

LES BILANS HYDRIQUES

LE BILAN HYDRIQUE D'UNE CULTURE FOURRAGÈRE CONSTITUE L'UN DES PRINCIPAUX FACTEURS DE SA PRODUCTION. ON SAIT NOTAMMENT QUE LE RENDEMENT PEUT généralement être corrélé de façon très significative au rapport de l'évapotranspiration réelle ETR sur l'évapotranspiration maximale ETM (observée en condition d'alimentation hydrique satisfaisante).

Ainsi, l'étude des bilans hydriques présente-t-elle une importance primordiale dans toute recherche visant à préciser les aptitudes d'un milieu donné à la production fourragère ou la variabilité interannuelle de cette production. Dans l'étude qui suit, nous avons cherché à situer les termes du bilan hydrique moyen dans un certain nombre de situations géographiques ; mais nous nous sommes efforcé surtout d'apprécier la représentativité des données climatiques habituelles, de préciser les coefficients correctifs à faire intervenir pour serrer de plus près la réalité agronomique et de passer de la notion la plus habituelle de moyenne à celle de fréquence.

1) Les termes du bilan hydrique (définition et détermination de l'évapotranspiration potentielle, du déficit en eau du sol et du déficit d'alimentation en eau des cultures).

Si le terme ETR désigne habituellement l'évapotranspiration réelle d'un couvert végétal donné, plus ou moins bien alimenté en eau, l'ETM représente l'évapotranspiration maximale de ce même couvert, valeur atteinte lorsque la sécheresse édaphique n'intervient plus comme facteur limitant.

Quant à l'évapotranspiration potentielle ETP, elle n'est autre que l'évapotranspiration maximale (ETM) d'un couvert de référence (généralement fétuque dans nos régions) suffisamment couvrant, mais limité en hauteur, et en phase active de croissance.

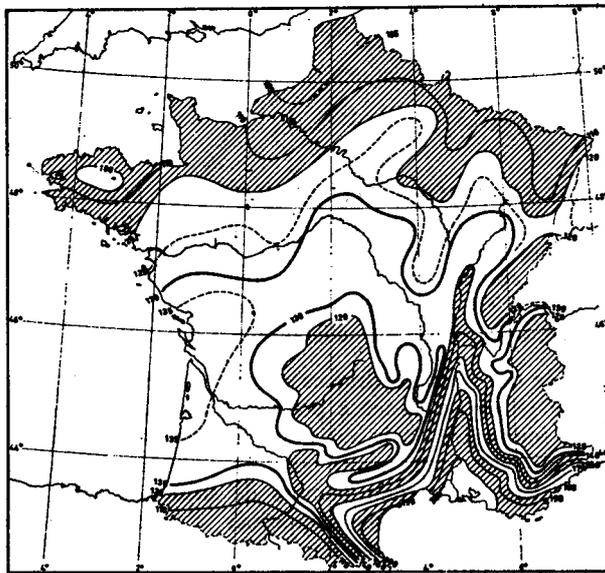
L'ETP fait l'objet de mesures de routine en réseau. De plus, on peut la calculer à l'aide de formules climatiques. On se bornera ici à rappeler la formule fondamentale de PENMAN et à signaler en outre la formule de BROCHET, GERBIER, dérivée de celle de PENMAN, mais d'un emploi plus facile. C'est sur la base de cette dernière formule que les auteurs précités ont pu dresser les cartes mensuelles de l'ETP normale en France figurant notamment dans le nouvel atlas de météorologie et dont la figure 1 donne un exemple.

FIGURE 1

LES ÉVAPOTRANSPIRATIONS POTENTIELLES DU MOIS DE JUILLET
EN FRANCE

(d'après BROCHET, GERBIER)

(cf. également Atlas climatique de la France, Météorologie Nationale édit.)



