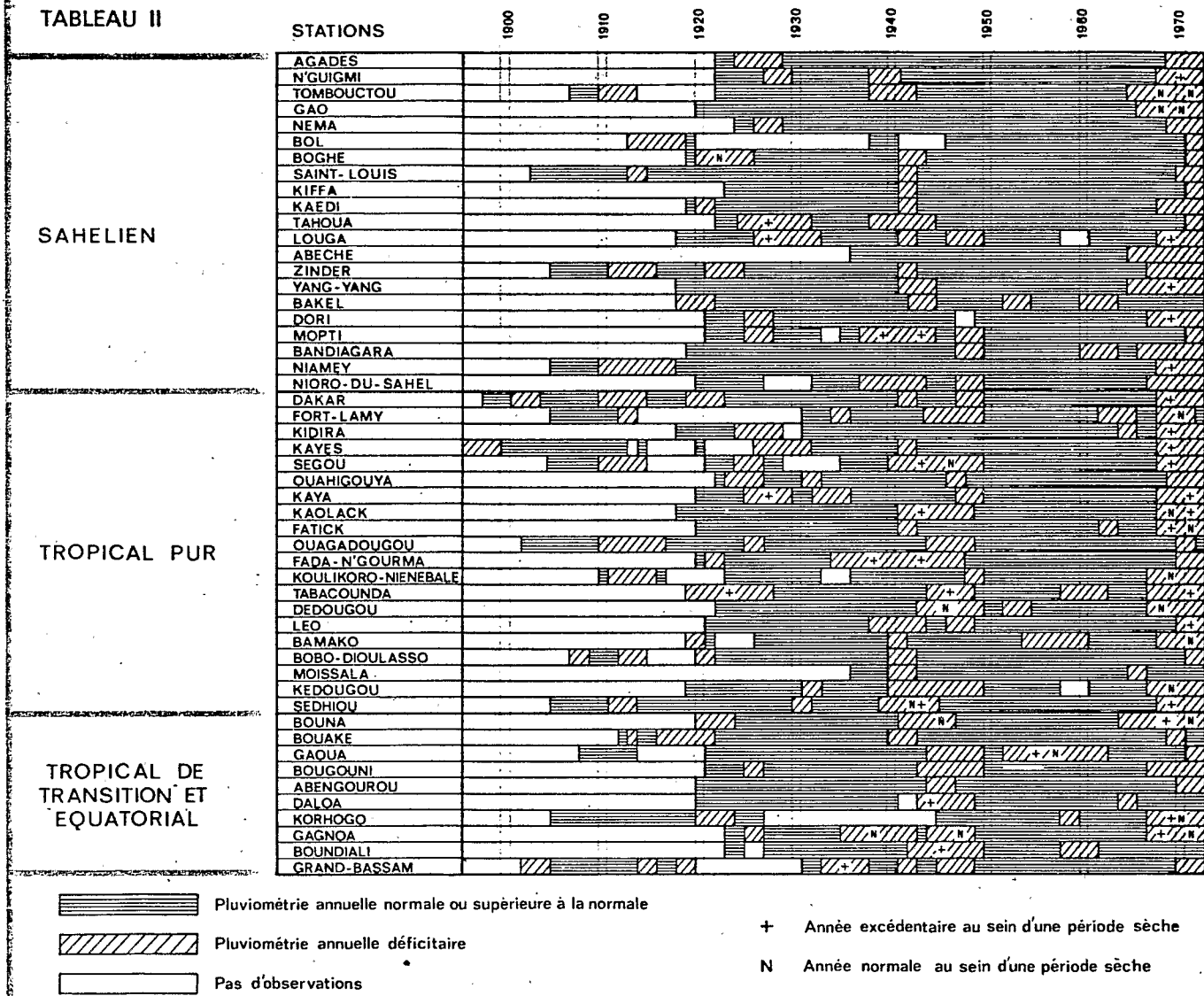
Limnigraphe installé provisoirement sur un cours d'eau pour la durée d'une campagne à Attala (Mali).



