

Contribution à l'observation de variations environnementales au Mali par l'analyse d'un transect phytogéographique Bamako- Tombouctou

Contribution to an assessment of environmental changes in Mali by the interpretation of a phytogeographical transect Bamako-Tombouctou

¹F. X. HABİYAREMYE, M. et ²E. ROCHE

Abstract : In order to contribute to the assessment of environmental changes in Mali, 38 vegetation samples were done along the phytogeographical transect Bamako (12°38' North) - Tombouctou (16°41' North) in 2001. As results, 218 species were recorded, accounting for 1/8th of the total vascular flora of the country. The existence of only eight endemic plants on the whole territory suggested the integration of the registered taxa into previous large areas chorological systems, as to enhance the interpretation of the transect data.

Only four samples were done on extra-zonal biotopes where 8% of the total species were found. Most of the total inventoried taxa are characterized by a large distribution; 30% of them belong to the Soudano-Zambezian element (S-Z) of which 20% extend even in the Guineo-Congolian region.

A high Saharo-Sindian affinity (SaSi) was also pointed out. It characterizes 45% of the recorded species. This group includes some multiregional plants having an extension into the Sahara. Among the taxa SaSi represented in the SZ region, let us mention the following: *Abutilon angulatum* (Gull. et Perr.) Mast. *Balanites aegyptiaca* Delile, *Calotropis procera* Ait., *Euphorbia aegyptiaca*, *E. balsamifera* Ait, *Guiera senegalensis* J. F. Gmel., *Sparthium junceum* L., *Zizyphus mauritiana* Lam..

The Saharo-Sindian irradiation into the SZ region is consistent with previous observations on bioclimatic changes through previous synecological studies. It confirms the decrease of mesophilous taxa and a simultaneous increase of species which are better adapted to drought. The importance of xerophytes is due to the dryness of the Sahelian bioclimate which progressively expand to the South.

Some scarce tree components occur in the almost bare zone or on sites sparsely covered by steppe threatened with drought. This is case of a remaining fragment of forest dominated by *Combretum micrathum* G. Don, *Faidherbia albida* (Del.) A. Chev. and *Bauhinia rufescens* Lam. found at 47 km from Douentza towards Bambara-Maoundé (15,3936° ; 2,8231°). We consider this vegetation sample as an insight of forest which was formerly widespread in that zone.

These results suggest the necessity of updating floristical distributions, most of which are known from statements made long before 1980. Such revision can support the improvement of assessments of biodiversity for its use as an indicator of environmental variations. The study brought to light the importance of phytogeography among global changes approaches.

Key words: Chorology, environment, Mali, Sahel, xerophytes

Résumé : En guise de contribution à l'évaluation des changements environnementaux au Mali, 38 relevés de la végétation ont été effectués entre Bamako (12°38' Nord) et Tombouctou (16°41' Nord) en 2001. Cet échantillonnage a permis de recenser 218 espèces, soit 1/8ème de la flore vasculaire du pays.

L'existence de 8 plantes endémiques seulement pour tout ce territoire justifie l'intégration de la distribution des taxons inventoriés dans la chorologie concernant toute l'Afrique afin d'interpréter ces données convenablement.

Il n'y a que 4 relevés réalisés dans des biotopes azonaux représentés par des substrats hydromorphes, par ailleurs rencontrés sous diverses conditions macroclimatiques. Ces milieux n'ont fourni que 8% du nombre total des espèces recensées. Pourtant la majorité de celles-ci sont dotées d'une distribution extra-territoriale. Le spectre phytogéographique établi indique notamment l'appartenance de 30% de la flore à l'élément

¹ Musée Royal de l'Afrique Centrale, B- 3080 Tervuren ; email : muhashyi@africamuseum.be

² ULg-Paléontologie végétale, B-4000 Liège 1 ; email : rocheemile@yahoo.fr

Soudano-Zambézien (S-Z); 20 % de ce lot pénètrent en région Guinéo-Congolaise.

L'affinité Saharo-Sindienne (SaSi) est très élevée car elle concerne 45% des taxons identifiés. Ce pourcentage comprend même certaines plantes plurirégionales ayant une extension au Sahara. Parmi les taxons SaSi qui pénètrent dans la région SZ on peut citer : *Abutilon angulatum* (Gull. Et Perr.) Mast. *Balanites aegyptiaca* Delile, *Calotropis procera* Ait., *Euphorbia aegyptiaca*., *E. balsamifera* Ait, *Guiera senegalensis* J. F. Gmel., *Sparthium junceum* L. , *Zizyphus mauritiana* Lam.. L'irradiation Saharo-Sindienne en région Soudano-Zambézienne (S-Z) étaye les observations sur des modifications bioclimatiques connues sur base des données synécologiques antérieures; l'essor progressif des xérophytes est confirmé. Il reflète l'accentuation de l'aridification des bioclimats sahéliens et son extension dans les territoires de plus en plus méridionaux.

Un îlot de forêt à *Combretum micrathum* G. Don, *Faidherbia albida* (Del.) A. Chev. et *Bauhinia rufescens* Lam., observé à 47 km de Douentza vers Bambara-Maoundé (15,3936° ; 2,8231°), en pleine zone semi - désertique, est un indice d'une végétation arborescente qui fut plus étendue sur cette aire.

Ces résultats suggèrent un réexamen des distributions floristiques dont certaines remontent avant 1980. Une telle révision est nécessaire non seulement dans le cadre des bilans de la biodiversité mais aussi pour mettre à profit son rôle de diagnostic des variations environnementales.

Mots-clés : Chorologie, environnement, Mali, Sahel, xérophytes

INTRODUCTION

Le territoire malien s'étend entre 10°37' et 26° 45' de latitude Nord. De cette amplitude résulte un gradient pluviométrique ayant un maximum annuel de plus ou moins 1100 mm dans la partie méridionale du pays et un minimum < 50 mm dans l'extrême Nord (Sahara). Ce gradient et d'autres paramètres climatiques prépondérants, notamment la durée de la période soumise au régime de l'Harmatan, le nombre de mois humides, c'est-à-dire ceux dont les précipitations sont largement supérieures à l'évapotranspiration potentielle ($P \gg ETP$) et la durée de la saison sèche, contribuent à la détermination de plusieurs zones climatiques. A ces zones correspondent des types de végétation distincts; leur structure et leur composition floristique reflètent les facteurs écologiques des territoires phytogéographiques respectifs (Fig. 2).

Parmi les études menées antérieurement sur les écosystèmes maliens, nous nous sommes intéressés particulièrement à celles qui mirent en évidence les changements climatiques (AUBREVILLE 1949 ; JEAN, B. 1985 ; LEZINE 1989a,b ; MALEY 1983 ; NASI 1994). Elles soulignent le caractère spatio-temporel de ce phénomène ; d'où la nécessité d'une évaluation continue de ce processus. Dans l'objectif de contribuer à ce suivi, nous exposons dans le corps de cet article nos observations phytodynamiques le long du transect Bamako-Tombouctou. Nos interprétations de l'évolution de l'environnement sont fondées sur les modifications des aires des plantes et de leurs communautés.

METHODES

Echantillonnage

Il a été fait le long d'un transect compris entre Bamako (12°38' Nord) et Tombouctou (16°41' Nord). Il s'agit d'un itinéraire de 1150 km comprenant un tronçon correspondant globalement à l'axe routier Bamako-Douentza, avec un détour à Bandiagara, et de la piste septentrionale traversant le pays Songhaï via la localité de Bambara-Maoundé. Les sites pris en compte sont ceux dont la végétation reflète le mieux les différences physiologiques, écologiques et dynamiques entre des formations végétales observées successivement le long du transect. Ce critère était présumé garantir une meilleure répartition de l'échantillonnage dans les diverses zones bioclimatiques et permettre de recenser un nombre élevé de taxons, pour représenter la richesse floristique probable sur ce transect. Les facteurs écologiques directement perceptibles ont été mentionnés de même que les coordonnées géographiques fournies par le GPS pour chaque site considéré. Le Dr D. BAUDET qui s'occupe notamment de la cartographie et de la photo-interprétation à la section de géologie et

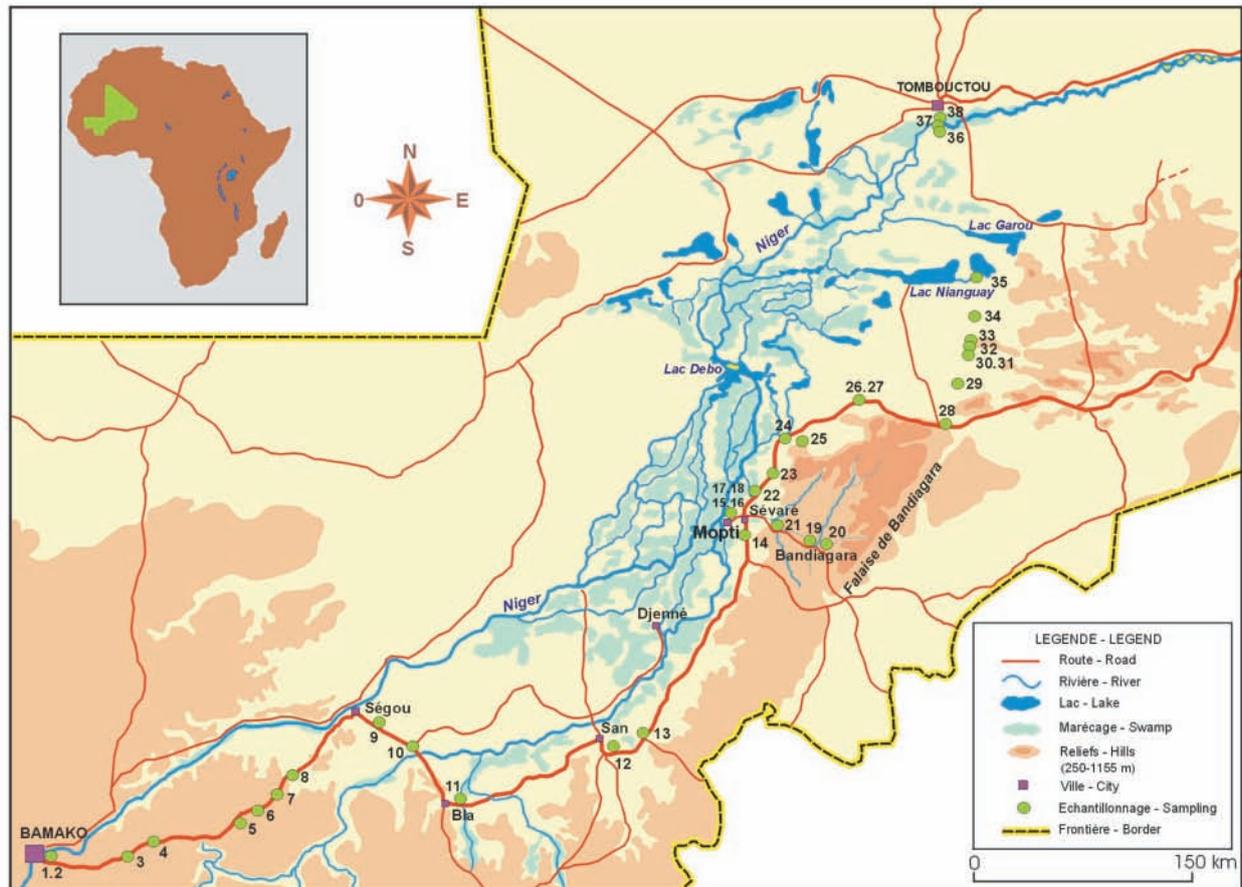


Fig. 1 : Localisation des relevés de la végétation du Mali (2001)
 Les sites très rapprochés (voir coordonnées, annexe 1) sont représentés par un même point sur la carte
 Localization of the vegetation samples in Mali (2001)
 Sites which are very close one to another (see co-ordinates, annex 1) are represented by the same point on the map

minéralogie du MRAC nous a aidé à transcrire ces données sur la carte du Mali (1/2500000) en utilisant le logiciel IDRISI (Fig. 1).

