



Photo C. T. F. T. Niger, Haute-Volta.

Méthode steppique. Préparation des terrains de plantation par rootage (Niger, forêt de l'Aviation 1966).

SYLVICULTURE TROPICALE DANS LES ZONES SÈCHES DE L'AFRIQUE ⁽¹⁾

(suite)

par R. CATINOT,

Directeur des Recherches Forestières du C. T. F. F.

SUMMARY

TROPICAL SILVICULTURE IN THE DRY ZONES OF AFRICA

In this second part, mechanized methods of planting are dealt with, especially the « steppic » method developed by foresters in North Africa. The comparison of climatic conditions reveals such differences between the Sudan-Sahara zone and the Mediterranean zone that it is not impossible that the steppic method may not give equally spectacular results in the Southern Sahara. A summary of the initial results obtained with this method is then given, followed by conclusions on the work and research to be undertaken with a view to reafforestation in dry or semiarid zones.

(1) La 1^{re} partie de cet article a été publiée dans le n° 111 (janvier-février 1967), p. 5.

SILVICULTURA TROPICAL EN LAS ZONAS SECAS DE AFRICA

En esta segunda parte, se aborda el estudio de los métodos mecanizados de plantación y, especialmente, el método estépico puesto a punto por los especialistas forestales de África del Norte. La comparación entre las condiciones de clima revela que semejantes diferencias entre la zona sudano-saheliana y la zona mediterránea, no harían imposible que el método estépico diese resultados tan espectaculares al Sur del Sahara.

Se indican resumidamente los resultados obtenidos por medio de este método, y se formulan conclusiones acerca de los trabajos y las investigaciones que sería preciso emprender con objeto de realizar replantaciones en las zonas secas o semiáridas.

**TITRE II. — ESSAIS D'ADAPTATION DE TECHNIQUES UTILISÉES
AVEC SUCCÈS
DANS D'AUTRES ZONES SÈCHES DU MONDE
LA MÉTHODE STEPPIQUE**

Les difficultés rencontrées par les Forestiers des zones sèches d'Afrique tropicale et de Madagascar ne leur étaient pas propres, et sous tous les climats « secs », « arides » ou « semi-arides » les mêmes problèmes se posaient.

Ce fut le mérite des Forestiers français d'Algérie de proposer vers 1956 une technique originale de préparation du sol dite « Méthode Steppique » susceptible d'assurer la réussite des reboisements non arrosés en zone semi-aride. Cette technique reprise

ensuite par les Forestiers d'Afrique du Nord, puis d'Israël a donné lieu à suffisamment de réussites pour qu'on puisse considérer qu'elle a fait ses preuves dans les pays de climat semi-aride méditerranéen.

Il était donc indiqué de l'expérimenter, dans le cadre de la recherche, en Afrique tropicale sèche. C'est ce que nous avons fait dans les Centres Techniques Forestiers Tropicaux du Niger-Haute-Volta, et tout récemment du Sénégal.

1° PRINCIPES ET DESCRIPTION DE LA MÉTHODE

Voyons d'abord comment est née cette méthode car sa genèse en Algérie est particulièrement intéressante. On peut dire qu'elle est née du mariage de la sylviculture et de la D. R. S. (Défense et Restauration des Sols).

En effet, d'abord surpris de la facilité avec laquelle le Cèdre se régénérât sur les talus des chemins, les Forestiers d'Algérie furent amenés, par ailleurs, dans le cadre de leurs recherches de D. R. S., à créer des banquettes de terre destinées à diminuer les phénomènes de ruissellement et d'érosion. Pour maintenir ces banquettes ils cherchèrent à les reboiser et furent rapidement frappés par la réussite des reboisements effectués sur la face aval des banquettes. Ils surent faire le rapprochement avec la régénération du Cèdre sur le bord des chemins et dégager ce qu'ils dénommèrent le « phénomène de talus », qu'ils cherchèrent à utiliser ensuite systématiquement sans pouvoir en expliquer les avantages d'une façon précise (meilleur

mélange des horizons du sol, aération, insolation, etc...). Comme leurs recherches de D. R. S. avaient d'autre part démontré qu'un travail profond du sol sans retournement (sous-solage, rootage) augmentait sensiblement les réserves d'eau du sol, ils eurent l'idée d'associer le « rootage » au « talutage » et créèrent ainsi la « Méthode Steppique ».

Elle consiste à réaliser un rootage partiel ou en plein du sol, à établir selon les courbes de niveau à l'angle-dozer ou à la niveleuse de gros billons qui recouvrent certaines raies de rootage (fig. 1) et à réaliser les plantations forestières sur ces billons.

Avec un tel travail du sol, l'eau de pluie est obligée de s'infiltrer dans son intégralité, ce qui pour ces régions, constitue une particularité remarquable : elle est d'une part retenue entre deux billons successifs et d'autre part absorbée par les raies de rootage ; d'ailleurs des impluvium réguliers, façonnés à la niveleuse peuvent guider si besoin est, les filets d'eau vers la base d'un seul bourrelet et en

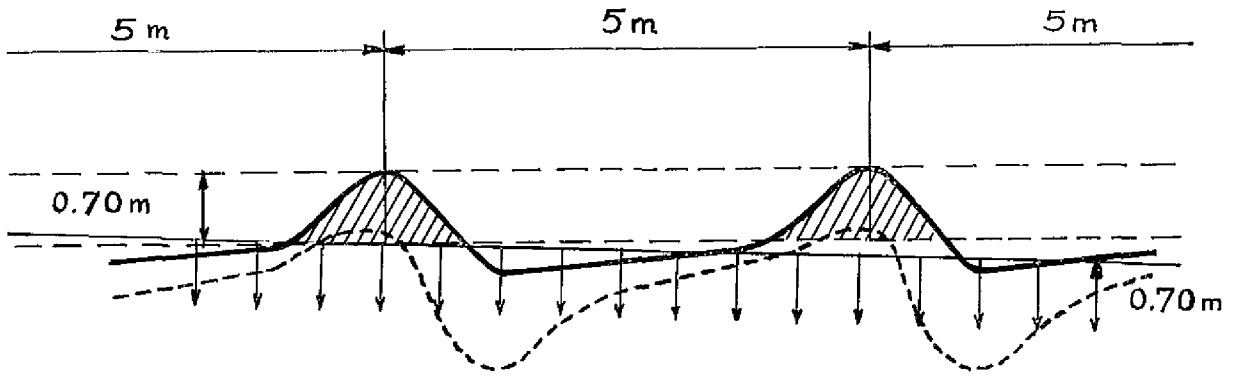


FIG. 1. — Méthode steppique. Le trait en pointillés marque la profondeur de sol mouillée.

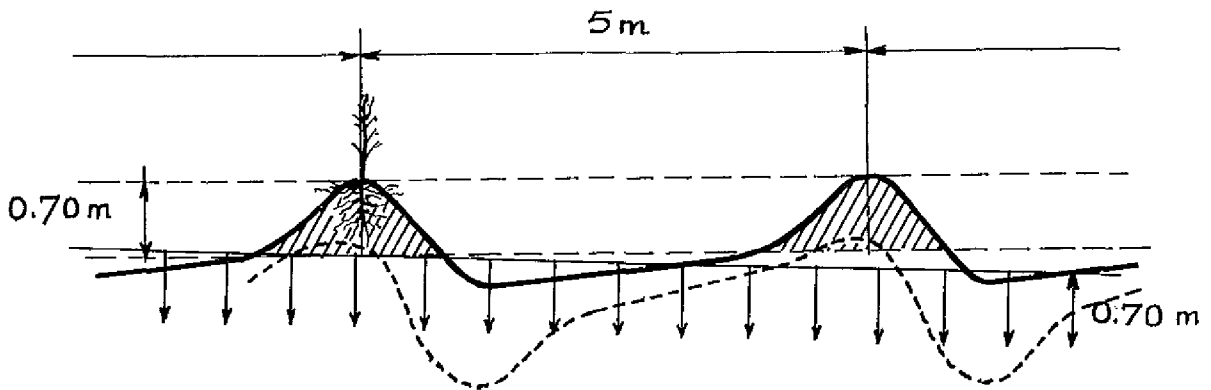


FIG. 2. — Le plant situé au sommet du bourrelet est facilement déchaussé.

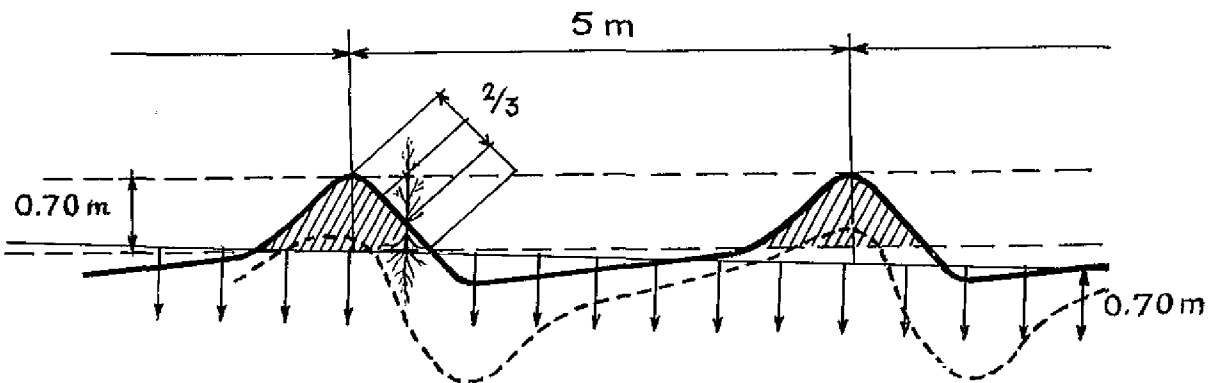


FIG. 3. — Le plant situé aux $2/3$ du bourrelet n'est pas déchaussé.

font entièrement profiter la rangée d'arbres plantée sur cette face du bourrelet (pour éviter le déchaussement par tassage de la terre, les plants ne sont pas en effet mis au sommet des bourrelets (fig. 2) mais sur une face latérale à environ $2/3$ du sommet) (fig. 3).

Ce profilage du sol conduit donc à mettre à la disposition des jeunes arbres une lame d'eau supérieure à la hauteur de pluie tombée par récupération des ruissellements sur deux impluvium élémentaires : c'est l'un de ses avantages déterminants.

Dans la pratique, le travail est réalisé par un tracteur chenillé tirant un rooter ou un ripper qui défonce le sol sur 0,70 m-0,80 m de profondeur et le reprend ensuite en réalisant à l'angle - dozer en deux passages (pelle du même côté) un bourrelet équidistant du suivant de 3-4 m au minimum à 7-8 m au maximum : l'équidistance des bourrelets est inversement proportionnelle à la pluviométrie puisque la surface de l'impluvium, donc l'écartement, doit augmenter avec l'aridité du climat si l'on veut rassembler sous les plants la même quantité d'eau. La puissance du tracteur, fonction de la

compacité du sol, doit être en général supérieure à 120 CV (en Algérie, sur sols à carapace, on utilisait couramment des tracteurs de 150 CV) ; comme ce travail exige de 4 à 9 heures d'engin à l'hectare, l'opération est donc coûteuse.

Mais en contre-partie l'emploi de cette technique a permis de réaliser **sans arrosage** de nombreuses plantations forestières sous 300 à 400 mm/an de pluviométrie (Afrique du Nord, Israël), et même de réaliser en Israël des plantations routières de Tamarix sous 200 mm/an (1).

2° EXPLICATION DE SA RÉUSSITE

L'explication scientifique de la réussite de la méthode steppique, mise au point au départ par approches empiriques a été tentée par certains Forestiers d'Algérie, et spécialement par A. MONJAUZE (2). Malheureusement, il faut déplorer que les Forestiers d'Algérie n'aient pas pu disposer, par suite des circonstances, des moyens de recherche et du recul indispensables permettant d'analyser suffisamment les différents phénomènes et leurs relations réciproques. Toutefois, le Centre de Recherche et d'Expérimentation Forestières d'Algérie a pu réaliser en 1962-1963 un certain nombre de recherches dont nous donnerons les conclusions plus loin (R. PÉTRON).

(1) (2) A. MONJAUZE : « Les plantations forestières sur bourrelets en Israël », etc...

— A. MONJAUZE étudie d'abord le milieu naturel où sont réalisés ces boisements et classe les différentes stations d'après les indices xéothermiques de Bagnouls et de Gausсен, en utilisant plus spécialement leurs courbes ombrothermiques. Ces deux Auteurs ont en effet imaginé une représentation graphique ingénieuse des éléments d'aridité d'un climat : après avoir admis qu'en moyenne l'évapotranspiration potentielle (E. T. P.) se chiffre par mois en millimètres d'eau évaporée dans l'atmosphère, par le double du chiffre de la température moyenne en degrés centigrades, ils tracent sur un même graphique la courbe annuelle de la pluviométrie en millimètres et la courbe annuelle de la température ; comme cette dernière a été transcrite à échelle double elle représente donc les variations de l'E. T. P. durant l'année et la poche formée par les deux courbes (hachurée sur les croquis nos 6 et 8) représente en ordonnées la différence mensuelle entre la quantité d'eau évaporée et la quantité d'eau tombée donc figure précisément l'aridité. On peut ainsi comparer très commodément l'aridité de deux stations, grâce à la surface de leur « poche d'aridité ».

— Analysant les courbes de GAUSSEN d'une station, A. MONJAUZE constate que le déficit d'aridité figuré par la poche (mesurable en millimètres par mois) doit être compensé par les réserves d'eau que le sol a pu constituer durant la saison des pluies précédentes si l'on veut que les végétaux de la station puissent survivre à la saison sèche. Il calcule ces

Arbres fruitiers de 6 ans plantés sur les bourrelets des banquettes dans le périmètre de Blida (Alger). Remarquer en outre l'abondance du fourrage.

Photo Service D. R. S. Algérie.



