

## COMPARAISON PHYSIQUE ET ÉCOLOGIQUE DES SÈCHERESSES

### Rapport de synthèse

Jacques CLAUDE  
ORSTOM

Se livrer à une comparaison physique et écologique des sécheresses au Sahel Africain et au Nordeste Brésilien au cours d'une séance d'une journée tient lieu de la gageure ; en effet, le mot sécheresse, s'il a l'avantage d'être générique et compris par tous, a par ailleurs l'inconvénient d'englober une quantité de faits, allant des causes aux effets sans pouvoir facilement discerner leurs limites et leurs interactions, de s'étendre à des domaines géographiques immenses et à des champs scientifiques très variés où se retrouvent de nombreux spécialistes pour lesquels les mêmes mots n'ont pas toujours la même signification.

Cette étendue et cette diversité des sujets abordés correspondent à l'ampleur des problèmes posés par la sécheresse et, loin d'être un handicap, elles constituent un gage de la richesse des échanges rendus possibles par la tenue de ce Colloque, mais elles imposent également de structurer et d'orienter quelque peu au préalable la présentation résumée des vingt communications constituant la base des travaux de la commission et les discussions auxquelles elles ont donné lieu.

C'est ce qu'a tenté de faire le rapporteur tout en étant bien conscient des imperfections et des risques de réduction et de simplifications extrêmes de sa démarche, aggravées par la contrainte de ne pouvoir reproduire in extenso toutes les communications.

La structure de cet exposé s'appuie sur la démarche la plus commune du scientifique face aux phénomènes

naturels qui consiste à observer, décrire et comprendre ces phénomènes pour ensuite les expliquer, tenter d'en saisir les évolutions et les conséquences pour pouvoir, lorsque cela est possible, les maîtriser ou s'y adapter en mobilisant les moyens *ad hoc*.

Nous avons donc distingué trois groupes de communications, de façon peut-être artificielle et qui nécessiterait des retours en arrière ou des chevauchements, qui correspondent pour l'essentiel à chacune des étapes de cette démarche. Ces trois groupes sont :

1. Description - caractérisation et compréhension des phénomènes liés à la sécheresse
2. Comparaisons, évolutions et conséquences des sécheresses
3. Prédicibilité à court ou moyen terme des sécheresses - possibilités d'adaptation.

On s'expliquera aisément que ces trois groupes soient d'inégale importance et qu'au sein du premier groupe, qui constitue plus de la moitié des communications, celles concernant le Sahel africain soient les plus nombreuses. En effet, c'est en Afrique que beaucoup de chercheurs ont été mobilisés depuis le début de la « grande sécheresse » (1971-1974) et bien peu ont eu l'occasion de travailler à l'échelle de plusieurs continents et de faire personnellement des comparaisons de part et d'autres de l'Atlantique.

Par ailleurs, l'ensemble des faits observés ne sont mesurés de façon scientifiquement interprétable que depuis peu de temps (en particulier les

séries pluviométriques supérieures au siècle sont très rares) ; il est donc compréhensible que les résultats de ces interprétations ne permettent pas à l'heure actuelle de formuler une explication théorique unique et indiscutable qui serait le fondement de prévisions fiables. Bien au contraire, les questions soulevées au fur et à mesure qu'augmentent l'état des connaissances et les moyens d'investigation incitent à la plus grande prudence et expliquent aussi bien l'état « balbutiant » des recherches dans le domaine de la prédictibilité que le consensus constaté entre chercheurs et utilisateurs potentiels pour renforcer les programmes dans ce domaine où les espérances de résultats exploitables sont à la mesure de l'urgence des besoins.

Ne perdons pas de vue non plus que les trois étapes schématiques de la démarche adoptée sont itératives et se font par approximations successives, c'est-à-dire que chacune s'appuie sur les résultats de la précédente mais peut souvent en modifier les conclusions ou interprétations ; les collaborations interdisciplinaires sont apparues ici plus que jamais nécessaires.

### 1 — Description, caractérisation et compréhension des phénomènes liés à la sécheresse.

Les mécanismes de la circulation atmosphérique qui régissent les régimes pluviométriques des régions qui nous intéressent sont assez bien connus et paraissent a priori simples : un flux d'air humide, alimenté par les alizés océaniques, pénètre plus ou moins profondément sur le continent, repoussant vers l'intérieur et en altitude les masses d'air sec et chaud continentales, les échanges convectifs entre ces masses d'air créent les conditions de déclenchement des précipitations (mécanismes de WALKER).

Si la machine thermique que cons-

titue le globe avec ses océans et l'atmosphère qui l'entoure fonctionnait régulièrement, on observerait une certaine régularité des climats et le problème de la sécheresse ne se poserait pas. Or la sécheresse, dont la manifestation première est un déficit pluviométrique anormal, est due précisément à des anomalies ou perturbations aléatoires du fonctionnement de ce système. Les causes de ces perturbations apparaissent nombreuses et avec des degrés d'influence variables sur les précipitations, ce qui leur confère leur caractère aléatoire et pose bien là le problème de la recherche des explications.

