



HAL
open science

Etude bioclimatique d'une futaie feuillue (*Fagus silvatica* L. et *Quercus sessiliflora* Salisb.) de l'Est de la France

G. Aussenac, A. Granier

► To cite this version:

G. Aussenac, A. Granier. Etude bioclimatique d'une futaie feuillue (*Fagus silvatica* L. et *Quercus sessiliflora* Salisb.) de l'Est de la France. *Annales des sciences forestières*, 1979, 36 (4), pp.265-280. 10.1051/forest/19790401 . hal-00882195

HAL Id: hal-00882195

<https://hal.science/hal-00882195>

Submitted on 11 May 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

**Etude bioclimatique d'une futaie feuillue
(*Fagus sylvatica* L. et *Quercus sessiliflora* Salisb.)
de l'Est de la France**

**II. — Etude de l'humidité du sol
et de l'évapotranspiration réelle**

G. AUSSENAC et A. GRANIER

*Station de Sylviculture et de Production
Centre national de Recherches forestières I.N.R.A.,
Champenoux, 54280 Seichamps*

Résumé

L'étude de l'humidité du sol et de l'évapotranspiration réelle a été entreprise dans une hêtraie de l'est de la France, à côté de Nancy.

Ce peuplement est situé sur un sol brun lessivé marmorisé qui s'est développé sur des marnes liasiques couvertes de limons.

Les mesures ont été effectuées à l'aide d'une sonde gamma neutronique en 1976, année exceptionnellement sèche et en 1977, année normalement pluvieuse. Selon les cas le dessèchement du sol dépend de la proximité des arbres mais aussi de la texture du sol. Dans la placette expérimentale apparemment homogène, deux zones ont été mises en évidence : dans la première le prélèvement d'eau a été limité aux soixante-dix premiers centimètres, dans la deuxième zone le prélèvement d'eau très important de 0 à 70 cm s'est aussi manifesté plus profondément jusqu'à 160 cm. En 1976 on a pu calculer dans chacune de ces deux zones la réserve d'eau du sol qui a été utilisée par les arbres. Elle a été évaluée pour une épaisseur de sol de 150 cm par la différence entre la lame d'eau correspondant à la capacité au champ et la lame d'eau la plus faible mesurée fin août 1976. Dans la zone de la parcelle expérimentale où le prélèvement d'eau s'est manifesté jusqu'à 160 cm de profondeur, il y a une corrélation significative entre la réserve d'eau utilisée, la grosseur et la distance de l'arbre le plus proche, par contre dans la partie de la parcelle où le prélèvement d'eau ne s'est manifesté que sur 70 cm cette relation n'existe pas. Il semble que dans ce dernier cas la réserve utilisée, 106 mm en moyenne, corresponde à une valeur proche de la réserve maximale extractible par le hêtre dans ce type de sol. Les différences entre les deux zones s'expliquent par les caractéristiques texturales du sol.

En 1976 pendant la saison de végétation l'évapotranspiration réelle a été de 253,7 mm dans la première zone contre 299,8 mm dans la deuxième, pendant la même période l'évapotranspiration potentielle était égale à 550,4 mm.

1. Introduction

Dans l'est de la France sur le plateau lorrain les peuplements feuillus constituent souvent des formations climatiques qui occupent des surfaces considérables.

L'étude bioclimatique de ces peuplements est essentielle pour la compréhension de leur écologie. Depuis 1973 nous avons entrepris à Nancy des recherches dans une

futaie feuillue constituée par du Hêtre (*Fagus silvatica* L.) et du Chêne sessile (*Quercus sessiliflora* Salisb.). Dans un précédent article Aussenac et Ducrey (1977) ont étudié les profils microclimatiques et les caractéristiques morphologiques et anatomiques de l'appareil foliaire de ce peuplement. Nous abordons ici l'étude de l'humidité du sol et de l'évapotranspiration réelle de cette futaie feuillue.

L'évaluation de l'évapotranspiration réelle comparée à l'évapotranspiration potentielle permet d'une part d'analyser au plan climatique la potentialité de production du peuplement eu égard aux limitations de production que constituent les déficits hydriques (Aussenac, 1973, Aussenac-Ducrey, 1974) et d'autre part d'apprécier les influences de la hêtraie sur le cycle de l'eau.

L'évaluation de l'évapotranspiration réelle des peuplements forestiers est difficile et il existe relativement peu de données sur ce phénomène et plus particulièrement pour la hêtraie. Nous rapportons ici les premiers résultats obtenus en 1976 et 1977 dans le peuplement étudié.

2. — Dispositif expérimental et méthode d'étude

2.1. — Description de la parcelle étudiée

Le dispositif expérimental a été installé dans la parcelle 26 de la Forêt domaniale d'Amance (Meurthe-et-Moselle) à une quinzaine de kilomètres à l'Est de Nancy. Une description précise du peuplement a été déjà donnée par Aussenac et Ducrey (1977), aussi nous ne rappellerons que quelques éléments essentiels, le lecteur voudra bien, pour plus de détails, se reporter à la publication citée en référence.

Le peuplement étudié est constitué d'une futaie simple de Hêtre (*Fagus silvatica* L.) à couvert fermé avec un sous-étage très réduit. On rencontre aussi en mélange quelques Chênes (*Quercus sessiliflora* Salisb.), Tilleuls (*Tilia cordata* Mill.), Charmes (*Carpinus betulus* L.) et Frênes (*Fraxinus excelsior* L.). La placette expérimentale a une surface de 2 205 m². Le peuplement issu d'une régénération naturelle a un âge moyen de 80 ans, une hauteur totale moyenne de 25 m et une densité de sept cent quarante-quatre arbres à l'hectare.

2.2. — Dispositif expérimental et méthode d'étude

L'humidité du sol a été étudiée à partir de profils hydriques réalisés à l'aide d'une sonde gamma neutronique (modèle NEA). Les mesures de surface (10 cm) ont été faites avec un réflecteur de polyéthylène. Pour effectuer ces mesures nous avons installé 23 tubes (fig. 4) (DURAL AG 3, diamètre intérieur 41 mm, diamètre extérieur 45 mm) fermés à leur base. Parmi ces vingt-trois tubes, deux ont une longueur utile de 2,60 m, quatre une longueur utile de 1,9 m et dix-sept une longueur utile de 1,5 m. Nous avons effectué l'étalonnage direct sur le terrain de chacun des tubes en utilisant la méthode décrite par Normand (1974) (programme de calcul USETA). Le tableau 1 donne les densités sèches moyennes mesurées avec la sonde gammamétrique. On remarque une variabilité faible sauf en surface (horizon 10 et 20 cm).