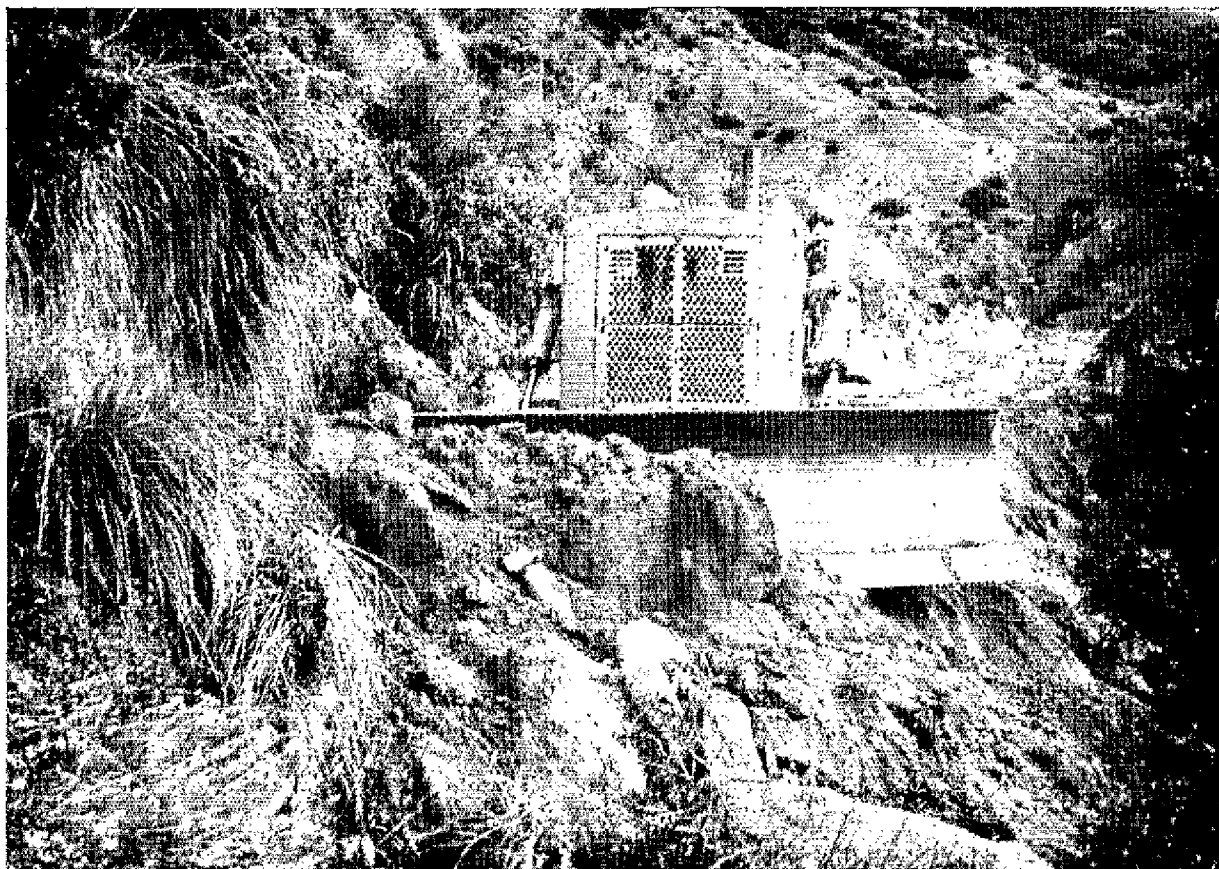


Photo Service D. R. S. Algérie.

Travaux de défense et restauration des sols. Plantations en Algérie. Ouverture d'une piste au bulldozer.

réserves en lame d'eau qu'il qualifie de « profondeur mouillée » et qu'il définit ainsi (1) :

« ...elle a pour mesure la hauteur du sol susceptible d'emmagasiner puis de restituer aux végétaux « la quasi-totalité de l'eau infiltrée chaque année. »

Cette notion a une portée pratique considérable, car elle figure la couche du sol qui fixe l'eau disponible pour les racines. — Mais comme cette profondeur mouillée dépend elle-même du peuplement végétal porté par la station, on ne peut en discuter qu'en partant des conditions naturelles se rapprochant le plus des conditions théoriques, c'est-à-dire lorsqu'on peut éliminer l'influence du peuplement végétal : ceci se produit en climat méditerranéen pendant l'hiver car alors l'activité végétative est pratiquement nulle. Voici un exemple de calcul donné par A. MONJAUZE pour la station israélienne de Pelugot (2) :

« Il s'agit, à des fins pratiques, de déterminer un « ordre de grandeur et rien de plus. Faute d'idées « plus précises on posera d'abord que le sol ombragé « protégé par une litière et de l'humus en bon état

« n'évapore que le dixième de la lame mesurée au « Piche, ensuite que dans son épaisseur la hauteur « d'eau susceptible d'être retenue par capillarité « au-dessus du point de flétrissement est de 150 mm « par mètre. »

« On supposera également que pour les grandes « essences ligneuses adaptées ou adaptables au pays, « la franche saison de végétation foliacée ne com- « mence qu'au-dessus d'une température moyenne « journalière de 15°. C'est à peu près le cas pour les « arbres indigènes, au Sud de la Méditerranée. S'il « n'en était pas ainsi et si, par exemple, la végéta- « tion forestière démarrait et consommait fortement « de l'eau dès les 12° atteints, il n'y aurait guère de « boisement possible dans la région spécialement « considérée ici : l'activité végétative ne s'arrêterait « pas en hiver et le maigre capital d'eau qui tombe « du début de novembre à la fin de mars serait com- « plètement annihilé dès l'orée de la saison sèche. « Les arbres ne surmonteraient pas celle-ci. »

« A Pelugot, la température est inférieure à 15° « du 15 décembre au 15 mars. Pendant le même « temps, l'évaporation au Piche est de 300 mm. « Retirons le dixième de cette quantité des 217 mm « d'eau précipités pendant la même période. Il « reste 187 mm, correspondant à une profondeur « mouillée de $187 : 150 = 1,25$ m. »

(1) A. MONJAUZE : « Les plantations forestières sur bourrelets en Israël », p. 30.

(2) A. MONJAUZE : « Les plantations forestières sur bourrelets en Israël », p. 32.

— Ayant ainsi défini et mesuré pour une station la « profondeur mouillée », A. MONJAUZE explique la valeur de la méthode steppique en dessinant sur graphique la variation de cette profondeur mouillée en fonction des travaux du sol propres à cette méthode : elle augmente par suite du rootage qui facilite l'infiltration et par suite de la constitution de l'impluvium pour atteindre finalement son maximum sous le plant lui-même. L'auteur admet toutefois que ces graphiques sont assez théoriques, n'ayant pu les contrôler lui-même expérimentalement, mais il est très vraisemblable qu'ils sont très proches de la réalité en ce qui concerne la constitution des réserves d'eau dans le sol, très supérieures à ce qu'elles seraient sans ce mode de travail du sol.

Comme nous le signalons plus haut, R. PUTOB, Chef du Centre de Recherche et d'Expérimentation Forestières d'Algérie a publié les premiers résultats de recherches sur la dynamique de l'eau dans des terrains traités par rootage et billonnage (1) ; en réalité, dans la zone de Zériba où était installée l'expérimentation, les billons étaient constitués par des levées de terre d'ampleur exceptionnelle (2 m de haut).

Parmi les premiers résultats importants, nous notons :

... « Enfin, l'évolution de l'humidité dans un bourrelet de près de 2 m de hauteur, révèle les caractéristiques suivantes :

(1) Quelques observations sur les sols de la zone semi-aride (Zériba) Pédogenèse. Travail du Sol-Dynamique de l'eau. R. PUTOB, Conservateur des Forêts, Chef du Centre de Recherches et d'expérimentations forestières à Alger (janvier 1963).

Faible alimentation due au ruissellement possible sur les faces ; faible teneur générale se maintenant au voisinage ou au-dessous du point de flétrissement, ceci dû probablement à une aération accélérée du bourrelet dans une ambiance atmosphérique sèche : faible amplitude des écarts en liaison avec la composition homogène du bourrelet de sol décalcifié et limoneux (horizon A).

Et surtout, on y perçoit très nettement :

— L'augmentation nette à tous les niveaux, de l'été à l'automne. On y gagne sur 1,25 m de hauteur (partie du bourrelet) 54 mm contre 45 mm de précipitations, laissant deviner l'existence d'absorption de vapeur d'eau par un bourrelet plus vite refroidi à l'automne que les sols plats...

— Puis de l'automne à l'hiver l'inversion qui fait diminuer la réserve des couches profondes et augmenter celles de surface en raison probablement encore des effets de température dans le bourrelet.

L'examen de tous les chiffres de l'année laisse apparaître que dans ce bourrelet l'humidité est plus élevée que le point de flétrissement :

— 8 mois sur 12 en surface et jusqu'à 0,50 de profondeur ;

— 6 à 7 mois de 0,50 à 0,75 ;

— 4 à 5 mois au-dessous.

La méthode steppique a démontré l'excellence de la végétation sur les billons et bourrelets. Ces premières observations sommaires ne permettent pas encore d'expliquer le phénomène. Et à leur première année de végétation les fêviers greffés plantés sur les sommets des bourrelets de la parcelle d'El Ghar sont au moins aussi beaux que ceux des lignes intercalaires... »

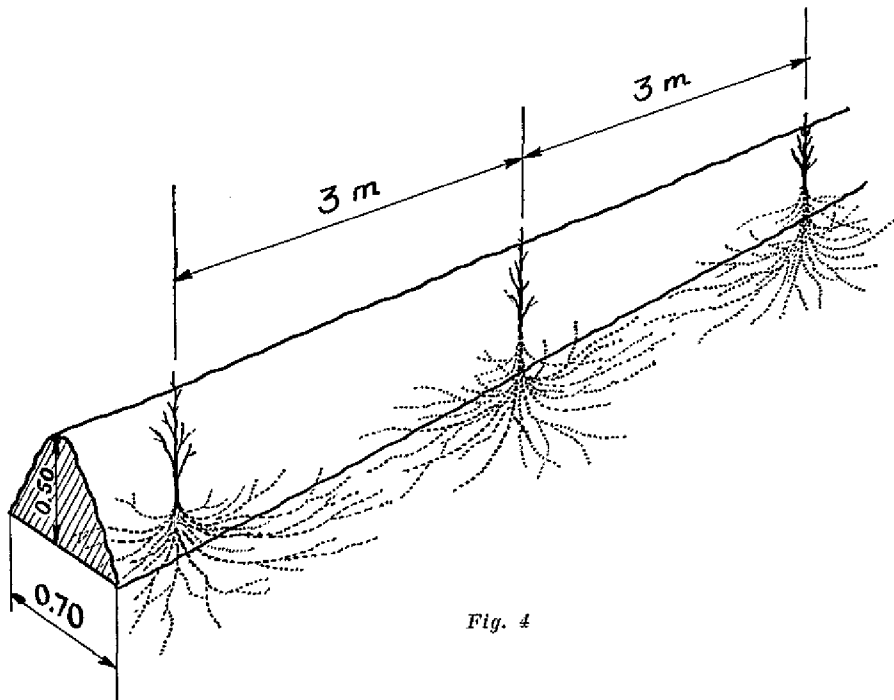


Fig. 4

Et plus loin :

... « Les examens des « profils hydriques et « l'étude de l'évolution « saisonnière de l'humidité du sol indiquent « d'abord la grande facilité donnée à l'infiltration et l'emmagasinage « de l'eau par l'opération du rootage. »

On peut donc dire en conclusion que l'on constate et explique les effets bénéfiques du rootage, alors que l'action du billonnage reste assez mystérieuse.

— Enfin, MONJAUZE insiste à juste titre sur l'augmentation considérable du volume de terre travaillée que cette technique offre aux plants.

Un calcul approché montre qu'un potet de 0,40 m × 0,40 m × 0,40 m offre un volume de terre travaillée de 0^m3,064 (fig. 5), tandis qu'un rootage de 0,70 m de profondeur coiffé par un billon de 0,50 m de haut et 0,70 m d'embase offre un volume de 1,800 m³ à des plants équidistants de 3,00 m sur le billon soit un volume trente fois plus fort ; même si on doit admettre que les racines ne peuvent pas utiliser toute la terre du billon (fig. 4), il est indéniable que cette technique multiplie par dix à vingt le volume de terre travaillée dont bénéficient les racines. — De plus, il faut insister sur l'aération donnée au sol par ces travaux, et les besoins en oxygène des racines qui sont ainsi largement pourvus.

En conclusion, on peut ainsi résumer les avantages de la méthode steppique par la formule :

AUGMENTATION DE L'EAU DISPONIBLE
 + AUGMENTATION DE LA TERRE TRAVAILLÉE
 + AUGMENTATION DE L'OXYGÈNE DISPONIBLE
 DANS LE SOL.

Il serait pour le moins surprenant qu'une telle technique n'améliore pas les chances de réussite de plantations forestières dans toutes les zones sèches.

C'est donc cette méthode que nous avons expérimentée depuis 1965 en zone soudano-sahélienne, dans les Centres C. T. F. T. du Niger, de la Haute-Volta et en 1966 au C. T. F. T. Sénégal.

La mise en route de ces essais a été longue par suite de la difficulté de rassembler rapidement le matériel lourd nécessaire (bull-dozer et rooter très lourds) ; d'ailleurs, les circonstances nous ont conduit à réaliser les travaux de préparation du sol avec des paramètres inférieurs, en général, à ceux qui avaient été utilisés en Algérie : la profondeur de

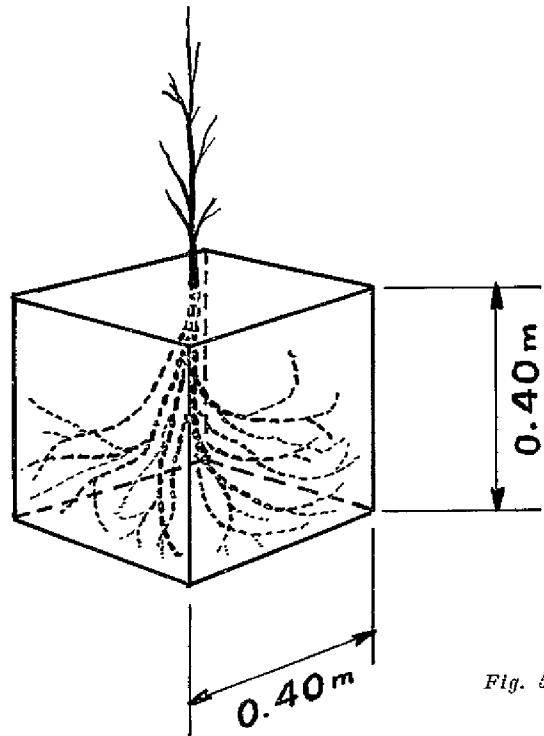


Fig. 5

rootage n'a jamais dépassé 0,60 m et la hauteur des billons 0,50 m contre 0,70 m et 0,80 m en Afrique du Nord.

Nous ne pensons pas toutefois que les résultats puissent en être fortement influencés mais par contre nous sommes maintenant persuadés que les conditions climatiques profondément différentes entre la Méditerranée et le Sud du Sahara peuvent conduire avec la même méthode à des résultats très éloignés.

