

F0000066

FT840011
K040
SAL/CNRF.

REPUBLIQUE DU SENEGAL
MINISTERE
DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
ET TECHNIQUE

INSTITUT SENEGALAIS
DE RECHERCHES AGRICOLES
DEPARTEMENT
DES RECHERCHES FORESTIERES
ET HYDROBIOLOGIQUES

PREMIERE CONTRIBUTION A L'ECOPHYSIOLOGIE
DE L'EUCALYPTUS CAMALDULENSIS DEHN.

Pape Ndiengou SALL

MEMOIRE DE CONFIRMATION - JANVIER 1984

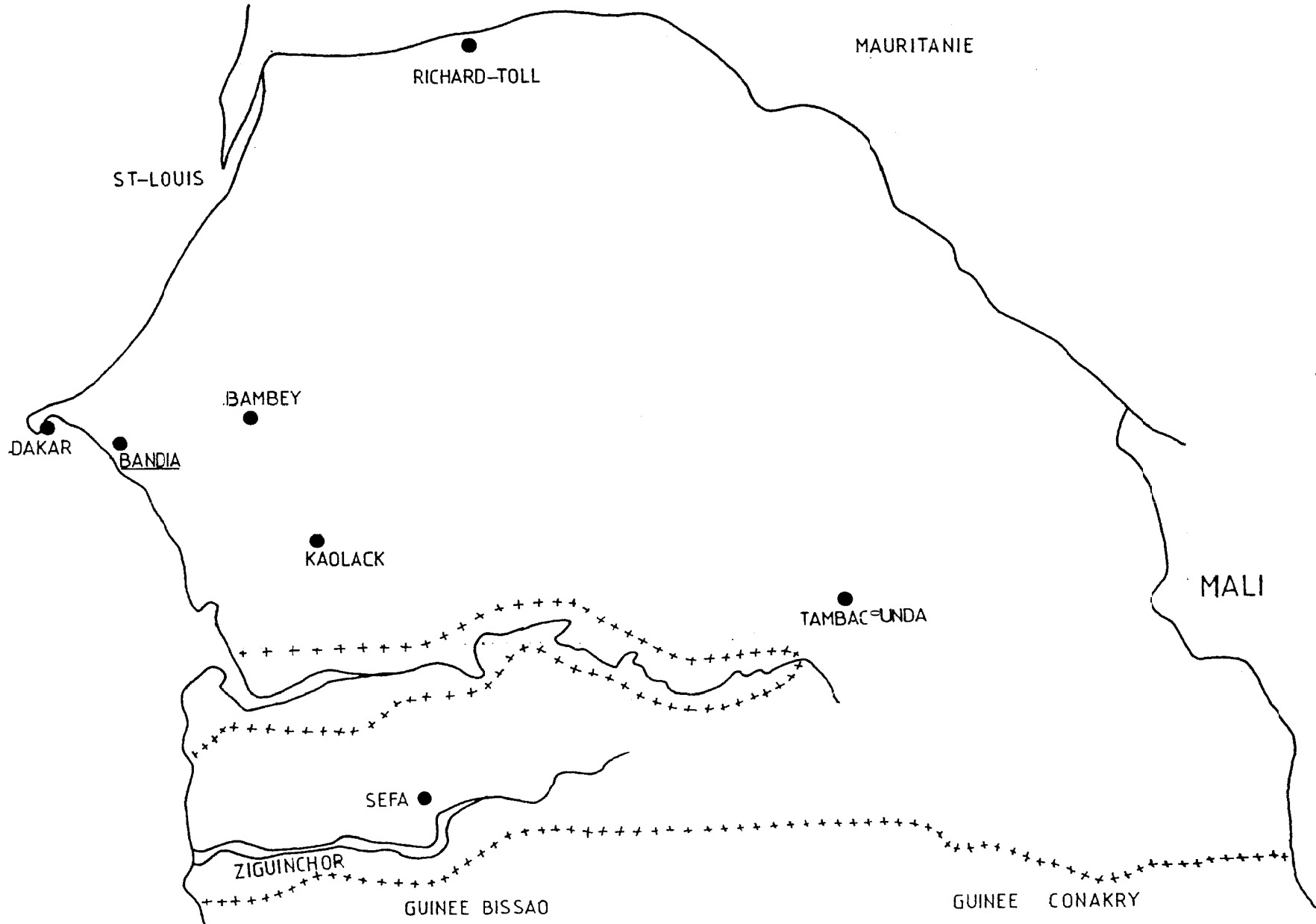
CENTRE NATIONAL DE RECHERCHES FORESTIERES
DAKAR

SOMMAIRE

	Page
I - INTRODUCTION	1
II - PRESENTATION DE L'ETUDE	2
III - ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE	3
1. Historique	3
2. Adaptation écologique	4
3. Caractéristique hydrique des feuilles	5
4. Transpiration	6
5. Evolution des sols	8
6. Effets allelopathiques	9
7. Besoins en éléments nutritifs	11
8. Irrigation	11
9. Amélioration génétique	11
10. Physiologie racinaire	12
11. Période de croissance	13
12. Monographie	14
IV - ETUDE DU MILIEU	15
1. Climat	15
2. Sol	19
3. Végétation	25
V - CROISSANCE DES PEUPEMENTS	26
1. Croissance moyenne cumulée en hauteur	26
2. Accroissement mensuel en circonférence	26
3. Conclusions et recommandations	27
VI - ANATOMIE DE LA FEUILLE	29
1. Introduction	29
2. Technique	29
3. Résultats	30

	<u>Page</u>
VII-ETUDE EXPERIMENTALE DE LA DESHYDRATATION DE FEUILLES ISOLEES	31
1. But	31
2. Dispositif d'observation	31
3. Méthodologie	31
4. Résultats	33
VII 1 - CINETIQUE DU POTENTIEL DE SEVE	36
1. Notion d'état hydrique	36
2. La mesure du potentiel par la bombe à pression	37
3. Résultats d'une cinétique journalière	39
4. Détermination de la surface foliaire	40
5. Comportement hydrique en vases de végétation	40
6. Conclusion - Perspectives d'avenir	41
IX - PLAN DE TRAVAIL - Janvier 1984-Décembre 1986	43
X - ETUDE DE L'ENRACINEMENT PAR LES MINIRHIZOTRONS	45
XI - ETUDE DU CYCLE HYDROLOGIQUE	47
1. Théorie du cycle	47
2. Dispositif de mesure	47
3. Résultats bibliographiques	48
XII - COMPTE PREVISIONNEL ANNUEL (1984)	50
XIII - BILAN HYDRIQUE D'UNE PARCELLE D'EUCALYPTUS CAMAI.	51
1. Notion de bilan	51
2. Dispositif expérimental	51
3. Principe de la sonde à neutrons	52
4. Résultats - Discussions	53
XIV - CONCLUSIONS GENERALES	57
-BIBLIOGRAPHIE	
- ANNEXES.	

CARTE DU SENEGAL



I - INTRODUCTION

Dans le but d'approvisionner la région du Can-Vert qui absorbe 89 % du charbon de bois et 36 % du bois de chauffe de la consommation nationale, le service des Eaux et Forêts a entrepris une vaste opération de reforestation dans la zone de Randia (région de Thiès).

Par le biais du PARFOB (Projet autonome de Reboisement de la Forêt de Bandia) et grâce au concours financier de l'USAID, ledit service y a, depuis juillet 1980, reboisé 1 850 hectares d'*Eucalyptus camaldulensis*. La récente communication du Ministre de la Protection de la Nature en Conseil des Ministres (juin 1983) est révélatrice de l'importance accordée à l'*Eucalyptus* dans notre pays. Le thème était : "La place de l'*Eucalyptus* dans la politique forestière du Sénégal" (CISSOKHO, 1983).

L'introduction d'une essence semnervirente, à croissance rapide et à activité transpiratoire intense, dans une zone marginale toujours déficitaire en eau comporte des risques certains d'épuisement des réserves hydriques. Aussi, convient-il, avant de développer à grande échelle ce type de plantation, d'exploiter les acquis de la recherche forestière. C'est dans le cadre d'un programme de recherches d'accompagnement du PARFOB qu'il a été demandé, entre autres, au C. N. R. F. (Centre national de Recherches forestières) l'étude du bilan hydrique.

Ce travail sera complété par un aspect écophysiological qui devra nous renseigner sur l'adaptation à la sécheresse de l'*Eucalyptus camaldulensis*.

Cette étude qui durera encore au moins 3 ans, devra aboutir à des conclusions sylvicoles inhérentes aux limites de plasticité de l'espèce et à ses conditions d'utilisation dans les reboisements,

II - PRESENTATION DE L'ETUDE

Cette étude comprend une première partie relative à une synthèse bibliographique. Nous avons essayé autant que possible, de la limiter à l'écophysiologie de l'*Eucalyptus camaldulensis*.

La deuxième partie est inhérente à l'étude du milieu (climat, sol, végétation) de la station expérimentale du PARFOB..

La croissance des peuplements est ensuite étudiée.

Une description anatomique de la feuille d'*Eucalyptus camaldulensis* est le prélude d'une étude expérimentale de la déshydratation de feuilles isolées et de la cinétique du potentiel de sève de plants cultivés en vases de végétation.

Un plan de travail pour les 3 années à venir (1983-85-86) est proposé.

Nous avons, par la suite, brièvement exposé deux protocoles expérimentaux : l'un relatif à l'étude de l'enracinement par le biais de minirhizotrons, l'autre au cycle hydrologique.

Un compte prévisionnel annuel termine ce chapitre,

La dernière partie de ce travail fait le bilan hydrique d'une de nos parcelles d'*Eucalyptus camaldulensis* situées à Bandia.

ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

III - ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE .

Il nous a été demandé de traiter dans ce mémoire les problèmes liés à la physiologie de l'*Eucalyptus camaldulensis*, de recenser les travaux portant sur cette espèce et d'en faire une synthèse aussi exhaustive que possible.

Il faut, dès à présent, souligner que les réalisations n'ont pas été à la hauteur des recommandations des différentes conférences mondiales sur l'*Eucalyptus* et que les chercheurs forestiers encore moins les physiologistes ne se sont pas rués pour une raison ou pour une autre sur l'espèce *camaldulensis*.

Aussi, la présente étude pourra t-elle paraître incomplète et nar delà, ne pas répondre à ce que l'on attendait d'elle.

1° - HISTORIQUE

L'*Eucalyptus camaldulensis* (DEHNHARDT, 1832) appelé ainsi en hommage au Comte de Camaldoli qui l'a fait pousser avec succès dix ans plus tôt dans son jardin aux environs de Naples (ELDRIDGE, 1975) ou *Eucalyptus rostrata* (SCHLECHT) ; Murray-red gum ou River red-gum, est originaire du sud de l'Australie (Etat de Victoria). Il a été introduit au Sénégal en 1863 (ADM, 1956). On lui connaissait des possibilités à fournir du bois d'oeuvre, du bois de mine et de la cellulose pour la nâte à panier. Il a également fait l'unanimité des forestiers locaux aux lieux et places du filao (qui ne rejette pas de souche), du *Cassia siamea* (attaqué par une maladie cryptogamique en peuplements nurs et exigeant au noint de vue fertilité) et du *Neem* (combustible médiocre, vulnérable au feu et sensible à la composition du sol) quand 'est posé le problème de la production de bois de chauffage et du charbon de bois. De par sa rapidité de croissance, son rendement en bois et sa plasticité, l'*Eucalyptus camaldulensis* avait donc la priorité dans l'Ouest, le Nord et le Centre à proximité des grands centres consommateurs de bois de chauffage (GIFFARD, 1966).

Il y a aussi l'idée bien répandue que le genre *Eucalyptus* peut fournir des espèces xérophiles et rustiques capables d'assurer la protection et une certaine valorisation des terres déshéritées, capables aussi d'utiliser au mieux les réserves en eau de sols moins défavorisés mais inaptés à l'agriculture.

.../...

La variété 8411/FTB (Forestry and Timber-Bureau de Canberra) est celle que nous expérimentons pour les études de bilan hydrique, puisque parmi les 16 provenances testées au Sénégal entre 1968 et 1972, elle s'est avérée la plus performante aussi bien sur le plan de la croissance que de la résistance à la sécheresse (GIFFARD, 1975).

2°- ADAPTATION ECOLOGIQUE

Le Comité de la Recherche forestière méditerranéenne avait décidé, lors du sommet de Dubrovnik (Yougoslavie) en 1962, la mise en oeuvre d'une expérimentation internationale sur différentes provenances de l'*Eucalyptus camaldulensis*.

Les conclusions de cette étude (LACAZE, 1970) ont apporté la preuve de l'incontestable supériorité génétique de la provenance 6845 Lake Albatucya (Victoria) et de son non moins honorable comportement en climat tropical (Nigéria). La pluviométrie de sa zone de récolte est de 350 mm bien répartis. Pour les pays tropicaux, les provenances de faible latitude du Northern Territory sont le plus souvent les plus productives (Congo : 6869, Katherine et 6953 Queensland du Nord). La bonne performance du Petford 6953 en zone tropicale (Nigéria, Zambie, Madagascar) est signalée (LACAZE, 1977).

L'*Eucalyptus camaldulensis* a la distribution la plus vaste : son aire s'étend sans discontinuité à travers le continent australien.

Les résultats sur la variation écotypique de l'*Eucalyptus camaldulensis* donnent :

- 1 groupe Nord (grande fréquence de lignotubers, feuillage glauque)
- 1 groupe Sud (faible fréquence ou absence de lignotubers, feuillage vert-jaunâtre)

d'où l'existence de 2 groupes d'écotypes (KARSCHON, 1967).

En ce qui concerne nos régions, une des recommandations de l'étude relative à l'origine climatique des graines d'*Eucalyptus* introduits au Niger (DELWAULLE, 1970) est de ne pas trop se fier à la pluviométrie totale mais plutôt d'intégrer sa répartition et les moyennes de température. Il faudra, par conséquent, inciter le sylviculteur à faire ses récoltes de graines dans les zones climatiquement semblables aux siennes (établissement et superposition de cartes avec température, pluie, répartition).

A ce sujet, le Service météorologique de Madagascar a publié un essai

d'application dans ce pays de l'indice climatique de SWAIN avec un tableau de concordance entre les stations australiennes et leurs homologues malgache: Ces renseignements ont été très précieux pour le choix des espèces à tester dans diverses régions de l'île (MOURANCHE, 1956).

3° - CARACTÉRISTIQUES HYDRIQUES DES FEUILLES

La transpiration qui est un mécanisme physiologique détermine la consommation en eau. Des observations rigoureuses ont prouvé que l'*Eucalyptus camaldulensis* gardait ses feuilles pendant 3 ans (POUPON, 1968 ; BIROT, 1972)

Avant donc de faire des mesures physiologiques de transpiration, il s'avère nécessaire de chercher si les feuilles de même position sur les rameaux de même année d'un arbre sont homogènes. Un travail basé sur le test de χ^2 arrive à la conclusion que n'importe quelle feuille de l'année parmi les 5 plus jeunes du rameau peut être choisie (POUPON, 1968).

L'orientation et la hauteur des rameaux n'influeraient pas sur l'homogénéité morphologique voire physiologique; Nos résultats à Bandia qui sont certes trop peu nombreux à ce jour, confirment la thèse de POUPON.

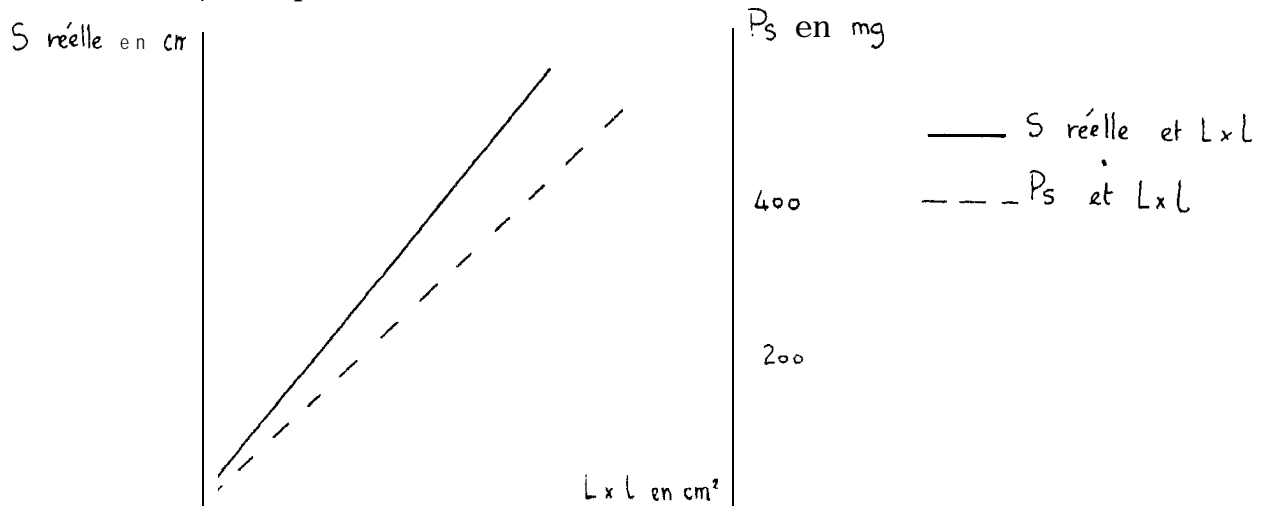
Une étude similaire, faite dans un désert chaud d'Israël, phytosociologiquement proche de la partie du Sahara coupée par l'isohyète 200 mm, conclut que les valeurs des feuilles du Sud et celles du Nord d'un même *Eucalyptus camaldulensis* étaient les mêmes, contrairement à *Tamarix aphylla* et *Pinus halepensis* (GINDEL, 1968).

Pour le suivi de l'accroissement de la surface foliaire, des relations permettent de trouver cette dernière en faisant de simples mesures de longueur et de largeur; cette méthode a l'avantage de ne pas être destructrice.

POUPON (1968) a trouvé pour l'*Eucalyptus camaldulensis* à Zernia (Tunisie) : $S = 0,73 \times L \times l$

0,73 = pente de la droite

$(0,73 \pm 0,05)$



Il en va de même pour l'augmentation du poids de matière sèche (P.S).
La relation reste linéaire : $S = 0,073 \times P.S$ ($0,073 \pm 0,007$)

a) Le déficit hydrique (D.H)

Il est donné par :

$$D.H \text{ en } \% = \frac{\text{Poids à saturation.} - \text{poids de matière fraîche}}{\text{Poids à saturation} - \text{poids de matière sèche}} \times 100$$

(SOTCKER, 1956)

Nous expliquons les procédés de détermination du poids à saturation dans l'étude de la déshydratation des feuilles isolées.

b) La notion de re-saturation

Le coefficient de re-saturation renseigne sur la relation entre le poids à saturation de la feuille et son déficit hydrique au moment du prélèvement.

Les feuilles qui viennent d'être retirées de l'enceinte de saturation au bout de 12 heures sont mises dans des conditions de transpiration (lampes à incandescence de 150 watts correspondant à une énergie de $0,50 \text{ cal/cm}^2/\text{mn}$). Elles sont ensuite remises à saturer ; un nouveau palier se dessine 16 heures plus tard.

$$\text{Le coefficient } (\%) = \frac{\text{Poids à saturation après passage sous la lampe}}{\text{Poids à saturation initial}}$$

Traçant un graphique du déficit hydrique (D.H) en fonction du coefficient de re-saturation, pour des feuilles d'un an d'*Eucalyptus camaldulensis*, POUPON (1968) arrive aux conclusions suivantes :

- pour un D.H $< 55 \%$, le coefficient ne dépasse pas 103% ; on pourrait donc admettre que le poids à saturation n'est pas tributaire du déficit hydrique de la feuille au moment du prélèvement ;

- pour un D.H $> 55 \%$, les feuilles ne parviennent plus à retrouver leur poids à saturation initial, mais puisque ce niveau n'est presque jamais atteint in situ, il devient donc possible à n'importe quel degré de stress hydrique, de connaître le poids à saturation.

4° - TRANSPIRATION FOLIAIRE

Ce rejet sous forme de vapeur d'eau par la plante vers l'atmosphère peut s'exprimer de deux manières :

- par perte d'eau en mg par mg de poids de matière sèche de feuille et par minute,
- par perte d'eau en mg et par cm² de feuille et par minute.

GINDEL (1968) , à la suite de ses travaux sur l'*Eucalyptus camaldulensis* , affirme que les 2 méthodes donnent 'des courbes de même allure. Au laboratoire, après saturation des feuilles, celles-ci sont placées sur une balance de torsion, soumises à un réchauffement (mêmes conditions que la re-saturation) et pesées en continu (toutes les 2 minutes par exemple). Pour l'*Eucalyptus camaldulensis* , la courbe en cloche qui résulte de l'évolution de la transpiration foliaire est interprétée de la manière suivante (POUPON, 1968) :

- * une rapide élévation de la transpiration correspondant à l'ouverture stomatique mais qui est précédée par un bref palier,
- * une chute de la perte en eau relative à la fermeture stomatique souvent plus ralentie que l'ouverture
- * enfin, l'ultime palier se manifeste aussitôt après la fermeture stomatique : c'est le signe du début de la transpiration cuticulaire.

POUPON qui a travaillé sur des feuilles de 1965, 66 et 67 constate que le mécanisme stomatique fonctionne plus ou moins efficacement selon la sénescence des feuilles et que ce sont les plus jeunes qui sont les premières consommatrices d'eau.

Il a également été tenté l'établissement d'un rapport entre le taux de transpiration et l'état de développement de l'arbre (GINDEL, 1968).

On constate que les arbres les plus grands (hauteur et grosseur) ont une transpiration plus élevée. Sur le terrain, en conditions extrêmes de sécheresse du sol et quand les facteurs climatiques sont très sévères, le taux de transpiration devient alors très bas et l'activité cambiale peut s'arrêter pour l'*Eucalyptus camaldulensis* (fin juin 1966) avec une absence totale de néoformation de cellules (début mars).

Transpiration (mg/gr/h)	Hauteur (m)	Diamètre à 1m30 (cm)
125,0	5,5	12,4
112,7	7,0	14,0
137,8	7,5	15,0
136,8	7,8	16,0

Ce constat s'inscrit bien entendu dans le cadre géoclimatique bien particulier de GINDEL (Israël).

KAPLAN (1951) a fait en Israël des mesures de transpiration sur des *Eucalyptus camaldulensis* plantés-dans 3 parcelles d'humidité de sol différente ; la transpiration a varié du simple au triple (de 640 à 1260 mg/g/h) . Les arbres ont pu adapter leur transpiration à la quantité d'eau disponible ; mais cela s'est fait au détriment de leur croissance. Les variations saisonnières de la transpiration ont pu être corollées avec la durée d'ensoleillement journalière et la teneur en eau,

En Italie, KAYACIK (1941) avait auparavant trouvé un maximum de taux de transpiration de l'ordre de 300 mg/g/h chez la même espèce. Après IRWING (1944) , HENRICI (1946) a trouvé qu'en Afrique du Sud, un *Eucalyptus camaldulensis* transpirait en moyenne 105 kg d'eau par jour,

5° - EVOLUTION DES SOLS

Nous extrapolons volontairement en introduisant ce sous-chapitre compte tenu de tout ce qui a été dit à tort ou à raison sur la télétoxicité et la sociabilité de l'*Eucalyptus camaldulensis*. Son enracinement superficiel et ses feuilles épaisses à transformation lente pourraient expliquer au Sénégal l'élimination du sous bois (ADAM, 1956) ,

PERNET (MOURANCHE, 1956) trouve que l'espèce limite la dégradation du sol par l'érosion.

Une importante publication sur l'évolution des sols sous *Eucalyptus camaldulensis* a été faite par B. REVERSAT (1981, 1982) qui arrive à la conclusion que la matière organique (M.O) de l'extrait de litière de cette espèce n'est que partiellement solubilisée et qu'une forte proportion de cette partie est retenue dans les 10 premiers centimètres à Bandia (apport de litière : 70 g C/m² contre une capacité de fixation de la matière organique soluble d'environ 115 g C/m²).

La M.O insolubilisée serait partiellement minéralisée tandis que la fraction difficilement dégradable entrerait dans la formation de l'humus. Le rôle actif probable de cette M.O soluble au niveau de la mobilisation des éléments minéraux est souligné. ELLIS (1971) et ENRIGHT (1978) cités par B. REVERSAT (1982) ont mis en relief la dynamique des extraits de feuilles d'*Eucalyptus* à l'égard du fer. Ces *Eucalyptus* australiens étant en association avec les podzols. Il est aussi intéressant de noter que

certain auteurs ont trouvé des analogies pédologiques entre les podzols et les sols sableux sous *Eucalyptus*.

Au terme de cette étude, nous retiendrons que :

- 1/ la litière d'*Eucalyptus camaldulensis* contient beaucoup de substances hydrosolubles dont la rétention est fonction de la texture du sol ; elle est persistante et sa minéralisation efficace ;
- 2/ les percolats, légèrement acides, contiennent des polyphénols qui, en s'oxydant, donnent au sol une teinte noire ;
- 3/ le caractère dérisoire du processus d'humification se présenterait sous forme d'humine de précipitation.

6° - EFFETS ALLELOPATHIQUES

Plusieurs observations sous *Eucalyptus camaldulensis* permettent de constater que les conditions allélopathiques sont optimales, dans des sols mal drainés, mal aérés, superficiels et à haute teneur colloïdale. Ces facteurs favorisent en effet la concentration des toxines qui peuvent atteindre des taux physiologiquement significatifs. A notre connaissance, l'étude la plus exhaustive faite à ce sujet est celle de Roger del MORAL et Cornelius H. MULLER (1969). Ces auteurs ont trouvé des toxines volatiles et hydrosolubles dans les tissus de l'*Eucalyptus camaldulensis*.

Il ressort de leurs expériences menées au laboratoire, en serre et au champ que l'activité toxique des acides phénoliques diffère de celle des terpènes selon qu'on utilise des extraits de litière, d'écorce ou de racines.

Au sujet des acides phénoliques, le tableau ci-après montre le degré de toxicité des solutions aqueuses de feuilles vertes, de litière rouge, de litière brune, d'écorce et de racines sur la croissance racinaire de *Bromus rigidus*.

Les prélèvements sont faits avant et après les premières pluies avec un mélange de l'extrait correspondant et de 100 ml d'eau distillée pendant 20 heures (10 g pour les feuilles et l'écorce ; 20 g pour les racines) ,

Ces résultats montrent que, pour les acides phénoliques, la litière est très toxique par opposition aux racines, à l'écorce et aux feuilles,

Matériel	Avant pluie		Après pluie		Effet Var. rel. (%)
	Croissance (mm)	% du témoin	Croissance (mm)	% du témoin	
Témoin	22,0 ± 3,6	100	21,5 ± 6,5	100	0
Feuilles	22,9 ± 3,4	104	22,3 ± 5,1	105	+ 1
Litière rouge	15,2 ± 3,6	69	20,5 ± 3,1	96	+ 25
Litière brune	6,0 ± 2,7	27	15,3 ± 6,8	72	+ 45
Ecorce	14,7 ± 5,1	67	14,8 ± 2,9	69	+ 2
Racine	23,6 ± 5,6	113	23,1 ± 5,8	108	-5

Une expérience parallèle et relative aux propriétés allélopathiques des terpènes aboutit à la conclusion que seules les feuilles fraîches de l'*Eucalyptus camaldulensis* ont une action inhibitrice sur la croissance, contrairement à la litière, à l'écorce et aux racines.

Nous constatons, par conséquent que, quel que soit l'agent inhibiteur, sa présence au niveau de la feuille verte ou de la litière dénote une toxicité liée à la nature intrinsèque de la feuille (phytotoxici té). L'action néfaste de l'*Eucalyptus* sur le processus de la nitrification serait en fait due à l'*Eucalyptol* ou *Cinéol* qui est un composé de l'essence contenue dans les feuilles.

BOQUEL et SUAVIN (1972) font d'ailleurs un rapprochement avec une autre myrtacée (*Melaleuca leucadendron* ou *Niaouli*) contenant ce même composé et dont l'extrait aqueux a un certain pouvoir inhibiteur sur la nitrification.

Plusieurs auteurs trouvent que la nitrification est ralentie sous les *Eucalyptus* :

DOMMARGUES (1956) à Madagascar et MOUREAUX (1957) constatent la réduction de densité des germes nitreux et la faiblesse du pouvoir nitrificateur.

FLORENZANO (1956) et DE BEAUCORPS arrivent aux mêmes conclusions.

.../...

7° - BESOINS EN ÉLÉMENTS NUTRITIFS

Dans le but d'avoir une estimation de la quantité d'éléments minéraux en circuit, des recherches relatives à leur absorption et à leur restitution ont été entreprises dans plusieurs stations d'Italie sur l'*Eucalyptus camaldulensis* (LUBRANO, 1976).

Les valeurs trouvées et comparées avec celles de ISADA (sur *Eucalyptus globulus* en Espagne) de METRO et DE BEAUCORPS (sur *Eucalyptus gomphocephala* au Maroc) ont prouvé la corrélation étroite entre le rythme de croissance et le prélèvement de matières nutritives. Les végétaux en phase active de croissance contiennent le plus fort taux d'éléments nutritifs avec en tête la potassium (K). L'azote (N) et le phosphore (P) sont, dans une moindre mesure, représentés.

La conclusion très intéressante de cette étude est que les *Eucalyptus* les plus exigeants en matières nutritives en exportent moins que les cultures et qu'il n'y a pratiquement pas de risque d'abaissement de la productivité des stations où ils sont présents.

La fertilisation minérale qui joue un rôle de "starter" pour les jeunes plants ne s'avère nécessaire qu'au niveau des sols pauvres,

8° - IRRIGATION (p.m)

Une irrigation d'une dose annuelle moyenne de 525 mm dans un peuplement d'*Eucalyptus camaldulensis* âgés de 5 ans a fait doubler de volume le matériel sur pied : 36 m³/hectare pour la parcelle témoin et 71,60 m³/ha pour la parcelle irriguée (KARSCHON, 1970).

L'apport d'eau a commencé quand le peuplement avait 1 an, il faut, cependant, que l'irrigation ait lieu pendant la période végétative.

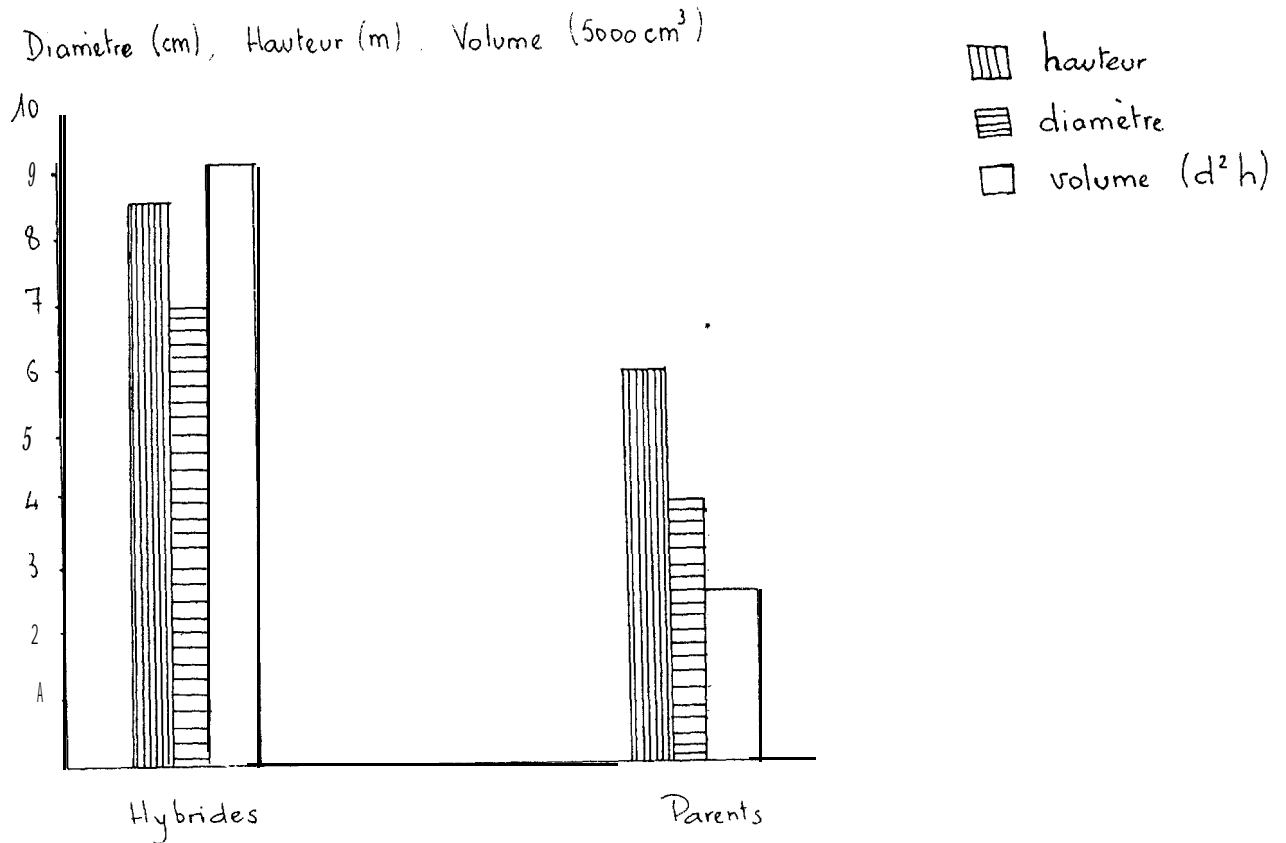
9° - AMÉLIORATION GÉNÉTIQUE (p.m)

Des expériences ont été faites en Inde afin de comparer les caractéristiques dendrométriques de l'*Eucalyptus camaldulensis*, de l'*Eucalyptus tereticornis* et de leur croissance.

Le schéma suivant (VENKATESH et SHARMA, 1977) montre une nette supériorité à tous les niveaux ^{des} hybrides sur les parents pris séparément.

Des possibilités d'amélioration génétique peuvent donc être envisa-

gées dans le cadre d'une sylviculture intensive,



10° - PHYSIOLOGIE RACINAIRE

a) Sur le terrain

Avec des plantations d'*Eucalyptus camaldulensis* traitées en taillis à des révolutions de 8 3 15 ans, la Recherche forestière du Maroc a obtenu des résultats sur leur sylviculture et leur production,

Pour déterminer l'accroissement courant des peuplements, des observations ont été faites sur les mécanismes physiologiques (recepape) et écologiques, Il ressort de ces études que le recepape bloquait momentanément la croissance radiale des racines mais n'entravait pas leur allongement et ne causait ni la multiplication, ni le développement de racines adventives sur les souches ou les racines-mères (RIEDACICER, 1972).

L'étude a également montré que la tige et les racines, au fur et à mesure qu'elles vieillissaient, avaient un manchon d'aubier de plus en plus fin et de ce fait, étaient un obstacle à la libre circulation de la sève.

Les échanges racelles-feuilles étaient donc ralenties : cela peut être une explication partielle de la fluctuation de la croissance après le recepage .

L'activité racinaire semble être perturbée , non. seulement par le recepage, mais également par l'action de deux effets opposés :

1/ un effet accélérateur dû à l'augmentation régulière de la masse active (feuilles, racines, branches),

2/ un effet ralentisseur résultant du développement morphologique et des conséquences que cela entraîne pour le bilan énergétique de la plante et la dégradation des échanges racines-feuilles.

Ces pertes seraient très importantes dans les régions chaudes ; dans la forêt ombrophile en Côte d' Ivoire, MULLER et NIELSEN (1965) ont trouvé des valeurs qui étaient le double de la production ligneuse utile.

b) Au laboratoire

Des études sur le développement racinaire de l'*Eucalyptus camaldulensis* au laboratoire avec des plants soumis à différentes doses et fréquences d ' arrosage ont donné des résultats intéressants que nous nous proposons de vérifier.

Il faut noter entre autres le fait qu'en présence d'une nappe et contrairement à ce qu'on pourrait croire, la réaction première de l'essence est de développer massivement son système racinaire au niveau de la partie aérée plutôt que de plonger son pivot dans la nappe (AWE et al)

Il a été aussi constaté que les racines s'enroulaient autour du plexiglass dès qu'elles entraient en contact avec l'eau,

Il serait intéressant de connaître à partir de quel niveau de sécheresse (du sol et/ou du végétal) la plante serait obligée de s'alimenter dans la nappe.

II° - PÉRIODE DE CROISSANCE

La croissance de l' *Eucalyptus camaldulensis* dans les conditions méditerranéennes n'est pas un processus continu (KARSCHON, 1964). La croissance en circonférence débute après les premières pluies et se poursuit jusqu'en été,

Une période de dormance estivale (août-septembre) qui se concrétise par la formation d' un cerne annuel serait due à des facteurs d'environne-

ment et/ou à un mécanisme physiologique interne (FAHN, 1959). La croissance en hauteur ne répond pas à la même logique ; elle peut être soit continue, soit épisodique tandis que l'accroissement en volume a lieu entre octobre et juin et diminue de juillet à septembre.

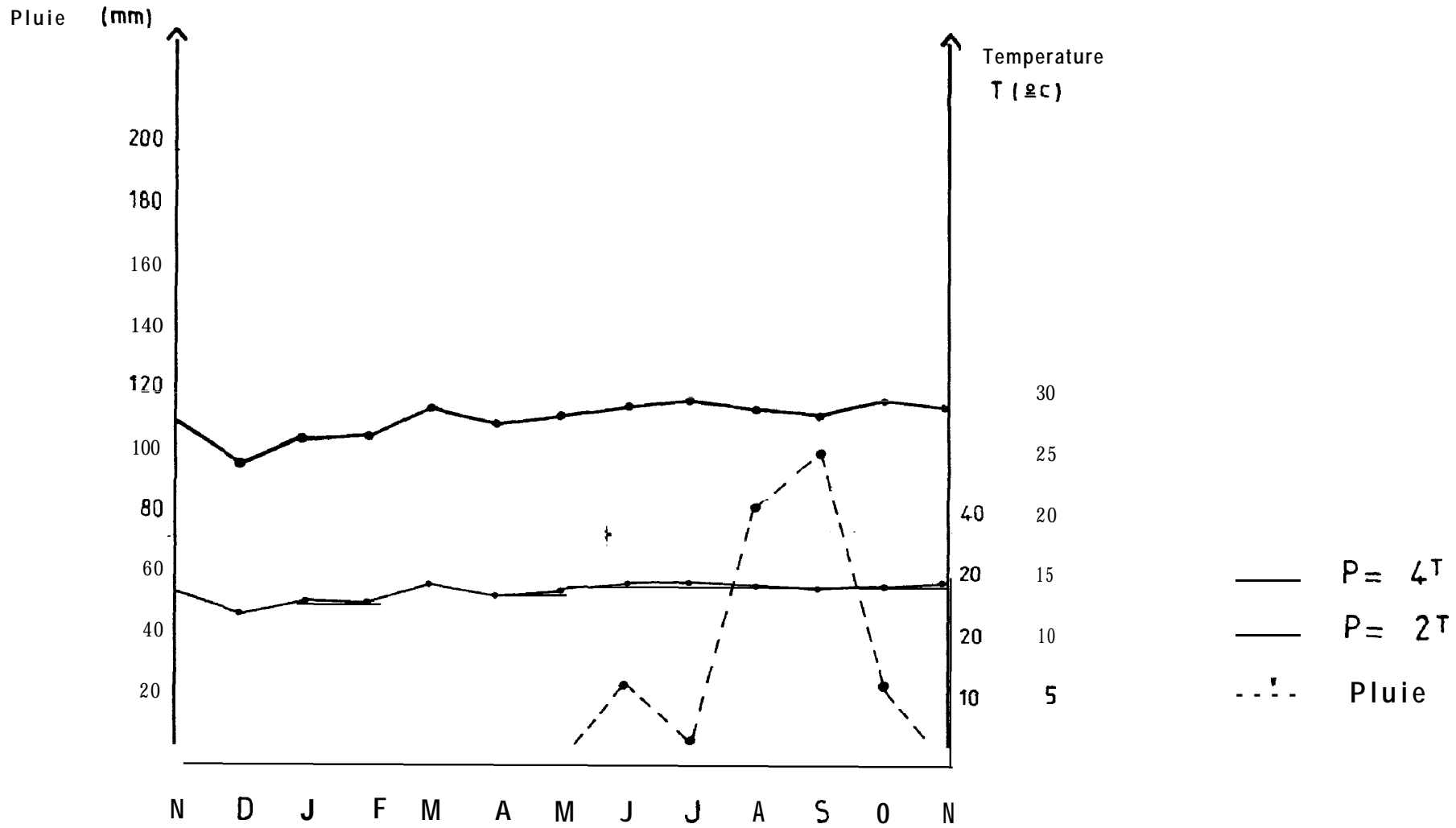
Ces résultats confirment ceux trouvés au Maroc par METRO (1954) , sur la même espèce.

12° - MONOGRAPHIE

Une monographie succincte de l'*Eucalyptus camaldulensis* est en annexe (FAO 1982) (ANNEXE 1).

Courbe ombrothermique Novembre 1982 - Novembre 1-983

Figure n° 1



ETUDE DU MILIEU

IV -- ETUDE DL. MILIEU

1°-LE CLIMAT

La forêt classée de Bandia qui fait 10 000 ha est située à 70 km au sud-est de Dakar. Elle se trouve, par conséquent, dans le domaine forestier soudanien et, plus restrictivement, dans le secteur climatique sahélo-soudanien. Des relevés obtenus à partir du poste météorologique situé à 7 km au sud de la station du PARFOB montrent la grande fluctuation de la pluviométrie.

Année	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982
Pluviométrie (mm)	361	266	622	576	401	403	402

Un fait édifiant est la variation intervenue entre 1977 et 1978 ; la pluviométrie passe du simple (266 mm) à plus du double (622 mm). Le bilan de la présente campagne nous donne 254 mm et une quantité de 247 mm pour 19 jours de pluie au PARFOB (ANNEXE II), les températures moyennes mensuelles extrêmes pour l'année 1983 sont les suivantes :

maximum = 29,7 en juillet
minimum = 26,4 en janvier

Si, d'habitude, le maximum gravite autour de 30°, par contre, nous constatons une petite augmentation du minimum de cette année. l'indice climatique que nous avons établi pour la caractérisation écologique de la zone à l'échelle annuelle est la courbe ombrothermique (Figure 1).

L'examen de ce graphique fait ressortir un constat très intéressant mais également très inquiétant,

En effet, si on adopte les normes de GAUSSEN en prenant comme échelle de pluviométrie les valeurs doubles de celles de la température ($P = 2T$), on peut estimer avoir à Bandia une faible période humide couvrant août et septembre.

Par contre, si comme le préconisent des auteurs ayant une riche expérience des régions tropicales (BIROT et al.), on considère $P = 4T$, on se rend compte que la sécheresse sévit actuellement à Handia et que la

.../...

saison sèche va être très longue.

BELLOCQ (nov. 1983) rapporte les travaux d'un éminent chercheur qui constate l'abaissement de la ligne de vapeur d'eau à l'Equateur, ce qui est un mauvais augure pour la prochaine saison des pluies.

Nous attendons les pluviométries des années à venir pour confirmer ou non cette moyenne de 400 mm à Bandia.

Face à une pluviométrie relativement faible qui représente en fait l'offre à la plante, il convient de s'interroger sur la demande climatique de la station. Des valeurs d'évapotranspiration potentielle (ETP) voisines de 1500mm ont été trouvées (ADAM, 1982) ; elles traduisent la perte d'eau globale en phase gazeuse d'une végétation abondante, couvrant bien le sol et bien alimentée en eau. C'est le résultat de l'addition des transpirations stomatique et cuticulaire et de l'évaporation du sol.

Cette dernière composante étant souvent peu importante par rapport à la transpiration, il s'avère, par conséquent juste que les nertes d'eau restent tributaires des conditions climatiques, principaux agents de la transpiration. C'est un facteur indépendant du sol (si ce dernier reste à la capacité au champ) et du végétal (TURC, 1961) et qui représente l'exigence hydrique du climat imposant à la plante un appel d'eau.

Nous n'entrerons pas dans le détail des méthodes d'estimation de l'ETP, mais nous signalerons qu'il y a deux approches différentes :

- 1/ - les méthodes empiriques (formules statistiques, THORNTHWAITE, TURC.. .)
- 2/ - les méthodes analytiques (PENMAN, BOUCHET, BROCHET, GERBIER, ..).

BROCHET et GERBIER (1974) ont montré que la formule du Piche corrigé de BOUCHET permettait une estimation raisonnable de l'ETP avec un minimum de données (températures maximum, évaporomètre Piche, humidité),

N'ayant pas de dispositif de mesure (rayonnement, isolation) qui nous permettrait d'utiliser la formule de PENMAN, nous avons tenté de faire les calculs avec celles du Piche corrigé

$$ETP = \alpha \left[1 + \lambda(\theta) \right] E_p$$

Les valeurs décadaires obtenues pour la saison sèche (±150 mm) nous paraissent correctes, en comparaison avec celles de Bambey.

Les résultats trouvés pour la saison des pluies sont aberrants, pour des raisons évidentes d'advection (baisse du rayonnement global et augmenta-

tion du degré hydrométrique de l'air). Ils sont, dans notre cas, supérieurs à ceux de la saison sèche. Il nous paraît nécessaire de faire, à ce sujet, quelques recommandations :

1/ - l'installation d'un dispositif de mesure d'EIP gazon avec des évapotranspiromètres au sein d'anneaux de garde, est délicate et lente ; aussi, proposons nous la mise en place de bacs d'évaporation, de pyrnomètres et d'héliographes au niveau du PARFOB. C'est un matériel simple et fiable qui conduirait à une relation de type

$$\frac{EA}{ETP} = A - \alpha HR$$

EA = évaporation brute du bac classe A

EIP = ETP PENMAN

HR = humidité relative moyenne de l'air variant entre 0 et 1

A = 2 et $\alpha = 1,25$ en Haute Volta (BALDY) .

2/ - il est également souhaitable à l'avenir, que les mesures du bac déjà existant au poste météo de Bandia soient quotidiennes et faites en période d'hivernage. La question des apports par la pluie incidente peut être résolue en faisant :

$$E = (N_1 - N_2) + \sum R + \sum P$$

$N_1 - N_2$ = différence de niveau entre 2 mesure.~ (mm)

R = recharge (mm)

P = pluie (mm)

3/ un impressionnant travail a été: réalisé dans le domaine du bilan hydrique par l'équipe de Bioclimatologie du CNRA de Bambey (DANCETTE et al, RIJKS, SCHOCH). Pour l'utilisation de la formule de BOUCHET, le seul obstacle était la connaissance de ξ ; coefficient qui renseigne sur l'aridité de la région,

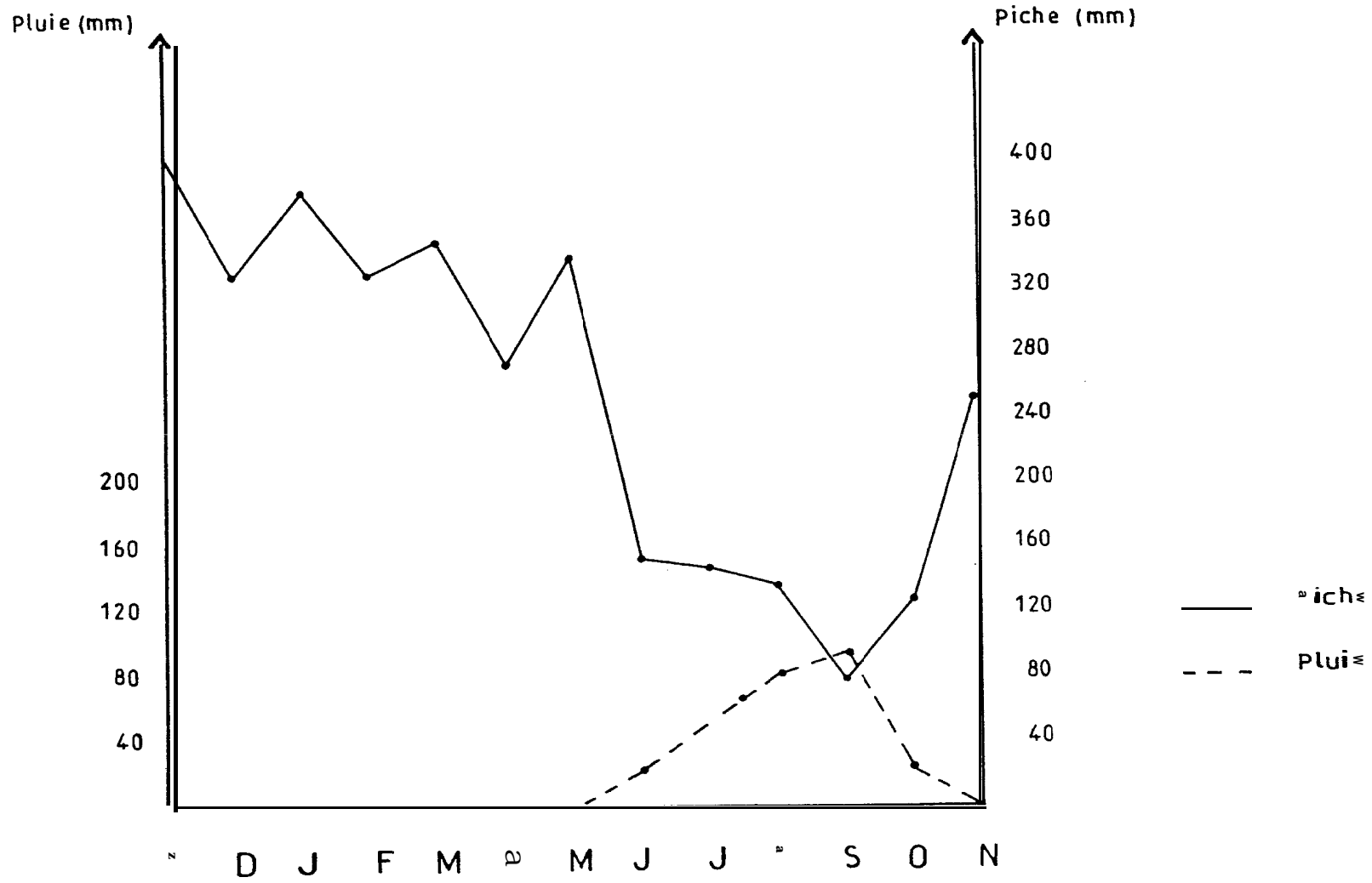
$$\xi = \frac{ETR}{ETP}$$

ξ vaut 0 dans les régions désertiques et 1 dans les zones équatoriales. Au Sénégal, il a été proposé d'affecter les valeurs suivantes :

Mois	J	F	M	A	M	J	JO;	S	0	N	D
ξ			0				1	0,75	0,50	0,25	0

Figure n° 2

Evaporation de l'air Novembre 1982 - Novembre 1983



En considérant les résultats d'ETP obtenus en hivernage aberrants et compte tenu du fait qu'en juillet 1983 nous n'avons enregistré que 6,5 mm, nous pensons que le coefficient affecté à ce mois est un peu élevé.

Cette remarque peut même à la limite, être valable pour le mois d'août. Poser que l'indice d'évapotranspiration est égal à l'unité revient à dire que le peuplement fonctionne à ETP forêt, c'est-à-dire que l'eau est disponible et qu'elle peut satisfaire la demande évapotranspiratoire jusqu'à sa valeur potentielle.

Il est, à notre avis, nécessaire de faire un réajustement de ϵ en fonction des zones écologiques supposées homogènes,

Ne disposant pas de valeurs d'ETP, donc ne pouvant pas calculer le déficit théorique de notre localité, nous avons pris en considération la composante advective de la formule de BOUCHET, Le pouvoir évaporant de l'air représenté par le graphique Pluie-Piche (Figure 2) montre une perte très importante due à la seule action de l'évaporation,

Il faut, cependant, souligner le rôle tampon que va jouer la végétation.

2° - LE SOL : CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES ET HYDRODYNAMIQUES

Nous avons procédé à l'analyse granulométrique des sols sous *Eucalyptus*, en terrain nu et sous forêt naturelle au niveau des parcelles 5 et 8. Elle permet la caractérisation quantitative de la texture.

Les résultats obtenus ont permis de dresser les profils granulométriques (BAILLY, 1983) (ANNEXE III) et suivant les proportions relatives des différentes tailles des particules solides, une classification générale peut être faite en utilisant le triangle textural équilatéral de l'U.S Conservation Soil Service.

Pour la parcelle 8, nous avons les pourcentages suivants :

- argile 10 - 40 %
- limon 15 - 35 %
- sable 40 - 65 %

La texture est sabla-argileuse avec une teneur en argile et une compacité qui augmentent en profondeur (présence d'*Acacia seyal* selon A. F. NEAGELE, 1967). La proportion en sables fins dépasse, à elle seule, 30 % du total A + Lf + LG + Sf + SG + Humidité ; et ce sont ces éléments, en plus des limons, qui remplissent les vides entre les sables grossiers. Il en résulte un tassement presque instantané dès que la pluie arrive au sol : ce qui rend ce dernier imperméable à l'eau et à l'air ; dans un tel cas, il est dit battant.

Quelques gravillons latéritiques apparaissent parfois en profondeur et la structure est médiocre.

Toutes ces remarques nous font croire qu'on est en présence d'un sol ferrugineux tropical peu lessivé (FAUCK et al, 1967)

Au niveau de la parcelle 5 avec la texture moyenne suivante :

- A = 20 - 40 %
- L = 35 - 25 %
- S = 30 - 70 %

on note une augmentation du taux d'argile et un abaissement de la proportion de limon par rapport à la parcelle 8, une dalle latéritique qui se signale à moins de 3 mètres de profondeur et la présence de gravillons en profondeur,

Nous avons procédé à des comparaisons de proportions entre les mêmes niveaux de prélèvement des parcelles 5 et 8 et pour chaque élément

TABLEAU N°1

Densité (g/cm³) Porosité (%) et Réserve utile (mn)
dans la parcelle 8

Profondeur (cm)	EUCALYPTUS			FORET NATURELLE			TERRAIN NU		
	Densité	Porosité	R.U	Densité	Porosité	R.U	Densité	Porosité	R.U
0 - 15	1.24	53.13	17.4s	1.27	52.11	10.25	1.23	53.47	14.19
15 - 30	1.38	47.89	17.91	1.34	49.47	9.27	1.29	51.17	1j.64
30 - 45	1.40	46.83	16.98	1.39	47.62	10.77	1.36	48.75	15.38
45 - 60	1.40	46.94	18.02	1.42	46.30	12.30	1.44	45.47	16.65
60 - 75	1.40	46.98	16.70	1.42	46.38	11.72	1.44	45.47	17.15
75 - 90	1.43	45.96	14.15	1.44	45.66	12.30	1.39	47.47	16.94
90 - 105	1.39	47.36	14.70	1.43	46.00	12.65	1.42	46.30	16.01
105 - 125	1.43	46.15	23.30	1.45	45.09	16.40	1.49	43.70	18.48
125 - 145	1.45	45.13	21.20	1.48	44.26	18.12	1.51	42.98	17.54
145 - 165	1.50	43.43	21.96	1.55	41.51	17.70	1.52	42.68	17.80
165 - 185	1.51	43.13	21.60	1.65	37.89	21.86	1.54	41.81	18.72
185 - 205	1.51	42.91	23.94	1.65	37.30	21.00	1.56	40.98	21.98
205 - 235	1.53	42.30	38.70	1.61	39.17	34.44	1.68	36.72	32.64
235 - 265	1.56	41.24	-	1.66	37.51	-	1.63	38.64	

représenté. Dans l'ensemble, nous n'avons pas noté de différence significative. Statistiquement, les textures des deux sols étudiés ne sont pas très différents; un profil moyen est par conséquent faisable.

Densité

Les mesures de densité ont été faites pour chaque type de traitement au niveau des deux parcelles, grâce à un densimètre-humidimètre. La méthode du cylindre a également été utilisée et a donné les mêmes valeurs (à moins de 0,1 g/cm³ près).

Les densités apparentes obtenues varient entre 1,2 et 1,6 g/cm³. Elles résultent des différences : Densité humide - Humidité volumique (tableaux n° 1 et 2).

Porosité

Elle représente, en fait, le pourcentage de sol non occupé par la phase solide, c'est-à-dire le volume disponible pour l'eau et/ou l'air. On l'exprime en % du volume total de l'échantillon (Soil Survey, 1977).

Nous l'avons calculée pour les 3 traitements de chaque parcelle parce qu'elle peut être une mesure indirecte de la structure.

$$T = \frac{\text{Volume de tous les pores de l'échantillon}}{\text{Volume total de l'échantillon}} \times 100$$

En décomposant les termes, on obtient $T = \frac{\text{Densité apparente}}{\text{Densité réelle}} \times 100$

En prenant comme densité réelle moyenne 2,65 g/cm³, nous obtenons les valeurs figurant aux tableaux n° 1 et 2;

A part quelques niveaux où la densité semble un peu élevée (1,65 g/cm³), nous observons sur l'ensemble des zones étudiées, des porosités variant entre 40 et 50 %; ces résultats corroborent ceux trouvés sur le même type de sol à Niamey (FAUCK et al, 1967). Nous noterons que leur interprétation n'est pas une condition suffisante pour la connaissance du comportement de ces sols vis à vis de l'eau et de l'air,

Une fraction de cette porosité (microporosité) est déterminante pour la rétention d'eau parce que correspondant à l'eau totale retenue à la Capacité au Champ.

TABLEAU N°2

Densité(g/cm³) Porosité(%) et Réserve utile(mm)
de la parcelle 5

Profondeur (cm)	EUCALYPTUS			FORET NATURELLE			TERRAIN NU		
	Densité	Porosité	R.U	Densité	Porosité	R.U	Densité	Porosité	R.U
0 - 15	1.24	53.28	14.27	1.36	48.60	16.77	1.38	48.04	11.34
15 - 30	1.27	52.22	15.14	1.48	43.96	20.12	1.43	46.04	11.21
30 - 4s	1.37	48.45	15.21	1.53	42.23	21.66	1.42	46.41	11.04
45 - 60	1.33	4s.92	15.30	1.57	40.91	20.88	1.49	43.89	12.00
60 - 75	1.44	45.51	13.13	1.58	40.53	20.36	1.52	42.68	12.89
7s - 90	1.4s	45.21	16.02	1.58	40.30	22.95	1.61	39.06	17.99
90 - 105	1.48	44.19	16.58	1.57	40.60	21.59	1.64	38.04	18.71
105 - 12s	1.50	43.47	17.00	1.58	40.4s	21.00	1.65	37.58	25.80
125 - 14s	1.49	43.70	23.02	1.57	40.57	31.24	1.68	36.75	28.28
145 - 165	1.59	40.11	29.66	1.56	41.62	31.22	1.67	36.91	32.78
165 - 185	1.57	40.79	24.32	1.60	39.70	30.78	1.68	36.41	34.54
185 - 205	1.58	40.23	28.64	1.54	41.81	26.30	1.60	39.85	28.92
205 - 235	1.61	39.00	37.14	1.56	41.28	37.62	1.65	37.89	53.37
235 - 265	1.63	38.30	28.20	-			1.74	34.23	11.61

Potentiel et réserve utile du sol

Deux caractéristiques principales de l'eau dans le sol peuvent être traduites par :

* les relations entre le potentiel matriciel (Ψ) qui est l'énergie nécessaire pour rompre la tension que le sol exerce sur l'eau et le taux d'humidité : elles sont représentées par les courbes pF/Humidité

* la capacité au champ qui est la limite supérieure de la réserve utile pour la plante, la limite inférieure étant l'humidité au point de flétrissement permanent : c'est la notion de réserve utile,

1/ courbes pF/Humidité

SCHOFIELD (HELLER, 1969) a proposé de représenter le potentiel matriciel par la colonne d'eau exprimée en centimètres et capable d'équilibrer la pression du sol sur l'eau.

puisque la tension de l'eau croît très vite dans un sol en dessiccation (HALLAIRE, 1964) et que l'échelle de variation de Ψ peut être très étendue dans un système comme le sol, il devient plus pratique d'utiliser le logarithme de la tension de l'eau plutôt que cette tension elle-même.

Ainsi, en prenant le logarithme décimal de Ψ on obtient une valeur appelée pF (potentiel of free energy)

$$pF = \log y$$

Nous avons donc fait des prélèvements d'échantillons de sol tous les 15 cm, jusqu'à 105 cm, ensuite tous les 20 cm jusqu'à 205 cm et enfin aux niveaux 235 et 265 quand nous n'étions pas limités par une dalle. Au laboratoire, nous avons utilisé les pressions suivantes :

Aux valeurs de pF supérieures à 3 bars, on a utilisé la presse à membrane de RICHARDS et l'extracteur à basse pression le cas contraire. Les échantillons de sol étaient séchés à l'air, broyés, tamisés à 2mm et saturés dans des anneaux de rétention par la remontée capillaire avec de l'eau distillée.

pF	Pressions correspondantes, (bars)
2,5	0,32
2,8	0,63
3,0	1,00
3,8	6,31
4,2	16

.../...

La pression désirée était appliquée jusqu'à ce qu'il n'y ait plus d'écoulement d'eau ; à ce stade d'équilibre hydrique de l'échantillon, la pression appliquée indique le potentiel matriciel. L'échantillon est pesé à l'état frais, mis à l'étude à 105°C pendant 24 heures, puis repesé à l'état sec . L'humidité pondérale s'obtient suivant la relation :

$$H_p = \frac{PF - PS}{PS} \times 100$$

H_p = humidité pondérale
 PF = poids de l'échantillon frais
 PS = poids de l'échantillon sec

Les valeurs d'humidité volumique figurent en ANNEXES IV et V.

Humidité volumique = humidité pondérale X densité apparente sèche.

2/ réserve utile du sol

La réserve en eau du sol est la quantité d'eau qui, retenue par capillarité contre les forces de pesanteur, peut être recédée à l'atmosphère par transpiration et/ou évaporation.

La hauteur d'eau d'un horizon (Z), de densité apparente (d.a) à une humidité H est $Q = H \times d.a \times Z$.

Elle est exprimée à la même unité que l'épaisseur du sol.

La réserve en eau utile du sol (R.U) est donnée par :

$$R.U = \sum_0^P Z_i \times (H_{CR} - H_f)$$

H_{CR} = humidité à la capacité de rétention

H_f = humidité au point de flétrissement permanent.

En général, il est admis que la R.U représente 45 % de la quantité d'eau contenue dans le sol à la capacité au champ. De ces 45 %, 30 constituerait la réserve facilement utilisable (RFU) et 15 la réserve "moins facilement utilisable".

$$R.U = \sum_0^P Z_i \times d.a_i (H_{CR} - H_{RC})$$

H_{RC} = humidité de rupture de lien capillaire.

Pour ce qui est de notre travail relatif à la détermination des termes qui limitent la disponibilité de l'eau pour les plantes, nous avons pris les pF de 4,2 et de 2,8.

Notre choix de pF 2,8 est discutable pour la simple raison que la capacité au champ ne répond pas à une valeur déterminée de pF. Elle varie entre 2 et 3 selon la texture (GRAS, 1961) et le potentiel à appliquer sera d'autant plus bas que la texture sera grossière.

pF 3 pour les sols argileux, 2,5 pour les sols limoneux et 2,1 pour les sols sableux (BONNEAU, 1961).

Des études faites au Sénégal donnent des valeurs de 2,6 pour la capacité au champ de deux sols Dior et Dek (CHARREAU, 1961).

Dior = sol ferrugineux tropical faiblement lessivé sur sable

Dek = sol à nydromorpnie temporaire de surface sur sable mamo-calcaire
FEODOROFF et BAILLIF (1968) contestent la valeur de pF 3 pour caractériser la capacité de rétention.

Notre détermination du pF de la capacité au champ au laboratoire est biaisée par le fait que les échantillons sont remaniés, qu'il y a une im-
précision au niveau de la valeur à appliquer et que notre échantillonnage
ne prend pas en compte les hétérogénéités le long du profil.

La mesure de la capacité au champ que nous avons faite doit nous donner
une indication sur les normes à considérer. Les résultats pour les 6 zones
(tableaux n° 1 et 2) montrent la faiblesse de la réserve en eau utile.
On trouve une moyenne de 100 mm de R.U pour les 100 premiers centimètres
(analogie avec le schéma de THORNTHWAITE, modèle perfectible par ajustement
aux conditions locales) .

Perméabilité

Nous avons utilisé la méthode de PORCHET (méthode du puits) qui con-
siste à faire un trou avec une tarière. Une fois le trou rempli, on suit
la baisse de niveau.

A un instant t_1 , le niveau est à une profondeur h_1 ; à t_2 il est à h_2 .
La vitesse d'infiltration K est également fonction du rayon (r) du trou
cylindrique.

$$K = \frac{r}{2(t_2 - t_1)} \log \frac{(h_1 + r/2)}{(h_2 + r/2)}$$

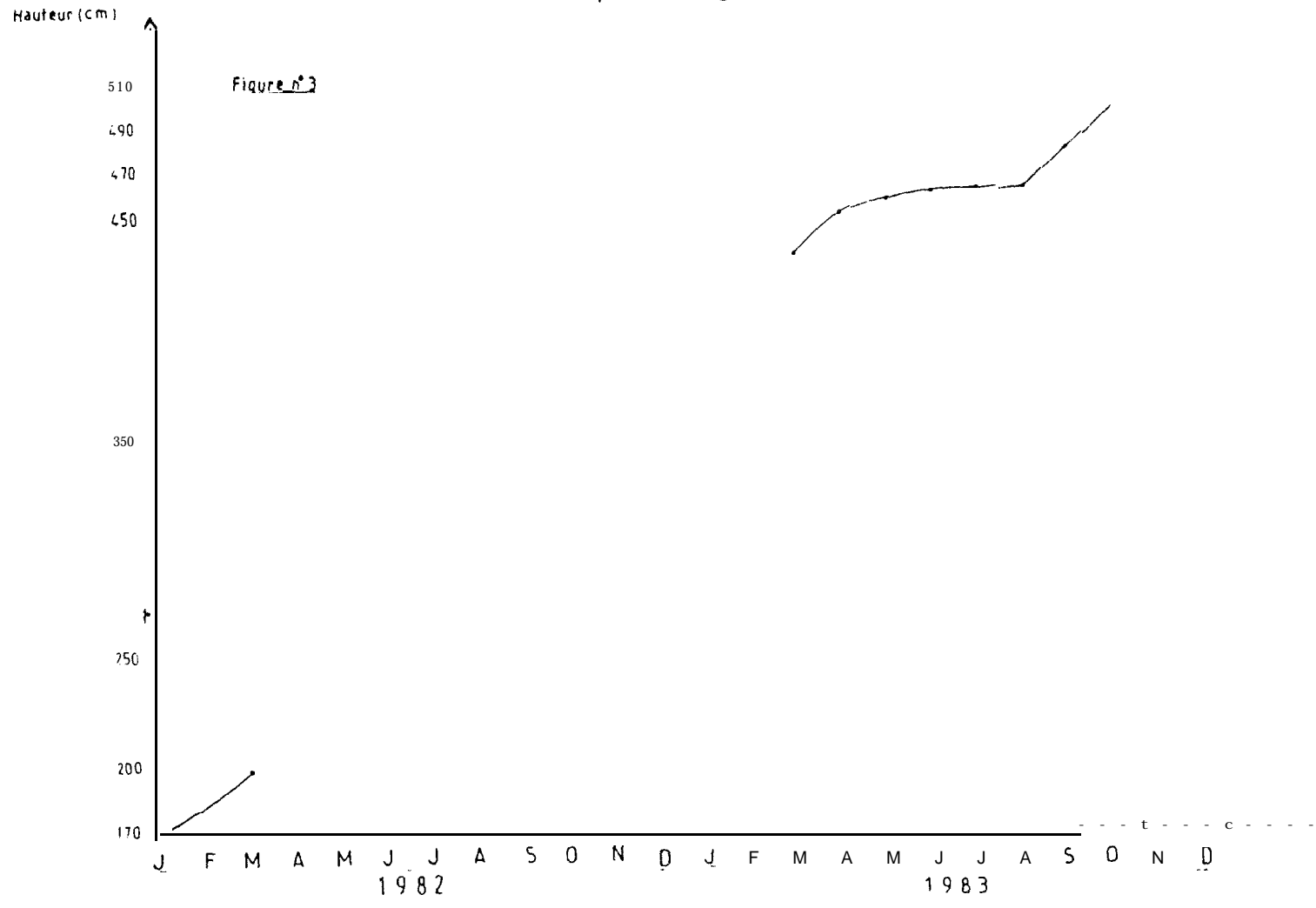
Le niveau de sécheresse du sol influe beaucoup sur la valeur de K .

Les différentes valeurs d'infiltration donnent une moyenne de 10^{-4} cm/s.
En référence à certaines normes (Mem. Agro CTGREF), nous qualifierons ce
sol de peu imperméable.

pH : Nous avons utilisé un pHmètre KNICK (marque allemande) avec un rapport:
de 1/2,5 (mélange de 50 ml d'eau et de 20 g de sol pour que l'électrode soit
parfaitement immergée. Les mesures sont faites au laboratoire sur des échan-
tillons de terre fine (séchés et tamisés à 2mm).

Le pH est légèrement acide, variant entre 5,5 et 6,9.

1
Croissance moyenne cumulée en hauteur des Eucalyptus
de la parcelle 8



Il n'y aura certainement pas de risque de chlorose. ADAM (1956) nous fait part de travaux fixant le seuil inférieur de chlorose à 7,6 avec 3 % de calcaire actif. Nous comptons reprendre ces mesures de pH et de perméabilité.

Conclusion

Un contraste très accentué saison sèche/ saison des pluies, un sol compact et peu perméable avec certainement une mauvaise diffusion de l'eau, une faible réserve utile, sont les principales caractéristiques de notre station.

3° - VÉGÉTATION

L'essence forestière principale dans la forêt classée de Bandia est l'*Acacia seyal*.

Nous mentionnons à titre indicatif et d'une manière succincte, quelques espèces forestières présentes dans la zone d'étude :

- *Acacia ataxacantha*, *albida* et divers
- *Adansonia digitata*
- *Borassus aethiopum*
- *Cassia siamea*
- *Khaya senegalensis*
- *Tamarindus indica*
- *Ziziphus mauritiaca* Lam et sp

Des plantes utilisées pour l'infusion y sont spontanées :

- *Combretum glutinosum*
- *Combretum micranthum*

Quelques graminés sont assez fréquents :

- *Digitaria* sp
- *Echinochloa* sp
- *Sorghum halepense*.

V - CROISSANCE DES PEUPELEMENTS

En mars 1983, nous avons décidé de mesurer ^{fois/}une par mois, la hauteur et la circonférence des 45 arbres de la parcelle 8 et des 37 arbres de la parcelle 5 (suppression des arbres de bordure) plantés en juillet 1981, donc âgés de 20 mois. A ce moment, nous ne disposions que des hauteurs de janvier et de mars 1982. Les résultats sont donc partiels.

Nous n'étudierons en détail que la parcelle 8 ; le raisonnement demeure valable pour la parcelle 5.

Seules les courbes de croissance (hauteur et circonférence) sont tracées (figures n° 3, 4 et 5).

Nous n'avons pas jugé utile de faire celles des accroissements.

1° - CROISSANCE MOYENNE CUMULÉE EN HAUTEUR

De mars 1982 à mars 1983, la hauteur moyenne est passée de 200 à 435,89 cm, soit un accroissement annuel 1982-83 de 235,89 cm. En novembre 1983, elle est de 510,00 cm. De mars 1983 à juillet 1983, les accroissements mensuels ont été respectivement de : 16,55 ; 5,22 ; 3,89 et 0,23 cm. La baisse est spectaculaire et il faudra attendre les 85,6 mm du mois d'août pour ne remonter qu'à une valeur de 1,78 cm avant d'atteindre 18,88 cm en fin septembre.

Malgré les 25 mm d'octobre, le niveau est redescendu à 16,67 en cette fin de saison des pluies ; c'est pratiquement la même valeur qu'en mars-avril 1983 (16,55 cm).

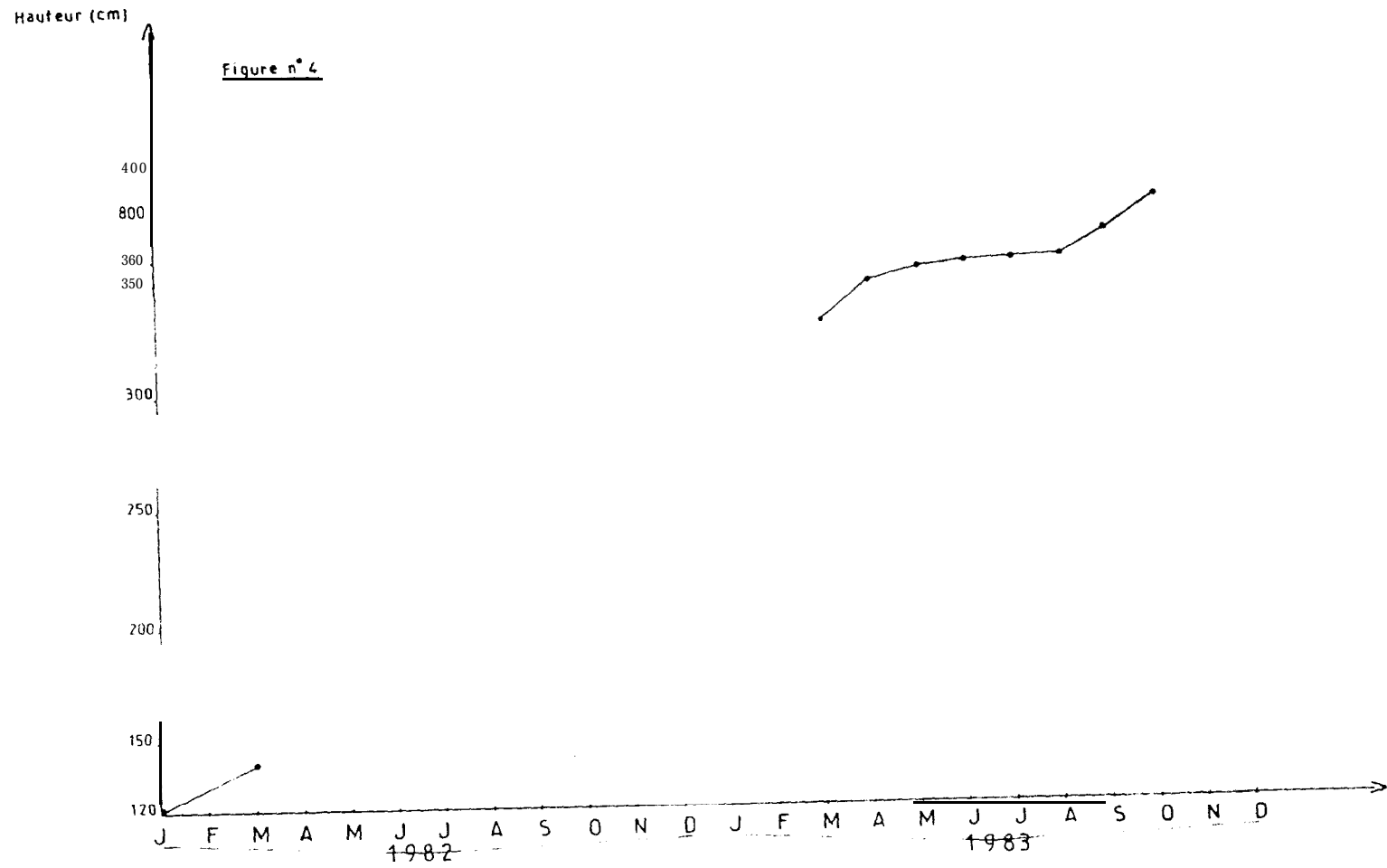
L'explication réside certainement dans la différence de réserve d'eau (443 en 1982 contre 247 mm de pluie en 1983)

Il faudra, en principe, s'attendre à un ralentissement de la croissance dans les mois à venir.

2° - ACCROISSEMENT MENSUEL EN CIRCONFÉRENCE

Il est très faible, de l'ordre de 0,5 mm jusqu'au cumul trimestriel pluviométrique de 119,1 mm pour arriver, en fin septembre à 6,17 mm. Il redescend en octobre à 1,78 mm. La circonférence, en 8 mois, est passée de 133,58 à 146,36 mm.

Croissance moyenne cumulée en hauteur des Eucalyptus
de la parcelle 5



Circonf (mm)

Figure n° 5

Croissance moyenne cumulée en circonférence des Eucalyptus

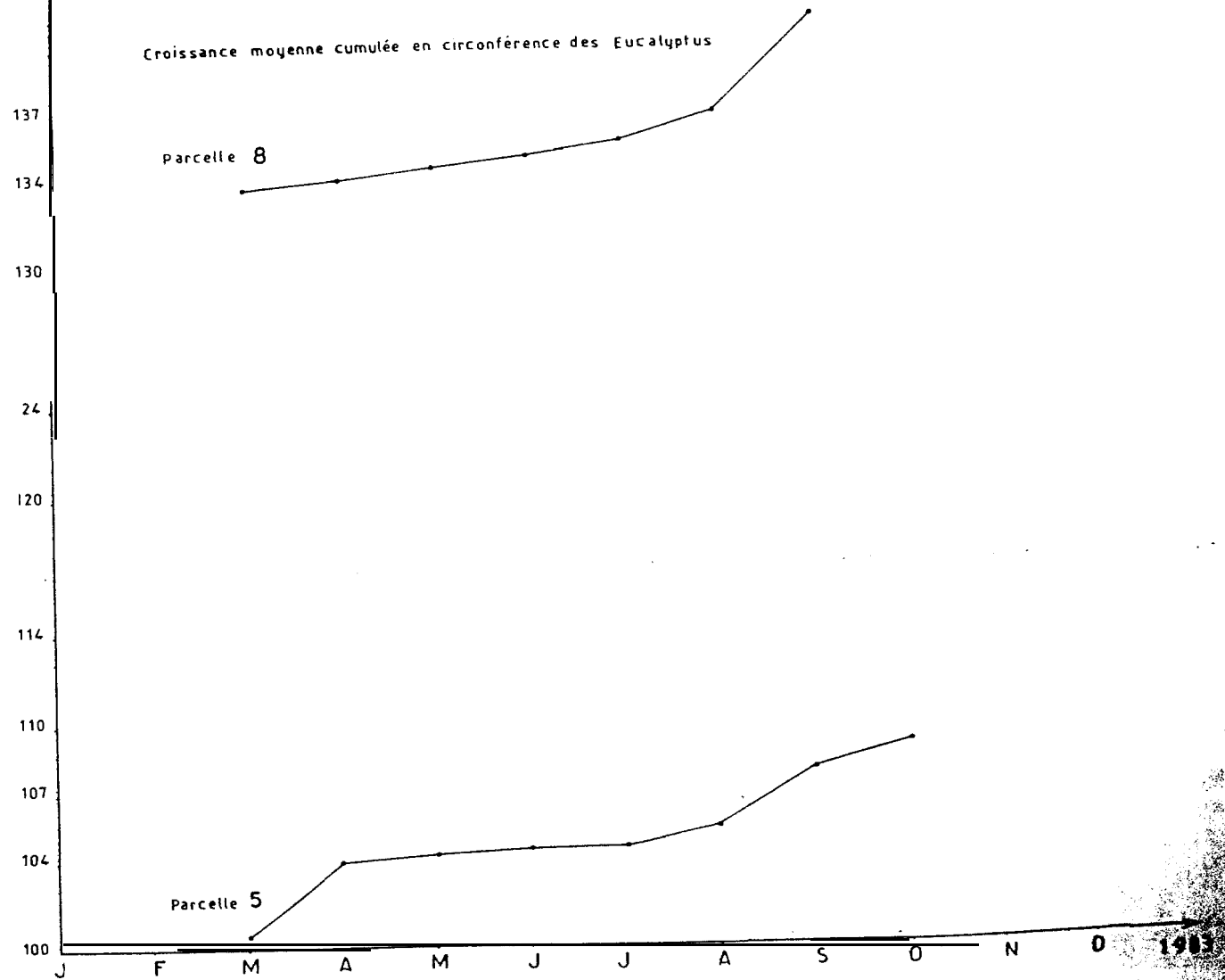
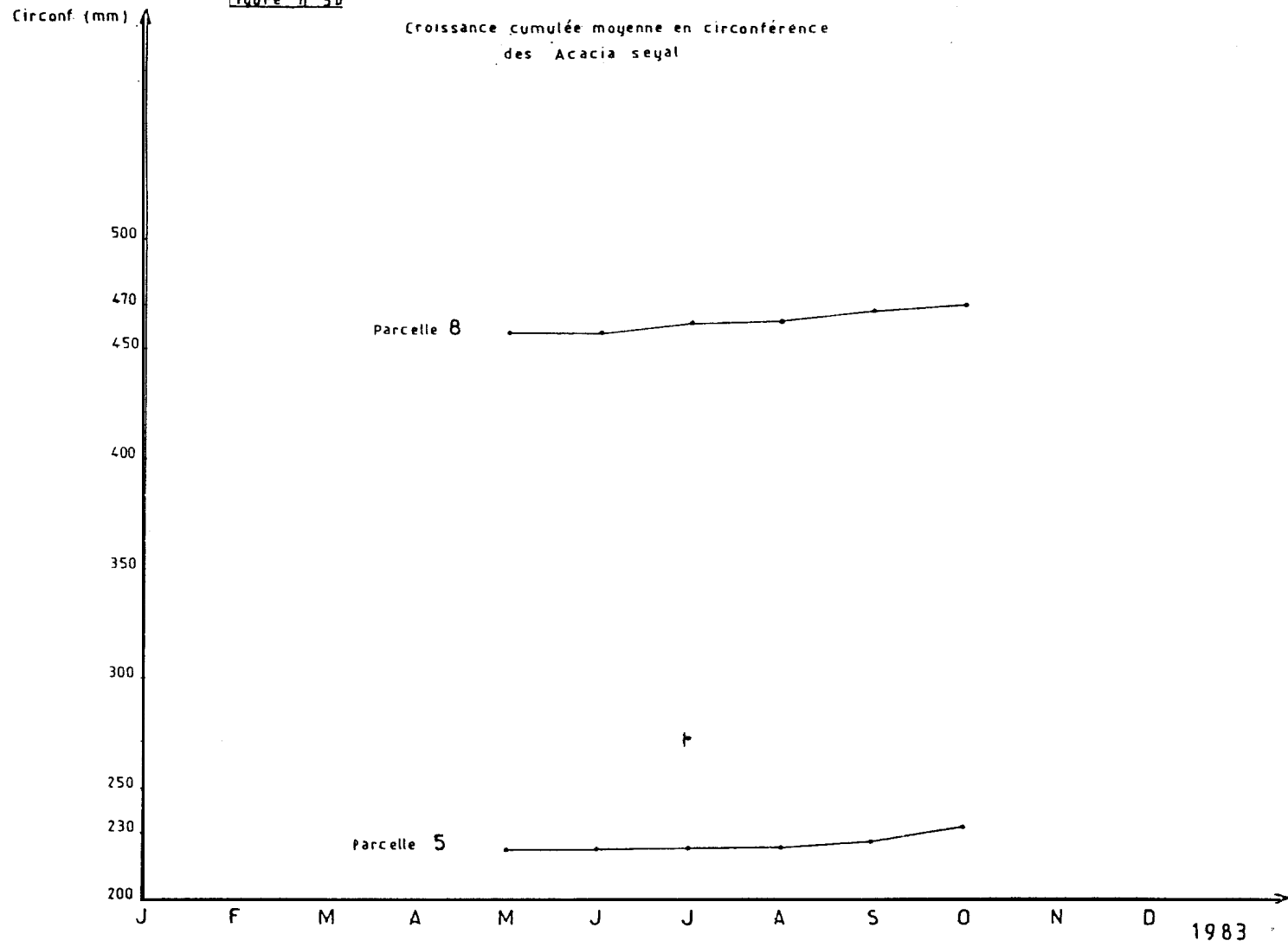


Figure n° 5b

Croissance cumulée moyenne en circonférence
des Acacia seyal



3° - CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Cette étude sur la croissance de l'*Eucalyptus camaldulensis*, nous la voulions globale ; son but était uniquement de voir s'il y avait ou non ce que certains auteurs, dans des conditions différentes des nôtres, appellent le "zéro de végétation hivernal".

Il ne serait pas étonnant d'avoir une stagnation de la croissance cette année où presque partout dans le pays, des records absolus de sécheresse ont été enregistrés.

Nous croyons cependant, que la période de croissance s'étale sur 365 jours pour une pluviométrie de 400 mm à Bandia.

Des axes de recherche peuvent, dès à présent, être tracés.

Il convient alors

a) de cerner la croissance de la flèche et des pousses terminales susceptibles de prendre le relai et de déterminer :

- les courbes de croissance et leur nature afin de parvenir à déterminer des stades
- la durée de la période de croissance (nous avons constaté à Bandia que les vents, pour peu qu'ils soient violents, détruisaient systématiquement les pointes des pousses et réduisaient de ce fait la hauteur)
- la vitesse de croissance (il faudra alors se contenter des extrêmes et ne pas faire un calcul de moyenne)

bj de suivre, le cas échéant, les phénomènes de retrait (au micro-dendromètre si possible).

Ce genre d'étude permet de suivre la dynamique d'un peuplement, mais reste difficilement extrapolable. Il trouverait tout son intérêt dans un cadre de comparaison d'espèces ou de provenances en fonction des conditions édaphiques, climatiques et hydriques ; il constituerait alors un premier élément de sélection.

Nous nous sommes également intéressés à la croissance en épaisseur de la forêt naturelle d'*Acacia seyal*. Des coupes illicites ont un peu perturbé nos mensurations, mais depuis mai 1983, nous avons localisé et protégé 20 arbres au niveau des parcelles 5 et 8 (fig. 5b).

De mai à juin, l'accroissement est nul dans les deux parcelles.

Au bout de 5 mois (mai 1983 - octobre), il est de 10,70 mm pour la parcelle 5 et de 12,60 mm pour la parcelle 8 malgré la variation du simple au double de la croissance cumulée moyenne en épaisseur d'une parcelle à l'autre [respectivement 233,20 mm et 470,70 mm en octobre 1983].

Dans le même temps, les *Eucalyptus* de la parcelle 8 ont eu un accroissement de 11,80 mm et ceux de la parcelle 5 n'ont réalisé que 4,57 mm.

Il faudra faire des estimations de volume pour confirmer une éventuelle faiblesse de la productivité des plantations.

A notre avis, c'est un travail préliminaire qu'il faut faire plutôt que de prendre le risque de détruire la forêt naturelle au profit de plantations dont on n'est pas sûr qu'elles donneront une différence de production significative.

ETUDES ANATOMIQUE ET PHYSIOLOGIQUE

VI - ANATOMIE DE LA FEUILLE

1° - INTRODUCTION

Nous avons procédé à une étude anatomique de la feuille d'*Eucalyptus camaldulensis*. cet organe est le siège principal de la transpiration de la plante. C'est sur la feuille que nous avons effectué les mesures de déshydratation et de potentiel hydrique.

2° - TECHNIQUE

a) Fixation du matériel

La feuille adulte (âgée de 2 mois en seau) est prélevée, puis fixée à l'alcool 70° dans un pilulier au moins 3 jours avant le début des coupes

b) Observations

Le matériel a été observé de deux façons. Des fragments d'épiderme ont été prélevés sur les deux faces de la feuille et observés directement entre lame et lamelle.

Par ailleurs, des coupes transversales de feuille ont été pratiquées avec une lame de rasoir et, ensuite colorées.

c) Coloration

Coloration au carmino-vert de MIRANDE : carmin aluné-vert d'iode (LISON, 1960). Elle a pour but de mettre en évidence la structure anatomique des organes, c'est-à-dire l'agencement des différents tissus :

- le carmin aluné est retenu par les épaisissements pectocellulosiques
- le vert d'iode est retenu par la lignine et ses dérivés.

Protocole

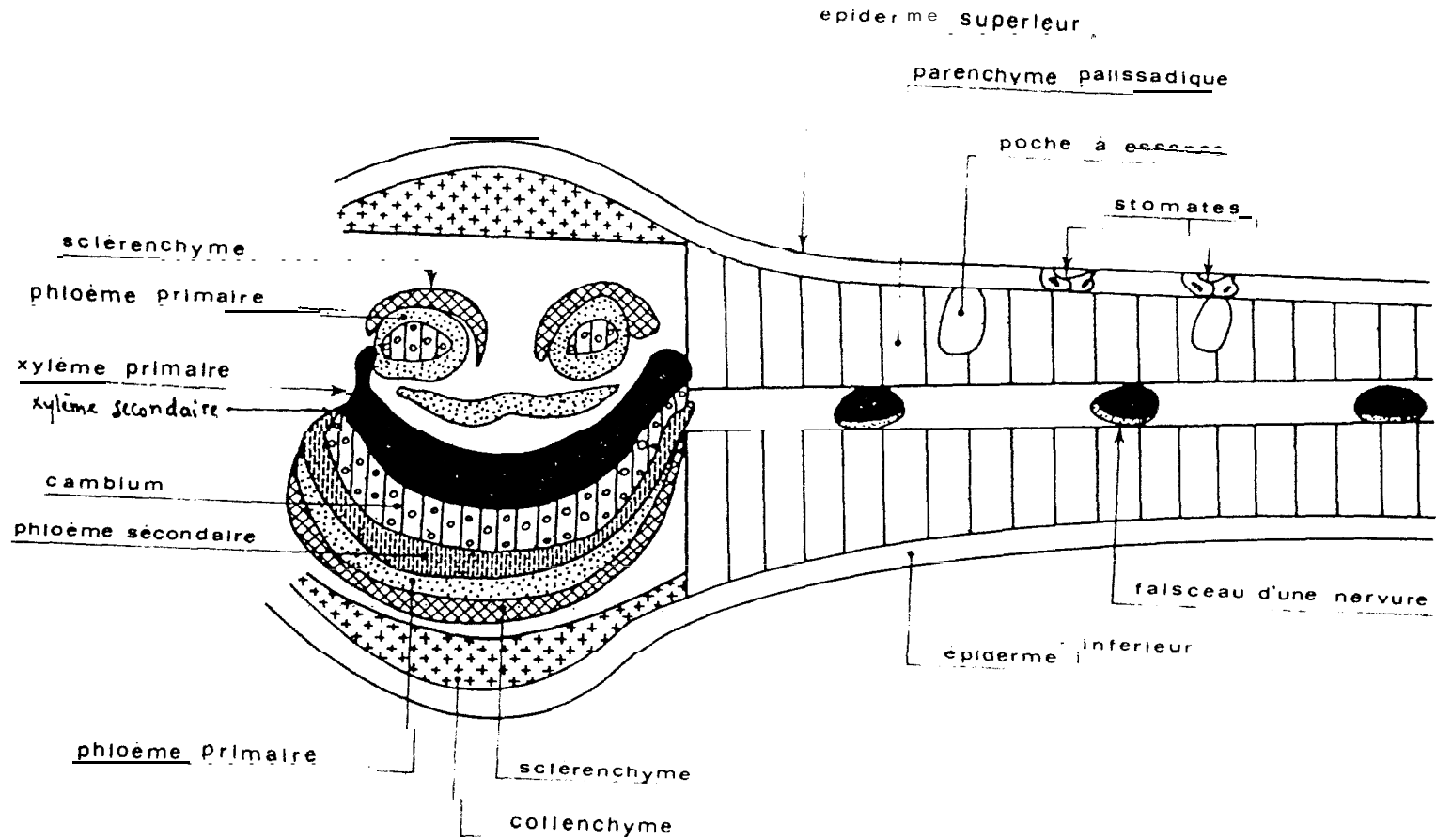
- Bain de 15 mn dans de l'eau de javel (lyse des contenus cellulaires)
- Deux bains de 5 mn chacun dans l'eau distillée (élimination de l'excédent d' eau de javel)
- Bain de 1.5 mn dans de l'eau acétique à 10 % environ (mordançage)
- Bain de 15 mn dans le carmino-vert (coloration)
- Bain de 5 mn dans de l'eau distillée (rinçage)

.../

Schéma n°1

COUPE TRANSVERSALE DE LA FEUILLE
D'EUCALYPTUS CAMALDULENSIS

grossissement : 100 x



d) Montage

Les coupes sont ensuite montées entre lame et lamelle dans une goutte d'eau glycérinée.

3° - RÉSULTATS

a) coupe transversale

La coupe transversale (schéma n° 1) a permis de mettre en évidence l'existence d'un parenchyme palissadique sur les deux faces. Ce tissu compact est le siège principal de la photosynthèse parce qu'il renferme les chloroplastes.

Le sclérenchyme, tissu de soutien est relativement abondant. Il assure, de par sa dureté, une protection qui permet à la feuille de surmonter de sévères flétrissements. Les végétaux qui adoptent une telle stratégie d'adaptation à la sécheresse, sont appelés *sclérophytes* ; on n'a cependant pas noté la présence de cryptes stomatifères comme chez le laurier rose (*Nerium oleander*).

b) Prélèvement d'épiderme

Nous avons pu constater que l'*Eucalyptus camaldulensis* et l'*Eucalyptus microtheca* étaient amphistomatiques ; ils devraient, par conséquent, se prêter à des mesures porométriques.

Les stomates (schémas n°s 2 et 3) ont le même aspect sur les 2 faces.

Nous n'avons pas pu faire un comptage de stomates.

Il serait très intéressant d'établir une relation entre la densité stomatique et l'intensité transpiratoire.

Schéma n° 2 STOMATE OUVERT

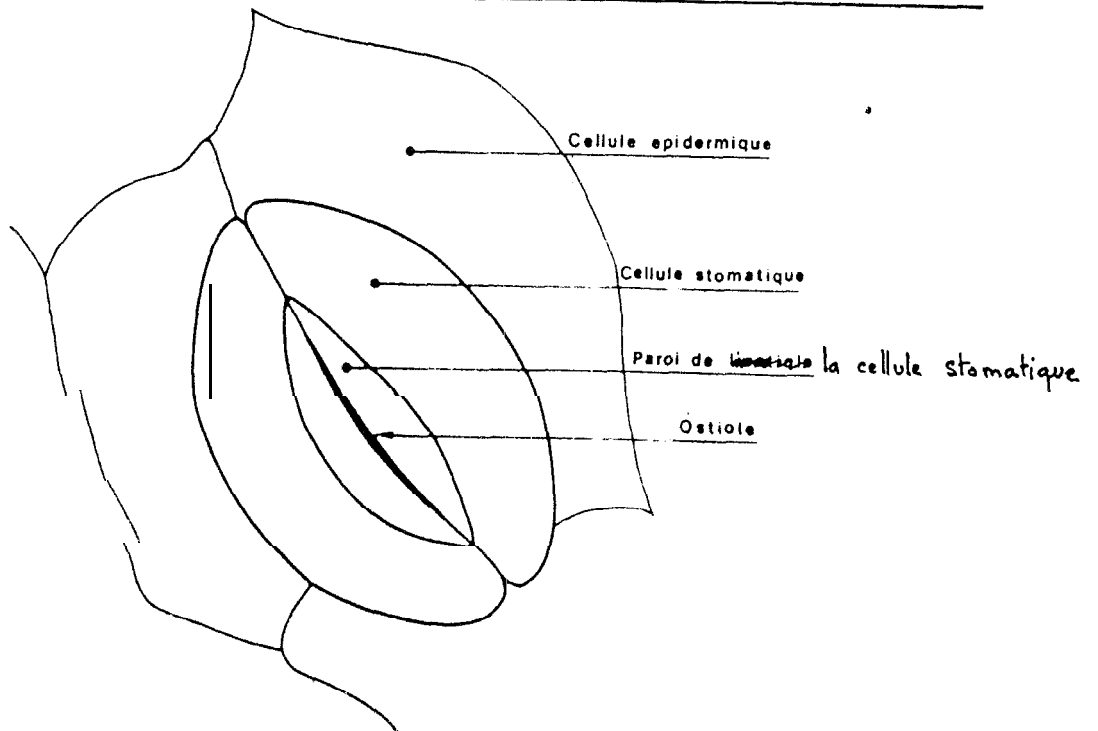
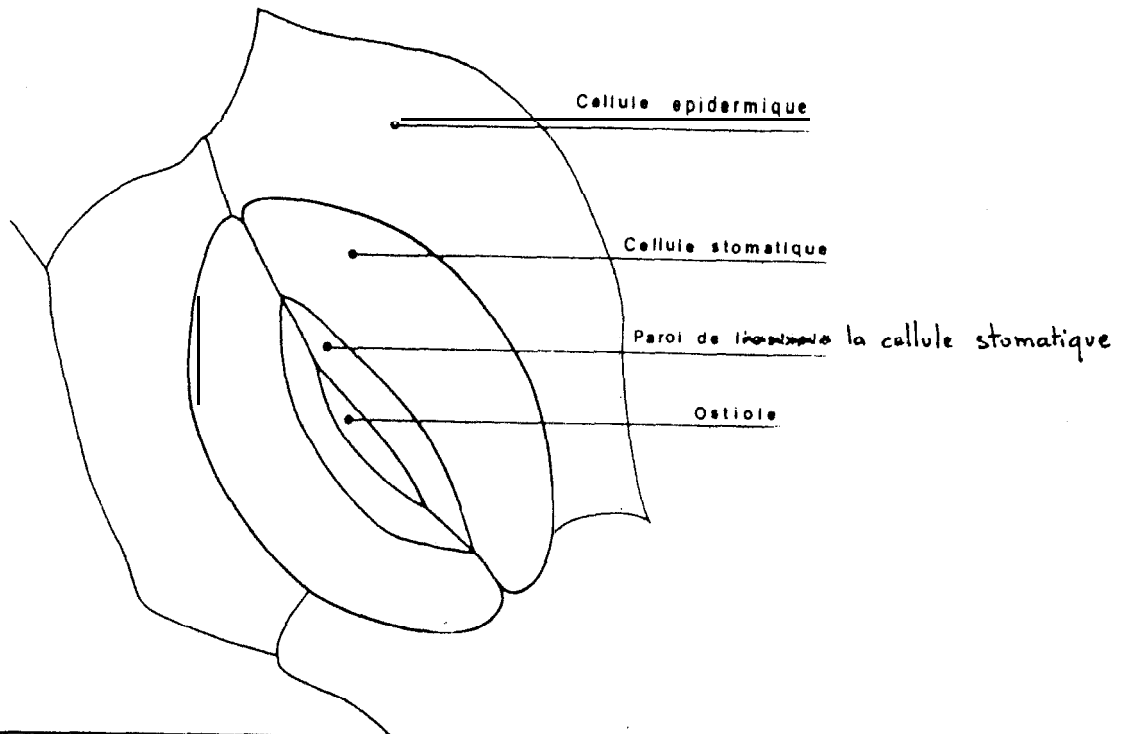


Schéma n° 3 STOMATE FERME

(grossissement: 100 x)

VII - ETUDE EXPERIMENTALE DE LA DESHYDRATATION

DE FEUILLES ISOLEES CHEZ DE JEUNES EUCALYPTUS

CULTIVES EN VASES DE VEGETATION

1° - BUT

Il convient d'établir quantitativement l'évolution et les valeurs de la perte en eau des feuilles préalablement saturées de façon à pouvoir préciser :

- l'intensité et la vitesse de la déshydratation en fonction du stade physiologique atteint par la feuille,
- les valeurs pour lesquelles la fanaison est irréversible et entraîne la chute de la feuille (c'est la notion de déficit létal ou mortel),
- les valeurs limites de teneur en eau entre lesquelles il y a ouverture et fermeture des stomates (ce sont donc les limites entre lesquelles la croissance est possible).

2° - DISPOSITIF D'OBSERVATION

Le matériel végétal sur lequel nous avons travaillé est constitué de jeunes plants d'*Eucalyptus camaldulensis* 8411 cultivés en seaux plastiques de 10 litres environ, remplis de terre Bandia (description : cf caractéristiques pédologiques et hydrodynamiques de la parcelle 8).

Ils ont été repiqués en juillet 1983, cultivés dans la pépinière du CNRF et arrosés deux fois par jour : à 8 heures et à 17 heures, temps universel ; au moment de l'expérimentation, ils avaient 4 mois.

La fanaison des feuilles isolées a lieu dans un local soumis à un éclairage constant de deux tubes fluorescents, et offrant peu de variations de température et d'humidité relative de l'air pendant le déroulement des mesures (60 % et 28°C). Les feuilles sont placées à faible distance de ces tubes, de façon à recevoir un éclairage suffisant pour provoquer les mouvements stomatiques (en principe 2 à 3 000 lux) .

3° - MÉTHODOLOGIE

Les prélèvements ont été effectués sur des rameaux de développement et de rang identiques, de façon à ce que les feuilles récoltées soient aussi semblables que possible , et à un stade physiologique comparable.

VII - ETUDE EXPERIMENTALE DE LA DESHYDRATATION

DE FEUILLES ISOLEES CHEZ DE JEUNES EUCALYPTUS

CULTIVES EN VASES DE VEGETATION

1° - BUT

Il convient d'établir quantitativement l'évolution et les valeurs de la perte en eau des feuilles préalablement saturées de façon à pouvoir préciser :

- l'intensité et la vitesse de la déshydratation en fonction du stade physiologique atteint par la feuille,
- les valeurs pour lesquelles la fanaison est irréversible et entraîne la chute de la feuille (c'est la notion de déficit létal ou mortel),
- les valeurs limites de teneur en eau entre lesquelles il y a ouverture et fermeture des stomates (ce sont donc les limites entre lesquelles la croissance est possible).

2° - DISPOSITIF D' OBSERVATION

Le matériel végétal sur lequel nous avons travaillé est constitué de jeunes plants d'*Eucalyptus camaldulensis* 8411 cultivés en seaux plastiques de 10 litres environ, remplis de terre Bandia (description : cf caractéristiques pédologiques et hydrodynamiques de la parcelle 8).

Ils ont été repiqués en juillet 1983, cultivés dans la pépinière du CNRF et arrosés deux fois par jour : à 8 heures et à 17 heures, temps universel ; au moment de l'expérimentation, ils avaient 4 mois.

La fanaison des feuilles isolées a lieu dans un local soumis à un éclairage constant de deux tubes fluorescents, et offrant peu de variations de température et d'humidité relative de l'air pendant le déroulement des mesures (60 % et 28°C). Les feuilles sont placées à faible distance de ces tubes, de façon à recevoir un éclairage suffisant pour provoquer les mouvements stomatiques (en principe 2 à 3 000 lux) .

3° - METHODOLOGIE

Les prélèvements ont été effectués sur des rameaux de développement et de rang identiques, de façon à ce que les feuilles récoltées- soient aussi semblables que possible , et à un stade physiologique comparable.

.es
it

Les feuilles étaient donc détachées la veille des mesures et placées en enceinte à saturation pendant une nuit complète à l'obscurité et à température sensiblement constante.

Pour la détermination du poids à saturation, on avait le choix entre 2 méthodes : celle de SLATYER (1965) et celle de STOCKER (1956).

La première consiste à récolter deux échantillons ; l'un est immédiatement placé à l'étuve, tandis que l'autre est mis à flotter sur l'eau pendant 24 heures avant d'être retiré, séché et pesé. Elle est généralement peu utilisée et a surtout l'inconvénient d'être effectuée sur des fragments de limbe qui ne représentent pas toujours l'ensemble de l'organe foliaire. D'autre part, les zones proches de la surface de coupe peuvent se gorger d'eau et provoquer une sorte de "sur-saturation" des tissus.

Pour la seconde, après section du pétiole, la feuille est immergée dans de l'eau distillée. On place le système dans une enceinte à ambiance saturante et en pleine obscurité. La feuille est pesée tous les quarts d'heure et en général, on obtient un palier au bout de 10 heures. Le problème revient donc à trouver le temps minimum pendant lequel les feuilles doivent rester dans ces conditions pour se saturer. Les feuilles de l'*Eucalyptus camaldulensis* doivent passer 12 heures dans l'enceinte pour atteindre le poids à saturation (POUPON, 1968).

Pour ce qui est de notre travail, nous faisons les prélèvements vers 18 heures ; les feuilles étaient ensuite recouvertes d'un papier filtre imbibé d'eau distillée. Après re-section du pétiole, on plongeait la base de la feuille et un peu de papier filtre dans une fiole Erlenmeyer remplie d'eau distillée : la remontée par capillarité était donc favorisée. L'ensemble était alors placé dans une glacière jusqu'au lendemain matin à 8 heures. La feuille était ensuite rapidement essuyée et pesée.

L'opération peut paraître simple ; elle l'est en fait mais l'interprétation des résultats obtenus est très délicate ; une feuille mal saturée est très vite repérée dès les premières pesées par suite de valeurs anormales des taux de perte en eau et une forme aberrante de la courbe qui en résulte. Il faut, par conséquent, en préparer un nombre suffisant afin d'éviter de mauvaises surprises.

Les mesures de la perte en eau par pesée ont été réalisées grâce à une balance de terrain sensible au mg (balance de torsion ASE), à intervalles réguliers (toutes les 4 minutes), sur des feuilles exposées à un éclaircissement

constant (lumière non chauffante). Les pesées étaient donc poursuivies jusqu'au moment où les valeurs de la perte en eau devenaient suffisamment faibles et peu variables pour indiquer une fermeture totale des stomates.

Lors de nos manipulations, nous soumettions simultanément 2 feuilles au dessèchement, ce qui nous permettait alternativement de faire une pesée toutes les 2 minutes. Dans les conditions de nos observations, la perte en eau se poursuivait lentement, généralement à un taux de plus en plus faible, jusqu'à ce que la feuille montre les premiers signes de flétrissement puis, se fane et se dessèche petit à petit.

Expérimentalement, l'appréciation du degré de fanaison et de son stade ultime (le déficit létal) peut se faire de la manière suivante : sur un lot de feuilles soumises à fanaison après turgescence maximum, on en prélève une périodiquement et, après pesée pour apprécier son déficit en eau, on la remet une nuit en enceinte à saturation. On considère que le déficit létal ou mortel est atteint à partir du moment où les feuilles placées en réhumectation, se décolorent et se nécrosent sur au moins une moitié de leur surface. La valeur des déficits atteints à ce moment, est considérée comme déficits létaux ou mortels, entraînant la chute des feuilles.

4° - RÉSULTATS

La méthode du rameau coupé (déjà expérimentée par QURAIISHI et KRAMER - 1970 - sur *Eucalyptus*) que nous avons utilisée au laboratoire, nous a conduit à chiffrer la perte en eau par transpiration de chaque feuille en $\text{mg}/\text{dm}^2/\text{mn}$. Ces valeurs ne sont évidemment pas transposables au champ mais pourront, cependant, être comparées à celles des autres espèces ou provenances sur lesquelles nous travaillerons.

C'est d'ailleurs en conditions naturelles qu'il est logique d'étudier la transpiration relative (transpiration/évaporation).

a) Courbes de déshydratation

Elles ont été effectuées sur une trentaine de feuilles. Dans les conditions de nos observations, nous pouvons constater que la forme de chaque courbe de perte en eau par transpiration ou d'évolution des valeurs de la déshydratation (déficit de saturation hydrique ou DSH) est différente pour chaque feuille étudiée. Cependant, certaines d'entre elles se ressemblent suffisamment pour former des sortes de "classes", au sein desquelles les feuilles sont à un stade physiologique relativement proche.

Figure n°9: Evolution du taux de perte en eau des feuilles d'Eucalyptus camaldulensis en conditions contrôlées

Perte en eau
% eau a saturation

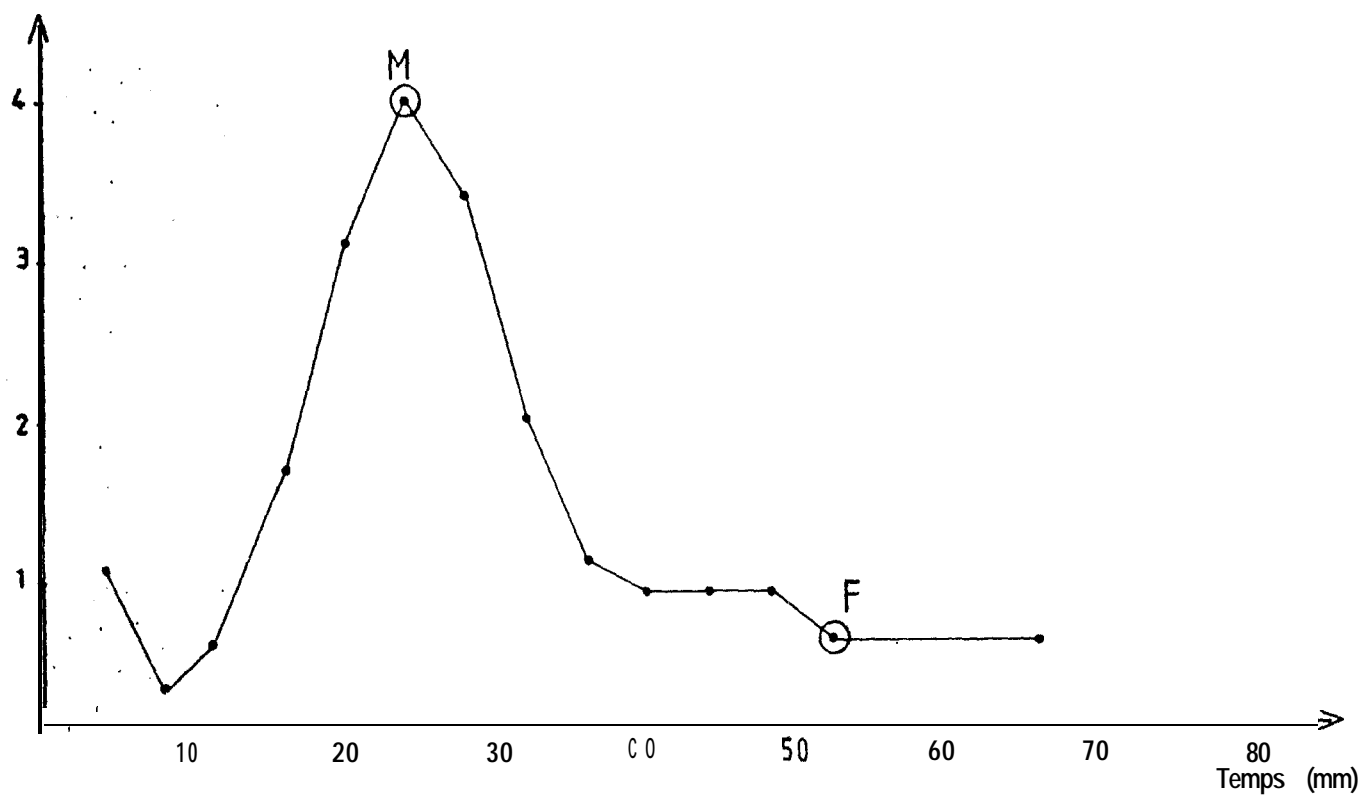


TABLEAU N°3

DEFICIT DE SATURATION HYDRIQUE DES FEUILLES
(EN % PAR RAPPORT A LA TENEUR EN EAU A SATURATION)

Classe 1

mm)	D. S. H (%)								Moyenne (%)
1.1	0.9	0.9	0.7	0.6	1.1	1.1	0.7	0.9	
16.3	13.9	3.8	4.4	3.8	3.8	3.4	2.7	3.7	
		13.2	14.7	13.8	12.4	14.2	15.0	14.2	
20.0	21.2	20.5	22.1	17.9	17.7	21.4	23.9	20.6	
24.6	26.0	27.0	32.4	24.5	22.9	27.6	31.9	27.1	

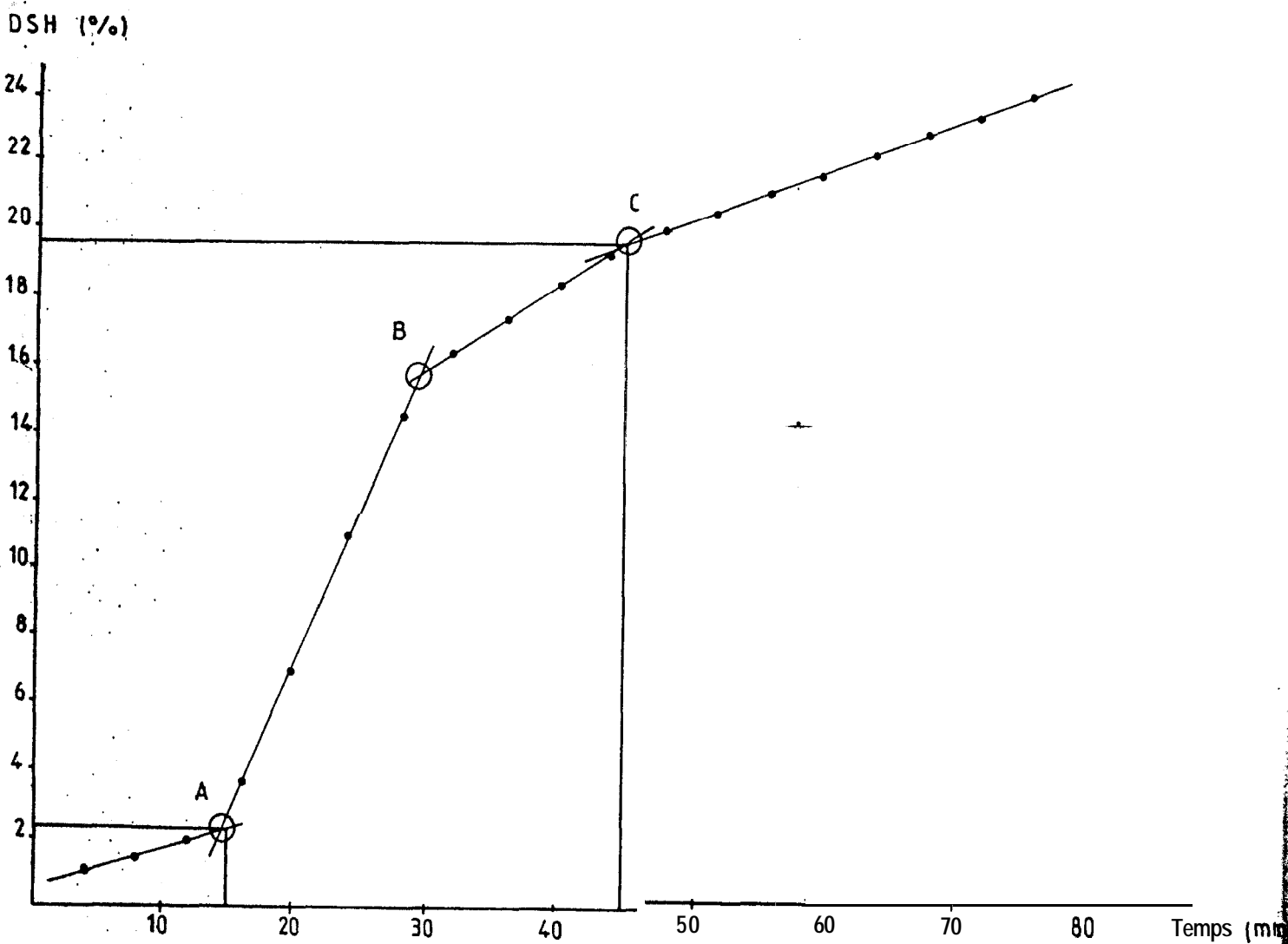
Classe 2

n)	D. S. H (%)								Moyenne (%)
2.3	2.2	2.8	3.1	1.1	2.1	2.7	1.5	2.2	2.3
9.6	6.9	12.0	11.5	6.0	11.7	10.1	10.5	6.8	9.4
19.4	33.9	25.0	20.0	18.5	26.9	18.4	25.2	16.5	20.4
30.9	24.6	30.8	25.4	24.0	34.8	31.4	31.5	24.1	26.2
			33.2	30.6	41.8	31.2	40.0	33.2	32.9

Classe 3

	D. S. H (%)								Moyenne (%)
13.2	12.5	13.7	13.6	12.8	18.8	12.8	13.0	12.8	15.5
27.1	29.7	24.0			.0				35.0
33.7	38.4	29.5	33.9	29.7	42.9	39.9	42.7	26.8	27.0
42.5	54.2	38.1	43.5	33.0	51.4	44.0	61.2	38.6	45.2

Figure n° 10: Evolution de la deshydratation des feuilles d 'Eucalyptus camaldulensis



L'allure générale de ces courbes peut être schématisée par la figure 11.

La figure 9 représente l'évolution des taux de perte en eau, exprimée en % par rapport à la teneur totale à saturation. Elle montre deux points caractéristiques : M qui correspond à l'ouverture maximale des stomates (taux de transpiration le plus élevé) et F point à partir duquel le taux de perte en eau devient très faible et baisse très lentement jusqu'au dessèchement total de la feuille. A ce stade, la courbe devient un palier à pente si faible qu'elle est presque parallèle à l'axe des abscisses.

L'analyse de la courbe donne les indications suivantes :

- 1/ le film d'eau qui reste sur la feuille après essuyage, s'évapore et précède l'ouverture des stomates
- 2/ l'ouverture maximale est observée environ 20 minutes après le début de l'expérience
- 3/ la fermeture intervient pour un temps compris entre 50 et 60 minutes.

Sur la figure 30, les pertes en eau ont été cumulées en fonction du temps de fanaison et on peut constater que le mouvement d'ouverture maximale s'observe dans les portions AB et BC où la perte est la plus forte : ce qui exprime l'intensité de la perte en eau qui se traduit par l'élévation des valeurs du déficit de saturation hydrique (DSH en % par rapport à la teneur à saturation).

Chaque feuille expérimentée se caractérise donc par une évolution différente de ces courbes ; aussi, nous les avons groupées en 3 classes suivant la vitesse et l'intensité de leur deshydratation.

Le tableau n° 3 synthétise les résultats obtenus à cinq stades différents de la déshydratation foliaire : respectivement après 4, 16, 32, 48 et 80 minutes de fanaison. Ces valeurs sont représentées sur la figure 11.

L'analyse de ces courbes fait ressortir le fait que la rapidité et l'intensité des pertes en eau varie beaucoup pour les tissus foliaires de ces 3 classes, ce qui laisse penser qu'elles correspondent à des stades physiologiques de développement très différents. Ceci est donc la preuve qu'en cas de cessation de tout apport en eau, la dessiccation des feuilles, et par conséquent leur chute, peuvent être plus ou moins rapides suivant le stade atteint par la feuille et son état physiologique.

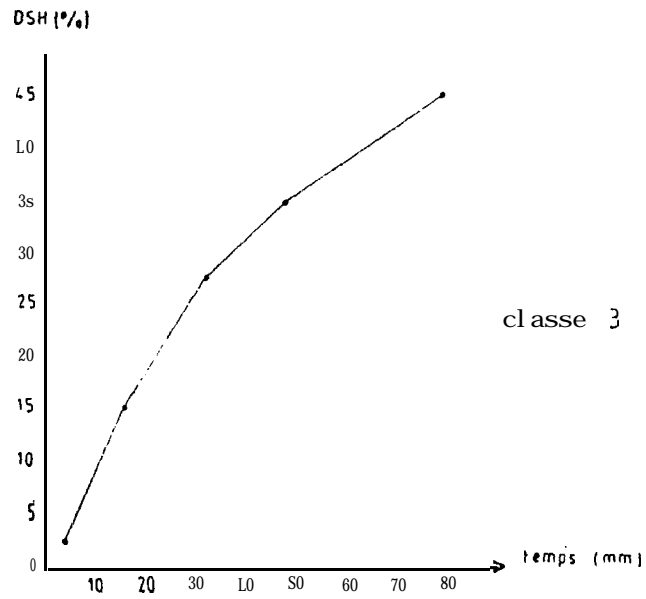
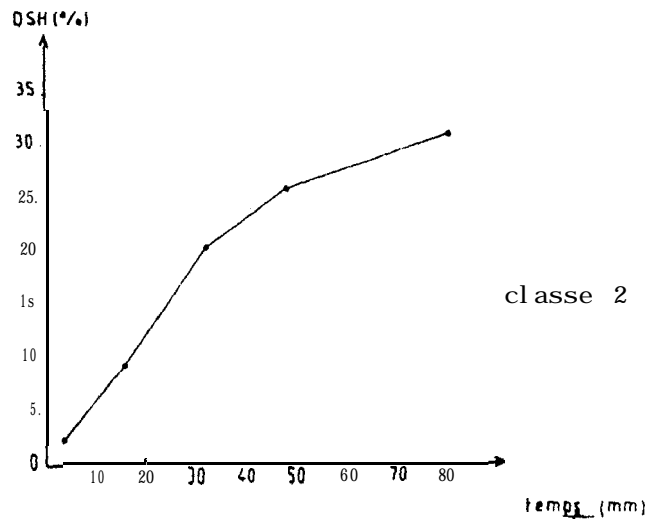
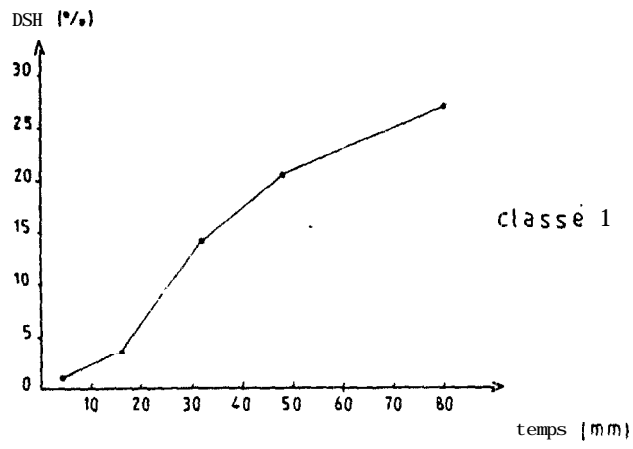


Figure n° 11
 Deshydratation foliaire de
 3 classes de feuilles

b) Valeur du déficit 'létal ou 'mortel

Peu de mesures ont pu être faites à ce sujet, et l'expérimentation reste à être reprise sur une plus grande échelle. Néanmoins, celles qui ont pu être menées à bien montrent que, suivant la classe à laquelle appartient la feuille, les valeurs sont vraisemblablement comprises entre 75 et 85 % de DSH ; chiffres très élevés qui montrent l'aptitude de l'*Eucalyptus* à supporter de très fortes déshydratations. Le temps au bout duquel ces valeurs sont atteintes peut varier beaucoup suivant la classe et les conditions de fanaison (température et humidité relative de l'air). Normalement, ce temps augmente chez les feuilles jeunes jusqu'à maturité, puis, diminue rapidement au cours du vieillissement. Une étude précise de la durée de vie des feuilles (en plantation et en culture en 'vase de végétation) doit être effectuée pour donner des chiffres précis à ce sujet.

c) Teneur en matière sèche et taux d'humidité des feuilles

Pour chaque feuille soumise à la déshydratation, nous avons calculé la teneur en matière sèche par rapport au poids frais à saturation. Elle est en moyenne de 44 à 45 %. L'*Eucalyptus* est connu pour être un producteur de bois ; c'est la justification même de son utilisation. Il serait très intéressant d'étudier la relation qui pourrait'exister entre la production ligneuse de l'*Eucalyptus camaldulensis* et la forte teneur en matière sèche de ses feuilles.

Ce test, s'il réussissait, serait d'une grande utilité pour le développement.

Le taux d'humidité de la feuille n'a pas été suivi tout au cours d'une journée. Nous avons choisi de calculer la teneur maximale d'humidité puisque nous disposons de la teneur en eau à saturation et du poids sec. Les taux les plus élevés ne dépassent pas 120 % par rapport au poids sec. BIROT rapporte une valeur de 130 pour *Eucalyptus cebra* et BOGRACHEVA cite un taux de 143 % pour *Eucalyptus globulus* (toujours par rapport au poids sec).

Le faible taux d'humidité, la forte teneur en matière sèche des feuilles et le fait que l'*Eucalyptus camaldulensis* supporte d'assez grandes sécheresses sans perdre ses feuilles malgré la fanaison rapide qui suit la déshydratation, son adaptation à des conditions sévères de stress hydrique, constituent des caractéristiques essentielles pour cette espèce.

VIII - CINÉTIQUE DU POTENTIEL DE SEVE

Principe - Résultats - Perspectives

L'étude écophysiological d'une espèce. ligneuse détermine les conditions de son utilisation en reboisement pour la simple raison que l'adaptation du végétal au milieu est liée aux facteurs climatiques et écologiques et à sa capacité de régler les transferts gazeux. La résultante de tous ces phénomènes aboutit à un état (appelé gradient du potentiel hydrique entre le sol, la plante et l'atmosphère) qui influence l'absorption, la circulation et la rétention de l'eau par la plante.

1° - LA NOTION D'ÉTAT HYDRIQUE

Pour tout système contenant de l'eau (sol, végétal, etc..), il y'a 2 notions fondamentales dont l'une est statique, l'autre dynamique :

- la teneur en eau qui traduit un état (donc notion statique),
- et le potentiel hydrique qui est fonction de l'humidité du sol et de l'évapotranspiration,

Il traduit l'aptitude d'un milieu (sol), d'un organe ou d'un tissu (racine, feuille) à échanger de l'eau. Sa valeur chez le végétal dépend donc étroitement de la disponibilité en eau du sol et de l'intensité de la demande évaporative de l'atmosphère.

En conditions météorologiques normales (belle journée), la séquence journalière correspond en principe au processus suivant :

- . dès l'apparition du soleil (réchauffement de la plante), le potentiel de la sève chute.
- . un minimum (potentiel minimum = P_m) est atteint en milieu de journée, parfois en début d'après-midi. Puis les valeurs remontent vers le milieu de l'après-midi jusqu'au soir à la tombée de la nuit. Lorsque sa valeur se stabilise, le potentiel correspondant est alors dit "potentiel de base", appelé encore "potentiel d'équilibre" car il traduit un équilibre entre le végétal et le sol lorsque la transpiration est nulle (HINCKLEY et RITCHIE, 1973) .

Il permettrait à un moment donné une évaluation de la disponibilité en eau du sol.

Bombe de SCHOLANDER .

