

FACTEURS DE MILIEU

CADRE PHYSIQUE

Située à l'extrémité orientale de la République du Mali, aux confins de ses frontières avec l'Algérie et le Niger (fig. 1), le territoire couvert par cette étude recouvre des paysages fort variés inféodés à deux entités éco-géographiques bien individualisées, l'Adrar des Iforas et le Gourma.

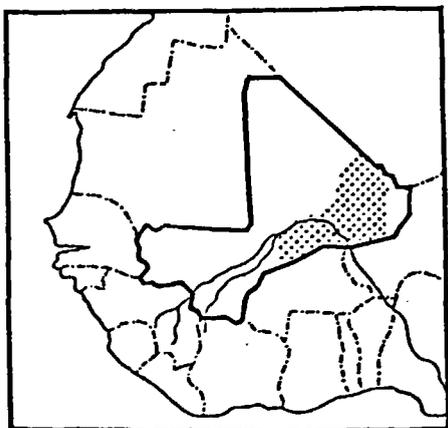


figure n° 1

Ces deux régions peuvent être réunies en un complexe limité par les 4° de longitude Ouest et Est (le méridien de Greenwich passant sensiblement par GAO) et les 14° et 20° de latitude Nord, embrassant également l'Azaouad et le Tamesna.

Le réseau hydrographique, actuel ou fossile, permet de délimiter les unités morphologiques suivantes :

- le fleuve Niger, tout d'abord, qui découpe la région d'Ouest en Est, pour se diriger ensuite vers le Sud, en séparant le Gourma des autres contrées.

- les vallées fossiles de l'Azaouad et du Tilemsi continuent de situer l'ensemble, en traçant les frontières de l'Azaouad et du Timétrine à l'Ouest, de l'Adrar des Iforas au centre Nord et du Tamesna à l'Est (fig. 2).

L'Adrar des Iforas se situe dans la partie la plus méridionale du Sahara ; il est limité par les parallèles 21° et 18° Nord, et les méridiens 0° 30 et 3° Est.

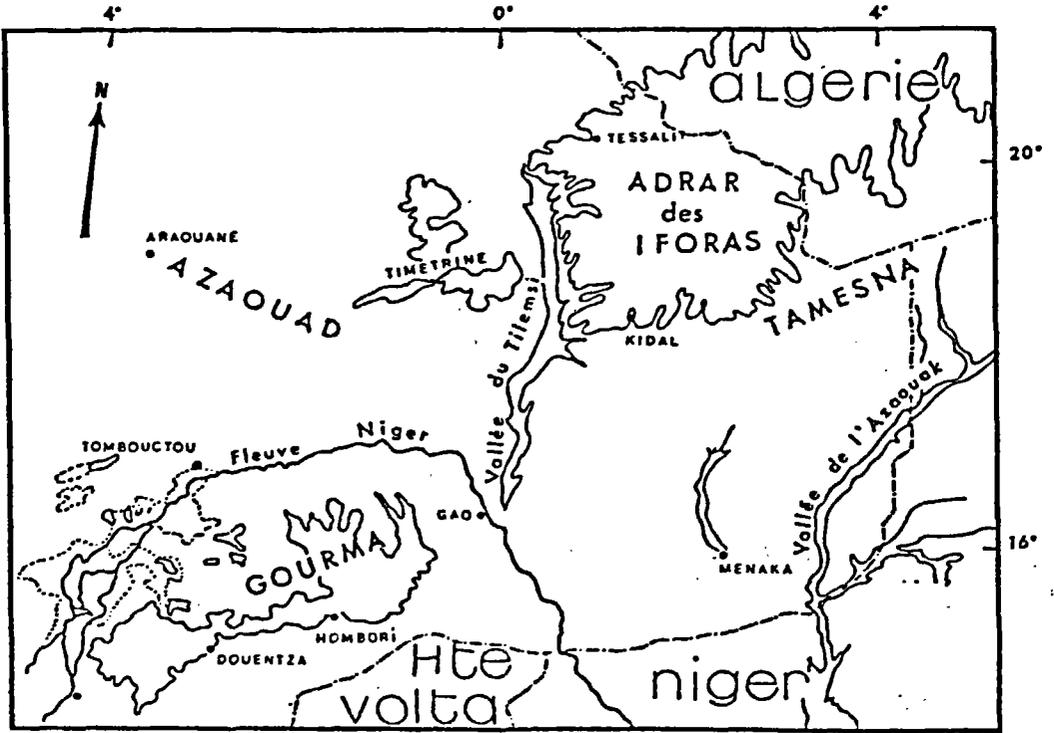


figure n° 2

Entaillés par de puissants oueds, les reliefs y sont peu accusés et l'altitude moyenne fort modeste. Bien qu'aucun des sommets n'atteigne 1 000 mètres, chicots, pitons et dômes, fortement diminués par une pénéplénation importante, marquent le paysage en l'opposant aux basses plaines environnantes : Tanezrouft au Nord, Azaouad et Tilemsi à l'Ouest, Tamesna à l'Est.