B. FONTAINE, qui décrit le dynamisme atmosphérique ouest africain, énonce une série de sept phénomènes au moins auxquels on peut associer les saisons des pluies déficitaires et il établit des relations corrélatives entre la pluviométrie sahéenne (ou plutôt des indices pluviométriques) et les flux dominants de l'ouest africain. Le flux d'Est généralisé en altitude, décomposable en deux axes de vent fort (JTE et JEA) joue un rôle important dans l'entretien des lignes de grains.

L. DORIZE, commentant le fonctionnement du JEA qui s'épanouit en une sorte de delta à l'ouest du degré 0 de longitude explique : « Du point de vue dynamique cet épanouissement concrétise au Sud du courant une courbure « cyclonique » du flux qui engendre l'ascendance de l'air et par suite le renforcement de l'instabilité aérologique propice à des précipitations plus copieuses. Au contraire, au Nord du courant, le flux adopte une courbure anticyclonique qui détermine la subsidence de l'air, sa compression et son inaptitude à déclencher des pluies importantes. Cela explique peut-être le resserrement important des isohyètes sur l'Afrique occidentale aux alentours du 14<sup>e</sup> parallèle ».

Les indicateurs observables de ces

mouvements de masse d'air sont des instruments précieux d'analyse ; parmi ceux-ci L. DORIZE s'attache à la description du Front Intertropical (FIT) et examine les causes de sa mobilité. L'étude de la dynamique du FIT l'amène à constater que « la seule présence de l'air humide de mousson ne suffit pas pour qu'il pleuve », à définir six conditions supplémentaires qui doivent être réunies pour provoquer des précipitations et à conclure : « le sort du FIT semble dépendre d'un jeu complexe d'influences lointaines (où la part australe est déterminante dans la mousson estivale) et qui parviennent par un système de relais, à manifester leurs effets jusqu'aux confins du Sahel ».

Un autre indicateur important des mouvements de masse d'air et des liaisons lointaines de causes à effets est la position de la Zone Intertropicale de convergence (ZITC), facilement observable par les moyens satellitaires parce qu'elle provoque des amas nuageux importants concrétisant les effets de l'influence antagoniste des centres d'action anticyclonique de Sainte Hélène et des Açores. B. GUILLOT, J.P. LAHUEC, J. CITEAU et B. BELLEC décrivent les recherches menées dans le cadre du programme « veille climatique satellitaire » qui permet de suivre les déplacements de la ZITC en parallèle avec des paramètres physiques qui leur sont plus ou moins liés, en particulier : les anomalies de températures de surface de la mer (SST) dans l'Atlantique intertropical, la répartition et la fréquence d'apparition des amas convectifs, les températures radiatives et les discontinuités thermiques. Des téléconnexions entre ces paramètres permettent d'expliquer une partie des variations interannuelles de pluviométrie. Les températures de surface de la mer (SST) sont également un indicateur important des circulations océaniques et sont suivies par de nom-

breuses équipes de chercheurs océanographes tant physiciens que biologistes.

P. HISARD qui rend compte des campagnes FOCAL 1983 et 84, montre que les changements brutaux des conditions de circulation atmosphériques et océaniques observées lors de l'hiver 1983-84 ont précédé les fortes pluies enregistrées dès mars 1984 au NE du Brésil puis sur le pourtour du Golfe de Guinée, tandis que la sécheresse persistait au Sahel.

Des échanges de vue qui ont porté sur ces communications, il ressort qu'effectivement de nombreuses téléconnexions peuvent être établies entre les phénomènes observés à la surface des océans et dans l'atmosphère et leurs anomalies qui influent sur les régimes pluviométriques. Le gros problème est que chacune de ces téléconnexions n'explique qu'une partie de la variance de la pluviométrie et que ces relations ne sont pas stables à l'échelle interannuelle : plusieurs schémas peuvent être élaborés pour un même enchaînement de phénomènes. De plus, si l'extension de la sécheresse en Afrique est très vaste, il convient de nuancer ses manifestations : l'histoire de la récente sécheresse conduit à différencier l'extrême Ouest (Sénégal) et l'extrême Est africain de la vaste zone allant du Mali au Soudan à laquelle devrait s'appliquer le terme de Sahel. Un zonage longitudinal doit donc compléter l'habituel zonage latitudinal des régimes pluviométriques (intervention de A. DOUGUEDROIT - Université d'Aix Marseille). Il ressort en définitive que cette voie de recherche, relativement récente et extrêmement prometteuse est appelée à se développer rapidement avec l'utilisation de nouveaux moyens d'observations (satellites, stations automatiques, télétransmission) mis en œuvre en particulier par des océanographes, météorologues et hydrologues. Un véritable consensus se dégage pour favoriser une meilleure

collaboration de ces spécialistes avec leurs collègues travaillant « à ras de terre », hydrologues, géographes, botanistes, agronomes... collaboration qui doit commencer par l'établissement de fichiers d'observations communs et de méthodes de traitement de ces données.