TABLEAU 1

Densité sèche moyenne dans le dispositif expérimental
Average dry density in the experimental plot

Profondeur (cm)	Densité	Profondeur (cm)	Densité
10	1,19 0,11 *	140	1,55 0,05
20	1,26 0,07	150	1,54 0,06
30	1,36 0,04	160	1,49 0,05
40	1,41 0,03	170	1,51 0,06
50	1,43 0,04	180	1,50 0,08
60	1,46 0,04	190	1,53 0,08
70	1,48 0,04	200	1,60 0,11
80	1,49 0,02	210	1,62 0,06
90	1,51 0,02	220	1,67 0,01
100	1,53 0,02	230	1,67 0,01
110	1,53 0,02	240	1,66 0,02
120	1,54 0,02	250	1,66 0,01
130	1,55 0,03	260	1,66 0,05

* Ecart-type de la moyenne.

Le calcul des humidités volumiques et des lames d'eau pour chaque tranche de sol a été effectué à l'aide du programme de calcul USOL (Normand, 1974).

Pour une période déterminée, nous avons calculé l'évapotranspiration réelle à partir de l'équation classique suivante :

$$ETR = P_i - D - \Delta S \quad (1)$$

ETR évapotranspiration réelle,

P_i précipitations incidentes,

D écoulement,

ΔS fluctuation de la lame d'eau contenue dans le sol.

Dans cette équation, nous avons supposé qu'il n'y avait pas de remontées capillaires depuis les horizons profonds (inférieurs à 1,50 m).

Les précipitations incidentes (P_i) ont été mesurées au poste climatologique situé à une distance de 400 m de la parcelle. Les fluctuations de la lame d'eau (ΔS) ont été calculées à partir des profils hydriques effectués dans les différents tubes.

L'écoulement (D) a été déterminé à partir de la présence ou de l'absence de la nappe perchée temporaire. En effet la caractéristique principale du substrat sur lequel est installé le peuplement étudié est l'existence d'un horizon d'engorgement très compact développé sur des marnes liasiques. La présence de cet horizon imperméable a pour conséquence d'une part de limiter en grande partie l'enracinement des arbres aux quatre-vingts premiers centimètres et d'autre part en freinant l'écoulement profond de permettre le développement d'une nappe perchée temporaire (Aussenac, 1972). La présence de la nappe perchée est l'indice d'un excès d'eau qui, en l'absence d'horizon imperméable, s'infiltrerait en profondeur. La fluctuation de la nappe a été suivie à l'aide de tubes piézométriques. L'évapotranspiration réelle a été comparée à l'évapotranspiration potentielle calculée par la formule de Brochet Gerbier (1972) $ETP = mRg + nEp$ pour les mois d'avril à septembre. Pour les mois d'octobre à mars,

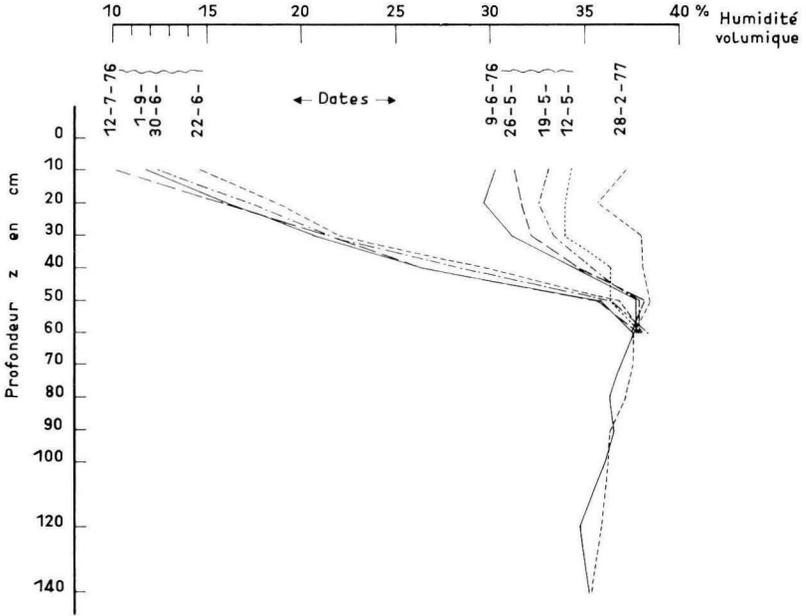


FIG. 1a. — Variation de l'humidité volumique en fonction de la date et de la profondeur dans le sol (tube 9).

Percentage of moisture by volume as influenced by the date and by soil depth (tube 9).

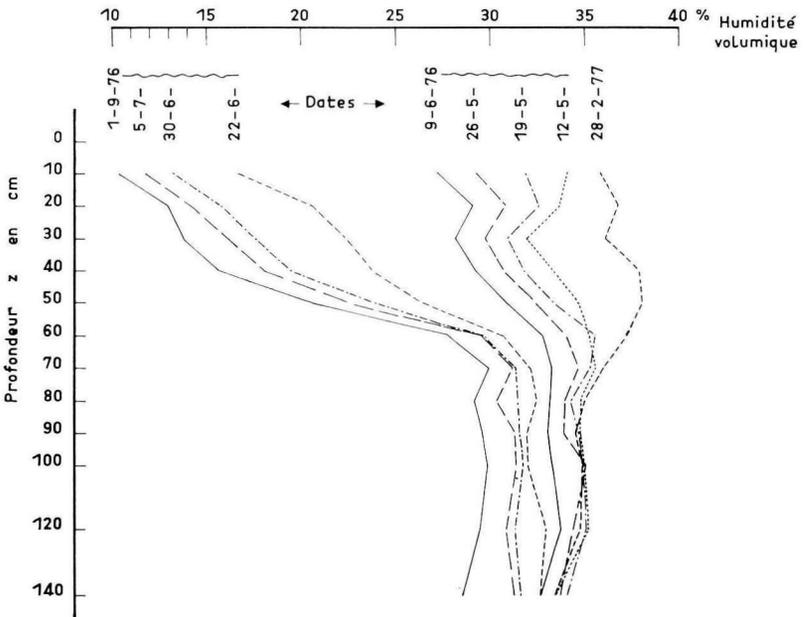


FIG. 1b. — Variation de l'humidité volumique en fonction de la date et de la profondeur dans le sol (tube 12).

