

N'Dounga (Niger) — janvier 1973
Eucalyptus camaldulensis 8293, plantation 1971.

Photo Delwaulle.

PLANTATIONS FORESTIÈRES EN AFRIQUE TROPICALE SÈCHE

Techniques et Espèces à utiliser

par J.-C. DELWAULLE

*Ingénieur du Génie Rural, des Eaux et des Forêts
Chargé de Mission au Centre Technique Forestier Tropical*



SUMMARY

FOREST PLANTATIONS IN DRY TROPICAL ZONES

Though systematic recourse to plantation should not be had in dry zones, it is nevertheless sometimes fully justified. When it is, it should be done so as to have every chance of being successful.

In this issue we publish the first of a series of articles summing up the author's knowledge and experience, and the results obtained by him in many cases. All aspects of plantation will be dealt with in detail, from the choice of seeds to the use made of the trees grown.

In the introduction which follows, the sources of the data are indicated, the geographical and climatic context is defined, and some points relating to the methodology of silvicultural research are specified.

PLANTACIONES FORESTALES EN ZONA TROPICAL SECA

Si bien el recurso a la plantación en las zonas secas no debe ser sistemático no es menos cierto, sin embargo, que este sistema está perfectamente justificado. Cuando así ocurre, conviene proceder con todas las probabilidades de éxito.

Publicamos en este número el primero de una serie de artículos que tienen por objeto proceder a la síntesis de los conocimientos, de las experiencias y, frecuentemente, de los resultados prácticos obtenidos por el autor. De este modo, serán detallados todos los aspectos de la plantación, desde la elección de las semillas hasta la explotación de los productos.

En la introducción que figura a continuación, son indicados los orígenes de los datos, el contexto geográfico y climático debidamente delimitado y finalmente, se precisan algunos puntos relativos a la metodología en materia de investigación silvícola.

INTRODUCTION

I. — PRÉAMBULE

Lors de la consultation C. I. L. S. S./U. N. S. O./F. A. O. (1) sur le rôle de la forêt dans un programme de réhabilitation du Sahel, consultation qui s'est tenue à Dakar (Sénégal) du 25 avril au 1^{er} mai 1976, nous avons présenté, en tant que consultant F. A. O., deux notes (2) et, pour la seconde d'entre elles, notre conclusion était la suivante :

« Après avoir passé en revue, d'une manière assez critique, l'ensemble des actions susceptibles d'être menées dans la zone, en matière de technique forestière, nous voudrions attirer l'attention des responsables forestiers sur la trop grande importance qu'ils accordent, à notre sens, aux plantations, perdant ainsi de vue trop souvent le recours aux techniques de régénération naturelle, d'aménagement des peuplements, de défense et de restauration des sols et d'animation rurale.

« Le recours systématique à la plantation, notamment en zone sahélienne, aboutira peu à peu à la réalisation de boisements dont la pauvreté frappera bientôt l'œil le moins averti et contribuera à une désaffection de plus en plus grande des Etats

« vis-à-vis de leurs services forestiers. Au moment où, en raison de la sécheresse 1968-1973, l'intérêt vis-à-vis des Eaux et Forêts connaît un certain regain, il est temps pour ce service de diversifier ses actions et de ne pas hésiter à multiplier ses contacts avec les services de l'élevage, de l'agriculture, du génie rural et de l'animation rurale avec lesquels il est amené continuellement à travailler. »

Notre position n'a pas évolué depuis et nous pensons toujours que la plantation est loin d'être le seul type d'activité technique des forestiers d'Afrique tropicale sèche.

Il n'en demeure pas moins que le recours à la plantation, s'il ne doit pas être systématique, se justifie parfois pleinement et il y a alors lieu de mettre en place cette plantation avec toutes les chances de succès.

Plus de dix ans passés dans les zones sèches tropicales africaines dont plus de cinq ans de recherches forestières nous ayant familiarisés avec les techniques de plantation et les espèces utilisables, il nous est apparu important de faire une synthèse de nos connaissances, appuyée au maximum sur des résultats concrets, afin de les mettre à la disposition du praticien.

Notre but est donc de détailler tous les aspects de la plantation en zone sèche tropicale africaine, du

(1) C. I. L. S. S. : Comité Inter Etats de Lutte contre la Sécheresse dans le Sahel ; U. N. S. O. : United Nations Sahelian Office ; F. A. O. : Food and Agriculture Organisation.

(2) Ces notes ont paru dans Bois et Forêts des Tropiques, cf. bibliographie.

choix des graines à l'exploitation des produits. Après avoir, dans cette introduction, indiqué l'origine des données que nous utiliserons, délimité le cadre géographique et climatique de l'étude et précisé quelques points concernant la méthodologie en matière de recherche sylvicole, nous présenterons les divers aspects de la plantation en quatre parties :

La première partie sera consacrée à la pépinière ; nous avons choisi, pour décrire celle-ci, une pépinière de production d'*Eucalyptus camaldulensis* en pots mais nous aborderons également la production en planches et nous donnerons un aperçu du coût d'investissement et de fonctionnement d'une pépinière.

La seconde partie décrira, dans l'ordre logique, les différentes opérations à réaliser, du choix du terrain à la plantation proprement dite. Y seront en particulier abordés : le défrichement, le travail du sol qu'il soit mécanique ou manuel, le choix de l'écartement, le repiquage, l'utilisation d'engrais, l'utilisation de dispositifs antiérosifs, le traitement anti-termite, la date et le mode de plantation.

II. — ORIGINE DES DONNÉES

Nos connaissances sont le fruit de nombreux séjours et d'expérimentations menées en Afrique tropicale sèche : deux ans au Sénégal, deux ans dans le Nord Cameroun, six ans de recherches forestières au Niger et en Haute-Volta et de nombreuses missions faites entre temps et depuis dans ces mêmes pays, en Mauritanie, au Mali, dans le Nord du Bénin, dans le Nord du Nigeria et au Tchad nous ont permis d'aborder bien des domaines particuliers et d'être ainsi à même d'avoir une vue assez globale des problèmes.

Ces connaissances personnelles sont cependant loin d'être la seule source d'information :

• Avant les indépendances, de nombreux forestiers ont été amenés à réaliser des plantations et même à entamer des actions de recherche. Bien que leurs noms disparaissent peu à peu des mémoires, leur action reste parfois marquée sur le terrain et ces plantations âgées sont alors pleines d'enseignements. Malheureusement les données techniques ayant présidé à leur réalisation n'ont pas été notées ou ont disparu. Les références d'ordre bibliographique concernant cette période (rapports, articles, archives diverses) sont donc fort rares ou difficilement accessibles. Parmi ces forestiers de zones sèches nous citerons, sans pouvoir les nommer tous : AUBREVILLE, BELLOUARD, CABROL, CIVATTE, DEVOIS, DOMMERGUES, FAURE, GORSE, GROSMIRE, GUILLARD, LALLEMENT, LETOUZBY, MAHEUT, MICHON, MOUTY, DE TARRAGON, TOUSSAINT-MORLET, WERTHEIMER, etc... Nous avons d'ailleurs pu bénéficier de l'expérience personnelle de certains d'entre eux.

La troisième partie exposera les différentes opérations se déroulant après la plantation proprement dite jusqu'à l'exploitation des rejets de souche. On pourra donc y trouver ce qui concerne la protection contre les animaux, l'entretien et la méthode taungya, la lutte contre les feux, les éclaircies, la protection sanitaire, l'irrigation, les productions et les rejets.

La quatrième partie enfin, traitera du choix des espèces à utiliser. Nous y parlerons d'abord des essais d'élimination d'espèces, des essais de provenances, des plantations conservatoires et de l'obtention des graines pour les boisements industriels ; nous passerons ensuite en revue la totalité des espèces essayées en Afrique tropicale sèche dont nous avons connaissance, tant celles qui donnent des résultats corrects que celles qui n'y réussissent pas.

Nous espérons ainsi mettre à la disposition du forestier tropical un document qui lui permette d'éviter certaines erreurs, d'utiliser les techniques les plus adéquates et de choisir l'espèce à utiliser en toute connaissance de cause.