L'Adrar doit son modelé au substratum géologique et aux vicissitudes climatiques passées (R. KARPOF, 1960). Sans doute soumis à 500 millions d'années d'ablation continentale, il apparaît comme le plus érodé de tous les massifs sahariens. Privé d'un volcanisme récent, il en est le plus modéré, le moins insolent. Dans cet ensemble, et suivant la rigueur du relief, trois grands types de paysages peuvent être définis :

- des plaines cristallines ou sédimentaires où un inféro-flux important masque souvent la xéricité du pays ;
- des plateaux à l'aspect varié ;
- des reliefs très émoussés, où l'érosion en boule domine, constituant l'essentiel du paysage.

Situé tout entier dans la boucle du Niger, le Gourma apparaît comme une vaste pénéplaine de 300 mètres d'altitude moyenne.

Le substratum, essentiellement argilo-schisteux, est à moitié recouvert d'un ensemble de cordons dunaires quaternaires (J.C. LEPRUN, 1978) d'orientation E-NE - W-SW.

Du substrat se dégagent, çà et là, des couches de roches dures notamment vers le Nord-Ouest, donnant des mammelons et des crêtes ne dépassant guère 50 m de hauteur. Exceptionnellement, ces reliefs atteignent parfois 100 m aux monts Borna, Tailout et Ekia.

Au Sud, une succession de courtes crêtes de grès quartzites ainsi que quelques buttes témoins de schistes cuirassés sont les derniers vestiges d'un relief tabulaire ancien.

L'endoréisme dominant y conduit à la constitution de chapelets de mares dont certaines sont permanentes, celle de Gossi en particulier.

La pénéplaine du Gourma se poursuit à l'Est dans l'Hâoussa avec un substratum indentique, et vers le Sud, dans le Gondo, avec un substratum différent. A la limite du Gondo des buttes témoins, allongées d'Ouest en Est au niveau du 15° parallèle, dominent le paysage avec des hauteurs de 1 150 m dans la région des monts de Hombori et de Douentza.

GEOLOGIE

L'histoire géologique de ces régions voit son point de départ sur un immense crâton constitué de chaînes fortement érodées, souvent granitisées, le Précambrien D et C, dont on retrouve les traces en Mauritanie, au Sahara occidental, en Algérie, au Mali et au Niger.

Le Précambrien D, ou Suggarien, s'individualise dans l'Adrar des Iforas où il présente des faciès cristallophylliens (ectinites, migmatites, faciès charnockitiques) ainsi que des massifs granitiques dont la superficie reste relativement restreinte (fig. 3).

Souvent divisé en deux entités, le Précambrien C, ou Pharusien, est surtout localisé dans l'Adrar ; il y apparaît sous forme d'ectinites d'origine sédimentaire et volcanique, et de migmatites toujours liées à des granites syntectoniques tardifs, ou plus souvent post-tectoniques.

Le Précambrien A est marqué par l'installation sur les formations précédentes d'un immense bassin subsident, le bassin de Taoudeni et de ses prolongements qui persistera durant la majeure partie du Primaire.

Le cycle du Précambrien A est marqué par trois types de formations :

- les couvertures de plateformes, sédimentaires et subhorizontales, bien développées au Gourma, sous le nom de groupe de Hombori (R. REICHEL, 1972) ;
- les chaînes et couvertures plissées, largement représentées au Gourma également, où elles constituent le groupe d'Ydouban (R. REICHEL, 1972) de nature pétrographique variée et qui comprend schématiquement deux grands ensembles de roches à peu près comparables mais qui se distinguent par leur chimisme dû principalement à la présence, soit de schistes, soit de calcaires et de dolomies ;
- les granites atectoniques enfin, qui apparaissent en petits massifs bien circonscrits dans les massifs du Sahara central ainsi que dans l'Adrar des Iforas.

