

Les besoins en chaleur et en lumière des agrumes

par J. C. PRALORAN

Institut Français de Recherches Fruitières Outre-Mer.

LES BESOINS EN CHALEUR ET EN LUMIÈRE DES AGRUMES

J. C. PRALORAN (I. F. A. C.).

Fruits, vol. 23, n° 2, févr. 1968, p. 107 à 117.

RÉSUMÉ. — Les agrumes sont originaires de la zone climatique tropicale humide. Cependant leur aire de culture débordé largement cette zone.

En conséquence, la chaleur et la lumière reçues par ces plantes varient considérablement d'une région de culture à une autre.

Dans cette étude, on tente de définir les besoins réels de chaleur et de lumière des agrumes. On utilise trois données tirées de différentes mesures météorologiques effectuées en divers points représentatifs de leur aire de culture : (sommées de températures, intensité globale du rayonnement solaire, durée d'éclairement).

On conclut que ces données, telles qu'elles sont utilisées actuellement, ne donnent pas une image exacte et précise des besoins d'énergie calorifique et lumineuse des agrumes.

On suggère un autre mode d'utilisation de ces mesures météorologiques et l'établissement de températures seuils plus précises que celles admises actuellement.

L'étude bioclimatologique se révèle de plus en plus importante pour les agronomes et les physiologistes. C'est un élément du terroir, dont il faut connaître les effets pour établir un programme de fertilisation rationnelle et aussi sans doute améliorer la qualité des fruits.

Toutes ces recherches sont en cours ou seront entreprises à la Station de Recherches agrumicoles de Corse (convention I. N. R. A. - I. F. A. C.) et font appel aux techniques les plus récentes de la physiologie, de la biochimie, et de la bioclimatologie. Cependant avant que ce programme n'ait pris sa complète délimitation, il est apparu intéressant de relever dans la bibliographie mondiale et dans les archives de la S. R. A., les données déjà connues et de les comparer entre elles. C'est le travail qu'a réalisé J. C. Praloran, s'attachant dans cette étude, faisant suite à une première étude sur la résistance au froid (), à définir les besoins des citrus en lumière et en énergie thermique.*

Il faut espérer que, dans l'avenir, les progrès de la bioclimatologie, de jour en jour plus marquants, permettront de faire entrer dans « l'équation personnelle » de la plante l'influence « climat », au même titre que celle des différents facteurs trophiques.

J. CUIILLÉ (I. F. A. C.)

(*) Les basses températures en agrumiculture. J. C. PRALORAN. *Fruits*, vol. 19, n° 2, févr. 1964, p. 61.

L'extension de la culture des agrumes hors de leur zone d'origine atteste leur faculté d'adaptation à des conditions écologiques variées.

En effet, l'habitat naturel des agrumes se situe entre le 10° degré de latitude sud et le 30° degré de latitude nord (1) dans l'Asie du Sud-Est. Dans ces régions, les froids hivernaux sont faibles ou inexistantes, les températures maxima dépassent rarement 36° C et les pluies les plus abondantes tombent durant la saison chaude (mousson d'été) ; la chaleur et la lumière estivale y sont donc relativement plus faibles que dans les régions à été sec, la durée d'éclairement plus réduite qu'à des latitudes plus élevées.

Au contraire, de nombreuses grandes zones agrumicoles, telles la Californie et le Bassin méditerranéen, ont un climat sec, lumineux et très chaud l'été, plus ou moins froid, humide, à forte nébulosité en hiver.

Cette implantation de l'agrumiculture dans des pays écologiquement très différents de l'aire d'origine des agrumes a donc posé des problèmes tels que la protection contre le froid et l'irrigation.

Dans un article précédent (22), l'aptitude des agrumes à supporter le froid a été traitée ; mais la remontée des cultures vers les latitudes supérieures au 30°, singulièrement dans l'hémisphère nord où des vergers commerciaux existent jusqu'au 43°, pose un autre problème. A cette latitude élevée, l'énergie, calorifique surtout, est-elle suffisante pour permettre une croissance et un développement normaux des agrumes et une maturité satisfaisante de leurs fruits ?

Les études, en cette matière, sont peu abondantes et leurs résultats ne permettent pas de définir, avec une bonne précision, les besoins de chaleur et de lumière des agrumes.

On peut, en effet, résumer très brièvement l'essentiel des informations existant en ce domaine :

— L'activité végétative des agrumes commencerait de se manifester entre 7,2 et 13,0° C (1, 2, 3, 4). H. J. WEBBER (5) admet le seuil de 12,8° C.

— Cette activité se poursuivrait jusqu'à 35 ou 36° C (5) ou 39° C (4), et cesserait au-dessus de ces températures après être passée par un maximum entre 20 et 30° C (5) ou 32° C (4).

— La limite inférieure des températures permettant la culture commerciale des agrumes serait fixée par l'isotherme du mois le plus chaud, + 22 ou + 23° C et par celle du mois le plus froid, + 7 ou + 8° C (6).

(1) Sauf deux espèces de moindre importance : *Fortunella polyandra* (RIDL.) TAN. et *Fortunella Hindsii* (CHAMP) SWING., trouvées à l'état spontané entre les 30 et 35° lat. nord.