Percentage of moisture by volume as influenced by the date and by soil depth (tube 12).

nous ne disposons pas des valeurs des coefficients m et n , nous avons alors utilisé la formule de Bouchet (1964)

$$ETP = \alpha(1 + \lambda(\theta)) E_p .$$

3. — Résultats

3.1. — Evaluation périodique de l'humidité du sol

En 1976 les mesures ont été effectuées hebdomadairement sauf en hiver. En 1977 des incidents techniques ont affecté l'humidimètre à neutrons et la cadence hebdomadaire n'a pas pu être maintenue.

Les figures 1, 2 et 3 donnent les variations de l'humidité volumique pour quelques

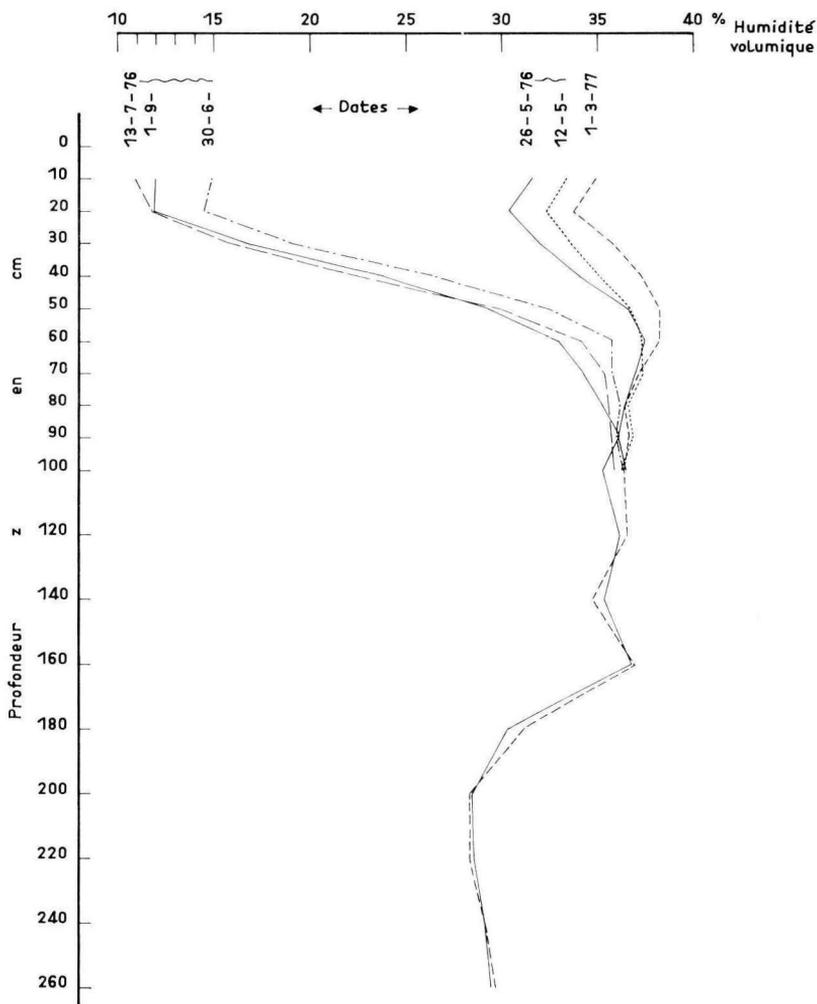


FIG. 2. — Variation de l'humidité volumique en fonction de la date et de la profondeur dans le sol (tube 21).

Percentage of moisture by volume as influenced by the date and by soil depth (tube 21).

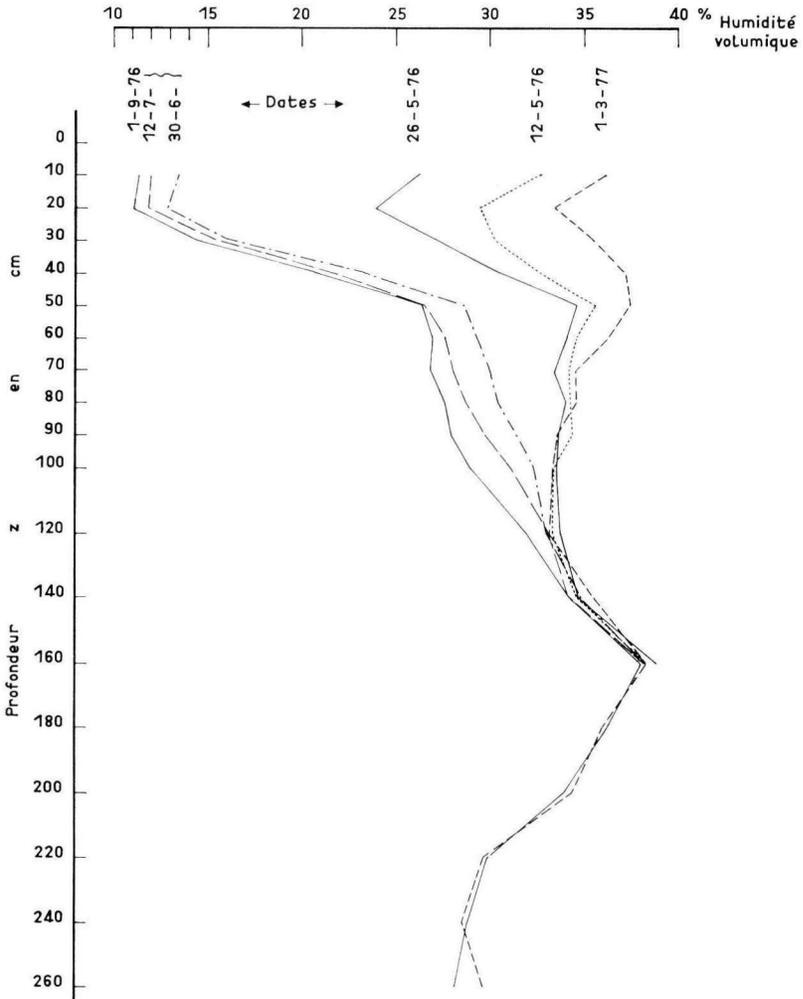


FIG. 3. — Variation de l'humidité volumique en fonction de la date et de la profondeur dans le sol (tube 23).