Echelle $1 \frac{1}{2}$

1 CM

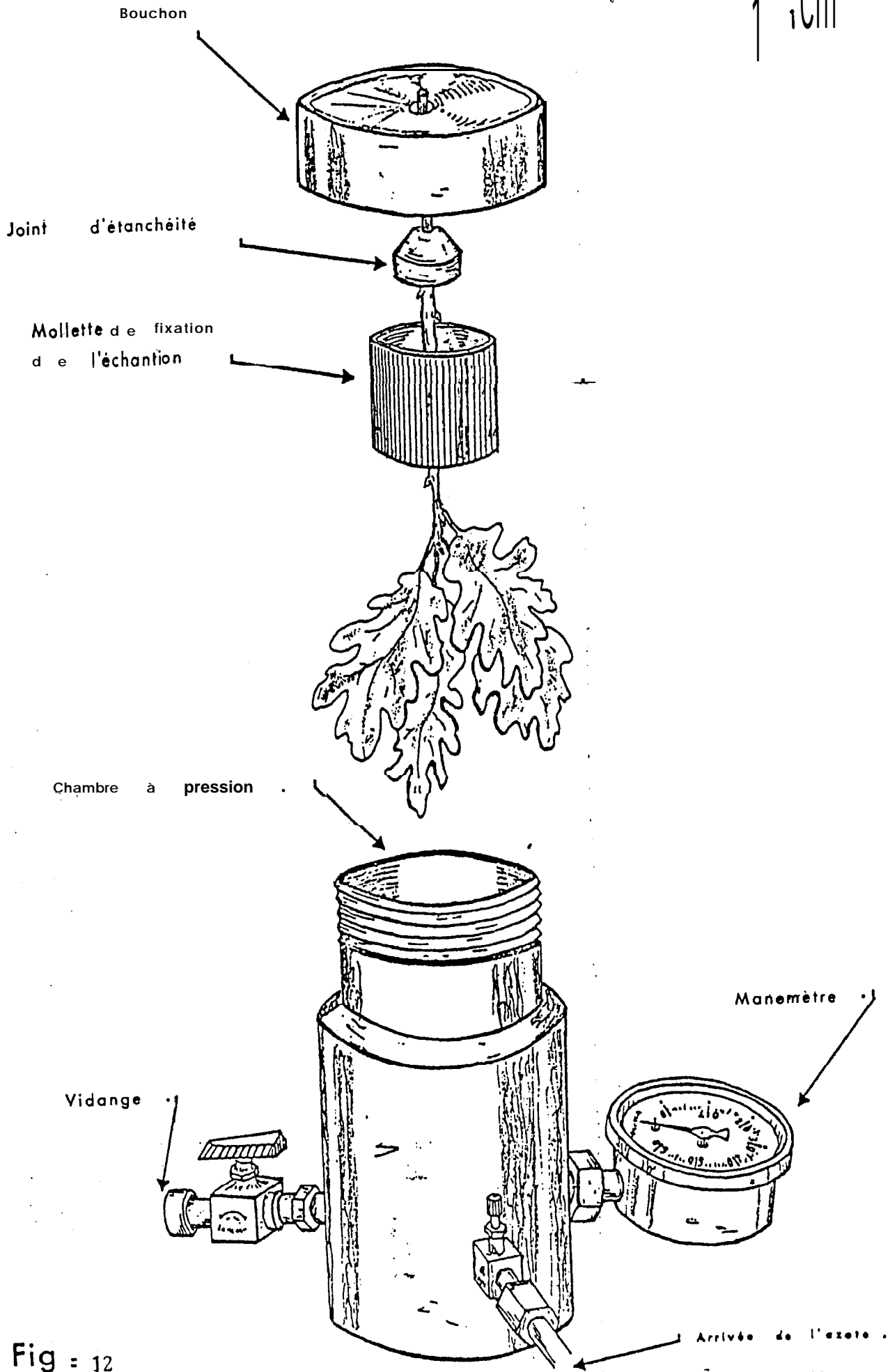


Fig = 12

Les valeurs observées au P_m traduisent plusieurs situations :

a) Plante bien alimentée en eau et faible demande évaporative:

Les valeurs de P_m restent relativement élevées, ce qui traduit un équilibre entre l'offre et la demande en eau. Les stomates restent ouverts pendant la plus grande partie de la journée.

b) Plante bien alimentée en eau mais forte demande évaporative :

Les valeurs de P_m chutent nettement par suite de l'élévation des déficits en eau de la plante. L'absorption d'eau ne compense plus les pertes et il existe alors un déséquilibre quotidien provoquant la fermeture des stomates pendant une bonne partie de la journée, même si le sol est bien alimenté en eau. La cause en serait une augmentation de la résistance rhizosphérique s'opposant au transfert de l'eau vers la plante.

c) Plante en conditions de stress hydrique (sol déficitaire en eau, faible demande évaporative) :

La valeur du P_B est assez élevée le matin mais chute nettement et rapidement au cours de la journée jusqu'à un P_m faible et ne s'élève que très lentement en fin de journée,

d) Plante en conditions de stress hydrique accentué (sol pauvre en eau, forte demande évaporative) :

La valeur du P_B est peu différente de celle du P_m pendant la plus grande partie de la journée : il en résulte une ~~fermeture~~ des stomates pendant toute la journée : il y a arrêt total de la croissance.

2° - LA MESURE DU POTENTIEL PAR LA BOMBE A PRESSION

La bombe à pression (figure 12) est une technique proposée par SCHOLANDER et al, (1965). Elle mesure la tension hydrostatique dans le xylème.

Un rameau est placé dans une enceinte hermétique, son extrémité basale affleurant l'ouverture du couvercle. Le bout du rameau est sectionné par une lame de rasoir et la colonne d'eau se trouve rompue. Du fait de l'élasticité des tissus, la sève qui est alors portée à la pression atmosphérique, se rétracte et descend le long des vaisseaux.

En ouvrant une vanne, on applique une pression de gaz (azote) de plus en plus élevée jusqu'à ce que la sève remonte au niveau de la coupure. A cet instant précis, il y a équilibre entre la pression du gaz (azote) appliquée dans l'enceinte où se trouve le végétal et celle de la sève dans

les vaisseaux : la pression lue sur le manomètre représente la pression de la colonne liquide (sève) dans le végétal : elle est dite pression de sève. C'est une méthode très pratique, simple et rapide mais qui demande une parfaite étanchéité de l'enceinte.

Nous utiliserons cette méthode au laboratoire et sur le terrain, nous rajouterons au montage une loupe binoculaire pour mieux observer le flux de sève.

Le potentiel s'exprime dans le système international en J/m^3 ou en J/kg selon qu'il est exprimé par unité de volume ou par unité de masse. Cette valeur énergétique rapportée à l'unité de volume liquide donne une grandeur ayant les dimensions d'une pression (atmosphères ou

Le potentiel de base critique (P_{BO})

Il est atteint lorsque l'amplitude des variations diverses de potentiel est < 4 bars (belle journée) (AUSSENAC, GRANIER, 1978).

ΔP = Amplitude des oscillations journalières du potentiel de sève (= $P_B - P_m$)

Un dessèchement progressif du sol doublé d'une diminution de la transpiration du végétal tend à annuler ΔP .

Le cas échéant, ΔP traduirait le degré de fermeture des stomates.

P_{BO} correspondra à la fermeture total des stomates (transpiration quasi nulle).

On a ^{toujours/}presque eu recours aux caractéristiques intrinsèques du sol pour apprécier le seuil létal du végétal. Le concept de point de flétrissement permanent (méthode de laboratoire discutable et discutée dans le présent mémoire) est, par conséquent, complété par celui de P_{BO} qui pourrait situer une espèce donnée le moment où les activités transpiratoires et photosynthétiques sont bloquées.

Pour la comparaison de 2 ou plusieurs espèces, on peut avoir le cas de figure suivant :

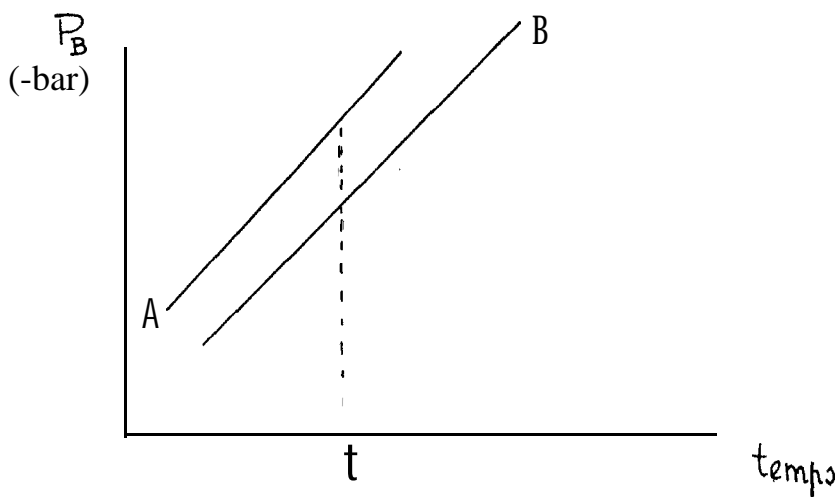


TABLEAU N°4

EVOLUTION JOURNALIERE DU POTENTIEL DE SEVE (Ψ)
 ET DE LA TRANSPIRATION(T) DE 2 PLANTS
 D'EUCALYPTUS CAMALDULENSIS

Plant arrosé

N°	Heure	Ψ (bar)	T (mg/dm ² /mm)
1	8 h 55	- 13,°	29,85
2	11 h 30	- 16,°	50,49
3	14 h 45	- 13,°	47,30
4	17 h 40	- 8,°	10,64

Plant non arrosé

N°	Heure	Ψ (bar)	T (mg/dm ² :mm)
1	9 h 05	- 15,0	19,89
2	11 h 40	- 18,0	36,36
3	14 h 50	- 17,0	18,25
4	17 h 50	- 16,0	13,89

Au temps t , l'espèce B a un P_B supérieur à celui de A ; la zone exploitée par les racines de A est en principe plus desséchée. Si les conditions d'évapotranspiration des deux espèces sont identiques, on en conclura une transpiration de A plus forte.

3° - RÉSULTATS D'UNE CINÉTIQUE JOURNALIÈRE

Nous venons tout juste de débiter ce genre de mesure et n'eut été le concours du Laboratoire de Botanique de l'ORSTOM qui a bien voulu mettre à notre disposition une bombe à pression, nous aurions présenté ce rapport sans un seul résultat de potentiel de sève. Il est cependant heureux de signaler qu'à l'heure actuelle, nous disposons de la nôtre.

Les résultats sont donc partiels et après une campagne de mesures, nous avons choisi de présenter une manipulation qui devra être le point de départ de nos futurs travaux.

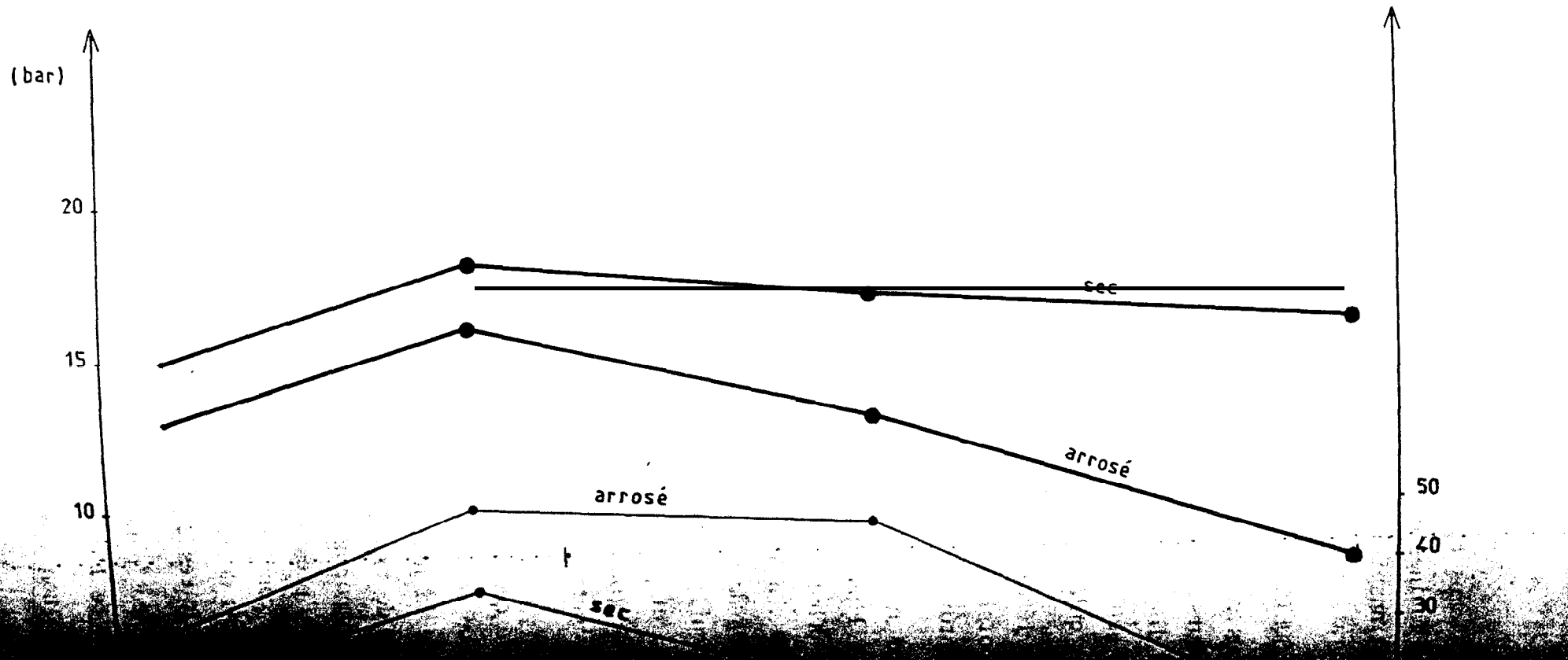
Nous avons choisi 2 seaux (*Eucalyptus camaldulensis* sur sol normal de Bandia) ; l'un arrosé comme d'habitude et l'autre privé d'eau 24 heures avant le début des mesures. Nous avons adopté une séquence journalière ponctuelle : à 8 h 55, 11 h 30, 14 h 45 et 17 h 40 (temps universel). Des mesures de potentiel sont faites en même temps que celles de transpiration (feuille sectionnée, pesée, remise à sa place sur le rameau pendant 4 minutes, et pesée à nouveau). Les résultats figurent au tableau n° 4. L'examen du graphique qui en résulte (figure 13) montre qu'il y a une nette différence entre les 2 plants au niveau de la facilité de circulation de l'eau.

Quelle que soit l'heure de la mesure, le potentiel du plant sec reste plus bas que celui du plant arrosé et l'amplitude entre les courbes augmente au cours de la journée allant de - 2 bars à - 8 bars.

Les courbes de transpiration montrent, pendant toute la journée, une perte d'eau plus importante du plant arrosé ; en fin d'après midi, les 2 plants perdent à peu près la même quantité d'eau : la transpiration tend à s'annuler. Il faut, par conséquent, noter que la cinétique du potentiel est tributaire des conditions de transpiration : quand la transpiration augmente, le potentiel diminue ; ces 2 grandeurs varient en sens inverse;

Ces données permettent déjà d'entrevoir que, dans les plants en pots, l'épuisement de l'eau est rapide et le système racinaire puissant et actif. Pour le plant non arrosé, le potentiel ne remonte que de 3 bar et si, en

Figure n° 13 : Evolution journalière du potentiel de sève (—) et de la transpiration (—) de 2 plants d'*Eucalyptus camaldulensis* l'un arrosé l'autre soumis à une privation d'eau d'une journée



plus on tient compte du fait qu'avec une seule journée de privation d'eau, il est de - 16 bars, ce qui représente la moitié de celui du plant arrosé (- 8 bars), on a la preuve d'une circulation hydrique difficile (résistance racinaire au transfert de l'eau). L'utilité d'une telle étude réside dans le fait qu'elle renseigne sur la possibilité de la plante à se réalimenter après une forte transpiration : c'est le processus de récupération (nocturne) qui doit, normalement, ramener le potentiel de base (PB) à une valeur presque nulle.

4° - DÉTERMINATION DE IA SURFACE FOLIAIRE

Nous avons déterminé les surfaces foliaires en plaçant les feuilles d'*Eucalyptus* sur du papier ozalid, mis dans un châssis et protégé par un verre. Après une exposition de quelques minutes au soleil, la révélation est faite à l'ammoniaque (alcali volatil) dans une enceinte fermée et placée à l'obscurité. Il suffit après de découper les empreintes très visibles des feuilles et de procéder à des pesées.

Les calculs sont faits en utilisant une surface de référence.

5° - COMPORTEMENT HYDRIQUE EN VASES DE VÉGÉTATION

Nous avons les traitements suivants :

- a) *Eucalyptus microtheca* sur sol normal (plants repiqués)
- b) *Eucalyptus camaldulensis* sur sol normal (plants repiqués)
- c) *Eucalyptus camaldulensis* sur sol stérilisé + inoculum (semis)
- d) *Eucalyptus camaldulensis* sur sol stérilisé (semis).

Le sol a été prélevé dans nos parcelles expérimentales de Bandia

- sol normal : tel qu' i 1 a été prélevé sur le terrain
- sol stérilisé en pépinière avec bromure de méthyle
- inoculation avec *Pis olithus tinctorius* .

Le seau est percé de petits orifices pour évacuer l'eau gravitaire ; rempli de terre fraîche, il pèse 10 kg.

Nous avons calculé une humidité pondérale de 3,74 % ; le poids du seau étant de 360 g.

Dès que nous aurons la courbe pF humidité, nous cesserons l'apport d'eau et éliminerons l'évaporation en étanchant les seaux par un film plastique.

Les 16 seaux de chaque traitement seront répartis comme suit :

- 1/ les 4 premiers seaux seront régulièrement maintenus à la capacité de rétention (100 % d'eau disponible)
- 2/ pour le 2e lot de 4 seaux, on arrêtera l'arrosage le lundi par exemple
- 3/ pour le 3e lot, le mercredi
- 4/ le vendredi pour le 4e lot.

Les 3 derniers lots (2e, 3e et 4e) sont soumis à un assèchement jusqu'à atteindre successivement :

- un déficit de 25 % (75 % d'eau disponible)
- un déficit de 50 % (50 % d'eau disponible)
- un déficit de 100 % (épuisement total de l'eau disponible : point de fanaison permanente).

Des pesées journalières seront faites jusqu'à ce que ces taux soient atteints. A chaque fois qu'on arrivera à un stade donné, on remettra la même quantité d'eau que le poids qui sera perdu de façon à maintenir le déficit fixé.

. Dès lors, les transpirations seront évaluées par pesée avec les réajustements qui s'imposent.

. La croissance individuelle sera suivie.

. Des mesures de potentiel seront faites simultanément.

. La détermination du degré d'ouverture stomatique pourra être faite, soit avec un poromètre, soit par le biais d'une relation avec la valeur du potentiel en eau dans la vascularisation.

Les valeurs limites seront établies entre le maximum d'ouverture (M) et la fermeture (F) .

6° - CONCLUSION - PERSPECTIVES D'AVENIR

Compte tenu de la méthodologie et des données partielles que nous avons exposées, nous pensons avoir obtenu des informations qui nous permettront, avec le temps, de disposer de résultats fiables sur l'écophysologie de l'*Eucalyptus camaldulensis* . Il faudra, pour cela, orienter l'étude de sa résistance à la sécheresse vers trois axes de recherches :

a) Etude de son aptitude à supporter des déshydratations élevées :

(feuilles isolées, plantes en pots) par l'examen de courbes de fanaison en conditions contrôlées et des déficits létaux ou mortels.

. Mesures couplées du potentiel de l'eau dans la vascularisation de

façon à pouvoir définir les valeurs entre lesquelles les stomates sont ouverts.

. Taux de croissance en fonction des valeurs du déficit de saturation hydrique des tissus foliaires (DSH) et du potentiel hydrique du sol (Ψ_{sol}) et des feuilles (Ψ_{feuille}).

b) Etude de leur aptitude à l'éviter :

. Examen de l'absorption racinaire en fonction des valeurs du potentiel en eau du sol.

. Transit de l'eau à travers la plante (gradient de potentiel sol-racines-tiges et feuilles).

Il est souhaitable dans cette étude, de disposer de jeunes plants (1 à 2 mois) de plusieurs variétés.

c) Eff icience transpiratoire :

. Consommation en eau d'un couvert d'*Eucalyptus*, au cours d'une année.

. Efficience de l'alimentation en eau (rapport entre les quantités consommées par surface unitaire et la production de matière sèche de la plante).

PLANNING JANVIER 1984-DECEMBRE 1986

IX - PLAN DE TRAVAIL JANVIER 1984 - DECEMBRE 1986

I. JANVIER 1984 - DECEMBRE 1984

A. Bilan hydrique

- 1/ Suivi régulier des mesures de sonde dans les parcelles d'essais d'écartement
- 2/ Achèvement de l'équipement en tubes de sonde de la parcelle 1 et continuation des mesures
- 3/ Suivi bimensuel du bilan hydrique des parcelles 5 et 8
- 4/ Expériences d'infiltration et ressuyage avec installation de tensiomètres.

B. Ecophysiologie

- 1/ *Ecophysiologie de l'Eucalyptus camaldulensis et de l'Eucalyptus microtheca en conditions contrôlées*
- 2/ *Ecophysiologie de l'Eucalyptus camaldulensis de la parcelle 8.*

II. JANVIER 1985 - DECEMBRE 1985

A. Bilan hydrique : Suivi des 4 parcelles (1, 5, 8, essai écartement)

B. Ecophysiologie

- 1/ *Eucalyptus camaldulensis + autres Eucalyptus*
- 2/ *Etude de l'aspect racinaire de l'Eucalyptus camaldulensis au laboratoire.*

III. JANVIER 1986 - DECEMBRE 1986

A. Bilan hydrique

- 1/ Suivi des parcelles
- 2/ Etude du cycle hydrologique dans une plantation d'*Eucalyptus camaldulensis* et sous forêt naturelle

B. Ecophysiologie : Continuation au vu des résultats obtenus

C. Biomasse

Remarque

1/ Le poste météo du PARFOB sera suivi pendant tout ce temps.

2/ Les mensurations seront réalisées au même rythme (1 fois par mois).

Nous exposons assez succinctement les deux protocoles relatifs à l'étude de l'enracinement par les minirhizotrons et à celle du cycle hydrologique, ainsi que le compte prévisionnel janvier 1984 - décembre 1984.

X - ETUDE DE L'ENRACINEMENT PAR LES MINIRHIZOTRONS

Les racines, ne serait-ce que par leur rôle lié au prélèvement d'eau, ne peuvent être passées sous silence dans une étude de bilan hydrique. Nous connaissons aussi l'effet rhizosphère sur les modifications des propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols (ameublement, acidification, télétoxie, etc) .

Nous savons également :

- 1/ que la réserve utile du sol (R.U) est sensiblement proportionnelle à la profondeur d'enracinement
- 2/ que la RFU représente une fraction de R.U d'autant plus importante que le système racinaire est profond
- 3/ que la RFU croît avec la densité du système racinaire .

Les travaux de HALLAIRE (1963) et de BALDY (1963) ont abouti à l'idée qu'en exploitant plus intensément un grand volume de sol, on arrivait à une meilleure alimentation en eau des cultures.

Si on se réfère plus précisément à la notion de potentiel efficace,

$$\Psi_e = \Psi_{(H)} + K \frac{L}{\lambda} \frac{dH}{dt}$$

$$\Psi_{(H)} = \text{potentiel matriciel}$$

K = coefficient

L = longueur moyenne de parcours de l'eau dans le sol jusqu'aux racelles

$\frac{dH}{dt}$ = vitesse de dessèchement

et après analyse des différents termes de l'équation, on parvient à constater que Ψ_e sera d'autant plus faible et l'évaporation d'autant moins réduite que l'exploration du sol se fera plus intensément et plus profondément.

Pour toutes ces raisons et pour bien d'autres, nous estimons fondamental de regarder cette partie cachée de la plante ; ce sera une fois de plus pour nous, l'occasion d'avoir la primeur de débiter de telles recherches sur les arbres forestiers du Sénégal.

Pour ce faire, nous n'envisageons pas l'installation de chambres souterraines d'observation (HOFFMAN, 1974) mais simplement l'utilisation de ces grands tubes parallélépipédiques en verre ou en plexiglass transparent appelés minirhizotrons.

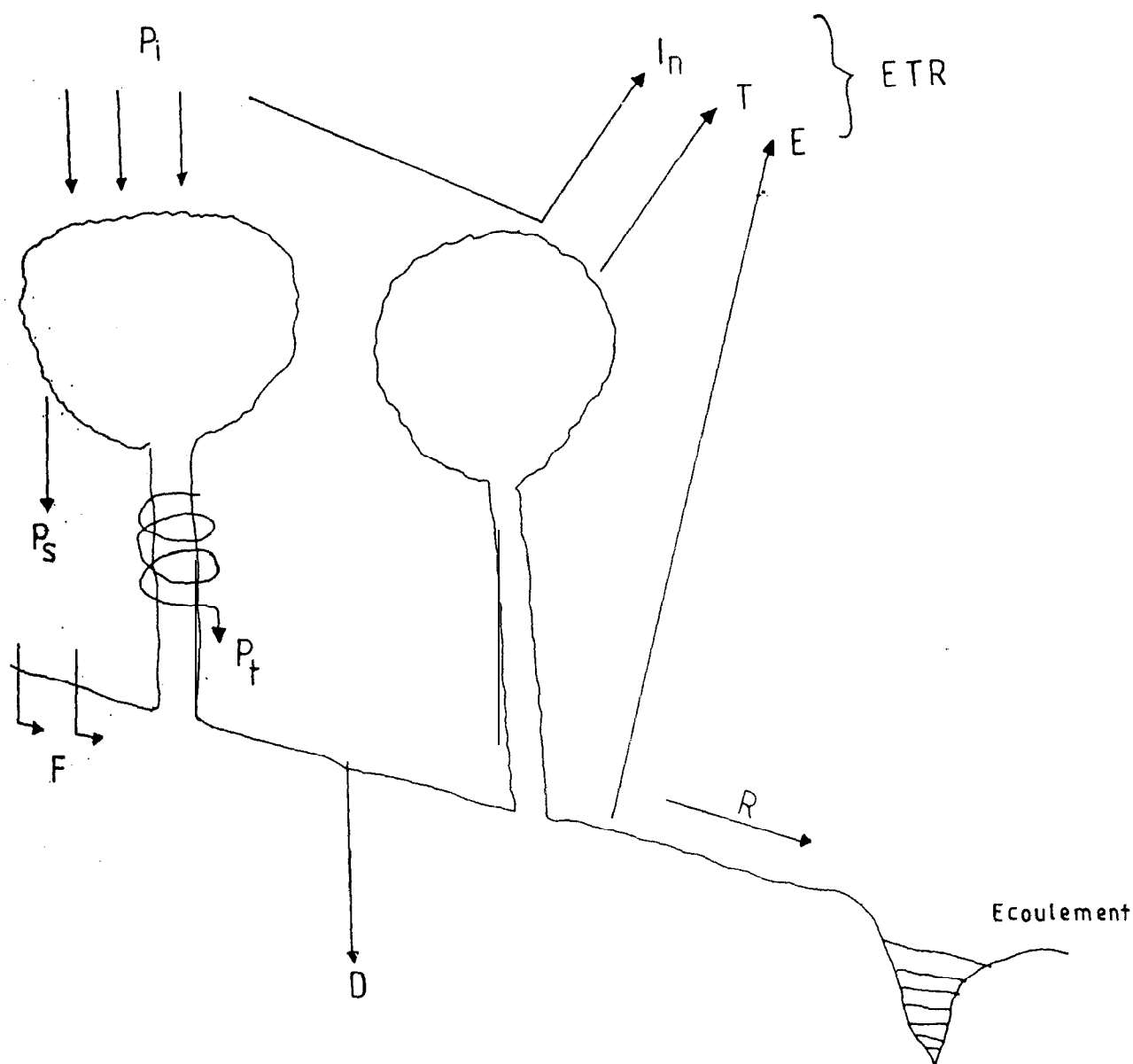
En utilisant le mécanisme physiologique du géotropisme, et en inclinant les minirhizotrons à 30 ou 45° par rapport à la verticale, nous aurons les racines qui se plaqueront contre la face du plexiglass. Il devient alors possible d'étudier la morphogénèse, la croissance, le type d'extension, le tropisme et la durée de vie des racines aussi bien en "conditions naturelles", qu'en conditions contrôlées. Toutes les situations pourront être reproduites [obstacle, nappe temporaire, irrigation, stress, etc).