Les relevés de la végétation ont été faits suivant la méthode de BRAUN-BLANQUET (1934), également exposée par GOUNOT (1969) et utilisée dans de nombreuses autres études postérieures (NASI 1994, HABİYAREMYE 1997). Les données générales sur les milieux et les groupements ont été notées (annexe 1) préalablement au recensement de toutes les espèces rencontrées sur les aires-échantillons.

Identification taxonomique

La détermination des taxons pendant l'exécution des relevés a été suivie par plusieurs séances d'identification des plantes. Un herbier de 400 spécimens a été constitué. Outre les noms vernaculaires Bambara fournis par quelques habitants consultés sur le terrain, nous nous sommes référés à l'arboretum de Bamako et à des flores appropriées, notamment ARBONNIER 2000, celles de l'Afrique de l'Ouest (F.W.T.A.) et les ouvrages de BERHAUT (1971, 1974, 1975, 1976, 1979), CUNCY *et al.* 1997 et de GERLING 1982. Une participation ponctuelle du Dr COULIBALY, AL MOUSTAPHA (botaniste malien très expérimenté) à ce travail d'identification des taxons nous l'a beaucoup facilité.

Cadre phytogéographique

Des recherches antérieures (BOUGHEY 1957 ; LEBRUN 1947, LEBRUN J. P. 1981; MONOD 1957 ; NASI 1994 ; TROUPIN 1966 ; WHITE 1983) permettent d'établir pour le Mali la hiérarchie phytogéographique suivante (Fig. 2.):

- I. Région Soudano-Zambézienne
 - I.1. Domaine Soudanien
 - I.1.1. Secteur Méridional
 - I.1.1.1 District du Haut et Moyen Niger
 - I.1.1.2. District de la Falémé
 - I.1.2. Secteur Septentrional
 - I.2. Domaine Sahélien
- II. Région Saharo-Sindienne

Etant donné que seules 8 des 1739 espèces vasculaires de la flore du Mali (BOUDET *et al.* 1986) y sont endémiques, il importe d'envisager sa chorologie dans un cadre plus large, pour prendre en compte la distribution extra- Malienne de la plupart des taxons. L'examen de la répartition, à l'échelle de toute l'Afrique, des espèces inventoriées répond adéquatement à l'objectif d'indiquer leur extension latitudinale actuelle. Pour une présentation synthétique des résultats, la distribution plurirégionale (Pluri) est assignée à chaque espèce dont l'aire déborde deux régions phytogéographiques. Il s'agit des taxons cosmopolites, subcosmopolites, et des espèces réparties à la fois dans les régions Guinéo-Congolaise, Soudano-Zambézienne, Saharo-Sindienne ou qui sont représentées dans l'aire méditerranéenne (SZ-SaSi-Mé). A ceux-là s'ajoutent des espèces qui constituent la liaison entre les territoires phytogéographiques précitées et Madagascar. L'adoption du seul cadre phytogéographique africain pour l'examen de la répartition des espèces justifie l'opportunité d'y associer, selon leur amplitude latitudinale, également les espèces pantropicales et paléotropicales représentées en région Soudano-Zambézienne ou reliant celle-ci aux territoires Guinéo-Congolais et Saharo-Sindien. En définitive, voici les unités chorologiques retenues dans cette étude:

Plurirégionale africaine	Pluri
Soudano-Zambézienne-Saharo-Sindienne	SZ-SaSi
Soudanienne-Saharo-Sindienne	S-SaSi

Saharo-Sindienne	SaSi
Soudano -Zambézienne-Guinéo-Congolaise	SZ- GC
Soudanienne- Guinéo-Congolaise	S-GC
Région (Elément) Soudano-Zambézien	SZ
Soudanien	SZ(s)

RESULTATS

Les relevés d'espèces

La figure 1 indique la localisation de 38 relevés effectués et réunis dans le tableau 2 en annexe. Il regroupe 218 espèces réparties en 54 familles dont 14 renferment 146 espèces, soit près de 7/10 du total de cet inventaire. Nous énumérons ci-dessous ces familles les plus représentées dans l'ordre décroissant de leurs effectifs spécifiques :

Poaceae > *Fabaceae* > *Mimosaceae* > *Combretaceae* > *Caesalpiniaceae* > *Lamiaceae* = *Malvaceae* > *Amaranthaceae* = *Rubiaceae* > *Acanthaceae* = *Asclepiadaceae* = *Tiliaceae* > *Asteraceae* = *Euphorbiaceae*.

La liste ci-après reprend exhaustivement les familles en indiquant la richesse spécifique (N. es.) de chacune:

Familles	N.es.	Familles	N.es.	Familles	N.es.	Familles	N.es.
<i>Poaceae</i>	41	<i>Anacardiaceae</i>	4	<i>Clusiaceae</i>	2	<i>Lythraceae</i>	1
<i>Fabaceae</i>	16	<i>Capparidaceae</i>	4	<i>Loganiaceae</i>	2	<i>Olacaceae</i>	1
<i>Mimosaceae</i>	12	<i>Cyperaceae</i>	4	<i>Lorantaceae</i>	2	<i>Oleaceae</i>	1
<i>Combretaceae</i>	10	<i>Apocynaceae</i>	3	<i>Menispermaceae</i>	2	<i>Onagraceae</i>	1
<i>Caesalpiniaceae</i>	9	<i>Convolvulaceae</i>	3	<i>Solanaceae</i>	2	<i>Opiliaceae</i>	1
<i>Lamiaceae</i>	8	<i>Cucurbitaceae</i>	3	<i>Sterculiaceae</i>	2	<i>Potamogetonaceae</i>	1
<i>Malvaceae</i>	8	<i>Meliaceae</i>	3	<i>Vitaceae</i>	2	<i>Primulaceae</i>	1
<i>Amaranthaceae</i>	7	<i>Moraceae</i>	3	<i>Aizoaceae</i>	2	<i>Rhamnaceae</i>	1
<i>Rubiaceae</i>	7	<i>Araceae</i>	3	<i>Anonaceae</i>	1	<i>Sapotaceae</i>	1
<i>Acanthaceae</i>	6	<i>Arecaceae</i>	2	<i>Balanitaceae</i>	1	<i>Scrophulariaceae</i>	1
<i>Asclepiadaceae</i>	6	<i>Bombacaceae</i>	2	<i>Bryophytes</i>	1	<i>Sphenocleaceae</i>	1
<i>Tiliaceae</i>	6	<i>Brassicaceae</i>	2	<i>Burseraceae</i>	1	<i>Thymelaeaceae</i>	1
<i>Asteraceae</i>	5	<i>Caryophyllaceae</i>	2	<i>Chenopodiaceae</i>	1		
<i>Euphorbiaceae</i>	5	<i>Celastraceae</i>	2	<i>Ebenaceae</i>	1		

Spectre phytogéographique

La distribution géographique a pu être établie pour 172 espèces, soit 79% de l'ensemble de l'inventaire. Pour la plupart des taxons restants l'identification s'est limitée au niveau du genre, ce qui n'a pas permis d'établir complètement leur statut phytogéographique. Néanmoins cette lacune n'altère pas la qualité de cette étude car les taxons incomplètement identifiés représentent seulement environ 1/5 de l'inventaire floristique global. Les résultats de son analyse sont illustrés par la figure 3.

Parmi les 8 types phytogéographiques décelés, l'élément Soudano-Zambézien est le mieux représenté. Il comprend 62 espèces, soit 36 % du total. 11 de ces taxons, soit 6 % du total sont connus uniquement du domaine Soudanien. Cette proportion est conforme au faible taux d'endémisme spécifique qui caractérise ce territoire. Voici quelques unes de ses espèces les plus typiques trouvées le long du transect:

Espèces Soudano-zambéziennes: *Daniellia oliveri* (R.) Hutch.et Dalz., *Combretum molle* R. Br., *Grewia bicolor* Juss., *Hexalobus monopetalus* (A. Rich.) E. et D., *Opilia celtidifolia* (G. et Perr.)Endl.

Paysages bioclimatiques – Bioclimatic landscapes (Pl.1)

Bioclimat soudanien Sudanian bioclimate

1. Forêt claire (woodland) à/with *Daniellia oliveri* (R.) Hutch. & Dalz., *Opilia certidifolia* (Guill. & Perr.) Endl. & *Acacia ataxacantha* DC
2. Forêt claire (woodland) à/with *Parkia biglobosa* (Jacq.) Benth.
3. *Adansonia digitata* L. & *Bombax costatum* L.