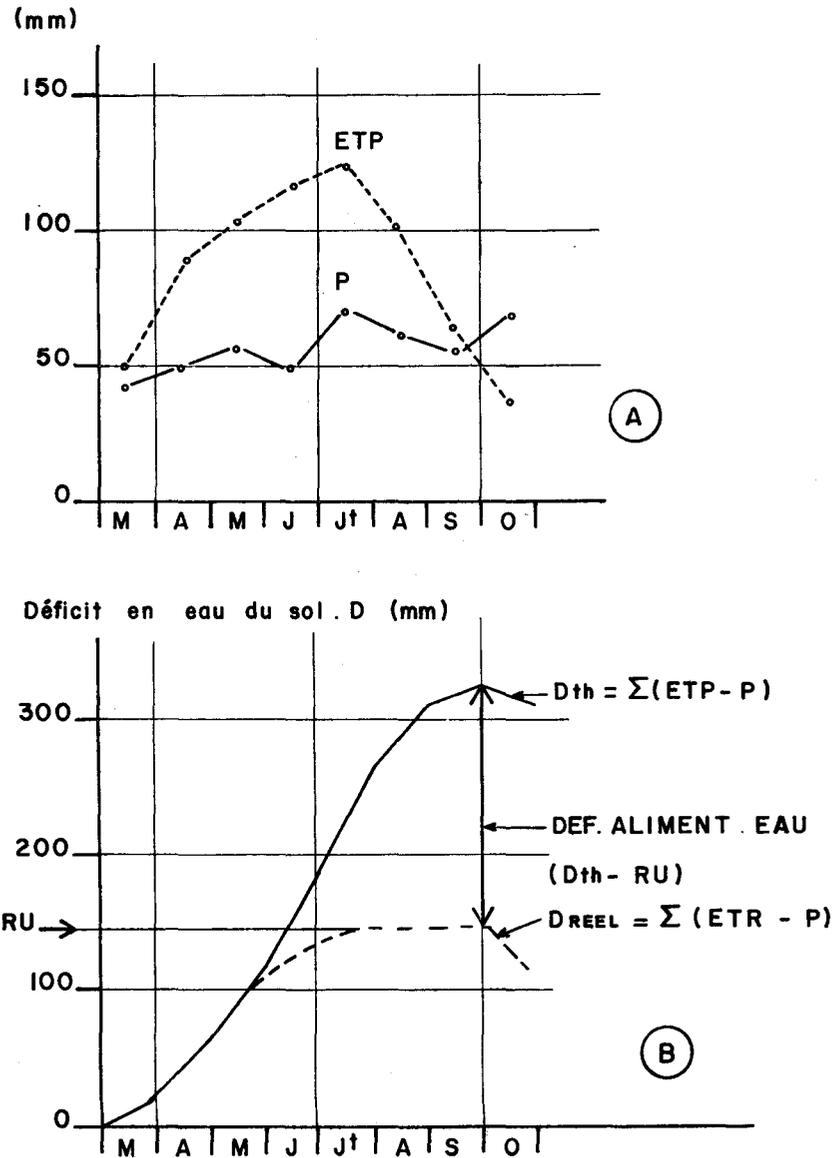
Si l'on porte sur un même graphique les valeurs mensuelles de l'ETP et de la pluie comptées l'une et l'autre en millimètres (cf. figure 2 A, les valeurs normales de Paris-Le Bourget), on note que l'ETP est supérieure aux pluies pendant une période qui couvre généralement la période 1^{er} avril-1^{er} octobre. Cela signifie que, durant cette période, l'égalité $ETR = ETP$ supposerait, pour tout laps de temps considéré, une contribution du sol égale à $ETP - P$. Dans cette hypothèse (et en assimilant, d'autre part, l'ETM du couvert considéré à l'ETP), la quantité d'eau cédée par le sol au temps t , ou déficit

FIGURE 2

A. VARIATION ANNUELLE
DE L'ÉVAPOTRANSPIRATION POTENTIELLE (ETP)
ET DES PRÉCIPITATIONS (P) (en mm)

B. ÉVOLUTION DES DÉFICITS THÉORIQUES (D_{th})
ET REEL ($D_{réel}$) (en mm)

ET MISE EN ÉVIDENCE DU DÉFICIT D'ALIMENTATION EN EAU
(d'après les données de Paris-Le Bourget, année normale)



théorique en eau du sol, serait égale à la somme des ETP — P comptée depuis le début du dessèchement (t_0) :

$$D_{th} = \sum_{t_0}^t (ETP - P)$$

La courbe donnant la variation de ce déficit théorique peut ainsi se déduire immédiatement des valeurs d'ETP et de P (cf. figure II B) comptabilisées depuis le début de la phase de sécheresse (t_0) jusqu'à la date t considérée. On constate dans le cas illustré figure II (région parisienne, année normale) que ce déficit théorique dépasse 300 mm en fin de saison sèche.

Le même calcul appliqué à un ensemble de stations de France montre qu'à l'exception des zones montagneuses jouissant d'une pluviométrie abondante du fait de l'orographie, le déficit théorique dépasse presque toujours 200 mm et généralement 300 mm, pour atteindre 6 à 800 en région méditerranéenne (cf. tableau I).

TABLEAU I
DÉFICIT THÉORIQUE MAXIMAL EN EAU DU SOL
(année normale)

<i>Région Ouest Sud-Ouest</i>		<i>Nord, Bassin parisien, Centre</i>		<i>Nord-Est Est</i>	
Agen	325	Auxerre	255	Belfort	140
Alençon	225	Langres	150	Clermont-Ferrand ..	230
Angers	315	Le Mans	300	Dijon	220
Bordeaux	300	Lille	170	Grenoble	150
Brest	220	Orléans	310	Le Puy	230
Caen	230			Lyon	230
Limoges	145	Reims	280	Nancy	160
Nantes	285	Romilly	240	Strasbourg	140
Pau	100	Rouen	180	<i>Zone méditerranéenne</i>	
Rennes	280	Saint-Quentin	200	Marseille	775
Toulouse	340	Tours	280	Montélimar	430
		Versailles	285	Perpignan	710

Dans la majeure partie des zones de plaines ou de plateaux, il demeure à l'intérieur de la gamme de variation 220-320 mm et l'on peut d'ailleurs constater que les régions herbagères correspondent à des valeurs relativement faibles dans ce déficit théorique D_{th} .

