
● Evolution des climats et des ressources en eau

Jacques Sircoulon*

L'eau, c'est la vie ... Lorsqu'au Sahel après plusieurs mois de saison sèche les pluies tant attendues reviennent (« le généreux sourire des dieux »), la nature renaît, les rivières se remettent à couler, les barrages se remplissent ...

Mais l'abondance des pluies et leur répartition peut varier considérablement d'une année à l'autre apportant bienfaits ou désastres :

— Si les « dieux » sont parcimonieux, sécheresse et pénurie s'installent et certaines années dramatiques gardent pour les populations une dénomination significative, ainsi l'année 1913 (1) fut l'année des calamités (*tasbane* en peul), de la grande famine (grande *Beri* en songhai), de la multiplication des rongeurs (*ikotayan* en tamachek).

— Si les « dieux » sont dispendieux, si les « vannes du ciel » s'ouvrent trop en grand, les fleuves débordent, les habitations emportées, l'érosion emporte les terres fertiles au loin, les cultures sont noyées ...

— L'eau, ce peut être aussi la maladie lorsque sa qualité s'altère, voire la mort lorsque cet élément accueille larves d'insectes ou crustacés qui vont transmettre tant de maladies tropicales telles que paludisme, onchocercose, bilharziose ...

Et pourtant l'eau est au même titre que l'air un bien irremplaçable et ceci explique, en Afrique comme ailleurs, le caractère mythique ou sacré qui s'attachait à cet élément, au cycle de l'eau et au temps qu'il fait en général. Ainsi, au Bénin (2), la divinité Xevieso (Shango des Yorubas au Nigeria) réglait le temps, donnait la pluie, causait à volonté sécheresse ou inondation ; chacun de ses fils participant à sa manière : Akele évaporait l'eau de mer, Aden donnait les averses ...

Entre l'homme, la nature et l'expression mythologique du temps, porteur ou non de pluie « nourricière », les relations restent encore complexes parce que nous ne savons toujours pas si la prochaine saison des pluies sera abondante ou pas ... S'il est clair pour tous que le climat

**Afrique
contemporaine**
N° 161 (spécial)
1^{er} trimestre 1992

L'environnement
en Afrique

57

* Hydrologue, ORSTOM.

(1) Sircoulon (J.). — Les données hydropluviométriques de la sécheresse récente en Afrique intertropicale. Comparaisons avec les sécheresses « 1913 » et « 1940 ». — *Cah. ORSTOM*; Sér. Hydrol., vol. XIII, n° 2, p. 75-174, 1976.

(2) Bokonon-Ganta (E.). — Saisons sèches et sécheresse dans la région du golfe du Bénin. Aspects météorologiques des sécheresses tropicales. — *WMO/TD*, n° 353, p. 35-42, 1990.

(moyenne des conditions atmosphériques prévalant dans une région) et ressources en eau sont intimement liés, l'appréciation du climat et de l'importance de la ressource ne sont pas toujours évidentes comme nous le verrons plus loin. Par ailleurs, le simple cadre de l'Afrique de l'Ouest et centrale connaît une grande diversité de couples climat-ressources, depuis les zones les plus désertiques où précipitations et écoulement ont un caractère exceptionnel aux zones très arrosées proches de l'équateur, à l'écoulement permanent tout au long de l'année.

Le climat imprime ainsi fortement son empreinte sur l'environnement et sur les sociétés humaines. Ses fluctuations ont joué un rôle déterminant dans le développement ou la régression des civilisations africaines. L'apogée des empires du Mali, du Burkina, d'Ethiopie au ^{xiv}^e siècle coïncide avec une phase humide, alors que les périodes sèches entraînent famine, troubles, déplacements de populations. Mais si à l'échelle d'une vie humaine les composantes du climat ont longtemps parues relativement stables, justifiant de calculer les aménagements hydrauliques suivant des « normes » propres à chaque région, l'augmentation de la variabilité climatique de cette fin du ^{xx}^e siècle (et la meilleure connaissance des climats du passé) ébranle les certitudes acquises ...

Les vingt dernières années ont été marquées dans de nombreux pays africains par un déficit pluviométrique systématique dont les effets ne sont hélas que trop connus. Certes les aléas climatiques n'affectent pas que les zones intertropicales puisque les années 1989 et 1990 ont montré que la sécheresse pouvait toucher des pays tempérés, comme la France, perturbant sérieusement la distribution de l'eau et rendant nécessaire une gestion plus rigoureuse des ressources. Toutefois cette pénurie reste bien modeste face au drame vécu par les pays sahéliens et une question lancinante se pose pour de nombreux pays de ce continent : alors que la situation actuelle est déjà bien précaire, pendant combien de temps pourra-t-on assurer un équilibre entre une ressource en eau fluctuante (mais en baisse ?) et une demande en eau sans cesse croissante (sous la double exigence d'un fort développement démographique et d'une souhaitable amélioration des conditions de vie des populations) ?



Calamités, climats et ressources

Inondations

Les excès ou les insuffisances des précipitations vont être la cause de deux types de catastrophes naturelles : inondations (crues) et sécheresses. Cependant ces deux phénomènes ne sont pas d'ampleur égale en Afrique. Les crues restent en deçà du caractère gravissime qu'elles peuvent présenter dans les régions en proie aux cyclones (le

Bangladesh soumis aux crues de la mousson himalayenne ou aux cyclones du golfe du Bengale étant un des cas extrêmes à cet égard).

Certes, en zone aride les crues peuvent être très brutales sur les petits cours d'eau, même pendant les années déficitaires, du fait de l'irrégularité spatiale des pluies (exemple au Burkina du lac de Bam qui a débordé en 1974), mais sur les grands cours d'eau tropicaux ou équatoriaux, le gonflement annuel des eaux est relativement lent et l'inondation est donc progressive (cas de la ville de Bamako durant la grande crue du fleuve Niger en 1967). Ce n'est qu'exceptionnellement que les dégâts sont considérables et les populations durement touchées, comme pour la ville de Khartoum en août 1988, lorsque se produit la conjonction d'une inondation de type pluvial (avec fort ruissellement en milieu urbanisé) et d'une inondation de type fluvial (débordement du Nil). Les inondations peuvent même être souhaitées, lorsqu'elles permettent (basse vallée du Sénégal) les cultures par submersion ou par décrue. Même le drame de Khartoum a eu en contrepartie le remplissage inespéré du lac Nasser à un moment où le barrage d'Assouan n'était plus en mesure d'alimenter en électricité la ville du Caire ...

Sécheresse : première calamité naturelle

La sécheresse, par son caractère progressif, est moins spectaculaire mais elle vient pourtant, pour l'ensemble de notre planète, au premier rang des calamités naturelles (3).

Elle peut en effet sévir de façon intense et prolongée sur des millions de km² et affecter durablement les conditions de vie de pays entiers, entraînant lentement famines et exodes. La dernière sécheresse du Sahel est remarquable par sa sévérité (voir plus loin quelques données chiffrées), sa persistance à l'échelle de toute une génération ; son extension est également considérable lors des paroxysmes déficitaires des années 1972-1973 et 1983-1984 lorsque la diminution des précipitations se fait sentir jusqu'aux zones équatoriales (comme ce fut déjà le cas en 1913). Il semble bien que 1984 soit, en Afrique, l'année la plus sèche du siècle avec une trentaine de pays véritablement sinistrés.

Sécheresse et désertification

Effondrement des ressources hydriques, recul vers le sud des isohyètes (4) interannuelles, dégradation sévère de l'environnement sont-ils le signe d'une « avancée sans retour des déserts » et d'une désertification générale, prélude à une dégradation irréversible des sols et de la végétation ? Cette version pessimiste, largement entretenue par les médias, n'est pas nouvelle.

Au début du siècle, le commandant Lenfant (5) à la recherche d'une nouvelle voie navigable pour atteindre le lac Tchad depuis la Bénoué, parle de « terre cassée » à propos des régions voisines du lac et évoque une aridification à la marche inexorable vers le sud. Le général Tilho (6) en 1910 pose crûment la question suivante : « le (lac) Tchad n'est-il pas en voie de disparition ? »

De nombreux scientifiques partageront par la suite les mêmes inquiétudes, interrogations avivées par les phases sèches des années « 1913 » et des années « 1940 » (7). Mais qu'une phase humide survienne, comme de 1950 à 1965, et

(3) Wijkman (A.), Timberlake (L.). — Natural disasters ; acts of god or acts of man ? — *Earthscan*, Londres, 145 p., 1984.

(4) Sur une carte météorologique ligne qui joint les points d'une région où les précipitations sont les mêmes pour une période considérée.

(5) Lenfant (E.). — *La grande route du Tchad*. — Hachette, Paris, 288 p., 1905.

(6) Tilho (J.). — *Documents scientifiques de la mission Tilho 1906-1909*. — Imp. nat. Paris, 2 vol., 2038 p., 1910-1911.