• Vers les années 1963-1965, la recherche forestière s'est individualisée dans certains Etats par la création de Centres Techniques Forestiers Tropicaux (Sénégal, Niger, Haute-Volta), précurseurs des centres nationaux de recherches actuels. Les chercheurs forestiers affectés à ces centres, en trop faible nombre malheureusement, ont largement contribué à l'avancement des connaissances. Ils ont eu le mérite d'aborder les problèmes un par un et d'y apporter des réponses claires et précises, souvent chiffrées. Epaulés par l'infrastructure du Siège du Centre Technique Forestier Tropical notamment par CATINOT, Directeur des Recherches Outre-Mer, puis GROULEZ, Directeur des Recherches Forestières, ces chercheurs, ingénieurs ou techniciens de haut niveau furent :

-- pour le Sénégal : GIFFARD, MAESTRATI et LEMOINE ; actuellement HAMEL, MALAGNOUX, ROUSSEL, DIAITÉ et NIANG ;

-- pour le Centre Niger-Haute-Volta avant la scission : CASTAN, GOUDET, BIROT, THOMASSEY, GALABERT, GUEZ, ROEDERER et moi-même ;

-- pour le Niger seul, WENGEIUS et actuellement BARBIER, MOUSSA HASSANE et GOMOT ;

-- pour la Haute-Volta, actuellement PROT, MIALHE et MILLOGO.

De nombreux rapports, études ou synthèses permettent, pour ces centres de recherches, de suivre les essais depuis leur origine jusqu'à leur exploitation ou jusqu'à leur évolution actuelle. Ces

données, qu'elles soient positives ou négatives, constituent le matériau de base de cette étude. Comme on pourra le constater, de nombreux points d'interrogation subsistent encore car, faute de personnel et souvent aussi en raison de crédits trop maigres, de nombreux essais n'ont pu être mis en place ou n'ont pu l'être dans les conditions les meilleures. Il reste donc bien du travail à réaliser et nous avons tenté de mettre en lumière ces points faibles : ce sera aux chercheurs d'aujourd'hui et de demain d'y apporter une réponse.

• Depuis les indépendances, les forestiers africains ont progressivement pris le relai des forestiers européens et assument maintenant l'intégralité des responsabilités forestières de leurs Etats. Au cours de longues discussions ou lors de tournées effectuées avec eux sur le terrain, nous avons beaucoup appris. Citons, parmi ceux qui ont le plus contribué à notre formation technique et africaine, sans espoir de les nommer tous : Boubou BATHILY, Jean BARRY, Adamou DAUDA, Abdou DAURE, Baba DIGUERRA, Baba DIOUM, Lamine DIOP, Manfred EMATI EKOA, Oumar FALL, Abdou GADO, J.-B. KAMBOU, Jean

Djigui KEITA, Mory KEITA, Ibrahim LABO, Etienne MANGA, H.-A. MUSNAD, Ibrahim NAJADA, Ali N'GARAM, Amadou NOBILA, Yahia OUATTARA, Marcel OWONA, Perliou SAGNON, Moussa SALEY, Bocar SALL, El Hadji SENE, Boubacar SIDIBE, Oumarou TALL, Toure, Moïse TRAORE, Clémentine WANE et Casimir ZIBA.

• Des forestiers français ou étrangers, en service dans les Etats d'Afrique tropicale sèche nous ont été également d'un précieux concours, citons en particulier DUBREUIL, Mc EWAN, MOREL, PARKAN, ROQUE, STEBLER, TURKOS, TRAN, WEBER et WEINSTABEL.

• Enfin, des connaissances récoltées uniquement dans le monde un peu clos des forestiers seraient incomplètes si elles n'étaient pas discutées avec des professionnels d'autres domaines : géographes, botanistes, pédologues, climatologues, agronomes, agrostologues, éleveurs, animateurs ruraux, sociologues, phytopathologistes, statisticiens, administrateurs, économistes, planificateurs, etc..., qui ont contribué à notre information dans ces domaines et dont il serait trop long de citer les noms.

III. — CADRE GÉOGRAPHIQUE ET CLIMATIQUE DE L'ÉTUDE

La plus grande partie des données que nous utiliserons sont issues des travaux des Centres de Recherches implantés au Sénégal, en Haute-Volta et au Niger. D'autres éléments proviendront de la Gam-

bie, du Mali, de l'extrême Nord du Nigeria et du Tchad.

Le cadre de cette étude est donc l'Afrique tropicale sèche au Nord de l'Equateur et nous allons passer en revue les divers types de climats concernés.

3.1. — CLIMATS

3.1.1. — Critères de classification.

Nous avons adopté la classification d'AUBRÉVILLE telle qu'il l'a exposée dans *Climats, Forêts et Désertification de l'Afrique tropicale* ainsi que dans sa *Flore forestière soudano guinéenne* (cf. bibliographie), classification qui nous a toujours parfaitement convenu.

Cette classification est basée sur un certain nombre de critères dont AUBRÉVILLE justifie le choix :

« Les températures moyennes annuelles, mensuelles, n'ont, pour établir des divisions climatiques à l'intérieur de l'aire géographique que nous étudions, qu'une importance secondaire. Le facteur biologique capital est incontestablement la pluviosité en tenant compte, en premier lieu, de la durée de la saison sèche et de celle de la saison vraiment pluvieuse... »

« La notion de durée des saisons, sèche et très pluvieuse, nous paraît essentielle en bioclimatologie tropicale ; très souvent son importance a

échappé aux climatologues. Nous la représentons schématiquement, pour la commodité des comparaisons entre stations, par un indice des saisons pluviométriques, qui comprend 3 chiffres : le premier est celui du nombre de mois très pluvieux (plus de 100 mm de pluie), le troisième est le nombre des mois écologiquement secs (moins de 30 mm de pluie), le second, le moins fort en général, est celui des mois intermédiaires mi-secs ou mi-humides... »

« L'indice pluviométrique est la hauteur moyenne de la pluie annuelle, exprimée en millimètres. »

« Après la pluviosité, l'élément le plus important est le déficit de saturation et ses variations dans l'année. »

3.1.2. — Climats concernés.

AUBRÉVILLE définit ensuite cinq grandes catégories de climats : deux surtout nous intéressent mais nous dirons cependant un mot des deux catégories les encadrant.

3.1.2.1. — LES CLIMATS DÉSERTIQUES PROPREMENT DITS.

Dans notre zone il s'agit du climat saharien (SA) dont la limite sud est conventionnellement l'isohyète 200 mm. Ce type de climat sort du cadre de notre travail et les plantations éventuelles ne peuvent y être envisagées que dans des conditions tout à fait exceptionnelles (oasis, plantations irriguées).

3.1.2.2. — LES CLIMATS SUBDÉSERTIQUES.

Le climat sahélo-saharien (S Sa) intéresse notre étude encore que, comme nous le verrons, la réussite des plantations y soit souvent aléatoire.

Nous ne ferons que schématiser les caractéristiques de ce climat.

Température moyenne annuelle 24° à 28° 5, amplitude thermique forte ou très forte.

Déficit de saturation moyen annuel très fort, variation annuelle très forte.

Indice pluviométrique 200 à 400 mm (très faible). Maxima en août.

Indice des saisons pluviométriques voisin de 1-2-9.

3.1.2.3. — LES CLIMATS TROPICAUX SECS.

Ce sont essentiellement eux qui nous intéresseront. Le type en est le climat sahélo-soudanais (So) avec ses variantes sénégalaises ou gambiennes : sahélo-sénégalais (Se), guinéen-basse Casamance (Gc) et sahelo-côte sénégalaise (Ss).

a) Le climat sahélo-soudanais (So).

Etant donné l'extrême importance de ce climat pour notre étude, nous ne pouvons mieux faire

que de citer AUBRÉVILLE pour sa description (1) :

« Le climat sahélo-soudanais est un type caractéristique de climat africain ; son aire s'étire en « longue bande sensiblement parallèle à l'équateur « depuis le Sénégal jusqu'aux montagnes de « l'Ethiopie. Le climat sahélo-soudanais typique est « nettement continental ; il ne s'observe pas jusqu'à « la mer elle-même.