Les formations paléozoïques sont finalement peu présentes sur notre territoire et relèvent du bassin de Taoudeni. Généralement scindées en deux ensembles (le primaire de couverture de plateforme et le primaire de la chaîne des Mauritanides), elles sont attribuées au Cambro-ordovicien.

Après une période d'émersion, de nouveaux bassins sédimentaires se mettent en place ; du Jurassique au Néogène alternent ainsi régimes continentaux et marins, accompagnés de manifestations plutoniques.

Les formations secondaires et tertiaires sont à rattacher à deux grandes fosses, une fosse occidentale, qui correspond aux territoires du Mali et de la Mauritanie, et une fosse orientale qui recouvre la région du Niger, reliées entre elles par le détroit soudanais.

Le Crétacé inférieur (Continental intercalaire), le Crétacé supérieur, le Paléogène et le Mio-pliocène sont les représentants de ces périodes sédimentaires.

Le Crétacé inférieur, souvent recouvert de formations dunaires, y occupe une large place. Au Sud de Taoudeni, deux séries ont été distinguées bien que la stratigraphie du Continental Intercalaire reste encore assez mal définie pour ces régions.

Le Crétacé supérieur, surtout cantonné au Niger, est constitué par une succession de formations marines et continentales.

Le Paléogène montre un ensemble de calcaires et de marnes blancs, encadrés par deux séries de schistes papyracés jaunâtres.

Le Mio-pliocène est largement représenté dans notre région par le Continental terminal d'une part, qui s'étire à travers le détroit soudanais de l'Ouest de l'Adrar des Iforas jusqu'au fleuve Niger, et des formations hamadiennes dont l'âge n'a pu clairement être établi.

Outre ces formations précambriennes puissantes, une grande partie de la zone prospectée est recouverte par diverses formations quaternaires qui masquent le substrat.

Apparaissent, dans l'ordre croissant d'âge :

- des alluvions récentes en bordure du Niger ;
- un manteau éolien dunaire épais ;
- des alluvions anciennes ourlant la vallée du Niger au Nord et occupant la ride N-S de la piste Baouno-Gossi (H. RADIER, 1959).

CLIMATOLOGIE

1. Précipitations

Sur l'ensemble du territoire considéré, les précipitations s'étendent sur une courte période, de un à trois mois : mi-juin à mi-septembre pour les zones les plus arrosées (Douentza, Hombori), et mi-juillet à mi-septembre pour les zones les plus sèches (Gao, Araouane, Kidal).

Ce régime de précipitations est lié à la rencontre de deux masses d'air, l'une méditerranéenne, l'autre d'origine tropicale, déterminant le front inter-tropical, ou FIT, dont la remontée vers le Nord déclenche la saison des pluies dans le Gourma et le Touat-Adrar.

Tableau n° 1 : PLUVIOMETRIE

Station	Lat. N	Période	\bar{p}	minimum	maximum	P-p	p/P	σ	coef var. p.100
TESSALIT	20°12	1948-1975	83	18 (1972)	185 (1956)	167	0,10	40,3	49
ARAOUANE	18°54	1926-1946	61	12 (?)	260 (?)	248	0,05	-	-
KIDAL	18°26	1956-1977	141	83 (1969)	203 (1959)	120	0,41	36,7	28
GOURMA-RHAROUS	16°53	1950-1976	169	77 (1972)	306 (1950)	229	0,25	56,1	33
TOMBOUCTOU	16°41	1950-1976	193	100 (1966)	380 (1954)	280	0,26	61,7	29
GAO	16°16	1920-1977	260	128 (1974)	491 (1930)	363	0,26	86,7	33
MENAKA	15°52	1926-1950	225	-	-	-	-	-	-
HOMBORI	15°17	1650-1976	434	300 (1972)	767 (1950)	467	0,39	98,5	23
DOUMENTZA	15°	1950-1976	506	245 (1972)	839 (1950)	594	0,29	103,9	21

Tableau n° 2 :

Station	m	\bar{m}	M	Période
TESSALIT	11.9 (janvier)	28.6	43.1 (juin)	1948-1953
ARAOUANE	8.1 "	28.3	45.7 "	1927-1941
KIDAL	11.5 "	28.5	43.6 "	1926-1941
TOMBOUCTOU	11.4 "	28.5	41.2 "	1941-1970
GAO	14.2 "	29.8	43.2 (mai)	1936-1950
MENAKA	14.8 "	30.3	43.7 "	1936-1950
HOMBORI	16.5 "	29.8	42.1 "	1941-1970