TITRE III. — COMPARAISON AVEC LES CONDITIONS ÉCOLOGIQUES MÉDITERRANÉENNES PREMIERS RÉSULTATS DES RECHERCHES ESSAIS D'UTILISATION DE LA MÉTHODE STEPPIQUE

En essayant d'introduire la Méthode Steppique au Sud du Sahara, nous avons la certitude d'expérimenter la technique qui avait donné les meilleurs résultats dans les zones sèches du monde et nous estimions *a priori* que la garantie de son succès en Afrique du Nord et en Israël sous des pluviométries de 250-300 mm/an était un gage de réussite certaine en zone soudano-sahélienne où la végétation peut toujours bénéficier d'une lame d'eau annuelle comprise entre 500 et 900 mm. Nous pensions même qu'un travail moins poussé du sol (labour profond par exemple) risquait de suffire

dans les contrées de pluviométrie supérieure à 700-750 mm. Enfin nous avons utilisé essentiellement des Eucalyptus pour cette expérimentation nous fiant à l'adage désormais classique « qu'à une écologie donnée correspond presque toujours une espèce ou une race d'Eucalyptus » tant ce genre semble plastique par ses capacités d'hybridation et d'adaptation. Ce choix était d'ailleurs consolidé par le fait que beaucoup d'espèces d'Eucalyptus sont à croissance rapide et donnent des produits de bonne forme, utilisables en poteaux et perches ; leur intérêt économique n'est donc pas discutable.

Mais un échec récent a tempéré notre optimisme : à trois ans, un plateau d'*Eucalyptus tereticornis* et un plateau d'*Eucalyptus camaldulensis* ont séché sur pied sous un climat à pluviométrie voisine de 800/850 mm/an et sur un sol travaillé à la main sur 30 cm de profondeur (houage en plein) et dans d'autres plateaux où le sol avait été partiellement rooté mais non billonné (sous-solage de la raie de plantation) certains Eucalyptus du même âge ont séché en cime à la fin de la saison sèche.

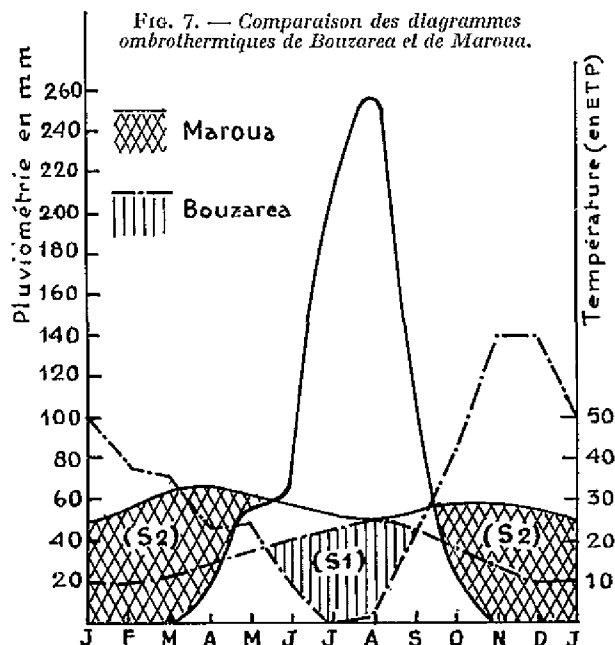
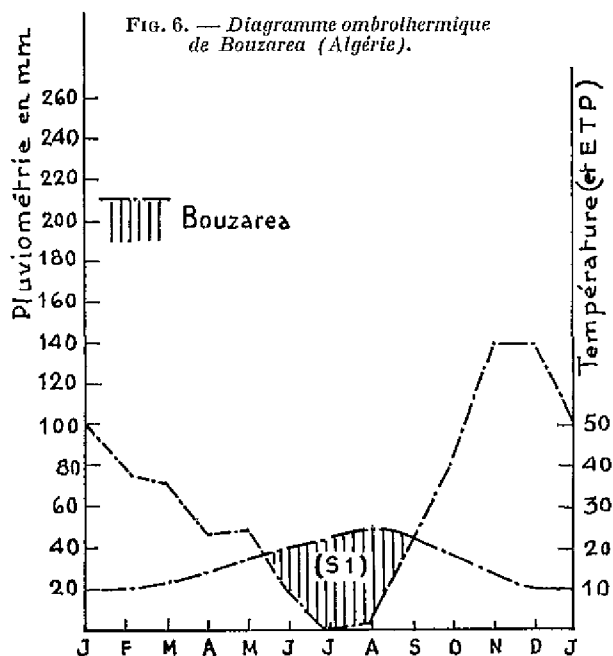
Il faut d'abord affirmer que dans les deux cas, la Méthode Steppique n'est pas en cause puisque le travail du sol n'a pas été fait selon ses principes, mais la préparation du sol a tout de même été importante sur 30/40 cm de profondeur, réalisée en plein, donc susceptible en principe de favoriser l'infiltration de l'eau et son maintien dans le sol. — Nous avons donc considéré cet incident comme un

signal d'alarme et décidé d'en tenir le plus grand compte, ce qui nous a conduits à reprendre le problème à la base. Puisque la méthode steppique de reboisement s'est affirmée avec succès jusqu'à des pluviométries de 250/300 mm/an sous climat méditerranéen, comparons d'abord les conditions écologiques de cette zone à celles de la zone soudano-sahélienne. Si nous en concluons qu'elles sont très voisines, nous pourrions espérer raisonnablement donner une solution au problème du reboisement dans les zones sèches du Sud du Sahara en poussant nos essais de méthode steppique avec quelques adaptations éventuelles. Si au contraire, nous déterminons des différences fondamentales, de grosses précautions seront à observer lors de l'adaptation et vraisemblablement certaines recherches de base seront à reprendre. Voici les résultats qui ressortent de nos réflexions sur ce sujet :

Comparaisons écologiques de la zone méditerranéenne et de la zone soudano-sahélienne

1. — Sur le plan des données climatiques : Il peut paraître enfantin de rappeler combien la comparaison des climats tire infiniment plus de profit de la répartition des données (température, humidité) que des moyennes annuelles. C'est d'ailleurs cette argumentation de base qui a permis au Professeur GAUSSEN d'introduire sa méthode de classification des bioclimats traduite en courbes sous forme de « diagrammes ombrothermiques » ; en effet, comme nous l'avons dit plus haut, la représentation graphique mensuelle de la tem-

pérature et de la pluviométrie permet, grâce à une échelle appropriée, de suivre pour une Station donnée, les variations entre la lame d'eau tombée mensuellement et celle qui disparaît dans l'atmosphère par évapotranspiration. La différence entre ces deux données est donc représentative de l'aridité du climat considéré, et la surface comprise entre les deux courbes lorsqu'elles se coupent constitue ce que l'on peut appeler « la poche d'aridité ». Ces poches étant définies en ordonnées par le déficit mensuel en mm et en abscisses par le nombre



de mois arides, le rapport des surfaces des « poches » de deux Stations donne donc une représentation fidèle du rapport de leur aridité. Nous avons donc utilisé ces diagrammes ombrothermiques de GAUSSEN pour comparer, grâce à la surface des poches d'aridité, les bioclimats de différentes stations de climat méditerranéen et de climat soudano-sahélien :

— Le climat méditerranéen est classé par GAUSSEN comme « xérothérique », c'est-à-dire que la période sèche de l'année se situe pendant les jours longs (en été), la saison humide étant celle des jours courts (automne et hiver). La courbe représentative de la pluviométrie présente donc une inflexion vers le bas avec souvent plusieurs mois sans pluie pendant l'été (cf. fig. 6 et 8). Au contraire, la courbe figurant la variation mensuelle de la température, donc de l'évapotranspiration présente pendant les mois d'été une inflexion vers le haut, ces derniers mois étant évidemment les mois les plus chauds. En climat méditerranéen, ces deux courbes se coupent pratiquement toujours, délimitant une « poche d'aridité » d'importance variable selon la station. Les schémas ci-dessous en donnent quelques exemples (fig. 6 et 8).

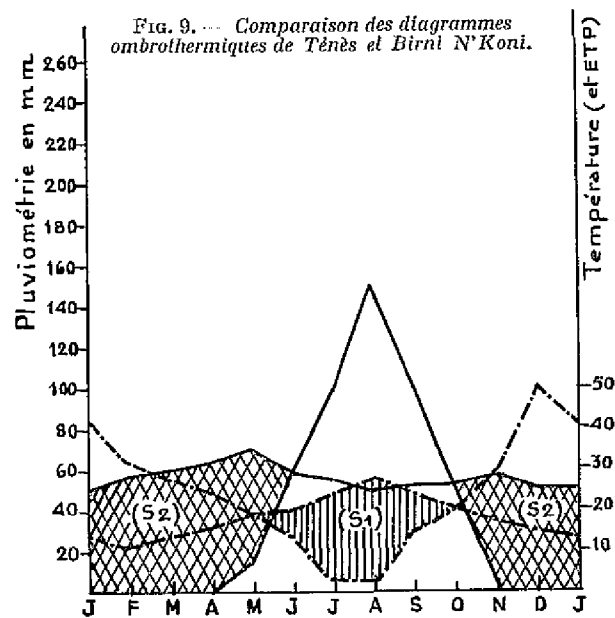
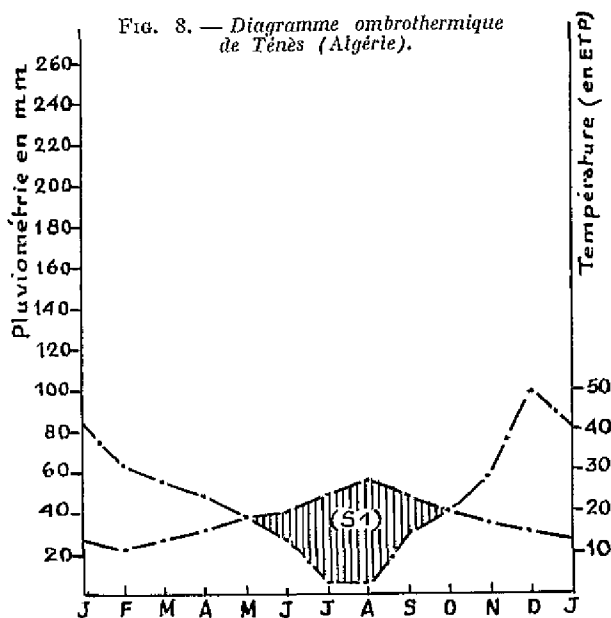
— Le climat soudano-sahélien relève dans la classification de GAUSSEN des climats « héli-érémiques » (9 à 11 mois secs) et rarement des climats « xérochiméniques » (moins de 9 mois secs) : pour ces climats, à l'opposé des climats méditerranéens (xérothériques) la période sèche se situe pendant les jours courts (hiver) et la saison humide pendant les jours longs (été). Dans ces conditions, la courbe de la pluviométrie présentera une inflexion vers le haut pendant l'été (plusieurs mois sans pluie pendant l'hiver) tandis que les courbes de la température et de l'évapotranspiration présentent une inflexion vers le haut pendant l'hiver. Sous climat soudano-

sahélien, les deux courbes se coupent toujours en délimitant ainsi une poche d'aridité, comme le montrent les schémas de la p. 12 qui en donnent quelques exemples (fig. 10 et 11).

— La comparaison entre les diagrammes ombrothermiques de ces deux types de climat fait ressortir que température et E. T. P. d'une part, pluviométrie d'autre part, varient exactement en sens inverse, mais surtout que pour deux stations de même pluviométrie moyenne annuelle, la poche d'aridité est deux à trois fois supérieure en zone soudano-sahélienne qu'en zone méditerranéenne (1). En étudiant par exemple les diagrammes de Bouzarea et Ténès (Algérie) et de Maroua (Cameroun) et Birni-N'Koni (Niger) on s'aperçoit que cette différence très considérable est due d'abord au fait que le nombre de mois où l'évapotranspiration (ou E. T. P.) est supérieure à la pluviométrie, est beaucoup plus grand au sud du Sahara (Birni-N'Koni) qu'en méditerranée (Ténès) et d'autre part que les valeurs moyennes des températures mensuelles, donc de l'E. T. P. sont très supérieures en zone soudano-sahélienne ; l'Afrique du Nord connaît un hiver, et pendant quatre mois environ la température moyenne est inférieure à 15°, alors que cette saison n'existe évidemment pas au sud du Sahara (fig. 7 et 9).

Il est très probable d'ailleurs que la formule de GAUSSEN dans laquelle : $E. T. P. = 2 T$ (E. T. P. (évapotranspiration) exprimée en mm par mois et T (température moyenne mensuelle) en degrés centigrades) donne au sud du Sahara des valeurs d'évapotranspiration trop faibles, car elle ne peut pas

(1) La différence est encore plus accentuée avec la zone de climat correspondant en Australie (N. Queensland) Secteur tropical à pluies d'été modérées ; le diagramme de la station d'Emerald le montre très nettement (fig. 10).



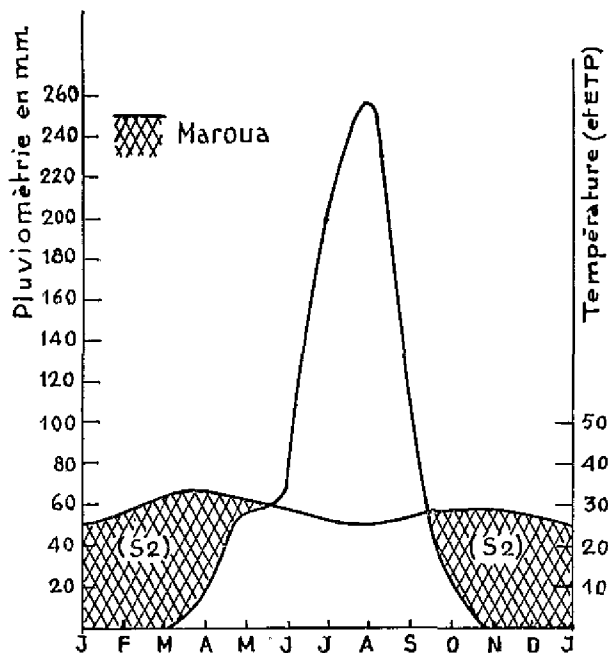


FIG. 10. — Diagramme ombrothermique de Maroua (Cameroun).

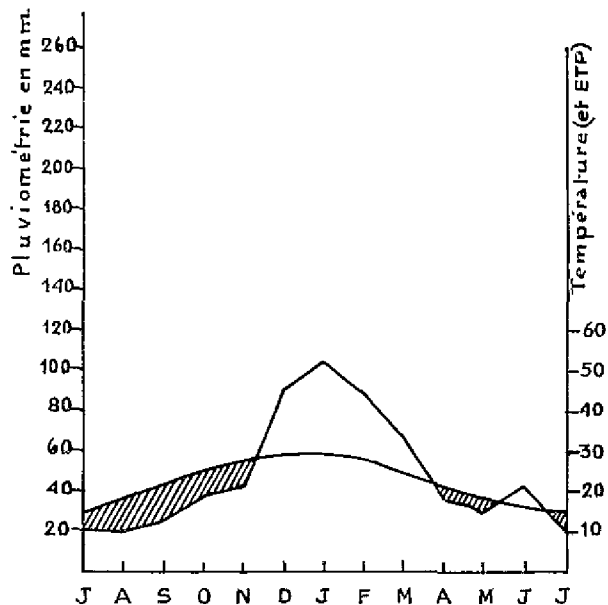


FIG. 12. — Diagramme ombrothermique de Emerald (N. Queensland, Australie). Les saisons étant inversées au Sud de l'Équateur, le diagramme commence par le mois de juillet afin de permettre les comparaisons.

tenir compte d'un phénomène naturel propre à cette zone : l'harmattan, vent très chaud et très sec qui doit intensifier considérablement l'évaporation. En effet, cette région de l'Afrique est soumise à l'action de quatre vents principaux :

— L'alizé boréal maritime qui, issu de l'anticyclone des Açores a surtout une influence côtière (Sénégal) ; c'est un vent assez humide.