« Cette aire climatique s'élargit sur 3 à 4° de « latitude ; ses limites sont légèrement inclinées sur « les parallèles et sa limite nord, qui atteint au « Sénégal le 16° lat. N, s'abaisse dans la vallée du « Nil vers le 12° ou 13° lat. N.

« — Température moyenne annuelle : 26° à 31° 5.

« — Température moyenne mensuelle :

« minima : 24° à 28° 2,

« maxima : 30° 5 à 36° 5.

« Amplitude thermique : 5 à 10° 2 ; forte et ordinairement très forte.

« Minima en janvier et en août...

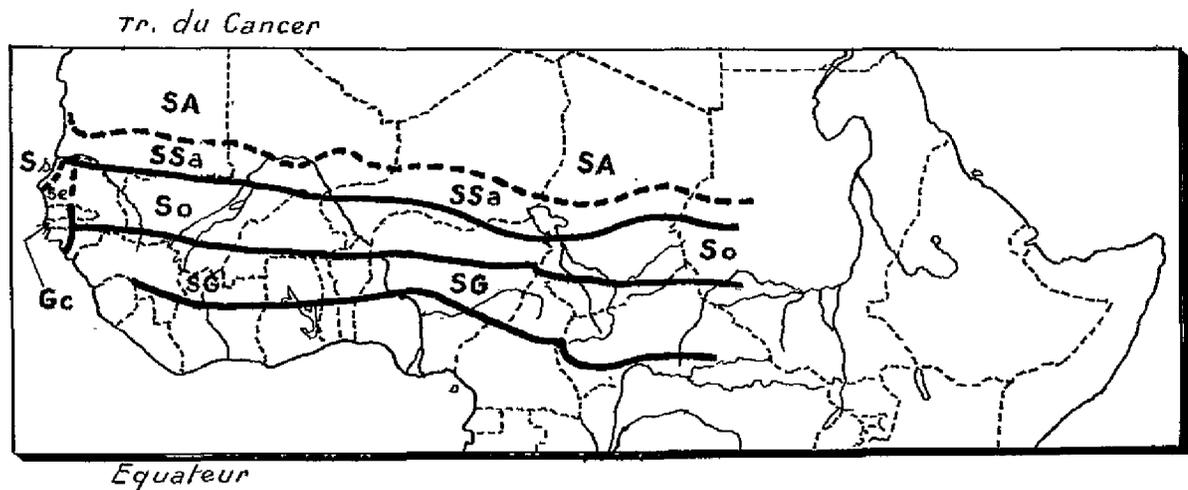
« Maxima absolus en avril-mai ; maxima relatifs « en octobre.

« Les maxima absolus dépassent 30° ; ils sont « particulièrement excessifs au Mali et au Niger.

« Alors que les maxima relatifs du mois d'octobre « sont en général inférieurs à 30°, ceux de Niamey « et de Zinder, au Niger, demeurent considérables « (> 33°).

« — Tension de la vapeur d'eau moyenne :

(1) Nous avons modifié, dans cette citation, quelques termes géographiques afin de les adapter à la situation actuelle.



Distribution de quelques climats en Afrique tropicale du tropique du Cancer à l'Équateur SA: Saharien - Ssa: Sahélo-saharien - So: Sahélo-soudanais Ss: Sahelo-côte Sénégalaise - Se: Sahélo-sénégalais - Gc: Guinéen basse Casamance SG: Soudano-guinéen (D'après Aubréville)

« annuelle : 9° 7 à 16 mm (moyenne ou forte),
 « mensuelle : minima : 3,7 à 8,5 mm,
 maxima : 18 à 22 mm.

« Variation annuelle : 8,3 à 15 mm (forte et ordinairement très forte).

« A Zinder la tension s'abaisse à 3,7 mm au mois de décembre.

« — Déficit de saturation moyen annuel : 11,5 à 22 mm (très fort ou excessif).

« Variation annuelle : 15,5 à 27 mm (excessive).
 « Climat particulièrement sec, aux variations considérables d'humidité.

« Très humide en saison des pluies, le sol est alors sujet à une évaporation modérée (le déficit de saturation en août est de 4 à 5 mm seulement dans de nombreuses stations), mais, pendant la saison sèche, la sécheresse devient excessive et le déficit de saturation prend des valeurs extrêmes, surtout au Niger (Zinder-Niamey).

« — Indice pluviométrique : 400 à 1.200 mm, mais presque toujours inférieur à 1.000 mm (ordinairement faible).

« Courte ou très courte saison des pluies avec 2 à 4 mois très pluvieux, 3 à 4 ordinairement ; maximum au mois d'août. Saison sèche rigoureuse avec 6 à 8 mois secs, plus rarement 5.

« Indice des saisons pluviométriques :

- 2-2-8
- 3-1-8
- 2-3-7
- 3-2-7
- 4-1-7
- 2-4-6 (exceptionnel)
- 3-3-6
- 4-2-6 (le plus fréquent)
- 4-3-5

« Plusieurs divisions climatiques régionales pourraient probablement être distinguées, si les données statistiques étaient assez nombreuses. En particulier le climat du Niger paraît exceptionnellement sec et chaud. Dans ce pays les stations de Tahoua, Zinder, Filingué, sont à la limite du climat sahélo-saharien. »

b) Le climat sahélo-sénégalais (Se).

C'est une variante du climat sahélo-soudanais moins chaud et moins sec que celui-ci.

Les températures moyennes annuelles sont comprises entre 26° 7 et 28° 3.

Le déficit de saturation moyen annuel, quoique fort est cependant moins excessif que pour le climat précédent (9 à 12 mm).

L'indice pluviométrique varie de 500 à 900 mm.

L'indice des saisons pluviométriques est généralement 3-2-7.

c) Le climat guinéen basse Casamance (Gc).

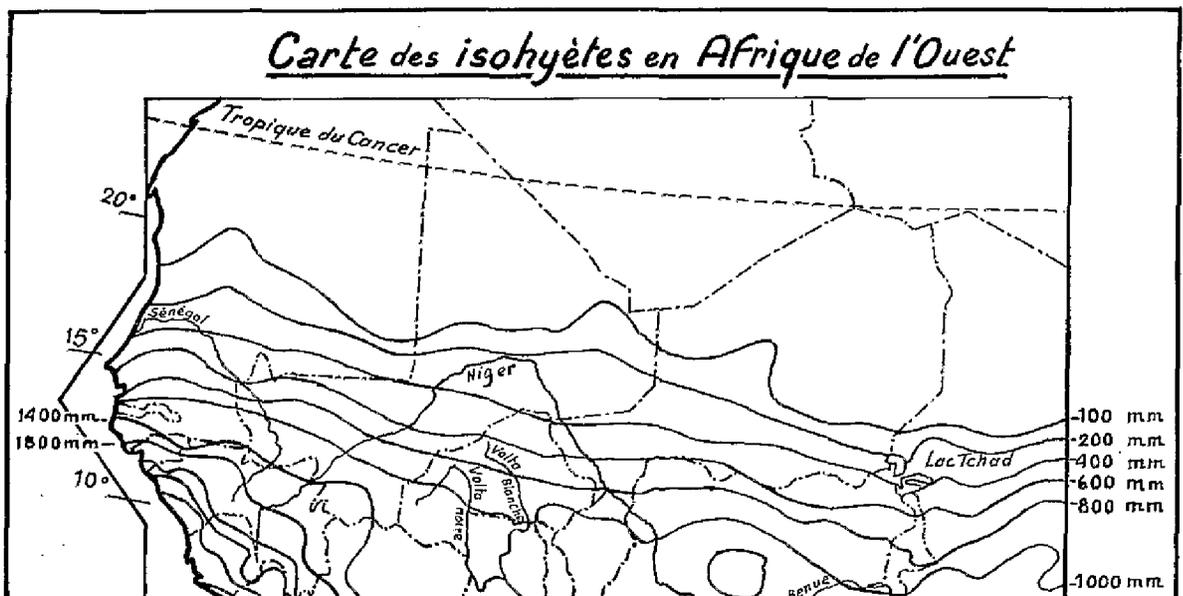
Climat propre à la partie ouest de la Gambie, de la Casamance (Sénégal) et de la Guinée Bissau. Il est considéré par AUBRÉVILLE comme un sous-climat maritime du climat sahélo-soudanais. Il existe un brusque passage de la saison des pluies à la saison sèche (et inversement) et celle-ci est longue.