L'analyse de diagrammes individuels de croissance, la recherche de relations entre le nombre de racines, leur vitesse d'allongement et les facteurs climatiques, la modélisation de la croissance rythmique, la tentative de relier les croissances aérienne et souterraine permettront de déboucher sur des applications concrètes du potentiel de régénération et du potentiel de croissance des racines.

Une synthèse bibliographique a été faite par OPPENHEIMER (1961) sur la vitesse de croissance des racines, leur adaptation et leurs propriétés anatomiques chez les xerophytes.

La conception du minirhizotron, les détails techniques et l'enregistrement des données ont fait l'objet d'une intéressante publication (RIEDACKER, 1974) .

Figure n°14: Le cycle hydrologique en forêt



- P_i = Précipitations incidentes
- P_s = Précipitations
- P_t = Ecoulement le long des troncs
- F = Drainage latéral superficiel
- D = Drainage profonde

- I_n = interception
- T = Transpiration
- E = Evaporation du sol
- R = Ruissellement
- ETR = Evapotranspiration réelle

XI - ETUDE DU CYCLE HYDROLOGIQUE

1° - THÉORIE DU CYCLE

Le but principal de cette étude est d'étudier le circuit de l'eau de pluie, c'est-à-dire sa distribution au niveau d'un peuplement d'*Eucalyptus camaldulensis*.

La pluie qui arrive sur un peuplement est dite "pluie incidente" (Pi) ; elle se répartit de la façon suivante :

une fraction arrive immédiatement du sol (Ps) soit directement, soit en passant à travers la couronne ; les deux actions sont, le plus souvent, simultanées ;

une autre partie termine sa course au sol mais en s'écoulant le long des troncs (Pt) ;

le tiers restant est recueilli par le feuillage ; il ne parvient pas au sol ; c'est l'interception I. Il est obtenu par la différence :

$$I = P_i - (P_s + P_t)$$

Le cycle hydrologique (figure 14) permet de voir que l'interception est une perte pour le système en question. Des auteurs pensent cependant qu'une fraction de cette eau interceptée serait consommée par le feuillage et qu'une autre partie qui partirait par évaporation réduirait la transpiration, d'où un effet tampon au niveau du bilan.

Nous essayerons de voir à partir de quelle hauteur de pluie l'interception n'est plus maximale (100 %) et ainsi nous déterminerons ce qu'on appelle la capacité de saturation des couronnes (S). Plusieurs méthodes sont utilisées (droit de regression, formule de LEONARD, 1967 etc). Nous comptons profiter d'averses nocturnes importantes et continues pour chiffrer la capacité de saturation.

2° - DISPOSITIF DE MESURE

Nous éliminerons les arbres de bordure et après un tirage pour la désignation des emplacements, nous placerons une vingtaine de pluviomètres à lecture directe (type SPEIA) sous le peuplement. En faisant une moyenne, nous aurons une approximation de Ps.

.../...

Pour la mesure de Pt, nous n'aurons certainement pas la possibilité d'installer un collier fait de feuillard autour de chaque arbre. L'arbre moyen sera donc choisi pour représenter le peuplement puisqu'une corrélation lie l'écoulement au diamètre de l'arbre (DELFS, 1967).

Le volume d'eau collecté sera rapporté à la surface d'épandage et pourra ainsi être exprimé en hauteur d'eau. Puisque 1 millimètre de pluie correspond à 40 cc, il sera facile de mettre au point des équations pour transformer la valeur de Pt qui est égale à

$$\frac{\sum_{n=1}^n Pt \times N}{De \dots \dots \dots n(Sp \cdot G)}$$

Pt = volume recueilli

N = nombre d'arbres du plateau

n = nombre d'arbres-échantillon

Sp = surface du plateau

G = surface terrière des arbres du plateau

3° - RÉSULTATS BIBLIOGRAPHIQUES

Elles peuvent se résumer à une étude très complète dans le temps et dans l'espace, faite par KARSCHON (1971) [Central Coastal Plain en Israël] sur *Eucalyptus camaldulensis*. Elle a duré 8 ans : 4 ans avant la première coupe et 4 ans après. Nous nous contenterons d'exposer ses résultats ; nous comptons faire la même étude et mieux, nous suivrons le peuplement durant toute la deuxième rotation. Nous serons à mi chemin de la révolution quand nous mettrons en place notre dispositif.

Evolution de l'interception sur les 8 années d'observation

<u>Année</u>	<u>Pi [mm]</u>	<u>I (mm)</u>
1962/63	518,5	77,3
63/64	722,6	99,2
64/65	794,6	123,9
65/66	525,1	86,1
<u>Moyenne</u>	<u>640,2</u>	<u>96,6</u>
1966/67	847,4	
67/68	440,9	23,5
68/69	881,9	40,9
69/70	562,9	40,2

.../...

Pi, Ps, Pt, Ps + Pt, 1 pour les trois années qui suivent la première coupe

Facteur	1967/1968		1968/1969		1969/1970	
	mm	% Pi	mm	% Pi	mm	% Pi
Pi	440,9	100,0	881,9	100,0	562,9	100,0
PS	409,5	92,9	830,0	94,1	511,4	90,9
Pt	7,9	1,8	11,0	1,3	11,3	2,0
! PS + Pt !	417,4	94,7	841,0	95,4	522,7	92,9
1	23,5	5,3	40,9	4,6	40,2	7,1

La capacité de saturation est de :

- 0,2 mm en 1967/68
- 0,1 mm en 1968/69
- 0,3 mm en 1969/70.

Nous retiendrons aussi le chiffre de 4 % Pi qui représente l'interception moyenne des *Eucalyptus* (MILLET, 1944) .

XII - COMPTE PREVISIONNEL

Janvier 1984 - décembre 1984

1. FONCTIONNEMENT

Compte 61 : Matières et fournitures consommées

- Carburant	800 000 F
- Documentation	50 000 F
- Fournitures de labo	200 000 F

Compte 65 : Frais de personnel

- Salaire personnel permanent	600 000 F
- Main d'oeuvre temporaire	100 000 F
- Indemnités versées au personnel	500 000 F

2 250 000 TTC

II. EQUIPEMENT

- Pluviomètres	200 000 F
- Minirhizotrons	250 000 F

450 000 HT

ETUDE DU BILANHYDRIQUE

XIII - BILAN HYDRIQUE D'UNE PARCELLE

D'EUCALYPTUS CAMALDULENSIS

1° - NOTION DE BILAN

Il est à tout moment souhaitable pour le forestier de faire un bilan d'eau au niveau de ses parcelles. La composante hydrique prend une grande importance dans nos régions où le problème de l'eau se pose avec acuité. HILLEL (1974) assimile le bilan hydrique à la loi de la "conservation de la matière" ; c'est-à-dire que pour un volume de sol donné, la teneur en eau ne peut augmenter sans apport venant de l'extérieur (infiltration, remontée capillaire) et ne peut diminuer sans départ d'eau vers l'atmosphère par évapotranspiration ou en profondeur par drainage.

Un mouvement d'eau a besoin d'énergie ; il est, par conséquent logique de lier les deux notions de bilans énergétique et hydrique, Trois conditions sont nécessaires pour écrire l'équation du bilan d'eau ; il faut :

- a) que l'état initial (humidité) du sol soit égal à l'état final
- b) que le volume et les caractéristiques du sol ne varient pas
- c) que le sol ne reçoive pas d'eau à partir d'une nappe phréatique.

On a alors : $P_i = E + T + I_n + D + F + R \pm \Delta S$

P_i = précipitations incidentes

T = transpiration

I_n = interception nette

D = drainage profond

E = évaporation du sol

F = drainage superficiel

R = ruissellement

ΔS = variation du stock d'eau dans le sol

2° - DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

Un protocole expérimental pour l'évaluation du bilan hydrique de plantation d'*Eucalyptus camaldulensis*, de la forêt naturelle d'*Acacia seyal* et d'un sol nu avait été proposé (AUSSENAC, BAILLY, 1981, 1983).

Ces trois situations avaient les particularités suivantes :

- a) les plantations d'*Eucalyptus camaldulensis* ont été effectuées les 27 et 28 juillet 1981 avec une lame d'eau cumulée de 88,7 mm ;
- b) la forêt naturelle était âgée de 30 - 40 ans ;
- c) le terrain nu était entretenu à la même fréquence que la parcelle d'*Eucalyptus*.

Douze (12 j tubes d'accès à la sonde (en duralumin - diamètres exté-

Schéma n° 4

Sonde gammaneutronique CAMPBELL'

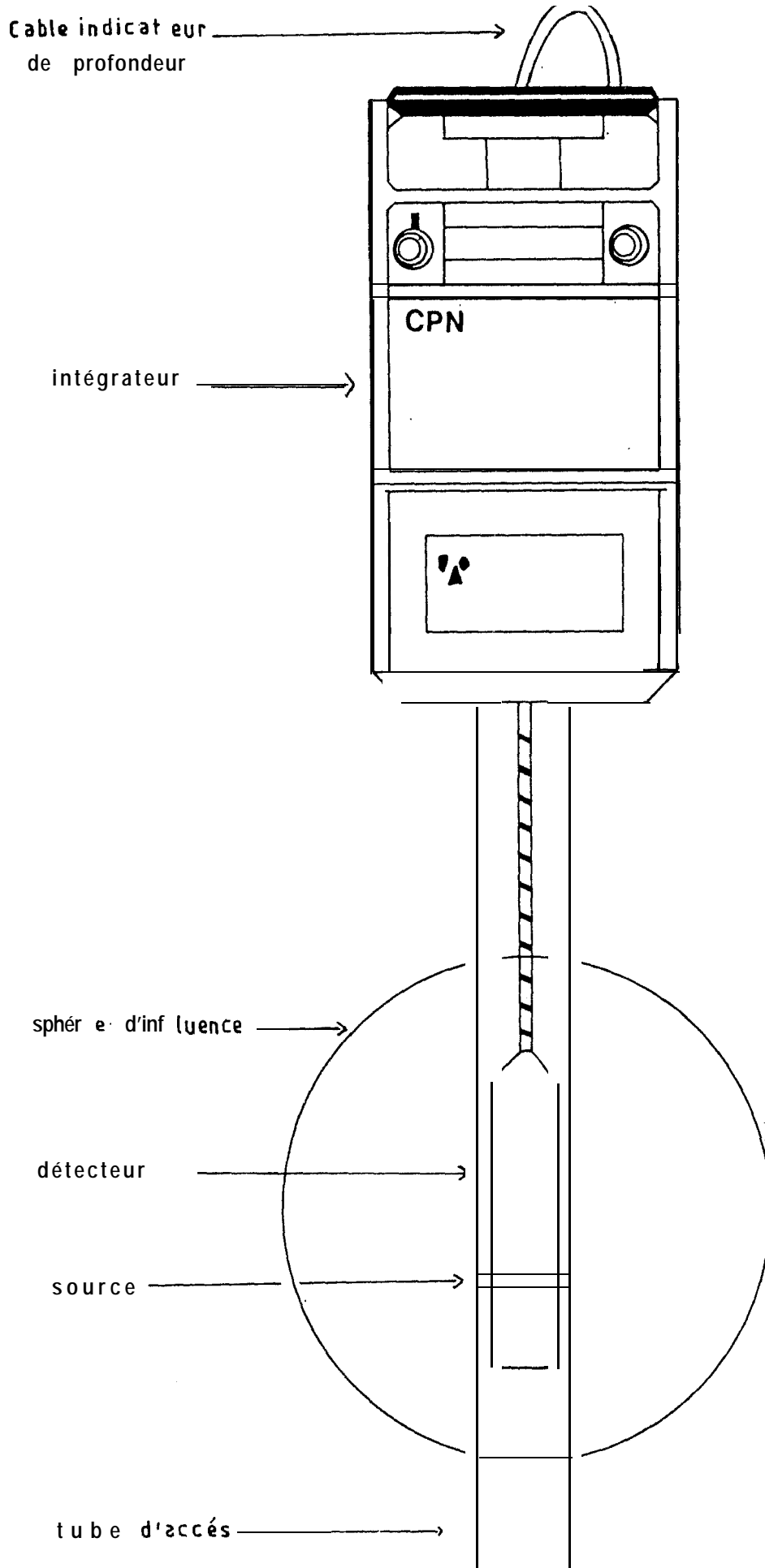
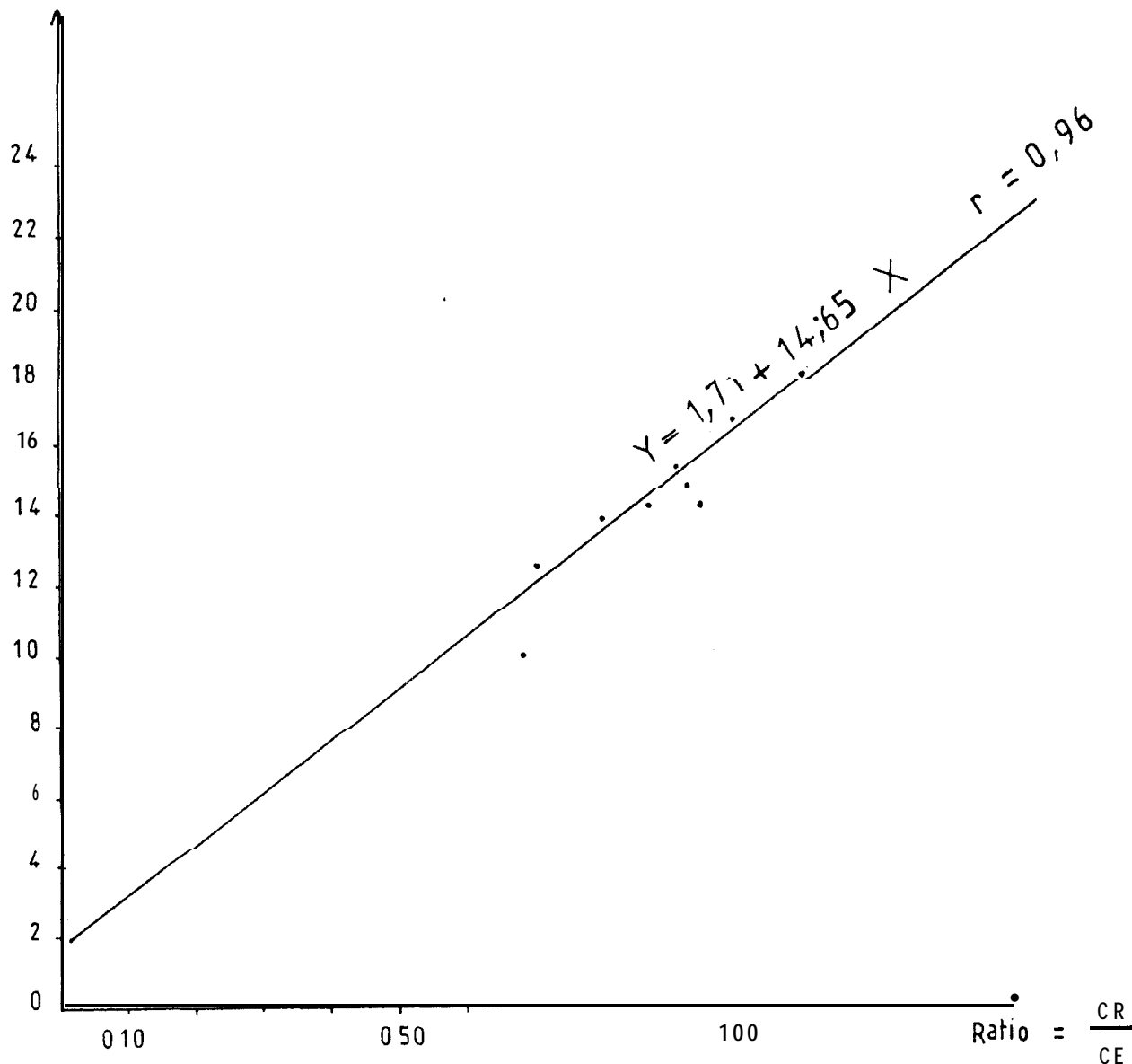


Figure n° 15

Droite d'étalonnage déterminée par la méthode gravimétrique

Humidité volumique (%)



CR = comptage réel

CE = comptage étui

rieur et intérieur 45 et 41 mm - longueur totale 3 mètres) ont été installés de la façon suivante :

- 5 tubes sous les *Eucalyptus* suivant 5 rayons passant par un même arbre et à des distances de l'arbre variant de 3,0 m à 0,5 m
- 3 tubes en terrain nu
- 4 tubes sous les *Acacia seyal*.

Une tôle métallique, enfoncée à 15 cm de profondeur supprime le ruissellement.

Il faut signaler qu'une tarière de même diamètre doit être utilisée afin d'éliminer les éventuels écoulements d'eau préférentiels.

Ce dispositif est en place dans les parcelles 5 et 8. L'équipement de la parcelle 1 n'est pas encore achevé.

La parcelle d'*Eucalyptus* a une densité de plantation de 595 arbres à l'hectare (écartement d'environ 4,0 m X 4,20 m).

Le terrain nu et la parcelle d'*Eucalyptus* sont contigus et font la même surface (0,13 ha')

3° - PRINCIPE DE LA SONDE À NEUTRONS

Les mesures de l'humidité volumique sont faites en moyenne une fois par mois, à l'aide d'une sonde gammaneutronique (CAMPBELL modèle 501 B) (schéma n° 4).

Le principe de la mesure repose sur la propriété qu'ont les atomes d'hydrogène contenus dans l'eau, de thermaliser facilement les neutrons rapides (DAUDET, 1970).

La source de neutrons rapides (*Americium-Beryllium*), couplée à un détecteur de neutrons thermiques, est descendue dans le tube d'accès à l'aide d'un câble. La graduation de cet indicateur de profondeur est faite en fonction de la hauteur hors sol du tube et du niveau de mesure indiqué sur le cylindre extérieur par une gorge située dans notre cas à 18,67 cm de la base. Les neutrons rapides sont expulsés sous le choc des rayons de particules (noyaux d'hélium) et des atomes de beryllium. La sonde est chauffée une dizaine de minutes avant le début des mesures. Le temps de comptage a été fixé à 15 secondes et la valeur qui est affichée sur l'écran représente l'ensemble des particules enregistrées par le détecteur.

TABLeAU N°5

VALEURS DU STOCK D'EAU (S) ET DE
SA VARIATION (ΔS) EN MM
SUR 105cm DE PROFONDEUR POUR 2 ANNEES DE MESURES
D'HUMIDITE

Date des mesures	EUCALYPTUS		FORET NATURELLE		TERRAIN NU	
	S (mm)	ΔS (mm)	S (mm)	ΔS (mm)	S (mm)	ΔS (mm)
2.12.81	168,94	- 21,01			148,34	- 5,07
23.06.82	147,93	+ 27,56	124,23	+ 12,23	143,27	+ 38,27
20.10.82	175,49	- 19,84	136,46	- 8,22	181,54	- 13,06
3.12.82	155,65	- 9,81	128,24	- 3,96	168,48	- 17,89
7.06.83	145,84	+ 1,85	124,28	+ 2,7	150,59	+ 6,12
6.10.83	147,69	- 2,17	126,98	- 2,58	156,71	- 6,05
12.12.83	145,52		124,40		150,66	

Trois comptages sont faits sur une surface de référence (caisse de transport de la sonde] avant le début des mesures et trois autres à la fin. Cela nous permet de suivre la stabilité de la sonde et de faire une moyenne qui correspond au comptage étui (comptage standard). A chaque palier de mesure du tube, on réalise 2 comptages, leur moyenne est appelée comptage réel (comptage in situ).

Le rapport $\frac{\text{comptage réel}}{\text{comptage étui}}$ donne le ratio.

La valeur trouvée est alors transformée en humidité volumique à l'aide de notre droite d'étalonnage (figure 15) établie par la méthode gravimétrique. Les coefficients du constructeur ont donc été réajustés en fonction du site.

4° - RÉSULTATS - DISCUSSIONS

Ce sont ceux de la parcelle 8. L'évapotranspiration a été exprimée, après simplification, en fonction de la pluie incidente et de la variation du stock d'eau dans le sol.

Nous disposons des teneurs en eau moyennes à chaque palier de mesure pour le peuplement d'*Eucalyptus*, le terrain nu et la forêt d'*Acacia* (ANNEXES VI, VII, VIII). Les données existent pour toute la longueur utile du tube (265 cm) mais nous n'avons fait le bilan que sur 105 cm de profondeur (tableau n°5 - figure 16) ; et ceci pour deux raisons principales .

1/ nous estimons que le système racinaire ne dépasse pas le premier mètre
2/ on note une certaine stabilité après 1 mètre de profondeur ; ce qui laisse supposer que la dynamique d'humidité se localise généralement dans cette zone superficielle.

Il est évident que le bilan peut être fait à tous les niveaux jusqu'à 265 cm ; nous avons calculé le stock total d'eau et sa variation de décembre 1981 à décembre 1983 sur toute la longueur utile du tube (ANNEXE IX) .

En tenant compte aussi de la zone d'influence de la sonde qui est sphérique, on fait finalement le bilan sur 115 cm environ. Notre choix reste cependant discutable, mais se justifiera certainement lorsqu'en plus des excavations racinaires, nous aurons déterminé les flux d'eau. Il nous faudra, en effet, connaître le gradient de potentiel pour la détermination du sens de la perte en eau.

TABLEAU N°6

RESULTATS DE L'EVAPOTRANSPIRATION REFILE (ETR)
DE LA PARCELLE 8 PENDANT 2 ANNEES DE SUIVI HUMIDIMETRIQUE

PERIODE DE MESURES	Pi (mm)	EUCALYPTUS		FORET NATURELLE		TERRAIN		NU
		ΔS (mm)	ETR (mm)	ΔS (mm)	ETR (mm)	ΔS (mm)	ETR (mm)	
2.12.81 au 23.6.82	°	- 21,01	21,01	-	-	- 5,07	5,07	
23.6.82 au 20.10.82	443	+ 27,56	415,94	+ 12,23	431,27	+ 38,27	405,23	
° 8z au 3.12.82	°	- 19,84	19,84	- 8,22	8,22	- 13,06	13,06	
20.1	°	- 9,81	9,81	- 3,96	3,96	- 17,89	17,89	
3.12.82 au 7.6.83	z 466	+ 1,85	244,75	+ 2,7	243,9	+ 6,12	240,48	
7.6.	°	- 2,17	2,17	- 2,58	2,58	- 6,05	6,05	
6.10.								
12.12.83								
TOTAL	690,10	23,42	713,52	0,17	689,93	2,32	687,78	

Le bilan hydrique sur deux années et pour une profondeur de 105 cm (période du 2/12/1981 au 12/12/1983) nous donne, pour une pluviométrie de 690,10 mm, une évapotranspiration réelle (ETR) de 713,52 mm ; le stock a donc baissé de 23,42 mm (tableau n°6). Nous pensons qu'il n'est pas significatif de calculer une consommation moyenne annuelle, compte tenu de la grande variation pluviométrique entre ces deux années.

Le tableau ci-après est intéressant à examiner ; il représente la variation annuelle du stock d'eau (AS en mm).

Période	Pi (mm)	Eucalyptus	Acacia	Terrain nu
Décembre 81 - décembre 82	443,5	- 13,29	-	+ 20
Décembre 82 - décembre 83	246,6	- 10,13	-4	- 17,82

On constate que l'*Eucalyptus* a régulé sa consommation en fonction de la pluie incidente. De décembre 1982 à décembre 1983, il a plu moins que l'année précédente et l'*Eucalyptus* a, de fait, réduit son prélèvement.

Il serait intéressant de faire une analyse analogue pour l'*Acacia* mais, en décembre 1981, les tubes d'accès n'étaient pas encore installés en forêt naturelle ; on peut cependant noter la faible variation annuelle du stock d'eau.