Vouloir caractériser la sécheresse, à partir des observations de terrain, nécessite de choisir des critères permettant de quantifier, pour comparer, le « manque d'eau » qui globalement définit l'état de sécheresse.

Ces critères sont fonction de l'utilisation que l'on en fera, et doivent y être adaptés. Ainsi tous les travaux dont nous disposons ici commencent par définir des outils d'interprétation des données observées, et dans ce domaine, on ne peut se contenter d'une approche globale de la sécheresse. J. SIRCOULON commence à sérier les questions en parlant de sécheresse climatique, hydrologique ou agronomique. Les communications de CHAMARD, TOUPET, MOLINIER et al., XAVIER et XAVIER, OLIVRY nous amènent également à considérer une sécheresse écologique et socio-économique.

La pluviométrie reste quand même le facteur primordial et le plus facilement accessible pour caractériser la sécheresse. De la présentation de ces communications et des discussions qui les ont suivies, on dégagera les constats suivants :

— le total pluviométrique annuel est l'observation chiffrée la plus facile à manier ; il permet de calculer des indices ou vecteurs à valeur régionale, mais il est beaucoup trop global et ne peut rendre compte de la variabilité des ressources en eau et de leur disponibilité.

— la notion de moyenne et d'écarts à la normale perd beaucoup de sa signification lorsque les séries d'observations sont courtes, dissymétriques et chevau-

chent des périodes nettement différenciées par leur abondance ou leur déficit.

— la référence à la médiane et l'utilisation d'indices ou vecteurs basés sur des valeurs modales et les percentiles permettent une caractérisation plus nuancées et pertinente des périodes de sécheresse, surtout au pas de temps mensuel.

— la répartition spatiale et temporelle de la pluie est tout aussi importante que le total annuel pour caractériser la sécheresse et ses effets. Il est capital de pouvoir travailler sur les pluies journalières et de prendre en compte la précocité de la saison des pluies (C. TOUPET), la répartition des séries de jours secs ou pluvieux à l'intérieur de la saison des pluies et la structure même des averses (en particulier la structure des lignes de grain et l'importance de l'évapotranspiration dans la réalimentation du flux de mousson ; ce dernier point, étant assez controversé, nécessite des études plus détaillées que celles dont nous disposons).

Pour le Sahel, un accord général se dégage sur les caractères particuliers de la présente sécheresse remarquable par sa persistance (environ 18 ans) et par son extension géographique (du Sénégal à l'Éthiopie, même si des zonages latitudinaux et longitudinaux doivent nuancer cette extension). Rien à l'heure actuelle ne permet d'expliquer ces caractères par une évolution cyclique ou à long terme du climat dont les modèles d'analyses statistiques actuellement utilisés basés sur des séries trop courtes ne peuvent rendre compte (en particulier l'emploi des moyennes mobiles).

HUBERT et CARBONNEL mettent en évidence, par deux tests statistiques, une cassure dans les séries pluviométriques d'Afrique de l'Ouest qui marque le début de la sécheresse et les conduit à s'interroger sur l'éventualité d'une modification climatique accidentelle,

d'autant plus que cette cassure correspond à une diminution marquée des pluies journalières supérieures à 40 mm (dues en général au passage des lignes de grains) et qui expliquent l'essentiel de la variabilité pluviométrique annuelle. La question reste donc posée de savoir si un retour à la « normale » sera le résultat d'une autre modification accidentelle en sens inverse. Cette constatation justifie la recherche des explications dans le dysfonctionnement de la circulation atmosphérique et océanique dont nous avons parlé.

Sur le plan méthodologique, la non-stationnarité des séries pluviométriques amène à reconsidérer l'arsenal mathématique habituellement utilisé et à recommander la mise au point de nouveaux outils statistiques spécifiques de ces séries (modèles auto-régressifs par exemple).

Cette singularité de l'actuelle sécheresse au Sahel est confirmée par l'analyse historique à laquelle se livrent TOUPET, SIRCOULON et OLIVRY, chacun avec une approche différente.

Des années de vaches maigres sont mentionnées par beaucoup de sources historiques, accompagnées de famines, de repli des populations paysannes vers le Sud, causées par l'affaiblissement des pluies et des débits, mais l'absence de chiffres rend les comparaisons hasardeuses même si des régressions du Lac Tchad semblables à celle d'aujourd'hui permettent d'induire qu'une sécheresse aussi longue et étendue a pu se produire plusieurs fois dans les deux derniers millénaires.