Les températures moyennes annuelles sont comprises entre 25° 2 et 26° 3.

Le déficit de saturation moyen annuel n'est pas très élevé (6,5 à 7 mm).

L'indice pluviométrique varie de 1.200 mm à 1.750 mm.

L'indice des saisons pluviométriques est généralement 5-0-7.



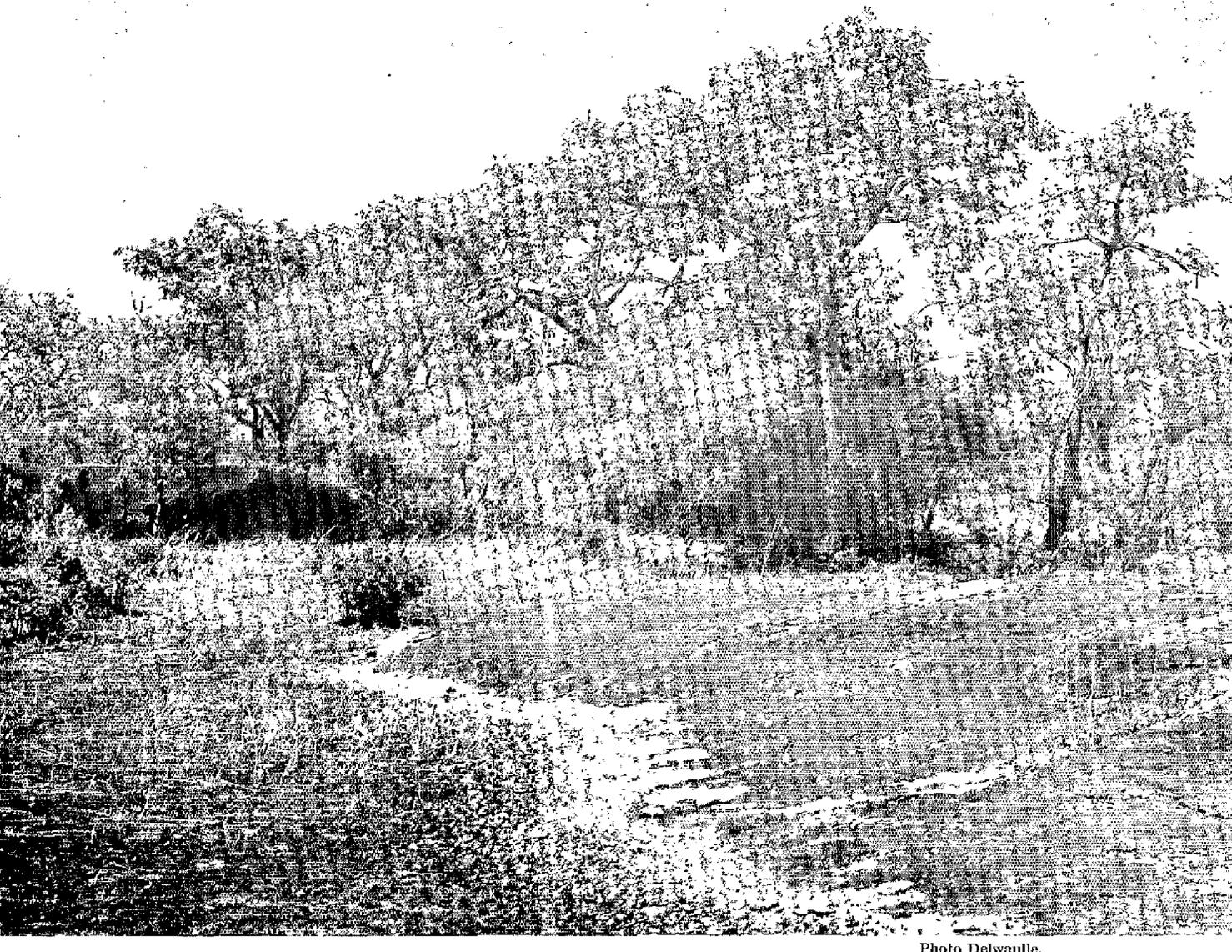


Photo Delwaulle.

Paysage de la zone sahélo-soudanaise — Forêt de Wayen (Haute-Volta) — juillet 1971 :
Detarium microcarpum, *Lannea acida*, *Bombax costatum*).

d) Le climat sahélo-Côte sénégalaise (Ss).

« Climat exceptionnel sur la côte occidentale
« d'Afrique qui est ici sous l'influence, durant une
« grande partie de l'année, du souffle frais de l'alizé
« de l'Atlantique Nord, et pendant une courte
« saison des pluies, sous l'influence de la mousson
« guinéenne. L'alizé frais et humide ne pénètre pas
« profondément dans l'intérieur du pays, de sorte
« que ce climat ne se fait sentir que dans une étroite
« bande côtière, le long du littoral sénégalais ; vers
« le sud, il ne semble pas que son aire dépasse de
« beaucoup la presqu'île du Cap Vert. »

— Température moyenne annuelle : 23° 7 à 25°.

— Déficit de saturation moyen annuel : 5,3
à 7 mm (moyen).

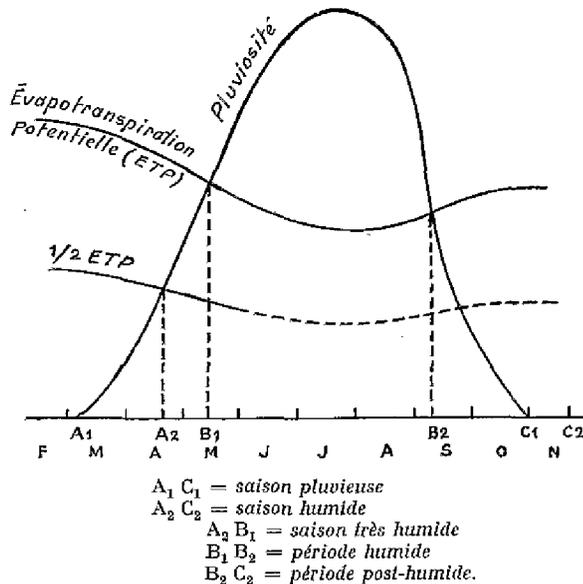
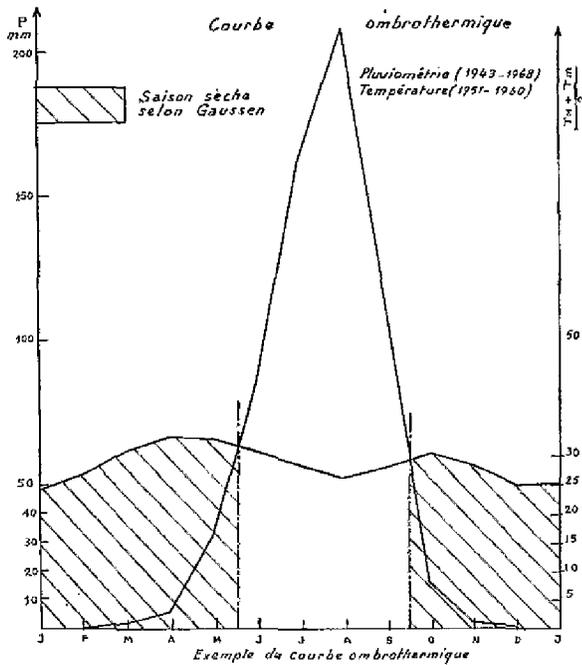
— Indice pluviométrique : 400 à 550 mm.