(7) Voir note 1.

alors les soucis s'estompent devant la formidable capacité de régénération du milieu ; les pluies plus abondantes vers le nord entraînent la « remontée » des troupeaux et la pression de l'homme s'accroît à nouveau sur des zones à l'équilibre fragile.

L'homme apparaît en effet de plus en plus comme l'acteur principal de la désertification (8), la croissance démographique aggravant la surexploitation du milieu naturel et venant accentuer la fragilisation de l'environnement déjà très perturbé par les effets d'une sécheresse prolongée.

Climat et précipitations

Le continent africain connaît de forts contrastes climatiques ; les précipitations, et par voie de conséquence les ressources en eau représentent souvent un facteur limitant, contrainte au développement. Les zones arides couvrent près de 60 % du continent mais les zones humides produisent à elles seules 95 % de l'écoulement global (9).

L'Afrique subsaharienne francophone est bien représentative de cette diversité climatique puisque l'on y trouve toute la palette des régimes climatiques, depuis les zones désertiques aux précipitations rares jusqu'aux zones équatoriales aux précipitations abondantes réparties sur toute l'année.

La zone la plus sensible aux aléas climatiques est la zone sahélienne définie au sens large par une bande de 600 km de large, comprise entre les isohyètes 100 mm au nord et 750 mm au sud. A sa limite nord la saison des pluies se réduit à quelques semaines et est constituée d'une dizaine d'averses — à sa limite sud la saison des pluies dure environ quatre mois et comprend une cinquantaine d'averses par an. Ces averses sont brèves, à fortes intensités et couvrent des surfaces réduites dépassant rarement 100 à 200 km².

Climat et écoulement

En zone aride, « l'accès à l'eau » subit la double contrainte d'une forte irrégularité dans le temps et dans l'espace. Dans le temps, car l'écoulement n'est ni régulier, ni permanent. Les rivières coulent de quelques jours à quelques mois par an et subissent une dégradation hydrographique qui se traduit par de fortes pertes en eau en allant vers l'aval. Dans l'espace, car les cours d'eau sahéliens sont peu nombreux et les points d'eau formés par les mares naturelles ou artificielles souvent éloignés les uns des autres subissent de forts prélèvements par évaporation (plus de 2 mètres par an).

Fort heureusement, la zone sahélienne bénéficie des apports des grands cours d'eau tropicaux issus de zones plus arrosées. Du Sénégal au Tchad, les débits des fleuves Sénégal, Niger et Logone-Chari représentent à eux seuls 50 % de l'ensemble des disponibilités en eau ; toutefois certaines années les volumes écoulés peuvent être divisés par 2, 3 voire 4 (comme pendant l'année 1984).

En zone humide, l'accès à l'eau est beaucoup moins aléatoire puisque l'écoulement est le plus souvent permanent et les points d'eau beaucoup plus nombreux avec des pertes d'évaporation beaucoup moins fortes. Toutefois des défaillances saisonnières dans la satisfaction des demandes peuvent se produire et les fortes concentrations urbaines rendent l'approvisionnement en eau de plus en plus difficile en quantité comme en qualité.

(8) Mainguet (M.). — La désertification : une crise autant socio-économique que climatique. — *Sécheresse* n° 3, vol. 1, p. 187-195, 1990.

(9) La séparation entre les deux zones correspondant grossièrement à un rapport annuel précipitations/évapotranspiration de l'ordre de 0,5.

Ressource en eau : notions et contraintes

L'eau est une ressource naturelle renouvelable, avec ce que cela suppose comme enjeu et conflits liés à son utilisation (domestique, agricole, industriel, énergétique) et avec des critères de qualité liés à chaque usage.

Il est essentiel de bien faire la distinction entre la ressource naturelle totale (déterminée par les « apports » en eau sous forme d'écoulement ou d'eau stockée) et la partie de la ressource réellement utilisable, c'est-à-dire disponible pour un usage donné à un moment donné et là où il doit être satisfait.

Les grands bilans établis à l'échelle mondiale (10) fournissent des valeurs largement par excès car ils indiquent une ressource totale théorique, nécessairement très supérieure à la ressource réellement exploitable.

Dans le cas de l'Afrique, le rapport consommation en eau/ressource totale est très faible, de l'ordre de 4 à 5 % alors qu'en Asie ou en Europe ce rapport monte à 20-25 %. Certes la consommation en eau par habitant est très variable sur la planète : elle atteint 1 500 litres/jour en France (dont 210 litres à la maison et au robinet) alors qu'au Sahel la consommation moyenne peut tomber à 15 litres par jour en zone rurale (si l'on ne compte pas la part de l'irrigation qui peut représenter 90 % de l'utilisation globale de l'eau). Il serait évidemment illusoire de s'imaginer que la consommation de l'agriculteur sahélien pourrait décupler sans problème sous un climat qui connaît, même en année normale, des excès d'eau passagers suivis d'une longue saison sèche où la pénurie est la règle.

Le tableau suivant établi pour les pays sahéliens à partir de l'étude de J. Margat (11) permet quelques réflexions utiles.

Tableau 1
Ressources en eau annuelles

	Ressources globales par pays		Ressources (en m ³ /an/habit.)	
	10 ⁹ m ³ an	% exogènes*	Année 1985	Année 2020
Burkina	28	-	3 550	1 540
Mali	100	50	13 300	4 580
Mauritanie	7,4	95	4 380	1 420
Niger	44	65	6 880	2 570
Sénégal	35,2	35	5 360	2 160
Tchad	45	65	9 030	3 940

* Apports en provenance d'autres pays

On peut s'intéresser, à titre d'exemple, aux données du Burkina dont la ressource globale était estimée en 1985 à 3 500 m³/an/habitant et donc très légèrement supérieure à celle de la France, de l'ordre de 3 300 m³/an/habitant.

Les chiffres sont proches mais le contexte malheureusement très différent : en France la ressource a une faible variation saisonnière et interannuelle, de l'ordre de $\pm 20\%$ sur 10 ans pour cette dernière, la température moyenne est de 12 ° et l'évaporation de 500 mm/an. Au Burkina la variation saisonnière est énorme, la

(10) Shiklomanov (I.A.). — *The World Water Resources. How much do we really know about them?*. — 25^e anniversaire du PHI de l'UNESCO, Paris, 79 p., 1990.

(11) Margat (J.). — *Ressources en eau des pays africains, utilisation et problèmes*. — 7^e congrès mondial des ressources en eau, Rabat, 13-18 mai 1991.

variation interannuelle est de l'ordre de $\pm 50\%$ sur 10 ans, la température moyenne est d'environ 25° et l'évaporation de 1 000 mm/an.

La ressource globale, très approchée, de ce pays sahélien est soumise à de fortes pertes dues au climat ; par ailleurs, les projections démographiques des services des Nations unies montrent que dans une trentaine d'années (dernière colonne du tableau) cette valeur « plafond » devrait être divisée par un facteur de 2, 3. Enfin, cette nouvelle valeur est calculée dans l'hypothèse d'une ressource globale stable et donc indépendante d'une évolution climatique possible. Un chiffre de 1 540 m³/an/habitant en 2020 (3 000 m³ en France) est donc aléatoire lorsqu'on sait que depuis 1970 les précipitations au Sahel ont diminué de 20 % en moyenne et les écoulements de 40 % ...

● La difficile connaissance du climat et des ressources en eau

Apprécier le climat et son évolution, apprécier l'état des ressources en eau et leur variabilité spatio-temporelle est une entreprise pleine d'embûches. Une vision d'ensemble cohérente exige une bonne quantification, pour la période actuelle, des paramètres les plus caractéristiques — pluies et débits (écoulement) — et une reconstitution des événements climatiques marquants du passé (disons pour les derniers millénaires).

Une telle démarche demande la combinaison de trois approches : l'interprétation paléoclimatique, l'information historique, les données chiffrées de la période « instrumentale ». Les fluctuations climatiques récentes ont laissé une empreinte profonde sur l'environnement qui peut être décryptée par les spécialistes de nombreuses disciplines. Evaluer l'importance de ces fluctuations, leur chronologie, leur impact sur la végétation, le milieu aquatique, les peuplements, au cours d'un proche passé est une des clés pour apprécier, pour les décennies à venir, le comportement des milieux (milieu sahélien en particulier) suivant divers scénarios climatiques.

Trois échelles de temps correspondent à ces approches : les vingt derniers millénaires (glaciaire et interglaciaire les plus récents), le dernier millénaire (période historique), le xx^e siècle (période de la mesure des paramètres hydroclimatiques).

La dernière approche est très exigeante car elle doit fournir de longues chroniques ponctuelles pour l'évolution temporelle, des données denses, bien réparties dans l'espace et sans lacune pour l'évolution spatio-temporelle. Pour cela il faut effectuer des mesures fiables sur des stations organisées en réseaux suivant des règles strictes, d'où de grosses contraintes d'exploitation et un coût élevé. Une étude récente sur les stations climatologiques d'Afrique (12) où l'on mesure température et pluie) montre que le nombre de stations a augmenté jusqu'en 1970 (1 200 stations) puis a diminué depuis, les stations fermées l'emportant sur les nouvelles stations créées. Le plus important : la fermeture accélérée des stations anciennes qui interrompt les chroniques les plus longues (donc les plus utiles) (13).