On sait que le stock d'eau que le sol est effectivement capable de céder à la plante (*réserve utile RU*), très variable comme on le verra plus loin (§ 3) est presque toujours notablement inférieur à cette valeur. Tablant par exemple sur une RU de 140 mm (cf. figure 2), le déficit réel en eau du sol sous prairie :

- croîtra dans un premier temps comme le D_{th} (c'est la période où la réserve du sol compense les besoins et où l'alimentation est par conséquent satisfaisante) ;
- puis lui deviendra inférieur pour tendre lentement ou pour buter sur cette valeur admise ici de 140 mm de réserve utile (l'alimentation hydrique limitée aux pluies devenant alors déficiente).

Le déficit d'alimentation en eau se lit immédiatement sur les courbes de la figure 2. Le déficit d'alimentation en eau durant la saison de végétation est donné par la différence d'ordonnée maximale entre les deux courbes D_{th} et D réel.

Dans le cas des prairies couvrant le sol toute l'année, ce déficit d'alimentation sur l'ensemble de la saison sera (si, comme c'est presque toujours le cas, D réel a atteint à un moment donné sa valeur maximale RU) :

$$(\text{Def. Alim.}) \text{ annuel} = (D_{th}) \text{ max} - \text{RU}$$

Ainsi à réserve utile égale (RU = constante), le déficit d'alimentation en eau des végétaux varie, comme le déficit théorique maximal, et peut ainsi, dans une première approche, s'évaluer à partir des données du tableau I.

**

La démarche qui vient d'être présentée et les résultats que l'on peut en tirer sont en fait très grossiers.

Tout d'abord, les ETP calculées constituent une estimation souvent erronée des ETM des couverts végétaux ; or, nous verrons que des variations relativement légères d'ETM sont susceptibles de modifier le bilan hydrique de façon importante.

Est-il nécessaire de souligner par ailleurs (en particulier, quand c'est la production fourragère qui est en cause) l'insuffisance de la notion de moyenne et la nécessité d'introduire celle de fréquence ?

Dans l'étude qui suit, nous nous efforcerons donc d'analyser les variations spatio-temporelles des termes du bilan :

- variations temporelles en précisant la variation interannuelle des précipitations et de l'ETP sur l'ensemble de la période de sécheresse ;
- variation spatiale de la réserve utile RU et du rapport ETM/ETP.

2) Variabilité interannuelle des précipitations.

Nous n'insisterons pas sur cet aspect de la question qui a fait l'objet de l'exposé de M. BROCHET. Dans la suite de cet exposé, nous la prendrons en compte en retenant, sur l'ensemble de la période sèche et pour chaque site, les valeurs égales ou supérieures aux précipitations effectivement reçues :

- 10 années sur 100 (P 10)
- 25 années sur 100 (P 25)
- 50 années sur 100 (P 50)
- 75 années sur 100 (P 75)

Pour préciser la démarche, et à titre d'illustration, nous retiendrons les données (assez approximatives) correspondant aux quatre stations portées figure 3 et données dans le tableau ci-après.

FIGURE 3

COURBES DONNANT LE NOMBRE D'ANNÉES (en %) POUR LESQUELLES LA SOMME DES PRÉCIPITATIONS DE LA PÉRIODE « SÈCHE » (1^{er} avril au 1^{er} octobre) EST INFÉRIEURE A LA VALEUR PORTÉE EN ABCISSES

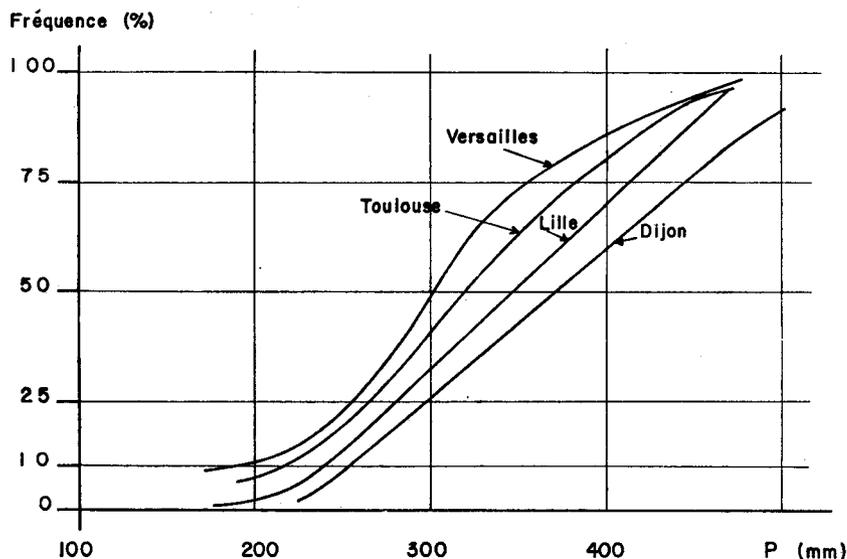


TABLEAU II
VALEURS CARACTÉRISTIQUES DE LA PLUVIOMÉTRIE
(Période 1^{er} avril au 1^{er} octobre)