— Indices des saisons pluviométriques : 2-1-9 ;
2-2-8 ; 2-3-7.

3.1.2.4. — LES CLIMATS TROPICAUX SEMI-HUMIDES.

Le terme « semi-humide » laisse à prévoir que ces climats ne nous concernent pas. En fait la bordure nord du climat soudano-guinéen, climat type, limite le sud de notre domaine d'étude. Ce climat apparaît à l'extrême sud des pays qui nous concernent (Mali, Haute-Volta, Tchad) mais les stations que nous aurons l'occasion de citer dans ces pays relèveront du climat sahélo-soudanien ; les plus méridionales, Dinderesso en Haute-Volta et les Monts Mandingues au Mali ne pouvant encore être considérées comme jouissant d'un climat soudano-guinéen : durée de la saison sèche nettement supérieure à 4-5 mois, durée de la saison des pluies inférieure à 5 mois.

Niamey-Aérodrome



3.1.3. — Importance de la pluviosité à l'intérieur des climats.

A l'intérieur du climat sahélo-soudanais, climat continental, il n'est plus nécessaire pour situer climatiquement un point particulier de faire mention des températures moyennes et de leur variation, du déficit de saturation ni de l'indice de pluviosité car tous ces facteurs jouent sensiblement dans le

même sens que la pluviométrie et il suffit de fixer le chiffre relatif à celle-ci pour qu'immédiatement l'esprit se représente la courbe ombrothermique et la courbe d'évapotranspiration potentielle (en relation avec le déficit de la saturation).

Il en va de même à l'intérieur des climats sahélo-sénégalais et guinéen-basse Casamance. Aussi aurons-nous tendance, dans ce qui va suivre, à caractériser un point de la région étudiée par zone continentale (sahélo-soudanais) ou influence maritime (sahélo-sénégalais ou guinéen-basse Casamance) et par l'isohyète du lieu ce qui fixe avec assez de précision, à notre sens, les caractéristiques climatiques locales.

Pour ce qui est du climat sahélo-côte sénégalaise, nous aurons tendance à parler de « frange maritime sénégalaise » et le climat sahélo-saharien, rarement abordé, se caractérisera par l'isohyète comprise entre 200 et 400 mm.

Nous venons de citer deux types de représentation graphique de certaines composantes du climat qui seront utiles au forestier. Il s'agit tout d'abord de la courbe ombrothermique telle qu'elle a été définie par GAUSSEN et BAGNOULS : sur un graphique sont représentées les courbes des variations mensuelles de la pluviométrie et de la température moyenne en adoptant une échelle de pluviométrie exprimée en mm correspondant à une échelle égale à deux fois celle des températures exprimées en degrés. Les deux courbes se coupent et délimitent saison humide et saison sèche.

Pour ce qui concerne la courbe d'évapotranspiration, FRANQUIN (cf. bibliographie) a défini un graphique où les courbes E. T. P. et 1/2 E. T. P. coupent la courbe de la pluviométrie et définissent d'autres périodes qui sont d'un grand intérêt pour le forestier.

3.1.4. — Limite de l'étude.

Les limites climatiques et géographiques de notre travail sont donc relativement précises. Il s'agit, à l'intérieur de l'Afrique tropicale, au nord de l'équateur, des limites suivantes :

— au nord, la limite sud du climat saharien c'est-à-dire l'isohyète 200 mm ;

— à l'ouest, l'Océan Atlantique ;

— au sud, la limite nord du climat soudano-guinéen englobant ainsi la Casamance au Sénégal mais ne touchant pas les parties les plus humides du Mali, de la Haute-Volta et du Tchad ;

— à l'est, la limite est plus imprécise car nous n'avons pas eu l'occasion de nous rendre dans les pays situés à l'Est du Tchad. Nous pensons cependant que cette limite orientale est constituée par les massifs montagneux éthiopiens et ce que nous serons amenés à écrire est donc valable, vraisemblablement, pour ce qui concerne le Soudan.

Par contre, nous n'avons nullement la prétention de croire que ce qui est valable pour la zone étudiée

l'est également pour d'autres zones sèches, même tropicales. Il faut dire, à cet égard, que les premiers forestiers d'Afrique tropicale sèche ont tenté d'utiliser les techniques et les espèces adaptées dans les zones sèches du Nord du Sahara et qu'il s'est révélé que la plupart d'entre elles étaient en fait à proscrire. De même, il est encore conseillé aux forestiers d'Afrique tropicale sèche des techniques ou des espèces ayant fait leur preuve dans d'autres zones sèches du globe (nous pensons par exemple au Cactus inermis, aux Atriplex, à *Leucaena leucocephala*, encore trop souvent préconisés quoique peu adaptés aux régions africaines concernées). Ces conseils sont donnés par des spécialistes peu informés des condi-

tions écologiques africaines et ignorant souvent l'état des connaissances acquises en matière de plantation dans ces pays. Il est certain que des améliorations peuvent être apportées dans les techniques et que des nouvelles espèces doivent faire l'objet d'introductions mais ces innovations ne peuvent être utiles aux forestiers de terrain qu'après être passées par le tamis de la recherche.

De même que nous sommes devenus très circonspects vis-à-vis des apports possibles d'autres zones tropicales sèches, de même sommes-nous persuadés que l'importante somme de connaissances forestières acquises dans notre milieu n'est pas applicable, sans grande précaution, à d'autres zones sèches.