(m) Moyenne des minimums du mois le plus froid,

(\bar{m}) Moyenne approchée annuelle,

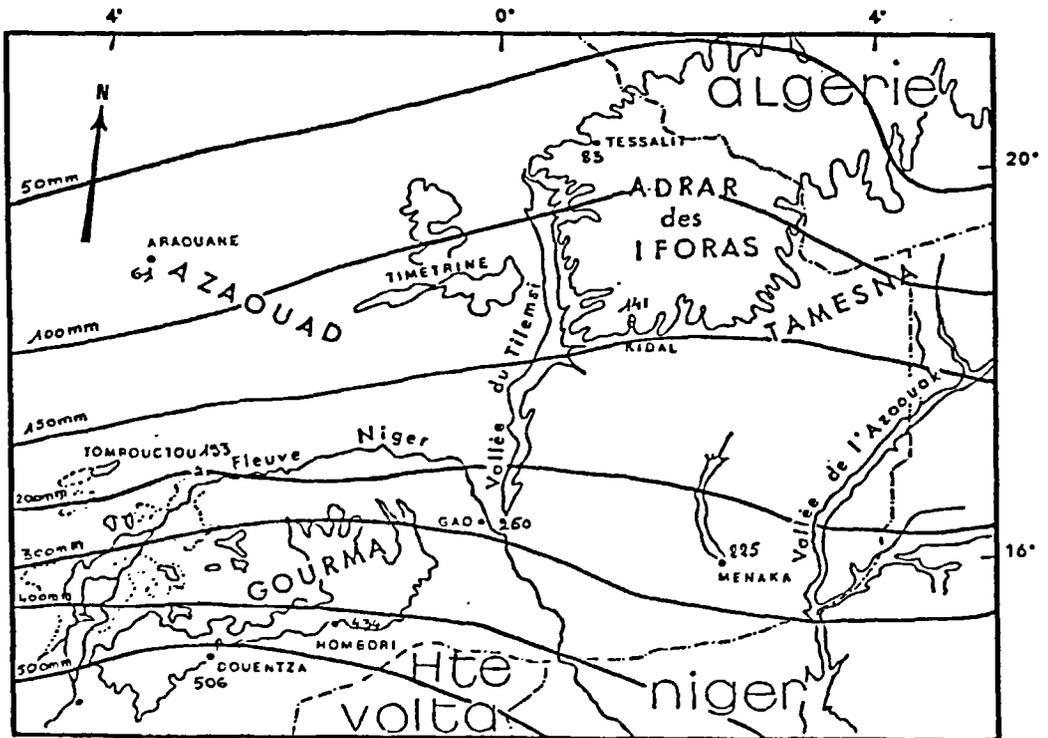
(M) Moyenne des maximums du mois le plus chaud.

Les pluies apparaissent donc régulièrement (contrairement aux zones plus septentrionales) et ceci exclusivement pendant la saison chaude (Tableau n° 1).

Si ces précipitations demeurent partout insuffisantes, surtout si l'on considère la température moyenne toujours élevée, leur augmentation et leur étalement relatif, suivant un gradient Nord-Sud, permet, dans la région du Senomengo, une période de végétation plus longue ; c'est ainsi qu'à Tombouctou ou à Gao, il tombe pendant le seul mois d'août \pm 65 p.100 des précipitations annuelles, tandis que dans les régions de Douentza et de Hombori, ce coefficient s'abaisse pour le même mois aux alentours de 50 p.100.