Bioclimat sahélien sud Southern sahelian bioclimate

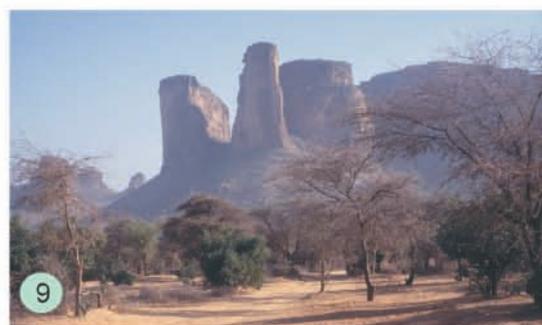
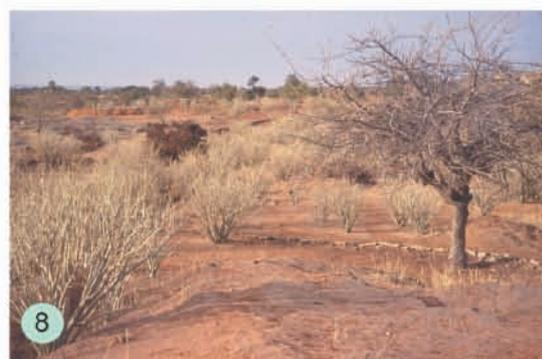
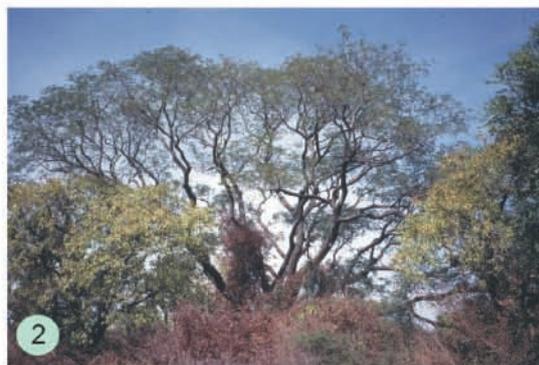
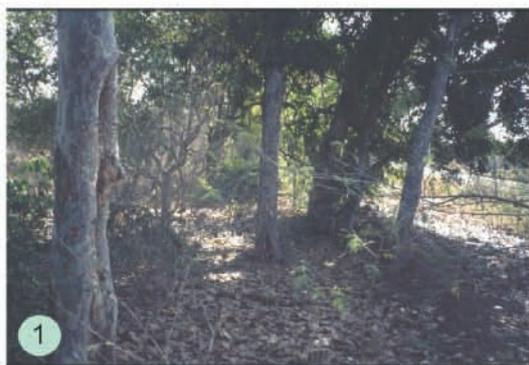
4. Savane boisée (wooded savanna) à/with *Acacia seyal* Del. & *Loudetia togoensis* Hubb.
5. Bosquets (bush) à/with *Adansonia digitata* L.
6. Baobabs rabougris (stunted baobabs) – h.max.: 3m – limite N. de la zone (Northern limit of the area)

Bioclimat sahélien nord Northern sahelian bioclimate

7. Palmeraie (palm grove) à/with *Borassus aethiopum* Mart.
8. Fruticée (shrubbery) à/with *Euphorbia balsamifera* Ait.
9. Steppe arborescente (arborescent steppe) à/with *Faidherbia albida* (Del.) A.Chev. & *Cenchrus biflorus* Roxb.

Région saharo-sindienne Saharo-Sindian region

10. végétation éparse (sparse vegetation) sur/on dunes – Tombouctou.



Paysages bioclimatiques du Mali : Transect Bamako - Tombouctou
Bioclimatic landscapes of Mali : Bamako - Tombouctou transect

Espèces propres au domaine Soudanien: *Heeria pulcherrima* (Schweinf.) O. Kütze, *Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss., *Psorospermum glaberrimum* Hochr.

Le groupe de liaison SZ-SaSi se place en deuxième position et renferme 23 % du nombre total des espèces. On peut citer notamment *Boscia angustifolia* A. Rich., *Polycarpaea eriantha* Hochst., *Piliostigma reticulatum* (DC.) Hochst., *Spermacoce stachydea* DC..

L'élément Sa-Si et la liaison S-SaSi représentent chacun 3% de l'inventaire floristique total.

Les espèces Plurirégionales africaines constituent 16% du spectre phytogéographique analysé. Rappelons qu'à ce groupe ont été assignés notamment les taxons pantropicaux et paléotropicaux dotés d'une très large amplitude latitudinale en Afrique, de même que les espèces cosmopolites ou subcosmopolites. Notre liste des espèces plurirégionales africaines comprend notamment: *Centrostachys aquatica* (R. Br.) Wall., *Cressa cretica* L., *Pentatropis spiralis* (Forsk.) Decne., *Tamarindus indica* L., *Ziziphus mauritiana* Lam..

Les espèces de notre dition qui sont réparties également en région Guinéo-Congolaise appartiennent aux groupes de liaison SZ-GC et S-SG renfermant respectivement 17% et 3% de l'inventaire.

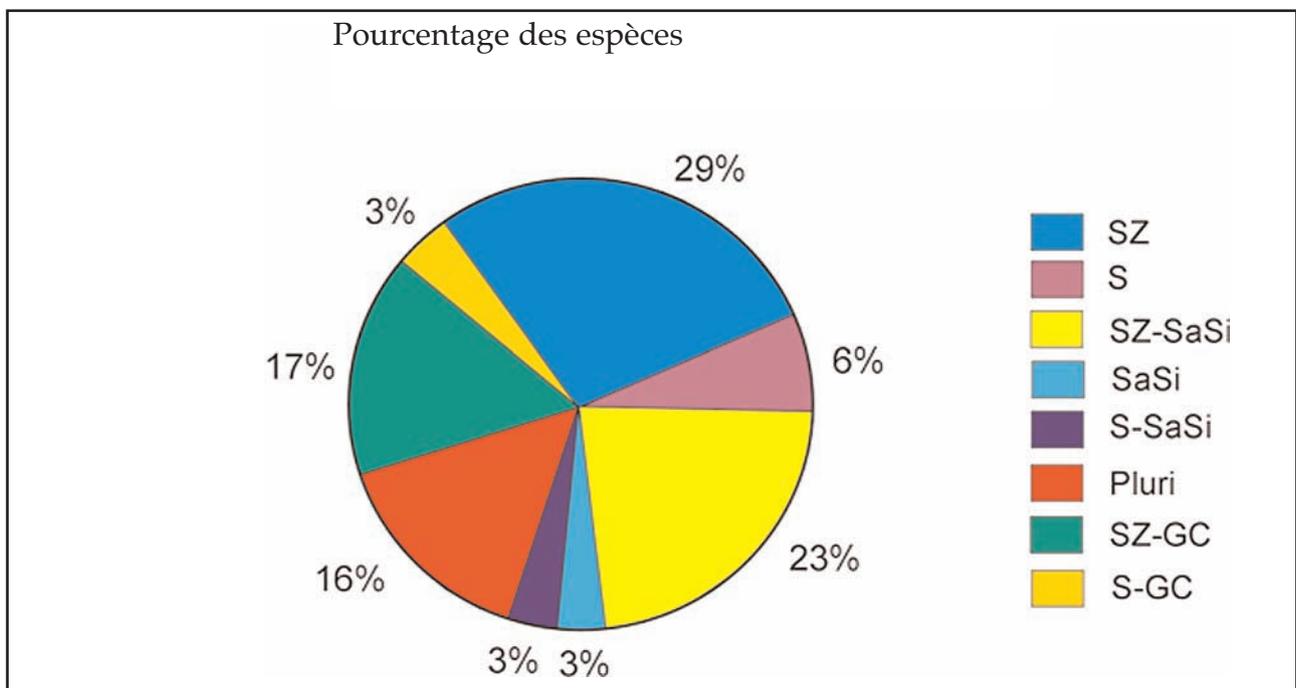


Fig. 3 : Types phytogéographiques

A travers cette analyse, on perçoit aisément la prépondérance des espèces transrégionales sur celles à territorialité stricte. Nous reviendrons sur cet aspect dans la rubrique réservée à l'interprétation des fluctuations des aires des plantes en rapport avec les changements climatiques.

Malgré l'existence des espèces « relais » entre les divers groupes phytogéographiques présentés ci-dessus, la végétation est loin d'être un continuum. La structure et la composition floristique de ces formations végétales sont variées même à l'échelle de la région. Elles reflètent la localisation bioclimatique des communautés (Fig. 2) et leurs stades dynamiques, souvent tributaires d'une plus ou moins grande intervention anthropique. La rubrique suivante est consacrée à une brève description des végétations typiques des diverses zones bioclimatiques traversées par le transect.

Les formations végétales observées dans le domaine soudanien

DANS LE BIOCLIMAT SOUDANIEN

Nous y avons retenu les principales formations végétales suivantes:

La forêt claire à *Vitellaria paradoxa* Gaertn. et *Detarium macrocarpum* Harms.

Elle est représentée par le relevé n° 2 effectué à 7 km de Bamako, direction Ségou (12,640° ; 7,992°). Ces espèces constituent la strate supérieure de 10 m qui intègre également *Pterocarpus erinaceus* Poir, *Pteleopsis suberosa* Engl. & Diels, *Anogeissus leiocarpus* (DC.) Guill. & Perr., et *Acacia sieberiana* DC. La strate moyenne comprend notamment *Gardenia ternifolia* K. Schum., *Guiera senegalensis* J. F. Gmel., *Maytenus senegalensis* (Lam.) Exel et des lianes (*Landolphia*,...). La strate inférieure et herbacée est dominée par *Pennisetum pedicellatum* Trin. Cette formation est hémitropophile et subit le surpâturage. En bordure de cette forêt, notamment sur substrats gravillonnaires, *Guiera senegalensis* J. F. Gmel. constitue une friche exubérante. Elle fait partie d'une dynamique progressive observée en certains endroits ; ce stade transitoire évolue normalement vers les savanes boisées ou même vers des forêts claires.

La forêt claire à *Daniellia oliveri* (R.) Hutch. & Dalz., *Opilia certidifolia* (Guill. & Perr.) Endl. et *Acacia ataxacantha* DC. (Pl. 1 - Fig. 1).

Le relevé effectué à 55 km de Bamako (12,644° ; 7,546°) permet de la caractériser. Elle atteint son développement optimal sur un sol bien drainé, tandis qu'elle paraît moins adaptée aux substrats périodiquement inondés, sableux ou latéritiques. Elle comprend 3 strates clairement démarquées. Les espèces précitées dominent sa strate supérieure. *D. oliveri* (R.) Hutch. & Dalz. est une essence héliophile à croissance rapide, particulièrement reconnaissable à son encens (oléosine). En raison de son bois tendre, facile à travailler, ou de l'utilisation de ses feuilles comme fourrage et de son écorce pour construire des ruches, etc..., *D. oliveri* (R.) Hutch. & Dalz., surexploité, est devenu de moins en moins fréquent sur l'ensemble des étendues de la forêt claire. Des lambeaux de forêt à *Isobertinia doka* Craib. & Stapf et *Anogeissus leiocarpus* (DC.) Guill. & Perr., en association avec *Landolphia heudelotii* A. DC. y paraissent mieux représentés. Nous les avons observés notamment à 22 Km de Fana vers Ségou (12,896° ; 6,823°). Cependant, ils régressent considérablement dans les aires peu surveillées par des gardes forestiers. Ainsi, des surfaces situées à plus de 100 m des routes sont complètement dégarnies de ces forêts à cause de la pression anthropique. Au point de vue phytogéographique, *A. leiocarpus* DC. est distribué en Région Soudano-Zambézienne. On le rencontre donc également au Sud du bassin du Congo, en bordure de la forêt équatoriale, où l'espèce atteint son optimum vital sous des précipitations annuelles de 900-1200 mm. Cette essence préfère des sols frais argileux mais se caractérise aussi par une amplitude écologique large. Parfois elle se développe en galeries forestières, sur sols hydromorphes, riches en minéraux. Elle est grégaire ou en association avec *Terminalia macroptera* Guill. & Perr., très sensible aux feux répétés. Ces peuplements seraient des vestiges des forêts sèches primitives.