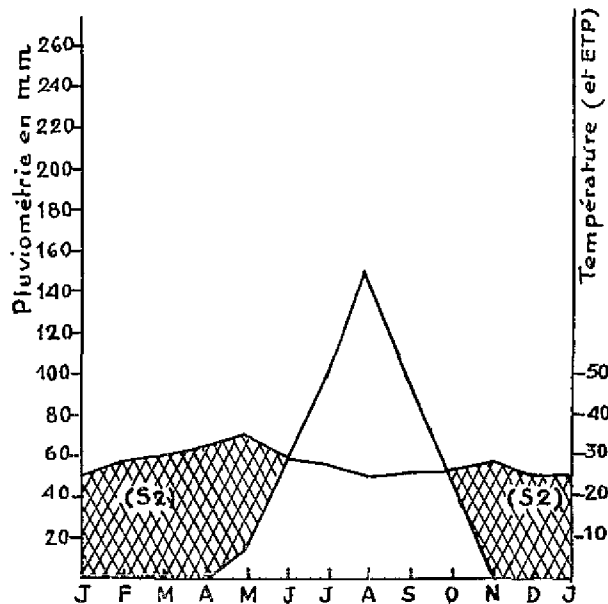


FIG. 11. — Diagramme ombrothermique de Birni N'Koni (Niger).

— L'alizé boréal continental qui, provenant de l'anticyclone de Tunisie et passant au-dessus du Sahara est un vent très chaud et très sec mais d'influence intermittente.

— La mousson formée à partir de l'anticyclone de Ste-Hélène qui est génératrice de la saison des pluies.

— L'harmattan qui vient de l'Afrique de l'Est ; c'est un vent très chaud et très sec qui souffle durant toute l'année. Si la mousson le « soulève » pendant la saison des pluies, il balaie par contre le sol durant toute la saison très sèche (5 à 6 mois).

— De ces quatre vents, l'harmattan est de très loin celui qui a l'action la plus marquante, car soufflant pratiquement sans arrêt de décembre à avril/mai (sauf sur les côtes du Sénégal) il entraîne certainement une augmentation de l'E. T. P. qui risque de ne pas être proportionnelle à l'augmentation de température, car c'est un vent très sec ; donc une formule basée uniquement sur la température risque de donner des valeurs de l'E. T. P. trop faibles, et de ce fait, on peut craindre que la différence d'aridité entre Méditerranée et Sud du Sahara, soit encore plus marquée au détriment de cette dernière zone.

En conclusion de cette première étude, on peut déjà affirmer que la tâche du reboiseur sera beaucoup plus rude, à pluviométrie égale, en pays soudano-sahélien qu'en pays méditerranéen.

2. — Sur le plan des données hydrologiques : nous voudrions déterminer ici, si, à pluviométrie annuelle égale, la quantité d'eau perdue par ruissellement est approximativement la même dans les deux zones étudiées. Pour faire cette comparaison d'une façon précise, il faudrait pouvoir disposer des résultats de deux stations de mesure d'érosion — ruissellement bénéficiant des mêmes précipi-

Station de Kaonara
Répartition des précipitations en 1965

Mois	Total pluviométrie en m/m	Nombre pluies	Nombre de pluies par catégories							
			0/10 mm	10/20 mm	20/30 mm	30/40 mm	40/50 mm	50/60 mm	60/70 mm	70/80 mm
Mai	48,5	2	0	1	1	0	0	0	0	0
Juin	71,9	7	5	1	0	1	0	0	0	0
Juillet.....	153,7	10	6	1	1	0	2	0	0	0
Août	227,3	24	14	6	1	2	1	0	0	0
Septembre	97,8	12	7	5	0	0	0	0	0	0
Totaux	599,2	55	32	14	3	3	3	0	0	0

pitations annuelles, de pentes topographiques identiques, de sols identiques, ce que nous n'avons pu obtenir et semble de toute façon très difficile à envisager. Mais il semble qu'une considération d'ordre climatique fournit *a priori* la réponse : à pluviométrie égale, la durée de la saison des pluies est beaucoup plus courte au Sud du Sahara qu'en Afrique du Nord ou Israël, et l'intensité des précipitations durant les mois pluvieux incomparablement plus forte, ce qui, si les autres facteurs sont égaux par ailleurs (pente et sol) doit entraîner des pertes d'eau par ruissellement beaucoup plus fortes. A ce titre, l'étude détaillée des diagrammes ombrothermiques de deux stations de même pluviométrie comme Bouzarea (Algérie) et Maroua (Nord Cameroun) est très révélatrice (fig. 7). La même pluviométrie annuelle (780-800 mm) est reçue en huit mois à Bouzarea et en moins de quatre mois à Maroua avec des intensités mensuelles comprises respectivement entre 50 mm et 140 mm d'une part et d'autre part entre 130 mm et 260 mm. Il est vraisemblable que l'étude de la répartition journalière des précipitations et de l'intensité correspondante des averses serait aussi significative. N'ayant pas ces données pour l'Afrique du Nord, nous citerons à titre d'exemple les mesures provenant de la Station de Kaouara (Niger) :

Cette Station de défense et restauration des sols dépendant du Centre Technique Forestier Tropical. Niger-Haute-Volta est située sous un climat voisin de celui de Birni-N'Koni pour lequel nous avons établi le diagramme ombrothermique de GAUSSEN (fig. 9) (pluviométrie comprise entre 500 et 600 mm/an). Voici d'abord, à titre d'exemple, la répartition des précipitations durant l'année 1965 (cf. tableau ci-dessus).

Durant la même année le ruissellement a été mesuré au limnigraphe dans différentes parcelles élémentaires ; analysons par exemple les résultats de la parcelle N° 1 ainsi décrite :

— Superficie : 4.617 m² ; pente : 1,5 à 2,5 %.

— Sol : peu évolué sur grès crétacé, avec environ 40 % d'éléments fins, peu perméable (perméabilité de surface : 2 à 10 cm/heure). Non cultivé depuis deux ans, il est compact.

— Travail du sol : laissée intacte jusqu'au 16.8.65, cette parcelle a été piochée alors en bandes isohypses de 2 m de large sur 0,25 m de profondeur, tous les 3 m ; deux binages les 30 août et 12 septembre.

Les tableaux ci-dessous fournissent jour par jour les mesures analysant les phénomènes durant toute la saison des pluies 1965 :

Juin

Juillet

Juin						Juillet					
Date	Pluie mm	Intensité max. mm/h	Intensité 15 mn	Volume pluie m ³	Volume ruiss. m ³	Date	Pluie mm	Intensité max. mm/h	Intensité 15 mn	Volume pluie m ³	Volume ruiss. m ³
7-6	3,5	6	—	16,2	0	1-7	48,7	132	86	223,9	140
11-6	14,2	24	20	65,6	34,5	9-7	17,5	13	10	80,8	11,7
13-6	1,5	—	—	7,0	0	12-7	2,0	—	—	9,2	0
14-6	8,4	90	30	38,8	17,2	13-7	29,0	2	?	133,9	94,6
17-6	36,3	70	32	—	?	16-7	0,5	—	—	2,3	0
24-6	7,5	30	18	34,6	5,3	20-7	0,5	—	—	2,3	0
30-6	0,5	—	—	2,3	0	22-7	9,0	45	28	41,6	6,8
						26-7	43,5	105	78	200,8	101,0
						27-7	2,0	—	—	9,2	0
						30-7	1,0	—	—	4,6	0
	71,9			164,5	57,0					708,6	354,1
											50

Août

1^{re} quinzaine

2^e quinzaine

Date	Pluie mm	Intensité max. mm/h	Intensité 15 mn	Volume pluie m ³	Volume ruiss. m ³	Débit max. l/m	% Ruissellement	Date	Pluie mm	Intensité max. mm/h	Intensité 15 mn	Volume pluie m ³	Volume ruiss. m ³	Débit max. l/m	% Ruissellement
1-8	10,5	75	38	48,5	19,5	444	40	16-8							
4-8	12,3	60	42	56,3	27,7	616	49	16-8	2,6	—	—	12,0	0	0	0
6-8	30,7	45	40	141,7	68,4	875	48	21-8	14,9	60	34	68,8	0	0	0
9-8	3,0	—	—	13,8	0	0	0	22-8	10,1	24	16	46,6	0	0	0
11-8	3,0	—	—	13,8	0	0	0	23-8	2,8	—	—	12,0	0	0	0
12-8	9,0	45	24	41,5	10,4	206	25	27-8	25,5	180	78	117,7	0,5	20	0,4
13-8	14,5	90	40	66,9	23,3	400	35	29-8	41,2	66	54	190,2	35,1	425	18,5
15-8	33,9	90	74	156,5	74,0	1.380	47								
	116,9			539,5	223,3		41,5								
								30-8	12,5	24	18	57,7	0	0	0
								31-8	0,8	—	—	3,7	0	0	0
									110,4			509,6	35,6		7,0

Septembre

Date	Pluie mm	Intensité max. mm/h	Intensité 15 mn	Volume pluie m ³	Volume ruiss. m ³	Débit max. l/m	Ruissellement
2-9	15,4	42	34	71,0	0	0	0
3-9	11,0	30	20	50,3	0	0	0
4-9	1,0	—	—	4,6	0	0	0
7-9	22,1	66	58	102	0	0	0
9-9	17,4	48	32	80,3	5,7	116	7
12-9	3,2	12	—	14,7	0	0	0
					Binage		
13-9	2,7	6	—	12,5	0	0	0
14-9	9,0	24	14	41,6	0	0	0
16-9	13,0	45	20	60,0	0	0	0
21-9	3,0	10	—	13,8	0	0	0
	97,8			451,3	5,7		1,3

Ces résultats mettent en évidence :

— L'importance considérable du ruissellement qui atteint 40 à 50 % dès qu'une pluie dépasse 10 mm (62,5 % le 1.7 et 70,5 % le 13.7).

— L'influence déterminante du travail du sol qui fait passer ce ruissellement de 35-50 % à 1,3 à 7 % (cf. relevés de la deuxième quinzaine d'août et du mois de septembre).

On ne saurait trouver meilleure préface pour introduire la Méthode steppique ou du moins le rootage du sol.

On voit en effet que de 20 à 50 % de l'eau de pluie disparaissent par ruissellement à partir de pentes de 1,5 à 2 % et qu'un défoncement moyen du sol selon les courbes de niveau réduit ce ruissellement à moins de 10 %.

Donc, au Sud du Sahara, les quantités d'eau pluviale perdues pour la végétation peuvent être énormes dès que le terrain n'est plus rigoureusement plat, et il nous semble opportun à ce propos de reprendre notre hypothèse sur la formation des

« Savanes Tigrées » : à la moindre pente, l'eau ruisselle et s'infiltré insuffisamment pour permettre à la végétation de s'accrocher mais, entraînant les éléments fins, les accumule sous forme de sédiments dans les creux et les contre-pentes, qui deviennent à la longue les seuls endroits où peuvent pousser arbres et arbustes en utilisant de plus l'accumulation de l'eau ruisselée sur les pentes amont. C'est une sorte de préfiguration naturelle de la Méthode steppique sous des pluviométries annuelles inférieures à 600-700 mm/an.

Signalons enfin un phénomène qui risque d'accroître les différences climatiques entre les deux zones au détriment de la zone soudano-sahélienne : comme on peut le remarquer sur les courbes ombrothermiques, la saison des pluies commence en avril, mai, juin, par des précipitations modestes qui tombent au moment où la température est maximum (30-35°) donc sur un terrain très chaud et sec ; comme les premières averses sont faibles et intermittentes, souvent séparées par plusieurs semaines, cette première lame d'eau doit disparaître rapidement par évaporation sans grand profit pour les plantes dont elles n'atteignent pas les racines. Il est vraisemblable que cette perte doit être moins forte en Afrique du Nord, car au début des pluies, la température est moins forte, se situant en général autour de 20° (cf. diagrammes 7 et 9). Ceci n'est évidemment qu'une hypothèse.

3. — Sur le plan de la physiologie végétale : Il faut réfléchir enfin sur le comportement des espèces forestières sous les climats des deux zones considérées et spécialement sur celui des espèces de reboisement que nous y introduisons.

En dehors du facteur-sol que l'on peut éliminer en choisissant des terrains appropriés, le paramètre déterminant est évidemment le facteur-eau et le problème qui se pose est le suivant : une même quantité d'eau infiltrée, c'est-à-dire mise à la disposition des racines suffira-t-elle sous les deux types



Photo C. T. F. T. Niger, Haute-Volta.

En zone soudano-sahélienne, route inondée à la suite d'une violente averse de plusieurs heures. L'objectif essentiel des forestiers et des agronomes n'est-il pas de domestiquer, si possible de faire infiltrer, de telles quantités d'eau qui sont perdues inutilement ?

de climats à assurer la croissance d'une même espèce forestière ?

La réponse est négative : en effet, la différence fondamentale dans ce domaine entre ces deux types de climats est la présence d'un hiver sous climat méditerranéen qui entraîne un arrêt de la végétation forestière, et spécialement de l'évapotranspiration. — On admet qu'au-dessous d'une température moyenne de 15°, cette dernière diminue très fortement et avec elle la croissance ; ceci entraîne le fait que durant 3 à 4 mois par an les besoins en eau de la végétation forestière sont minimes en Afrique du Nord, alors que rien de semblable ne se produit au Sud du Sahara. Certes, les espèces forestières locales « réagissent » contre ce danger soit en perdant leurs feuilles durant la saison sèche, soit par des adaptations xérophytiques (feuilles épineuses, cirieuses, etc...) soit vraisemblablement par une régulation stomatique appropriée que nous ignorons pratiquement mais, par contre, avec des espèces introduites comme les Eucalyptus, qui ne se défolient jamais et qui, du fait de leur croissance rapide, sont de grosses consommatrices d'eau, il est certain qu'en pleine saison sèche, l'évapotranspiration, accentuée encore par l'harmattan, doit atteindre des niveaux considérables en zone soudano-

sahélienne, alors qu'en Afrique du Nord l'action des trois à quatre mois d'hiver diminue beaucoup leurs exigences en eau.