Et pourtant il faut toujours plus de données pour alimenter les grands modèles de circulation générale qui simulent l'évolution climatique, et des données « vérité sol » pour valider les images satellitaires. Quelques lueurs d'espoir apparaissent avec la prise de conscience de la valeur irremplaçable des observations au travers, par exemple, des actions de l'Organisation météorologique mondiale (OMM) dans le cadre du Programme mondial de recherche sur le climat. Par ailleurs l'importance vitale d'un suivi mondial ou régional des paramètres hydroclimatiques agissant sur l'environnement est soulignée dans les grands programmes de cette fin de siècle

(12) Wmo. — Statistics on regional networks of climatological stations (based on the INFOCLIMA. — World inventory. WMO Region I. Africa). — WCDP-7, *WMO/TD*, n° 305, Genève, 1989.

(13) Des 15 stations existant en 1900, 13 subsistent encore, mais des 221 stations fonctionnant en 1930, il n'en reste plus que 128. Pour les stations où sont calculés hauteurs d'eau et débits, la situation est également préoccupante d'autant qu'il est de plus en plus rare d'observer des écoulements naturels, c'est-à-dire non influencés par l'action de l'homme.

(Programme international géosphère-biosphère, et « Observatoire Sahara-Sahel » qui regroupe 20 pays arides d'Afrique).

● La variabilité du climat et des ressources en eau

Nous privilégions la zone sahélienne, la plus affectée par la sécheresse actuelle. Une opinion couramment répandue est celle d'un dessèchement progressif et irréversible depuis l'époque du « Sahara vert ». Il est séduisant de considérer le Sahel comme un rivage (c'est le sens arabe) dont la frange nord recule inéluctablement sous les assauts du désert, mais une telle vision des choses est trop simplificatrice : les limites entre Sahel et Sahara fluctuent largement et fréquemment, même à l'échelle humaine, sous l'action de pulsions humides ou sèches, sans que l'on puisse leur attribuer un caractère périodique ou cyclique qui pourrait susciter un fallacieux espoir de prévision. Par ailleurs, l'étude historique des climats montre qu'il est inutile de remonter très loin dans le passé pour trouver des périodes humides (au XVII^e siècle, l'équivalent de notre « petit âge glaciaire » et même plus près de nous dans la seconde moitié du XIX^e siècle) ce qui détruit une autre idée, celle de la stabilité d'un climat très aride depuis le début de notre ère.

Contexte paléoclimatique (→ 20 000 ans BP*)

Les études pluridisciplinaires sur les paléoenvironnements (14) permettent de retenir schématiquement les périodes suivantes :

- de 20 000 à 12 000 ans BP, période d'aridité très marquée. La progression des sables obstrue les grands fleuves (Sénégal, Niger) et les lacs s'assèchent rapidement (15).
- de 12 000 à 7 500 ans BP, reprise des précipitations avec un maximum humide vers 9 000 ans BP (pluvial Holocène), déterminante dans la mise en place du néolithique Sahélo-Saharien. Les lacs atteignent leurs plus hauts niveaux, les pluies semblent être assez bien réparties sur toute l'année et les températures plus fraîches que maintenant. Les nombreux vestiges de faune tropicale indiquent un biotope particulièrement favorable avec une végétation abondante.
- de 6 000 à 2 500 ans BP, après une période sèche (de 7 500 à 6 000 ans BP) qui voit la régression des lacs sahariens, une nouvelle phase humide, mais moins prononcée que la précédente, s'installe.
- Après 2 500 ans BP, aridification du climat, diminution de la longueur de la saison des pluies, évaporation plus élevée.

Les travaux les plus récents montrent que des changements climatiques très marqués peuvent se produire en quelques siècles seulement.

* pour "Before Present". "20 000 ans BP" équivaut donc à "il y a 20 000 ans".

(14) L'étude des pollens, ostracodes, diatomées, restes végétaux, la paléohydrologie (reconstitution des oscillations lacustres du régime des écoulements avec l'étude des réseaux hydrographiques aujourd'hui fossiles), la géomorphologie, la géochimie isotopique et même les recherches archéologiques (Roset (J.-P.). — *Neolithisation, néolithique et postnéolithique au Niger oriental*. — Congrès de l'INQUA à Ottawa, p. 203-214, 1987).

(15) Rognon (P.). — *Biographie d'un désert*. — Coll. scientifique Synthèse, Ed. Plon, Paris, 347 p., 1989.

Contexte historique (→ 1 000 ans BP)

L'appréciation des modifications climatiques au cours de cette période sur les régions subsahariennes peut être faite à partir d'un certain nombre de données (16) qui doivent être recoupée avec soin, afin d'éviter des erreurs d'interprétation (une famine catastrophique pouvant être due à une sécheresse sévère, mais aussi à une inondation des récoltes).

L'ensemble des renseignements obtenus permet d'établir grossièrement le canevas suivant :

- du VII^e siècle au XII^e siècle : conditions climatiques favorables, c'est-à-dire plus humides qu'actuellement.
- au XIII^e siècle : aridité et reprise de l'activité éolienne au Sahara.
- du XIV^e à la fin du XVI^e siècle : amélioration climatique sensible mais avec quelques périodes de famine et sécheresses accentuées vers 1420-1460 et 1550.
- au XVII^e et XVIII^e siècle : aridification de la zone saharienne mais les pluies semblent être, au XVII^e siècle, très abondantes dans les régions tropicales comme l'attestent les fortes crues des fleuves tropicaux parvenant au Sahel et les hauts niveaux du lac Tchad. De graves sécheresses semblent s'être produites vers 1680 et 1750.
- Au XIX^e siècle : optimum humide dans la seconde moitié du siècle corroboré par les récits des voyageurs et des militaires (17, 18).

Climats et

ressources en eau

64

Contexte de la « période instrumentale » (→ 100 ans BP)

Les pluies

Les observations pluviométriques précèdent toujours largement les observations sur les cours d'eau. Le développement des réseaux pluviométriques est marqué par quatre étapes en Afrique de l'Ouest et centrale.

— Années 1850-1860 : les premières observations sont effectuées par des pharmaciens de la Marine (dépendants du service de santé) au Sénégal (Saint Louis (1851), Gorée (1853), Podor (1854) ...), en Côte-d'Ivoire (Assinie (1855)), au Gabon (Libreville (1851)). Ces stations ont une période d'observation très brève, sauf pour celle de Saint Louis suivie, presque sans interruption, jusqu'à nos jours.

— Fin du XIX^e siècle : la situation est très diverse suivant les zones géographiques, les zones côtières ou les voies de pénétration vers l'intérieur du continent étant privilégiées ; de nombreux postes sont ainsi créés sur le bassin du Sénégal en 1887 alors qu'il faut attendre 1901-1903 pour voir l'installation de stations, souvent éphémères, au Tchad.

— Début du XX^e siècle : de nouveaux postes s'ouvrent (Ouagadougou-mission (1902), Niamey-ville (1905) ...). En 1906, le réseau météorologique de l'Afrique occidentale comprend déjà 28 stations ; en Afrique équatoriale, des pays comme le Cameroun ont déjà de très nombreux postes (25 en 1910). La première guerre mondiale entraînera la fermeture de quasiment toutes les stations.

— Les années 1920 : les années 1921-22 voient la création d'un Service météorologique fédéral pour l'Afrique occidentale, avec l'implantation de nombreuses stations ; le réseau pluviométrique de base dans les pays sahéliens date de cette époque.

En Afrique équatoriale, il faudra attendre 1930 pour voir la création d'un service identique.

(16) Données tirées de l'histoire (documents écrits, récits d'explorateurs ...), datation au radiocarbone des carottages, étude du Nil au cours des siècles passés (17,18), enquêtes historiques basées sur les récoltes ou les pratiques culturelles.

(17) *Tarikh es. sūdan, Tarikh el. Fettāch*. — Traductions de O. Houdos et M. Delafosse, Paris, Leroux, 1900 et 1913.

(18) Jarvis (C.S.). — Flood-stage records of the river Nile — Transactions of the American Society of Civil Engineers. — Paper, n° 1944, vol. 101, p. 1012-1071, 1936.

— Années 1960 : fin 1958, ces services fédéraux seront dissous, mais continueront à fonctionner au ralenti jusqu'à la création des directions de l'ASECNA (19) à Dakar et à Brazzaville en 1959.

Les écoulements

Les apports représentés par les eaux courantes ou stockées vont être appréciés à partir de quatre ensembles.

— Cours sahéliens : pas de station permanente de mesure au nord de l'isohyète 400 mm, ni avant le début des années 1950. Ces stations sont peu nombreuses, souvent d'accès difficiles.