La forêt claire à *Parkia biglobosa* (Jacq.) Benth. (Pl. 1 - Fig. 2).

Cette espèce est dominante dans la strate supérieure qui atteint la hauteur de 8 m. *Pterocarpus suberosa* Engl. & Diels, la deuxième essence prépondérante occupe surtout la strate moyenne de cette forêt claire. Le niveau inférieur est riche en arbustes, notamment *Combretum micranthum* G. Don. A cause de ses utilisations alimentaires et médicinales (racines contre l'hypertension, graines aphrodisiaques,...), *P. biglobosa* (Jacq.) Benth. est généralement bien protégé dans des franges forestières épargnées par le défrichement. L'arbre atteint son optimum vital à travers l'étendue soudanienne jusqu'aux environs de la limite sud du bioclimat sahélien. Il garde relativement ses feuilles toute l'année sauf entre décembre et mars où il paraît héliotropophile.

La forêt claire à *Adansonia digitata* L. est illustrée par la Fig. 3 (Pl. 1) et par le relevé n° 8, effectué à 52 km de Fana vers Ségou (13,085° ; 6,625°).

Outre qu'il perd ses feuilles en saison sèche, le baobab est aussi fortement défolié par les cueillettes pour des utilisations culinaires. Cependant, c'est justement cet aspect utilitaire qui en fait un arbre

protégé si bien que ses colonies indiquent parfois des emplacements d'anciens villages. Sur la Fig. 3 (Pl. 1), *A. digitata* L. et *Bombax costatum* L. à l'état tropophylle (à droite) apparaissent sur une surface clairsemée principalement d'éléments de *Guiera senegalensis* J. F. Gmel. La strate herbacée est absente à cause de l'impact cumulé du surpâturage et de l'accentuation de la saison sèche. Comme indiqué dans la rubrique consacrée à la zone sahélienne, en sa bordure et lorsqu'on y avance vers le nord, on rencontre des baobabs de moins en moins majestueux.

DANS LE BIOCLIMAT SAHELIEN SUD

Les formations végétales suivantes sont les plus remarquables le long du transect:

La forêt claire à *Faidherbia albida* (Del.) A. Chev. et *Sclerocarya birrea* (A. Rich.) Hochst.

A cette latitude, les espèces précitées figurent parmi les mieux développées, notamment en raison de leur amplitude écologique large. La première tire avantage de son système racinaire pivotant qui absorbe de l'eau sur une profondeur atteignant 20 m. La deuxième est une héliophyte caducifoliée qui se développe sur des sols sableux, pierreux ou sur des croûtes latéritiques. Elle tolère des substrats acides ou neutres, de salinité modérée et supporte des inondations saisonnières. Elle est répandue en savanes sahéliennes ou soudaniennes, partout où les précipitations sont de 250 mm/an.

La Savane boisée à *Acacia seyal* Del. et *Loudetia togoensis* Hubb.

Elle est illustrée par la Fig. 4 (Pl. 1). Sa structure se caractérise par 2 strates. L'une, haute de 6 m atteint un recouvrement de 25% de la surface, dû particulièrement aux houppiers tabulaires de la mimosacée. La strate inférieure est densément pourvue en graminées. En de nombreux endroits colonisés par les *Acacias* (*A. sp.* et *A. seyal*), le sol est recouvert par *Lagenaria ciseraria* (Molina) Standl., cultivée. Cette pratique d'agroforesterie permet de tirer parti de l'association des légumineuses et de la Cucurbitacée: outre que ces arbres constituent une source fourragère, ils contribuent à l'atténuation des effets de l'insolation sur le sol et à sa protection contre l'érosion éolienne. Quant à l'importance de la calebasse pour son usage domestique (récipients), elle est à la mesure de grandes étendues de champs qui lui sont consacrés.

Les bosquets à *Adansonia digitata* L.

La Fig. 5 (Pl. 1) de la végétation observée à 142 km de San vers Mopti montre l'aspect arbustif prédominant sur lithosol (et croûte latéritique) illustrant le puissant impact de la sécheresse sur la structure de la végétation. La strate supérieure comporte un seul pied de baobab qui se dresse au milieu des buissons et arbustes épars. A l'avant-plan (à gauche) on aperçoit *Piliostigma reticulatum* (DC.) Hochst. et des éléments de *Guiera senegalensis* J. F. Gmel. relativement abondants. Dans la partie la plus septentrionale de son aire, *A. digitata* L. est rabougri (hauteur maximum de 3 m) comme le montre la Fig. 6 (Pl. 1) du site localisé à l'extrême nord de la zone sahélienne sud. On y voit également quelques bosquets et arbustes, surtout *Guiera senegalensis* J. F. Gmel et *Calotropis procera* Ait. Le recouvrement total est de +/-40% de la superficie considérée.

DANS LE BIOCLIMAT SAHELIEN NORD

La végétation exprime la rigueur des conditions climatiques par la simplification de sa stratification. En général il y a des arbres et/ou des arbustes clairsemés sur une strate herbacée steppique, d'où l'aspect de parc généralisé dans les stations les moins sujettes au défrichement et au surpâturage. Là où ces facteurs accentuent la xéricité, le sable et les dalles latéritiques sont nus. Les principales formations végétales traversées par notre transect sont :

Une palmeraie à *Borassus aethiopum* Mart.

Rencontrée à 11 km de Bandiagara, direction de Sévaré (14,373°N ; 3,709°). L'environnement général étant semi-désertique, les palmiers forment un îlot au milieu d'une étendue de sols minéraux bruts

de teinte ocre (Pl. 1 - Fig. 7). Quelques autres espèces, notamment *Loudetia togoensis* Hubb. et *Ipomoea pes tigridis* L. y sont peu représentées. C'est une sorte d'oasis bénéficiant probablement d'un peu d'humidité résiduelle, les ravins sillonnant le voisinage de cet flot étant inondés en saison pluvieuse. C'est pourquoi on y trouve des éléments arborescents, par exemple *Ximenia americana* et *Mitragyna inermis* (Wild) O. Kuntze qui constituent la synusie unistratifiée haute de 2,5 m, observée le long du tronçon Mopti-Ounjougou (14,935° ; 3,854°). Dans les stations plus ou moins encaissées avec un sol relativement profond, transgressant l'aspect rocailleux généralisé, *Borassus aethiopum* Mart. et *Faidherbia albida* (Del.) A. Chev. coexistent et sont mêlés à des éléments de friche.

La Fruticée à *Euphorbia balsamifera* Ait.

Cette végétation des dunes fixées est aussi sporadique sur des crevasses et des dalles latéritiques (Pl. 1 - Fig. 8). Sa station le long du tronçon routier Mopti - Ounjougou (14,353° ; 3,616°), comporte des roches fortement diaclasées. L'aspect gras, buissonnant, fortement ramifié et aphyllé est une adaptation à la sécheresse. Ce groupement est homogène et quasi monophytique. Les rares autres taxons qui y ont été inventoriés sont *Acacia ehrenbergiana* Hayne (à droite sur la photo) et *Aristida spp.* A cause du surpâturage et de la sécheresse la strate herbacée est réduite à quelques chaumes de ces graminées.

La Steppe arborescente à *Faidherbia albida* (Del.) A. Chev et *Cenchrus biflorus* Roxb.

Elle est représentée par le groupement observé à 10 km de Douentza, en direction de Bambara - Maoundé (14,919° ; 3,760°). Le sol d'aspect ferrugineux est alimenté en éléments minéraux bruts issus de la falaise qui surplombe le lieu et est actuellement sujette à une intense altération physique . C'est comme un parc (Pl. 1 - Fig. 9) dont la strate supérieure atteignant 4,5 m de haut est constituée principalement de *Faidherbia albida* (Del.) A. Chev., qui est un véritable prodige écologique et économique à cette latitude. En effet ses feuilles sont persistantes pendant la saison sèche et constituent du fourrage extrêmement bénéfique à l'élevage. En outre, cette espèce peut produire de grandes quantités de gousses qui sont conservées pour compléter l'alimentation du bétail. La strate inférieure, à très faible recouvrement (15%) comprend essentiellement *Cenchrus biflorus* Roxb. et *Aristida sp.*

Plus près de la falaise, au nord du site précédent (15,150° ; 3,442°), le substrat est presque totalement pierreux. Entre les blocs de pierres poussent des touffes éparses de *Sparthium junceum* L. Leur recouvrement a été estimé égal à 20% de la superficie examinée (150 m²).

La steppe à *Cenchrus biflorus* Roxb. est assez souvent parsemée également par *Hyphaene thebaica* (L.) Mart. . Les stipes de ce palmier fourchu s'élèvent à 4 m de haut. Il manifeste une bonne résistance à la sécheresse, la régénération étant assurée par des nombreux rejets (pousses) à partir des rhizomes. Quant à *Calotropis procera* Ait. rencontrée souvent seule ou parfois en colonies, elle accuse une large amplitude phytogéographique. Cette espèce visible presque tout au long du transect semble rudérale notamment à Bamako et se répand aisément dans les aires steppiques plus septentrionales où elle paraît bien adaptée aux substrats secs et/ou indurés. Ainsi *C. procera* Ait. compte parmi des taxons, comme *Guiera senegalensis* J. F. Gmel. dont l'expansion est favorisée par les changements climatiques en cours.

Cette zone sahélienne nord est colonisée par quelques buissons rabougris, constitués notamment par *Ipomoea pes-tigridis* L. et *Boscia senegalensis* (Pers.) Lam. Ils atteignent vraisemblablement leur optimum vital sur cette extension sud des dunes saharo-sindiennes. Exceptionnellement, une frange de forêt claire à *Combretum micrathum* G. Don., *Acacia albida* Del., *Bauhinia rufescens* Lam. a été observée à 47 km de Douentza vers Bambara-Maoundé (15,393° ; 2,823°). Ce groupement a une hauteur de 6 m et se compose de 3 strates, avec un recouvrement atteignant 40% de la superficie du relevé. L'existence de ce lambeau de végétation arborescente isolée dans l'aire quasi dénudée par la sécheresse ou, au mieux, faiblement recouverte d'une steppe rase, est indicatrice d'une végétation ligneuse sans doute plus étendue en ce lieu avant l'accentuation de la sécheresse en cours.

Entre Douentza et Tombouctou, notamment à 74 km (15,605° ; 2,788°), *Cenchrus biflorus* Roxb. reste la composante principale de la steppe très répandue à cette latitude. En général le recouvrement végétal n'excède pas 50 % des stations. Les principales plantes rencontrées sont *Euphorbia balsamifera* Ait. et *Chrozophora brocchiana* Vis. L'aphyllie et l'aspect gaufré respectifs de ces espèces

leur permettent de s'adapter au sable sec, l'environnement général étant semi-désertique. Elles sont souvent accompagnées par *Citrullus colocynthis* (L.) Schrad. qui reste verdoyant même pendant la saison sèche. La présence du lac Niangay dans ce bioclimat est un facteur de grande convergence humaine et d'essor de l'élevage ; le surpâturage exerce une pression considérable sur la végétation. Celle-ci est constituée d'une steppe piquetée d'*Acacia sp.* dans la plaine surplombée par une dorsale plus arborée (recouvrement : 50 %) bordant le lit du lac.