— L'éclairement (durée et nature) serait indifférent pour les agrumes d'après H. J. WEBBER (5), mais R. H. YOUNG (7) trouve que les jours courts augmentent légèrement la résistance au froid, tandis que K. T. PACHALIYA (8) estime le contraire. G. S. NIJJAR et J. W. SITES (9) ainsi que W. C. COOPER et A. PEYNALDO (10) concluent simplement que l'éclairement est étroitement lié à la température.

Ces quelques indications sont très insuffisantes et trop peu concordantes pour expliquer que les agrumes s'accommodent de climats très dissemblables.

On a donc tenté, dans cette étude préliminaire, en analysant certaines données climatologiques de différentes zones agrumicoles typiques, de mieux définir les besoins réels de chaleur et de lumière des agrumes, les critères permettant de juger, de ce point de vue, de la vocation agrumicole d'une région et aussi de comparer la valeur de cette vocation pour différentes régions.

Ces données sont les suivantes :

- sommes de température ;
- intensité globale du rayonnement solaire ;
- durée d'éclairement ;

dont la valeur représentative des besoins de chaleur et de lumière des agrumes est discutée.

Les régions agrumicoles représentatives ont été choisies de manière à refléter le mieux possible, avec relativement peu d'exemples, les conditions climatiques variées sous lesquelles peuvent croître les agrumes.

Ce choix ne tient pas forcément compte de l'importance économique des plantations, mais a cherché plutôt à exprimer la diversité des conditions de climat. On peut les classer ainsi :

1) *Climats de l'aire d'origine des agrumes :*

Assam, vallée du Gange, Chine méridionale maritime.

2) *Climats de la zone agrumicole méditerranéenne :*

Haouz (Maroc, région de Marrakech), Levante (Espagne, région de Valence).

3) *Climats de la zone agrumicole subtropicale :*

Floride, Brésil (São Paulo), Transvaal de l'Est, Hauts-Plateaux malgaches.

4) *Climats de la zone agrumicole à la limite septentrionale de culture :*

Japon (sud de l'île de Hondo, régions d'Osaka et d'Hamamatsu), Iran (littoral caspien), Bassin méditer-

ranéen (Corse et littoral pontique en Turquie), Californie (district agrumicole le plus au nord, de Sacramento).

La situation géographique des stations météorologiques dont les relevés de température ont été utilisés est indiquée dans le tableau n° 1 ci-dessous.

Les températures moyennes mensuelles ont été relevées dans *World Weather Records* édité par l'U. S. Dept. of Commerce, pour la décennie 1951-1960, sauf pour Nelspruit dont les températures ont été communiquées par le Department of Agricultural Technical Service de la République d'Afrique du Sud, Arivonimamo, station pour laquelle les températures ont été prises dans *Températures de l'air sous*

abri, à Madagascar, aux Comores et à la Réunion édité par le Service météorologique de Madagascar (n° 25, mars 1956) et San Giuliano dont les relevés sont ceux de sept années d'observations du poste météorologique de la Station de Recherches agrumicoles de Corse.

L'intensité globale de la radiation solaire a été estimée sur les cartes dressées par J. N. BLACK et figurant dans sa publication *The distribution of solar radiation over the earth's surface*.

La durée du jour a été prise dans les tables reproduites dans *Techniques rurales en Afrique. 1. Évaluation des quantités d'eau nécessaires aux irrigations*.

TABLEAU 1.

Situation géographique des stations météorologiques.

PAYS	NOM DE LA STATION MÉTÉOROLOGIQUE	LATITUDE	LONGITUDE	ALTITUDE (m)
Indes (Assam).....	Dibrugarh	27° 28' N	94° 55' E	106
Indes (vallée du Gange).....	Patna	25° 37' N	85° 10' E	53
Chine.....	Amoy	24° 26' N	118° 04' E	5
Maroc (Haouz).....	Marrakech	31° 30' N	8° 00' E	456
Espagne (Levante).....	Valence	39° 29' N	0° 23' E	13
Floride.....	Saint-Leo	28° 20' N	85° 15' W	54
Brésil.....	São Paulo	23° 33' S	46° 37' W	795
Transvaal.....	Nelspruit	25° 30' S	31° 20' E	760
Madagascar.....	Arivonimamo	19° 02' S	47° 10' E	1 460
Japon.....	Osaka	34° 39' N	135° 32' E	6
Japon.....	Hamamatsu	34° 42' N	137° 43' E	33
Iran (Caspienne).....	Nôchar	36° 38' N	51° 30' E	— 20
Corse.....	San Giuliano	42° 18' N	9° 31' E	52
Turquie.....	Trébizonde	41° 00' N	39° 43' E	37
Californie.....	Sacramento	38° 31' N	121° 30' W	13

I. APPRÉCIATION DES BESOINS DE CHALEUR DES AGRUMES PAR LA MÉTHODE DES SOMMES DE TEMPÉRATURES

Ce mode de représentation de la concordance entre le climat d'une région ou d'une campagne agricole et les besoins de chaleur des plantes cultivées fournit un indice d'intérêt pratique (bien qu'une somme de température n'ait pas de signification physique puisque les températures ne sont pas des quantités susceptibles d'être additionnées (11)).