Les seules comparaisons chiffrées établies pour les périodes sèches de 1910-1916 et de 1940-1944 sur les pluies, les écoulements des fleuves, les productions agricoles ou pastorales ne permettent pas de conclure à une modification radicale du climat et de ses mécanismes, mais démontrent encore le caractère particulièrement extensif de la période actuelle. TOUPET con-

clut à une aridification du climat sahélien, alors que SIRCOULON attire l'attention sur le fait que l'amélioration de la pluviométrie généralement constatée en 1985 ne s'est pas traduite par un retour à un niveau correct des débits des grands fleuves. Les relations qu'établit OLIVRY entre une classification qualitative des années « sèches » ou « humides » d'après des sources historiques et les classements fréquentiels des données pluviométriques et hydro-métriques illustrent une méthode intéressante d'extension des séries climatiques et permettent également de conclure à la diminution de la ressource en eau depuis la moitié du 19<sup>ème</sup> siècle.

Les mêmes méthodologies sont applicables aux périodes de sécheresse observées au Nordeste Brésilien (MOLINIER et al. XAVIER et XAVIER), mais la variabilité et l'hétérogénéité régionale de la pluviométrie rendent les interprétations moins évidentes. Si la période 1979-83 a été largement déficitaire, de façon non uniforme sur l'ensemble du Nordeste intérieur ce n'est pas la plus dure connue depuis le début du siècle ; c'est beaucoup plus la mauvaise répartition des pluies, non concordante avec les besoins des cultures, qui a provoqué des désastres sur le plan agricole, désastres d'autant plus graves que la population du Nordeste avait augmenté. Au Nordeste plus qu'ailleurs l'étude des variations saisonnières et des hétérogénéités spatiales doit être recommandée.

Si nous parlons tant de la pluie, c'est bien évidemment parce que son déficit est le facteur premier du manque d'eau dont dépendent tous les autres phénomènes observables par lesquels se manifeste la sécheresse.

Il ne faut certes pas négliger la quantification de ces autres indicateurs, mais il faut remarquer que ces phénomènes intègrent très souvent la cause et les conséquences, ce qui oblige dans

les interprétations à faire la part de l'une et des autres (en prenant garde par exemple aux auto-corrélations) et à utiliser ces indicateurs dans le but précis pour lequel ils ont été forgés. Ainsi :

— les débits des grands fleuves intègrent des variations spatiales de la pluviométrie sur de grandes surfaces ainsi que la mémoire des années sèches précédentes (abaissement des nappes).

— les stocks hydriques des sols et leurs variations sont directement liés à la pluie, mais aussi aux caractéristiques édaphiques et morphologiques de ces sols, à leur état de surface, à leur mode d'exploitation et à leur « mémoire » ou « cicatrices ». La sécheresse édaphique doit être nettement différenciée de la sécheresse climatique.

— l'état de la végétation, caractérisée par un taux de recouvrement ou une densité de population et une production de biomasse, dépend étroitement de la répartition de la pluie dans le temps, mais aussi de l'état des sols et de leur bilan hydrique, du stock de graines disponibles, de leur pouvoir de germination, de la résistance des espèces au stress hydrique et surtout de l'action de l'homme.

— la production agricole, mesurée en terme de rendement des cultures, intègre un nombre de paramètres encore plus grand où la part de l'homme est prépondérante. C'est plus une mesure des effets de la sécheresse qu'un véritable indicateur.

Ces indicateurs vont nous permettre d'établir d'autres comparaisons entre les situations du Sahel et du Nordeste.

## II — Comparaison, évolution et conséquences des sécheresses

Il est impossible dans la nature d'établir des comparaisons en dehors de tout contexte, l'hypothèse « toutes choses égales par ailleurs » du physicien

n'existe pas pour nous. Aussi, pour établir des comparaisons entre le Sahel et le Nordeste, il importe d'abord de saisir les différences fondamentales qui opposent ces deux grandes régions ; ce que fait le Pr. TRICART, président de séance :

« Ayant travaillé depuis 1953 au Sahel et depuis 1956 au Nordeste, je voudrais souligner les différences considérables qu'offrent ces deux régions.

Au point de vue *géologique*, le Nordeste est constitué par le bouclier brésilien, région de socle précambrien où dominent les roches granitoïdes et gneissiques. Depuis plus d'un milliard d'années une tendance au soulèvement le caractérise. Elle a fait prédominer l'ablation. Peu d'altérites anciennes ont été conservées. Les formations de couverture sédimentaire affleurent essentiellement sur les marges (Piauí) et dans des fossés tectoniques, parfois dans les cuvettes synclinales. Le réseau hydrographique est centrifuge et, par conséquent, exoréique. Les petits cours d'eau dominant. Un seul fleuve allogène : le Rio São Francisco. La fréquence des affleurements rocheux combinée à la faiblesse des pentes favorise une migration lente des solutions. La sécheresse entrave le lessivage. Le Nordeste est une région soumise à la salinisation/alcalinisation des terres. C'est pourquoi l'aménagement des retenues, entrepris dès le début du siècle, ne peut donner de résultats valables, sauf exception.