OBSERVATIONS EN REGION SAHARO-SINDIENNE

Sur les rives du fleuve Niger (16,639° ; 3,004°), les terrains vagues bénéficiant à la fois de l'humidité fluviale et de la fumure issue des déchets provenant du campement des pêcheurs sont colonisés par des nitrophytes. *Solanum incanum* L. et *Cynodon nlemfuensis* Vanderyst constituent l'essentiel de cette végétation. Ils se rattachent au syntaxon des *Ruderali-Manihotetea* (Léonard in Taton 1949) ex Hoff 1991 dont le caractère pantropical est très bien connu. Mais la présence de *Sparthium junceum* L. rappelle le contexte subdésertique à franchement désertique.

La végétation arborescente rupicole a été complètement défrichée. Quant aux lagunes en bordure du fleuve Niger à Tombouctou (16,680° N ; 2,992°), elles sont occupées par une prairie composée généralement de *Echinochloa stagnina* P. Beauv. et dans laquelle *Aeschynomene lateritia* Harms est le suffrutex le mieux représenté.

En marge du désert (Tombouctou: 16,680° ; 2,992°), les dunes sont quasi nues et leur végétation très éparse est pauvre en taxons. Le relevé que nous y avons effectué (Pl. 1, Fig. 10) comprend 4 espèces seulement dont *Acacia ehrenbergiana* Hayne et *Sparthium junceum* L.

DISCUSSION

La flore

Les références consultées, notamment BOUDET *et al.* 1986 ; LEBRUN, J.P. 1977, 1979 permettent de signaler pour le Mali une richesse taxonomique de 1739 espèces spontanées réunies dans 687 genres et 155 familles dont 3 regroupent près de 1/3 de la totalité de cette flore. Les *Poaceae* et les *Fabaceae* sont les plus diversifiées avec 214 et 207 espèces respectivement. Ces 2 familles sont aussi les mieux représentées dans notre échantillonnage. Rappelons qu'il regroupe 218 espèces, soit 1/8ème de la flore vasculaire du Mali. C'est un effectif très élevé car nos prospections ont été faites au cours de la saison sèche. En effet, le début de la saison pluvieuse (juillet) convient mieux pour observer la végétation, car elle est en plein développement et le terrain reste accessible avant les inondations.

Le coefficient spécifique (1,4) obtenu sur base de notre échantillonnage est faible par rapport à la valeur de 2,5 calculée pour l'ensemble des phanérogames du Mali. En effet, 3/4 de la longueur du transect sont incluses dans la zone de transition régionale sahélienne (WHITE 1983) dont la richesse spécifique est inférieure à la moitié de celle qui caractérise l'espace méridional correspondant au centre régional d'endémisme soudanien. Ces territoires comptent respectivement 1200 et 2750 espèces.

Importance des espèces à affinité saharo-sindienne.

Dans notre échantillonnage, seuls les relevés 15,16,18,38 (annexe 2) ont été effectués dans des biotopes azonaux, c'est-à-dire des substrats hydromorphes qu'on rencontre sous diverses conditions macroclimatiques en Afrique tropicale. Ces milieux qui accueillent habituellement des groupements végétaux ubiquistes ne fournissent que 8% du nombre total des espèces inventoriées. Ceci n'explique donc pas le fait que la majorité de ces taxons sont dotés d'une distribution extra-territoriale. En effet, les espèces SZ irradiées en région GC et celles à affinité saharo-sindienne représentent respectivement 20 et 45% de la flore analysée. Ce dernier lot comprend même des

espèces plurirégionales ayant une extension au Sahara. L'irradiation Saharo-Sindienne en région soudano-zambézienne étaye les observations sur des modifications bioclimatiques connues sur base des données paléoécologiques et synécologiques concernant les 3 dernières décennies.

Aridification climatique attestée par les fluctuations spatio-temporelles de la végétation

REFERENCES PALEO-ECOLOGIQUES

Le commentaire développé sous cette rubrique se base sur des résultats d'études anthracologiques et palynologiques effectuées respectivement par Hugues DOUTRELEPONT (HUYSECOM, E. *et al.* 1998) et Koen DEFORCE (ROBERT, A. *et al.* 2003) sur une séquence sédimentaire dite « des varves » relevée dans la vallée du Yamé (région de Bandiagara), décrite et interprétée par Sylvie COUTARD (1999). Ce dépôt présentant, en alternance irrégulière, des couches silteuses foncées riches en matière organique et des couches plus claires sableuses a été interprété comme un remplissage de type fluvio-palustre, non soumis à un rythme saisonnier annuel. Dès lors, les sédiments étudiés ne peuvent être considérés comme des varves « sensu stricto » mais comme une succession de faciès dus à une variation dans la dynamique hydrique liée à des pulsations climatiques mineures au niveau régional.

Dans la série varvée, deux niveaux d'occupation riches en vestiges archéologiques (meules, molettes, outillage lithique, céramiques, foyers...) du Néolithique, séparés par des couches renfermant des artefacts dispersés, ont été datés respectivement de 3420 +/- 40 BP et 2985 +/- 40 BP (Pl. 2, Fig. 3). Les données concernant des fragments de bois fossiles carbonisés ou non provenant de l'échantillonnage archéologique et l'analyse palynologique de la séquence sédimentaire, ont permis d'identifier 21 taxons ligneux ayant appartenu à la flore locale de savane arborée au cours de la période précitée (dates 14C conventionnelles). Leur amplitude latitudinale actuelle au Mali est déduite du tableau en annexe 2 et illustrée par la Fig. 4, Pl. 2. Seuls 38% des taxons des milieux humides (marigots, plaines inondables, berges des cours d'eau, couloirs interdunaires), représentés dans les sédiments archéologiques issus de Bandiagara (Ounjougou), ont été retrouvés le long du tronçon sahélien du transect Bamako-Tombouctou. En revanche, ils ont été recensés tous au sud de San, localité située à la limite méridionale du bioclimat sahélien.

L'occurrence de ces taxons majoritairement soudano-guinéens et soudaniens dans la florule antérieure du site d'Ounjougou contraste avec la végétation réduite et xérique qui caractérise actuellement cette contrée appartenant au bioclimat sahélien. Cela atteste une pluviosité plus abondante assortie d'un déplacement des zones bioclimatiques entre 3400 et 2900 BP (Pl. 2, Fig. 6a). Ces observations sont conformes à celles faites par ailleurs : humidification de l'Afrique de l'Ouest (LEZINE 1988,1989) se traduisant par des hauts niveaux lacustres généralisés, notamment au Tchad (Pl. 2, Fig. 5) et oscillations humides perçues dans le Delta intérieur du Niger (Mc INTOSH 1995) entre 4000 et 2500 BP. La situation climatique particulière de cette période a favorisé la colonisation de la région de Bandiagara par des taxons mésophiles plutôt méridionaux. Ceux-ci ont pu se développer dans des biotopes convenant à leur écologie: sols hydromorphes en bordure des cours d'eau ou dépressions humides. Avec l'évolution ultérieure du climat vers son stade actuel plus xérique (MALEY 1983, Mc INTOSH *et al.* 1995, PETIT MAIRE 1991, 1992, SALZMANN *et al.* 1998) le couvert végétal s'est modifié en provoquant le recul ou la disparition de genres typiquement soudano-guinéens et soudaniens (*Burkea*, *Prosopis*, *Pterocarpus*, *Sclerocarya*, *Vitellaria*) et le maintien ou la progression des genres mieux adaptés au milieu sahélien (*Acacia*, *Boscia*, *Combretum*, *Guiera*, *Sterospermum*).

LA SECHERESSE DES TROIS DERNIERES DECENNIES

Les investigations relatives à ce phénomène ont été menées notamment par JEAN, B. 1985; NASI et SABATIER 1988a, b ; NASI 1994 dont les conclusions suivantes ont retenu notre attention:

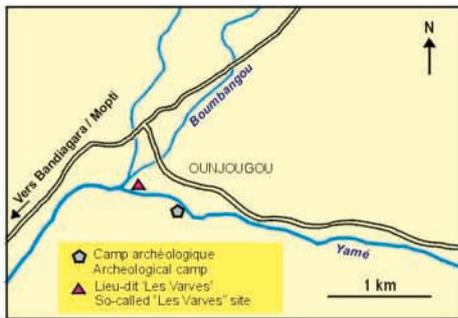


Fig. 2 : carte de situation localization map



Fig. 3 : Varves Profil Est Eastern section

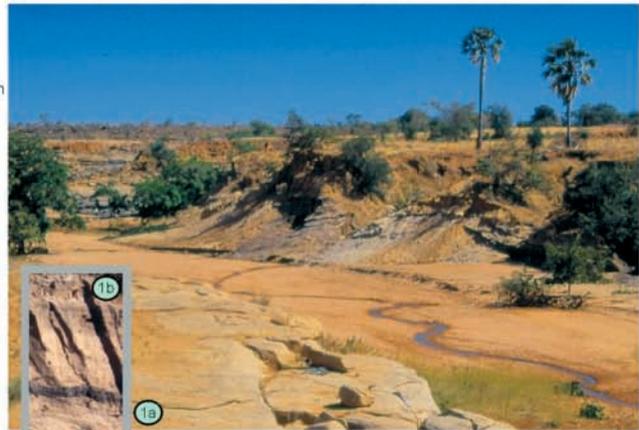
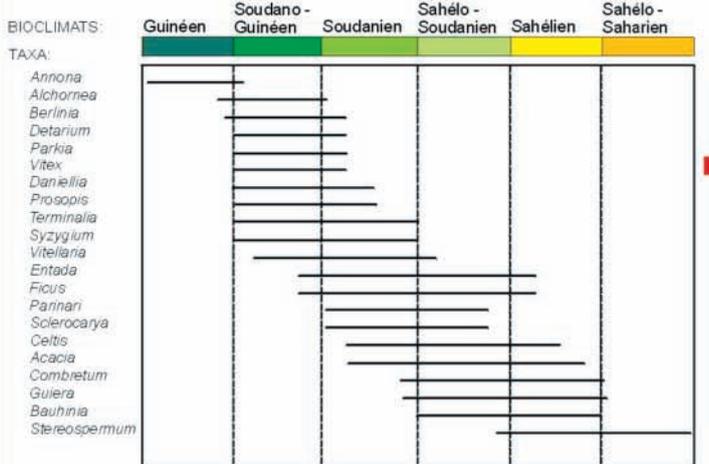


Fig. 1a : Site archéologique d'Ounjougou (secteur sud) Ounjougou archaeological site (southern area)
Fig. 1b : dépôts varvés - varves deposit

Fig. 4 : Répartition bioclimatique actuelle des taxa ligneux (pollen et macrorestes) inventoriés dans les couches inférieures de la séquence dite "des varves" (site archéologique d'Ounjougou).
Datations 14C conventionnelles : 3420 +/- 40 BP à 2985 +/- 40 BP
Current bioclimatic distribution of woody taxa (pollen and plant macro-remains) inventoried in the lower layers of the so-called "varves" sequence (Ounjougou archaeological site).
Uncalibrated 14C datations : 3420 +/- 40 BP to 2985 +/- 40 BP.