Plusieurs spécialistes des agrumes, notamment américains, ont appliqué cet indice et proposent, sous le nom de « sommes d'unités de chaleur », des sommes de températures sensiblement différentes :

1) Valeur des sommes de températures d'après plusieurs auteurs.

H. J. WEBBER (5) indique que les meilleures oranges 'Washington Navel' sont produites, en Californie, dans les régions d'Oroville (district nord de la section des « Vallées intérieures ») et de Porterville (district du centre de la même section) avec, respectivement, des sommes de températures de 1 750 et 1 950° C.

F. BAIN (12) note qu'à Riverside (Californie) les orangers 'Washington Navel' opèrent leur cycle végé-

tatif en correspondance avec une somme de température de 1 770° C tandis qu'à Trinidad (Caraïbes) la même variété se satisfait de 1 550° C. Pour le pomélo 'Marsh seedless', il a calculé des sommes de températures de 3 300° C dans la Coachella Valley (Californie) et de 3 000° C à Trinidad.

D'après C. BARNARD (13), les mêmes variétés (orange 'Washington Navel' et pomélo 'Marsh seedless') demanderaient : la première de 1 500° C (Valence Espagne) à 1 920° C (Fresno, Californie), la seconde de 3 120° C (Phoenix, Arizona) à 3 770° C (Coachella Valley, Californie).

Enfin, E. GONZALEZ-SICILIA (14) rapporte les résultats préliminaires d'une étude conduite à la station agrumicole du Levante (Espagne), d'après lesquels les sommes de températures nécessaires à différentes variétés seraient comprises entre :

- 1 450 et 1 600° C pour les mandarines,
- 1 600 et 1 700° C pour les oranges précoces,
- 1 800 et 2 000° C pour les oranges tardives.

On voit donc que l'estimation des besoins de chaleur des agrumes, selon qu'elle est tentée dans une région ou une autre, varie sensiblement et ce bien que les auteurs admettent tous, dans leurs calculs, pour seuil de départ de l'activité végétative, la température de 12,8° C proposée par H. J. WEBBER (5).

En effet, cette variation est de l'ordre de 10 % pour les mandarines et les oranges tardives, bien que les observations aient été effectuées en un seul lieu (Levante, Espagne), elle atteint 22 à 23 % environ pour les oranges précoces et le pomélo Marsh seedless pour lesquels les origines de résultats sont plus nombreuses.

Ceci laisse donc supposer que les sommes de températures calculées pour un cycle végétatif ne sont pas en corrélation très étroite avec l'activité végétative.

C'est ce que semble confirmer la comparaison entre les sommes de températures trouvées pour différentes régions, qui fait l'objet du paragraphe suivant.

2) Sommes de températures calculées pour différentes régions agrumicoles.

Elles sont groupées dans le tableau n° 2 ci-après, pour toutes les stations météorologiques mentionnées dans le tableau n° 1.

La manière dont les résultats sont exprimés dans ce second tableau appelle les commentaires suivants :

— L'indice « sommes de températures » (= ΣT°), étant obtenu en multipliant la différence entre la température moyenne mensuelle et la température admise comme zéro de végétation — soit 12,8° C —

par le nombre de jours du mois considéré et en additionnant ces valeurs mensuelles pour toute la durée du cycle végétatif, tout mois pour lequel la température moyenne est inférieure ou égale à 12,8° C n'intervient pas dans le calcul, le développement et la croissance étant considérés comme nuls pendant ce mois.

— Chaque fois que le début des époques de récolte a pu être fixé avec certitude, des ΣT° sont indiquées, non seulement pour tout le cycle végétatif, mais aussi pour le début de maturité commerciale des fruits et, si possible, pour des variétés précoces et tardives.

— Pour les régions dans lesquelles les ΣT° sont positives tous les mois, cet index ne fait ressortir aucun arrêt végétatif et il a été admis que la maturité des fruits se produisait après un cycle végétatif complet, puisque, ce qui est étudié ici n'est pas le besoin de chaleur de la floraison à la maturité, mais le besoin de chaleur total, du départ en végétation à la maturité.

— Les saisons étant décalées de six mois entre l'hémisphère nord et l'hémisphère sud, ce décalage a été respecté dans le tableau, en plaçant dans la même colonne, les ΣT° des mois de janvier (hémisphère nord) et juillet (hémisphère sud), février (hémisphère nord) et août (hémisphère sud), etc.

La comparaison des ΣT° groupées dans le tableau n° 2 accentue encore la variabilité de cet index par rapport à celle qui ressortait déjà des résultats publiés par les auteurs consultés.

On voit, en effet, qu'entre la plus chaude des régions d'origine des agrumes (la vallée du Gange) et la plus froide des zones de culture (Trébizonde), les ΣT° annuelles varient du simple au quadruple : 5 019,1° C contre 1 268,9° C.

En outre, d'après cet index, l'activité végétative dure toute l'année ou est limitée à sept mois.

