

**ANNALES
DE L'INSTITUT NATIONAL
DE RECHERCHES FORESTIERES
DE TUNISIE**

par **Ch. Baldy et R. Durand**

**Evapotranspirations Potentielles Calculées
et Humidités Relatives
sous Forêt et en Clairière à Zerniza
(Tunisie)**

Vol. 4 - Fasc. 2



1970

I.N.R.F.T. — Ariana (Tunisie)

REPUBLIQUE TUNISIENNE
Ministère de l'Agriculture
INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHES FORESTIERES

Directeur : Hachmi HAMZA

Section de recherches :

Ecologie	H. GHORBAL
Pédologie	M. EL AOUNI
Graines	M. EL HAOUIMEL
Génétique	M. GHALI
Techniques de reboisement	B. BEN SALEM
Pâturages forestiers	
Biométrie et sylviculture	A. DJAZIRI
Technologie du bois	M. DAHMAN
Entomologie	K. M'SADDA
Démonstration et formation	A. BEN AMOR
Utilisation des arbres forestiers dans le sec- teur agricole	M. CHARFI

Directeur du Projet : Jacques MARION

L'Institut National de Recherches Forestières bénéficie depuis mai 1965 d'une aide du Programme des Nations-Unies pour le Développement dans le cadre spécifique de l'Institut de Reboisement de Tunis. On trouvera ci-après les noms des experts affectés par la F.A.O. à ce projet :

Ecologie	A. SCHOENENBERGER
Pédologie	P. DIMANCHE
Génétique	} A. FRANCKET J. VAN LEEUWEN
Techniques de reboisement	
Pâturages forestiers	P. ZIANI
Biométrie et sylviculture	E. ALBERT
Technologie du bois	M. MARIANI
Entomologie	C. CHARARAS
Démonstration et Formation	U. HOENISCH
Utilisation des arbres forestiers dans le sec- teur agricole	} E. VACCARONE E. VON AUFSESS

PUBLICATIONS

L'I.N.R.F. diffuse les publications suivantes : Annales, Bulletin d'information, Notes techniques et variétés scientifiques.

Les Annales paraissent annuellement.

Le Bulletin d'information paraît trimestriellement.

Les Notes techniques et variétés scientifiques paraissent au fur et à mesure des sujets à traiter.

Le service de ces différentes publications peut être fait à tous ceux qui le demandent.

Adresse : Route de la Soukra - Boîte Postale 2 - Ariana - (Tunisie) -
Téléphone : 280-757 et 283-320.

**EVAPOTRANSPIRATIONS POTENTIELLES CALCULEES
ET HUMIDITES RELATIVES
SOUS FORET ET EN CLAIRIERE A ZERNIZA (TUNISIE)**

par Ch. Baldy(1) et R. Durand(2)

S O M M A I R E

	Pages
INTRODUCTION	3
I. — TECHNIQUE EXPERIMENTALE	5
II. — RESULTATS	7
1) évapotranspiration potentielle	
2) humidité relative	
III. — CONCLUSIONS	15
RESUME	16
BIBLIOGRAPHIE	17

(1) Chargé de Recherches en Bioclimatologie INRA - Versailles - France

(2) Maître de Recherches en Bioclimatologie INRA - Versailles - France

INTRODUCTION

Dans l'ensemble d'études portant sur l'écologie des reboisements en Tunisie du Nord, il était utile de préciser l'évolution des besoins en eau et de la disponibilité de celle-ci au cours de l'année dans un massif boisé. L'équipe travaillant à Zerniza a cherché à fournir des renseignements à ce sujet par deux méthodes, au moyen de sondes hydrométriques de Bouyoucos, et à partir de calculs basés sur l'évaporation mesurée à l'évaporomètre de Piche.

Les données concernant l'évolution de la teneur en eau de profils de sols de différents types pédologiques sont présentées dans ce même volume. Le calcul et l'analyse des données basées sur l'utilisation en climat méditerranéen de la formule dite « du Piche corrigé » proposée par Bouchet (1964) et modifiée par Schoch et Dancette (1968) sont discutés ici.

La présente étude porte sur la période janvier 1968 — février 1969 car les données de 1966-1967 sont trop fragmentaires, entachées de diverses erreurs qui rendent leur utilisation incertaine. Les quelques mois utilisables sont cependant donnés à titre comparatif.

L'installation de deux postes, l'un en forêt sous *Eucalyptus maideni* (âgés de 7 ans en 1966), l'autre en clairière, a permis d'établir une comparaison systématique entre les valeurs de l'évapotranspiration potentielle calculée dans ces deux cas. On renvoie à l'étude de climatologie générale, dans ce même volume, en ce qui concerne la situation des deux postes.