— Fleuves tropicaux : les fleuves tropicaux parvenant au Sahel (Sénégal, Logone, Chari) ou le traversant (Niger) représentent des conditions d'écoulement exogènes puisque les têtes de bassins se trouvent dans des régions beaucoup plus arrosées (Fouta Djallon notamment). Leurs apports conditionnent la survie de vastes régions, et ils représentent des indicateurs précieux des variations climatiques.

Les rares stations suivies depuis le tout début du siècle, pour des raisons de navigation fluviale, fournissent des données chiffrées largement exploitées dans les études hydro-climatiques.

L'ensemble des apports « exogènes » parvenant à la zone sahélienne francophone est contrôlé par les stations de mesures suivantes :

— la station de Bakel (1901) sur le fleuve Sénégal (que nous appellerons SB) contrôle l'ensemble des apports provenant à la basse vallée du fleuve (218 000 km²).

— la station de Koulikoro sur le fleuve Niger (soit NK) ouverte en 1907, contrôle l'écoulement du Haut Niger (120 000 km²). La station de Douana sur le fleuve Bani (BD) (101 600 km²) a été ouverte en 1922.

— la station de N'djamena sur le Chari (NJ) contrôle le complexe Logone-Chari, soit un bassin de 600 000 km². Elle a été installée en 1903 mais seules les crues de 1906 et 1908 seront connues. Les observations ne reprendront malheureusement qu'en 1932.

— ainsi seules les deux stations de Bakel et de Koulikoro permettent d'apprécier les effets des sécheresses des périodes « 13 », « 40 » et l'actuelle.

— fleuves équatoriaux : la station de Kinshasa-Brazzaville (KB) sur le Congo permet de constituer une chronique ininterrompue depuis 1902 sur un bassin de 3 500 000 km². Ce fleuve est l'un des plus puissants de la planète et ses apports sont plus de dix fois supérieurs à ceux des fleuves tropicaux au Sahel. Il subit cependant l'influence des paroxysmes de sécheresse observée en 1913, 1972-73 et 1983-84. Son affluent de rive droite, l'Oubangui qui contrôle un bassin de 500 000 km² est par sa position septentrionale beaucoup plus atteint par les déficits pluviométriques.

— les lacs, dont les observations chiffrées sont très fragmentaires, sont principalement ceux :

• de la cuvette lacustre du Mali, alimentée par le Haut Niger et le Bani, et qui s'étend sur 60 000 km² environ. Il s'agit d'une vaste zone d'épandage. On peut rajouter à cet ensemble, le lac Faguibine, en rive gauche, qui est le plus grand lac après le lac Tchad et peut couvrir 600 km².

• du lac Tchad lui-même, qui a connu de très hauts niveaux à l'Holocène et dont les fluctuations ont été estimées pour le dernier millénaire (20). A l'époque contemporaine la surface du lac oscille entre 10 000 et 25 000 km² suivant l'importance des crues du Chari qui représentent 80 % des apports annuels au lac (la surface des eaux libres peut même s'abaisser à moins de 2 000 km² ces dernières années en fin du cycle annuel).

(19) Agence pour la sécurité de la navigation aérienne.

(20) Maley (J.). — Etudes palynologiques dans le bassin du Tchad et paléoclimatologie de l'Afrique nord tropicale de 30 000 ans à l'époque actuelle. — *Travaux et Documents ORSTOM*, n° 129, 1981.

La variabilité pluviométrique depuis le début du xx^e siècle

Si la plupart des stations synoptiques ont maintenant près de 70 ans d'existence, il n'existe qu'une vingtaine de stations pour toute l'Afrique de l'Ouest pour apprécier la pluviométrie depuis le début du siècle et en particulier la sécheresse des années « 13 », considérée jusqu'au début des années 80 comme l'épisode le plus déficitaire du siècle.

De nombreux chercheurs ont établi des indices annuels, comme Nicholson (21) sous forme d'écart ou de pourcentages, afin d'évaluer commodément les variations pluviométriques. On distingue ainsi :

- une période sèche de 1910 à 1916 remarquablement sévère et étendue qui se fait sentir jusqu'au bassin du Congo et sur le Haut-Nil.
- une période humide de 1920 à 1935.
- une période sèche de 1940 à 1949 mais se présentant sous forme d'années déficitaires par « paquets » n'affectant pas simultanément tout le Sahel.
- une période humide de 1950 à 1965 où les isohyètes interannuelles remontent vers le nord de plusieurs centaines de km.
- une période sèche de 1968 à nos jours, la plus intense des trois où les isohyètes interannuelles redescendent vers le sud de plusieurs centaines de km et où les déficits moyens sont de 20 à 30 %.

Le tableau suivant donne pour neuf stations pluviométriques importantes et fonctionnant au moins depuis 1907 (mais avec quelques lacunes pour Kayes, Tombouctou, Zinder et N'Djamena), le record pluviométrique annuel absolu et la moyenne annuelle des épisodes secs les plus intenses sur 2,5 et 10 ans consécutifs.

A l'échelle de l'année la plus faible ou de deux années consécutives, la sécheresse « 1913 » l'emporte à Ouagadougou, Niamey, Zinder. A Kayes, la période 1898-99 a été la pire de toute la période d'observation ; à Saint-Louis, Dakar, Ségou, Tombouctou et N'Djamena, les records absolus s'observent au cours de la période actuelle.

Tableau 2
Episodes pluvieux les plus secs (moyenne annuelle en mm)

Station	Total annuel médian	Moyenne annuelle la plus faible sur			
		1 an	2 ans	5 ans	10 ans
Saint-Louis	320	100 1983	101 83-84	206 80-84	215 75-84
Dakar	500	117 1972	196 83-84	263 70-74	314 76-85
Kayes*	700	361 1988	414 98-99	518 79-83	596 74-83
Segou	680	391 1982	458 82-83	498 80-84	602 75-84
					630 40-49
Tombouctou*	200	73 1983	93 82-83	137 70-74	146 65-74
Ouagadougou	800	408 1913	505 12-13	580 10-14	669 7-16
					722 75-84
Niamey	560	281 1915	319 14-15	383 12-16	(443) 10-19
				409 80-84	
Zinder*	480	215 1912	222 12-13	305 11-15	391 65-74
					409 75-84
N'djamena*	590	293 1984	338 83-84	487 70-74	525 65-74

* Données incomplètes

A l'échelle de 10 années consécutives, c'est la période 1975-84 qui est la plus sévère (pas d'observation à N'Djamena de 1979 à 1981) sauf pour Ouagadougou et Niamey, mais ces deux capitales semblent avoir été relativement épargnées par la sécheresse actuelle en particulier Ouagadougou.

Les variations de l'écoulement depuis le début du xx^e siècle

Cours d'eau sahéliens

Même pour la courte période instrumentale dont on dispose, le faible nombre de stations, la qualité médiocre des mesures, la forte variabilité spatiale d'un écoulement intermittent rendent impossible un bilan d'ensemble. Par ailleurs, la multiplication des petits aménagements font que les écoulements mesurés ne sont plus vraiment « naturels » ; il faut donc être prudent dans l'interprétation des séries de relevés (22,23).

Néanmoins il semble que les années les plus sévères soient :

1968 (année à pluies normales en zone tropicale et très déficitaires au Sahel),
1972 (au Tchad notamment), puis 1983 et 84.

La forte irrégularité spatio-temporelle des pluies fait que l'on peut observer, même en années sèche, pour des bassins sahéliens à peu de distance les uns des autres, des écoulements très diversifiés et parfois même de fortes crues (cas de la mare d'Oursi au Burkina en 1984). Il n'est pas possible en fait d'établir une distinction entre période humide et période sèche comme ce sera fait pour les grands bassins tropicaux. L'année 1988, avec ses violentes crues qui ont détruit les appareils de mesure de plusieurs cours d'eau sahéliens, est un bon exemple de cette difficulté à faire un bilan d'ensemble.

Il est en revanche capital de différencier les bassins sahéliens en deux catégories, en fonction de leur superficie. Les observations réalisées sur les réseaux sahéliens du Niger et du Burkina ont montré, en effet, qu'au cours de ces dernières années la réponse du milieu aux précipitations était radicalement différente suivant que les bassins couvraient plus ou moins de 20 000 km² (il s'agit là d'un ordre de grandeur).

On constate ainsi que les grands bassins sahéliens présentent, comme les fleuves tropicaux, une diminution très nette de leurs apports (bien qu'avec une irrégularité interannuelle plus forte) au cours de la période actuelle de sécheresse, alors que les petits bassins sahéliens voient en moyenne le maintien de leurs apports superficiels, voire un accroissement de la ressource, la diminution des pluies étant compensée par une augmentation très sensible des coefficients de ruissellement.

L'étude des petits bassins a mis en évidence que l'hydrodynamique de surface était contrôlée essentiellement par le couvert végétal et les organisations pédologiques de surface.

L'effet conjugué des actions anthropiques (développement démographique) et des conditions climatiques actuelles entraîne la diminution du couvert herbacé, l'extension des zones cultivées favorisant le tassement de la surface du sol et le développement de pellicules imperméables ainsi que les zones érodées.