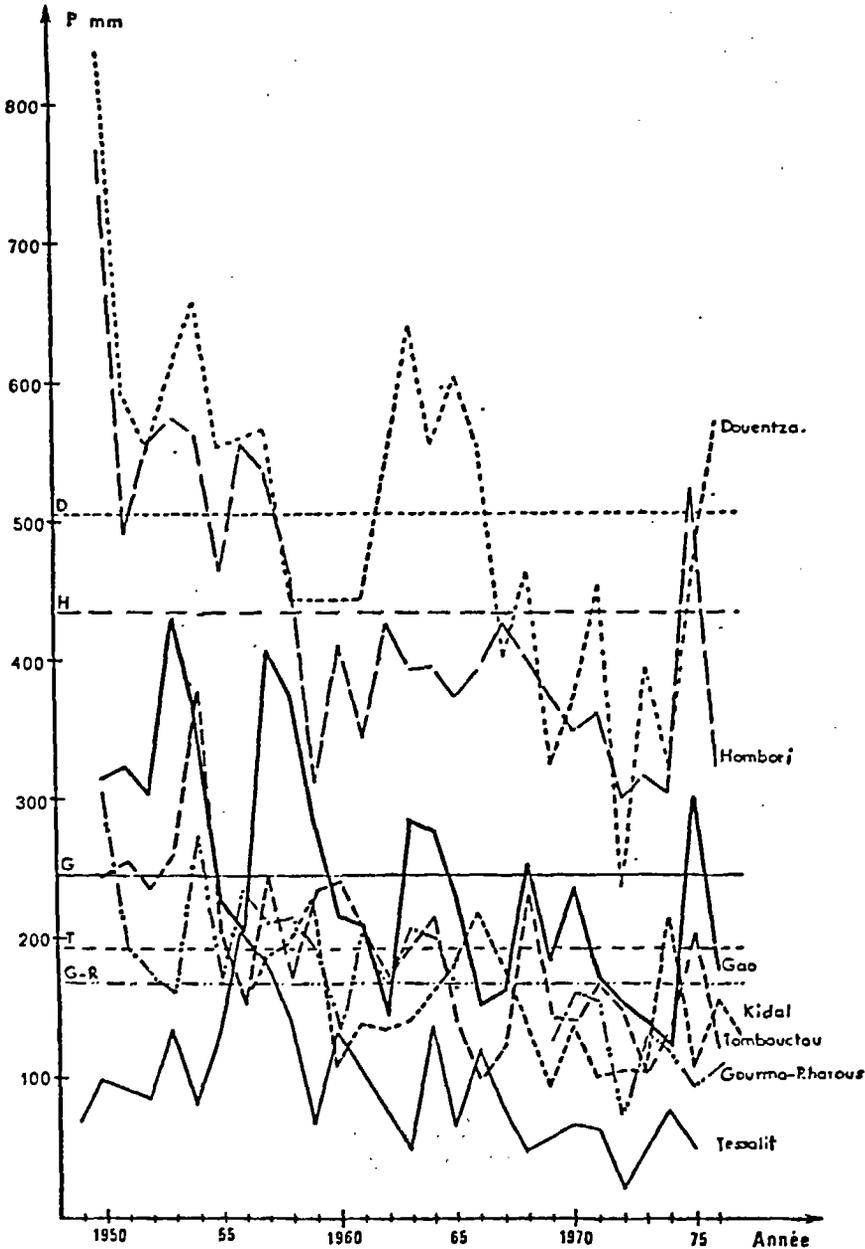
L'importance des précipitations est surtout fonction de la latitude (Tessalit : 83 mm, Douentza : 506 mm) ; il existe néanmoins un gradient altitudinal perceptible au Sud près du Tondo de Hombori, au Nord dans les régions montagneuses de Kidal et de Tessalit (fig. 4).