	Versailles	Lille	Dijon	Toulouse
P 75	350	410	440	380
P 50	300	345	365	315
P 25	255	280	300	265
P 10	180	240	250	210

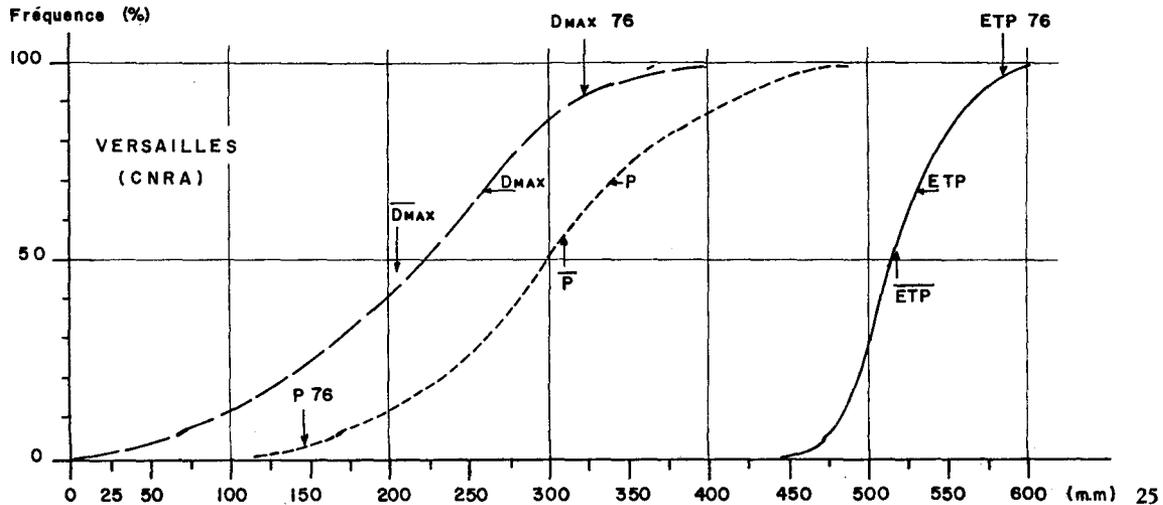
3) Variabilité interannuelle de l'ETP.

La courbe de la figure 4 donne les fréquences annuelles de l'ETP calculée à Versailles (C.N.R.A.) sur l'ensemble de la période sèche (1^{er} avril-1^{er} octobre).

FIGURE 4

COURBES DONNANT LE NOMBRE D'ANNÉES (en %) POUR LESQUELLES :

- la somme des précipitations,
 - - la somme de l'ETP,
 - le déficit théorique maximal en eau du sol $D_{max} = \Sigma ETP - \Sigma P$
- comptés tous trois en mm pour la période sèche (1^{er} avril au 1^{er} octobre) sont respectivement inférieurs aux valeurs portées en abscisses
(données relatives à Versailles-C.N.R.A.)



La dispersion autour de la valeur moyenne (520 mm) est celle que permettrait de prévoir le calcul de l'écart quadratique moyen effectué par BROCHET-GERBIER (30 mm) et qui conduit ainsi à une fluctuation possible autour de la moyenne de ± 60 mm pour 95 % des années.

On a cherché à apprécier l'influence de cette variabilité sur celle du déficit d'alimentation $D_{th} - RU$ soit $\Sigma ETP - \Sigma P - RU$.

Comme le montre la figure 4, où l'on a reporté la courbe de fréquence des pluies (déjà indiqué figure 3), la variabilité de l'ETP est nettement inférieure à celle des précipitations. D'autre part, on peut vérifier que les deux termes aléatoires ETP et P figurant dans la différence ne présentent entre eux qu'une corrélation très faible sinon nulle.

Pour ces deux raisons, on n'introduira qu'une erreur minime (de l'ordre de 10 %) sur la variabilité du déficit d'alimentation si l'on ne tient pas compte de la variabilité possible des ETP. C'est ainsi que, par la suite, les déficits d'alimentation hydrique seront calculés sur la base

$$\overline{\Sigma ETP} - \Sigma P - RU,$$

les \overline{ETP} désignant les valeurs *normales* des différents mois de la période sèche.

4) Variations mésoclimatiques de l'ETP.

Les valeurs de l'ETP sont généralement calculées sur la base des données climatologiques du réseau de la météorologie nationale ; c'est le cas notamment de celles mentionnées plus haut, que l'on trouve dans le nouvel atlas météorologique français. Elles sont donc caractéristiques de situations de plaines ou de plateaux dégagés.