Fleuves tropicaux

Comme nous l'avons vu précédemment, les deux précieuses chroniques sur les fleuves Sénégal et Niger permettent d'apprécier la variation générale des apports en eau depuis

(22) Sircoulon (J.). — Impact possible des changements climatiques à venir sur les ressources en eau des régions arides et semi-arides. — WCAP-12, *WMO/TD*, n° 380, Genève, 1990.

(23) Albergel (J.). — *Sécheresse, désertification et ressources en eau de surface, application aux petits bassins du Burkina Faso*. — AISH, publ. 168, p. 355-365, 1987.

le début du siècle. On peut distinguer cinq périodes (24) en fonction des variations pluviométriques observées.

1. Jusqu'en 1921 inclus : période déficitaire culminant en 1913. Il faudra attendre 1984 pour trouver des crues annuelles plus faibles pour le Sénégal ou le Niger.

2. 1922 à 1936 inclus : période humide, les plus forts débits moyens annuels sont relevés à SB en 1924 (1 250 m³/s) et en 1925 à NK avec 2 300 m³/s de même que les plus fortes crues maximales des chroniques (9 070 m³/s en 1922 à SB et 9 670 m³/s en 1925 à NK).

3. 1937 à 1950 inclus : période sèche, la moins rigoureuse des trois.

4. 1951 à 1969 inclus : période humide, plus accentuée sur le bassin du Sénégal où elle dépasse en intensité celle de 1922-1936.

5. 1970 à maintenant : période sèche, la plus intense des trois (25,26). Les déficits sont pratiquement systématiques chaque année et l'année 1984 est l'année des records absolus de déficit.

Variation des apports annuels

Le tableau 3 résume quelques caractéristiques, en milliards de m³ à partir des chroniques annuelles d'apports.

Tableau 3
Variation des apports annuels

Station	Moyenne	Minimum et année	Période humide sur 5 ans	Période sèche sur 5 ans
SB	22,2	6,8 (84)	32,4 54-58 29,7 32-36 28,9 24-28	8,9 83-87 14,3 40-44 15,3 40-44
NK	45,1	20,0 (84)	63,8 24-64 61,2 51-55	22,2 86-90 34,7 40-44 36,3 11-15
CD	34,2	6,7 (84)	47,3 60-64 45,7 52-56	12,9 83-87
Nil à Assouan	88,1	45,5 (13) 58,2 (84)		68,4 83-87 70,5 11-15 76,9 40-44

Il a été exposé précédemment que la moitié des ressources en eau « totales » des six pays sahéliens francophones provenait des fleuves tropicaux.

Le « déséquilibre hydrique » de la période actuelle de sécheresse peut être mis en évidence par trois résultats :

- à la fin 1969 la moyenne interannuelle des apports « exogènes » était de 136 milliards de m³,
- pour la période 1970-1988, la moyenne interannuelle correspondante est de 79 milliards de m³ (soit un déficit de 43 %),
- pour la seule année 1984, les apports tombent à 35,5 milliards de m³ seulement (soit un déficit de 74 %).

(24) Hubert (P.), Carbonnel (J.-P.), Chaouche (A.). — Segmentation des séries hydrométéorologiques, application à des séries de précipitations et de débits de l'Afrique de l'Ouest. — *Journal of Hydrology* 110, p. 349-667, 1989.

(25) Sircoulon (J.). — La sécheresse en Afrique de l'Ouest, comparaison des années 1982-1984 avec les années 1972-1973. — *Cah. ORSTOM, sér. hydrolog.* vol. XXI, n° 4, p. 75-86, 1986.

(26) Sircoulon (J.). — Aspects hydrologiques des fluctuations climatiques en Afrique de l'Ouest en Centrale. Report 36. — *WMO/TD*, n° 353, p. 205-212, 1990.

Bien que l'on ne dispose pas de séries complètes depuis le début du siècle pour l'ensemble des fleuves tropicaux, il apparaît qu'au cours des années humides, de grosses crues ne se produisent pas simultanément sur l'ensemble de la zone tropicale. Alors que les bassins du Sénégal et du Niger connaissent leurs crues records en 1924 et 1925, en Afrique centrale c'est l'année 1961 qui est la plus remarquable.

Au cours des années sèches, le comportement des grands fleuves répond à un meilleur synchronisme spatial. L'année 1984 est celle des plus faibles crues jamais observées pour l'Afrique subsaharienne, à l'exception du Nil pour lequel l'année 1913 est encore plus rigoureuse. Les rapports des valeurs extrêmes (humide/sec) sont considérables, de 4 pour le Niger à 10 pour le Sénégal (ainsi à Bakel le maximum de débit n'est-il que de 917 m³/s en 1984). La pointe de crue unique d'une année moyenne est remplacée, lors des années très sèches, par une succession de petites crues, voire par un simple « palier » dont la durée peut s'étendre sur plusieurs mois. Le fleuve reste alors dans son lit mineur, ne remplissant plus son rôle « nourricier », pour l'agriculture notamment.

Le soutien de plus en plus amoindri des nappes souterraines, en période de tarissement (27) provoque des basses eaux prolongées et très précoces pouvant conduire, si le retour des pluies est tardif, à l'arrêt total de l'écoulement pendant quelques jours, sur des cours d'eau où ce phénomène était jusque là inconnu. Ceci s'est produit à Bakel, pour le Sénégal, à la mi-74 puis à nouveau en 1984-85. Il a fallu la mise en activité récente du barrage de Manantali pour stopper ce phénomène.

Sur le fleuve Niger, les étiages à Koulikoro ne sont plus significatifs depuis 1981 (influence du barrage de Selingue). Toutefois, malgré les lachûres de saison sèche de l'ordre de 100 m³/s, le fleuve s'est arrêté de couler pendant quelques jours en juin 1985 à Niamey (28). Une étude statistique des étiages faite au début des années 70 indiquait qu'un tel événement ne devrait se produire que tous les 500 ans en moyenne ! Le fleuve Chari dont le minimum moyen était évalué à 125 m³/s sur la période 1938-1967, a vu son débit à N'djamena tomber à 7 m³/s en avril 85 (sous l'effet de prélèvements notables à l'amont).

D'une façon générale, il est devenu commun de constater, depuis quelques années, un arrêt total de l'écoulement pour des cours d'eau réputés jusque là pérennes.

Les fleuves équatoriaux

Les fleuves de cette catégorie fournissent des apports beaucoup plus réguliers car leurs variations aussi bien saisonnières que d'une année sur l'autre restent modérées. Le bassin du Congo concentre à lui seul 30 % de l'écoulement de l'ensemble du continent. La chronique continue des apports calculés à Kinshasa-Brazzaville depuis 1902 aboutit à un volume écoulé annuel de 1 300 milliards de m³ en moyenne (les extrêmes étant de 1 050 et 1 770, en 1913 et 1961 respectivement). Bien que les volumes écoulés actuels restent énormes, on assiste à une diminution non négligeable des apports ces dernières années (- 8 % pour la période 1980 à 1989) et le débit minimum de 22 800 m³/s le 27/07/90 n'a été battu qu'une seule fois ... en 1905).

Les lacs (exemple du lac Tchad)

Le lac Tchad est un excellent témoin de l'effet des modifications climatiques sur les grands plans d'eau peu profonds. Les variations de son niveau (minimum en juillet et maximum en décembre-janvier) résultent de l'équilibre entre les apports d'une part et les pertes par évaporation d'autre part.

(27) Olivry (J.-C.). — *Les conséquences durables de la sécheresse actuelle sur l'écoulement du fleuve Sénégal et l'hypersalinisation de la basse Casamance.* — Colloque AISH, n° 168, Vancouver, p. 501-512, 1987.

(28) Billon (B.). — *Le Niger à Niamey, Décrue et étiage 1985.* — *Cah. ORSTOM*, sér. Hydrol. vol. XXI, n° 4, 1985.

Un bilan hydrologique effectué (29) pour une « situation moyenne » montre que les 46 milliards de m³ évaporés ou infiltrés sont équilibrés en année moyenne par 40 milliards de m³ d'apports superficiels et 6 milliards de m³ dus aux pluies. Les variations interannuelles de 1900 à 1978 ont pu être observées ou reconstituées à la station de Bol. Depuis 1980, ces variations sont principalement connues par suivi satellitaire (30).

Les variations sont en gros les suivantes (31) :

— de 1900 à 1950. Après les hauts niveaux de la fin du siècle dernier, le niveau du lac redescend pour osciller un ou deux mètres plus bas, avec un minimum qui s'abaisse à la cote 280 m en 1908 et 1914. Au cours de ces années là, le lac se scinde en deux parties et toute la partie nord du lac s'assèche. Ceci s'est sans doute reproduit en 1940 mais l'on ne dispose pas d'observations.

— de 1953 à 1964 le niveau remonte progressivement pour dépasser la cote 283 m en janvier 63, niveau record du xx^e siècle, grâce aux apports fluviaux très importants de 61 et 62 (105 milliards de m³ en 2 ans). La surface du lac est alors évaluée, à son apogée, à 23 500 km² et le volume d'eau stocké à 105 milliards de m³ !