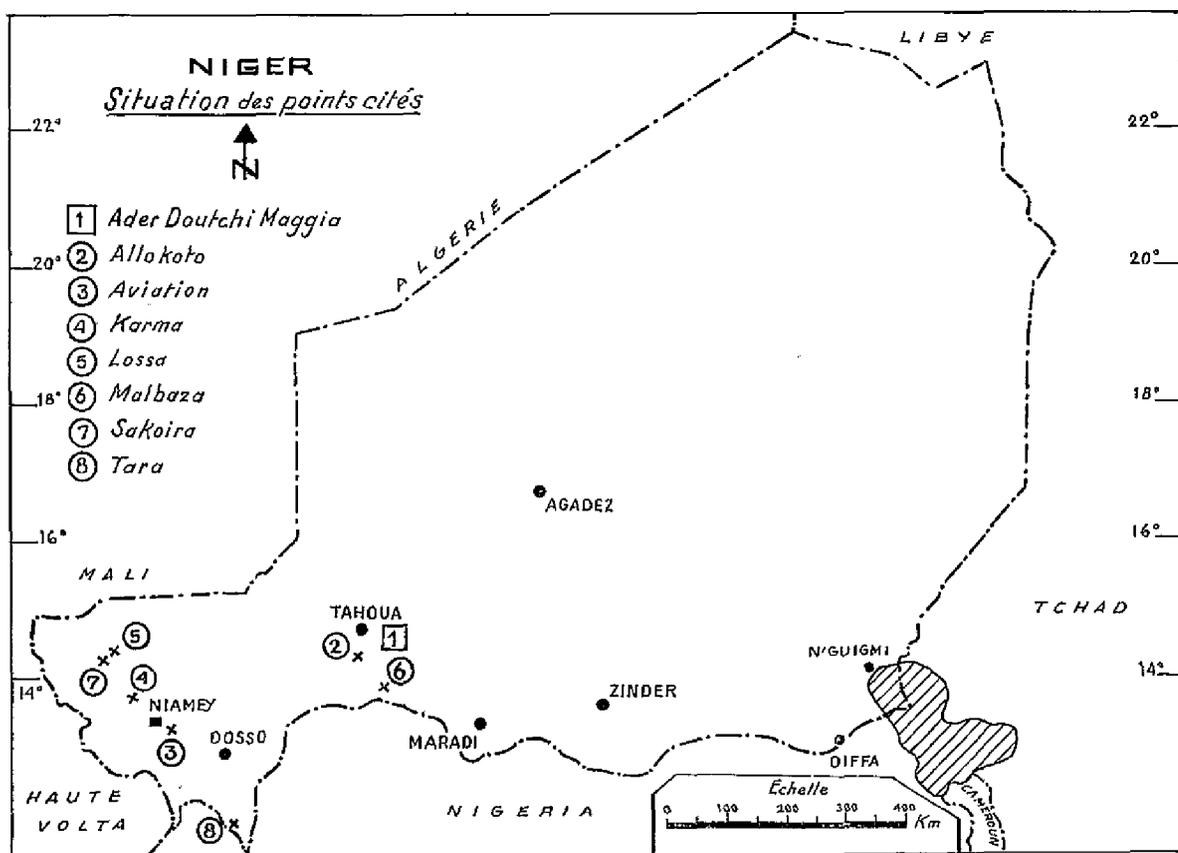
3.2. — LIEUX GÉOGRAPHIQUES CITÉS

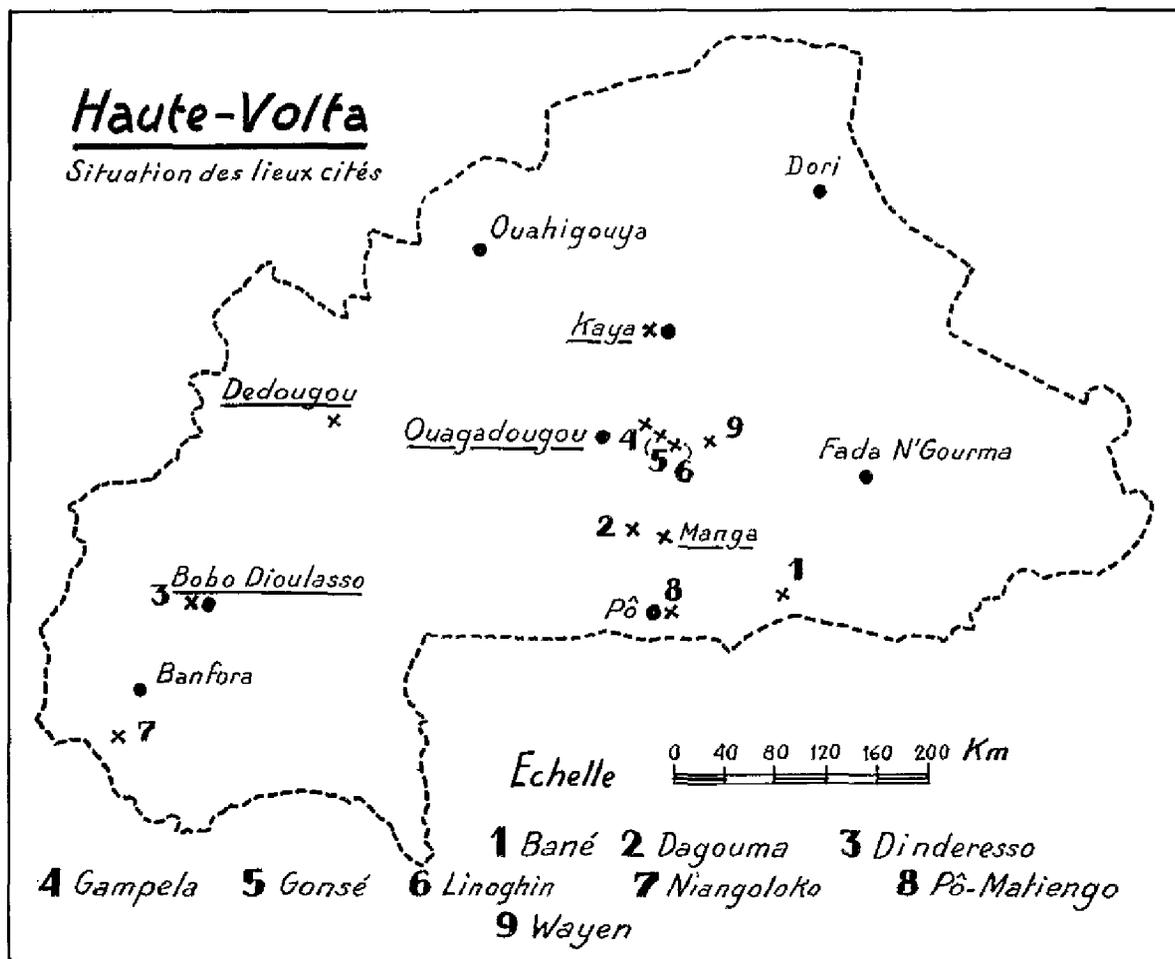
Dans l'exposé des techniques à utiliser nous tenterons d'illustrer chacune d'entre elles par des résultats acquis sur des stations. La plupart de celles qui sont citées sont situées au Sénégal, en Haute-Volta et au Niger et il nous a semblé utile de les faire figurer sur une carte de chacun de ces pays.

Pour le Niger et la Haute-Volta, on constatera que tous les noms mentionnés se situent à l'intérieur du climat sahélo-soudanais sauf au Niger, N'Guigmi (climat sahélo-saharien).

Pour ce qui est du Sénégal : Dakar, Hann, Malicka, Ret-Ba et Tamna sont soumis au climat sahélo-côte sénégalaise, Ross Bethio au climat sahélo-saharien, Bambey, Bandia, Fatick, Keur Mackar et Koutal au climat sahélo-sénégalais et Bayottes, Djibelor et Kalounayes au climat guinéen basse Casamance.

D'autres lieux seront cités dans des pays non représentés cartographiquement. Il s'agit : au Cameroun, de Gashiga, petite forêt classée située





près de Garoua ; au Mali, des forêts des Monts Mandingues et de La Faya situées respectivement au S.-O. et au Nord de Bamako et au

Tchad de la capitale N'Djamena. Tous ces lieux cités sont soumis au climat sahélo-soudanais.

IV. — MÉTHODOLOGIE EN MATIÈRE DE RECHERCHE SYLVICOLE

La majorité des essais mis en place en matière de recherches sylvicoles utilisent des dispositifs statistiques.

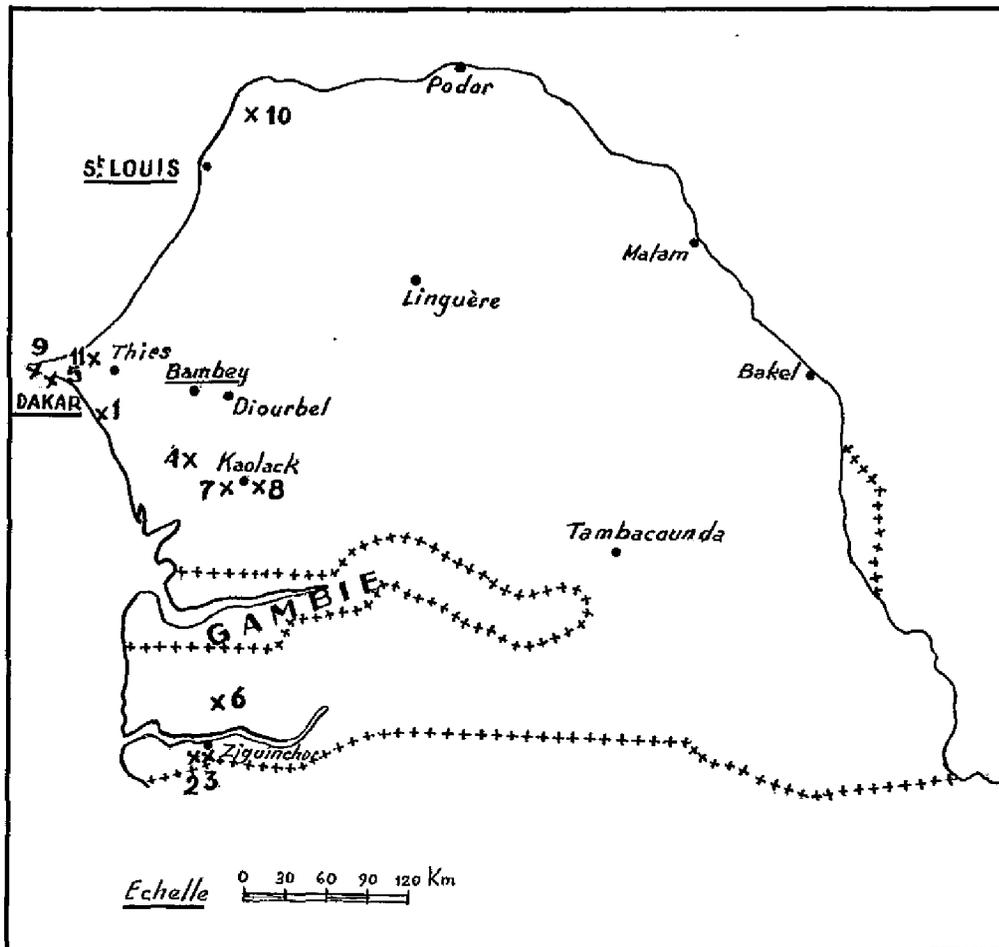
Nous aimerions, en tant que praticien, émettre quelques observations sur la mise en place et l'exploitation de ces dispositifs. Ces observations, fruits de plusieurs années de pratique de l'outil statistique, nous semblent pouvoir être utiles aux futurs chercheurs travaillant dans des conditions analogues à celles qui furent les nôtres. Il ne faut donc pas vouloir généraliser à toutes les situations ces commentaires