Or, lorsque l'on passe à des situations plus abritées du fait du relief (cas d'une vallée plus ou moins encaissée), du bocage ou de protections diverses, l'ETP peut s'en trouver réduite de façon plus ou moins importante. C'est ce qu'illustre en particulier le graphique de la figure 5 où sont comparées mois par mois les ETP de Versailles-C.N.R.A. (situation de bas-fond assez boisée) et de La Minière (paysage ouvert en situation de plateau). Le rapport des ETP d'une situation à l'autre est de l'ordre de 0,85.

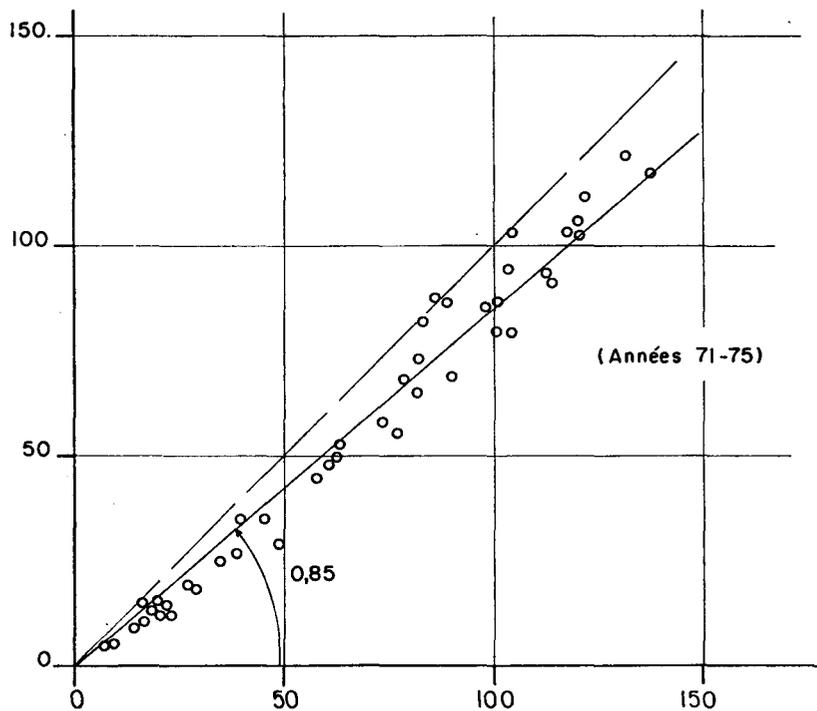
De même, si l'on compare les valeurs normales d'ETP trouvées à Versailles-C.N.R.A. et au poste (situation ouverte) de Paris-Le Bourget (données Météo. Nationale) pour les six mois avril-septembre, on trouve respectivement 515

et 595, valeurs qui sont entre elles dans le rapport de 0,86, pratiquement le même par conséquent que le rapport cité plus haut.

FIGURE 5

COMPARAISON DES ETP CALCULÉES A :
— VERSAILLES (C.N.R.A.) (*situation abritée*),
— VERSAILLES (LA MINIERE) (*situation de plateau dégagée*).
(en traits pleins : droite de régression ;
en trait discontinu : première bissectrice)

ETP mensuelles - CNRA. VERSAILLES (m.m)



On mentionnera également les études de PUECH dans la région de Toulouse montrant que, dans une situation de vallée, l'ETP était réduite d'environ 20 % par rapport à celle trouvée au terrain expérimental d'Auzeville (en situation de plateau).

Il semble donc raisonnable d'admettre que vis-à-vis de la référence climatique ETP (tirée de l'atlas météo.), le rapport $\frac{\text{ETP (locale)}}{\text{ETP (référence climatique)}}$ peut osciller dans la fourchette 0,8-1.

N.B. — Conséquence sur la variation spatiale du déficit d'alimentation hydrique.

Contentons-nous de noter qu'une réduction de l'ETP de 10 % à Toulouse, c'est-à-dire de 70 mm, ramène le déficit théorique de 340 à 270 mm, valeur inférieure à celle de la région parisienne (cf. tableau I).

De même, une réduction de 15 % de l'ETP en région parisienne, c'est-à-dire de 90 mm, ramène le déficit théorique à des valeurs caractéristiques de la région normande ou du Nord.

Ces variations mésoclimatiques sont donc de même ordre d'importance que les variations d'échelle climatique.

5) Variations du rapport ETM/ETP liées à la nature du couvert.

On a vu que l'ETP n'est autre que l'évapotranspiration maximale ETM d'un couvert particulier (fétuque de faible hauteur en phase active de croissance).