— à partir de 1965 le niveau du lac s'abaisse à nouveau sous l'influence des apports déficitaires du Logone-Chari. En avril-mai 1973 se produit à nouveau la coupure en deux cuvettes avec exondation de la grande barrière. Fin 1975, la cuvette nord s'assèche complètement et ce phénomène se renouvellera chaque année. Pis encore, en 85, 87 et 88 la cuvette nord ne sera même plus réalimentée au maximum de l'inondation annuelle et là où l'on passait autrefois en pirogue ce sont les camions qui circulent maintenant ...

Depuis quelques années, il ne subsiste plus en mai-juin que les eaux libres de la cuvette sud à l'embouchure du Chari, sur une surface de 1 700 km² au mieux (32). L'interrogation du Général Tilho au début de ce siècle va-t-elle finir par se réaliser ?

● Retour sur la situation actuelle

Quelques conséquences d'une sécheresse de 20 ans

La dégradation du couvert végétal, l'évolution des surfaces pâturées, l'extension des zones cultivées favorisant le développement d'encroûtements et l'augmentation de zones érodées ont profondément modifié les états de surface du sol des bassins sahélien.

La comparaison des états de surface en 1956 puis en 1980 pour des bassins au nord-ouest de Ouagadougou (33) montre un doublement des champs cultivés, une diminution des jachères et plus d'un décuplement des zones érodées. Cette action conjuguée de l'homme et du climat entraîne une augmentation très sensible de l'aptitude au ruissellement et de l'érosion.

La persistance d'un écoulement déficitaire, année après année, fragilise ou modifie les divers milieux aquatiques. En zone côtière cela se traduit par l'hypersalinisation des marigots de la Basse Casamance ou la remontée spectaculaire de la lagune salée dans le fleuve Sénégal.

Les crues des fleuves n'assurent plus le débordement attendu dans les lits majeurs ou le remplissage des lacs (cuvette lacustre du Niger).

(29) Olivry (J.-C.). — Fleuves et rivières du Cameroun. — Coll. Monog. hydrol., ORSTOM, n° 9, 593 p., Paris, 1986

(30) Rigal (D.). — Crue et décrue du lac Tchad — Veille climatique satellitaire, Bull. n° 28, p. 71-76, 1989.

(31) Sircoulon (J.). — Variation des débits des cours d'eau et des niveaux des lacs en Afrique de l'Ouest depuis le début du XX^e siècle. — Colloque AISH n° 168, Vancouver, p. 13-25, 1987.

(32) Lemoalle (J.). — Le fonctionnement hydrologique du lac Tchad au cours d'une période de sécheresse (1973-1989). — Rapport ORSTOM, Montpellier, 27 p., 1989.

(33) Albergel (J.), Gioda (A.). — Extension des surfaces agricoles et modifications de l'écoulement. Analyse sur deux bassins de la savane africaine. — 19^e journées de l'hydraulique, SHF, 1-9-1 à 1-9-6, Paris, 1986.

L'assèchement des lacs est de plus en plus fréquent (lac Fitri au Tchad, lac Faguibine au Mali en 1983) et même le lac Tchad est menacé.

Les grands fleuves s'arrêtent de couler, les points d'eau se raréfient, la réalimentation des nappes souterraines se restreint abaissant le niveau des puits ...

Une ressource globale en diminution, c'est aussi une ressource encore plus « insaisissable » car l'irrégularité de la disponibilité augmente dans le temps et dans l'espace. Cela signifie : point d'eau à durée de vie abrégée, écoulement plus bref, allongement de la période de basses eaux.

Mieux exploiter ou retenir la ressource

Pour améliorer l'exploitation de la ressource il faut « fixer » cette eau qui ruisselle, régulariser ses apports à l'échelle interannuelle si possible, réduire sa vulnérabilité (évaporation, salinisation).

Nous donnerons deux exemples, qui illustrent l'utilité de dispositions provisoires, peu onéreuses, et qui s'appuient sur la possibilité de prévoir l'évolution des débits des grands fleuves en période de tarissement (vidange des nappes souterraines fluviales).

En octobre 1983, face à une chute sans précédent des débits du fleuve Sénégal et à la perspective d'une remontée précoce des eaux salées, il a été procédé à la construction d'un barrage en terre provisoire à Rheune qui a permis de stocker l'écoulement de basses eaux dans le lit mineur et dans le lac de Guiers. Le dispositif préfigurait, en fait, le barrage de Diama qui fonctionne depuis 1986 près de Richard Toll et qui joue le double rôle de stopper les remontées salines de l'aval et d'accumuler l'eau douce de l'amont. Malheureusement la mise en service de ce barrage n'a pas eu que des conséquences positives : elle a provoqué une épidémie de bilharziose intestinale (près de 4 000 cas) alors que cette maladie était jusque là quasi inexistante dans la région.

Le second exemple est donné par le tarissement du Niger à Niamey. Dès la fin de novembre 1984, les hydrologues annoncèrent l'arrêt de l'écoulement du fleuve pour le mois de juin suivant si les pluies tardaient à reprendre. La qualité de la prévision amena, début mai, les autorités à construire un batardeau afin de constituer une réserve de plusieurs millions de m³. Cette précaution permit à la population (400 000 habitants) de ne pas manquer d'eau en juin, les puits étant insuffisants et trop peu productifs pour assurer à eux seul une alimentation en eau suffisante.

Une augmentation durable de la partie exploitable de la ressource en eau demande des aménagements permanents qui soient efficaces (un barrage doit se remplir) et sûrs (pas de menace de rupture). Les responsables d'un projet devront donc s'appuyer sur des normes représentatives du climat et sur des études statistiques basées sur des chroniques d'apports longues et fiables.

Quelles normes hydropluviométriques utiliser ?

La notion de normale pluviométrique a été créée à la fin du siècle dernier et fixée à la moyenne de 30 années consécutives. Cette durée semblait être suffisante pour intégrer les fluctuations climatiques propres à une région donnée. La normale pluviométrique 1931-1960 a longtemps servi de référence et est maintenant remplacée par la normale 1961-1990. Un tel changement n'est pas anodin : il se traduit ainsi pour les stations pluviométriques de la vallée du Sénégal par une baisse de 30 % de la moyenne. Si l'on veut se lancer dans un vaste programme de cultures pluviales doit-on considérer cette normale comme une nouvelle « donnée » du climat ou non ?

Les normes hydrologiques ont également une importance cruciale lorsqu'on veut se prémunir contre des événements destructeurs ou évaluer l'utilité économique d'un aménagement.

L'aménageur est placé devant un important dilemme. Doit-il s'appuyer sur des normes de « sécurité » établies sur les décennies 50 et 60, qui ont été dans l'ensemble très humides et risquer un hyperéquipement non rentable (barrage vide, évacuateur de crue trop dimensionné) ou privilégier celles des décennies 70 et 80 qui diminuent certes le coût des ouvrages mais font courir le risque d'un sous-dimensionnement dramatique si l'on revient à une période humide ? Quelques données chiffrées donnent à réfléchir (on se place dans des conditions d'écoulement naturel) :

— basses eaux : une étude faite en 1970 donnait un débit s'abaissant, une fois tous les 10 ans, à 15 m³/s pour le Niger à Niamey. Depuis lors, quinze années ont connu des valeurs plus faibles.

— volume écoulé annuel : jusqu'en 1968, la moyenne du Bari à Douna était de 23 milliards de m³/an ; pour les 20 dernières années cette moyenne n'est plus que de 8 milliards de m³/an.

— crues : en 1965, on estimait que la crue annuelle du Sénégal à Kayes pouvait s'abaisser à 1 800 m³/s deux fois par siècle. Actuellement l'étude statistique donnerait douze fois par siècle (si évidemment le barrage de Manantali n'existait pas).

Il n'y a toujours pas à l'heure actuelle d'indications permettant de trancher entre l'avis de certains paléoclimatologues (la baisse des pluies va se poursuivre au cours des siècles à venir) et celui de certains hydrologues ou climatologues (fin probable d'une fluctuation climatique aperiodique). On doit pourtant être très prudent dans le choix de normes « actuelles » et tenir compte des facteurs d'échelle. Ainsi sur les bassins sahéliens de moins de 20 000 km² les grosses crues n'ont pas diminué, ni l'écoulement puisque l'aptitude des sols au ruissellement a augmenté ; toutefois la variabilité spatio temporelle de ces phénomènes reste très élevée (pluviométrie par « tâches »).

Le cas des grands aménagements

En Afrique subsaharienne un grand nombre d'aménagements ont été réalisés dans les années 60 et 70 conformément aux normes hydropluviométriques de l'époque. Il ne faut donc pas s'étonner si les grands barrages ont eu du mal à se remplir ou à rester remplis. Là aussi, deux exemples illustreront notre propos.