sur la méthodologie de la recherche forestière en matière de plantation en Afrique tropicale sèche.

1° La technique des blocs complets est à utiliser au maximum pour un certain nombre de raisons :

— Les dispositifs plus complexes (blocs incomplets notamment) ont l'intérêt d'amener un léger gain de précision par rapport à un dispositif en blocs complets utilisant la même surface mais nous ne sommes, en général, pas limités par la surface, et une répétition supplémentaire assure le plus souvent

SÉNÉGAL — Situation des lieux cités : 1 — Bandia ; 2 — Bayottes ; 3 — Djibelor ; 4 — Fatick ; 5 — Hann ; 6 — Kalounayes ; 7 — Keur Mactar ; 8 — Koutal ; 9 — Malicka et Reïba ; 10 — Ross Bethio ; 11 — Lac Tamma,



une précision au moins équivalente à celle qui est apportée par un dispositif sophistiqué, dont l'emploi n'est utile que lorsque le nombre de traitements est important (plus de 10 environ).

— Les calculs d'interprétation sont beaucoup plus simples à effectuer.

— La disparition, pour une cause quelconque, d'une parcelle ou d'un traitement entier, n'annule pas l'essai, la comparaison restant valable entre les autres traitements, ce qui n'est pas le cas pour certains autres dispositifs.

2° Nous avons tendance à préférer étudier les facteurs séparément plutôt que de monter d'emblée des essais plurifactoriels (qui pourront éventuellement faire l'objet d'essais ultérieurs). Très souvent donc, l'objectif de l'essai sera simple, son but étant de répondre à une question et à une seule. Les trai-

tements seront choisis en fonction de cet objectif et toutes les autres techniques utilisées devront être identiques. C'est ainsi qu'un essai « type d'engrais » par exemple :

— devra être effectué sur des sujets appartenant à une même espèce et à une même provenance,

— ces sujets auront été éduqués en pépinière, tous de la même manière,

— le travail du sol de tout l'essai sera identique,

— les doses d'engrais pour un traitement déterminé seront identiques,

— la plantation sera effectuée le même jour (voir cependant ci-après : 5°).

Il faudra constamment bien garder ceci en vue car on risque parfois d'introduire un biais sans s'en apercevoir. Nous en donnerons deux exemples :

Exemple 1 : on veut déterminer la date de repiquage la plus favorable pour une espèce et on ne prend pas garde que ce sont des manœuvres différents qui effectuent ces repiquages : les différences constatées pourront provenir de la date de repiquage (ce qu'on veut déterminer) mais aussi du degré de technicité des manœuvres. L'expérience est alors faussée.

Exemple 2 : on veut tester l'effet de la méthode taungya (plantation sur culture). Or la culture nécessite souvent des engrais et réalise par ailleurs un entretien de la plantation au moment de la récolte. Si les parcelles de référence sont sans engrais et entretenues au moment de la récolte, on ne disposera alors que d'une information incomplète. Il faut en fait, dans ce cas, prévoir quatre types de parcelles de référence : sans engrais, sans entretien — sans engrais, avec entretien — avec engrais, sans entretien — avec engrais, avec entretien.

Certains essais permettent de répondre simultanément à deux questions ; nous avons indiqué que nous préférons étudier les facteurs séparément avant d'aborder de tels essais. C'est ainsi que nous étudierons l'influence du travail du sol, l'influence de l'engrais, de manière séparée, avant de mettre en place un essai portant sur les interactions possibles : influence de l'engrais en fonction de la nature du travail du sol ; dans ce cas, la technique du « split-plot » qui consiste à diviser chaque placeau en deux afin de surimposer deux nouveaux traitements pourra être utilisée.

3° Lorsqu'une technique est considérée comme au point, elle doit être utilisée dans tous les essais ultérieurs sauf dans le cas éventuel où cette technique est remise en cause. On comprendrait mal, en effet, qu'un centre de recherche préconisant un sous-solage profond en matière de plantation n'utilise pas lui-même cette technique pour ses propres essais.

4° Dans les dispositifs en blocs complets, il est nécessaire que l'hétérogénéité à l'intérieur d'un bloc (hétérogénéité qui est inéluctable) soit nettement plus faible que l'hétérogénéité entre blocs. Nous nous expliquerons mieux sur un exemple :

8	5	9	6	1	3	4	2	7	bloc A
6	1	4	8	2	7	9	5	3	bloc B

Dans le cas représenté, il est peu probable (sauf gradient particulier pouvant motiver un tel choix) que la condition que nous venons d'énoncer soit respectée car certaines parcelles d'un même bloc sont très nettement plus éloignées l'une de l'autre qu'elles ne le sont de parcelles du bloc voisin. S'il n'existe pas de gradient particulier (pente par exemple), plutôt qu'un dispositif linéaire de ce type, il est préférable d'adopter un dispositif groupant les parcelles dans le bloc :

8	3	4	9	4	1
1	5	7	6	8	7
6	2	9	3	2	5
bloc A			bloc B		

Cette condition est en fait difficile à obtenir en pratique. Elle doit aboutir à mettre en évidence, dans l'analyse de variance, des différences significatives entre blocs ce qui est loin d'être toujours réalisé.

Afin de rendre les blocs dissemblables entre eux et afin aussi de tirer de l'essai des conclusions plus aisément généralisables (à des sols ou à des variations locales de conditions climatiques) rien n'interdit de les disposer, par exemple, dans des lieux différents, sur des sols différents ou même à des dates différentes (un essai peut être donc mis en place avec implantation d'un bloc tous les ans ; répétitions dans le temps, c'est alors un dispositif difficile à mettre en place, demandant de la continuité, mais très satisfaisant).

Remarquons que tout dispositif en blocs complets donne des éléments de réponse à deux questions puisqu'il y a deux facteurs en cause (traitements et blocs).

Y a-t-il une différence entre traitements ? (question primordiale).

Y a-t-il une différence entre blocs ? (question souvent secondaire mais qui, dans un dispositif bien conçu, peut être intéressante).

On conçoit donc que, sauf dispositif expérimental particulièrement bien étudié, il y ait alors danger de poser une question supplémentaire qui risquerait d'interférer sur les deux autres.

5° Il peut arriver qu'on ne puisse pas réaliser l'identité totale des techniques, et ce peut être par exemple le cas pour la date de plantation alors que l'on étudie tout autre chose que cela.

On introduit alors une variation et il est important d'inclure celle-ci dans l'effet bloc. En effet :

— Si on effectue la plantation au hasard, la variation due à la date de plantation va se retrouver dans la variance résiduelle, diminuant ainsi le rapport variance entre traitements sur variance résiduelle, cachant ainsi des différences significatives entre traitements.