Analyse/Analysis : H.Doutrelepoint et C.Deforme (Africamuseum, Tervuren, 1998 - 2002)

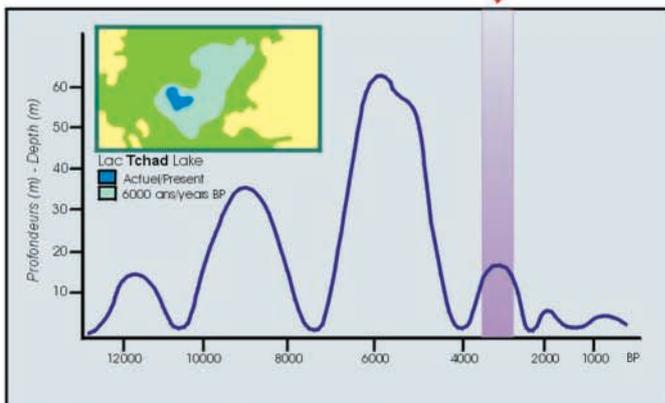


Fig. 5 : Fluctuations du Lac Tchad au cours de l'Holocène
Fluctuations of Tchad Lake during the Holocene Period
"Le Sahara post-glaciaire" - "Postglacial Sahara"
in/dans: The Times Atlas of Archaeology (Times Books Limited 1988)
Atlas de l'Archéologie (Librairie Larousse 1990)

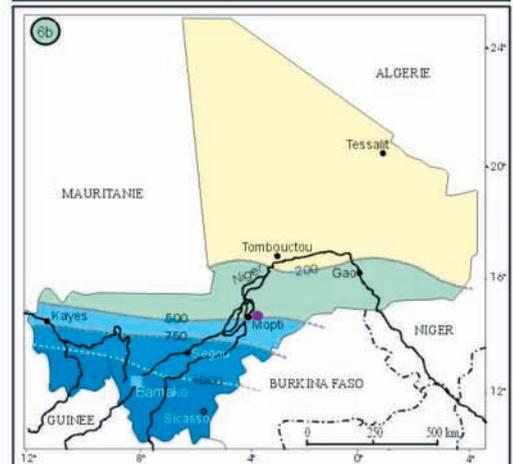
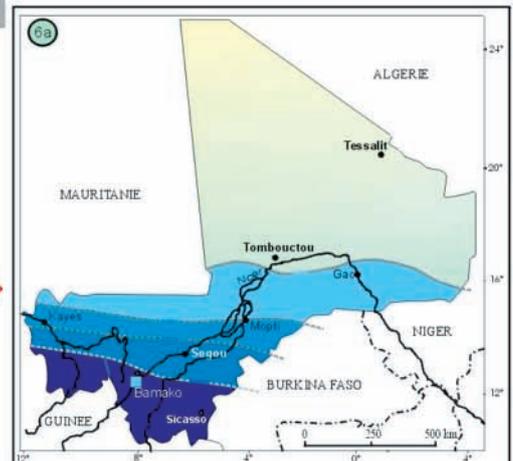


Fig. 6a : pluviosité estimée ca. 3000 ans BP estimated rainfall ca. 3000 years BP

Fig. 6b : pluviosité actuelle present rainfall
● : site

-La sécheresse est particulièrement accentuée dans le bioclimat soudanien nord où on assiste à la disparition de la plupart d'espèces typiquement soudaniennes au profit des plantes à affinité plus sahéennes, voire sahariennes.

-La mortalité causée par la sécheresse touche surtout les plantes mésophiles, notamment *Terminalia laxiflora*, *Vitellaria paradoxa*, *Pterocarpus lucens* dont les effectifs ont baissé respectivement de 60,4 %, 60,0 %, 90,0 % au cours des années 80.

-La pression anthropique sur les formations végétales et leurs modifications dues à la sécheresse, se traduisent essentiellement par une régression des espèces pérennes. En bioclimat soudanien nord, les formations végétales sont affectées indistinctement sauf les groupements rupicoles.

-Certaines espèces sont en pleine expansion comme *Combretum glutinosum*, *Guiera senegalensis*, *Boscia senegalensis*, *Boscia angustifolia*. Les différences de sensibilité de la végétation aux épisodes de forte sécheresse dépendent donc non seulement des facteurs stationnels mais aussi de la composition floristique des formations végétales considérées.

Ces observations concordent avec les nôtres en confirmant le rétrécissement des aires des taxons mésophiles tels que *Pterocarpus erinaceus*, *P. lucens*, *Sclerocarya birrea*, *Vitellaria paradoxa* au profit des espèces les plus adaptées à la sécheresse. C'est l'interprétation qu'il faut donner à l'irradiation des plantes à affinité sahariennes et sahéennes dans les territoires de plus en plus méridionaux (tabl. annexe 2).

Parmi les Taxons saharo-sindiens irradiés en région Soudano-Zambézienne on peut citer : *Abutilon angulatum*, *Balanites aegyptiaca*, *Calotropis procera*, *Euphorbia aegyptiaca*, *E. balsamifera*, *Guiera senegalensis*, *Sparthium junceum*, *Zizyphus mauritiana*.

En examinant comparativement les listes floristiques établies par les auteurs précités et nos résultats rassemblés dans le présent article, on se rend compte de l'essor progressif des xérophytes. Ce phénomène reflète l'accentuation de l'aridification des bioclimats sahéens et leur extension sur le bioclimat soudanien (Pl. 2, Fig. 6b).

Nous avons signalé entre autres indices de cette dynamique, la présence d'un groupement à *Combretum micrathum*, *Faidherbia albida* et *Bauhinia rufescens* à 47 km de Douentza vers Bambara - Maounde (15,3936° ; 2,8231°). L'existence de ce lambeau de forêt isolé dans l'aire quasi dénudée par la sécheresse ou au mieux faiblement recouvert d'une steppe rase, apparaît relictuelle d'une végétation arborescente en cours de disparition.

CONCLUSIONS

Au terme de cette analyse du transect Bamako-Tombouctou les conclusions suivantes s'en dégagent:

- Au sein des régions phytogéographiques, la variation de la structure et de la composition floristique des formations végétales observées reflète la localisation bioclimatique de ces dernières et leurs stades dynamiques, souvent tributaires d'une plus ou moins grande intervention humaine.

-Cela accentue la discontinuité de ces formations simultanément à l'émergence des espèces « relais » qui semblent favorisées par ce changement et se répandent dans les diverses entités phytogéographiques examinées.

-L'interprétation du transect avec référence aux données paléobotaniques issues du site de Bandiagara en bioclimat sahéen permet d'affirmer la préexistence d'un environnement mésophile dans cette zone où prévalent des xérophytes actuellement.

- Les données phytogéographiques de la présente étude rendent compte de l'augmentation des aires de ces xérophytes et contribuent à étayer l'ampleur des modifications bioclimatiques apparues au

Mali depuis 3 décennies. L'analyse effectuée a démontré l'irradiation des plantes à affinité saharienne et sahélienne dans les territoires de plus en plus méridionaux au détriment des espèces de l'élément base Soudano-Zambézien. Cela témoigne de l'aridification des bioclimats sahéliens et l'extension de ce phénomène sur le bioclimat soudanien.

-Ces résultats suggèrent un réexamen des distributions floristiques établies pour la plupart avant 1980. Une telle révision est nécessaire non seulement dans le cadre des bilans de la biodiversité mais aussi pour mettre à profit son rôle de diagnostic des variations environnementales. Cela confirme l'importance de la phytogéographie parmi les approches des changements globaux.

BIBLIOGRAPHIE

- ANONYME 1981 - Le Mali, 64 p des cartes et figures, Editions Jeune Afrique
- ARBONNIER, M. 2000 - Arbres, arbustes et lianes des zones sèches d'Afrique de l'Ouest. CIRAD-MNHN-UICN, Montpellier, France, 541 p.
- ATLAS DE L'ARCHEOLOGIE, 1990. Ed. Librairie Larousse, 319 p.
- AUBREVILLE, A. 1949 - Climats, Forêts et désertification de l'Afrique tropicale. Société d'éditions géographiques maritimes et coloniales, Paris 351 p.
- BERHAUT, J. 1967 - Flore du Sénégal. 2^{ème} édition, Ed. Clairafrique, Dakar. 485 p.
- BERHAUT, J. 1971 - Flore illustrée du Sénégal, Tome 1, Dakar 626 p.
- BERHAUT, J. 1974 - Flore illustrée du Sénégal, Tome 2, Dakar 695 p.
- BERHAUT, J. 1975 - Flore illustrée du Sénégal, Tome 3, Dakar 634 p.
- BERHAUT, J. 1975 - Flore illustrée du Sénégal, Tome 4, Dakar 625 p.
- BERHAUT, J. 1976 - Flore illustrée du Sénégal, Tome 5, Dakar 658 p.
- BERHAUT, J. 1979 - Flore illustrée du Sénégal, Tome 6, Dakar 636 p.
- BOUDET, G., LEBRUN, J.P ; DEMANGE, R. 1986 - Catalogue des plantes vasculaires du Mali. Etudes et synthèse de l'I.E.M.V.T. n° 16 Maisons Alfort, 480 p.
- BOUGHEY, A.S. 1957 - The physionomic delimitation of West African vegetations types. *Journ. W. Afr. Sci. Ass.* 3 :148-165
- BRAUN-BLANQUET, J. 1932 - Plant sociology. Translation of « Pflanzensoziologie » by FULLER, G. D. et CONARD, H.S. 1st ed. Mc Graw-Hill book Co Inc. New-York and London, 377 p.
- COUREL, M.F. 1984 - Etude de l'évolution récente des milieux sahéliens à partir des mesures fournies par les satellites. Thèse de doct. Etat, Univ. Paris I, 407 p + annexes
- COUTARD, S. 1999- Etude de l'environnement géologique des sites archéologiques holocènes d'Ounjougou, pays Dogon, Mali. Thèse de 3ème cycle, Université Paris X - Nanterre, 50 p.
- CUNCY, P. SANOGO, S. & SOMMER, N. 1997 - Arbres du domaine soudanien. Leurs usages et leur multiplication. INTER-COOPERATION, Programme GDRN, B.P. 215 Sikasso Mali, 122 p.
- GERLING, C. 1982 - Guide de terrain des ligneux sahéliens et soudano-guinéens. *Mededelingen Landbouwhogeschool Wageningen*, 340p + 92 pl.
- GOUNOT, M., 1969 - Méthodes d'étude quantitative de la végétation. Masson et Cie Paris VI, 314 p.
- HABIYAREMYE, M.K. (F. X.); 1997 - Etude phytocoenologique de la Dorsale orientale du lac Kivu (Rwanda). Musée Royal de l'Afrique Centrale, Tervuren (Belgique): *Annales des Sciences Economiques* : 24, 276 p.
- HUYSECOM, E., BEECKMAN, H., BOËDA, E., DOUTRELEPONT, H., FEDOROFF, N., MAYOR, A., RAELI, F., ROBERT, A. & SORIANO, S. 1998 - Rapport sur la seconde mission de recherche (1998-1999) sur le gisement d'Ounjougou (Mali) - Fondation Suisse-Liechtenstein pour les recherches archéologique à l'étranger, 51 p.
- JEAN, B. 1985 - Sécheresse et désertification au Mali : situation actuelle et perspectives. *Revue Forestière Française*, 2 : 77-92 et 4 : 315-331
- LEBRUN, J. 1947 - La végétation alluviale au Sud du lac Edouard. Exploration du Parc Nat. Albert : Mission J. Lebrun 1937-38, 1 : 471-800
- LEBRUN, J.P. 1979 - Eléments pour un atlas des plantes vasculaires de l'Afrique sèche. Etude botanique de l'I.E.M.V.T. 6, 2, Maison Alfort 255 p. + 48 cartes.
- LEBRUN, J.P. 1981 - Les bases floristiques de grandes divisions chorologiques de l'Afrique. Etudes botaniques de l'I.E.M.V.T. n° 7, Maison Alfort, 483 p. + cartes.
- LEBRUN, J.P. 1977 - Eléments pour un atlas des plantes vasculaires de l'Afrique sèche. Etude botanique de l'I.E.M.V.T. 4, 1, Maison Alfort 262 p. + 50 cartes.
- LEZINE, A.M. 1988 - New pollen data from the Sahel, Senegal. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 55: 141-154.
- LEZINE, A.M. 1989a - Late Quaternary Vegetation and Climate of the Sahel. *Quaternary Research*, 32: 317-334.
- LEZINE, A. M. 1989b - Le Sahel: 20 000 ans d'histoire de la végétation. *Bull. Soc. Géol. France*, 8, t. V, 1 : 35-42.
- LEZINE, A.M. & CASANOVA, J. 1989 - Pollen and hydrological evidence for the interpretation of past climate in tropical West Africa during the Holocene. *Quaternary Science Review*, 8 : 45-55.
- MALEY, J. 1983 - Histoire de la végétation et du climat de l'Afrique du Nord-tropicale au quaternaire récent. *Bothalia*, 14, 384 : 377-389