Si l'on considère les ΣT° correspondant à la durée du cycle végétatif du départ en végétation jusqu'à la récolte des premiers fruits, pour toutes les régions où la date de récolte est connue, on s'aperçoit que les besoins de chaleur sont extrêmement variables :

- de 1 265,9° C à 2 674,6° C pour les oranges précoces, soit une différence de $\pm 1 400^{\circ}$ C environ ;
- de 1 479,8° C à 1 699,0° C pour les Satsumas, soit une différence de $\pm 200^{\circ}$ C environ ;
- de 1 268,9° C à 1 627,5° C pour les oranges de saison, soit une différence de $\pm 350^{\circ}$ C environ ;
- de 1 559,0° C à 2 806,0° C pour les mandarines, soit une différence de $\pm 1 200^{\circ}$ C environ ;

TABLEAU 2.

Comparaison des sommes de températures pour différentes régions agrumicoles
(les sommes de températures sont classées par ordre décroissant de valeur annuelle).

HÉMISPÈRES	RÉGIONS	SOMMES DE TEMPÉRATURE PAR MOIS (en ° C)												SOMMES DE TEMPÉRATURES		TYPE DE VARIÉTÉS
		janv. ou juill.	févr. ou août	mars ou sept.	avril ou oct.	mai ou nov.	juin ou déc.	juill. ou janv.	août ou févr.	sept. ou mars	oct. ou avril	nov. ou mai	déc. ou juin	annuel-les	du départ en végétation à la 1 ^{re} récolte	
	Vallée du Gange.....	151,9	210,0	409,2	552,0	632,4	579,0	523,9	520,8	498,0	461,9	294,0	186,0	5 019,1	5 019,1	
	Assam.....	120,9	168,0	275,9	333,0	387,5	438,0	461,9	474,3	447,0	387,5	267,0	167,4	3 928,4	3 928,4	
	Floride.....	105,4	120,4	195,3	273,0	375,1	426,0	455,7	461,9	417,0	328,6	189,0	120,9	3 468,2	3 468,2	oranges tardives
	Chine.....	34,1	28,0	80,6	201,0	350,3	426,0	499,1	502,2	462,0	366,0	243,0	120,9	3 313,2	3 313,2	oranges précoces
	Maroc.....	0	25,2	120,9	195,0	269,7	381,0	511,5	505,3	387,0	279,0	132,0	0	2 806,6	2 674,6	oranges précoces
															2 395,6	clémentines
															2 395,6	pomélos
															2 806,6	mandarines
	Transvaal.....	68,2	130,2	195,0	260,4	285,0	325,5	337,9	305,2	310,0	240,0	151,9	72,0	2 681,3	2 681,3	oranges précoces
	Brésil.....	58,9	108,5	135,0	179,8	192,0	238,7	275,9	252,0	251,1	180,0	124,0	84,0	2 089,9	2 089,9	oranges précoces
	Japon (Osaka).....	0	0	0	24,0	170,5	285,0	427,8	465,0	327,0	142,6	0	0	1 841,9	1 699,3	satsumas
	Plateaux malgaches.....	37,2	55,8	102,0	176,7	207,0	226,3	241,8	201,6	220,1	180,0	114,7	54,0	1 817,2	1 817,2	
	Californie (Nord).....	0	0	0	81,0	189,1	291,0	384,4	362,7	319,3	170,5	0	0	1 798,0	1 798,0	oranges précoces
															1 798,0	oranges tardives
	Espagne.....	0	0	18,6	51,0	161,2	258,0	347,2	365,8	294,0	161,2	42,0	0	1 699,0	1 699,0	oranges précoces
															1 699,0	oranges tardives
	Iran (Caspienne).....	0	0	0	3,0	179,8	279,0	365,8	368,9	276,0	155,0	0	0	1 627,5	1 472,5	oranges précoces
															1 627,5	oranges de saison
	Japon (Hamamatsu).....	0	0	0	9,0	142,6	244,0	375,1	406,1	303,0	145,7	0	0	1 625,5	1 479,8	satsumas
	Corse.....	0	0	0	30,0	120,9	228,0	356,5	356,5	291,0	158,1	18,0	0	1 559,0	1 541,0	clémentines
															1 559,0	oranges précoces
															1 559,0	oranges de saison et mandarines
															1 559,0	oranges tardives
	Turquie.....	0	0	0	0	86,8	213,0	306,9	322,4	219,0	117,8	3,0	0	1 268,9	1 265,9	oranges précoces
															1 268,9	oranges de saison

N. B. — Le trait horizontal placé dans la colonne indique le mois au cours duquel commence la récolte des fruits pour les variétés indiquées dans la dernière colonne à droite du tableau.

de 1 559,0° C à 2 000,0° C pour les oranges tardives, soit une différence de $\pm 450^{\circ}$ C ;
de 2 395,0° C à 3 770,0° C pour les pomélos, soit une différence de $\pm 1 400^{\circ}$ C environ.

Enfin, il faut souligner que, dans les régions où le cycle végétatif est inférieur à douze mois, d'après les ΣT° , les variétés d'oranges tardives ne profitent théoriquement d'aucun supplément de chaleur pour mûrir leurs fruits, par exemple en Californie du Nord et en Espagne. Cependant l'expérience prouve que ces oranges poursuivent leur maturité au cours des mois durant lesquels les ΣT° sont nulles.