Le barrage de Kossou. Ce barrage du centre de la Côte-d'Ivoire est entré en service en 1971 et avait été dimensionné pour un apport moyen de 5,5 milliards de m³ (soit une production hydroélectrique de 530 Gwh). Pour les quinze années suivantes, les apports n'ont atteint en moyenne que la moitié de ce chiffre avec une production électrique limitée à 115 Gwh.

Le barrage d'Assouan. Construit en 1963, le barrage d'Assouan d'une capacité utile de 107 milliards de m³, devait constituer une révolution pour l'agriculture égyptienne, dépendante depuis des millénaires de la variation annuelle de la crue. Basée sur un apport annuel moyen de 84 milliards de m³, l'utilisation prévue était la suivante : 66 % pour l'Égypte, 22 % pour le Soudan, le reste correspondant aux pertes par évaporation. L'Égypte devait très vite bénéficier de son maximum d'allocation avec des années fastes de remplissage entre 1976 et 1982. Malheureusement depuis, l'insuffisance des pluies a provoqué une baisse inquiétante et progressive du « stock » jusqu'à la fameuse crue de Khartoum en 1988.

L'Égypte qui dépend à 77 % de ressources en eau exogène et qui connaît une augmentation démographique d'un million d'habitants tous les dix mois est déjà à la limite de toutes ses potentialités (34).

En définitive, l'évolution climatique défavorable vient aggraver le bilan mitigé de certains grands aménagements où les conséquences écologiques, climatiques et sanitaires sur le milieu naturel ont été mal évaluées. Une autre menace sérieuse est celle de l'ensablement, ou de l'envasement des retenues dans toutes les zones fortement érodables (35).

Une maîtrise de l'eau adaptée

Face à des opérations prestigieuses aux résultats incertains, il est clair qu'une maîtrise de l'eau passe par une politique d'ensemble, adaptée aux contraintes locales et aux besoins des populations. Il est ainsi essentiel de développer les petits barrages et les retenues collinaires, mais la maîtrise de l'eau ne s'improvise pas, elle demande une sensibilisation et une formation appropriée (36) aux diverses techniques permettant la sauvegarde de l'eau et une gestion efficace (impluvium, diguettes filtrantes, barrage en gabions, creusement de mares, digues de décrue ou de submersion, barrages antisel, etc.). La liste des techniques est longue, la bonne volonté de tous est évidente mais toutes ces mesures, même si elles étaient appliquées systématiquement partout, seraient insuffisantes dans les décennies à venir ou retarderont-elles simplement une pénurie chronique, source de sous-développement et de conflits pour le partage de l'eau ?

● Quelle eau pour demain ?

Bien que les ressources en eau du continent soient encore peu exploitées (5 % au mieux), la très inégale dotation par pays (cinq pays totalisent à eux seuls 50 % de ces ressources) fait que la situation hydrique est depuis longtemps préoccupante pour nombre d'entre eux. Cela, soit parce que le taux d'utilisation des eaux superficielles a déjà atteint les 100 % (cas de la Libye qui prélève largement sur ses eaux souterraines fossiles et donc non renouvelables); soit parce que les conditions climatiques et géographiques sont telles qu'une part importante de la population n'a pas accès à cette ressource. L'absence d'une eau suffisante, là où existent les besoins s'aggravant de jour en jour sous le poids d'une concentration urbaine de plus en plus forte, va encore accentuer ce déséquilibre.

Evolution des besoins

L'augmentation des besoins, ou de la demande, est une certitude : l'accès à l'eau en quantité suffisante est une des clés du développement mais il existe aussi la contrainte majeure posée par la croissance démographique.

Si l'on exploite les travaux de la division population des Nations unies (ST/ESA/SER/A/106/Add.1) on aboutit aux estimations regroupées dans le tableau 4 ci-après pour les 20 pays de zone aride ou semi-aride relevant de « l'Observatoire Sahara Sahel » (en millions d'habitants).

(34) Howell (P.-P.), Allan (J.-A.), *The Nile. — Resource Evaluation, Resource Management, Hydropolitics and legal Issues. — Royal Geographical Society and School of oriental and african Studies, Londres, 1990.*

(35) Voir note 11.

(36) Rochette (R.M.) et coll. — *Le Sahel en lutte contre la désertification : leçons d'expériences. — CILSS/PAC, Weikersheim : Margraf, Ouagadougou, 592 p., 1989.*

Tableau 4
Estimation de la croissance démographique

Pays	1988	2000	2025
Afrique du Nord Algérie, Maroc, Tunisie, Libye, Egypte	111,2	147,6	221
Afrique de l'Est Djibouti, Ethiopie, Kenya, Ouganda Somalie, Soudan	116,3	168,9	324
Afrique de l'Ouest 6 pays sahéliens + Cap-Vert, Gambie, Guinée-Bissau	40,3	56,9	105
Total	267,8	373,4	650

**Afrique
contemporaine**
N° 161 (spécial)
1^{er} trimestre 1992

Climats et
ressources en eau

74

En se fondant sur les bilans actuels établis pour l'Afrique (37) et en supposant que les ressources en eau restent constantes, chaque habitant disposerait théoriquement en l'an 2025, de 500 m³/an en Afrique du Nord, de 800 m³/an en Afrique de l'Est et de 3 000 m³/an en Afrique de l'Ouest.

L'Afrique du Nord apparaît particulièrement vulnérable puisque la consommation actuelle y atteint déjà 642 m³/an et que nombre d'aquifères sont surexploités. L'Afrique de l'Ouest semble encore jouir d'une large marge de manœuvre puisque les prélèvements moyens par habitant sont seulement de nos jours de 148 m³/an.

Mais la réalité est bien plus complexe : faible partie de la ressource réellement exploitable, grande proportion d'apports fluviaux exogènes forcément localisés, développement urbain accéléré exigeant d'aller chercher l'eau très loin (alimentation en eau de la ville de Dakar, par exemple).

L'aspect qualitatif de l'eau devient également crucial au fur et à mesure que croissent les pollutions de tous ordres. Assainissement ou épuration des eaux font largement défaut : il ne faut pas oublier qu'un Africain sur deux n'a toujours pas accès à l'eau potable.

Evolution de la ressource

L'incertitude est la règle en ce domaine... La ressource va bien sûr dépendre de l'évolution du climat mais aussi de la réponse de l'environnement et des actions anthropiques de plus en plus marquées. Il est certain que la désertification va intervenir pour modifier la ressource : augmentation de l'albedo* réduisant les précipitations, raréfaction de la végétation favorisant la propagation du ruissellement, imperméabilisation des sols réduisant l'infiltration, etc. Par ailleurs, la sécheresse persistante met bien en évidence la grande inertie des bassins fluviaux une fois que les réserves souterraines sont très diminuées : ainsi, malgré des pluies moins déficitaires ces dernières années, la « reprise » de l'écoulement est très lente sur le bassin du Niger dont les apports restent très faibles, proches des minimaux absolus.

Il n'existe aucun consensus parmi les scientifiques quant à l'évolution probable du climat (persistance de pluies déficitaires ? nouvelle aggravation ?

(37) Voir note 11.

* Pouvoir de réflexion du sol.

rapide retour à une phase humide ?). Ceci est également valable quant à la désertification (va-t-elle continuer à s'étendre et à s'intensifier ; va-t-elle devenir irréversible ou, au contraire, les possibilités de régénération des milieux subsister et n'attendre que le retour de pluies plus favorables et une action concertée de l'homme ? ...).

Les fluctuations climatiques nombreuses et parfois rapides décrites précédemment vont sans nul doute se poursuivre dans l'avenir mais les causes de leur variabilité seront certainement de moins en moins dues à des conditions naturelles. En effet, l'action de l'homme sur le climat paraît devoir jouer un rôle majeur dans les décennies à venir si aucune mesure n'est prise (augmentation des gaz à effet de serre) (38,39,40).

● Conclusion

Il est reconnu que l'on assiste depuis le pluvial Holocène (9 000 BP) à une aridification de la zone saharo-sahélienne mais ce phénomène n'a pas le caractère lent et progressif que l'on imagine en général.

L'amélioration de la finesse des datations montre que des conditions durables très arides ou très humides peuvent s'installer en quelques générations seulement. Le dernier millénaire connu des oscillations de fortes amplitudes et une phase très humide il y a seulement plusieurs siècles.

La persistance de la sécheresse actuelle en zone aride est riche d'enseignements quant au comportement des systèmes aquatiques et quant à la transformation du milieu avec une intervention anthropique croissante.

De grandes incertitudes règnent quant au sens de l'évolution climatique dans les décennies à venir. L'effet possible d'un doublement du taux en gaz carbonique d'ici à 2025 sur les précipitations et sur les écoulements en zone intertropicale fait l'objet de résultats très contradictoires suivant les modèles de circulation générale utilisés. Les scientifiques ne sont donc pas en mesure, à l'heure actuelle, d'estimer de façon fiable si les ressources en eau globales auront été sensiblement modifiées à cette époque.