L'ETM d'un couvert prairial s'écartera de la valeur de l'ETP pour les raisons suivantes :

- a) *insuffisance de la surface foliaire dans les quelque huit-quinze jours succédant à une coupe.* D'après les mesures réalisées par ROBELIN, cette réduction pourrait être de 10 à 20 mm par coupe. Sur l'ensemble de la saison végétative, l'écart peut donc atteindre une cinquantaine de millimètres ;
- b) *phénomènes de dormance entraînant une fermeture des stomates.* Ces phénomènes ont une action certaine mais difficile à chiffrer ;
- c) *structure du couvert.* Si, contrairement au gazon de référence, le couvert a une certaine extension verticale et si, en outre, sa géométrie

foliaire assure une captation du rayonnement sur toute son épaisseur, la transpiration de l'eau se fera à tous les niveaux ; mais, dans ces conditions, le transfert de la vapeur d'eau jusqu'à l'atmosphère libre sera freiné par la végétation elle-même. Il en résultera une ETM inférieure à l'ETP.

La théorie et l'expérience montrent que, pour un couvert de graminées bien développé en hauteur, l'ETM peut, du fait de cette action, se trouver réduite de 5 à 15 % par rapport à l'ETP. Si l'on retient le chiffre de 10 % et si l'on suppose que cet effet ne joue que sur la moitié de la saison de la végétation, il s'agira malgré tout d'une économie d'eau de 5 %, soit une trentaine de millimètres.

Chez les légumineuses, par contre, où les feuilles sont plus concentrées au niveau supérieur du couvert, la résistance au transfert de la vapeur n'est guère plus grande que dans le cas d'un gazon et l'on a (abstraction faite des effets mentionnés en a et b) :

$$ETM \approx ETP \text{ (locale)}$$

On pourrait évoquer d'autres facteurs, tels que l'albedo, mais leur action semble faible et peut jouer dans le sens d'une réduction comme dans celui d'une augmentation d'ETM.

Compte tenu de l'importance de cette action du couvert sur son propre bilan hydrique, mais compte tenu également de l'incertitude qui pèse sur les coefficients à retenir, un projet I.N.R.A. tente actuellement de faire la synthèse de toutes les données acquises susceptibles de préciser, en fonction de l'espèce et du stade, le coefficient cultural ETM/ETP. En attendant, il semble raisonnable d'admettre que l'ETM de la culture soit susceptible de varier dans la gamme 0,85 à 1 ETP (locale).

$$6) \text{ Conséquences sur le rapport } k = \frac{ETM}{ETP \text{ (référence climatique)}}$$

Il résulte des deux derniers paragraphes que, mis sous la forme :

$$k = \frac{ETM}{ETP \text{ (locale)}} \times \frac{ETP \text{ (local)}}{ETP \text{ (réf. climatique)}}$$

ce rapport intègre deux types d'effet :

- l'un lié à la nature du couvert (aspects biologiques, géométriques et culturels) ;
- l'autre à la situation (topographie et environnement).

Compte tenu des variations admises pour chacun des deux termes, nous retiendrons 0,7 et 1 comme limites de variations possibles de k et dans les paragraphes suivants nous lui attribuerons les trois valeurs : 0,7, 0,85 et 1.

7) Variations de la réserve utile (RU).

On sait que RU dépend :

- de la gamme d'humidité utile des différentes couches de sol (éminemment variable selon le profil (pédologique) ;
- de la profondeur du système racinaire, lequel présente également des variations considérables selon l'espèce, la structure et la fertilité du sol, l'état sanitaire...

Elle peut donc varier de quelques dizaines à plusieurs centaines de millimètres (250 mm sous blé, et en sol de limon l'été 1976).

Dans la plupart des cas cependant, et si l'on s'en tient aux plantes herbacées, la réserve se situera dans la gamme 75-150 mm. Nous retiendrons ces deux valeurs dans les calculs qui vont suivre.

8) Application à l'étude fréquentielle du déficit d'alimentation hydrique des cultures fourragères.

Nous sommes en mesure à présent d'apprécier les risques de déficit d'alimentation hydrique pour chaque situation géographique, en tenant compte :

- a) des pluviométries présentant, au site considéré, telle ou telle fréquence d'apparition ;
- b) des conditions locales (topographie, caractéristiques du couvert végétal et du sol), lesquelles interviendront sur :
 - le rapport $k = \text{ETM}/\text{ETP}$ (réf. climat.) ;
 - la réserve utile RU.

TABLEAU III

DÉFICIT D'ALIMENTATION HYDRIQUE

ABSOLU : ETM — ETR

RELATIF : $\frac{ETM - ETR}{ETM} \times 100$ (en italiques)

(Période du 1^{er} avril au 1^{er} octobre)

<i>k</i> (= ETM/ETP)		1				0,85				0,7			
RU		75		150		75		150		75		150	
Lieu et ETP	Précipit. (P.)												
Lille (530)	P 75	25	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	P 50	100	19	25	5	20	4	0	0	0	0	0	0
	P 25	175	38	100	19	95	21	20	5	15	4	0	0
	P 10	215	40	140	26	135	30	60	13	55	15	0	0
Dijon (570)	P 75	55	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	P 50	135	24	60	10	45	9	0	0	0	0	0	0
	P 25	195	34	120	20	105	22	30	6	25	6	0	0
	P 10	245	43	170	30	155	32	88	17	150	19	0	0
Versailles (La Minière) (590)	P 75	165	28	90	15	75	15	0	0	0	0	0	0
	P 50	215	36	140	24	125	25	50	10	35	8	0	0
	P 25	260	44	185	31	170	34	95	18	80	20	5	1
	P 10	335	57	260	44	245	49	135	27	155	38	65	18
Toulouse (690)	P 75	235	37	160	23	135	23	60	10	35	7	0	0
	P 50	300	44	225	32	200	34	125	21	100	20	25	5
	P 25	350	51	275	40	250	42	175	30	150	30	75	15
	P 10	405	59	330	48	305	52	230	39	205	42	130	27