Climat tropical pur. D'une façon générale, la sécheresse 1972 y reste très sévère, mais ne présente pas une homogénéité géographique aussi marquée qu'en climat sahélien. Quant à la sécheresse 1913, si localement elle peut encore dominer, elle perd souvent de son mordant et parfois disparaît totalement. Dans les dernières années, la région la moins touchée semble avoir été la partie centrale de la Haute-Volta. C'est ainsi qu'à Ouagadougou la décennie 62-72 est plutôt excédentaire, l'année 1972 est nettement forte, 1970 et 1972-1971 sont modérément

ÉPISODES SECS LES PLUS IMPORTANTS DES PÉRIODES OBSERVÉES AUX DIFFÉRENTES STATIONS

TABLEAU II



déficitaires, alors que la période 1910-16 accuse une sécheresse très sévère. On observe quelque chose d'analogue à Fada N'Gourma, mais avec un déficit moins marqué en 1913. Sauf dans cette même région de la Haute Volta et au Tchad, 1972 est généralement plus sec que 1971. C'est souvent l'année la plus sèche connue, parfois concurrencée par 1913 lorsqu'on dispose de relevés cette année-là. Mais les minimums absolus sont plus diversifiés qu'en climat sahélien et on voit apparaître des périodes déficitaires plus importantes dans les années 1940.

Climat tropical de transition et à tendance équatoriale. La sécheresse 1972 s'y étend, avec plus ou moins de régularité, jusqu'à la côte atlantique sud de l'Afrique Occidentale.

Les valeurs observées ne représentent certes plus des records, aucune des années récentes ne détenant le minimum des périodes d'observation, mais le déficit est assez net. Par contre, la sécheresse 1913 a totalement disparu.

C'est probablement l'extension géographique de cette sécheresse 1972 qui en fait un événement peut-

être séculaire, plus encore que son extrême sévérité.

Les variations dans le temps

On a groupé dans le *tableau II*, sous une forme graphique, les épisodes secs les plus importants des périodes observées aux différentes stations. Les épisodes choisis ont au moins deux ans et accusent un déficit d'au moins 10 à 20 % par rapport à la médiane, suivant la zone climatique.

Géographiquement les sécheresses 1972 et 1913 sont très étendues. Celles des années 40, qui, notons-le, ne sont synchronisées que pour des bandes climatiques relativement étroites, apparaissent plus dispersées. Le reste est distribué un peu au hasard. Cet aspect de hasard serait encore renforcé si on avait représenté sur le tableau les années sèches isolées, dont certaines correspondent aux minimums observés. Notre but étant de faire ressortir des sécheresses plus ou moins persistantes, il convenait de les éliminer; il ne faudrait pas que cet artifice de graphisme conduise à de fausses interprétations.

En particulier, l'aspect général du tableau donne l'impression d'une variation périodique des sécheresses avec une période d'une trentaine d'années. Disons tout de suite que cette interprétation est purement subjective. D'abord une variation périodique ayant un sens physique, c'est-à-dire rattachée au système général de l'atmosphère, exigerait un synchronisme parfait des sécheresses, au moins à l'échelle locale. Or ce synchronisme n'est pas du tout respecté dans les années 40.

L'échantillon global dont on dispose est nettement insuffisant pour tirer une conclusion quelconque concernant une périodicité de trente ans.

Des auteurs ont écrit qu'il existait dans le passé des données permettant d'étendre la durée des périodes d'observation; ces données sont rares, souvent très qualitatives, et nous ne pensons pas qu'on puisse leur accorder une grande confiance.

Notre conclusion à ce sujet est que l'existence d'une périodicité (de 30 ans ou autre) reste encore à démontrer et que cela suppose un nombre encore important d'années d'observation (au moins 60 ans), à moins qu'un modèle général de l'atmosphère permette un jour, par simulation, de reproduire de telles variations.

Reste le problème de la tendance. Sans l'approfondir disons seulement que, là encore, l'échantillonnage ne

permet pas d'aboutir à une conclusion significative. Rappelons que des raisons physiques s'élèvent d'ailleurs vigoureusement contre l'existence d'une tendance décelable à court terme (quelques dizaines d'années).

La sécheresse et le débit des rivières

Entre les isohyètes 100 mm et 300 mm, un certain nombre de cours d'eau ont fait l'objet dans le passé d'observations sur de courtes périodes de 2 ou 3 ans; mais en 1972 comme en 1971 aucune station n'a été observée dans cette zone, tout au moins depuis l'océan Atlantique jusqu'au Soudan.

Plus au Sud, entre les isohyètes 300 mm et 750 mm, on trouve une ou deux stations en Haute-Volta, un réseau organisé au Niger, au Tchad une seule station, les autres ayant été fermées à la suite d'événements politiques. Toutes contrôlent des bassins de moyenne importance, moins de 50 000 km², et ne sont probablement pas situées dans les régions les plus affectées par la sécheresse.