- Mc INTOSH, S.K. Ed. 1995 - Excavations at Jenné-Jenno, Hambarketolo and Kaniana (Inland Niger Delta, Mali), the 1981 season. *Anthropology*, 20, 605 p.
- MONOD, Th. 1957 - Les grandes divisions chorologiques de l'Afrique. Conseil Scientifique pour l'Afrique au Sud du Sahara, publication n° 24. Rapport présenté à la réunion des spécialistes sur la phytogéographie (Yangambi, 29 /7 - 8/8 1956), Londres 156 p.
- NASI, R. 1994 - La végétation du centre régional d'endémisme soudanien au Mali. Etude de la forêt des Monts Mandingues et essai de synthèse. Thèse de doct. en Sciences. Univ. Paris XI, 176 p. + annexes
- NASI, R. & SABATIER, M. 1988a - Projet d'inventaire des ressources ligneuses au Mali. Rapport de Synthèse 1ère phase. Les Formations végétales, CTFT (CIRAD)/SCET-AGRI, 197 p. + 12 cartes.
- NASI, R. & SABATIER, M. 1988b - Projet d'inventaire des ressources ligneuses au Mali. Rapport technique 1ère phase. CTFT (CIRAD)/SCET-AGRI, 115 p.
- PETIT MAIRE, N. Ed. 1991 - Paléoenvironnements au Sahara. Lacs holocènes à Taoudenni (Mali), CNRS, 237 p.
- PETIT MAIRE, N. 1993 - Les variations climatiques au Sahara : du passé au futur. *Geo-Eco-Trop*, 16, 1-4: 149-166.
- ROBERT, A. ; SORIANO, S. ; RASSE, M. ; STOKES, S. & HUYSECOM, E. 2003 - first chrono-cultural reference framework for the West African paleolithic. New data from Ounjougou, Dogon country, Mali. *Journal of African Archaeology*, 1 (2) : 151-169
- SALZMANN, U. & WALLER, M. 1998 - The Holocene vegetation history of the Nigerian Sahel based on multiple pollen profiles. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 100: 39-72.
- THE TIMES ATLAS OF ARCHAEOLOGY, 1988. Ed. Times Books Limited, 319 p.
- TROUPIN, G. 1966 - Etude phytocénologique du parc Nat. de l'Akagera et du Rwanda oriental. Recherche d'une méthode d'analyse appropriée à la végétation d'Afrique intertropicale. Thèse d'agrégation, Univ. Liège, 223 p.
- UNESCO 1973 - International classification and mapping of vegetation. Ecol. Conserv. 6, 93 p.
- WHITE, F. 1983 - The vegetation of Africa. UNESCO, Paris, 356 p + maps

REMERCIEMENTS

En achevant cet article, je me sens redevable envers les personnes et les institutions qui m'ont aidé à réaliser la mission dont il résulte:

- le Dr. E.ROCHE qui a sollicité et obtenu de la direction de son département et des services administratifs du MRAC, la prise en charge des mes frais de séjour sur le terrain et de la logistique nécessaire à la réalisation de cette mission.
 - le personnel scientifique de l'enseignement supérieur et universitaire du Mali qui m'a donné des renseignements de nature à faciliter le travail sur le terrain :
 - le Professeur N'GOLO DIARRA, ethnobotaniste, directeur général de l'Institut Supérieur de Formation et de Recherche Appliquée (ISFRA) et le Dr. OUSMANE SOW, Professeur au Département d'Histoire et Archéologie de l'université du Mali.
 - le Dr COULIBALY AL MOUSTAPHA, botaniste expérimenté, spécialiste de la Flore du Mali et expert dans le domaine de l'agrostologie auprès de la FAO, qui a participé à la détermination d'une grande partie de notre herbier à Bamako.
- A travers les personnes susmentionnées, je remercie très profondément leurs institutions respectives.
- Je suis aussi très obligé envers Monsieur J.DUKUZUMUREMYI qui a participé bénévolement à l'échantillonnage, durant notre séjour au Sahel, tout au long d'un itinéraire de plus de 2000 km.

F.X.HABIYAREMYE

Annexe 1: Tableau des données générales

Abréviations et symboles: Bc = bioclimat; HarD = durée de la période soumise à l'Harmatan; Haut = hauteur (m); P = pluviométrie annuelle moyenne sur 25 ans. Nbst = nombre de strates; Nh = nombre de mois humides (P >> ETP); Ns = nombre de mois sec; * = vers						
Rel.	Coordonnées latitude N longitude O	Localité <km<	Groupement	Haut (m)	Nbst	Observations
Domaine soudanien,						
Bc S-G oriental: P = 800-1100, NS=6, Nh = 3-4, Ni = 2-3, HarD = 3-4						
1	12,64013333 7,9924	Bamako<7* Fana	friche à <i>Guiera senegalensis</i> et <i>Andropogon pseudapricus</i>	2	2	<i>G. senegalensis</i> est en pleine expansion favorisée par la sécheresse.
2	12,64013333 7,9924	Bamako<7* Fana	forêt claire à <i>vitellaria paradoxa</i> et <i>Detarium macrocarpum</i>	10	3	nombreuses espèces caducifoliées
3	12,64461667 7,545916667	Bamako<55* Fana	forêt claire à <i>Daniellia oliveri</i> , <i>Opilia cellitidifolia</i> et <i>Acacia ataxacantha</i>	11	3	forêt claire soudanienne typique
4	12,72466667 7,403983333	environ de Santiguila, Bamako<75	savane arbustive à <i>Combretum lecardii</i> et <i>Pennisetum pedicellatum</i>	2,5	2	stade transitoire vers la forêt claire
5	12,8265 6,911066667	Fana<8* Ségou	savane à <i>Combretum micranthum</i> et <i>Loudetia togoensis</i>	3	2 à 3	le site comporte des termitières avec des buissons assez denses tendant à converger.
6	12,8958 6,823516667	Fana<22* Ségou	forêt claire à <i>Isobertinia doka</i> et <i>Anogeissus leiocarpa</i> <i>Landolphia heudelotii</i>	4	3	franges forestières linéaires relativement, intactes semblant succéder au stade de buisson (relevé 5); îlots de forêts préservés près de la route!
7	12,97965 6,710233333	Fana<37* Ségou	forêt claire à <i>Parkia biglobosa</i> et <i>Leptadenia pyrotechnica</i>	8	3	
8	13,08535 6,625716667	Fana<52* Ségou	forêt claire à <i>Adansonia digitata</i> et <i>Bombax costatum</i>	8	3	sols ferrugineux, avec termitières; formation parcourue par des animaux domestiques; aire du baobab.
Domaine Sahélien						
Bc sahélien sud: St: Nara, P = 400-600, Ns = 8, Nh = 2, Ni = 2, HarD = 8						
9	13,3704 6,14485	Ségou<7* San	forêt à <i>Faidherbia albida</i> et <i>Acacia pennata</i>	3,5	3	stade transitoire rassemblant des espèces relictuelles de forêt et de savane boisée. Parcelle classée.
10	13,24755 5,946183333	Ségou<42* San	forêt claire à <i>Sclerocarya birrea</i> , <i>Anogeissus leiocarpus</i> et <i>Combretum micranthum</i>	7	5	aire pâturée mais où les ligneux sont relativement bien préservés.
11	12,95638333 5,6738	Ségou<108* San: Bla	forêt à <i>Combretum micranthum</i> et <i>Landolphia heudelotii</i>	5	3	formation mixte transitoire comprenant un palmier (<i>Borassus aethiopicum</i>) et des rejets d'arbustes (<i>Combretum</i>).
12	13,23675 4,815033333	San<13* Mopti	savane à <i>Acacia seyal</i> et <i>Loudetia togoensis</i>	6	3	savane arbustive
13	13,32911667 4,644616667	San<39* Mopti	forêt à <i>Pteleopsis suberosa</i> et <i>Landolphia heudelotii</i>	5	2	forêt parc à sous bois ras très pâturé.
14	14,40476667 4,085233333	San<181* Mopti	savane à <i>Acacia raddiana</i> et graminées diverses	6	3	savane boisée comportant des vestiges de la strate graminéenne et <i>Acanthospermum hispidum</i> . Surpâturé.
15	14,52141667 4,195966667	Mopti	végétation hydrophytique à <i>Bryophytes</i> , <i>Oryza barthii</i> <i>Echinochloa stagnina</i>	1,2	2	lagune de la Bani avec une zonation caractérisée par l'enracinement dans la vase (<i>Ipomoea</i>) et dans le substrat exondé.
16	14,52141667 4,195966667	Mopti	prairie à <i>Mariscus alternifolius</i> et et <i>Sphenoclea zeylanica</i>	0,6	1	voisinage de digue bordant un champ de riz dans la lagune de la Bani