Le tableau III (1) donne pour chacun des sites retenus : Lille, Dijon, Versailles (La Minière) et Toulouse, les déficits d'alimentation hydrique :

- pour quatre valeurs de la pluviométrie (comptée sur l'ensemble de la période sèche) : P 10, P 25, P 50 et P 75 ;
- pour trois valeurs du coefficient k : 0,7, 0,85, 1 ;
- pour deux valeurs de la réserve utile RU : 75 et 150 mm.

A titre d'illustration, les chiffres relatifs au site de Dijon ont été portés sur le graphique de la figure 6 A, où la pluviométrie a été transposée en termes de fréquence.

Précisons la signification des valeurs trouvées ; si le tableau (ou le graphique) nous donne, pour le couple de paramètres ($k = 1$ — $RU = 75$), les coordonnées déf. = 245 — fréq. = 10 % (ou P = P 10), cela signifie que, pour des conditions locales caractérisées par les valeurs indiquées des deux paramètres k et RU, il y aura à Dijon dix années sur cent où le déficit d'alimentation hydrique sera supérieur ou égal à 245 mm.

Sur la figure équivalente 6 B, le déficit d'alimentation est donné en valeur relative $\left(\frac{ETM - ETR}{ETM} \times 100 \right)$. Soulignons l'intérêt de cette représentation

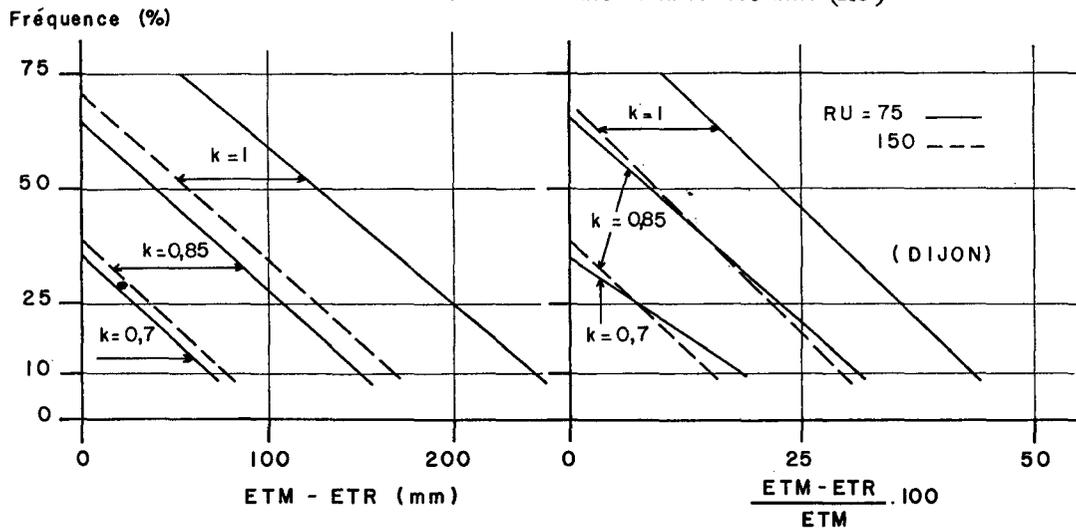
en rappelant qu'en première (et grossière) approximation, cette grandeur est assimilable à la chute relative de production. Dans l'exemple retenu ici (Dijon, $k = 1$ — $RU = 75$ mm), les 245 mm de déficit d'alimentation hydrique seraient donc susceptibles d'entraîner une baisse de production de l'ordre de 43 %.

(1) Dans les calculs des valeurs de déficit figurant au tableau III, on a introduit deux simplifications :

- d'une part, on s'est basé sur la valeur normale de l'ETP (soit \overline{ETP}), ce qui sous-estime de quelque 10 % la variabilité interannuelle du déficit d'alimentation hydrique ;
- d'autre part, on a appliqué systématiquement le calcul à la période normalement sèche (allant du 1^{er} avril au 1^{er} octobre), période caractérisée par une ETP supérieure à P en *année normale* ; ce faisant, on a éliminé une cause de variabilité supplémentaire liée au fait que la période « sèche » peut, au cours d'une année donnée, être plus longue ou plus courte. En fait, les comparaisons effectuées sur les données de Versailles tendent à prouver que l'erreur ainsi introduite est à peine significative.