Percentage of moisture by volume as influenced by the date and by soil depth (tube 23).

tubes pris en exemple en 1977 et surtout en 1976 année qui s'est caractérisée par une sécheresse exceptionnellement forte (Brochet, 1977). Sur ces figures sont reportés différents profils hydriques, les courbes enveloppes correspondant aux valeurs de l'humidité volumique à la capacité au champ (1977) et aux valeurs de l'humidité volumique au moment du maximum de dessèchement en août-septembre 1976.

En 1976 le dessèchement du sol a été très important dans la partie superficielle du sol de 0 à 50 cm de profondeur (tubes 9 et 21), confirmant là l'influence déterminante de l'horizon imperméable qui bloque le développement racinaire. Dans certains cas, le dessèchement s'est propagé à des profondeurs plus importantes, c'est ce que nous pouvons voir dans le cas du tube 12 et du tube 23.

D'une façon générale, on constate que le dessèchement est pratiquement nul après 130 cm de profondeur sauf dans le cas des tubes 12, 13, 17 et 18 qui présentent encore un certain dessèchement à 140 cm de profondeur.

Pour chacun des tubes étudiés, nous avons calculé la réserve d'eau du sol qui a été utilisée par les arbres en 1976. Elle a été évaluée, pour une épaisseur de sol de 150 cm, par la différence entre la lame d'eau correspondant à la capacité au champ (mesurée début 1977) et la lame d'eau la plus faible qui a été mesurée fin août début septembre 1976. Le tableau 2 donne, pour chacun des tubes, les lames d'eau qui ont été utilisées par le peuplement. Les valeurs obtenues varient de 89,3 mm pour le tube 2, à 177,0 mm pour le tube 12. L'analyse des profils hydriques successifs a mis en évidence deux grands types d'évolution : le type 1 qui correspond aux tubes 9 et 21 (voir fig. 1a et 2) et le type 2 qui correspond aux tubes 12 et 23 (voir fig. 1b et 3). En reportant ces données sur la cartographie de la placette expérimentale (fig. 4), on voit apparaître deux zones :

— la partie ouest de la parcelle avec les tubes 2, 9, 8, 16, 3, 15, 7, 10, 21, 6 et 24 pour lesquels la réserve utilisée a varié de 89,3 mm à 117,3 mm avec une absence de

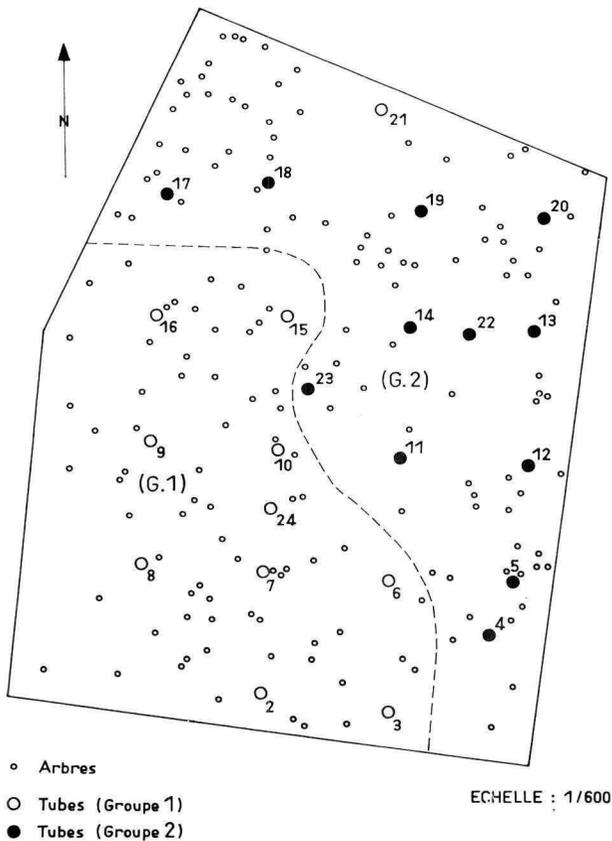


FIG. 4. — Situation des arbres et des tubes dans la placette étudiée.
 Location of the trees and the tubes in the stand.

variations de l'humidité du sol au-delà de 90 cm de profondeur. C'est la zone qui correspond au type I ;

— la partie est avec les tubes 22, 13, 19, 4, 20, 17, 11, 18, 14, 23, 5 et 12 pour lesquels la réserve utilisée a varié de 126,8 mm à 177,0 mm avec des variations de l'humidité du sol jusqu'à 150 cm de profondeur. C'est la zone qui correspond au type 2.

La variation considérable d'un tube à l'autre de cette réserve d'eau utilisée en 1976 nous a amené à étudier l'effet de la proximité et de la dimension des arbres. La figure 5 donne à cet égard la relation qui existe entre la réserve utilisée et le rapport section de l'arbre à 1,30 m (S)/distance à l'arbre (D). Il s'agit ici de la distance à l'arbre le plus voisin du tube considéré. On remarque que l'existence des deux groupes que nous avons identifiés se confirme.

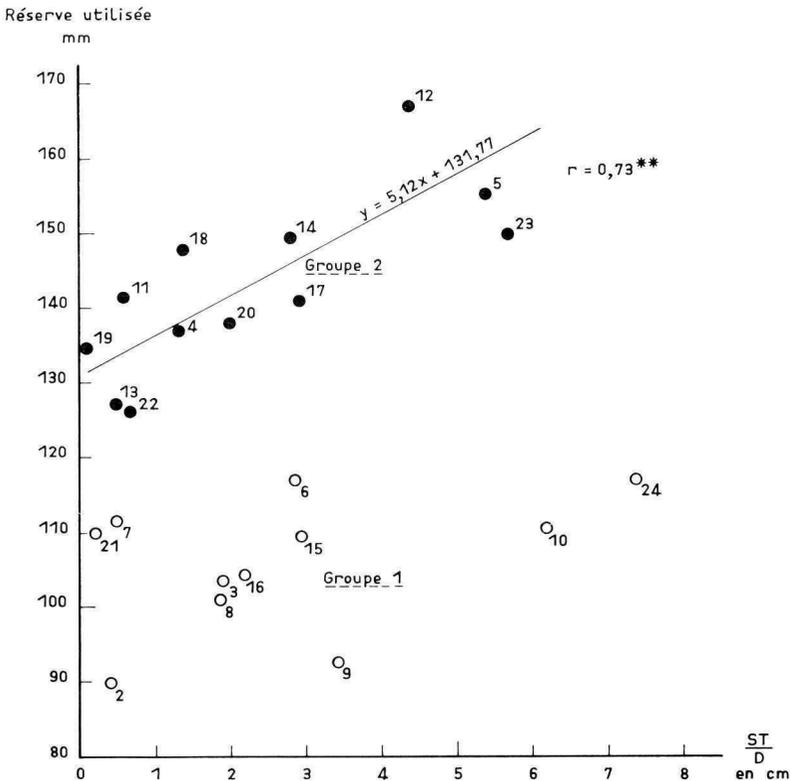


FIG. 5. — Relation entre la réserve d'eau utilisée et le rapport ST/D (section de l'arbre/distance à l'arbre) pour les différents emplacements de mesure.