— Si on effectue la plantation traitement après traitement, les différences significatives mises en évidence porteront sur « traitement + date de plantation » et non traitement seul.

— Si par contre, on effectue la plantation bloc après bloc, la variation due à la date de plantation s'intégrera à la variation due aux blocs et n'affectera pas (au moins d'une manière importante) la variance entre traitements et la variance résiduelle.

De la même façon, on visera à inclure dans l'effet bloc tout facteur d'hétérogénéité autre que le fac-

teur étudié (entretiens, traitements phytosanitaires, mensurations, etc...).

L'obtention de différences significatives sera d'autant plus aisée que le rapport variance entre traitements sur variance résiduelle sera plus fort, donc en particulier que la variance résiduelle sera plus faible.

C'est dans cette variance résiduelle que s'accumulent en fait toutes les variations dues à d'autres facteurs que les traitements et les blocs. On comprend donc qu'on a toujours intérêt à travailler avec le matériel le plus homogène possible et dans les conditions les plus identiques possibles.

6° Le nombre de plants par parcelle unitaire ne doit pas être trop faible : 5×5 arbres mesurables correspond à notre sens à l'extrême minimum acceptable mais nous préférons nettement des parcelles unitaires comprenant au moins 6×6 plants mesurables.

En fait, il faut normalement choisir le nombre de plants par parcelle en fonction du nombre de plants restant lors de l'exploitation et se baser alors sur un nombre minimum de 25 plants par placeau (30 serait meilleur); on pourrait d'ailleurs prendre moins d'individus dans le cas d'un matériel végétal très homogène (clones par ex.). La majorité des essais mis en place en Afrique tropicale sèche étant (statistiquement) exploités rapidement, le nombre de plants mis en place est équivalent au nombre de plants qui existeront sur le placeau lors de l'exploitation.

7° Plus le nombre de blocs sera élevé et plus fins seront les résultats de l'observation; 4 blocs nous semblent être le minimum à n'adopter que dans le cas d'essais assez lourds. Le nombre optimal de blocs nous semble être de six.

8° Il est nécessaire de mettre sur le périmètre de l'essai deux rangs de bordure. Pour des raisons purement financières, de nombreux essais ont été mis en place avec un seul rang de bordure.

9° La séparation des plants entre parcelles est un problème délicat à résoudre. En toute logique, du fait des interactions, les arbres limites de parcelles ne devraient pas être mesurés. Dans la pratique, pour des raisons d'économie, ils le sont généralement dans les essais où l'on estime que l'interaction est réduite; ils ne le sont évidemment pas là où l'interaction est obligatoire (travail du sol, engrais).

10° L'analyse de variance est très simple et rapide à effectuer; elle porte sur une variable relative à une parcelle unitaire (peuplements et non arbres pris individuellement). Elle est effectuée sur des mensurations et peut porter :

- sur la moyenne des hauteurs,
- sur la somme des hauteurs (critère meilleur que le précédent puisqu'il inclut la reprise),
- sur la surface terrière,
- sur la somme des produits surface terrière

individuelle \times hauteur individuelle (qui est une approche de la production),

- sur les pourcentages de reprise,
- sur les coefficients de variation des parcelles unitaires,
- etc...

L'analyse permet de mettre en évidence des différences significatives entre traitements pour l'ensemble de l'essai. Elle ne permet pas de rendre manifeste des différences à l'intérieur d'un bloc. Elle ne permet également pas de faire ressortir des différences entre arbres à l'intérieur d'une parcelle unitaire.

Il est donc inutile de procéder au calcul souvent long de l'écart-type à l'intérieur des placeaux. On n'a recours à ce calcul que si l'on veut analyser l'homogénéité des différents peuplements; on fait alors une analyse de variance portant sur le coefficient de variation des parcelles unitaires.

11° On pourra noter que certains essais ont été réalisés en utilisant des parcelles unitaires d'un seul arbre (essai monoarbre). Ces essais ont des avantages résolus, du fait des interactions entre arbres et de l'influence des places vides.

Il est absolument exact que ces difficultés sont réelles: l'exploitation d'un essai monoarbre doit être très rapide et porter sur des traitements où les risques d'interactions sont limités. En particulier, un essai provenance en monoarbre ne permet qu'un tri très sommaire et il doit être rapidement reproduit par un essai en blocs.

Un essai monoarbre présente cependant de nombreux avantages :

- on travaille sur des individus et non sur des peuplements (où les renseignements individuels ne sont généralement pas exploités);
- les sols affectés à chaque traitement peuvent être considérés comme identiques;
- le nombre de répétitions peut être très important sans que cela entraîne de grosses difficultés;
- à partir d'une centaine de répétitions, on peut tester la normalité des populations, et on peut mettre ainsi en évidence des cas d'anormalité (hybrides par exemple);
- on peut également tester d'une manière très fine l'homogénéité des variances entre les populations et mettre ainsi en évidence des populations très homogènes et d'autres très hétérogènes;
- il prend peu de place sur le terrain et n'est pas aussi délicat à mettre en place qu'on le dit. En particulier, si les traitements étudiés ne doivent pas être réalisés au moment même de la plantation, ils peuvent généralement être mis en place avec tout le soin nécessaire;
- enfin l'inconvénient des interactions peut devenir un avantage dans la mesure où celles-ci peuvent être chiffrées.

12° Nous voudrions enfin insister sur l'importance de cette méthodologie :

En matière de recherche, il faut, en effet, toujours s'efforcer de n'avancer que des résultats objectivement valables. S'il est exact que le forestier de terrain est amené, du fait de son expérience, à préférer pour des raisons subjectives telle ou telle technique, il est du devoir du chercheur de transformer en données objectives telle ou telle de ces solutions. Il ne peut le faire qu'en mettant en œuvre une expérimentation rigoureuse et adaptée qui ne saurait, en aucun cas, être une expérimentation au rabais ; il n'est pas concevable, de ce point de vue, de réaliser des essais « à l'économie » en effectuant plusieurs essais sur un seul dispositif, en diminuant la taille des parcelles ou le nombre de répétitions, en n'effectuant pas le travail préconisé pour réussir, etc...

Si, et c'est malheureusement souvent (sinon toujours) le cas, le budget affecté à la recherche est insuffisant pour mener de front tous les problèmes posés, il est impérieux de réduire le nombre des essais mis en place, mais il ne saurait être question d'en diminuer la qualité et la rigueur car on aboutirait alors à une absence totale de résultats ou à des résultats auxquels on ne pourrait faire confiance.

Il en résulte que, si l'expérimentation doit être confiée à un personnel particulièrement compétent, il est également nécessaire qu'il y ait toujours un contact très direct entre forestiers de terrain et forestiers de recherche, les premiers étant les mieux placés pour formuler les besoins et soulever les problèmes, les seconds étant les seuls à pouvoir les résoudre techniquement d'une manière objective.

(A suivre)

LES CAHIERS SCIENTIFIQUES

Dans la série de compléments à la revue : « **Les Cahiers Scientifiques** », a paru, sous le numéro 4, une importante étude de MM. C. BAILLY, G. BENOIT de COIGNAC, C. MALVOS, J. M. NINGRE et J. M. SARRAILH intitulée : Étude de l'influence du couvert naturel et de ses modifications à Madagascar — Expérimentations en bassins versants élémentaires.

Les Cahiers Scientifiques déjà publiés concernent les sujets suivants :

- N° 1. — « **Bioclimatologie et dynamique de l'eau dans une plantation d'Eucalyptus** », par MM. Y. BIROT et J. GALABERT.
- N° 2. — « **Analyse en composantes principales des propriétés technologiques des bois malgaches** », par MM. F. CAILLIEZ et P. GUENEAU.
- N° 3. — « **Contraintes de croissance** », par M. P. GUENEAU.

On peut se les procurer en en faisant la demande à :

BOIS ET FORÊTS DES TROPIQUES
45 bis, avenue de la Belle-Gabrielle,
94130 NOGENT-SUR-MARNE — France.

Le prix de chaque numéro est de **15 F**, tarif 1978.