Afin de tester, autant que faire se peut, ce calcul théorique, on a comparé les valeurs trouvées à celles mesurées et calculées à Tunis (Centre d'étude de l'Eau) et dans la Basse Medjerdah (C.R.U.E.S.I., non publié). Ces dernières sont mesurées sur évapotranspiromètres type Thornthwaite (1948), engazonnés soit en kikuyu (*Pennisetum clandestinum*), soit en luzerne (*Medicago sativa*).

L'évapotranspiration potentielle est une donnée climatique. Celle-ci constitue un paramètre très important pour l'écologiste, l'agronome et le praticien, puisqu'elle permet de définir l'enveloppe des besoins en eau d'une surface couverte de végétation. Sa connaissance permet d'estimer le déficit théorique maximal et son écart avec le déficit réel. Ce dernier est lié à la capacité de rétention en eau du profil de sol et à la profondeur de l'enracinement.

Compte tenu toujours de cette capacité de rétention du profil, mais aussi de la *vitesse d'infiltration* de l'eau dans le sol, on peut définir les *excédents théoriques*, probablement assez proches des excédents réels pendant la période pluvieuse. Seul ce calcul théorique a été possible ici, car on manque encore de données sur les vitesses d'infiltration des sols du Nord tunisien, en particulier lors des premières pluies d'automne qui tombent sur un sol rendu hygrophobe par la sécheresse prolongée, mais dont les fissures permettent une infiltration instantanée importante.

Il est bien nécessaire de souligner que les calculs présentés ici ne constituent qu'une *approximation*, en été particulièrement. La formule du « Piche corrigé » comme toute formule, dépend d'un certain nombre d'hypothèses, et il aurait été souhaitable de pouvoir *mesurer* réellement le phénomène. Il faut cependant considérer que les mesures en forêt, effectuées en URSS et aux USA par exemple, représentent un investissement *énorme*, hors de proportion avec les possibilités du Projet, et même avec l'intérêt *réel* des mesures : un bac contenant un arbre adulte pèserait des dizaines de tonnes. La définition de la surface réellement évapotranspirante est très difficile dans le cas d'arbres et la précision est extrêmement mauvaise.

En toute rigueur, cette formule du « Piche corrigé » ne *s'applique pas* au cas d'un couvert forestier, car les hypothèses de base supposent un abri en *situation dégagée*. Pour pallier partiellement cet inconvénient, on a utilisé un *psychromètre d'Assmann* afin d'avoir la même ventilation des thermomètres sec et mouillé en forêt et en clairière. Mais l'évaporomètre de Piche, lui, était *peu ventilé* en forêt et la différence de couches-limites entre forêt et clairière peut expliquer une partie des différences constatées.

L'analyse a été cependant entreprise pour montrer l'importance de l'écart existant entre les deux situations. Les valeurs sous forêt sont à considérer avec beaucoup de prudence.

Compte tenu des résultats comparatifs obtenus par plusieurs auteurs en climats bien différents (Bouchet, 1964; Bouchet et al., 1966; Baldy et al., 1967; Schoch et Dancette, 1968; Bouchet et Robelin, 1969), il a paru possible d'utiliser la méthode du Piche corrigé en appliquant des facteurs correctifs complémentaires nécessités par le climat aride.

L'analyse a été effectuée sur ordinateur UNIVAC à l'aide d'un programme établi par l'un de nous (R. Durand) pour le Département de Bioclimatologie de l'INRA-FRANCE.

I. — TECHNIQUE EXPERIMENTALE

R. J. Bouchet (1964) a analysé et mis au point un système de comparaison entre l'évaporomètre de Piche et l'évapotranspiration mesurée sur cases type Thornthwaite (1948) à Versailles.

La méthode a été largement utilisée depuis une dizaine d'années, et des comparaisons systématiques, pour des climats bien différents, ont été effectuées (Gebet, 1967; Baldy et al., 1967; Schoch et Dancette, 1968). On a pu mettre ainsi en évidence la portée assez générale et les *limites* de la formule.

On renvoie à l'article de Bouchet (1964) en ce qui concerne l'établissement de la formule. On retiendra qu'il est nécessaire de connaître l'évaporation du Piche, la température moyenne journalière, la température du point de rosée moyenne pour la journée. L'évapotranspiration potentielle est fonction de l'énergie nette reçue sur la surface considérée.

Schoch et Dancette (1968), travaillant en climat sahélien au Sénégal, ont montré qu'on pouvait améliorer l'utilisation de la formule en milieu aride en corrigeant le coefficient α (facteur de correction permettant de passer de la formule brute à la valeur nette de l'évapotranspiration potentielle ou ETP). Celui-ci doit être modifié quand l'écart constaté entre température moyenne du point de rosée et température minimale devient important. Ceci a pu être vérifié également, en Tunisie du Sud, par Baldy et al. (1967). Dans le présent travail, ces coefficients ont été fixés comme suit :

$\alpha = 0,37$ Quand la température du point de rosée est supérieure ou égale à la température minimale de la nuit précédente.

$\alpha = 0,30$ Quand la température du point de rosée est inférieure à celle du minimum, sans que l'écart dépasse 5°C.