figure n° 4



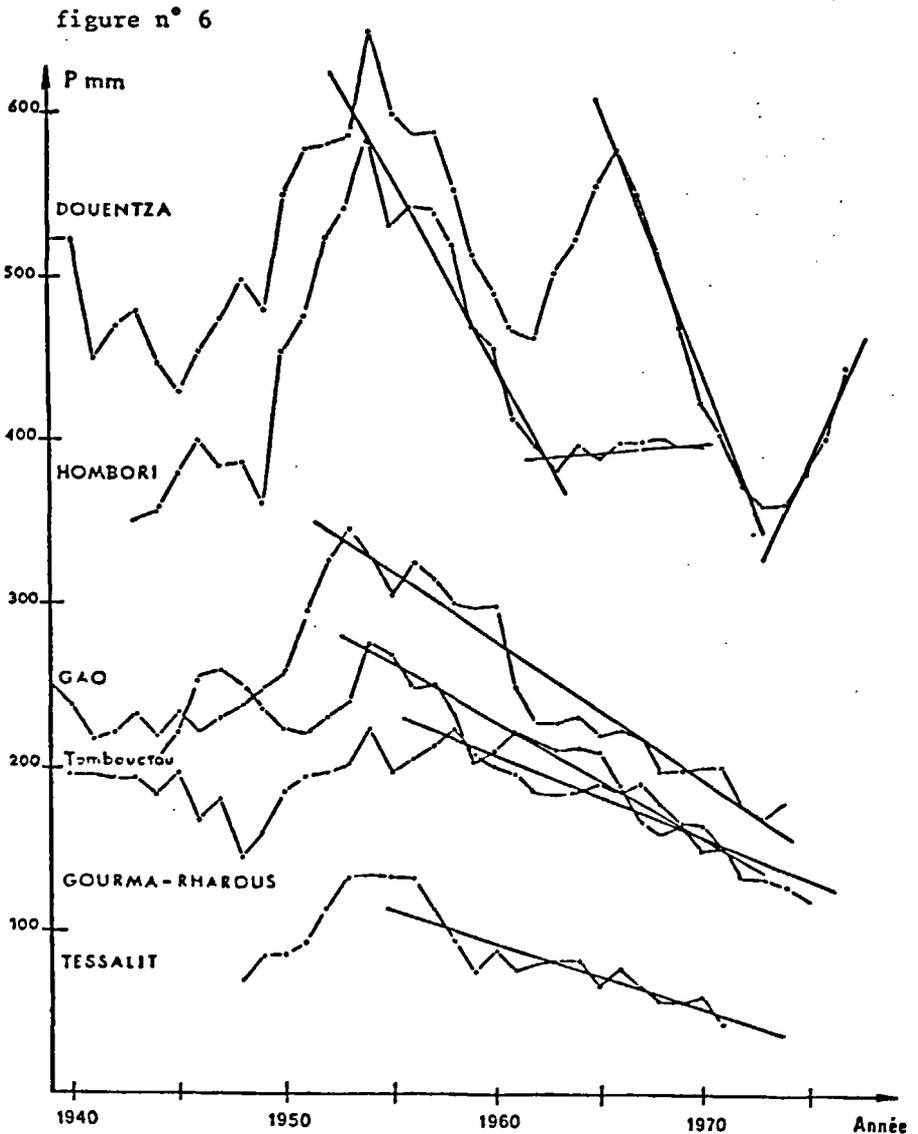
La variabilité inter-annuelle est partout très importante avec un coefficient de variation oscillant entre 21 et 49 p.100 (fig. 5).

figure n° 5



Les courbes de tendance, établies suivant le principe des moyennes quinquennales (fig. 6) montrent clairement une nette diminution de la pluviosité sur l'ensemble de la région, avec un minimum accusé durant la période 1968-1973.

Bien que cette méthode présente des inconvénients, elle rend finalement assez bien compte, non seulement de cette nette péjoration climatique qui semble s'être dessinée aux alentours de 1955, mais également d'une certaine "normalité" du phénomène. En effet, au regard des courbes de tendances, abondances et indigences climatiques paraissent se succéder inexorablement marquant d'une empreinte heureuse ou malheureuse le paysage et les hommes.



Des droites de régression ont été par ailleurs calculées sur les phases descendantes de chacune des courbes ; elles permettent d'évaluer les diminutions pluviométriques annuelles pour les périodes considérées sur l'ensemble des stations.

La régression pluviométrique annuelle varie de 23 mm à 4 mm suivant un gradient latitudinal bien compréhensible ; on peut également remarquer que les coefficients de régression diminuent du Sud au Nord, traduisant, peut être, le caractère aléatoire des précipitations pour les stations à tendance saharienne.

HOMBORI	$y = 609.49 - 23.03 x$	$r^2 = 0.95 - 23.03 \text{ mm/an}$
DOUENTZA	$y = 608.45 - 33.20 x$	$r^2 = 0.98 - 33.20 \text{ mm/an}$
GAO	$y = 342.6 - 8,26 x$	$r^2 = 0.93 - 8.26 \text{ mm/an}$
TOMBOUCTOU	$y = 275.62 - 7,66 x$	$r^2 = 0.93 - 7,66 \text{ mm/an}$
GOURMA-Rh.	$y = 222.54 - 5.23 x$	$r^2 = 0.89 - 5.23 \text{ mm/an}$
TESSALIT	$y = 112.73 - 4.01 x$	$r^2 = 0.78 - 4.01 \text{ mm/an}$

D'autres droites ont été établies pour Hombori et Douentza où une phase de progression pluviométrique peut être mise en évidence :

HOMBORI	$y = 386.79 - 1.56 x$	$r^2 = 1.56 + 0.3 \text{ mm/an}$
DOUENTZA	$y = 328.10 - 27.12 x$	$r^2 = 0.96 + 27.12 \text{ mm/an}$

Alors que l'ensemble des stations montre des courbes de tendances tout à fait analogues, Douentza manifeste un singulier comportement climatique avec un maximum pluviométrique interrompant une phase de sécheresse partout ailleurs ininterrompue.