Il ne semble donc pas possible d'admettre, comme cela l'est actuellement, que les ΣT° , au moins telles qu'elles sont calculées, sont un bon indice des besoins de chaleur des agrumes.

3. Les limites de la méthode des ΣT° .

L'hétérogénéité des besoins de chaleur des agrumes quand ils sont exprimés en ΣT° a retenu l'attention des chercheurs. F. BAIN (12) attribue cette différence au fait qu'en Californie, par exemple, les températures dépassent fréquemment la limite maxima d'activité végétative des agrumes, que ces températures ne sont pas réellement efficaces pour le développement et sont cependant incluses dans le calcul. Au contraire il remarque qu'à Trinidad, la température n'excède jamais 35° C et qu'en conséquence le développement des agrumes n'est jamais arrêté (1).

Disposant, pour la région de Marrakech, de relevés de température journaliers (maximum, minimum, T° à 6 h et à 18 h) (15) on a pu tenter d'estimer, très approximativement d'ailleurs, les temps pendant lesquels la température dépassait le seuil de 36° C. L'examen des quatre années 1963, 1964, 1965 et 1966 a montré qu'entre les mois de mai et septembre des températures supérieures à 36° C se manifestaient de 37 à 69 jours et qu'au total elles sévissaient pendant 250 à 400 h. En outre les températures comprises entre 30 et 36° C, c'est-à-dire au-dessus du seuil d'activité végétative maxima généralement admis, se produisent durant 600 à 800 h.

Au contraire, en Corse, l'examen des températures journalières relevées à la Station de Recherches agrumicoles de San Giuliano pour la même période (16),

montre que des températures supérieures à 36° C ne se sont jamais produites et que celles comprises entre 30 et 36° C sont extrêmement rares (6 à 10 h par an environ).

On voit donc qu'il est difficile de comparer, comme exprimant le même phénomène, les ΣT° calculées pour ces deux régions.

D'ailleurs A. DEMOLON (11) fait remarquer que « la concordance de ces chiffres (exprimant les ΣT°) ne s'observe qu'entre des limites géographiques pour lesquelles la durée du jour et la radiation sont comparables. Ils n'ont d'ailleurs de signification pratique qu'à la condition de fractionner le cycle végétatif en périodes correspondant aux divers stades physiologiques du développement de la plante sans compensation possible du déficit pour chacune de ces périodes ».

Il est tout à fait possible, si l'on tient compte de cette nécessité du fractionnement signalée par A. DEMOLON, que la grande différence enregistrée entre la région de Marrakech et la Corse, pour les ΣT° annuelles, soit compensée, en tout ou partie, par le fait que les « heures de températures efficaces » sont plus nombreuses en Corse qu'à Marrakech pendant la période allant d'avril à septembre, c'est-à-dire du début de la floraison (Corse) ou de la fin de nouaison (Marrakech) jusqu'au début de la véraison. Ceci pourrait permettre aux agrumes de Corse d'accomplir cette partie de leur cycle végétatif (croissance des pousses, grossissement du fruit) à une vitesse de croissance supérieure à celle atteinte à Marrakech et de rattraper ainsi une partie du retard qu'ils manifestent au départ en végétation et à la floraison.

J. F. TALLING (17) appuie cette hypothèse en notant que « plusieurs exemples typiques de la dépression journalière ou saisonnière de la photosynthèse nette, sont en relation avec l'élévation du taux respiratoire dans les conditions chaudes ». F. W. WENT (18) exprime la même opinion : « Tandis que, aux basses températures, le rapport $\frac{\text{photosynthèse}}{\text{respiration}}$ est supérieur à 10, aux hautes températures, l'intensité respiratoire s'accroît relativement plus que l'activité photosynthétique et, ainsi, un bas rapport $\frac{\text{photosynthèse}}{\text{respiration}}$ est trouvé. Ceci peut expliquer, au moins en partie, pourquoi beaucoup de plantes poussent mieux dans les régions tempérées que sous les tropiques. »

Le même auteur fait une critique plus fondamentale de la méthode des ΣT° en disant que « ce procédé suppose une relation linéaire entre les températures moyennes et la croissance, laquelle, en définitive, n'existe pas. La différence entre la température optima

(1) La limite supérieure des températures au-delà de laquelle l'activité végétative s'arrête est de 36° C pour tous les auteurs, sauf pour G. J. DECAUX cité par P. ROBERT (4). Cette température a donc été retenue également dans cette étude.

nocturne et la température optima diurne explique pourquoi les ΣT° ne peuvent être utilisées pour exprimer la relation entre le climat et la croissance, les ΣT° intégrant les températures de jour et de nuit, sans différence ».

II. APPRÉCIATION DES BESOINS D'ÉNERGIE DES AGRUMES PAR L'INTENSITÉ DU RAYONNEMENT SOLAIRE

Les valeurs de cette intensité, exprimée en petites calories par centimètre carré de surface horizontale et par jour (= I_g), ont été tirées des cartes d'isoplèthes mensuelles publiées par J. N. BLACK (9).

1) Intérêt et limites de ce mode d'appréciation des besoins d'énergie des agrumes.

A. DEMOLON (II) fait remarquer que la quantité d'énergie que représente le rayonnement solaire est celle dont dispose la plante, et dont elle utilise une fraction pour accomplir ses processus vitaux : photosynthèse, respiration, transpiration, utilisation des produits formés, et donc pour croître et se développer.