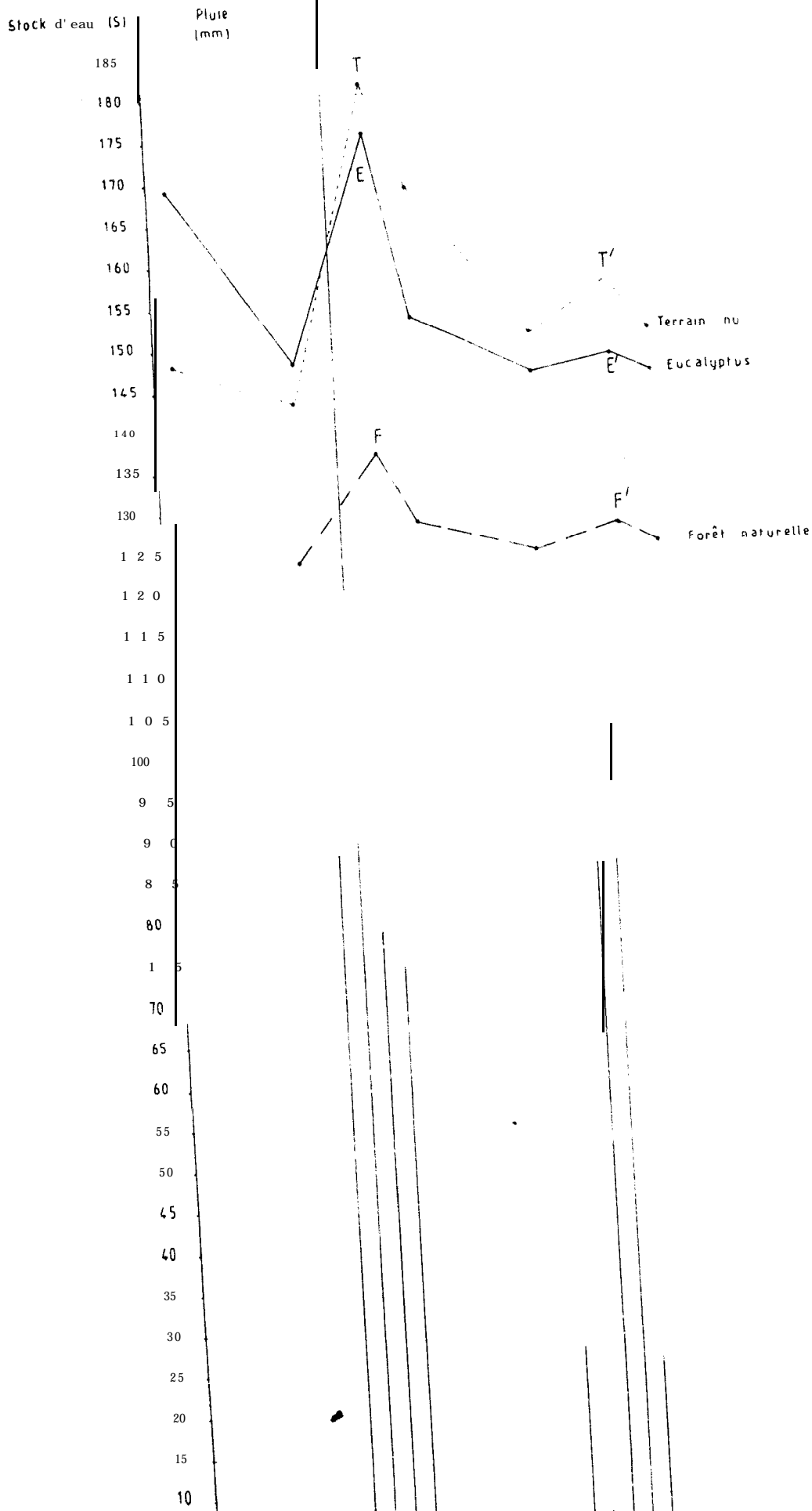
Au niveau du terrain nu, la recharge s'était faite pendant la première année où le seuil des 400 mm était dépassé tandis que cette année, on a enregistré une perte presque équivalente au gain précédent.

W. de Paula LIMA et O. FREIRE (1976) ont fait un travail très intéressant sur l'ETR de plantations d'*Eucalyptus* et de pins et d'une végétation naturelle herbacée,

Nous avons utilisé le même protocole expérimental mais, eux, ont travaillé sur 1 hectare d'*Eucalyptus saligna* et avec des périodes de mesures très caractéristiques de leur zone (Portugal). Nous essayerons ultérieurement d'exploiter leurs résultats ; nous signalons, cependant une ETR moyenne journalière de 2 mm environ.

A notre connaissance, l'étude la plus complète qui ait été faite

Figure n° 16: Variation du stock d'eau sur 105 cm de profondeur de la parcelle 8 en fonction de la pluie incidente de Décembre 1981 à Décembre 1983



pour la détermination de l'ETR de l' *Eucalyptus camaldulensis*, est l'oeuvre de KARSCHON et HETH (1967) : quatre (4) années de suivi hydrique dans une plantation d' *Eucalyptus* de 0,1 ha et d'un terrain nu de 0,6 ha. Les *Eucalyptus* avaient 9 ans au début des mesures. Ils trouvent une ETR moyenne annuelle de 466 mm pour le peuplement et 322 mm pour le terrain nu (144 mm de différence) .

Le bilan est fait sur 1,20 m avec une quantification de tous les paramètres de l'équation.

Le bilan global de deux années de suivi hydrique (tableau n° 6) interpelle le chercheur qui se doit de faire certaines recommandations. On constate trois situations :

- a) le stock d'eau sous *Eucalyptus* baisse ($ETR > P_i$)
- b) en forêt naturelle, il y a un équilibre entre les entrées et les sorties ($ETR \simeq P_i ; \Delta S \simeq 0$)
- c) en terrain nu, on observe un léger gain (il faut remarquer que ce gain est obtenu au mois de décembre ; il faut donc s'attendre à un déficit dès le mois de janvier).

Ce dernier point n'est certainement pas à retenir ; choisir une telle solution revient à condamner le forestier à la passivité, ce qui, évidemment, est contraire à son rôle de reboiseur. Il est, par conséquent, irrationnel de provoquer des déficits hydriques en soumettant le sol à la seule action évaporative.

Laisser toute la forêt naturelle à l'aménagiste n'est pas, à notre avis, envisageable dans des situations comme la nôtre (Bandia) : la croissance n'est pas rapide (nos peuplements ont 30 à 40 ans malgré leurs faibles caractéristiques dendrométriques). L'aménagement de telles forêts, même s'il est maîtrisé (ce qui n'est pas évident) est difficilement réalisable (coupes illicites, problèmes de régénération etc).

Obtenir un rendement soutenu tout en assurant la pérennité de la forêt naturelle dans une zone où le bois et l'eau deviennent de plus en plus rares est, à notre avis, une tâche très difficile. Maintenir partout la forêt naturelle afin d'équilibrer le bilan d'eau ne nous semble pas être une solution à court terme.

■ Il reste maintenant la solution qui consiste à entreprendre des actions de reboisement. La présente étude s'inscrit dans le cadre d'un volet

de recherches d'accompagnement, le site et l'espèce ont donc été choisis et il nous est demandé de faire un bilan d'eau.

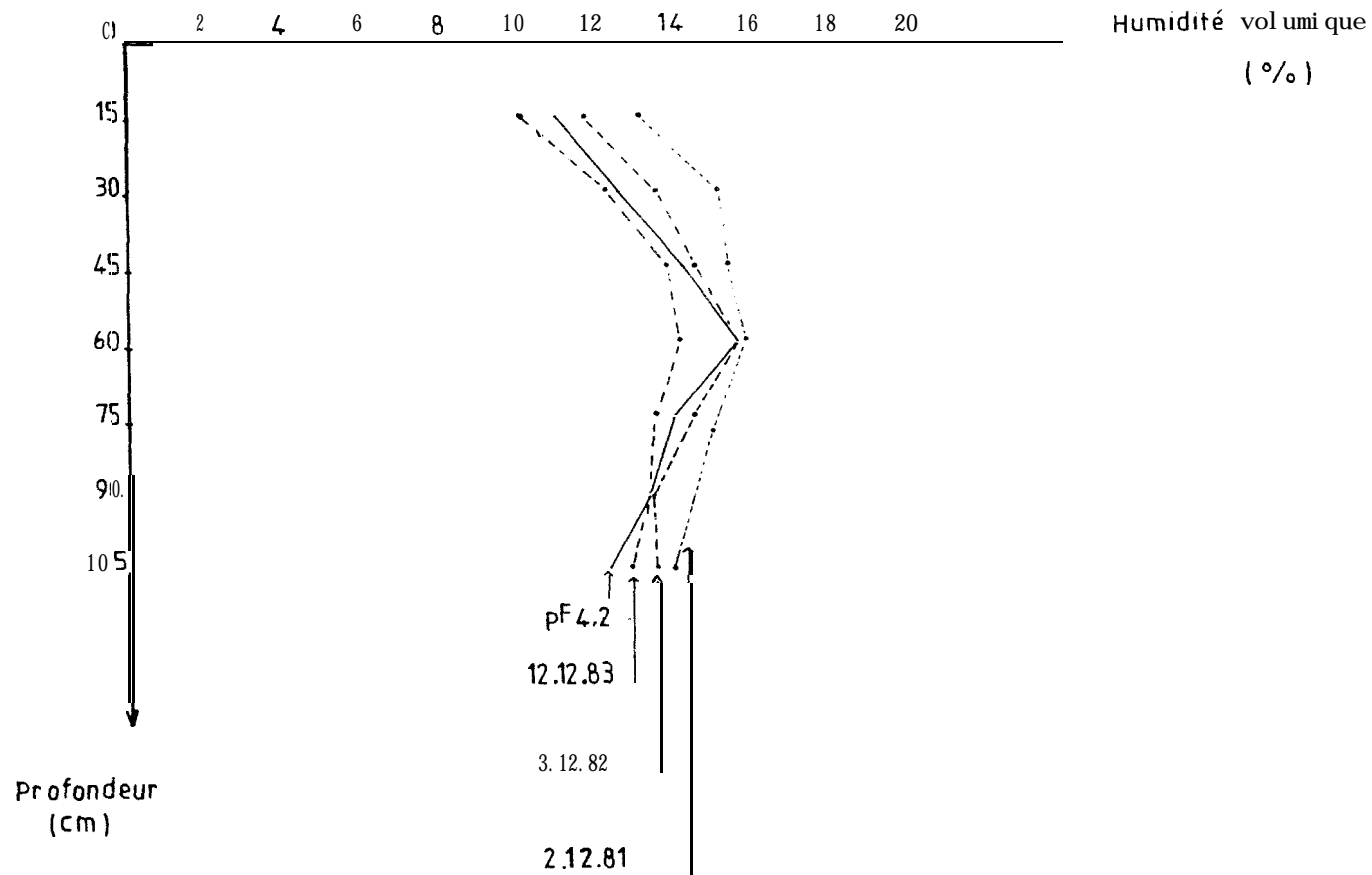
Il est logique d'avoir certaines appréhensions quand on note la progression, d'une année sur l'autre, de l'humidité du sol au mois de décembre par rapport à celle correspondant au pF 4,2 (figure 17),

Si la tendance à la baisse pluviométrique se poursuit, il est à craindre que nous ayons sous peu, de fortes mortalités.

Par contre, si on retrouve les 400 mm qui sont supposés être la moyenne pluviométrique à Bandia, les *Eucalyptus* continueront, en principe, de croître sans problème. Les dernières mensurations faites au début du mois de décembre, montrent que le peuplement d'*Eucalyptus* a poussé de 10,89 cm en hauteur entre octobre 1983 et novembre 1983, malgré une humidité du sol en deçà du pF 4,2. Il faudra, cependant, s'attendre, dans les mois prochains, à un assez net ralentissement de la croissance et peut-être même à la mort de certains individus.

Nous avons la ferme conviction, et les mesures des deux premières années de démarrage le prouvent, que si la recharge se fait normalement (quantité et répartition) l'année prochaine, en plus de la couverture du sol et de la production de matière ligneuse, il n'y aura pas d'action dépressive sur le régime hydrique.

Figure n° 17 : Evolution de la teneur en eau sur 105 cm aux mois de Décembre (1981-82-83)
 par rapport à celle du pf 4,2 des Eucalyptus de la parcelle 8



CONCLUSIONS GENERALES

XIV-CONCLUSIONS GÉNÉRALES

Il est de coutume, qu'au terme d'une telle étude, l'on tire des conclusions (fussent-elles partielles) à partir des résultats acquis ou des informations obtenues.

Nous nous sommes efforcés, autant que possible et tout au long de ce mémoire, de le faire après chaque partie traitée et de dégager, si le besoin s'en faisait sentir, des perspectives d'avenir.

Nous retiendrons cependant la capacité de l'*Eucalyptus camaldulensis* à supporter d'importantes sécheresses sans perdre ses feuilles.

Nous avons également vu que c'est une espèce qui adapte sa transpiration en fonction de l'eau dont elle dispose ; et ceci au prix d'une réduction sensible de sa croissance.

Contrairement à ce que l'on pourrait croire, si la recharge se fait comme il se doit, il n'y a pas lieu de craindre que la ponction de l'*Eucalyptus camaldulensis* perturbe de manière significative le régime hydrique.

Au delà de ces informations qu'il faudra à nouveau confirmer par l'expérimentation, et qui devront être des acquis de la Recherche forestière, Le projet de Bandia suscite de notre part quelques réflexions très simples.

Produire du bois de feu pour la satisfaction immédiate des besoins qui sont de plus en plus exprimés, et pour la réduction de la pression sur la forêt naturelle, constitue un objectif très louable.

Cependant, il est difficile d'exiger d'un arbre un certain diamètre d'exploitabilité en une si courte révolution (7 ans), si l'offre hydrique n'est pas à la dimension de ce qu'on attend de lui,

Il existe dans cette région marginale des sites où la forêt naturelle atteint un stade de dégradation avancé ; dans de tels endroits et dans les zones déboisées, il est souhaitable de mener des actions ponctuelles de reforestation.

A notre avis, c'est ce genre d'opérations très prudentes qu'il faut entreprendre dans des régions aussi défavorisées et méconnues et c'est à partir des contraintes écologiques qu'il faut fixer les objectifs de reboisement.

BIBLIOGRAPHIE

B I B L I O G R A P H I E

- (J - G) , 1956. Les *Eucalyptus* de la presque île du Cap-Vert et de quelques régions de l'Afrique occidentale française.
Journal d'Agriculture tropicale et de Botanique appliquée
vol. 3 sept. oct. 1956. n° 9 - 10
- 1982. Climatologie. ORSTOM - Dakar
- AUSSENAC (G), GRANIER (A), 1978. Quelques résultats de cinétique journalière du potentiel de sève chez les arbres forestiers
Ann. Sc. forest., 1978, 35 (1), 19 - 32
- AUSSENAC (G), 1981, 1983. Compte rendu de mission au Sénégal. CNRF Dakar
- AWE (J. O) , SHEPHERD (K. R) , FLORENCE (R. G) , 1976. Root development in provenances of *Eucalyptus camaldulensis* De hnh. Australian forestry
vol. 39 n° 3.
- BALDY (Ch), 1978. Utilisation d'une relation simple entre le bac classe A et la formule de PENMAN pour l'estimation de l'ETP en zone soudano-sahélienne.
Ann. agron. 29 (5) , 439 - 452.
- BALDY (Ch), 1964. Potentiel matriciel de l'eau dans le sol et tension superficielle de l'eau.
L'eau et la production végétale. INRA, 1964.
- BAILLY (C. R), 1983. Bilan du programme de recherche d'accompagnement du PARFOB. CNRF - Dakar.
- BELLOCQ (A), 1983. Atelier sur "les méthodes d'inventaire et de surveillance continue des écosystèmes pastoraux sahéliens. Application au développement". 1 SRA - Dakar.
- BIROT (Y), 1972. Bioclimatologie et dynamique de l'eau dans une plantation d'*Eucalyptus*. Cahiers scientifiques n° 1. C.T.F.T.
- BONNEAU (M), 1961. Evaluation au laboratoire de la capacité au champ en fonction de la texture. Bull. A.F.E.S. 8, 16 - 26 N° spécial.
- BOCQUEL (G), SUAVIN (L), 1972. Inhibition de la nitrification par les extraits aqueux de litières de *Teck* et de *Niaouli*.
Rev. écol. biol. Sol, T. IX, 4, pp. 641 - 654

- . BROCHET (P) , GERBIER (N) , 1975. L'évapotranspiration. Aspect agrométéorologique. Evaluation pratique de l'ETP.
Monographie n° 65 de la Météo nationale - Paris.
- . CHARREAU (C), 1961. Dynamique de l'eau dans deux sols du Sénégal.
Agron. trop. vol. XVI n° 5.
- . CISSOKHO (C) , 1983. La place de l'*Eucalyptus* dans la politique forestière du Sénégal. CNRF - Dakar.
- . DANCETTE (C), 1973. Mesures d'ETP et d'évaporation d'une nappe d'eau libre au Sénégal. CNRA - Bambey.
- . DAUDET (F. A), 1970. Méthodes et Techniques d'étude de l'état de liaison et de la teneur en eau dans le sol et la plante.
In Techniques d'études des facteurs physiques de la biosphère.
INRA - 325 - 338.
- . DELFS (J), 1967. Interception and stemflow in stands of Norway spruce and Beech in West Germany. In International Symposium on Forest Hydrology, 179 - 185. Pergamon Press, 1967. Sopper W.E et Lull. H. W.
- . DELWAULLE (J. C), 1970. Note sur l'origine des graines d'*Eucalyptus* introduits au Niger. C.T.F.T. Niger - Haute-Volta.
- . DOMMERGUES (Y), 1956. Etude de la biologie des sols de forêts tropicales sèches et de leur évolution après défrichement.
VI^e Congrès int. Sc. Sol Paris, V, 98, 605 - 610.
- . ELDRIDGE (K. G) , 1975. An Annotated Bibliography of Genetic Variation in *Eucalyptus camaldulensis*
Tropical Forestry Papers n° 8. CSIRO CANBERRA .
- . FAHN (A) , 1959. Xylem structure and annual rythm of development in trees and shrubs of the desert. III.
Bull. Res. Coun. Israël 7 D 122 - 129.
- . F A O, 1982. Les *Eucalyptus* dans les reboisements .
Collections F A O : Forêts n° 11.
- . FAUCK (R), DABIN (B), PIAS (J), 1967. Les sols de l'aire de l'étude SA
In Une étude d'agroclimatologie de l'Afrique sèche au sud du Sahara en Afrique occidentale.
Projet d'Agroclimatologie F A O/UNESCO/O M M. - Rome.

- . FEODOROFF (A), BALLIF (J. L), 1968. La tension de l'eau à la capacité de rétention. Note provisoire, INRA, Janv. 1968.
- . FLORENZANO (G) , 1956. Ricerche sui terreni coltivati ad eucalitti. [II Ricerche microbiologiche e biochemiche) .
Publ. Cent. Sper. agric. for, I : 131 - 152.
- . FRANCKET (A), 1970. Techniques de bouturage des *Eucalyptus camaldulensis*. Tunis. INAT, Note technique n° 12.
- . GIFFARD (P. L), 1966. Les *Eucalyptus* présentent-ils un intérêt pour le Sénégal ? Bulletin d'information n° 2. Janv. 1966 C.T.F.T. - Dakar.
- . GIFFARD (P. L), 1975. Essais de provenances d'*Eucalyptus camaldulensis* au Sénégal. Doc. interne. CNRF - Dakar.
- . GINDEL (1) , 1968. Some eco-physiological properties of three tree xerophytes grown in desert.
Oecologia plantarum. T 3 n° 1 pp 49 - 67.
- . GRAS (R), 1962. Ann. Agro, 13 (2), 141 - 174
- . HALLAIRE (M), 1964. Le potentiel efficace de l'eau dans le sol en régime de dessèchement. In L'eau et la production végétale. INRA - Paris.
- . HELLER (R), 1969. Biologie végétale. Nutrition et métabolisme. Masson.
- . HILLEL (D), 1974. L'eau et le sol : principes et processus physiques ,
Editions VANDER (Belgique).
- . HENRICI (M) , 1946. The transpiration of South African plant associations. III. Sci. Bull. Dep. Agric. S. Afr. n° 248.
- . HINCKLEY (T) , RITCHIE (G), 1973. A theoretical model for calculation of xylem sap pressure from climatological data.
Am. Midl. Nat. 90 n° 1 pp 56 -59.
- . HOFFMANN (G) , 1974. Untersuchungsverfahren zur Messung des Wurzelwachstums unter feiland bedingungen.
Internationales Symposium Potsdam. Septembre 1971 .
- . IRWING (M) , 1944. A study on the effects of *Eucalypts* on the soil , their nutrient requirements and transpiration.
S. Afr. J. Sci. 37.
- . KAPLAN (J) , . Water relations in *Eucalypts*.
Afforestation Department , Jewish National Fund. Eshtaol .

- . KAYACIK (H), 1941. Gmndlagen der Aufforſtung im Mittelmeergebiet unter besonde rer Berũcksichtigung von Italien und Turkei - Dresden.
- . KARSCHON (R) , 1964. Periodicity of growth in *E. camaldulensis* and *E. gomphocephala*. Leaflet n° 24. pp 1 - 17. Forestry Division - ILANOT.
- . KARSCHON (R) , 1967. Ecotypic variation in *E. camaldulensis*.
In Contributions on Eucalypts in Israël III, 35 - 53.
- . KARSCHON (R), 1970. L'effet de l'irrigation sur la croissance de l'*E. camaldulensis* Dehnh. (Note préliminaire) .
Comm. de l'IVRA. Bet. Degan. Séries 1970. n° 1713 E. 5 pages.
- . KARSCHON (R), 1971. The effect of coppice cutting on the water balance of *E. camaldulensis* Dehnh.
The Israël Journal of Agricultural Research. Vol 21, n° 3 juil. 1971.
- . KARSCHON (R) , HETH (D), 1967. The water balance of a plantation of *Eucalyptus camaldulensis*.
In Contributions on Eucalypts in Israël III, 7 - 34.
- . LACAZE (J. F), 1970. Etude de l'adaptation écologique des *Eucalyptus*.
F.A.O. Comité de la Recherche forestière méditerranéenne.
F.O SCM/FR 70/2/10.
- . LACAZE (J. F) , 1 Y 77. Etude de provenances d'*E. camaldulensis*.
Projet F.A.O. n° 6.
Doc. 3^e Consultation mondiale sur l'Amélioration des arbres forestiers
Canberra.
- . LEONARD (R. E), 1967. Mathematical theory of interception.
In International Symposium on Forest Hydrology. 163 - 178. Pergamon Press.
- . LISON (L) , 1960. Histo chimie et Cytochimie animales. 3^e édition
Gauthier - Villars - Paris.
- . LUBRANO (L), 1967. Recherches sur les besoins de quelques espèces d'*Eucalyptus* en éléments nutritifs.
F.A.O. FO/MMF : 67. Rome.
- . MEMENTO DE L'AGRONOME (1980) . Ministère français de la Coopération
- . METRO (A), 1954. Expérimentation concernant l'emploi des *Eucalyptus* dans les reboisements marocains. In C.R. II^e Cong. IUFRO. Rome 1953. pp 488-499.

- . MILLET (M.R.O), 1944. Evaporation and rainfall inside and outside a forest. Leaf. F.T.B. Australie n° 57.
- . MORAL (R. del), MULLER (C. H), 1969. The allelopathic effects of *Eucalyptus camaldulensis* . The Am. Midl. Nat. 83 (1) .
- . MOURANCHE (R) , 1956. Les *Eucalyptus* à Madagascar. Problèmes fondamentaux de la plaltation. C.T.F.T. - Nogent-Sur-Marne.
- . MOUREAUX (C), 1957. Tests biochimiques de l'activité biologique de quelques sols malgaches. Mém. Inst. sci. Madagascar D VII : 225 - 241.
- . MULLER (), NIELSEN (), 1965. "Production brutes par respiration et production nette dans la forêt ombrophile tropicale. Det. F. F. Danemark n° 225. Vol XXIX p. 59 - 160.
- . NAEGELE (A. F) , 1967. Végétation du Sénégal.
In: Une étude d'Agroclimatologie de l'Afrique sèche au Sud du Sahara en Afrique occidentale.
Projet d'Agroclimatologie F.A.O./UNESCO/ O.M.M. - Rome.
- . OPPENHEIMER (H. R) , 1961. L'adaptation à la sécheresse : le xérophytisme.
In Echanges hydriques de plantes en milieu aride ou semi aride.
C. R. de recherches UNESCO.
- . PAUL LIMA (W. de), FREIRE (O) , 1976. Evapotranspiração em plantações de *Eucalypto* e de Pinheiro, e em vegetação herbacea natural.
I.P.E.F., Piracicaba, (12) : 103 - 117.
- . POUPON (Ii), 1968. Premières études des caractéristiques hydriques des feuilles d'*Eucalyptus camaldulensis* en Tunisie.
Ann. de l'INA Tunisie. Vol 1 pp 1 - 22.
- . QURAIISHI (M. A) , KRAMER (P. J) , 1970. Water stress in three species of *Eucalyptus*, Forest Sciences, 16 (1) , 74 - 78.
- . REVERSAT (F. B), 1981, 1982. Décomposition et incorporation à la matière organique du sol de la litière d'*Eucalyptus camaldulensis* et de quelques autres essences , ORSTOM - Dakar.
- . RIEDACKER (A), 1972. Physiologie des souches d'*Eucalyptus camaldulensis* traitées en taillis au Maroc. Le problème de leur vieillissement.
C. R du 7^e Congrès forestier mondial. Argentine.

- . RIEDACKER [A], 1974. Un nouvel outil pour l'étude des racines et de la rhizosphère : le minirhizotron.
Ann. sci. forest. 1974, 31 (2), 129 - 134.
- . SCHOLANDER (P. F) , HAMMEL (H. T) , BRADSTREET (E . D) , HEMMINGSEN (E . A) , 1965.
Sap pressure in vascular plants. Science, 148, 339 - 346.
- . SLATYER (R. O) , BARRS (H. D), 1965. Modifications to the relative turgidity technique with notes on its significance as an index of the international water status of leaves.
Méthodologie de l'écophysiologie végétale. Actes du Colloque de Montpellier. UNESCO. pp 331 - 342.
- . SOIL SURVEY, 1977. Water retention, porosity and density of field soils.
Technical monograph n° 9. HARPENDEN
- . STOCKER (O) , 1956. Messmethodem der transpiration.
Handbuch der Pflanzenphysiologie III. pp 293 - 311.
- . TURC (Lj, 1961. Evaluation des besoins en eau d'irrigation, ETP.
Ann. agro., 1961, 12 (1), 13 - 49.
- . VENKATESH (C. S) , SHARMA (V. K) , 1977. Rapid growth rate and higher yield potential of heterotic *Eucalyptus* species hybrids. FRI 4 and FRI 5.
The Indian Forester. Vol 103 n° 12,

A N N E X E S