Relationship between utilized water reserve and the ST/D ratio (cross section of stem/distance from tree) for the different tubes.

Dans le groupe 1 (type 1 partie ouest de la placette) il n'y a pas de corrélation entre la réserve utilisée et le rapport S/D. Dans le cas du groupe 2 (type 2 partie est de la placette), on voit au contraire qu'il y a une relation très nette et que la réserve utilisée augmente avec le rapport S/D, cela signifie que le prélèvement d'eau dans le

TABLEAU 2

Classement des tubes en fonction de la réserve d'eau utilisée en 1976 sur les 150 premiers centimètres du sol
Classification of the tubes as a fonction of utilized water reserve in the year 1976 in the upper 150 centimeters of the soil

Tube	Réserve utilisée (mm)	Tube	Réserve utilisée (mm)	Tube	Réserve utilisée (mm)
2	89,3	21	112,1	17	140,9
9	93,4	6	116,9	11	141,0
8	100,7	24	117,3	18	148,3
16	101,4	22	126,8	14	148,9
3	103,5	13	127,2	23	149,6
15	109,5	19	134,5	5	155,4
7	111,1	4	137,0	12	177,0
10	111,3	20	137,8		

sol a été d'autant plus important que le tube se trouvait près d'un arbre et que cet arbre était gros. Ce résultat n'a rien de surprenant et c'est au contraire la zone ouest (type 1) qui pose un problème. Il semble que dans ce dernier cas la réserve utilisée (106 mm pour une épaisseur de 150 cm) corresponde à une valeur proche de la réserve maximale extractible par le Hêtre dans ce type de sol car l'effet de proximité et de grosseur des arbres ne se manifeste pas au niveau du peuplement. Dans la zone correspondant au type 2 les possibilités d'extraction d'eau du sol sont plus grandes et la réserve utilisée dépend de la proximité et de la grosseur des arbres. Il est alors probable que dans ce cas la réserve utile est plus grande et n'a pas été totalement utilisée au niveau du peuplement. Ces différences entre les deux zones laissent supposer que certaines caractéristiques physiques du sol sont responsables de l'importance de la réserve d'eau qui a été utilisée en 1976. L'étude granulométrique (tabl. 3) du sol corres-

TABLEAU 3

Analyse granulométrique des sols correspondant aux deux zones mises en évidence dans la placette expérimentale

Granulometric analysis of the soils corresponding to the two parts of the experimental plot

Profondeur (cm)	Zone ouest (type 1)					Zone est (type 2)				
	argile	limons fins	limons gross.	sables fins	sables gross.	argile	limons fins	limons gross.	sables fins	sables gross.
20	24,3 *	44,7	20,5	2,97	4,20	21,0	41,6	22,6	3,07	6,00
40	26,5	38,6	21,6	3,60	4,30	23,2	41,2	21,8	4,17	4,53
60	38,5	32,5	17,0	3,23	1,27	31,1	36,8	20,2	3,57	2,20
80	37,7	35,4	18,1	3,30	0,97	28,6	34,1	26,7	5,40	1,57
100	29,0	37,9	23,5	4,83	0,87	27,0	42,3	20,7	4,53	1,50

* En pourcentage.

pendant a fait apparaître un certain nombre de différences : en particulier on peut remarquer que le sol du deuxième type a une fraction plus importante de limons et de sables que le sol du premier type.

La somme argile plus limon fin est nettement plus élevée à 80 cm dans le type 1, on peut supposer que le sol a dans cet horizon une faible conductibilité hydraulique. La limitation des transferts verticaux explique alors la faible amplitude des profils hydriques au cours de l'année.

3.2. — Evaluation de l'évapotranspiration réelle

Les tableaux 4, 5, 6 et 7 reportent, pour les deux zones mises en évidence dans la

TABLEAU 4

*Bilan hydrique calculé dans la partie de la parcelle
correspondant aux tubes du groupe 1 (année 1976)*

Water balance in the western part of the experimental plot (1976)

Date et période	Précipitations (mm)	Variation du stock d'eau du sol (mm)	ETR (mm)	ETP (mm)	ETR/ETP	Écoulement (mm)	Feuillaison
12/05/76							—
18/05/76	5,7	— 5,5	11,2	28,8	0,39		—
25/05/76	1,6	— 5,0	6,6	24,3	0,27		—
03/06/76	21,5	2,5	19,0	30,4	0,63		—
08/06/76	0,4	— 5,2	5,6	21,2	0,26		—
21/06/76	0,0	— 46,6	46,6	59,5	0,78		—
29/06/76	0,0	— 21,2	21,2	47,9	0,44		—
04/07/76	0,0	— 8,3	8,3	25,3	0,33		—
11/07/76	0,2	— 4,7	4,9	33,9	0,14		—
03/08/76	54,6	18,8	35,8	84,2	0,43		—
10/08/76	0,0	— 13,8	13,8	28,5	0,48		—
17/08/76	8,4	— 5,6	14,0	29,4	0,48		—
24/08/76	0,0	— 3,2	3,2	34,9	0,09		—
31/08/76	4,5	— 1,9	6,4	22,1	0,29		—
07/09/76	14,5	5,0	9,5	16,1	0,59		—
13/09/76	39,1	33,7	5,4	10,6	0,51		—
21/09/76	5,0	— 1,3	6,3	14,3	0,44		—
28/09/76	29,7	15,0	14,7	12,5	1,18		—
06/10/76	12,4	4,7	7,7	8,6	0,90		—
12/10/76	8,6	1,3	7,3	12,9	0,57		—
19/10/76	7,9	1,7	6,2	5,0	1,24		—
01/11/76	21,4	11,0	8,2 *	8,2	1,0	2,2	—
09/11/76	15,9	4,5	6,3 *	6,3	1,0	5,1	—
06/12/76	60,7	18,6	13,1 *	13,1	1,0	29,0	—
15/12/76	22,8	— 2,3	1,6 *	1,6	1,0	23,5	—
01/02/77	86,3	9,1	12,0 *	12,0	1,0	65,2	—
Total au 19/10/76	251,4		253,7	550,4	0,46		
Total au 01/02/77	421,2		294,9	591,6	0,50	125,0	

* Calculé à partir de $ETR/ETP = 1,0$.