FIGURE 6

COURBES DONNANT LE NOMBRE D'ANNÉES (en %) POUR LESQUELLES LE DÉFICIT D'ALIMENTATION EN EAU (compté en valeur absolue à gauche et en valeur relative à droite) EST SUPÉRIEUR A LA VALEUR PORTÉE EN ABCISSES (Courbes établies pour trois valeurs du rapport k ($\hat{=}$ ETM/ETP) et deux valeurs de la réserve utile (RU))



Les résultats portés ici appellent quelques remarques :

- Bien que Dijon se situe dans la série des stations plutôt humides (cf. tableau I), le déficit d'alimentation hydrique peut y être fréquent (plus de 75 % des années pour des conditions locales sévères). Il peut y être également intense comme l'indiquent les abscisses des courbes, puisqu'en cas de sécheresse décennale ($f = 10$), le déficit d'alimentation hydrique peut dépasser 40 %.
- Les conditions locales ont un poids équivalant aux conditions climatiques. Notons en effet que le déficit d'alimentation hydrique augmente à peu près autant, que l'on passe par exemple :

- de la pluviométrie médiane (P 50) à la pluviométrie décennale (P 10) ou (à pluviométrie et RU égales),
- des conditions locales $k = 0,85$ aux conditions $k = 1$.

Ainsi s'explique que, sous des conditions pluviométriques à peu près homogènes au niveau d'une petite région, les répercussions agronomiques d'une sécheresse soient extrêmement variables d'un champ à un autre.

- La variation considérable du déficit d'alimentation hydrique observée pour une même pluviométrie, mais pour des conditions locales différentes (k et RU) est du domaine de l'indétermination lorsque l'on veut prévoir l'incidence de la sécheresse à une échelle géographique. Mais cette indétermination peut être en assez grande partie levée dès que l'on porte l'attention sur un type de couvert croissant sur un champ donné.

La variation constatée nous amène en outre à souligner toute l'importance des actions visant à mieux maîtriser le coefficient k ou la réserve utile, l'importance également des recherches qui s'y rapportent et parmi lesquelles nous citerons l'effet des brise-vent et celui de la géométrie du couvert.

— Les figures 6 A et 6 B fournissent les deux types de renseignements que soulève le problème de l'irrigation :

- la figure 6 B permet d'apprécier (approximativement, comme cela a déjà été souligné) d'une part quelle augmentation relative de la production on peut attendre globalement de l'irrigation, d'autre part, dans quelle mesure l'irrigation atténuera les variations inter-annuelles de production ;
- la figure 6 A permettra au projeteur d'apprécier à un correctif près (2) les volumes d'eau à prévoir pour assurer l'irrigation en particulier lorsqu'elle est le plus nécessaire, c'est-à-dire en année très sèche ; on tablera généralement sur les déficits d'alimentation décennaux (fréquence = 10).

(2) La hauteur d'eau à apporter par irrigation sur l'ensemble de la saison de végétation est en toute rigueur $(D_{th})_{max} - RFU$, ce dernier terme exprimant la réserve facilement utilisable. Elle est donc quelque peu supérieure au déficit d'alimentation hydrique : $(D_{th} - RU)$; la différence $(RU - RFU)$ pourra, en première approximation, s'assimiler à $RU/2$.

Conclusions.

Partant des données moyennes et fréquentielles de bilan hydrique, nous avons montré combien les variations spatiales et temporelles de déficit en eau pouvaient jouer sur la production fourragère et, ce faisant, avons mis en évidence les poids respectifs de la pluviométrie et des caractéristiques du sol, de la végétation ou de l'environnement.

Est-il bien nécessaire de rappeler que l'eau n'est qu'un facteur parmi d'autres de la production et que le rendement dit « maximum » (correspondant à la satisfaction des besoins hydriques, soit $ETA = ETM$) est lui-même sujet à de grandes variations. Les exposés de Mme MERIAUX et de M. MARTY en fournissent l'illustration.

Il nous faut cependant souligner que la production fourragère est liée aux facteurs du climat autres que l'eau et que la production maximale présente ainsi une variation systématique au cours de la saison ; il s'ensuit qu'un même déficit relatif d'alimentation hydrique, c'est-à-dire un même déficit relatif de production si ces deux grandeurs sont étroitement liées, peut avoir, en termes de production absolue, des incidences assez différentes selon qu'il survient en juin ou en septembre, par exemple. C'est pourquoi, dans la mesure où la production maximale serait connue mois par mois, il pourrait être avantageux de déterminer également mois par mois les fréquences de déficit d'alimentation en eau plutôt que sur l'ensemble de la saison, comme il a été proposé ici.

Nous insisterons enfin sur le fait que, si les conditions locales exprimées par les deux paramètres k et RU ont le poids considérable qui a été montré, les calculs de bilans hydriques ne seront véritablement opérationnels que si l'on est à même de quantifier ces grandeurs. Des progrès restent indéniablement à accomplir sur ce point.

M.-H. ALLAIRE,
Département de Bioclimatologie
(I.N.R.A.).