A ce titre, il était intéressant de comparer les valeurs que prend I_g dans les diverses régions agrumicoles étudiées dans cette note, mais sans oublier « qu'elle ne permet pas, à elle seule, une analyse précise des phénomènes de croissance sur lesquels les diverses radiations de longueur d'onde différente agissent de façon distincte » (II).

2) Valeurs de I_g dans les différentes régions choisies.

Puisque les ΣT° ne démontrent pas absolument que les agrumes cessent de croître et de se développer pendant les mois durant lesquels ces sommes sont nulles (la maturation des oranges tardives se poursuit en période froide), I_g est donnée pour chaque mois, pour toute l'année, enfin pour la période de végétation.

De même que le tableau n° 2, le tableau n° 3 ci-après est établi en décalant les mois de l'hémisphère sud d'une demi-année pour faire coïncider les saisons chaudes entre elles et les saisons froides entre elles dans les deux hémisphères.

La comparaison des valeurs des ΣT° et de I_g et les classements qu'ils permettent d'opérer sont en conformité avec la remarque de A. DEMOLON (II) :

A. DEMOLON (II) estime d'ailleurs qu'il serait préférable de substituer aux ΣT° une quantité d'énergie calorifique tirée de la mesure de la radiation solaire.

On a donc examiné, dans le paragraphe suivant, l'intérêt de cette mesure.

« Il n'y a pas bonne concordance entre la température et la radiation globale et ces deux déterminations ne peuvent être substituées l'une à l'autre. »

On doit également souligner que les trois régions de l'aire d'origine des agrumes, au lieu de se particulariser par des ΣT° élevées, supérieures à celles de toutes les régions de culture sauf la Floride, sont, en ce qui concerne I_g , régulièrement réparties parmi les régions choisies.

Si l'on ne considère que la période supposée de végétation, on peut même former des groupes caractérisés chacun par une des régions d'origine :

— *Vallée du Gange*, Transvaal.

— *Assam*, Plateaux malgaches, Maroc, Floride, Brésil, Espagne.

— *Chine*, Iran (Caspienne), Corse, Californie (Nord), Turquie.

Seul le Japon se différencie par une I_g très inférieure à celle de toutes les autres régions productrices.

Il est intéressant de noter que ces groupes coïncident assez bien avec ceux que l'on peut former selon les variétés produites.

Le Transvaal, le Maroc, la Floride et le Brésil sont producteurs de pomélos et d'oranges tardives (1).

L'Iran, la Corse (2), la Californie (Nord) et la Turquie produisent surtout des oranges précoces ou de saison et des clémentines (Corse).

Enfin le Japon ne cultive presque exclusivement que des satsumas.

Il semblerait donc y avoir une assez bonne corrélation entre le temps d'évolution des fruits et I_g , peut-être même meilleure que celle liant ce temps d'évolution aux ΣT° .

On remarquera encore que, la photosynthèse commençant à se manifester aux basses températures,

(1) Cette production n'est pas exclusive de celles d'oranges précoces.

(2) Les pomélos n'ont, jusqu'ici, pas donné de résultats encourageants en Corse.

TABLEAU 3.

Comparaison des valeurs de l'intensité globale de la radiation solaire pour différentes régions agrumicoles.
(classées par ordre décroissant pour la période de végétation).

HÉMISPHÈRES RÉGIONS	INTENSITÉ GLOBALE JOURNALIÈRE DE LA RADIATION SOLAIRE, PAR MOIS												TOTAUX		
	NORD. SUD...	janv. ou juil.	févr. ou août	mars ou sept.	avril ou oct.	mai ou nov.	juin ou déc.	juill. ou janv.	août ou févr.	sept. ou mars	oct. ou avril	nov. ou mai	déc. ou juin	annuels	pour la période de végé- tation
Vallée du Gange.....		425	475	550	625	525	375	225	250	375	425	425	400	167 170	167 170
Transvaal.....		350	400	500	525	500	500	500	475	475	425	325	350	162 060	162 060
Plateaux malgaches..		400	375	500	525	525	300	425	400	425	425	375	325	151 840	151 840
Maroc.....		300	350	450	525	575	575	650	600	500	375	300	300	167 170	148 470
Floride.....		300	325	450	525	500	450	450	400	400	350	275	275	146 000	146 000
Assam.....		400	400	500	525	425	375	275	300	400	400	375	375	141 255	141 255
Bésil.....		275	350	300	400	400	400	550	475	400	325	275	250	133 590	133 590
Espagne.....		200	275	400	475	550	650	700	600	425	325	225	175	151 840	132 825
Iran (Caspienne).....		225	275	375	425	525	700	700	625	500	375	250	200	157 315	117 700
Corse.....		150	225	325	400	550	575	650	550	400	275	200	150	135 415	109 800
Chine.....		200	250	200	275	375	300	400	375	375	325	250	250	108 770	108 770
Californie (Nord).....		175	225	350	425	475	600	650	525	400	350	225	175	139 065	104 646
Turquie.....		150	200	300	375	550	650	675	625	450	325	200	150	136 875	101 650
Japon (Osaka).....															
Japon (Hamamatsu).....		200	175	275	350	350	300	300	375	250	275	200	175	97 820	67 196

N. B. — Les traits verticaux placés à gauche ou à droite de certaines colonnes indiquent le début et la fin de la période de végétation telle que permettent de la définir les sommes de températures.

l'absence totale d'activité végétative que laisse supposer le calcul des ΣT^0 n'est pas absolument prouvée. D'ailleurs, comme cela a déjà été dit, l'évolution des fruits des variétés tardives (orange 'Valencia Late', Pomélos) pendant les mois où les ΣT^0 sont nulles, appuie cette opinion.