TABLEAU 5

*Bilan hydrique calculé dans la partie de la parcelle
correspondant aux tubes du groupe 2 (année 1976)*

Water balance in the eastern part of the experimental plot (1976)

Date et période	Précipitations (mm)	Variation du stock d'eau du sol (mm)	ETR (mm)	ETP (mm)	ETR/ETP	Écoulement (mm)	Feuillage
12/05/76							
18/05/76	5,7	— 8,3	14,0	28,8	0,49		—
25/05/76	1,6	— 10,3	11,9	24,3	0,49		—
03/06/76	21,5	0,9	20,6	30,4	0,68		—
08/06/76	0,4	— 12,7	13,1	21,2	0,62		—
21/06/76	0,0	— 43,8	43,8	59,5	0,74		—
29/06/76	0,0	— 24,0	24,0	47,9	0,50		—
04/07/76	0,0	— 10,4	10,4	25,3	0,41		—
11/07/76	0,2	— 8,9	9,1	33,9	0,27		—
03/08/76	54,6	10,0	44,6	84,2	0,53		—
10/08/76	0,0	— 13,4	13,4	28,5	0,47		—
17/08/76	8,4	— 5,3	13,7	29,4	0,47		—
24/08/76	0,0	— 4,9	4,9	34,9	0,14		—
31/08/76	4,5	— 3,5	8,0	22,1	0,36		—
07/09/76	14,5	3,7	10,8	16,1	0,67		—
13/09/76	39,1	37,7	1,4	10,6	0,13		—
21/09/76	5,0	— 8,4	13,4	14,3	0,94		—
28/09/76	29,7	15,0	14,7	12,5	1,18		—
06/10/76	12,4	0,7	11,7	8,6	1,36		—
12/10/76	8,6	— 2,1	10,7	12,9	0,83		—
19/10/76	7,9	2,3	5,6	5,0	1,12		—
01/11/76	21,4	10,1	8,2 *	8,2	1,00	3,10	—
09/11/76	15,9	9,7	6,3 *	6,3	1,00	0,0	—
06/12/76	60,7	44,6	13,1 *	13,1	1,00	3,0	—
15/12/76	22,8	5,8	1,6 *	1,6	1,00	15,4	—
01/02/77	86,3	25,5	12,0 *	12,0	1,00	48,8	—
Total au							
19/10/76	251,4		299,8	550,4	0,54		
Total au							
01/02/77	421,2		341,0	591,6	0,58	70,3	

* Calculé à partir de ETR/ETP = 1,0.

TABLEAU 6

Bilan hydrique calculé dans la partie de la parcelle
correspondant aux tubes du groupe 1 (année 1977)

Water balance in the western part of the experimental plot (1977)

Date et période	Précipitations (mm)	Variation du stock d'eau du sol (mm)	ETR (mm)	ETP (mm)	ETR/ETP	Écoulement (mm)	Feuillaison
01/02/77							
28/02/77	113,2	3,3	19,1 *	19,1	1,00	90,8	
05/04/77	66,2	3,5	46,0 *	46,0	1,00	16,7	
03/05/77	42,8	— 2,8	45,6	66,3	0,69		—
11/05/77	23,2	6,5	13,3 *	13,3	1,00	3,4	—
18/05/77	13,5	— 8,1	16,1 *	16,1	1,00	5,5	—
01/06/77	14,8	— 12,2	27,0	60,6	0,45		—
14/06/77	44,9	7,2	37,7	45,8	0,82		—
21/06/77	36,3	3,8	19,2 *	19,2	1,0	13,3	—
30/06/77	10,7	— 3,2	13,9	24,7	0,56		—
05/07/77	0,0	— 9,3	9,3	23,8	0,39		—
12/07/77	3,0	— 13,9	16,9	31,0	0,55		—
20/07/77	13,4	— 7,2	20,6	29,7	0,69		—
27/07/77	41,4	18,2	18,9 *	18,9	1,00	4,3	—
03/08/77	14,7	— 0,2	14,9	16,5	0,90		—
10/08/77	23,7	— 1,7	22,7 *	22,7	1,00	2,7	—
19/10/77	139,0	1,8	117,5 *	117,5	1,00	19,7	—
07/11/77	50,1	10,1	14,3 *	14,3	1,00	25,7	
Total du 6/4 au 19/10/77	421,5		393,6	506,1	0,78	48,9	
Total du 2/2 au 07/11/77	651,2		473,0	585,5	0,81	182,1	

* Calculé à partir du rapport ETR/ETP = 1,0.

placette, l'évaluation périodique de l'évapotranspiration réelle en 1976 et en 1977. Ces tableaux indiquent aussi les précipitations, les variations de lame d'eau dans le sol, l'évapotranspiration potentielle, l'écoulement et l'état phénologique.

En 1976 année exceptionnellement sèche, il n'y a pas eu d'écoulement jusqu'en novembre. En 1977, année beaucoup plus pluvieuse, l'écoulement a existé plus fréquemment. L'écoulement n'a pas été mesuré, lorsqu'il a existé nous avons utilisé le rapport $ETR/ETP = 1,0$ pour calculer ETR.

En 1976 l'évapotranspiration réelle a été extrêmement réduite. Sur la période du 12/05/76 au 12/10/76, on note 253,7 mm dans la zone ouest contre 299,8 mm dans la zone est, soit une différence de 46,1 mm (15,0 p. 100). L'évapotranspiration potentielle a atteint 550,4 mm pendant cette période.

Pendant la période du 20/10/1976 au 1/02/1977, il y a eu de l'écoulement. On remarque une différence de 54,7 mm en faveur de la zone correspondant au groupe 1. On retrouve bien là le fait que dans ce cas l'épaisseur utile de sol est plus faible.