$\alpha = 0,25$ Quand cet écart est situé entre 5° et 10°C.

$\alpha = 0,20$ au delà.

On rappelle que la température du point de rosée est la température à laquelle la vapeur d'eau présente dans l'air *serait saturante*. On a tenu compte des trois lectures journalières faites à Zerniza pour ce calcul. Il arrive en été, par *temps de sirocco*, que l'humidité relative devienne non mesurable à l'aide du psychromètre d'Assmann. L'hygrographe à cheveux indique alors « O ». La tension partielle de vapeur d'eau n'est alors que de quelques millibars. L'humidité exis-

tante pourrait probablement être mesurée à l'hygromètre d'Alluard, mais la station de Zerniza n'avait pas été équipée d'un tel appareil, peu répandu et d'un maniement délicat. C'est pourquoi certaines données d'humidité apparaissent en « O » dans les résultats présentés ci-dessous, ce qui ne constitue que l'indication d'un résultat non calculable à l'aide du matériel dont on disposait, et non de l'absence de vapeur d'eau dans l'air.

Le calcul de l'ETP devient alors impossible. Les valeurs lues correspondent à des données réduites, inférieures à la réalité.

On a pu constater par ailleurs (Damagnez et al. 1964); (Schoch et de Villèle, 1969) que les évapotranspiromètres utilisés en zone aride posent aussi des problèmes : de grands écarts existent selon les végétaux testés. C'est ainsi qu'au Centre de l'Eau à Tunis, on a montré qu'avec le kikuyu, l'évapotranspiration ne dépasse pas 8 à 9 mm/jour, alors qu'avec la luzerne, elle atteint 15 mm/jour.

On compare ci-dessous les valeurs calculées par la formule du Piche corrigé à Tunis et Zerniza avec les valeurs mesurées à Tunis sur kikuyu et luzerne, compte tenu des coefficients correctifs signalés ci-dessus. On constate une bonne corrélation entre les données de Zerniza et celles du kikuyu à Tunis. Le kikuyu, graminée steppique, a une régulation stomatique efficace, comme les arbres plus ou moins xéro-philés étudiés à Zerniza. C'est pourquoi il a paru possible d'utiliser les données ainsi calculées (Tableau 1).

TABLEAU 1
*Evapotranspirations calculées et mesurées
à Tunis (1966-1967) et Zerniza (1968)*

Mois	Kikuyu	Luzerne	ETP Piche*		Piche Zerniza**
Janvier.....	41	46	39		61
Février.....	35	58	44		58
Mars.....	84	102	84		76
Avril.....	104	151	92	***	97
Mai.....	151	202	108	(160)	129
Juin.....	178	259	128	(190)	105
Juillet.....	221	323	170	(251)	188
Août.....	193	314	232	(343)	200
Septembre.....	140	184	150	(222)	149
Octobre.....	89	113	77		102
Novembre.....	43	60	65		69
Décembre.....	42	54	46		57

* 0,37 d'octobre à avril, 0,25 de mai à septembre.

** Clairière : cf. tableau 3.

*** Piche : $\alpha = 0,37$ pour comparer à la luzerne.

II. — RESULTATS

Dans les pages qui suivent, le lecteur trouvera l'analyse des résultats comparatifs d'ETP et d'humidité relative en forêt et en clairière, compte tenu de toutes les réserves exposées ci-dessus.

1. — Evapotranspiration potentielle

On a vu plus haut que l'année 1967 est difficile à exploiter. Diverses erreurs, dues soit à un observateur, soit au bris du matériel, ou à l'installation progressive de celui-ci, soit à une erreur systématique de lecture (en millimètres et non en 1/10 mm) se sont produites. Le tableau 2 présente les données utilisables.

TABLEAU 2

*Evapotranspiration potentielle calculée.
Moyennes journalières 1967*

Mois	Forêt	Clairière	Remarques
Février.....	2,0	2,2	20 jours de mesure, du 8 au 28
Mars.....	1,8	2,5	30 jours de mesure, du 8 au 28
Avril.....	2,3	2,8	30 jours de mesure, du 8 au 28
Mai.....	3,4	4,0	26 jours de mesure, du 8 au 28
Juin.....	4,0	4,8	21 jours : Observations non faites par le technicien.
Juil. à Sept.....	3,3	4,1	Erreurs systématiques de lecture.
Octobre.....			28 jours de mesure.
Nov. à Déc.....			Erreurs diverses non vérifiables.

De janvier 1968 à février 1969 (date de fin des mesures), les données sont cohérentes et utilisables. Le tableau 3 résume celles-ci, qui permettent de faire quelques constatations intéressantes :

a. — L'évapotranspiration calculée est régulièrement supérieure en clairière. Ce résultat a déjà été trouvé en cultures (Bouchet et al., 1966; Baldy et al, 1967) dans des études portant sur des brise-vent : au voisinage de ceux-ci, la réduction des vitesses horizontales des vents diminue l'évapotranspiration potentielle, car la vitesse des échanges est réduite.