En revanche, l'Ig pouvant aller jusqu'à inhiber la croissance foliaire (II), on peut se demander si les hautes valeurs trouvées en période chaude (supérieures à 600) au Maroc, en Espagne, en Iran, en Corse, en Californie et en Turquie n'ont pas une action retardatrice sur la croissance pendant cette période, d'au-

tant plus que la transpiration est fortement liée à la radiation solaire (II). On voit, en effet, que dans les régions d'origine, de telles valeurs ne sont atteintes qu'exceptionnellement (au mois d'avril dans la vallée du Gange et jamais en Assam et en Chine). Au contraire, dans ces régions, la radiation solaire n'a que des valeurs beaucoup plus faibles, le plus souvent inférieures à 500.

Dans cette hypothèse, l'« inefficacité » d'une partie de la saison chaude, quant à la croissance et au développement des agrumes, suggérée à propos des ΣT^0 , se trouverait confirmée.

III. LA DURÉE D'ÉCLAIREMENT

C'est un facteur accentuant l'action de la température et de la lumière.

En effet, dans des conditions identiques de température et d'intensité lumineuse, la photosynthèse, la respiration et la transpiration — ces deux derniers phénomènes ont lieu également de nuit mais sont activés par l'élévation diurne de la température et par la lumière — se poursuivront pendant un plus grand nombre d'heures en jours longs qu'en jours courts. Finalement l'assimilation, les pertes par respiration et transpiration seront donc plus importantes, sous un éclairage de plus longue durée.

En d'autres termes, la durée des phénomènes photosynthétiques, respiratoires et transpiratoires peut compenser, en tout ou partie, l'intensité moindre qu'ils ont dans les régions relativement froides et à rayonnement solaire relativement faible par rapport à celle qui se manifeste dans les régions chaudes à radiation solaire très élevée.

La durée totale annuelle d'éclairage est la même dans toutes les régions, mais la durée du jour varie selon les saisons et il est évident que la partie la plus importante de l'année, celle pendant laquelle la durée d'éclairage aura son action la plus forte, est celle de la pleine période végétative, la photosynthèse, la respiration et la transpiration étant alors à leur maximum, du fait des hautes températures régnant à cette époque.

Aussi a-t-on uniquement étudié ici la période allant du début du mois d'avril à la fin du mois de septembre (début d'octobre à fin mars pour l'hémisphère sud), comme étant celle de l'activité végétative maxima.

Le tableau n° 4 ci-après regroupe les durées

d'éclairage par mois, tirées des tables reproduites dans *Techniques rurales en Afrique*. 1. *Évaluation des quantités d'eau nécessaires aux irrigations* (20).

Les plus longues durées d'éclairage, pour la période estivale considérée, sont évidemment trouvées pour les régions agrumicoles les plus éloignées de l'équateur, mais ce qu'il faut souligner c'est l'importance des différences enregistrées.

La Corse et la Turquie, par exemple, bénéficient de 150 h d'éclairage supplémentaire par rapport à l'Assam, la Floride et la vallée du Gange, de 175 h par rapport à la Chine, de près de 200 h par rapport au Transvaal et au Brésil, ce qui représente de 50 mn à plus d'une heure de lumière supplémentaire par jour. Or, dans une expérience conduite en Californie, il a été démontré que le développement d'orangers Valencia Late était plus important pour des arbres recevant un éclairage supplémentaire de 2 h par jour que pour des arbres recevant l'éclairage naturel seulement, sous des conditions identiques de température et d'intensité lumineuse. LUNDEGÅRDH (21) fait d'ailleurs remarquer que la lumière — source d'énergie pour la photosynthèse — a en outre un effet stimulant direct sur la vitesse de croissance, la formation et, dans une certaine mesure, la forme des organes, qu'elle agit surtout sur la floraison et la fructification.

Cependant, ce supplément d'éclairage n'est pas toujours bénéfique. En effet, dans les régions où les températures sont très élevées et dépassent 36° C, seuil à partir duquel le point de compensation (II) serait atteint pour les agrumes ($\text{rapport } \frac{\text{assimilation}}{\text{respiration}} = 1$), la respiration continue de s'accroître tandis que l'acti-

TABLEAU 4.