Cette remarque nous semble particulièrement importante, à la fois pour la présente étude et pour les essais d'acclimatation du genre Eucalyptus dans les zones sèches du Monde ; nous pensons qu'elle peut servir de base à une étude plus générale sur les règles d'adaptation des Eucalyptus en zone tropicale, en partant de l'hypothèse que le facteur limitant de cette adaptation semblerait être en dernière analyse la quantité d'eau nécessaire à telle espèce dans telle station. La satisfaction des besoins spécifiques en eau constituerait alors la règle d'or de l'acclimatation. Cette hypothèse se base sur les considérations suivantes :

— Les besoins en eau d'un végétal sont conditionnés par son évapotranspiration, qui d'une part dépend de l'espèce, et d'autre part de la station.

— La station intervient par son climat qui, à partir de lois purement physiques, détermine son évapotranspiration potentielle (E. T. P.), tandis que l'espèce joue par sa régulation stomatique qui transforme l'évapotranspiration potentielle (E. T. P.) en évapotranspiration réelle (E. T. R.).

— Mais le rythme d'ouverture ou de fermeture des stomates règle aussi l'admission du gaz carbonique prélevé dans l'air qui, étant la base de l'assimilation chlorophyllienne intervient à son tour sur la croissance du végétal. Donc en dernier ressort la croissance dépend directement de la quantité d'eau évapotranspirée et l'on est tenté d'estimer qu'un arbre ne croîtra bien dans une station donnée que s'il peut pleinement satisfaire ses besoins en eau, tant pour satisfaire sa faim que pour étancher sa soif. Ces deux besoins se contrebalancent heureusement en se limitant, ce qui fait dire au Professeur BIROR que « ... la transpiration est un mal nécessaire : la perte de vapeur d'eau par les stomates ouverts est en effet couplée avec le prélèvement de gaz carbonique, base de la photosynthèse. Mais celle-ci est inhibée par une déshydratation partielle des cellules : les plantes se trouvent donc devant le dilemme de périr de faim ou de soif » (1).

Mais, quels que soient la relation et l'équilibre entre ces phénomènes, on est bien tenté de penser que la satisfaction des besoins en eau est la condition essentielle de l'acclimatation d'espèces tropicales dans des zones tropicales dont elles ne sont pas

(1) Professeur BIROR. Formations végétales du globe.

originaires (en effet, les autres facteurs comme la température moyenne ou le photopériodisme présentent des variations relativement faibles à l'intérieur de cette zone).

— D'ailleurs, un certain nombre d'observations viennent confirmer ce point de vue :

— Les échecs enregistrés en dehors des zones d'altitude avec les Eucalyptus à croissance très rapide (*E. saligna*, *E. grandis*, *E. robusta*) interviennent très généralement vers la troisième année après la plantation, c'est-à-dire à l'époque où ces espèces qui s'élaguent ensuite ont une surface foliaire maximum, ce qui incite à mettre cet incident en relation avec une trop forte transpiration.

— Ces espèces ont la renommée de préférer les terrains frais et profonds et redouter les terrains superficiels et secs, ce qui peut parfaitement s'expliquer aussi par leurs grandes exigences en eau.

— Enfin elles sont considérées sur le plan écologique comme des espèces de zones uniformément humides et de température moyenne peu élevée ; dans leurs pays d'origine l'E. T. P. est beaucoup plus faible par suite de l'abaissement de la température. Les diagrammes ombrothermiques de deux stations typiques d'Australie sur la côte sud-est des Nouvelles-Galles du Sud : Newcastle pour

Maroua (Cameroun). Plantations de *Cassia stamea* en pots, 7 mois après la mise en place.

Photo Guiscafré.



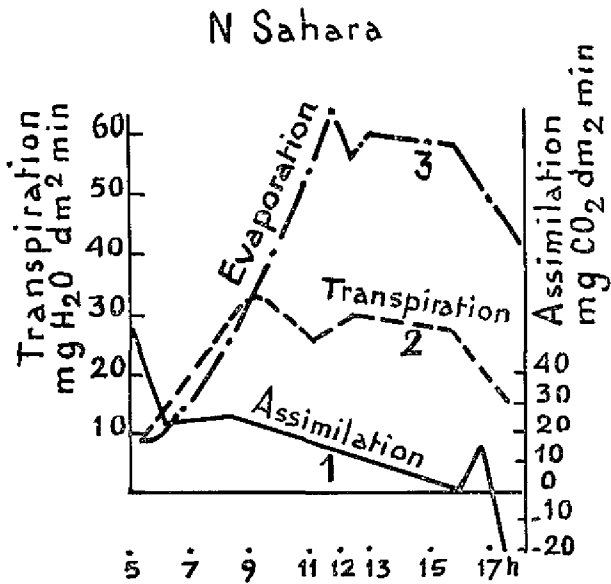


FIG. 13. — Assimilation de *Zizyphus lotus*, d'après Stocker Hand von Pfl. Phyt. V. 2 et P. BIROT : « Formations végétales du globe ». Le croquis a été fait le 9 mai dans le Nord du Sahara. La plante ouvre ses stomates au début de la matinée, au moment où l'air est encore frais. Elle les ferme lorsque la température élevée risque de provoquer une transpiration qui n'est plus compensée par l'assimilation, et les ouvre à nouveau en fin de journée. Ainsi la transpiration peut-elle se maintenir au-dessous du niveau de l'évaporation.

E. robusta et Kempsey West pour *E. saligna*, montrent notamment que durant aucun mois de l'année l'E. T. P. n'est supérieure à la pluviométrie (fig. 5 et 6). Dès qu'on les introduit en plaine de pluviométrie peu élevée (savanes côtières de l'Afrique) ou dans les zones sèches (soudano-sahéliennes)

FIG. 15. — Diagramme ombrothermique de Newcastle (Australie, Nouvelles Galles du Sud).

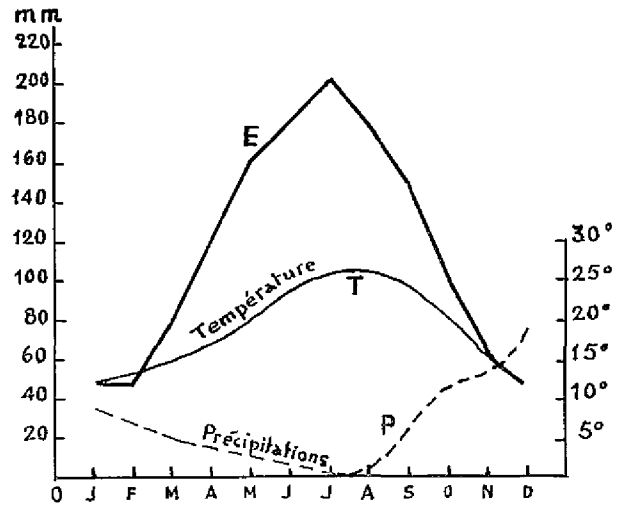
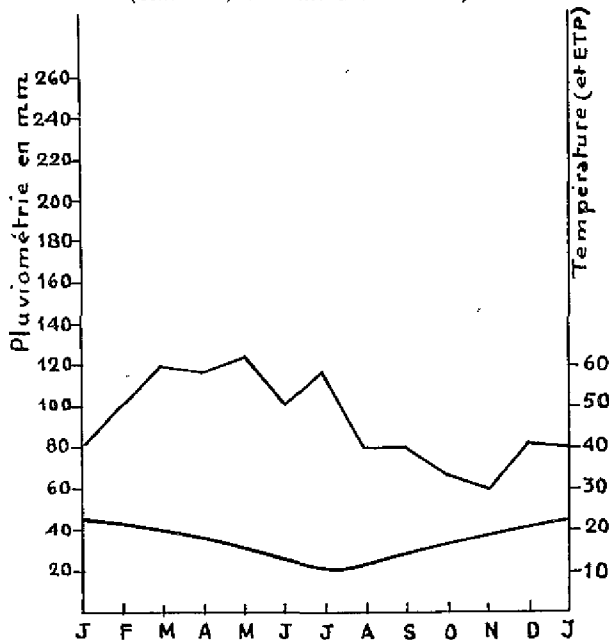
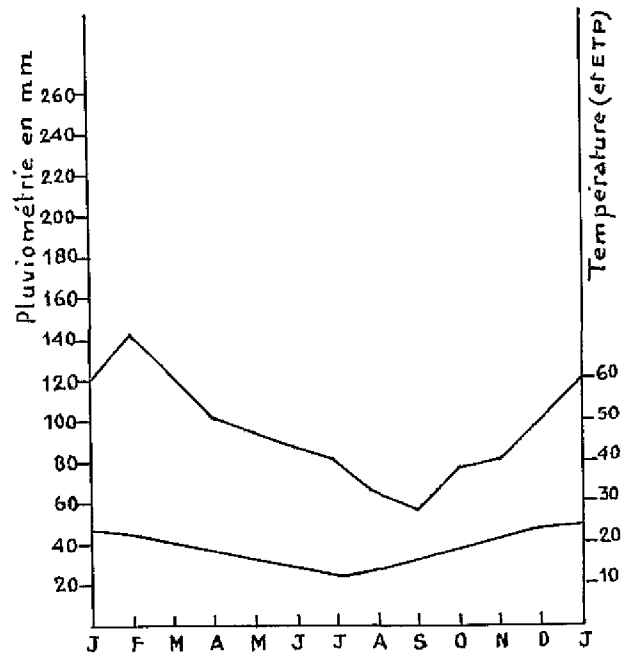


FIG. 14. — Evapotranspiration d'une graminée, le « Kikuyu grass », dans une case lysimétrique, région de Tunis. D'après Am. Agron, 1963 et P. BIROT : « Formations végétales du globe ». P = Précipitations ; T = Températures ; E = Evapotranspiration mensuelle. -- Le niveau de l'eau dans le sol a été maintenu constant à 0,60 m de la surface. L'évapotranspiration a été proportionnelle au rayonnement global du mois.

leur E. T. R. devient telle qu'elles épuisent les ressources en eau du sol lorsque leur surface foliaire atteint une certaine valeur et meurent de soif. Il faut d'ailleurs noter que ces dépérissements ont toujours lieu en saison sèche et souvent à la fin de cette saison.

Si nous nous sommes longuement étendus sur l'importance majeure de l'évapotranspiration et

FIG. 16. — Diagramme ombrothermique de Kempsey West (Australie, Nouvelles Galles du Sud).



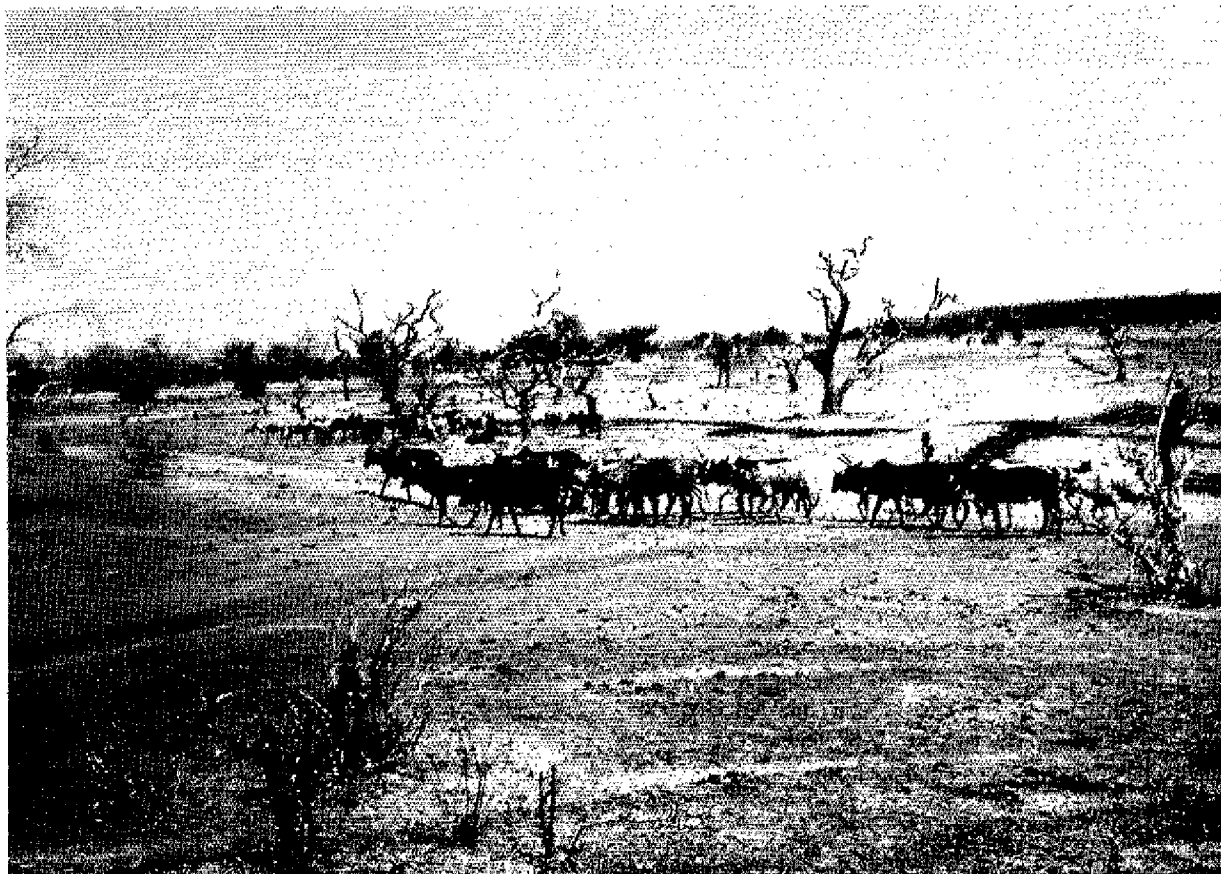


Photo Sarlin.

Bétail en saison sèche : excès de pâturage autour d'un point d'eau. Haute-Volta 1962.

les limitations qu'elle entraîne dans le domaine de l'acclimatation des Eucalyptus, c'est que ce genre constitue le cheval de bataille du reboiseur en Afrique sèche et qu'il est un des rares végétaux forestiers à pouvoir s'adapter aux zones équatoriales tropicales, comme aux zones méditerranéennes. De ce fait son importance économique est grande, mais de plus il est le seul à permettre de juger les possibilités d'adaptation d'une méthode de reboisement d'une zone climatique à l'autre.

4. — Premières conclusions :

Les conclusions que nous pouvons tirer de nos comparaisons entre les zones méditerranéennes et soudano-sahéliennes montrent :

a) qu'à pluviométrie égale, la quantité d'eau qui reste disponible pour les racines est nettement plus faible au Sud du Sahara qu'en Afrique du Nord ou en Israël ;

b) les besoins en eau d'une même espèce sont par suite des conditions locales d'évapotranspiration, beaucoup plus forts en zone soudano-sahélienne que sous climat méditerranéen pour conduire à la même croissance ;

c) des recherches urgentes sont nécessaires pour préciser ces données fondamentales ;

d) à pluviométrie égale, la tâche du reboiseur sera beaucoup plus difficile au Sud du Sahara ; en restant simplement dans le domaine des approximations on peut par exemple estimer que, sur 800 mm de pluie tombée dans une année, 300-400 mm disparaissent par ruissellement ou évaporation du sol : si l'espèce forestière utilisée est grosse consommatrice d'eau il n'est pas impossible qu'une plantation dense (1.000 pieds/ha) consomme par évapotranspiration plus de 400-500 mm/an. C'est alors l'échec.

Les seules parades sont, soit de changer d'espèce, soit de planter moins serré, soit d'utiliser une méthode de travail du sol qui permette l'infiltration et le maintien à la disposition des racines de 700-750 mm/an. Nous pensons que dans ce domaine la Méthode Steppique donne de très grosses garanties, mais d'après les remarques énoncées plus haut il ne serait pas surprenant de constater un jour qu'elle ne donne pas de meilleurs résultats sous 700-800 mm de pluie au Sud du Sahara que sous 300-400 mm en climat méditerranéen, et que sous 300-400 mm en zone soudano-sahélienne, seules quelques rares espèces « acceptent » de pousser à condition de les placer à assez grande équidistance.

Premiers résultats des recherches. Essais d'utilisation de la méthode steppique

Nous avons essayé de reprendre des essais sylvicoles systématiques lors de la création en 1962-1963 des premiers Centres C. T. F. T. en zone soudano-sahélienne au Niger, en Haute-Volta puis plus tard au Sénégal. Nous estimons que sur le plan écologique ces Centres sont représentatifs de toute la zone, puisque les deux premiers en couvrent toute la partie continentale (pluviométrie comprise de 450 à 700 mm/an pour le premier, de 600 à 1.000 mm/an pour le second), et le troisième la zone maritime dont le climat est très influencé par l'alizé boréal qui diminue beaucoup l'effet de l'harmattan. — D'autres essais ont été réalisés presque à la même époque par un organisme F. A. O. dans le Nigeria du Nord (*Kaduna*) et nous espérons en

connaître prochainement les premiers résultats.

Nos essais ont été orientés vers les buts de recherche suivants : essais d'acclimatation (ou d'élimination ou variétaux), essais de densité de plantation (ou d'équidistance), essais de travail du sol (méthode steppique notamment), essais d'engrais et recherches sur le bilan de l'eau dans le sol (mesure de l'évapotranspiration notamment) en cours ou en projet.

Nous allons donner une brève description de ces essais et l'analyse des premiers résultats en mettant en relief le fait que les parcelles les plus anciennes n'ont que trois ans et ne peuvent offrir que des résultats provisoires :

ESSAIS D'ACCLIMATATION DES ESPÈCES

— Ils ont été réalisés dans des parcelles de surface comprise entre 0,25 ha et 1 ha et répétés durant trois ans dans la mesure du possible. Malheureusement, ils n'ont pas pu donner lieu à une implantation statistique des parcelles avec répétition pour éliminer l'influence du sol ; toutefois, le fait qu'ils ont été réalisés dans quatre à cinq stations différentes donne une certaine garantie en cas de concordance des résultats.

— *Eucalyptus* : introduit en pots de polyéthylène, à l'âge de quatre à six mois, ce genre a donné les résultats suivants :

— très bons résultats : *E. camaldulensis* (Australie, Sicile), *E. tereticornis*, *E. hybride de Mysore*, *E. camaldulensis* (Nigeria), *E. resinifera*, *E. alba* ;

— résultats moyens : *E. tereticornis* (Soudan), *E. 12 ABL*, *E. citriodora*, *E. exerta* ;

— résultats mauvais : *E. saligna*, *E. grandis*, *E. robusta*, *E. du groupe Mallee* (*fruticetorum*, *transcontinentalis*, *eremophila*, *longicornis*, *oleosa*, *berhiana*, *viridis*) ;

— résultats végétatifs moyens, mais forme très mauvaise : *E. albens*, *E. populifolia*, *E. microtheca*, *E. sideroxyton*, *E. melliodora*, *E. creba*, *E. occidentalis*.

Il faut d'abord remarquer que l'on retrouve encore ici la plasticité remarquable du groupe *E. camaldulensis* — *E. tereticornis* — *E. hybride de Mysore* qui réussit toujours dans la plupart des stations d'Afrique tropicale, le très bon comportement de *E. resinifera*, *E. alba*, mais aussi l'échec du groupe Mallee pourtant renommé pour son comportement en stations très sèches. Par contre, la non-adaptation du groupe *E. saligna*, *E. grandis*, *E. robusta* est normale, ces espèces ne supportant pas de températures moyennes élevées et exigeant une pluviométrie beaucoup plus forte, et surtout uniformément répartie.

Mensurations des parcelles d'Eucalyptus, Forêt de l'Aviation en bordure de la route Niamey-Dosso

Parcelle N°	1. Essence 2. Origine des graines	Réussite en %	Hauteur moyenne des parcelles décembre 1965
11	<i>E. camaldulensis</i> Australie	93	1,62
21		97	1,20
31		87	1,33
12		89	1,65
22	<i>E. camaldulensis</i> Europe	89	1,48
32		90	1,36
13		86	1,45
23		91	1,05
14		82	1,61
33	<i>E. rostrata</i> Nigeria	93	1,11
24	<i>E. resinifera</i> Europe	86	1,04
34		92	1,17
15		81	1,05
25		91	1,23
35		94	1,14
16	<i>E. umbellata</i> Soudan	96	0,82
26	<i>E. tessellaris</i> Australie	90	0,64
36	<i>E. 12ABL</i> Madagascar	99	1,01
17		89	1,10
27	<i>E. alba</i> Australie	83	1,04
38		96	1,08
37	<i>E. gomphocephala</i> Australie	79	0,42
18	<i>E. citriodora</i> Orient	85	0,80
29		80	0,92
29	<i>E. exerta</i> Australie	84	1,06
28	<i>E. oleosa</i> <i>E. eremophila</i> <i>E. longicornis</i> Australie	Pas de résultats valables Essences à éliminer.	



Photo Sarlin.

Près de Ouagadougou, forêt de Gonsé ; plantation d'*Acacia scorpioides*. Sol ferrugineux, très argileux, souvent à carapace ou cuirasse, moyennement riche mais sous-solé au D7. Age 22 mois.

A titre indicatif, nous présentons page 19 un tableau de mensuration d'une parcelle d'essai âgée de six mois sur terrain travaillé selon la Méthode Steppique.

— Autres espèces :

— TRÈS BONS RÉSULTATS : *Prosopis juliflora* qui bien que préférant les sols sableux, s'adapte aux silico-argileux et présente une croissance très forte (près de 2 m/an sur la hauteur durant les 2-3 premières années), couvre bien le sol, mais ne peut donner de bois de service.

— *Dalbergia sissoo* : excellents résultats sur terrains compacts même mouilleux, argileux de

préférence ; donne de belles perches avec une croissance en hauteur de l'ordre de 2 m/an.

— *Anacardium occidentale* : excellent sur terrains légers mais à introduire de préférence en pots sous les pluviométries inférieures à 700-800 mm/an.

— *Acacia nilotica* et *scorpioides* : dans les zones périodiquement inondées.

— *Acacia albida* : sur terrains légers.

— RÉSULTATS MOYENS OU DOUTEUX : Filao, Callitris, Cassia siamea, Neem.

En conclusion des résultats positifs ont été obtenus avec une dizaine d'espèces, mais ils ne concernent que des plantations de 1 à 3 ans et ne sont donc que *provisaires*.

ESSAIS DE DENSITÉ DE PLANTATION

Normalement ces essais devraient suivre les précédents et n'être réalisés qu'avec les espèces retenues par les essais d'élimination. Aussi dans ce domaine, aucun dispositif à répétition statistique n'a-t-il encore été installé. Néanmoins, quatre équidistances ont été utilisées dans les essais précédents qui dès 1967 pourront nous donner des indi-

cations (les plantations les plus âgées auront alors cinq ans) ; elles ont été de :

2 m × 2 m

2,5 m × 2,5 m

3 m × 2,5 m

3 m × 3 m

Dès maintenant d'ailleurs, certains résultats nous semblent révélateurs : les échecs signalés au début de cette étude avec *E. tereticornis* et *E. camaldulensis* de trois ans proviennent de parcelles à équidistance 2 m × 2 m (2.500 pieds/ha), ce qui indiquerait que sous un tel climat les fortes densités à l'hectare sont à proscrire.

Ceci se relie parfaitement avec les observations précédentes sur les quantités d'eau qui peuvent être mises à la disposition des racines sous de tels

climats : entre une plantation à 3 m × 3 m (1.000 pieds/ha) et une plantation à 2 m × 2 m (2.500 pieds/ha) les besoins en eau doivent vraisemblablement doubler (Ils ne doivent pas être rigoureusement proportionnels à la densité qui passe de 1 à 2,5 à cause de l'effet de massif qui diminue l'E. T. P.).

Nous estimons que sous de tels climats, on ne doit que difficilement pouvoir dépasser 1.000 pieds/ha avec l'Eucalyptus.

ESSAIS DE TRAVAIL DU SOL MÉTHODE STEPPIQUE

a. — Premiers essais.

Si par suite des circonstances provenant des difficultés propres à toute installation, les essais 1963 ont été implantés sur un sol préparé seulement à la main (houage en plein sur 20-30 cm de profondeur) ou par labour à la charrue il fut décidé d'essayer la Méthode Steppique dès 1964. Comme seul un rooter à une seule dent était alors disponible en Haute-Volta, les essais ont consisté en un labour superficiel et en un rootage à 60-70 cm de profondeur dans la raie de plantation, ce qui s'est d'ailleurs traduit par une amélioration très nette de la croissance des plants au départ par rapport à la plantation effectuée l'année précédente sur un simple travail du sol à la houe. Ce n'est qu'en 1965 qu'une préparation du terrain a pu être réalisée selon un rootage en plein du sol, partiellement complété par un billonnage au Niger et en Haute-Volta, et selon la Méthode Steppique classique en 1966.

Les premiers résultats ont été très encourageants, comme le montrent les mensurations indiquées dans le tableau ci-dessous, comparées à d'autres techniques de travail du sol :

La présence de la nappe phréatique signalée ci-dessus désavantage évidemment la Méthode Steppique, puisque un simple sous-solage à 40 cm de profondeur suffit à mettre l'enracinement à portée de la nappe d'eau, ce qui doit expliquer le comportement du 12 ABL ; par contre il faut noter la reprise de l'*Eucalyptus citriodora* qui est une espèce exigeante et qui semble avoir profité du billonnage de la Méthode Steppique.

D'autre part une autre parcelle de rootage simple installée en juillet 1966 au Niger (Forêt de l'Aviation) a permis de réaliser la première plantation d'Eucalyptus non arrosée au Niger, et à un an et demi les mensurations en hauteur donnent les résultats suivants :

E. camaldulensis : 3 m à 4,75 m.

E. robusta : 2 m à 3 m.

E. 12 ABL : 2,20 m.

E. alba : 3 m.

E. resinifera : 2,50 m à 3 m.

E. tessellaris : 2,50 m.

b. — Essais comparatifs : devant ces premiers indices favorables, il fut décidé d'intensifier les

STATION D'ESSAI DE SAGA (NIAMEY). NIGER.

M. S. = Méthode Steppique

S. S. + P = Sous solage à 40 cm de profondeur + pulvérisage aux disques.

Essence		Nombre de Plants en place	Reprise en %	Hauteur moyenne à 6 mois (1965)	Observations
<i>E. camaldulensis</i>	M. S.	100	95	1,44 m	
	S. S. + P	200	88	1,34 m	
<i>E. alba</i>	M. S.	50	88	1,52 m	
	S. S. + P	100	88	1,31 m	
E. 12ABL	M. S.	50	94	1,42 m	
	S. S. + P	100	94	1,46 m	
<i>E. citriodora</i>	M. S.	50	86	1,06 m	
	S. S. + P	50	22	0,85 m	

essais de Méthode Steppique mais d'abord de tester sa valeur en la comparant aux autres techniques de préparation du sol sur le double plan de l'accumulation et de la conservation de l'eau dans le sol à la disposition des racines et de la croissance des plants forestiers introduits. En effet, en dehors d'une étude réalisée en France (1), nous n'avions connaissance d'aucune expérience statistiquement valable sur ce sujet, et il nous sembla indispensable de la réaliser devant l'enjeu des conséquences qui pourraient en résulter. Des difficultés d'organisation nous obligèrent en réalité à scinder cette expérimentation en deux groupes d'essais (1966) :

— Un groupe destiné à tester la différence de croissance des plants introduits selon les différentes méthodes. Réalisé à Niamey (Forêt de l'Aviation-Niger), il ne comprend pas de dispositif de répétition statistique car l'homogénéité du sol est remar-

(1) Evolution du profil hydrique d'un sol forestier méditerranéen en fonction de différents modes de travail du sol, Ph. DUCHAUFOUR, M. BONNEAU, J. F. LACAZE. Bulletin de l'Association française pour l'étude du sol.

quable : une première parcelle de 3 ha permet de comparer *rootage-billonnage* (Méthode Steppique) au *rootage simple*, en utilisant cinq espèces d'Eucalyptus (*E. 12 ABL*, *E. resinifera*, *E. citriodora*, *E. hybride* de Mysore et *E. Blakely*), du *Prosopis juliflora*, selon le schéma ci-dessous. Mensurations et comptages effectués à l'âge de trois mois révèlent que dans les parcelles billonnées la croissance en hauteur est supérieure de 5 à 10 % sur les parcelles rootées (nov. 1966).

Une deuxième parcelle de 9 ha compare selon les mêmes principes *labour à la charrue + pulvérisage* à *déchaumage + pulvérisage*.

Un groupe destiné à tester en plus de la différence de croissance des plants les variations du profil hydrique dans le sol selon les différentes méthodes de travail du sol. Il met en compétition :

- rootage + billonnage (Méthode Steppique),
- rootage simple,
- sous-solage simple,
- sous-solage simple + billonnage,
- potets à la houe,
- témoin.

FIG. 17. — Dispositif sur le terrain du protocole d'essais de travail du sol. Réalisation Haute-Volta.
T = témoin ; RB = rootage + billonnage ; SSB = sous-solage + billonnage.

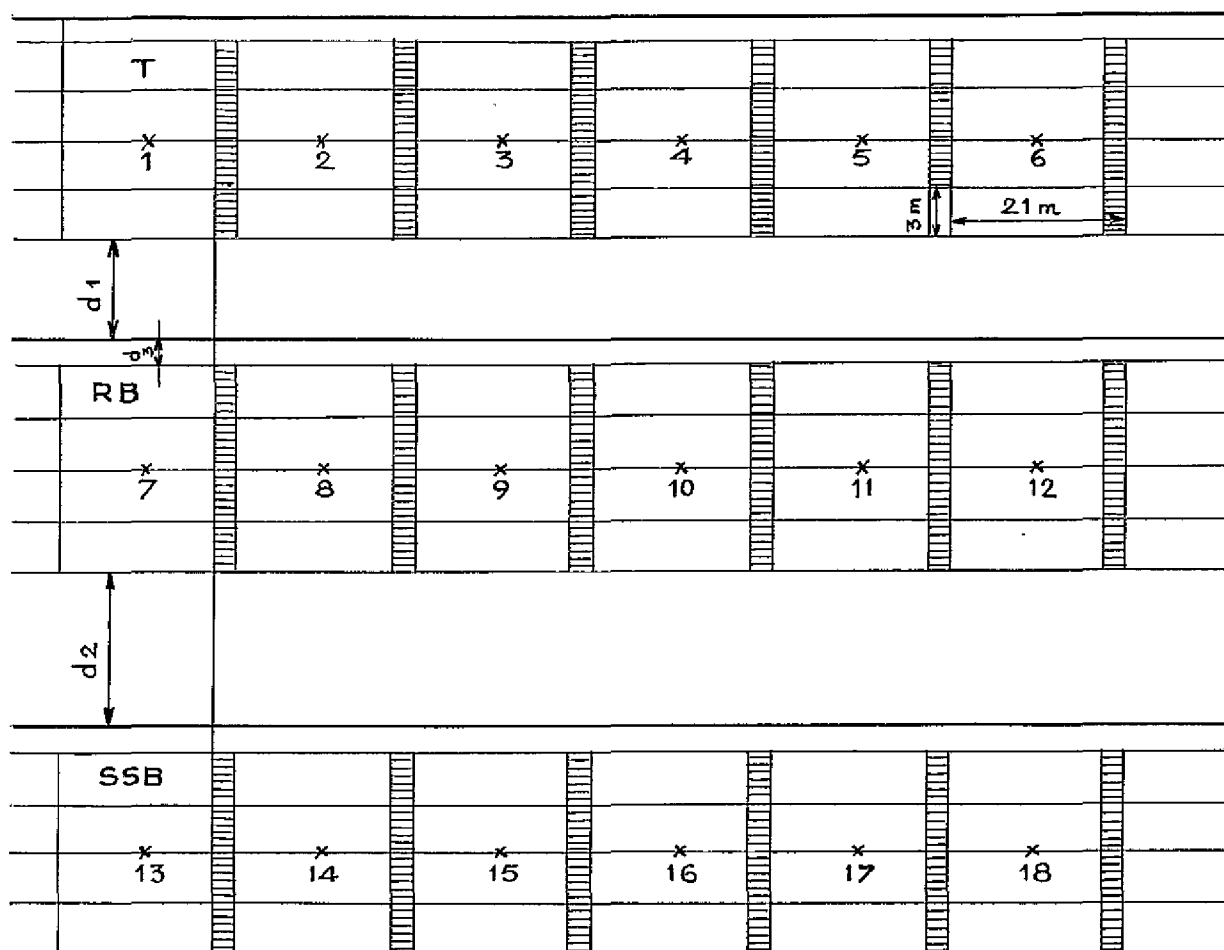




Photo Sarlin.

Savane arborée au Niger.

Ce groupe d'essais réalisé en Haute-Volta et répété dans deux stations différentes (Gonsé et Dinderesso) vise de plus à comparer des techniques :

- manuelles : potets ;
- exécutées par des engins agricoles : sous solage, et sous-solage + billonnage ;
- exécutées par des engins lourds : rootage et rootage + billonnage.

Comprenant trois blocs de six parcelles il assure donc trois répétitions des six types de préparation du sol (cinq techniques + un témoin) et de ce fait, devrait présenter une garantie statistique intéressante ; chaque parcelle est un rectangle comprenant 30 plants séparé du suivant par un fossé de garde, ainsi que le montre le schéma ci-contre.

Les mensurations porteront :

- sur l'évolution du profil hydrique par mesure de l'humidité du sol à trois profondeurs (20 cm-40 cm-80 cm) durant trois ans à périodicité fixe ;
- sur le développement de plants d'Eucalyptus introduits (mensurations du système racinaire, de la hauteur et du diamètre de la tige) (1).

(1) Une première série de mensurations réalisées à l'âge de 5 mois (janvier 1966) et interprétées statistiquement montre que les quatre modes de travail du sol donnent des résultats significativement supérieurs au témoin mais qu'entre eux les différences ne sont pas encore significatives. En effet la moyenne des hauteurs des plants d'Eucalyptus est de :

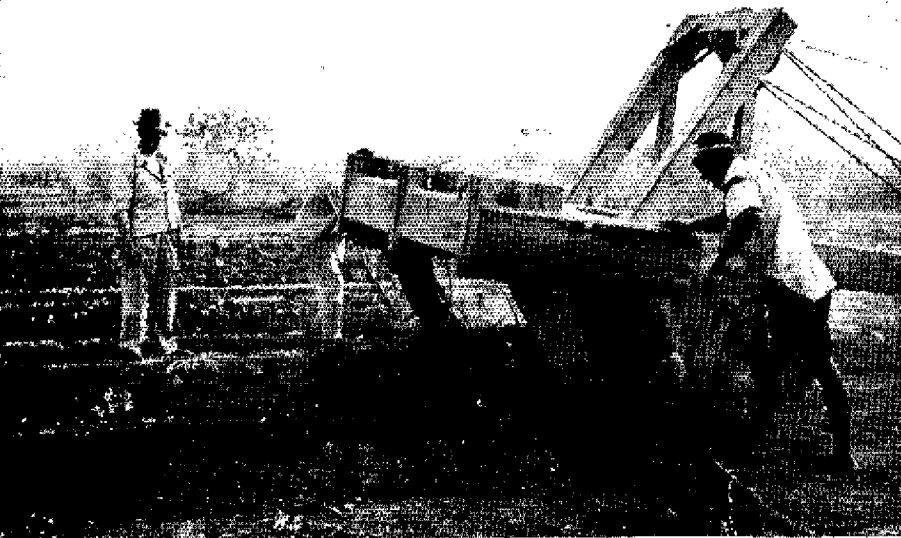
Rootage + Billonnage	106 cm
Billonnage	102 cm
Rootage	100 cm
Labour + Billonnage	95 cm

Nous souhaiterions ainsi déterminer d'une manière probante les meilleures techniques de travail du sol quant au maintien de l'eau dans le sol et son utilisation par des plants forestiers.

En introduisant des méthodes agricoles de préparation (sous-solage, billonnage avec des billonneuses légères), nous avons cherché à étudier si ces techniques, beaucoup moins coûteuses, que l'est l'emploi de bulldozer et de rooter ne suffiraient pas sous les pluviométries de plus de 750 mm/an. Nous craignons que la réponse ne soit négative, mais il nous a semblé indispensable d'en faire l'essai car la différence de prix de revient est considérable :

En effet, comme nous le verrons plus loin, il faut de 4 à 6 heures d'engins par hectare pour réaliser ces travaux du sol : la Méthode Steppique exige des tracteurs chenillés de 120-150 cv (types D6, D7 Caterpillar ou CD8 Continental) dont le prix de revient horaire se situe en régie autour de 4.500 CFA (Hte-Volta et Niger), alors que les travaux du type agricole se contentent de tracteurs sur pneus de 60 cv dont l'heure d'emploi coûte environ 1.250 CFA ; donc la différence de prix de revient à l'hectare est comprise entre 15.000 et 20.000 CFA, mais surtout les sujétions qu'entraîne l'entretien d'engins chenillés sont sans commune mesure avec celles d'un tracteur agricole (ateliers, poids des pièces, spécialisation de la main-d'œuvre, etc...), et dans des pays à infrastructure modeste méritent de retenir une grande attention.

c. — Premières observations sur la Méthode Steppique : la pratique de cette technique nous est encore trop peu familière pour que nos premières observations aient une valeur très assurée.



*Méthode steppique. Rooter tracté.
Forêt de l'Aviation, Niger.*

Photo C. T. F. T.

Néanmoins :

— Le démarrage des plantations semble grandement facilité par cette technique tant par la croissance moyenne supérieure que par la régularité de la reprise : on y voit peu de manquants, l'amplitude des variations de hauteur est faible.

— L'enherbement des plantations est remarquablement faible par rapport aux autres préparations du sol : en effet, le billonnage effectué aux engins chenillés entraîne l'arrachement de la strate herbacée (ryzhomes compris) par la lame de l'angle dozer ou du grader, son retournement et en général la destruction des touffes par rotations sur elles-mêmes et heurts avec d'autres matériaux, souvent par remontée à l'horizon supérieur du billon où elles séchent très rapidement sous l'effet du soleil. On n'y retrouve plus comme après le passage d'un pulvérisateur mal réglé des mottes d'herbes insuffisamment brisées et retournées qui finissent par s'enraciner à nouveau.

— Par contre, l'entretien lorsqu'il devient indispensable est difficile à réaliser : on ne peut faire passer un engin mécanique (pulvérisateur) qu'entre les billons en prenant des précautions ; le binage et desherbage au pied des plants doit être fait à la main, ainsi que sur toute la surface du billon, ce qui est encore beaucoup plus coûteux.

ESSAIS D'ENGRAIS

Ils se situent en dernier, par ordre d'urgence ; ils ne seront exécutés que cette année par implantation d'un dispositif statistique associant d'ailleurs cet essai d'engrais à des essais de travail du sol. — Il est toujours bon de les faire précéder d'analyses foliaires effectuées sur les premières plantations afin de relever les carences (P_2O_5 en Hte-Volta).

Ces essais doivent tester l'apport de NPK à plusieurs doses selon

Près de Ouagadougou (Haute-Volta), plantations d'Eucalyptus rudis. Forêt de Gonsé, sol ferrugineux, très argileux, souvent à carapace ou cuirasse, moyennement riche, mais sous-solé avec D7.

Photo Sarlin.



des dispositifs de recherche désormais classiques ; il est rare notamment qu'un apport de K_2O n'améliore pas la croissance. On peut estimer qu'une fumure moyenne revient actuellement à 5.000

CFA/ha, ce qui permet d'affirmer que cette opération est en général très rentable, eu égard à l'augmentation de croissance qu'elle peut entraîner surtout dans le jeune âge.

PREMIÈRES ESTIMATIONS DU PRIX DE REVIENT DES TRAVAUX

L'un des problèmes qui se posent est la détermination de la variation du prix de revient des plantations en fonction des techniques utilisées, et spécialement des différentes méthodes de travail du sol qui entraînent une incidence financière notable.

En partant des deux cas classiques de reboisement, plantation sur savane nue et plantation sur savane naturelle préalablement exploitée, nous

essayons de résumer dans le tableau ci-dessous les variations de ces données, en les exprimant, lorsque c'est possible en unités comparables (hommes-jour par hectare = HJ/ha ; Heures d'engin = H. E./ha)

On peut en conclure :

— Le prix varie du simple au double (40.000 à 80.000 CFA/ha) selon le type de travail ; il faudrait d'ailleurs lui ajouter éventuellement le coût

Tableau comparatif des prix de revient selon les différentes méthodes de travail du sol

Opérations	Préparation du sol à la main HJ = Journée d'homme à l'ha		Préparation du sol avec engins agricoles HE = heure d'engin à l'ha		Préparation du sol avec engins lourds		Observations
	SN	SD	SN	SD	SN	SD	
Défrichage	2 à 3 HJ (Brûlis)	10 à 15 HJ	2 à 3 HJ	4 à 6 HE (a) + 3 HJ	—	4 à 6 HE + 3 HJ	SN = savane nue. SD = savane déboisée.
Préparation du sol	5 à 20 HJ	5 à 20 HJ	2 à 8 HE	2 à 8 HE	2 à 8 HE	2 à 8 HE	selon le type de travail du sol (b).
Piquetage	4 HJ	4 HJ	4 HJ	4 HJ	4 HJ	4 HJ	pour densité de 1.000 plants/ha.
Pépinière	15.000 F CFA	15.000 F CFA	15.000 F CFA	15.000 F CFA	15.000 F CFA	15.000 F CFA	
Trouaison	15 HJ	15 HJ	10 HJ	10 HJ	10 HJ	10 HJ	pour densité de 1.000 plants/ha.
Transport et plantation	10 HJ	10 HJ	10 HJ	10 HJ	10 HJ	10 HJ	---
Traitements phytosanitaires ...	5.000 F CFA	5.000 F CFA	5.000 F CFA	5.000 F CFA	5.000 F CFA	5.000 F CFA	---
Entretiens 1 ^{re} année	15 HJ	15 HJ	5 HJ et 3 HE	5 HJ et 3 HE	5 HJ et 3 HE	5 HJ et 3 HE	HE = heures d'engin léger (pulvériseur).
Entretiens 2 ^e année	15 HJ	15 HJ	3 HE	3 HE	3 HE	3 HE	---
Entretiens 3 ^e année	15 HJ	15 HJ	1 HE	1 HE	1 HE	1 HE	---
Total	80 à 700 HJ + 20.000 F CFA	90 à 110 HJ + 20.000 F CFA	32 HJ + 10-12 HE + 20.000 F CFA	33 HJ + 15-20 HE + 20.000 F CFA	29 HJ + 10-15 HE + 20.000 F CFA	32 HJ + 15 à 20 HE + 20.000 F CFA	
Prix approximatif en F CFA..	42.000 à 48.000	47.000 à 53.000	35.000	50.000	38.000 à 63.000	40.000 à 80.000	HJ = 300 F CFA HE = 4.500 F CFA et 1.250 F CFA.

(a) HE = heures d'engins chenillés qui peuvent seuls assurer le dessouchage.

(b) -- Il faut de 5 à 20 heures/ha suivant que le sol est simplement desherbé ou houé en plein à la main.

-- Il faut de 2 à 8 HE/ha selon que sous-solage ou rootage est fait par bandes ou en plein.

de l'encadrement de niveau supérieur (Chef de chantier).

— Sur savane nue le travail mécanisé est moins coûteux que le travail à la main, s'il est fait avec des engins agricoles. Sur savane déboisée, les deux prix de revient sont assez voisins.

Conclusions

Nous avons essayé, au cours de cette étude, de faire prendre conscience de la difficulté des problèmes que pose la Sylviculture tropicale dans les zones sèches de l'Afrique, plus que de les résoudre. Ceci correspond en effet à la réalité des faits : en dehors de zones d'étendue minime très favorisées par la nature (nappe phréatique à faible profondeur, point d'eau, zones inondables ou irrigables), aucun reboisement d'envergure n'a pu être réalisé dans les régions soudano-sahéliennes, et la régénération des formations forestières naturelles réclame dans cette vaste zone des solutions urgentes, car sur le plan humain, social, et économique, les savanes même faiblement boisées des zones soudano-sahéliennes présentent une valeur potentielle qu'il faudrait non seulement maintenir, mais améliorer si l'on veut faire face à l'accroissement de la population.