TABLEAU 3

*Evapotranspirations potentielles calculées par la méthode
du « Piche corrigé » (Bouchet 1964)*

Mois		Min	Max	Moy	Total	Non Cal- culé	Total Corrigé	Pluies	Déficit	Excé- dent
		mm par jour							Théoriques	
1968										
					(4)	(3)	(4)	(4)	(4)	(4)
Jv.	(1)	0,2	4,0	1,7	52,5	—	52,5	193	—	140,5
	(2)	0,2	3,2	2,0	61,1	—	61,1		—	132,0
Fv.	(1)	0,5	4,3	1,6	45,1	—	45,1	71	—	26,0
	(2)	0,5	5,9	2,0	58,0	—	58,0		39,0	13,0
Ms.	(1)	0,7	4,7	2,0	61,0	—	61,0	22	54,0	—
	(2)	0,7	5,5	2,4	75,8	—	75,8		42,5	—
Av.	(1)	0,4	4,7	2,7	79,5	—	79,5	37	60,5	—
	(2)	0,5	5,9	3,2	97,3	—	97,3		74,0	—
Ma.	(1)	1,3	6,6	3,2	93,7	2	104,8	31	98,0	—
	(2)	1,4	9,3	3,9	114,5	2	129,1		57,5	—
Jn.	(1)	0,9	7,5	3,0	82,8	2	91,4	34	71,0	—
	(2)	0,7	9,2	3,4	95,0	2	105,2		171,5	—
Jl.	(1)	3,5	8,4	5,2	130,6	6	171,5	0	178,7	—
	(2)	3,8	8,7	5,8	145,3	6	187,7		166,5	—
Ao.	(1)	3,2	12,6	5,3	143,5	4	168,5	2	198,5	—
	(2)	3,7	14,5	6,3	169,5	4	200,4		100,0	—
Sep.	(1)	2,9	6,1	3,9	113,8	1	119,0	19	130,0	—
	(2)	3,3	7,6	4,9	141,4	1	149,0		143,0	—
Oct.	(1)	1,9	4,8	2,9	89,0	—	89,0	46	56,0	—
	(2)	2,1	5,3	3,3	102,1	—	102,1		—	—
Nv.	(1)	0,8	5,8	2,1	57,5	—	57,5	166	—	108,5
	(2)	0,9	6,2	2,5	68,8	—	68,8		—	97,0
Dc.	(1)	0,3	2,3	1,4	43,9	—	43,9	267	—	223,0
	(2)	0,5	4,0	1,8	57,1	—	57,1		—	210,0
1969										
Jv.	(1)	0,5	2,6	1,2	38,1	—	38,1	132	—	94,0
	(2)	0,5	3,7	1,5	47,8	—	47,8		—	84,0
Fv.	(1)	0,6	3,3	1,4	40,6	—	40,6	139	—	98,5
	(2)	0,8	3,7	1,9	52,2	—	52,2		—	87,0
Totaux de Janv. à Déc. 1968 :					(1)	15	1083,7	888	694,0	498,0
					(2)	15	1291,6	888	855,5	452,0

ETP en millimètres par jour; totaux en millimètres par mois pour les ETP, Pluies, Déficits et excédents.

N.B. Les jours non calculés correspondent à des « coups de sirocco » (cf texte). Ils sont approchés par comparaison avec des valeurs voisines calculables.

(1) Forêt (2) Clairière. (3) Nombre de jours (4) mm par mois

La réduction constatée à Zerniza est assez régulière, voisine de 20 %. L'interception d'une partie du rayonnement solaire par les couronnes doit également jouer un rôle important dans cette diminution, car elle modifie le bilan énergétique au niveau de l'abri.

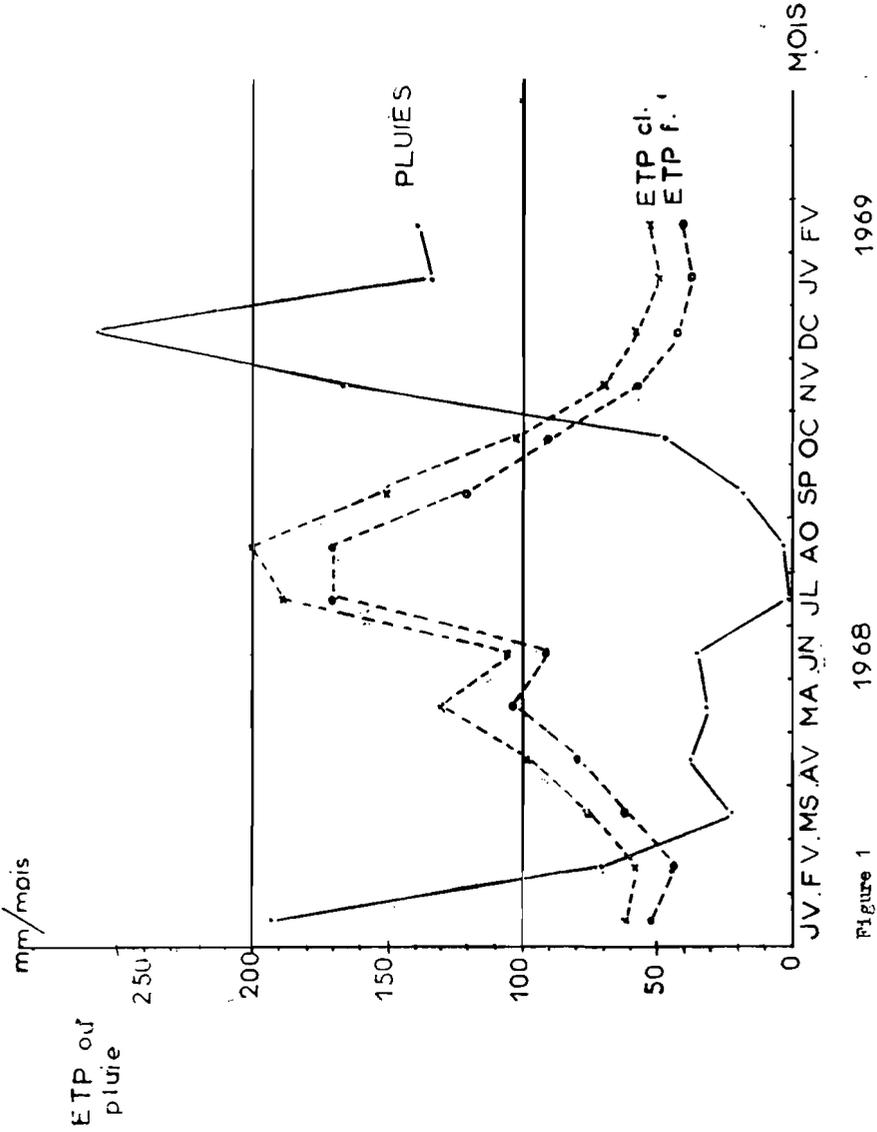


Figure 1

b. — La figure 1 présente graphiquement l'évolution de l'ETP calculée dans les deux situations, en comparant celle-ci aux pluies, ce qui se traduit par des excédents et déficits théoriques en cours d'année.

Compte tenu de l'enracinement profond des eucalyptus dans lesquels la station était située, on peut estimer la réserve en eau utilisable dans le profil de sol à 150 mm environ (1500 m³/ha), pour 2 m de profondeur.

Dans les sols du Nord de la Tunisie, la vitesse des précipitations est souvent supérieure à la vitesse d'infiltration :

Les premières pluies d'automne tombent sur un sol sec, hygrophobe, qui n'absorbe l'eau que par ses fissures. Celles-ci remplies, l'excédent peut ruisseler alors que le profil est encore sec.

Après humectation, les fortes pluies automnales peuvent avoir des vitesses instantanées dépassant la capacité d'infiltration instantanée du sol. Il peut s'agir des horizons de surface ou d'horizons plus profonds (pseudogley par exemple), créant un frein à la pénétration de l'eau.

Enfin, durant l'hiver, on peut arriver à la quasi saturation du profil. Le sol saturé n'absorbe plus d'eau, sauf percolation profonde.

c. — On a vu plus haut qu'il n'a pas été possible d'effectuer des mesures réellement satisfaisantes des vitesses d'infiltration. Les excédents ainsi définis peuvent se traduire par un *ruissellement* ou par une infiltration profonde vers des nappes. L'excédent calculé pour 1968 est de 300 à 350 mm, sur 888 mm de pluies.

d. — De même, le *déficit théorique estival ne correspond pas* à la réalité mais à la valeur cumulée de *l'évapotranspiration potentielle* (théorique, représentant l'enveloppe climatique) *moins* les pluies.

Le déficit réel est limité par les réserves en eau du profil de sol exploré par les racines *plus* les remontées capillaires éventuelles *plus* les pluies éventuelles pendant la période de dessèchement du sol.

On a vu que la capacité du sol de Zerniza doit avoisiner 150 mm pour l'ensemble du profil.

Le déficit théorique correspond à la quantité d'eau qu'il serait nécessaire d'apporter par irrigation pour alimenter correctement en eau la végétation *compte non tenu* des réserves du sol. On voit qu'il a atteint 700 et 850 mm respectivement

sous forêt et en clairière en 1968. En fait, les sondes de Bouyoucos ont permis de voir que le sol était sec sous forêt dès la fin du mois de mai. Les pluies tardives ont été utilisées par les arbres, sans parvenir à recharger en eau le profil : leur influence a été de courte durée. On peut constater sur le graphique que le déficit fin mai correspond à 150 mm. De juin à octobre, la végétation des eucalyptus est très ralentie; les autres articles de ce volume le montrent (mesures dendrographiques en particulier). Les arbres vivent en économisant l'eau; ils transpirent peu ou pas, luttent contre l'évaporation grâce à leur cuticule épaisse, et augmentent progressivement leur pression de succion. Ils peuvent aussi utiliser les réserves profondes (les profils d'humidité n'ont pu être faits au delà de 2 m) et peut être aussi l'eau peu mobile du sol au delà de 16 atmosphères. Ils perdent également bon nombre de vieilles feuilles.