Dans le bassin moyen du Niger, les débits moyens annuels 1972 de la Maggia, du Goulbi de Maradi et du Gorouol présentent des déficits de 32 %, 56 % et 32 %. Pour la Sirba (38 750 km²), située un peu plus au Sud, le déficit est beaucoup plus important : 75 %. Pour les trois dernières rivières, la fréquence d'une telle sécheresse est décennale et l'année 1968 a été plus déficitaire que 1972. Sur la Maggia, relativement privilégiée, le débit moyen annuel de 1972 a été dépassé 6 années sur 10. Il semble que, pour ces cours d'eau situés au Niger et en Haute-Volta, la situation soit un peu plus favorable que dans d'autres régions de la même zone.

Plus au Sud s'étendent les bassins d'un bon nombre de fleuves tropicaux africains : Sénégal, Niger, Volta, Benoué, Sanaga, Sangha, Chari, Oubangui et Nil Bleu. Ici, on dispose de données hydrométriques

sûres; des observations précises ont eu lieu à l'occasion de la sécheresse de 1972, les courbes de transformations hauteurs/débit sont bien connues et les hydrologues de l'ORSTOM ont procédé à des campagnes de mesures de basses eaux de l'Atlantique jusqu'au Soudan, de façon à déterminer le minimum de 1973 après la saison des pluies 1972.

Un déficit du débit moyen annuel égal ou supérieur à 30 %

De façon générale, si l'on considère les débits moyens annuels, la sécheresse de 1972 est exceptionnelle sur toute la zone comme le montre le tableau III.

Le Sénégal et le Niger, observés depuis longtemps, présentent un débit moyen de 1972 assez voisin de celui de 1913. Sur le Sénégal il lui est légèrement inférieur de sorte que sa fréquence serait environ centennale.

Sur le Niger la période de retour est comprise entre 10 et 20 ans. Sur le Chari, dont le bassin a été très affecté par la sécheresse, la période de retour peut être estimée à 50/100 ans. Le Logone, affluent du Chari, a été beaucoup moins touché en ce qui concerne le déficit, bien que la fréquence soit peut-être aussi faible que pour le Chari : les bassins disposant de possibilités de rétention accusent, toutes choses restant égales par ailleurs, un déficit moins important.

Sur la Sanaga au Sud-Ouest du Chari, on retrouve encore une période de retour voisine de 50 ans, malgré un maximum annuel pas trop inférieur à la normale; le débit moyen annuel est inférieur à celui de 1946. Sur la Sangha à Ouesso, les résultats sont analogues, le débit moyen de 1972 étant inférieur à celui de la sécheresse équatoriale de 1958. A l'extrémité Est de cette zone, le Ouabi Schebelli (Ethiopie) présente un débit moyen annuel de période de retour de 20 ans, mais le déficit est faible (18 %), tout simplement parce que la forte rétention des

TABLEAU III COMPARAISON DES DEBITS MOYENS DE DIVERS FLEUVES TROPICAUX AFRICAINS

FLEUVE	Durée de la période (années)	Débit moyen annuel (m ³ /s)	Débit moyen 1972 (m ³ /s)	Déficit 1972 par rapport à la moyenne %
Sénégal à Bakel	68	764	264	65
Niger à Koulikoro	66	1 540	1 080	30
Volta noire	19	37	17	54
Niger à Niamey	44	1 010	647	36 (1)
Logone à Laï	25	506	241	45
Chari à Fort-Lamy	37	1 280	578	55
Sanaga à Edéa	30	2 070	1 440	30
Sangha à Ouessou	22	1 800	1 270	30
Ouabi Schebelli	—	27	22	18

(1) valeur sous-estimée par suite du décalage de l'hydrogramme par rapport à Koulikoro.

terrains volcaniques dans le bassin donne lieu à une certaine régularisation interannuelle.

Si l'on considère maintenant les *débits maximaux* on arrive à des conclusions analogues, ce qui est normal puisque, pour ces grands fleuves, la corrélation entre débit maximal annuel et débit moyen annuel est bonne ou très bonne. Dans le *tableau IV* on compare le débit maximal de 1972 à la moyenne des valeurs maximales annuelles.

La valeur du débit maximal est très importante : pour la plupart des grands fleuves, un débit maximal faible signifie que le cours d'eau est resté contenu dans ses berges et n'a pas pu se répandre dans les plaines d'inondation, d'où des conséquences graves pour la reproduction du poisson et surtout pour les cultures dans le lit majeur, qu'il s'agisse de cultures de décrue ou de rizières, qui n'ont pu être pratiquées que dans les rares cas où il y avait des groupes de pompages.