En 1977 l'évapotranspiration réelle est plus élevée. On note deux périodes de sécheresse, une du 19 mai au 14 juin et l'autre du 22 juin au 20 juillet. Pendant les

TABLEAU 7

Bilan hydrique calculé dans la partie de la parcelle
correspondant aux tubes du groupe 2 (année 1977)

Water balance in the eastern part of the experimental plot (1977)

Date et période	Précipitations (mm)	Variation du stock d'eau du sol (mm)	ETR (mm)	ETP (mm)	$\frac{ETR}{ETP}$	Écoulement (mm)	Feuillaison
01/02/77							
28/02/77	113,2	1,8	19,1 *	19,1	1,00	92,3	
05/04/77	66,2	4,6	46,0 *	46,0	1,00	15,6	
03/05/77	42,8	— 2,2	45,0	66,3	0,68		—
11/05/77	23,2	5,8	13,3 *	13,3	1,00	4,10	—
18/05/77	13,5	— 7,3	16,1 *	16,1	1,00	4,70	—
01/06/77	14,8	— 19,3	34,1	60,6	0,56		—
14/06/77	44,9	7,0	37,9	45,8	0,83		—
21/06/77	36,3	10,0	19,2 *	19,2	1,00	7,10	—
30/06/77	10,7	— 9,5	20,2	24,7	0,82		—
05/07/77	0,0	— 13,8	13,8	23,8	0,58		—
12/07/77	3,0	— 22,4	25,4	31,0	0,82		—
20/07/77	13,4	— 9,4	22,8	29,7	0,77		—
27/07/77	41,4	20,5	18,9 *	18,9	1,00	2,00	—
03/08/77	14,7	— 6,5	16,5 *	16,5	1,00	4,70	—
10/08/77	23,7	— 0,4	22,7 *	22,7	1,00	1,40	—
19/10/77	139,0	— 2,8	117,5 *	117,5	1,00	24,30	—
07/11/77	50,1	26,2	14,3 *	14,3	1,00	9,60	
Total du 6/4 au 19/10/77	<u>421,5</u>		423,4	506,1	0,84	48,3	
Total du 2/2 au 07/11/77	<u>651,2</u>		502,8	585,5	0,86	165,8	

* Calculé à partir du rapport $ETR/ETP = 1,0$.

autres périodes il y a eu des excédents d'eau, l'évaluation de l'évapotranspiration est difficile. En l'absence d'écoulement l'évapotranspiration est plus importante dans la zone est que dans la zone ouest. Du 6 avril au 19 octobre, période de végétation, la différence d'évapotranspiration entre les deux zones est notable, 29,8 mm (7,6 p. 100), bien que l'année soit humide.

Sur la période de végétation, le rapport $ETR/ETP = 0,46$ en 1976 et 0,78 en 1977, dans la zone ouest contre 0,54 en 1976 et 0,84 en 1977 dans la zone est de la parcelle.

4. — Discussion et conclusion

Dans cette hêtraie l'étude des profils hydriques a été faite dans deux types de situations climatiques :

- en 1976 la sécheresse, accident climatique rare en Lorraine,
- en 1977 le cas le plus fréquent : un déficit hydrique faible ou nul.

En 1976 nous avons observé des dessèchements du sol très importants. Il est apparu clairement que selon les cas le dessèchement du sol dépendait de la proximité des arbres et de leur grosseur mais aussi de la texture du sol. Dans la placette expérimentale apparemment homogène deux zones ont été mises en évidence : dans la première le prélèvement d'eau a été limité aux soixante-dix premiers centimètres ; dans la deuxième zone le prélèvement d'eau très important de 0 à 70 cm s'est aussi manifesté plus profondément et nous l'avons noté jusqu'à 160 cm.

D'une façon générale le prélèvement d'eau diminue rapidement avec la profondeur du sol, ce qui traduit une diminution puis l'arrêt de l'enracinement des arbres. Dans la première zone il est très probable que les racines ne dépassent pas 90 cm de profondeur alors que dans le cas de la deuxième zone elles doivent s'enfoncer vraisemblablement davantage.

Dans ces types de sol limono argileux à horizon d'engorgement situé à 70 cm de profondeur les arbres ne sont pas en mesure d'exploiter les réserves d'eau utile telles que l'on pourrait les calculer par la différence : lame d'eau à la capacité au champ — lame d'eau dans le profil au point de flétrissement permanent. Pour évaluer correctement la réserve réellement utilisable il aurait fallu que la sécheresse aboutisse à la mort des arbres constituant le peuplement. Sur le plan biologique on voit que sur un tel substrat malgré une apparente homogénéité des peuplements il existe, selon les emplacements des arbres, des possibilités d'extraction d'eau qui peuvent être différentes. Ces différences, moins sensibles en année normale, peuvent être décisives lors des périodes de sécheresse prolongées et expliquer en partie la mort de certains arbres qui ont localement moins d'eau à leur disposition que leurs voisins. Dans notre cas, il semble que en l'absence de mortalité il y ait eu un effet sur la hauteur des arbres. Nous avons trouvé des différences de 1,00 m entre la hauteur dominante des arbres des deux groupes. Il n'est cependant pas possible de conclure car il faudrait pouvoir vérifier ce résultat dans d'autres parties de la forêt.

Dans les deux zones les arbres ont bien résisté à la sécheresse et nous n'avons pas observé de mortalité particulière en 1976 et en 1977 ; ceci montre la bonne adaptation (au plan hydrique) de la hêtraie sur ce type de station par opposition à certaines espèces exotiques (*Tsuga heterophylla*, *Larix leptolepis*, *Picea omorica*, *Thuja plicata*) qui ont présenté une mortalité élevée dans l'Arboretum d'Amance congitu à notre parcelle d'expérimentation.

L'évaluation de l'évapotranspiration réelle a posé un certain nombre de problèmes ; en particulier il a été difficile d'évaluer les pertes d'eau par écoulement et les remontées capillaires des horizons profonds. Daudet *et al.* (1977) ont mis en évidence en 1976, pour un blé cultivé sur limon profond, des remontées capillaires considérables (100 mm) depuis les horizons profonds. Dans notre cas, rappelons qu'il s'agit d'un sol brun forestier développé sur marnes liasiques apparaissant vers 1 m de profondeur, il est probable que les remontées capillaires sont faibles. Il ne nous est pas possible cependant de les chiffrer car nous n'avons pas effectué de mesures de gradient de potentiel. Livet (1976) a effectué des mesures d'humidité et de potentiel dans une parcelle expérimentale située sur un substrat identique à proximité de la forêt domaniale d'Amance. Il n'a pas noté de remontées capillaires à partir des horizons profonds.