2. Températures

Au Gourma comme dans l'Adrar, janvier est le mois le plus froid avec un gradient décroissant des minimums du Sud vers le Nord (Hombori : 16.5°C, Araouane : 8.1°C) (Tableau n° 2).

Les moyennes des maximums sont notées en mai pour la zone Sud, en juin pour le zone Nord, et ce avec peu d'amplitude entre les stations les plus extrêmes (Tombouctou : 41.2°C, Araouane : 45.7°C). Cette stabilité se retrouve dans les températures moyennes annuelles approchées.

L'évaporation, minimale en août, présente deux maximums ; le premier, le plus sévère en mai, le second pendant le mois de novembre (G. BOUDET et coll., 1971).

BIOGEOGRAPHIE

L'embarrassante biogéographie des marges tropicales sèches africaines ne peut se suffire, à l'inverse des premiers auteurs, du seul paramètre végétation, reflète candidement d'une pluviosité raisonnablement progressive du Nord vers le Sud avec des isohyètes méridiens. Vision primaire et ancestrale d'une Afrique à étagements verticaux. Ce n'était pas commodité mais logique : à rien ou à l'éphémère, le domaine Saharien, aux savanes arbustives, le domaine Sahélien, aux savanes arborées, le domaine Soudanien, aux forêts claires, le domaine Oubanguien, aux forêts denses, le domaine Centrafricain (J.L. TROCHAIN, 1952).

Ce choix s'explique en partie par la méconnaissance de la flore, mais essentiellement par une absence quasi-totale "d'une documentation floristique suffisante sur les aires et les endémiques, les centres d'origine, les souches et les éléments" (J.L. TROCHAIN, 1952).

Et cela est grave, car ce qui oppose la chorologie du Sahara à la chorologie du Sahel, c'est que la monotonie -relative- du paysage, autrement dit de la végétation, conduit à l'impérieuse nécessité d'apporter une attention tout à fait particulière à la flore, autrement dit aux taxons.

C'est de la proportion relative des divers éléments floristiques, beaucoup plus que l'apparition ou la disparition de vedettes, habituellement utilisées pour limiter géographiquement des pays (*Cornulaca monacantha*, *Cenchrus biflorus*) que devrait reposer la biogéographie.

Inversement, dès que l'on franchit vers le Sud une frontière s'identifiant évidemment au facteur climatique, l'aspect du paysage change rapidement, la diversité de la végétation semble essentielle, des espèces vedettes bien choisies confortant les physionomies : brousse à *Acacia senegal*, brousse à *Acacia raddiana*, brousse claire à *Combretacées*.

Mais est-ce bien suffisant, la définition du territoire phytogéographique devant reposer sur la trilogie : végétation, flore, climat ?

En ce qui concerne la végétation, c'est, dans notre périmètre, l'aspect du tapis herbacé (steppe, savane), la densité des arbres (forêt claire), le type de phanérophyte (steppe arbustive) qui sont généralement requis vis-à-vis du facteur humidité; ces deux éléments, par exemple : *Commiphora africana*, liaison Sud sahélienne-Nord soudanienne, *Piliostigma reticulatum*, soudanienne à irradiation sahélienne.

Ce qui nous amène à constater l'importance, à nouveau, que l'on doit accorder au troisième composant du tryptique, le climat. Il est évident de constater qu'à un certain bioclimat correspond un paysage, encore faut-il bien en voir les raisons.

Essentiellement, nous l'avons déjà dit, dans ce plat pays, le facteur humidité est déterminant, l'apparition d'une saison des pluies, sa durée ensuite - qui n'est pas sans influencer sur l'évapotranspiration - sont déterminants pour la flore.

Cette augmentation de la pluie durant la saison chaude (juillet à septembre) l'absence de gelées (isotherme du mois le plus froid + 15°C), autorisent la pénétration progressive d'un cortège floristique plus mésophile et la disparition du cortège xérophile.

De quelques millimètres par an à 150 mm/an, l'étage érémitique tropical n'est qu'un "mischgebiet" qu'accentue la physiographie ou la diversité édaphique.

De 150 mm à 500 mm/an, l'étage bioclimatique sahélien prend insensiblement le dessus, il s'affirme dans le Gourma où la steppe sahélienne, essentiellement constituée d'éphémérophytes, voisine avec des lambeaux de brousse tigrée, d'affinité soudanienne.