Nous avons surtout cherché à montrer que le problème essentiel auquel tous les autres sont plus ou moins liés est celui de l'eau : il faut d'abord déterminer la quantité d'eau mise par la nature à la disposition des racines des arbres sous une certaine

De toute façon, ces comparaisons risquent de rester purement spéculatives, si l'expérience prouve que dans bien des cas seule la préparation du sol avec engins lourds (Méthode Steppique) permet de réussir une plantation.

pluviométrie et pour un sol déterminé, puis dans un deuxième stade, définir les techniques permettant d'en faire bénéficier au maximum les racines : ne pouvant jouer sur la pluviométrie, nous devons essayer d'agir sur l'infiltration et la mise à la disposition des racines. Nous estimons que le problème majeur auquel se heurte la Sylviculture résulte en dernier ressort de l'éventuelle inégalité suivante :

Q eau disponible pour les racines $<$ Q eau évapotranspirée

avec au départ :

Q eau disponible pour les racines = Pluviométrie
— Ruissellement

étant bien entendu que la nature du sol intervient par son coefficient de rétention, mais l'action que le Sylviculteur peut avoir dans ce domaine est extrêmement faible sinon par le choix des terrains.

A partir de ces idées de base, nous pouvons avancer les premières conclusions suivantes quant aux solutions des problèmes de Sylviculture en zone sèche :

SYLVICULTURE NATURELLE



En dehors du fait qu'elle constitue un système trop extensif et trop aléatoire pour résoudre les problèmes forestiers importants (ravitaillement des grands Centres, fourniture de bois de service de bonne forme), le Forestier est pratiquement désarmé lorsqu'il veut tenter d'améliorer son ren-

Plantation d'Eucalyptus âgés de 5 mois sur méthode steppique. Un très beau plant. Forêt de l'Aviation, Niamey (Niger).

Photo C. T. F. T.

dement. Il peut certes l'améliorer dans certains cas, en supprimant les feux, perfectionnant le façonnage des coupes, mais du fait qu'il ne peut pas agir sur l'alimentation en eau des boisements, il peut difficilement amplifier le rendement de sa forêt : quels que soient ses efforts, il n'arrivera qu'à augmenter très

faiblement le nombre des cépées, car ce dernier est limité par l'alimentation en eau du sol. Par contre, après quelques révolutions, lorsque les souches seront devenues trop vieilles, l'avenir même du reboisement l'obligera vraisemblablement à changer de technique.

SYLVICULTURE ARTIFICIELLE

Elle a incontestablement notre préférence, car elle est toujours basée sur un certain travail du sol qui peut seul capter l'eau qui serait perdue par ruissellement.

— par travail du sol à la main : les plantations sont en général faites par simple trouaison de potets recueillant les plants, et nous avons vu que les résultats avaient été en général très décevants. Ceci s'éclaire si l'on conçoit que seuls les potets reçoivent un peu plus d'eau que le terrain environnant, car la terre qui les remplit possède du fait qu'elle a été travaillée un meilleur coefficient de perméabilité, mais si cette perméabilité n'est pas maintenue en permanence par des binages, le ruissellement prend vite le dessus. Dès la deuxième année, lorsque l'enracinement sort du bloc de terre du potet, il rencontre une terre non travaillée, donc non aérée et peu perméable ; ce qui explique que la croissance des plants diminue, l'herbe s'installe car le travail d'entretien en plein à la main n'est pratiquement jamais réalisé (au mieux, on rabat l'herbe à la machette pendant 3 ans), et petit à petit, le reboisement périclite.

— par travail mécanique : le labour suivi de pulvérisage constitue déjà un progrès sur la technique précédente, mais il ne retourne le sol que sur 20-30 cm de profondeur, donc ne permet pas l'infiltration profonde de l'eau.

Il est incontestable que le rootage qui crève le sol en plein jusqu'à 70 cm de profondeur constitue un progrès encore plus notable, et s'il est complété par un billonnage, l'ensemble constitue un véritable « piège à eau », et c'est la Méthode Steppique. Mais on ne saurait trop insister sur l'intérêt primordial de réaliser les billons selon les courbes de niveau, sinon une partie de l'eau est perdue par ruissellement entre les billons.

Pour toutes ces raisons, nous considérons que dans l'état actuel de nos connaissances, cette méthode semble la mieux adaptée aux exigences des plantations forestières en zone soudano-sahélienne. Mais, compte tenu des comparaisons que nous avons tentées entre son climat et le climat d'Afrique du Nord, il n'est pas impossible que les résultats à en attendre soient moins brillants.

Recherches à entreprendre

En fonction des conclusions précédentes, il nous semble que, mis à part les essais classiques d'éli-

mination des espèces, le programme de recherches suivant est à entreprendre, ou à poursuivre :

RECHERCHES SUR LE TRAVAIL DU SOL

— Comparaison des différentes techniques de travail du sol (à poursuivre), à réaliser si possible sur dispositif à répétitions statistiques, sinon sur les principaux types de sol ; il n'est pas impossible qu'avec certains sols et certains climats, le rootage seul soit par exemple suffisant.

— Adaptations de la Méthode Steppique : nous avons déjà relevé à plusieurs reprises que si le rootage ne pouvait être discuté comme technique facilitant l'infiltration de l'eau et l'installation d'un bon enracinement, par contre, le rôle du billonnage restait assez mystérieux sauf comme obstacle

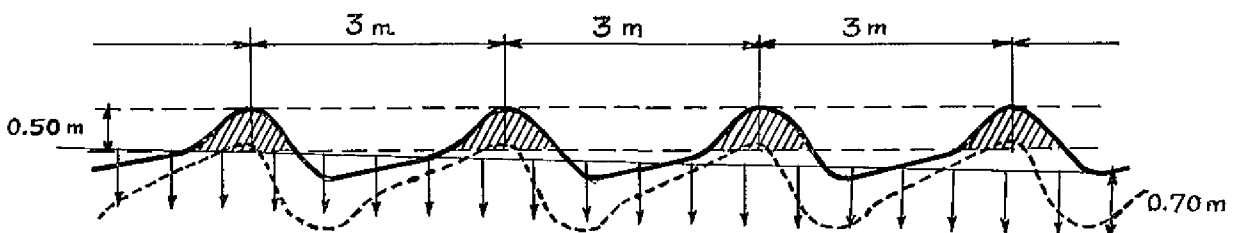


FIG. 18.

mécanique bloquant le ruissellement. Certains Auteurs ont même avancé qu'il risquait d'accroître la remontée capillaire, et de ce fait, les pertes d'eau par évaporation. Dans ces conditions, on pourrait rechercher si l'emploi de billons de faibles dimensions (0,20 m à 0,30 m de haut) ne donneraient pas de meilleurs résultats, ce qui conduirait au schéma de travail (cf. fig. 18).

RECHERCHES SUR LE BILAN DE L'EAU DANS UNE PLANTATION FORESTIÈRE

Nous avons exprimé la crainte que pour certaines densités de plantation (plus de 1.000 pieds/ha) la quantité d'eau évapotranspirée soit supérieure à celle qui parvient aux racines lorsque la plantation dépasse trois ans, mais nous n'avons pu citer aucun chiffre ni aucune règle, car il ne semble pas que le bilan de l'eau ait été fait en zone soudano-sahélienne pour une plantation forestière. On pourrait évidemment aborder indirectement le problème en établissant un système de plantations comparatives à différentes densités pour définir la plus forte qui soit admise par le milieu écologique. Mais il nous a semblé que ce problème était trop important pour ne pas l'aborder à la base par une mesure des différents paramètres qui interviennent : pluviométrie, eau interceptée avant son arrivée au sol par la plantation elle-même, eau perdue par ruissellement et évaporation du sol, eau mise à la disposition des racines (par différence) et enfin consommée pour la croissance et évapotranspirée en une année par le peuplement forestier.

Le protocole prévoit : (1).

— La pluviométrie annuelle sera mesurée par pluviographe,

— L'eau interceptée par les arbres et ensuite évaporée : sera évaluée à partir de données extérieures (CTFT-Madagascar),

— L'eau ruisselée : sera mesurée au limnigraphe, la parcelle étant traitée comme une parcelle d'érosion, ce qui permettra de plus de mesurer les pertes en terre par ruissellement sous une plantation forestière.

— L'eau retenue par le sol : sera mesurée par détermination du point de flétrissement (culture en pot).

— L'eau consommée par les arbres pour leur croissance : sera mesurée à partir du poids frais et du poids sec d'un arbre considéré comme échantillon moyen (ce facteur a d'ailleurs une valeur très faible).

Ceci entraînerait la réalisation d'un billonnage beaucoup plus économique, où le bourrelet ne servirait plus qu'à bloquer le ruissellement.

De même, pourrait-on envisager de ne pas rooter la zone située entre deux billons pour faciliter le ruissellement de l'eau vers la base des bourrelets.

— L'eau transpirée : sera mesurée par la « méthode du rameau coupé » à partir d'un échantillonnage de feuilles prises dans les trois tiers de l'arbre selon la hauteur, pour éliminer le paramètre feuilles d'ombre/feuilles de lumière. Des pesées à la balance de torsion des feuilles-échantillons et de pastilles Piche placées dans le même milieu doivent permettre de mesurer la transpiration d'une part, et l'évaporation de l'autre, donc de définir la régulation stomatique de l'espèce étudiée sous le climat de la Station. Enfin, des mesures systématiques à différentes heures de journées-témoins devraient donner la variation de ETR (évapotranspiration réelle) et de E (évaporation) afin d'autoriser une extrapolation valable des résultats ponctuels qui sont relevés tous les quinze jours avec répétition sur quatre arbres différents (répétition statistique). Corrélativement la température, l'humidité, le déficit de saturation seront notés afin d'essayer d'interpréter dans les meilleures conditions les résultats acquis.

— L'eau évaporée par le sol : sera mesurée par différences entre taux d'humidité relevés tous les quinze jours.

Cette expérimentation assez complexe sera réalisée pendant une année dans une plantation d'*Eucalyptus camaldulensis* de 2 ans plantée sur rootage à 3 m × 2 m à Gonsé (CTFT-Ete Volta), dans la station-même où nous avons enregistré la mort par dessèchement de parcelles d'*E. camaldulensis* et *E. tereticornis* âgés de 3 ans.

Si elle peut être menée à bien, nous pensons pouvoir discerner les possibilités offertes par des plantations d'*Eucalyptus* en zone soudano-sahélienne, et d'une façon plus générale, par des plantations forestières équiennes : si le bilan final est faiblement positif (quantité d'eau évapotranspirée légèrement inférieure à la quantité d'eau mise à la disposition des racines) nous saurons que la densité de plantation doit être diminuée et le travail du sol plus poussé ; au contraire, s'il est large, nous pourrions envisager l'avenir avec un certain optimisme et adopter des méthodes moins coûteuses que la Méthode Steppique.

(1) Protocole établi par Y. BIROT (CTFT Niger-H^{te}-Volta) et grâce aux conseils de M. de PARCEVAUX (INRA).

RECHERCHES SUR LA CONSTITUTION DES PEUPELEMENTS FORESTIERS

Jusqu'à présent, nos essais n'ont porté que sur des plantations pures de certaines essences (Eucalyptus, Filao, Anacarde, *Prosopis*, etc.). Des observations récentes nous incitent à penser que la constitution de peuplements mélangés serait parfois intéressante : En effet, les Eucalyptus, du fait même de leur croissance rapide, sont très sensibles au vent ; ils se courbent notamment sous l'harmattan qui pendant 4 à 5 mois souffle avec force de la même direction, et finit par les déformer sinon en briser un certain nombre. Comme pour des raisons d'alimentation en eau, déjà énoncées, on ne peut envisager des plantations très serrées, un essai de plantation mélangée *Eucalyptus-Prosopis* sera réalisé en 1967. En effet, le *Prosopis* formant dès l'âge d'un an une cépée de 1,80-2 m de haut, et

1,50-2 m de large, on réalisera d'abord une plantation de *Prosopis* à 6 m × 6 m, et un an après, une plantation d'Eucalyptus intercalaire à la même équidistance, ce qui conduira finalement à une plantation mélangée à 3 m × 3 m. On espère ainsi que les *Prosopis*, ayant un an d'avance, protégeront pendant 2 à 3 ans les Eucalyptus contre l'harmattan, et leur permettront de se « charpenter » et de pousser droit sur plus de 5 à 6 mètres.

Si elle réussissait, cette association présenterait d'ailleurs une valeur économique certaine, car les *Prosopis* fourniraient du bois de chauffage et à charbon, et les Eucalyptus des bois de service (perches et poteaux).

De telles associations peuvent être envisagées avec d'autres espèces.

RECHERCHES SUR LA GÉNÉTIQUE ET L'AMÉLIORATION DES PEUPELEMENTS

Dès que l'on peut faire pousser des Eucalyptus, on est tenté de sélectionner les beaux sujets remarquables dans les premières plantations, espérant qu'ils pourront être à l'origine d'une lignée bien adaptée localement. Ceci serait particulièrement précieux dans les pays soudano-sahéliens sous le double aspect de l'adaptation à la sécheresse et de la rectitude des tiges, tellement sont grands les besoins en bois de service. Mais des difficultés notables se présentent vite du fait :

— de la récolte des graines qui constitue une opération assez dangereuse à cause du vent et de l'élasticité des arbres ;

— de la grande facilité d'hybridation du genre Eucalyptus qui fait que très rapidement dans une Station d'essais sylvicoles où l'on effectue des essais d'élimination d'Eucalyptus, les premières générations issues des arbres « plus » repérés, peuvent être des hybrides de père inconnu plantés dans les parcelles voisines ; ce qui est très fréquent dans la F_1 (première génération), peut se poursuivre dans la F_2 (deuxième génération), avec une complexité et une variabilité encore plus marquées ;

— du très petit nombre d'arbres introduits dans les parcelles d'élimination, qui entraîne en cas de descendance pure sélectionnée des risques consi-

dérables de consanguinité (risque encore accru si l'on part d'un seul arbre).

Aussi est-il prudent, quand on en a les moyens :

— de ne pas créer de boisements importants à partir de graines récoltées localement sur des arbres appartenant à de petites parcelles de recherche, mais de commander les graines dans les Pays d'origine de l'espèce, lorsqu'on désire propager une espèce déterminée et non la descendance de quelques arbres sélectionnés ;

— de créer des parcelles conservatoires de descendance en les isolant, ce qui est souvent très difficile ;

— de propager d'abord par bouturage les arbres sélectionnés pour leur adaptation aux conditions locales, et de créer avec ces boutures des parcelles isolées qui seront traitées en jardins grainiers.

Il est certain enfin que des hybridations contrôlées entre espèces de bonne venue, ou semblant se compléter, porteront la solution à bien des problèmes d'adaptation à des conditions écologiques difficiles : le 12 ABL et l'Hybride de Mysore en fournissent d'excellents exemples.

Mais c'est là le travail de spécialistes œuvrant sur des Stations de recherche dotées de gros moyens.