Le lecteur pourra constater, en se reportant à l'article consacré aux sondes de Bouyoucos que la réhumectation se suit moins aisément que le dessèchement : les sondes ont une hystérésis marquée, et un retard important (pouvant atteindre 15 jours selon les sols) est à noter à l'automne.

En clairière, la végétation herbacée commence à se dessécher dès les premiers jours de mai. Son enracinement surtout superficiel n'utilise intensément que l'eau des horizons de surface. Il reste de l'eau utilisable jusqu'en juillet, car l'évapotranspiration réelle de ces herbes qui se dessèchent progressivement est très limitée.

Une jeune plantation de l'année doit réagir sensiblement de même : Plantée à l'automne, elle ne s'enracine que peu dans un sol gorgé d'eau. Le dessèchement rapide du sol au printemps entraîne un approfondissement du système racinaire, mais la présence de pseudogley rend la pénétration des racines difficile et l'eau du sous-sol est utilisée lentement et assez mal. Les jeunes plants profiteront des pluies tardives, mais souffriront de la sécheresse estivale et des coups de sirocco, car leurs feuilles de jeunesse sont assez peu sclérifiées en général.

e. — L'évapotranspiration potentielle calculée ici atteint 200 mm en août, en clairière. Cette valeur est couramment rencontrée sur évapotranspiromètres en Tunisie, et les expériences d'irrigation sur fourrages ont montré que des apports d'eau de ce volume (2000 m³/ha) sont nécessaires alors.

Le 1er janvier 1968, les sondes de Bouyoucos montraient que le sol était pratiquement réhydraté sur tous les profils. Cependant, l'infiltration en profondeur des eaux de pluie se

fait si lentement dans certains sols à pseudogley, que le profil ne s'est réhydraté complètement que fin janvier.

Ceci est important : en année à hiver sec, ou dans des zones moins pluvieuses, mais ayant des sols de ce type, on peut avoir une réhydratation incomplète du profil, malgré une pluviosité *théoriquement* suffisante, et des *ruissellements* augmentés d'autant.

f. — Durant l'été, *l'évapotranspiration réelle* ne représente donc que quelques pour cents de l'évapotranspiration potentielle : les arbres *luttent* contre la sécheresse, et stoppent pratiquement leur croissance. Il y a un arrêt de végétation, qu'il ne faut pas confondre avec une dormance. En hiver, l'évapotranspiration *réelle* doit se confondre avec la *potentielle*. Les niveaux modestes d'ETP en cette saison sont aisément couverts par les pluies. A l'automne, on constate une réhydratation des arbres lors des premières pluies (cf. article de synthèse dans ce volume) ; au printemps, enfin, les évapotranspirations potentielle et réelle sont comparables tant que le stock d'eau du sol est suffisant. On constate sur végétaux cultivés l'apparition progressive d'une dépression de midi de plus en plus marquée quand le sol se dessèche, et finalement la transpiration cesse presque complètement.

2. — Humidité relative

Dans l'article consacré au climat de Zerniza, on a déjà donné quelques indications sur ce phénomène. L'étude de l'ETP par le Piche corrigé a conduit à calculer les valeurs d'humidité relative à partir des mesures au psychromètre d'Assmann, plus précis que l'hygrographe utilisé dans l'étude sus-dite (Tableau 4).

On constate cependant un excellent accord entre les deux séries, ce qui ne peut surprendre, l'enregistreur ayant été vérifié régulièrement à l'aide de l'Assmann.

Jusqu'aux premiers jours de mai, et à partir de fin septembre on ne constate jamais d'humidités inférieures à 10 % (et notées « O », on l'a vu). Pendant l'été, les jours de sirocco abondent, on l'a vu dans l'article de climatologie.

L'humidité relative, élevée en hiver (plus de 60 % à 13 h., en moyenne mensuelle, de novembre à mars) diminue beaucoup en été (juillet août et septembre à Zerniza en 1968), où elle devient inférieure à 50 % à 13 h.

La proximité de la mer se traduit par la forte remontée de l'humidité à 17 h.

TABLEAU 4
Humidités relatives à Zerniza
Moyennes, minimums et maximums mensuels
à 9, 13 et 17 h.