De grandes inégalités existent dans la répartition et dans l'utilisation de la ressource en eau par pays, le taux d'exploitation de 5 % pour l'Afrique masquant des situations très diverses suivant les régions. Il est toutefois certain que les besoins en eau vont augmenter considérablement sous l'influence de la croissance démographique et des besoins légitimes du développement.

La grande variabilité spatio temporelle de la ressource va rendre « l'accès à l'eau » d'autant plus difficile que la concentration de la population va s'accroître (33 % de la population sera urbaine en l'an 2000).

Par ailleurs, l'eau déjà vecteur de maladies tropicales nombreuses va connaître une pollution chimique croissante, particulièrement sensible dans les zones urbaines. Le retard dans le traitement des eaux est considérable, malgré des actions réussies dans le domaine médical (programme de lutte contre l'onchocercose de l'Organisation mondiale de la santé qui élimine les larves de simules dans les rivières. D'autre part, le recours aux ressources en eau non renouvelables (voir en fin d'article l'encadré de Jean Margat sur « les eaux fossiles »), qui est souvent la règle pour de vastes régions arides, ne pourra se poursuivre indéfiniment : partout, ces ressources bien que considérables étant condamnées à s'épuiser ou à devenir plus difficilement exploitables.

(38) Mabbutt (J.A.). — Impacts of carbon dioxide warming on climate and man in the semi-arid tropics. — *Climatic change* 15 p., 191-221, 1989.

(39) IPCC 1 (International Panel on climatic change). — *Aspects scientifiques des changements climatiques*. — Groupe de travail 1. — OMM, PNUE, Genève 1990.

(40) IPCC 2 *Incidences potentielles du changement climatique*. — Groupe de travail 2. — OMM, PNUE, Genève 1990.

Le fragile équilibre besoins-ressources en eau sera le problème numéro un du XXI^e siècle dans de nombreux pays africains qui pourront connaître une situation vulnérable voire conflictuelle liée au problème des « eaux partagées » (20 pays africains sont concernés par des bassins fluviaux « internationaux »). Il existe néanmoins des moyens pour remédier à ces perspectives inquiétantes.

Le premier est l'augmentation de la partie exploitable de la ressource. Ceci comprend une vaste gamme de techniques pour assurer la maîtrise « sur » l'eau : augmentation des apports, réduction des pertes, captage de la ressource, gestion appropriée et sélective de la ressource. Ces techniques sont parfois malheureusement onéreuses et limitent leur généralisation. Les aménagements hydrauliques sont évidemment nécessaires mais il faut éviter tout foisonnement anarchique ou l'oubli trop souvent réel de leurs multiples conséquences sur l'environnement. Par ailleurs, le comblement rapide des retenues dans les zones arides très érodables diminue sérieusement leur durée de vie escomptée.

Un exemple prometteur de maîtrise des effets induits par les aménagements et de leur gestion est donné par les activités de l'office de mise en valeur du fleuve Sénégal (OMVS), les programmes en cours devant déboucher sur la gestion en temps réel des barrages (Diama et Manantali) en fonction des contraintes climatiques et sur le contrôle de la crue artificielle du Sénégal.

Le second moyen concerne le long terme, il s'agit des transferts d'eau à grande échelle depuis les zones les plus arrosées du continent...

Ces projets « d'après demain » nécessiteront des moyens techniques et financiers considérables et demanderont une vaste collaboration internationale. Les grands programmes qui se développent actuellement, tels le programme international Géosphère-Biosphère ou la tenue de la seconde conférence mondiale sur le climat, à Genève en novembre 1990, pour sensibiliser les gouvernants de la planète, sont des prémices. Prémices encourageants d'un effort à venir sans précédent pour comprendre le climat, atténuer les effets nocifs de l'homme sur son environnement et fonder les bases d'une véritable solidarité internationale.

Les eaux fossiles
Jean Margat *

Définition et localisation

Grâce à leur constitution géologique, de grandes régions arides d'Afrique septentrionale, très dépourvues de ressources en eaux renouvelables, disposent de réserves d'eaux souterraines profondes considérables et indépendantes des conjonctures climatiques actuelles : ce sont tout particulièrement les bassins sédimentaires du Sahara septentrional en Algérie et Tunisie, et l'immense bassin de Nubie, en Libye et en Egypte occidentale. Ces eaux souterraines sont souvent dites « fossiles » parce que leur pénétration dans le sous-sol date, sinon des temps géologiques, du moins d'âges préhistoriques : une à plusieurs dizaines de millénaires. Comme ces époques reculées correspondent à des climats plus humides qu'aujourd'hui, cela a souvent fait croire que ces eaux se seraient formées préférentiellement alors, et seraient des « héritages », conservées et piégées comme des hydrocarbures. Elles sont très anciennes, au coeur de ces grands réservoirs, aux lieux où on les capte par forage, ou à leurs rares émissaires naturels, parce qu'elles se déplacent très lentement sur des trajectoires immenses. Mais

* Hydrologue, BRGM (Bureau de recherche géologique et minière).

elles ne coulaient pas plus vite et l'alimentation des aquifères profonds n'était pas plus abondante en ces époques plus arrosées : simplement leurs aires d'alimentation périphériques débordaient davantage et aujourd'hui encore les eaux sont modernes sur les bordures de ces bassins.

Des réserves énormes

Ces grands réservoirs profonds présentent plusieurs avantages. Leurs volumes sont énormes, ils se chiffrent en milliers ou dizaines de milliers de milliards de m³, et ils offrent des ressources à l'abri des aléas climatiques, en garantissant des productions stables pendant plusieurs dizaines d'années. Les productivités des forages y sont souvent élevées (plusieurs centaines de m³/h) et leur jaillissement initial, permis par de fortes pressions, est fréquent, ce qui rend les exploitations économiques. Aussi les approvisionnements en eau de ces régions, notamment pour l'irrigation des oasis, sont assurés pour l'essentiel par l'exploitation de ces eaux profondes.

Des ressources non renouvelables

En revanche les profondeurs d'accès sont en général grandes, de plusieurs centaines de mètres, parfois plus de 1 000 m, ce qui grève les coûts d'exploitation et d'équipements ... La durée du jaillissement initial est limitée et écourtée si les puits prolifèrent, nécessitant le passage au pompage qui élève les coûts de production. Enfin, et surtout, il s'agit de ressources non renouvelables dont l'exploitation est nécessairement en régime de déséquilibre, c'est-à-dire d'épuisement, donc limitée à plus ou moins long terme. L'extraction des réserves l'emporte sur le seul captage du débit naturel, localement minime, et elle commence bien avant que l'ensemble des prélèvements excède l'alimentation globale de l'aquifère, en raison de fortes baisses de niveau que l'exploitation détermine nécessairement. L'épuisement correspond, en règle générale, non au déstockage effectif des réservoirs qui ne sont « vidés » que très partiellement, mais aux chutes de pression qui rendent l'eau inexploitable quand les niveaux de pompage s'abaissent au delà de profondeurs de 250 à 300 m. D'où l'opportunité de gérer au mieux la « rente minière » offerte par l'exploitation de ces réserves d'eau, en réglant sa durée de manière compatible avec les délais requis pour préparer les relais obligatoires à long terme.

Tableau 1
Principaux grands réservoirs aquifères
d'eau « fossile » en Afrique septentrionale

Pays	Dénomination	Etendue en 1 000 km ²	Volume en réserve en 10 ⁹ m ³	Alimentation actuelle (Flux moyen) en 10 ⁶ m ³ /an (1)	Durée de renouvellement théorique en années	Exploitation actuelle (années 80) en 10 ⁶ m ³ /an
Egypte Libye Soudan Tchad	Grès de Nubie	2 000	75 000	~1 000	75 000	~600
Algérie Tunisie	complexe terminal (Sahara septentrional)	350	~20 000	~580	~35 000	500
Algérie Tunisie	continental intercalaire (Sahara septentrional)	600	~40 000	270	150 000	300
Niger Nigeria Mali	continental intercalaire (Grès de Tegama Bassin de Sokoto ...)	~500	10 000 à 15 000	~800	10 000 à 20 000	négligeable
Sénégal Mauritanie	Bassin sénégalo-mauritanien, Maestrichtien	200	~1 500	130	~12 000	~10

(1) Outre que cette alimentation est seulement la moyenne d'apports épisodiques peu fréquents (décennaux ou encore plus rares) et localisés dans les zones périphériques de ces réservoirs, elle est globalement en équilibre avec des débits sortants naturels plus réguliers : émergences ou évaporations. Dans ces aquifères immenses, les exploitations parviennent très difficilement et, de toute façon avec beaucoup de retard, à réduire ces débits naturels auxquels elles s'ajoutent donc pendant des dizaines d'années, sans rééquilibrage possible. Aussi, même si les volumes extraits sont inférieurs à ceux des apports moyens ou du même ordre, ils entament nécessairement pour l'essentiel les réserves de ces aquifères.

Afrique contemporaine

• l'environnement en Afrique

sous la direction de Guy Pontié
et Michel Gaud

La **documentation** Française