Quant à l'étage bioclimatique soudanien, il balbutie à la frontière Sud du Mali sans encore s'affirmer pleinement, ce qui confirme l'indice xérothermique de GAUSSEN. Ce pays, haut lieu de la culture sèche du Mil, est bien dégradé ; la végétation naturelle n'est plus que souvenir. Quant à la flore, très anthropisée, elle n'est que pâle reflêt de la réalité.

Les premiers voyageurs avaient constaté cette zonation de la végétation parallèle aux méridiens et coïncidant dans l'ancien Soudan à une distribution également parallèle des isohyètes, ce qui avait conduit à cette vision ancestrale d'une distribution étagée allant du plus sec au plus humide.

Il a fallu depuis se détromper, surtout que l'on sait depuis longtemps qu'un élément floristique important est soudano-zambézien, ce qui n'est guère conforme à une stratification rationnelle.

Pour ce qui est de la flore, les choix antérieurs nous satisfont ; depuis les marges méridionales du Sahara, nous rencontrons en effet quelques paysages remarquables que l'on doit rattacher au groupe Tropic-Africain du PALEOTROPIS et aux régions sino-angolane, faiblement représentée, et soudano-angolane (tableau n°3).

Tableau n°3

Empire : P A L E O T R O P I S			
REGION	SOUDANO-ANGOLANE SOUDANO-ANGOLANE (Th. MONOD, 1957) SOUDANO-DECCANIEUNE (A. EIG, 1931) SOUDANO-ZAMBEZIEUNE (J. LEBRUN, 1947)		SINDO-ANGOLANE
Types (Th. MONOD) Sous-Région (J.P. BARRY et coll. 1976)	SOUDANIEUN	SAHELIEUN	SAHARIEUN
DOMAINES	Sénégalo nilotique	Atlantico nilotique	Saharo africain
SECTEURS	Sud Soudanien Nord Soudanien	Sud Sahélien Nord Sahélien	Saharo tropical

Cette disposition propre au Sahel de l'Afrique tropicale sèche est autorisée par une bonne connaissance de la flore qui selon G. ROBERTY (1940) et B.P. HOCHREUTINEUR (1940) présente deux ensembles génétiques différents, l'un sous la dépendance du Sahara, l'autre sous la dépendance du Soudan et de la Guinée avec une flore méridionale beaucoup plus ancienne.

On sait que cette partie de l'Afrique a été profondément bouleversée au cours du Quaternaire par de nombreuses variations climatiques, bien que les éléments saharo-sindiens (= saharo-arabiques) aient beaucoup plus fluctués que les éléments soudano-angolans. Cette frange sahélienne n'est qu'un mélange de ces éléments que la moindre variation bioclimatique voire édaphique favorise ou non.

C'est pourquoi, à certains saharo-sindiens : *Acacia raddiana*, *Farsetia ramosissima*, *Pergularia tomentosa*, *Panicum turgidum*, se mêlent des éléments sahéliens : *Acacia senegal*, *Aristida stipoides*, *Tephrosia obcordata* et soudaniens : *Guiera senegalensis*, *Dalbergia melanoxylon*.

D'autres espèces, non négligeables, relient, grâce à leur amplitude écologique vis-à-vis du facteur humidité, ces éléments : par exemple :

- *Commiphora africana*, liaison Sud sahélienne, Nord soudanienne ;
- *Piliostigma reticulatum*, soudanienne à irradiation sahélienne.

Tout n'étant que proportion relative de ces divers éléments, il est clair que seule, une liste complète des espèces rencontrées aurait, en fait quelque valeur.

Ce n'est qu'une approche bien sommaire, mais reconnaissons que la trilogie nécessaire à l'analyse biogéographique est malaisée. Si la végétation est bien connue, car aisée à symboliser, la flore n'est parfaitement connue qu'en certains lieux, quant aux bioclimats, leurs définitions s'appuient sur un réseau pour le moins lâche.

Il est cependant possible, dans l'état actuel de nos connaissances, de dresser le tableau récapitulatif n°4 (A. COULIBALY, 1979). L'ADRAR des IFORAS relève du domaine Saharo-africain, secteur Sud Saharo-tropical ; le Gourma se partage en trois secteurs floristiques tandis que le Sénomango amorce le domaine sénégalonilotique.

Tableau n°4