La zone sahéenne de l'Afrique de l'Ouest est bordée au Sud par la Dorsale Guinéenne. Les cours d'eau descendant vers le Golfe de Guinée sont courts. Au contraire, les grands fleuves se dirigent vers le Nord (Sénégal, Niger supérieur). Ils s'écoulent de régions humides vers des régions de plus en plus sèches. Lors de la dernière période sèche, le Sénégal se perdait vers Bakel, le Niger vers le Lac Débo, tous deux dans des champs de dunes. A l'amont,

en zone soudano-guinéenne, le socle a été assez profondément altéré et les formations superficielles, résidus d'altération dont l'histoire est complexe, ne fournissent guère de produits en solution. Il n'y a pas salinisation, ni alcalinisation. Les défluent du Niger apportent dans les lacs, au Mali, de la silice dissoute qu'extraient les Diatomées : des Daouanas, à l'Ouest de Tombouctou, sont un gisement considérable de diatomites. Le socle, affaissé vers le Nord plonge sous des formations de couverture, allant de grès au paléozoïque aux nappes d'alluvions sableuses quaternaires. Des aquifères devenant de plus en plus profonds vers le Nord, débordent largement de la zone sahélienne et sont présents au Sahara (Bassin de Taoudéni). La faible pente, la diminution des débits vers l'aval font que les fleuves issus de la zone saoudienne étalent leurs eaux de crue sur d'immenses plaines alluviales (Niger, Sénégal, Oubangui-Chari) où, traditionnellement, est pratiquée la culture de décrue. Les oscillations climatiques du Quaternaire ont fait que les nappes de sable ont été remaniées en champs de dunes, aujourd'hui fixées. L'eau s'y infiltre et alimente, en zone sahélienne, une végétation de parc (steppe arborée).

Au point de vue *climatique*, les différences sont grandes aussi. La zone sahélienne se caractérise par une forte saisonnalité des précipitations, qui sont toujours dues à la migration vers le Nord de la ZITC. Certes, d'une année à l'autre, les totaux varient, la durée des pluies change, l'abondance des averses et leur espacement dans le temps diffèrent. Ces divers aspects se retrouvent dans la «sécheresse sahélienne». Ils sont généralement d'autant plus accentués que les totaux moyens annuels sont plus faibles. La sécheresse affecte davantage les régions subdésertiques que la zone guinéenne. Elle aboutit à une réactivation des dunes

quaternaires par piétinement des animaux et élimination de la végétation, consommée par les bêtes. Mais les grandes plaines alluviales restent inondées même lors des années sèches. Les cultures de décrue sont moins aléatoires que les cultures pluviales et le pâturage. C'est pourquoi le Mali a décidé de développer la mise en valeur du Delta intérieur du Niger. Les sécheresses ne provoquent ni salinisation ni alcalinisation des terres, mais une dégradation de la végétation et une réactivation des sables éoliens.

Le Nordeste est principalement affecté par la circulation de Walker. Sur ses marges septentrionale, occidentale et atlantique, une certaine saisonnalité des précipitations est réalisée, mais elle est bien moins définie qu'en zone sahélienne. La pluie y devient un phénomène aléatoire. Des stations ayant une pluviométrie moyenne de 500 mm et plus sont affectées plusieurs fois par siècle par des sécheresses dépassant 12 mois, périodes pendant lesquelles aucune précipitation ne se produit. Ce n'est jamais le cas en zone sahélienne. Une étude faite en 1958 sur le Paraguaçu (État de Bahia) m'a montré qu'une crue de n'importe quelle hauteur pouvait se produire n'importe quel mois de l'année et qu'inversement des étiages très bas pouvaient avoir lieu, aussi, n'importe quel mois. Une partie importante du *Polígono das Secas* se caractérise par une absence de régime pluviométrique défini. Voilà qui joue un rôle important pour la salinisation/alcalinisation des terres.

Par contre, la végétation, composée avant tout de cactacées et de ligneux, est caractérisée par une biomasse aérienne plus élevée qu'en zone sahélienne. Touffue et épineuse, son parcours est très difficile : le *vaqueiro* se barde de cuir... Les risques de remise en marche éolienne se limitent à des régions bien particulières, comme les

nappes de sables quaternaires modelées en dunes du coude du Rio São Francisco.»,

Les manifestations de ces différences sont analysées en détail par LE HOUEROU pour les régimes pluviométriques et par LEPRUN qui par l'étude des facteurs de l'érosion souligne des situations très différentes avec parfois des effets semblables.

En dehors de totaux pluviométriques annuels qui sont du même ordre au Sahel et au Nordeste et qui caractérisent des régions arides, LE HOUEROU ne relève aucune similitude dans les régimes pluviométriques, ce qui montre encore que la pluviométrie moyenne annuelle est insuffisante pour rendre compte de régimes irréguliers à grande variabilité.

La variabilité de la pluie au Nordeste est «anarchique dans le temps et dans l'espace» et n'est pas liée à la moyenne annuelle alors qu'au Sahel, et en d'autres régions arides, la variabilité semble plus «organisée dans son irrégularité» : centrage de la saison des pluies sur 3 à 4 mois d'été, corrélation entre taux de variabilité et moyenne interannuelle, coefficients de variation et rapports maxima-minima plus «raisonnables». Notons en passant que les indices utilisés par LE HOUEROU (coefficients de variation, indice percentile de variabilité, taux de fiabilité, par tranches de pluviométrie) s'avèrent tout à fait pertinents pour analyser cette variabilité et différencier les régimes pluviométriques des régions arides.