En 1976 il n'y a pas eu de perte par écoulement sauf en fin de période ; il en résulte que la précision des bilans hydriques est donc surtout conditionnée par les remontées capillaires mais nous les estimons faibles.

En 1977 par contre la précision des calculs de bilan hydrique est surtout conditionnée par l'écoulement. Ce dernier n'a pas été réellement mesuré. Nous avons utilisé le rapport $ETR/ETP = 1$ pour le calculer.

En fait même lorsque l'alimentation en eau des peuplements est convenable (concept ETP) ce rapport ETR/ETP peut être en réalité en forêt très différent selon l'état phénologique du couvert et selon les conditions climatiques.

Pour les feuillus en particulier au début et à la fin de la feuillaison il semble que le couvert manque « d'efficacité » transpiratoire.

L'interception des précipitations entre pour une part importante dans l'évapotranspiration totale du couvert forestier (Aussenac, 1972) ; l'importance et la fréquence des pluies apparaissent maintenant comme des facteurs déterminants pour l'évapotranspiration réelle des forêts.

L'utilisation de l'évapotranspiration potentielle pour le calcul du bilan hydrique des peuplements forestiers ne permet pas d'avoir une précision suffisante. Il faut effectivement mesurer l'évapotranspiration réelle même lorsqu'il y a des écoulements et prendre en considération à la fois les capacités transpiratoires du couvert (résistances à la diffusion) et l'interception des précipitations.

La méthode gamma neutronique n'est pas la seule à être utilisée pour mesurer l'évapotranspiration des peuplements forestiers. Nous avons nous-même effectué des essais en utilisant la méthode aérodynamique et la méthode du bilan d'énergie. Les résultats n'ont pas été concluants. Ces méthodes ne nous apparaissent pas utilisables de manière opérationnelle en continu tout au long de l'année. Avery et Fritschen (1971) aboutissent à des conclusions identiques. Malgré les problèmes qu'elle pose la méthode gamma neutronique couplée avec d'autres techniques (contrôle du flux d'eau : écoulement et remontée capillaire) nous apparaît pour l'instant comme la seule susceptible de permettre une évaluation de l'évapotranspiration réelle des peuplements pendant de longues périodes.

Reçu pour publication en février 1979.

Summary

*Bioclimatic studies in a broadleaf high stand
(Fagus silvatica L. — Quercus sessiliflora Salisb.)*

II. — Soil moisture and evapotranspiration

A study of soil moisture and of evapotranspiration was initiated in a beech stand of eastern France near Nancy.

The data were obtained with a neutron probe. Soil moisture monitoring was conducted in 1976 an exceptionally dry year and in 1977 a normally wet year.

In the apparently homogeneous experimental plot two areas were put into evidence : in the first (western part), water uptake occurred in the upper 70 cm, in the second (eastern part), water uptake also occurred from 70 cm to 160 cm. In 1976 the soil water reserve utilized by the trees was assessed in both parts of the plot. This value has been computed with a 150 cm soil depth as the difference between the soil water retention at field capacity and the soil water retention when drought was maximum (end of August 1976).

In the second part of the plot the utilized soil water reserve could be related to the size of and the distance to the nearest tree. On the other hand in the first area no relationship appeared. In this last case the utilized water reserve — average value 106 mm — seems to be close to the maximal water reserve available for the beech in this type of soil. Differences between those two areas are linked with granulometric properties of the soil.

In 1976 during the growing season the evapotranspiration amounted to 253,7 mm in the first part, as against 299,8 mm in the second part. During the same period potential evapotranspiration was 550,4 mm.

Références bibliographiques

- AVERY Ch. C., FRITSCHEN L. J., 1971. Hydrologic and energy budgets of stocked and non stocked Douglas-Fir sites as calculated by meteorological methods. *Research Report*, College of Forest Resources, University of Washington, 131 p.
- AUSSENAC G., 1972. Etude de l'évapotranspiration réelle de quatre peuplements forestiers dans l'Est de la France. *Ann. Sci. Forest.*, **29** (3) 369-382.
- AUSSENAC G., 1973. Climat, microclimat et production ligneuse. *Ann. Sci. Forest.*, **30** (3) 239-258.
- AUSSENAC G., DUCREY M., 1974. A propos de l'Arboretum de Royat, climatologie et potentialité de production forestière. *R. F. F.* **26** (6) 447-458.
- AUSSENAC G., DUCREY M., 1977. Etude bioclimatique d'une futaie feuillue (*Fagus silvatica* L. et *Quercus sessiliflora* Salisb.) de l'est de la France. I. — Etude des profils microclimatiques et des caractéristiques anatomiques et morphologiques de l'appareil foliaire. *Ann. Sci. Forest.*, **34** (4) 265-284.
- BROCHET P., GERBIER N., 1972. Une méthode pratique de calcul de l'évapotranspiration. *Ann. Agron.*, **23** (1) 31-49.
- BROCHET P., 1977. La sécheresse 1976 en France : aspects climatologiques et conséquences. *Bulletin des Sciences hydrologiques*, **3**, 22, 393-411.
- BOUCHET R. J., 1964. Evapotranspiration réelle, évapotranspiration potentielle et production végétale. In *L'eau et la production végétale*, I.N.R.A., 151-232.
- DAUDET F. A., VALANCOGNE Ch., AHO N., KATERGI N., 1977. Bilan d'eau d'une culture de blé d'hiver avec la sécheresse 1976. Contribution des couches profondes à l'alimentation hydrique de la culture. In DAUDET et VACHAUD, *Ann. Agron.*, **27** (5) 503-519.
- LIVET, M., 1976. Etude hydrogéologique des formations de pente de la butte d'Amance. *Rapport de Recherche* n° 52, Ministère de l'Equipement, 106 p.
- NORMAND M., 1974. Méthode d'étalonnage d'un humidimètre à neutrons en utilisant les mesures de densité du densimètre gamma associé. *Colloque sur l'emploi des isotopes et des rayonnements dans les études sur la physique du sol, l'irrigation et le drainage, pour la production agricole*. Agence Internationale de l'énergie atomique. I.A.E.A.-S.M., 172/24, 53-70. Vienne 1973.
-