Mois	H	Moy	Max	Min	Moy	Max	Min	Mois	H	Moy	Max	Min	Moy	Max	Min
		Forêt			Clairière					Forêt			Clairière		
Janvier.....	9	86	100	60	81	99	55	Juillet....	9	49	77	0	45	74	0
	13	70	94	43	64	88	32		13	42	62	0	41	68	0
	17	73	98	45	68	95	39		17	49	72	0	48	69	0
Février.....	9	84	100	55	78	99	52	Août.....	9	56	77	34	52	78	27
	13	64	90	36	58	86	31		13	46	69	0	44	65	0
	17	69	94	37	64	87	36		17	54	74	0	52	73	0
Mars.....	9	74	96	34	67	87	31	Septembre	9	61	87	32	57	81	23
	13	60	90	29	57	89	25		13	49	69	0	47	70	0
	17	66	92	42	62	88	35		17	59	81	30	59	80	28
Avril.....	9	66	88	38	63	96	35	Octobre...	9	71	91	54	66	87	48
	13	55	89	22	54	86	25		13	57	84	38	55	79	30
	17	63	88	20	62	86	19		17	64	83	37	63	85	33
Mai.....	9	62	86	33	59	86	28	Novembre.	9	73	91	30	70	93	29
	13	51	81	0	51	85	0		13	62	86	24	60	89	21
	17	58	89	0	59	85	0		17	69	89	38	69	96	34
Juin.....	9	63	94	33	59	93	27	Décembre.	9	76	98	51	75	93	48
	13	55	86	0	53	85	0		13	67	86	55	66	91	29
	17	61	83	40	62	84	36		17	76	89	49	76	91	50

N.B. — O Ne signifie pas une humidité nulle (ce qui est imposs.ble), mais une teneur en vapeur d'eau non mesurable au psychromètre d'Assmann.

On constate un écart systématique entre forêt et clairière, voisin de 5 % à 9 h. toute l'année. Cet écart se retrouve à 13 h. et 17 h. en hiver, quand les arbres évapotranspirent normalement, pour s'amenuiser ou disparaître en été et à l'automne.

Il paraît normal d'attribuer cet écart à l'influence de l'évapotranspiration réelle des arbres. Ceux-ci alimentent en vapeur d'eau la masse d'air incluse sous les houppiers. On a vu par ailleurs que les vents dans le massif sont réduits de 50 % environ par rapport à la clairière. Les échanges sont donc lents et l'humidité plus grande de cette masse d'air contribue à son tour à réduire l'évapotranspiration des couronnes.

Par temps de sirocco, l'étude détaillée des données quotidiennes en été permet de voir que les évapotranspirations potentielles accusent un retard sous forêt : notablement plus faibles en début de sirocco sous couvert, elles deviennent plus fortes à la fin de celui-ci ! On peut estimer que ce retard peut atteindre 6 h.

CONCLUSIONS

On peut constater que les valeurs théoriques (correspondant au ruissellement et à la percolation profonde) des excédents hivernaux sont *considérables*, puisqu'ils constituent le tiers de la pluviosité annuelle, et que les conditions défavorables d'infiltration à l'automne risquent de les *augmenter* encore, surtout en sol nu. La percolation profonde a plutôt lieu en hiver et au début du printemps; puis l'évapotranspiration potentielle calculée commence à dépasser les pluies. Ces excédents ont avoisiné 300 à 350 mm en 1968, une fois déduite la capacité de stockage du sol, estimée à 150 mm.

Il faut bien attirer l'attention du lecteur sur le caractère théorique du déficit estival. En fait, la végétation ne peut dépasser la valeur de la réserve en eau du sol, augmentée éventuellement des remontées capillaires profondes (qu'on sait être faibles) et des pluies tardives. Cette valeur du déficit théorique correspond aux *besoins en eau maximaux* (compte non tenu des réserves en eau du sol) de la végétation. En arboriculture fruitière, l'irrigation est destinée à couvrir une fraction plus ou moins importante de ce déficit, compte tenu des possibilités de résistance des arbres à un déficit hydrique limité, et de l'utilisation partielle des réserves en eau du sol.

L'importance de ce déficit théorique pour les essences forestières est grande néanmoins : la capacité de résistance d'une espèce donnée se traduit par la manière qu'elle aura de freiner ses pertes en eau. Certaines essences apparaissent mal adaptées à cette lutte dans les conditions de Zerniza, et elles ne tardent pas à dépérir.

L'évapotranspiration réelle des massifs boisés est en fait très faible de mai à septembre, puisque les réserves en eau du sol sont épuisées. Les arbres sont placés dans des conditions de survie sévères, qui se traduisent notamment par une constriction des troncs, pouvant s'accompagner parfois de fentes dans les écorces.

L'écart de 20 % constaté entre les ETP calculées en forêt et en clairière ne doit pas illusionner : il n'existe que *sous* la forêt : c'est à dire qu'une partie de l'énergie incidente a été utilisée dans les couronnes, et les mesures faites à 2 m sont *résiduelles*. Pour définir les besoins en eau à l'hectare de boisement, il est indispensable de tenir compte des valeurs relevées *en clairière*.