Forte baisse des étiages

L'étude des *valeurs minimales* de basses eaux en 1973 met en évidence des chiffres assez frappants. On se demandait à la fin de 1972, si certains fleuves, comme le Sénégal, ne risquaient pas de s'assécher. La tradition rapporte qu'il y a plusieurs siècles ce phénomène a été observé sur le Niger, en amont du delta intérieur. Mais cette étude présente d'assez graves difficultés : avant 1950, pour beaucoup de stations situées sur les grands fleuves, les basses eaux n'étaient pas observées. De plus, la plupart des courbes de tarage devaient être révisées fréquemment et les courbes utilisées jusqu'ici ne permettaient pas d'extrapolation sûre pour des valeurs aussi basses des débits. C'est pourquoi l'O.R.S.T.O.M., en collaboration avec les Services Hydrologiques nationaux, a entrepris en 1973 des jaugeages systématiques de basses eaux aux stations les plus importantes. Les chiffres qui seront donnés ci-après sont donc précis,

TABLEAU IV COMPARAISON DES DEBITS MAXIMAUX POUR DIVERS FLEUVES TROPICAUX AFRICAINS

STATION	Durée de la période	Moyenne des maximum m ³ /s	Maximum 1972 m ³ /s
Sénégal à Bakel	68 ans	4 770	1 430
Gambie à Goulombo		790	117
Niger à Koulikoro	66 ans	6 260	3 680
Niger à Niamey	36 ans	1 860	1 550
Volta Noire à Nwokuy	14 ans	105	49
Chari à Fort-Lamy	37 ans	3 540	1 430
Logone à Moundou	24 ans	2 550	964
Oubangui à Bangui	60 ans	10 500	9 200 (1)
Ouabi Schebelli à Malca Uacana	6 ans	150	106

(1) Fréquence sensiblement décennale.

mais il est difficile d'indiquer des fréquences, car les valeurs anciennes concernant les périodes de sécheresse 1908-1915 ou 1941-1945 sont presque toujours inconnues ou connues à 100 ou 200 % près.

Le *Sénégal* dans son cours inférieur ne s'est pas asséché, mais le débit minimal a été de 250 litres/seconde à Bakel au lieu de 2,3 m³/s (valeur médiane). Le *Niger* supérieur, à Koulikoro, a présenté en 1973 un débit minimal de 16 m³/s, la moyenne étant voisine de 45 m³/s. A Niamey, la situation était beaucoup plus grave, puisque le minimum a été de 2,5 m³/s pour une moyenne de 75 m³/s.

Pour le *Chari* à Fort-Lamy, le minimum était égal à 48 m³/s au lieu de 160 m³/s habituellement. Mais ce débit a été largement soutenu par les nappes des plaines du Logone, le débit minimal du Chari n'étant plus, à l'amont du confluent de cette rivière, que de 25-30 m³/s.

Le lac Tchad donne également une bonne idée de la fréquence de telles sécheresses. Il est constitué essentiellement par deux cuvettes : la cuvette nord et la cuvette sud où débouche le Chari. Ces deux cuvettes sont séparées par la Grande Barrière, qui était largement submergée ces dernières années. La cote maximale annuelle du lac Tchad à la fin de 1972 était inférieure de 3 m à la cote maximale de 1964-1965. Pour un lac aussi peu profond une telle baisse est catastrophique, d'autant plus qu'après le maximum annuel de 1972 le niveau des eaux a encore baissé de façon très importante.

Il est d'ailleurs difficile de définir un niveau moyen du lac, puisque la Grande Barrière a émergé et que la cuvette nord a été totalement isolée de la cuvette sud en mai 1973. Un bon nombre de stations de mesures de niveau se sont trouvées dans des poches d'eau isolées et il a été nécessaire d'installer rapidement de nouvelles stations. Les pêches ont été excellentes, mais aux dépens du stock de poissons qui se retrouvera sérieusement amoindri lorsque le lac reprendra un niveau normal. Ce ne sera pas le cas en 1974, puisque la

crue du Chari en 1973 est assez faible ; si la cuvette sud dont la surface était très réduite en juin se remplit rapidement, il est à peu près certain que les débordements par dessus la Grande Barrière seront faibles ou nuls à la fin de 1973 de sorte que, pendant tout le printemps de 1974, la cuvette nord s'assèchera encore plus qu'en 1973. La situation des années 1973-1974 sera sans doute assez comparable à ce qui a été observé pendant les années sèches 1908-1914.

La désertification : un problème d'abord économique et politique

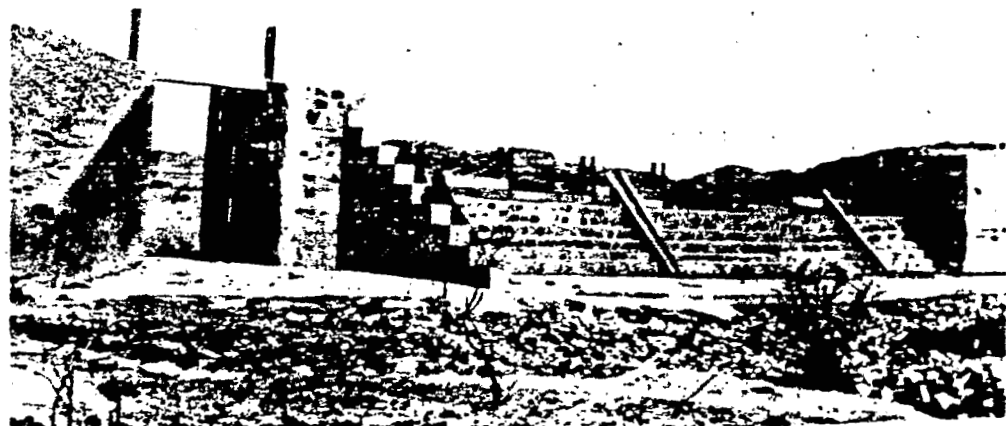
Lorsqu'une ressource quelconque est variable dans le temps, avec des points hauts et des points bas, et qu'on veut l'exploiter à une cadence

supérieure à celle que permettrait le plus bas des points bas, il n'y a que trois solutions : admettre des restrictions lors du passage des points bas en dessous d'un certain seuil ; reporter, par la mise en place d'un système de stockage interne, le surplus des périodes grasses sur les périodes maigres ; puiser à des ressources extérieures au système... ou recourir à un mélange de ces trois possibilités.

En matière d'agriculture, par exemple, le sol assure naturellement un certain stockage qui permet de passer les périodes sans pluie (entre les averses), dans la mesure où elles ne sont pas trop longues ni trop répétées. Pour une régularisation saisonnière sur l'année, on peut déjà être amené à utiliser des stockages importants soit naturels (pompage dans une rivière, un lac ou une nappe souterraine) soit artificiels (barrage). Au stade interannuel, il faudra mettre en œuvre des stockages d'eau d'autant plus puissants que cela supposera une production agricole plus importante et plus régulière.

Les possibilités de ces stockages

Barrage de Brémida pour la culture de submersion avec déversoir et hausses à batardeaux (Mauritanie).



d'eau sont morphologiquement et physiquement limitées (sites possibles de barrages par exemple), sans parler des considérations économiques qui s'attachent à leur réalisation. Lorsqu'elles ont été épuisées,

il faut reporter le *stockage sur le produit agricole lui-même* : réserves normales et réserves de sécurité. Il ne s'agit plus d'hydrologie ni de climatologie, c'est une question politico-économique.

Le Niger, le plus long fleuve de la région.



Il peut être plus économique, donc plus intéressant, d'ajouter au stockage interne l'appel à des stocks extérieurs : circulation des denrées à l'échelle régionale, puis mondiale. Il devrait être tout-à-fait normal qu'un stockage interne ne permette pas de couvrir les déficits dus à des événements de fréquence rare, trentenaire ou cinquantenaire par exemple.

Dans les pays qui nous occupent ici, l'irrégularité interannuelle de la ressource en eau est très marquée.

Cette ressource elle-même est faible. Dans les climats subdésertiques ou nord-sahéliens, la vie humaine est à la limite de ses possibilités, l'équilibre est précaire. Les possibilités de stockage artificiel de l'eau sont pratiquement nulles; seules les nappes souterraines peuvent être de quelque secours.

Même dans les régions situées plus au sud, jusque et y compris le tropical pur, les possibilités sont réduites et dans le cas où on trouve des sites de barrage acceptables, l'évaporation intense abaisse l'avantage qu'on pourrait tirer des ouvrages.

Il faut ajouter que l'occupation du sol par l'homme n'arrange pas les choses. En période prospère la terre se peuple et les troupeaux se multiplient; cela conduit, dans les années faibles, à la surexploitation des sols, à la surpâturation et à l'exploitation abusive des ressources en eau avec leur corollaire : la *désertification*. C'est, en effet, le facteur humain qui est la principale cause de la désertification, et non on ne sait quelles variations climatiques. Nous avons dit précédemment ce que nous pensons des tentatives de **modification du climat, et notamment du régime pluviométrique**, par le reboisement ou autres solutions.

Le problème dépasse donc très largement le cadre des techniques de l'eau; il est en premier lieu économique et politique.

Marcel ROCHE
(ORSTOM)