17	14,52141667 4,195966667	Mopti	gazon à <i>Cynodon dactylon</i>	0,4	1	nitrophile sur le bord exondé de la Bani
18	14,52141667 4,195966667	Mopti	groupement à <i>Pistia stratiotes</i>	0,8	1	marécage
Bc sahélien nord: St: Gao, P = 200-400, NS= 8-9, Nh = 0-1, Ni = 2, HarD = 8						
19	14,35371667 3,616766667	Mopti-Oundjougou	fruticée à <i>Euphorbia balsamifera</i>	1,2	2	en expansion sur d'anciennes dunes fixées, <i>E. balsamifera</i> étant favorisée par la sécheresse comme <i>Guiera senegalensis</i>
20	14,35371667 3,616816667	Oundjougou	groupement psamophile à <i>Eragrostis, Bulbostylis, Primulaceae,...</i>	0,4	1	stade pionnier en bordure de la rivière Yamé
21	14,37343333 3,70985	Bandiagara<11* Sévaré	savane boisée à <i>Borassus aethiopicum</i>	6	2 à 3	site +- encaissé, sols profonds, différents de ceux des stations rocailleuses avoisinantes; sorte d'oasis abritant des éléments de friche récente et des arbres; préexistence d'une forêt: sorte de parc.
22	14,6457 4,020083333	Sévaré<13* Douentza	savane à <i>Acacia nilotica</i> et graminées (<i>Schoenofeldia gracilis, Chloris gayana</i>)	4,5	2	
23	14,74348333 3,92965	Sévaré<22* Douentza	groupement à <i>Cassia italica, Sida, Corchorus olitorius, Blumea Pavonia triloba</i>	0,4	1	stade de regression de la savane très pâturé, dominé par des chaméphytes, très faible recouvrement: 30%
24	14,93546667 3,854716667		synusie à <i>Mitragyna inermis Ximenia americana</i>	2,5	1	ravins probablement bien inondés en saison pluvieuse; buissons relictuels d'une forêt préexistante.
25	14,91913333 3,760233333		steppe arborescente à <i>Faidherbia albida</i> et <i>Cenchrus biflorus</i>	2,5	2	substrats indurés; la végétation s'apparente aux formations semi-désertiques.
26	15,15043333 3,442233333	Douentza<10* Bambara Maounde	group. à <i>Hyphaene thebaica</i>	4	2	petit palmier fourchu à bonne résilience attestée par de nombreux rejets à partir des rhizomes.
27	15,15043333 3,442233333	Douentza<13* Bambara Maounde	group. à <i>Sparthium junceum</i>	1,2	1	Il s'agit de quelques touffes enracinées entre des blocs de pierres issues d'un volcanisme ancien, recouvrement: 20%
28	15,15055 3,442183333	Douentza<16* Bambara Maoundé	groupement à <i>Brachiaria sp., Sparthium junceum, Balanites aegyptiaca, Acacia albida, Leptadenia hastata</i>	1,2	2	steppe semi désertique piquetée de rares suffrutex à affinité saharienne, irradiée dans le Sahel.
29	15,23721667 2,876566667	Douentza<28* Bambara Maoundé	fruticée à <i>Zizyphus mauritiana</i> et <i>Boscia senegalensis</i>	2,5	2	formation semi-désertique transitoire du Sahel vers le Sahara.
30	15,39363333 2,8231	Douentza<47* Bambara Maoundé	frange de forêt claire à <i>Bauhinia rufescens, Combretum micranthum, Panicum laetum</i>	6	3	recouvrement: 40%
31	15,39371667 2,823066667	Douentza<52* Bambara Maoundé	peuplement à <i>Cenchrus biflorus</i>	0,5	1	relève des formations herbeuses semi-désertiques
Région Saharo-sindienne, Bc Sahélo-Saharien: St Tombouctou, P= 100<200, Ns = 10, Nh = 0, Ni = 2, HarD = 8-10						
32	15,44035 2,81695	Douentza<56* Bambara Maoundé	groupement à <i>Citrullus colocynthis, Aristida mutabilis Momordica balsamina</i>	1,5	2	

33	15,47138333 2,810733333	Douentza<60• Bambara Maoundé.	steppe à <i>Cenchrus biflorus</i>	1,5	1	une des composante principale de la végétation malienne à cette latitude.
34	15,81943333 2,779516667	Douentza<95• Tombouctou	fruticée à <i>Euphorbia balsamifera</i> et <i>Cenchrus biflorus</i>	1,5	2	aire de steppe
35	15,60555 2,7882	Douentza<74• Tombouctou	steppe à <i>Cenchrus biflorus</i> , <i>Andropogon sp.</i> , <i>Desmodium sp.</i>	3	2	formation herbeuse semi-désertique; recouvrement: 50%
36	16,63986667 3,004383333	Kabara, rive sud du Niger	prairie à <i>Cynodon dactylon</i> <i>Chrozophora brocchiana</i>	0,8	2	stade pionnier bloqué par le surpâturage. Nitrophile.
37	16,68026667 2,9925	Tombouctou	formation à buissons très épars d' <i>Acacia ehrebergiana</i> et <i>Sparthium junceum</i>	1,2	2	stade de regression sur dunes, très pauvre en espèces; formation très rabougriée, recouvrant +- 20% de terrain.
38	16,68026667 2,9925	Tombouctou	prairie hydrophytique à <i>Aeschynomene lateritia</i> , <i>Echinochloa stagnina</i> , <i>Anagallis</i> , avec faciès monostrate à <i>Potamogeton</i> et <i>Nymphaea</i>			lagune; zonation correspondant à une succession d'éléments monostratifiés flottants: <i>Potamogeton</i> ; d'autres sont enracinés dans la vase: <i>Cynodon</i> , <i>Anagallis</i> , <i>Aeschynomene</i> .

Annexe 2. : Répartition des espèces le long du transect à travers les bioclimats maliens

N° de relevé	Unité phytogéographique	Domaine Soudanien										Domaine Sahélien										Région Saharo-Sindienne																				
		Soudanien nord										Sahélien Sud										Sahélien Nord																				
Bioclimat	Familia	Distributions	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38		
Latis d'espèces																																										
<i>Pennisetum polystachion</i>	FABAC	GC-SZ	+																																							
<i>Indigofera terminalis</i>	FABAC	GC-SZ	2																																							
<i>Heurta pulcherrima</i>	ANACARDIAC	S	1																																							
<i>Hibiscus sp.</i>	MALVAC		+																																							
Mélanosaceae																																										
<i>Polyzypura eriantha</i>	CARYOPHYLLAC	SZ-SASI		+																																						
<i>Indigofera paniculata</i>	FABAC	SZ	1	+																																						
<i>Andropogon galanus</i>	POAC	SZ	1	+																																						
<i>Cissampelos mucronata</i>	MENISPERMAC	GC-SZ	+																																							
<i>Acacia ekeberda</i>	MIMOSAC	GC-SZ	2																																							
<i>Pterocarpus erinaceus</i>	FABAC	SZ	3																																							
<i>Farewellia stenoptera</i>	BRASSICAC	S	1																																							
<i>Villaria parviflora</i>	SAPOTAC	S	2																																							
<i>Anacardium occidentale</i>	ANACARDIAC	Pluri	2																																							
<i>Prosopium glaberrimum</i>	CLUSIAC	S	2																																							
<i>Grewia bicolor</i>	TIJIAC	SZ	1																																							
<i>Opilia exilifolia</i>	OPLIAC	SZ	1																																							
<i>Logania</i>	LOGANIAC	SZ	1																																							
<i>Strychnos Inopus</i>	CAESALPINIAC	SZ	1																																							
<i>Daniella oliveri</i>	ANONAC	SZ	1																																							
<i>Hexacoccus monopteralus</i>	MIMOSAC	SZ-SASI	1																																							
<i>Eritoda abyssinica</i>	MIMOSAC	SZ-SASI	1																																							
<i>Trichilia amela</i>	MELIAC	Pluri	2																																							
<i>Plectranthus sp.</i>	LAMIAC		+																																							
<i>Panicum panseum</i>	POAC	SZ		1																																						
<i>Baobab multiflorus</i>	APOCYNAC	GC-SZ	1	1																																						
<i>Pandanus angustifolia</i>	AMARANTAC	GC-SZ	+																																							
<i>Garcinia terminalis</i>	RUBIAC	SZ	2																																							
<i>Garcinia celebensis</i>	RUBIAC	SZ	1																																							
<i>Grewia lasiocarpa</i>	TIJIAC	GC-SZ	+																																							
<i>Gymnosia sylvatica</i>	ASCLEPIADAC	GC-SZ	+																																							
<i>Abrus praeflorus</i>	FABAC	GC-SZ	+																																							
<i>Boerhaavia angustifolia</i>	CAPPARIDAC	SZ-SASI	2																																							
<i>Strychnos loba</i>	LOGANIAC	GC-S	+																																							
<i>Combretum molle</i>	COMBRETAC	SZ	1	1																																						
<i>Cissus populina</i>	VITAC	Pluri	+																																							
<i>Saba senegalensis</i>	APOCYNAC	GC-S	3																																							
<i>Boswellia thurifera</i>	BURSERAC	S-SASI	2																																							
<i>Adansonia digitata</i>	BOMBACAC	SZ	2																																							
<i>Eragrostis ciliaris</i>	POAC	SZ	+																																							
<i>Eragrostis lugida</i>	POAC	SZ	+																																							
<i>Bombax costatum</i>	BOMBACAC	GC-S	+																																							
<i>Sterculia villosa</i>	STERCULIAC	SZ	2																																							
<i>Combretum leucodermis</i>	COMBRETAC	S	2																																							
<i>Desmodium sp.1</i>	FABAC																																									
<i>Euphorbia</i>	EUPHORBAC																																									
<i>Croton retusus</i>	FABAC	GC-SZ	+																																							
<i>Tagetes coccinea</i>	LABIAC	GC-SZ	+																																							
<i>Andropogon leucocarpus</i>	COMBRETAC	SZ	2																																							
<i>Phyllanthus muellerianus</i>	EUPHORBAC	Pluri	1																																							
<i>Wissadula amplissima</i>	MALVAC	GC-SZ	+																																							
<i>Combretum nigricans</i>	COMBRETAC	SZ	1	2																																						
<i>Scaevola alba</i>	ASCLEPIADAC	GC-SZ	2																																							
<i>Sporobolus verticillatus</i>	RUBIAC	GC-SZ	+																																							
<i>Triumfetta pentandra</i>	TIJIAC	GC-SZ	2																																							
<i>Panicum bigobos</i>	MIMOSAC	S																																								