Les humidités un peu plus élevées relevées sous forêt peuvent faciliter les repousses après recépage en coupes sombres au printemps. Mais on voit que leur importance est très limitée. Le climat forestier est légèrement plus humide, mais il n'est pas modifié fondamentalement.

RESUME

Cet article présente une analyse comparative des évapotranspirations potentielles (ETP) *calculées* à l'aide de la « formule du Piche corrigé » due à Bouchet (1964) et modifiée pour la zone aride par Schoch et Dancette (1968). Cette analyse est faite en forêt et en clairière à Zerniza (Tunisie). Les excédents hivernaux, une fois la réserve en eau du sol déduite, atteignent ou dépassent 300 mm. Le déficit estival réel est limité par la réserve en eau du sol, mais le déficit théorique atteint 700 mm en clairière. Une différence systématique, voisine de 20 %, existe entre les ETP calculées sous forêt et en clairière. Il en va de même pour les humidités relatives : à 9 h en forêt elles sont supérieures de 5 % à celles en clairière. Cette différence subsiste en hiver et au printemps à 13 et 17 h, mais disparaît en été et à l'automne. Diverses conclusions sont tirées de ces observations.

SUMMARY

A comparative analysis calculating potential evapotranspiration (ETP) with the « Corrected Piche's atmometer formula » (Bouchet 1964) modified for arid areas by Schoch and Dancette (1968), between forest and glade is presented here for Zerniza (Tunisia). The winter excedents, taking in account the reserve of the soil are 300 mm or more. The real summer deficit is limited by available water in soil profile. The theoretical deficit is 700 mm in glade. Systematic discrepancies between ETP under forest and glade (20 p. cent) and hygrometries in both sites at 9 a.m. (5 %) exist too. At 1 p.m. and 5 p.m., hygrometries are the same during summer and autumn. Some conclusions are presented.

BIBLIOGRAPHIE

- BALDY Ch., COINTEPAS J.P. et POUGET J.M., 1967 — Parcelle d'essais de Ksar Rhilane. Résultats de 15 années d'essais. Mémoires du Service Pédologique de Tunisie, ES 66.
- BALDY Ch., POUPON H. et SCHOENENBERGER A., 1970 — Le climat à Zerniza. Annales INRF, Tunisie, vol. 4, fasc. 1.
- BOUCHET R.J., 1962 — L'évapotranspiration potentielle. Sa mesure ou son estimation à partir de l'évaporation sous abri. UNESCO, Colloque de Montpellier, pp 119-127, publié en 1965.
- BOUCHET R.J., 1964 — Evapotranspiration réelle, évapotranspiration potentielle et production agricole. INRA, « L'eau et la production végétale », pp 151-232.
- BOUCHET R.J., 1965 — Rendement des cultures et déficit en eau. B.T.I., 201, pp 3-15.
- BOUCHET R.J., GUYOT G. et PARCEVEAUX S. de, 1966 — Augmentation de l'efficiance de l'eau et amélioration des rendements par déduction de l'évapotranspiration potentielle au moyen de brise-vent. 1er Congrès international sur les méthodes en agroclimatologie. UNESCO, Reading, 1966.
- BOUCHET R.J., et ROBELIN M., 1969 — Evapotranspiration potentielle et réelle. Domaine d'utilisation. Portée pratique. B.T.I., 238, pp. 215-223.
- DAMAGNEZ J., RIOU Ch., VILLELE O. de et EL AMAMI S., 1964 — Problèmes d'évapotranspiration potentielle en Tunisie. INRA « L'eau et la production végétale », pp. 371-387.
- GIRARD M. et BALDY Ch., 1964 — Rendement et évapotranspiration potentielle dans une oasis du Bas Sahara. INRA « L'eau et la production végétale » pp. 399-414.
- GREBET PH., 1967 — Etudes et mesures d'évapotranspiration en France. D.G.R.S.T., note ronéotée.
- HALLAIRE M. et BOUCHET R.J., 1965 — La recherche de techniques nouvelles pour la mesure des évapotranspirations potentielle et réelle. C.R. Acad. Agric., pp. 1024-1033.
- SCHOCH P.G. et DANCETTE Cl., 1968 — Utilisation de l'évaporomètre Piche pour le calcul de l'évapotranspiration potentielle. Agron. Trop., 9, pp. 967-973.
- SCHOCH P.G. et VILLELE O. de, 1969 — Difficultés rencontrées dans l'estimation de l'évapotranspiration potentielle dans la région d'Avignon B.T.I., 238.
- SCHOENENBERGER A. et BALDY Ch. 1970 — Synthèse des résultats écologiques obtenus à Zerniza (Mogods). Essai de projection pour les reboisements en Tunisie du Nord. Annales INRF, Tunisie, vol. 4, fasc. 6.
- THORNTHWAITE C.W., 1948 — An approach toward a rational classification of climate. Geogr. Rev. 38, pp. 55-94.