Ces différences de nature dans la variabilité des pluies apportent une première explication aux différences, analysées par LEPRUN, des phénomènes d'érosion dans les deux régions. En fait, l'érosion combine les effets d'au moins six facteurs qui peuvent être liés entre eux et/ou jouer en sens contraire, ce qui permet à LEPRUN de faire une véritable comparaison écologique des deux régions.

Ainsi l'agressivité des pluies sahéliennes, plus forte que celle du Nordeste, a plus d'impact sur des sols qui, de par leur pédogénèse, sont déjà moins structurés, moins riches en éléments minéraux altérables et moins perméables; de plus une saison sèche prolongée de 8 à 9 mois provoque des encroûtements et des modifications d'états de surface qui favorisent le ruissellement. Par contre, au Nordeste, les pentes plus fortes et souvent cultivées et les eaux plus minéralisées font courir aux sols mal exploités des risques de dégradation bien plus grands.

Les facteurs eau et sol influent directement sur la densité et la composition de la végétation naturelle très différente dans la caatinga et dans la savane ; laquelle végétation a un rôle de protection des sols et de limitation du ruissellement dont l'influence sur l'érosion peut varier de 1 à 1 000 ! mais les eaux, les sols, la végétation n'expliquent pas seuls l'état de dégradation des milieux plus avancé au Sahel qu'au Nordeste : l'action de l'homme et les pratiques culturelles ont un impact énorme sur des conditions écologiques différentes au départ. Si la conclusion de LEPRUN, qui constate que les «milieux naturels ou agricoles du Nordeste du Brésil sont mieux conservés et résistants que ceux fragiles et fortement dégradés du Sahel», peut être prise en défaut par des mesures de pertes en terre du même ordre de grandeur sur certaines parcelles (jusqu'à 35 t/ha/an) c'est uniquement dans les cas de mise en œuvre de pratiques d'exploitation néfastes : labours dans le sens de la pente, cultures sur pentes trop fortes, décapages mécaniques, etc.

Ceci introduit un débat qui a provoqué une longue et parfois vigoureuse discussion : quelle est la part, la responsabilité de l'homme dans les effets néfastes et les conséquences écologiques des sécheresses ?

Il lui faut d'abord évacuer toute



idéologie de ce débat et tordre le cou à des clichés faciles et démoralisateurs du genre de l'avancée du désert de 5 à 20 km par an ou de la déforestation comme cause évidente (sinon première) de la diminution des pluies. Les exemples ponctuels ne doivent pas être généralisés sans précautions et ne doivent pas être sélectionnés en fonction des hypothèses que l'on veut confirmer, car l'on pourra toujours trouver un contre exemple.

En étudiant les variations d'albedo du surface au Sahel, M.F. COUREL rappelle ou établit quelques points essentiels :

— la sécheresse climatique a un effet direct sur la dégradation des milieux en dehors de toute action humaine (morts des ligneux, remobilisation des dunes...).

— les modifications du milieu dues à l'homme peuvent altérer localement des paramètres climatiques tels que l'albedo et l'évapotranspiration, mais sans avoir de répercussion sur la circulation générale de l'atmosphère ; ainsi «la désertification totale des régions sahéliennes entraînerait une variation de l'albedo de 4,3% alors que la validation du modèle de CHARNEY pour expliquer une diminution significative des pluies suppose une variation de plus de 20% de cette valeur».

— les variations d'albedo permettent d'estimer la réponse de la végétation (essentiellement herbacée) aux variations de ressources hydriques et donc principalement à l'aridité édaphique, mais il n'y a pas de rétroaction de l'albedo sur le climat.

De même GROUZIS et al., en prenant l'exemple du BURKINA FASO, montrent que l'incidence de la diminution des ressources en eau sur les productions agricoles peut être pondérée par les conditions de cette production. Le caractère extensif d'une production la rend très dépendante des aléas climatiques ; c'est le cas des céré-

ales cultivées en sec. Alors qu'une production intensive bénéficie d'une relative indépendance face à la contrainte pluviométrique : c'est l'exemple de la production cotonnière (qui peut être discutable car bénéficiant de fort intrants et d'une solide commercialisation) mais également de la production irriguée ou en jardins. La production pastorale, par contre, subit à la fois les risques de la distribution pluviométrique et les effets d'une surexploitation par la surcharge en bétail qui amène les éleveurs à prélever des ressources sur un capital qui n'assure plus son renouvellement (pâturage arboré).

Une autre démonstration de l'action défavorable de l'homme sur un milieu fragile est donnée par ALBERGEL et VALENTIN : sur le petit bassin versant de BOULSA, la sécheresse a conduit à une augmentation des surfaces cultivées après défrichement, ce qui provoque une diminution de la végétation, une augmentation des zones dégradées et des réorganisations pédologiques en surface, facteurs d'une augmentation du ruissellement produisant des crues d'occurrence rare pour des pluies de fréquence moyenne. C'est l'enchaînement du mécanisme de la dégradation aboutissant dans certains cas à une désertification irréversible.