*Durées d'éclairement d'avril à septembre pour différentes régions agrumicoles
(classées par ordre décroissant de durées d'éclairement).*

HÉMISPHÈRES { NORD..... SUD..... RÉGIONS	DURÉES D'ÉCLAIREMENT EN HEURES PAR MOIS						TOTAL DES HEURES D'ÉCLAIREMENT D'AVRIL A SEPTEMBRE
	avril ou octobre	mai ou novembre	juin ou décembre	juillet ou janvier	août ou février	septembre ou mars	
Corse.....	401	452	457	462	429	375	2 576
Turquie.....	399	449	453	458	427	374	2 560
Espagne.....	398	446	449	455	425	374	2 547
Californie (Nord).....	395	441	449	449	422	373	2 523
Iran (Caspienne).....	393	437	437	444	419	373	2 503
Japon (Osaka et Hamamatsu).....	391	433	432	439	416	372	2 483
Maroc.....	389	429	427	434	413	371	2 463
Assam.....	385	421	427	425	407	370	2 435
Floride.....	385	421	427	425	407	370	2 435
Vallée du Gange.....	384	421	427	421	404	369	2 426
Chine.....	381	418	422	417	402	369	2 409
Transvaal.....	392	398	421	417	364	380	2 372
Brésil.....	392	398	421	417	364	380	2 372
Plateaux malgaches.....	387	389	408	406	358	379	2 327

tivité photosynthétique serait suspendue, la balance « respiration-assimilation » serait alors troublée et même inversée, le carbone fixé retournant à l'atmosphère (11). En outre la transpiration, énergiquement activée par la chaleur, augmente encore les pertes, sous la forme d'eau rejetée dans l'atmosphère.

A. DEMOLON (11) rapporte qu'OPPENHEIMER et MENDEL ont mesuré la perte d'eau de feuilles d'orangers en été, perte qui peut dépasser 1 g d'eau par gramme de poids frais. En d'autres termes, si le phénomène se poursuit assez longtemps, la totalité de l'eau des tissus doit être renouvelée en moins d'une heure.

On peut donc se demander si, dans la région de

Marrakech par exemple, où les plus longues durées d'éclairement coïncident avec l'apparition de températures supérieures à 36° C, ce supplément de jour est profitable à la croissance et au développement des agrumes (la nuit, la température s'abaisse diminuant ainsi l'activité respiratoire et la transpiration est très réduite).

Inversement, on peut dire qu'en Corse, les plus longues durées de jour, jamais ou tout à fait exceptionnellement accompagnées de températures supérieures à 30° C, accroissent le gain en matière sèche, d'autant plus que les températures sont comprises entre 20 et 30° C, zone de l'activité photosynthétique maxima.

CONCLUSIONS

On a vu, en étudiant trois modes d'appréciation des besoins d'énergie calorifique et lumineuse des agrumes, dont deux tentent de mesurer l'intensité et le troisième la durée d'action de cette énergie, que les deux premiers n'en donnaient pas une image adéquate.

En effet, ni l'un ni l'autre ne tiennent compte de la quantité d'énergie inutilisée, non seulement parce qu'elle est supérieure à celle nécessaire à la croissance et au développement maximum, mais encore parce qu'elle peut avoir un effet négatif en bloquant l'activité photosynthétique et en exagérant les phé-

nomènes respiratoires et transpiratoires jusqu'à provoquer, dans certains cas, l'apparition d'un bilan négatif de la plante (cf. OPPENHEIMER et MENDEL cités par A. DEMOLON, F. W. WENT et J. F. TALLING).

Ils ne tiennent pas compte, non plus, de l'« efficacité » de l'énergie selon qu'elle agit dans une zone ou une autre de températures : entre 12,8 et 20, entre 20 et 30, entre 30 et 36° C.

Il faudrait connaître l'intensité de l'activité végétative dans ces différentes zones de température et le temps pendant lequel elles se produisent dans chaque région.

Ceci permettrait d'établir une constante héliothermique (II) plus précise, dans laquelle les ΣT^0 réellement utiles, différenciées en :

ΣT^0 comprises entre 12,8 et 20° C

ΣT^0 comprises entre 20 et 30° C

ΣT^0 comprises entre 30 et 36° C

seraient multipliées par leurs temps d'action respectifs.

Ceci suppose donc que l'on utilise, non pas les

températures moyennes ou l'Ig mensuelle, mais des mesures continues de ces phénomènes météorologiques, telles celles fournies par les appareils enregistreurs.

Des études dans ce sens n'auront d'ailleurs d'intérêt que lorsque les températures seuils (exemple zéro de végétation), les courbes d'activités photosynthétique, respiratoire et transpiratoire en fonction de la température et de la lumière seront mieux précisées qu'elles ne le sont actuellement.

Enfin, en ce qui concerne la radiation solaire, LUNDEGÅRDH (21) fait remarquer que la détermination de la quantité globale de lumière n'est pas une expression adéquate de ce facteur écologique et qu'il convient d'examiner sa composition. En effet, il est certain que la lumière reçue par des agrumes poussant en climat humide n'est pas de même nature que celles reçues en climat sec. L'étude de la réaction des agrumes aux différentes longueurs d'onde et de la composition de la lumière qu'ils reçoivent en différents lieux de culture serait donc, elle aussi, nécessaire.

BIBLIOGRAPHIE

- (1) COOPER (W. C.) et PEYNALDO (A.). — Winter temperatures of three citrus areas as related to dormancy and freeze injury of citrus trees. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 1959, vol. 74, p. 333.
- (2) WALLACE (A.). — