

14. W. DESHLER, 'Livestock trypanosomiasis and human settlement in northeastern Uganda', Geographical Review, 50, 1960, 541-54.
15. H. C. DAWKINS, 'The northern province mountains: speculations on climate and vegetation history', Uganda Journal, 18, 1954, 58-64.
16. W. H. PEARSALL, Report on an ecological survey of the Serengeti national park, Tanganyika, 1956, 1957.
17. P. W. PORTER, 'Environmental potentials and economic opportunities: a background for cultural adaptation', American Anthropologist, 67, 1965, 409-20.
18. F. N. OWAKO, 'Machakos land and population problems', in S. H. OMINDE, ed., Studies in East African geography and development, 1971, ch. 15, 177-92.
19. R. CHAMBERS, Settlement schemes in tropical Africa: a study of organisations and development, 1969, esp. 259-62.
20. Atlas of Uganda, 2nd ed., 1967, 'Hydrology', 14-15.
21. Atlas of Tanzania, 1967, 'Water supplies', Map 23.
22. L. BERRY, ed., Tanzania in maps, 1971, 'Utilisation of water resources', 74-75, Map 31.
23. S. H. OMINDE, 'The semi-arid and arid lands of Kenya', in S. H. OMINDE, ed., Studies in East African geography and development, 1971, ch. 13, 146-61.
24. Kenya, African land development in Kenya 1946-1955, 1956. A revised and extended survey is entitled African land development in Kenya 1946-1962, 1962.
25. R. J. M. SWYNNERTON, A plan to intensify the development of African agriculture in Kenya, 1954.

Bradford

In: Report of the 1973 symposium held in London on 19th and 20th July 1973.

NOTE SUR LA SECHERESSE ACTUELLE EN AFRIQUE DE L'OUEST

MARCEL ROCHE

Depuis quelques années, une sécheresse persistante semble sévir sur la bordure sud du Sahara, notamment dans les régions sahéliennes et tropicales nord. Du point de vue politique, le phénomène concerne les états de Mauritanie, du Sénégal, du Mali, de la Haute Volta, du Niger, et sans doute du Tchad bien que nous n'ayons pas encore d'information précise à ce sujet.

Une telle sécheresse commence à produire des effets véritablement catastrophiques et les gouvernements des états intéressés se posent un certain nombre de questions concernant le présent et l'avenir. D'après ce que nous avons pu comprendre, 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 et si pour cela des études complémentaires sont nécessaires.

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.

1. 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 ainsi 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 variation globale du bilan, se traduisant par une variation globale du climat, ne pourrait être obtenue que par une variation de l'énergie

24 DEC 1980

Il convient maintenant de distinguer entre les variations climatiques rapides ou relativement rapides, telles que sont les variations saisonnières et d'autres variations cycliques si elles existent, et les variations à long terme. En effet, les variations saisonnières, par exemple, 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.

Une variation à long terme, par exemple vers un climat plus sec, pourrait s'expliquer par 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 est certaine; il est bien évident que le soleil ne peut pas rayonner indéfiniment la même quantité d'énergie. Toutefois, il ne peut s'agir 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 s'il ne peut pas se produire des variations plus rapides autour de cette valeur moyenne de l'énergie solaire. Si de telles variations étaient périodiques, elles pourraient effectivement expliquer des variations périodiques de la pluviométrie autres que les variations saisonnières. Dans l'état actuel des observations, 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 peut-être être alors 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. Nous pensons que tout le monde s'accordera à penser 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 lui seraient infiniment plus sensibles. De toutes façons, l'état actuel des connaissances ne permet, une fois de plus, de tirer aucune conclusion.

On peut ensuite examiner l'influence de la surface du sol lui-même. On n'insistera pas sur les rapports de surface entre mers et 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). Il est certain par exemple que, si on remplace une terre couverte de végétation par du sable clair, l'énergie captée par le sol sera beaucoup moins importante. Mais ceci ne peut avoir 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 peuvent avoir lieu sur terre, quoique dans des proportions encore relativement faibles: elles ne touchent pas les océans,

Mais aller s'imaginer qu'en plantant des arbres dans le désert, on provoquera une amélioration des précipitations, est totalement faux, outre le fait qu'on ne voit pas très bien comment les arbres en question pourraient pousser en dehors d'une microculture 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 le voisinage immédiat, mais cette influence est très réduite surtout en zone aride; c'est ainsi que le lac Tchad, qui présente pourtant un plan d'eau relativement important, ne fait guère sentir son influence, 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 qui lui est nécessaire dans les différentes sortes d'énergie contenues dans les masses d'air elles-mêmes, et son eau des océans; toutes les modifications apportées au niveau du sol ne peuvent qu'avoir une influence extrêmement marginale par rapport aux autres facteurs.

2. 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 d'appareils nommés pluviomètres. Les pluies, ou précipitations, sont exprimées en hauteur d'eau (mm et dixième de mm). Toutes les hauteurs de pluies observées dans une année à une station sont totalisées pour donner ce qu'on appelle la pluie annuelle; c'est sur l'ensemble des séries de pluies annuelles observées aux différentes stations d'une région, 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 différence 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 pé-

- 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 ce qu'on appelle une loi de distribution statistique. Ajoutons que cette loi de distribution statistique peut être ou non constante dans le temps.

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.

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 qui sont utilisées pour la recherche de la périodicité peuvent se grouper sous trois rubriques différentes:

- 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 ensuite de la deuxième à la $t + 1$ ème année etc... On espère ainsi régulariser (on dit lisser) les variations dues à la composante aléatoire de façon à mettre en évidence ce qui revient à la part de variation périodique.

- L'analyse harmonique, dont il est ici hors de propos d'expliquer le principe, 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.

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. Les gens qui appliquent cette méthode le font généralement avec une idée préconçue, par exemple rechercher si les taches solaires ont une influence sur la variation des pluies; ils font alors une moyenne mobile avec un temps de base de onze ans, qui est à peu près la période du cycle de Brückner, et naturellement ils retrouvent la période en question puisqu'elle est fabriquée par la méthode employée. 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. On peut également assimiler à ce phénomène les variations cycliques qu'on observe sur les grands lacs dont la durée de renouvellement est de plusieurs années et dont les opérations de stockage et de déstockage, si elles sont effectuées à l'échelle interannuelle, peuvent simuler un effet semblable à celui de la moyenne mobile, sans qu'il y ait pour autant la moindre composante cyclique dans les variations du climat lui-même.

L'analyse harmonique est en réalité un instrument mathématique qui permet de calculer les termes de la composante cyclique lorsqu'on connaît déjà la période de l'harmonique principal. S'il n'existe pas de variation cyclique, mais qu'on choisisse soi-même une période et qu'on applique ensuite l'analyse harmonique, celle-ci calculera la valeur correspondante qui n'aura absolument aucune signification physique. Si donc il est parfaitement légitime de l'utiliser pour obtenir une représentation commode d'une série chronologique donnée, afin de traiter certains problèmes, elle ne peut en aucun cas prouver que la périodicité choisie a une signification quelconque.

L'analyse spectrale est finalement la seule méthode qui convient pour essayer de mettre en évidence les différentes périodicités qu'on peut observer dans une série chronologique. Malheureusement, pour obtenir des valeurs significatives de ce test, il faudrait opérer sur des séries très longues, représentant au moins vingt fois l'existence du cycle supposé. Aussi bien en hydrologie qu'en climatologie on ne dispose jamais de telles séries.

En conclusion, si on excepte le cycle évident que constituent les variations saisonnières, cycle dont le mécanisme physique est parfaitement connu, et dont la recherche ne présente par conséquent aucun intérêt, il est actuellement parfaitement 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.

3. Examen objectif tout-à-fait provisoire de la sécheresse actuelle

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

L'examen que nous avons fait est extrêmement sommaire et incomplet, car nous ne disposons encore que de très peu de données pluviométriques sur les années 1971 et 1972; d'autre part, les très longues séries actuellement à notre disposition sont très rares; il en résulte que nos conclusions ne sauraient être que tout-à-fait provisoires.

La plus longue série que nous ayons pu examiner se rapporte à la station de Ouagadougou-mission. Les relevés disponibles s'étendent de 1902 à 1972 inclus. Ils font apparaître que la période la plus sèche observée est de très loin la période de 1910 à 1916. Vient ensuite la période de 1944 à 1948. La dernière décennie (1962-1972) est à peu près normale, plutôt plus forte que la moyenne, et si l'année 1971 est plutôt faible, mais sans excès, avec 717 mm, par contre l'année 1972 est nettement forte. On trouve des résultats assez voisins à la station de Niamey Ville (1905-1970) en ce qui concerne la période très sèche de 1910 à 1916 (et même 1917 pour cette station), la période également sèche de 1944 à 1949. Quant à la dernière décennie (1962 à 1970 seulement), elle est plutôt supérieure à la moyenne malgré la sécheresse assez prononcée de l'année 1968; 1970 est également plutôt faible (540 mm). On trouve une situation analogue à Zinder où toutefois la dernière décennie comporte un nombre plus important d'années faibles et notamment de 1967 à 1970 sans toutefois que cette série n'ait quelque chose de comparable avec la série 1910-1915 qui reste un record absolu.

En Mauritanie où la sécheresse semble avoir véritablement été la plus dure, on ne dispose malheureusement pas, tout au moins actuellement de très longues séries, puisque les relevés les plus anciens remontent à 1918, si bien qu'on ne peut rien dire de la période 1910-1915. Par contre, pour toutes les stations nous possédons les relevés des dernières années et là, effectivement, les années 1971 et 1972 sont partout extrêmement faibles et constituent dans la plupart des cas les records de sécheresse jamais observés depuis 1920. Le phénomène est surtout marquant dans l'ouest de la Mauritanie (Boghé, Kaédi). Pour 1972, on retrouve cette sécheresse intense assez au sud dans le Sénégal (Kaolack, Fatick). Dans le milieu et l'est de la Mauritanie, le phénomène est encore très marqué mais les années 1971 et 1972 se démarquent moins de ce qu'on peut observer de 1920. A Kiffa, par exemple, si 1972 enregistre bien le plus bas chiffre observé (119 mm), les années 1941 et 1942 n'étaient guère mieux logées avec respectivement 156 et 157 mm. Quant à l'ensemble des années 1971 et 1972, elles constituent un doublé guère plus sévère que les années 1941-1942.

Si on s'éloigne encore davantage dans l'est, les dernières années sont certes faibles mais ne constituent plus du tout un record de sécheresse, même si on considère les relevés disponibles depuis 1920. A Nema par exemple, l'année la plus faible est 1926 avec 167 mm alors que la plus faible des dernières années (1970) a eu 202 mm. Les années 1971 (238 mm) et 1972 (250 mm) sont tout juste en dessous de la moyenne. On retrouve un phénomène analogue plus au sud avec une pluviométrie plus importante. A Kidira, au Sénégal, les années 1971 (environ 540 mm) et 1972 (environ 550 mm) sont nettement plus fortes que le doublé 1926 (482 mm) et 1927 (481 mm). Signalons enfin la grande sécheresse assez générale dans cette région de l'année 1968 qui, en moyenne, n'a guère été suivie par une année particulièrement sévère.

On trouve des résultats analogues au Niger. A la station de Niamey Ville (moyenne d'environ 600 mm), la dernière décennie est plutôt supérieure à la moyenne, mais on retrouve la sécheresse de 1968, (447 mm) et les années 1971 et 1972 sont effectivement très sèches (370 et 412 mm) mais moins que certaines années de la période 1910-1915: 290 mm en

inférieur à la normale. Il en est de même pour le nord du Tchad.

Les grands fleuves tropicaux, Niger supérieur à Koulikoro, Niger moyen à Niamey, Chari à Fort-Lamy, accusent tous une hydraulicité extrêmement faible en 1972, comparable à celle de la période 1910-1915. Sa fréquence serait d'ordre cinquantenaire. Le lac Tchad a atteint son niveau le plus bas connu. Ajoutons que la sécheresse rigoureuse de 1972 dans les régions sahéliennes et tropicales a une extension mondiale, comme c'est souvent le cas des phénomènes climatologiques extrêmes. Elle a touché notamment le nord du Brésil et le centre de l'Inde; si l'Indochine a été épargnée, c'est grâce à des pluies cycloniques qui ont relevé les totaux annuels.

Il serait évidemment nécessaire de faire une étude plus poussée que l'aperçu sommaire qui précède, et surtout s'appuyant sur des données plus complètes. Nous nous proposons de faire venir très rapidement les pluviométries de 1971 et de 1972 pour toute la bande sahélienne et tropicale, et de rechercher dans les vieilles publications les relevés les plus anciens dont on a presque toujours perdu les originaux. Nous proposons également d'examiner avec plus de détail le comportement des grands fleuves tropicaux notamment du Sénégal, du Niger supérieur et du Niger moyen, du Logone et du Chari.

4. Conséquences de la sécheresse et remèdes éventuels

Bien entendu, toute sécheresse a des conséquences économiques immédiates, surtout dans le domaine de l'agriculture et dans celui de l'élevage (dans les zones semi-arides, il n'est guère question d'hydro-électricité). Le mode d'action des pluies sur les cultures et sur les pâturages est différent. Pour un pâturage, il suffit d'assurer la germination et la pousse de l'herbe; il importe peu que toutes les graines arrivent à se former et à mûrir: donc des pluies de début de saison, si elles sont suffisamment abondantes, peuvent être satisfaisantes même si elles ne sont pas suivies d'autres précipitations. Ces mêmes pluies ne permettraient pas de mener une moisson à terme. Ceci pour dire que la distribution des pluies dans l'année peut avoir une très grande importance

En ce qui concerne l'agriculture, le problème pourrait en principe être assez facilement résolu, tout au moins en ce qui concerne les céréales, par une politique de stockage appropriée doublée au besoin d'une politique d'échange à l'échelle du continent ou même du globe. Pour les troupeaux, le problème est beaucoup plus difficile à résoudre. Si les bêtes peuvent tenir le coup un certain temps, elles finissent tout de même par crever. La seule solution au moins partielle qui pourrait être envi-

- la seule solution consiste donc, pour l'agriculture à créer ou améliorer les stockages locaux de denrées, et à organiser les échanges inter-zones climatiques; pour l'élevage, à modifier le mode d'exploitation des troupeaux.

Pour améliorer la connaissance du phénomène on peut conseiller:

- de rassembler et critiquer toutes les données pluviométriques et