Il ne peut être question de nier l'impact négatif de l'action de l'homme dans cette évolution et notre conclusion est que si l'homme n'est pas responsable de la sécheresse climatique contre laquelle il ne peut malheureusement rien, les nécessités de sa subsistance le conduisent à mettre un facteur exponentiel à fort exposant devant les effets néfastes de cette sécheresse.

On ne peut non plus se limiter à ce constat et observer seulement les milieux naturels entraînés dans la spirale de leur dégradation ; la fin de notre débat s'est voulue plus directement impliquée dans la pratique de la résis-

tance et de l'adaptation aux conséquences de la sécheresse en préconisant de mettre l'accent sur les conditions d'une meilleure utilisation de l'eau disponible par l'intensification, la diversification et si possible la sécurisation par irrigation des productions agricoles grâce à un aménagement scientifiquement raisonné de l'espace rural accompagné de l'étude des conditions socio-économiques de sa mise en œuvre.

Ces recommandations ont constitué une transition vers la troisième partie des travaux dont l'objectif pourrait être de fournir des moyens de pilotage à ces actions de développement adaptées à la sécheresse.

### III - Adaptation à la sécheresse - Prévisions et prédictions

Lutter contre la sécheresse ou vivre avec, est-ce vraiment une alternative ? En dehors des aides d'urgence, les programmes lancés au milieu des années 70, dits de lutte contre la sécheresse, ont souvent connu des échecs parce qu'ils étaient basés sur l'exploitation de ressources naturelles, hydriques en particulier, supposées revenir « bientôt » à un niveau « normal ». Quinze ans d'apprentissage et de recherches conduisent au constat que nous ne pouvons, à l'échelle d'une région ou d'un continent, lutter contre la sécheresse et que les actions entreprises avec de gros moyens n'ont de résultats que très ponctuels et ne se justifient que si ces résultats sont parfaitement ciblés (exemple de la pluie provoquée utile pour remplir un barrage alimentant en eau une ville comme Ouagadougou mais sans effet pour augmenter sensiblement la pluviométrie d'une grande région). Les stratégies que l'on voit actuellement se développer vont plutôt dans le sens d'une adaptation aux conditions imposées par la sécheresse climatique en mettant en place des systèmes de production basés sur plus de

souplesse dans la conduite des spéculations et une diversification des parcelles possibles aux conséquences du manque d'eau (cultures associées ou de contre-saison, petite irrigation de sécurité, agroforesterie villageoise, équilibre variable entre élevage domestique ou semi-nomadisant et agriculture sédentaire).

Pour réussir leur adaptation, ces nouvelles stratégies ont besoin de bases scientifiques pour les élaborer d'abord et les piloter ensuite.

Ces bases sont nécessaires aux auteurs de projet et aménageurs pour prévoir leurs programmes de développement : la sécheresse les amène aujourd'hui à revoir leurs méthodes de calcul et leurs abaques établis sur des données d'avant la sécheresse.

Pour calculer le volume stockable utilisable d'un barrage et les surfaces que l'on pourra irriguer à l'aval, l'intégration aux séries pluviométriques de la période sèche conduit à des révisions en baisse des estimations antérieures ; mais pour calculer l'évacuateur de crues de ce même barrage on aura tout intérêt à prendre en compte l'aggravation des conditions de ruissellement résultant de la sécheresse qui produisent des débits maximums de crues plus forts. C'est sur ce thème de la mise au point de nouvelles normes hydrologiques adaptées à la sécheresse pour la conception des ouvrages que le CIEH organise en mai 86 un colloque.

Dans bien d'autres domaines, de nouvelles normes sont en cours d'élaboration et sont urgemment demandées : charges de bétail admissibles en fonction des ressources végétales, espacement des lignes de plantations, doses d'irrigations et répartition de ces apports, profondeur de surcreusement des puits, etc... Tout ceci constitue une première façon de faire des prévisions adaptées aux effets de la sécheresse.

L'autre volet, tout aussi indispensable à la bonne marche des programmes de développement, est la prévision ou plus exactement la prédiction météorologique.

Cette prédiction peut s'envisager à trois échelles de temps :

longue, c'est-à-dire sur plusieurs années

moyenne, c'est-à-dire de 2 à 6 mois

courte, c'est-à-dire de 2 à 10 jours

*Les prédictions à long terme* sont pour le moment toujours hasardeuses. Pas plus que les économistes ne savent prévoir le cours du dollar ou des matières premières à un ou deux ans, nous ne savons pas prévoir les évolutions climatiques de façon fiable ; tout au plus peut-on élaborer des scénarios en fonction d'hypothèses et vérifier a posteriori la validité des modèles qu'ils permettent d'élaborer. Sans vouloir dénigrer cette démarche scientifique, il nous faut reconnaître qu'elle ne fournit pas de produits applicables par les décideurs.

*Les prédictions à moyen terme* sont actuellement prometteuses et intéressent au plus haut point les projeteurs et décideurs. Quelle sécurité, en effet, apporterait en début de campagne agricole, la prédiction fiable de l'abondance pluviométrique de la saison !

Ces méthodes sont basées sur l'analyse des circulations atmosphérique et océanique et de leurs anomalies dont nous avons déjà parlé : des téléconnexions dans l'espace et dans le temps sont recherchées entre des phénomènes dont les uns peuvent entraîner les mécanismes donnant naissance aux autres.

C'est ainsi que SERVAIN établit des corrélations entre les déplacements de la ZITC et les anomalies de température de surface de l'Atlantique, elles-mêmes reliées, en phase ou avec quelques semaines de décalage, à des variations de pluviométrie en zone subtropicale Nord, variations que l'on retrou-

ve inversées sur le Nordeste. L'année 1984 a été tout à fait exemplaire de l'influence de ces mécanismes. Le programme de la veille climatique satellitaire (GUILLOT et al.) observe les mêmes phénomènes et élabore des fichiers de paramètres physiques qui y sont liés permettant par exemple de corrélérer la position de la ZITC et les anomalies de températures dans le Golfe de Guinée, ou avec les champs thermiques de surface sur le continent Ouest Africain. Une identification des zones océaniques où les SST ont les corrélations les plus fortes avec les variations de pluviométrie au Sahel et au Nordeste est rendue possible par la manipulation de ces fichiers. Inutile de rappeler encore l'apport primordial dans ce travail de l'outil de temps réel. GALLARDO, dans une recherche de prédicteurs des précipitations découlant des mêmes méthodes, pose le problème de fond : il faut trouver des indicateurs permettant de prédire des situations moyennes avec une avance de quelques mois. Il estime qu'un prédicteur est utilisable s'il explique 50 % de la variance de la pluviométrie. D'après ce qui précède, ces prédicteurs doivent être recherchés parmi des paramètres physiques décrivant les fluctuations statistiques des zones de convergence intertropicale et de confluence interocéanique, des centres d'action atmosphérique et des systèmes à « lignes de grains ». Les essais faits sur une série de pluviométrie de 39 années (1941-79) sur le Sahel permettent de prédire le signe de l'anomalie de hauteur des pluies dans 79 % des cas, ce qui est un meilleur résultat que la méthode prenant en compte la persistance des déficits qui, sur la même série, échoue dans 28 % des cas. Mais la méthode doit encore être affinée, le problème essentiel restant qu'un même indicateur a une influence statistique qui explique une partie de la variance, ce qui, pour une année donnée, est tout différent du taux

d'influence réel de cet indicateur sur la pluviométrie. T. XAVIER attire l'attention sur les précautions à prendre en matière de corrélations, en particulier sur l'homogénéité des nuages de points, et sur le fait un coefficient de corrélation élevé n'est pas forcément significatif. La mise au point d'outils statistiques adaptés est aussi nécessaire dans ce domaine et il apparaît, pour le moment, qu'au lieu d'une méthode unique ou miracle, il est préférable de poursuivre la mise au point d'un faisceau convergent de méthodes de prédiction dont on pourrait recouper les résultats.

*Les prédictions à court terme* sont affaire de météorologistes dont nous n'avons pas eu de représentants dans notre commission. On sait faire de bonnes prédictions à 48 h et même en régime de mousson à 5 ou 6 jours sans toutefois pouvoir supputer la hauteur de pluie qu'amènera une dépression ou une ligne de grains.

L'utilisation de ces prédictions est déjà assez répandue et l'on a souligné le rôle que peuvent jouer des organisations régionales ou internationales comme AGRHYMET ou ASECNA dans la mise en place de systèmes d'avertissement ou de collecte de données agrométéorologiques en temps réel.

Il est capital que les organismes de développement, les gestionnaires et les producteurs puissent disposer d'outils leur permettant l'accès aux informations et aux données d'aide à la décision. Ces outils sont principalement de bons réseaux d'observation sur le terrain, or on sait que la situation se dégrade, et des moyens d'acquisition et de traitement d'images satellitaires provenant de sources adaptées aux buts poursuivis. Le niveau des investissements nécessaires et l'étendue des régions intéressées incitent à des actions concertées, à des coordinations inter-Etats et des coopérations Nord-Sud renforcées. De grands programmes à buts multiples ont pu voir le jour dans le domaine océanographique (FOCAL, TOGA, etc...) dont les retombées nous parviennent maintenant ; sur terre les tentatives de ce genre sont encore trop timides.

La sécheresse suscite de nombreuses remises en question des acquis scientifiques, en même temps qu'elle provoque des besoins nouveaux et des demandes de la part des aménageurs qui tentent de s'adapter aux conditions que le ciel leur impose. Toute notre communauté scientifique se doit de chercher des réponses à ces questions en produisant des résultats applicables.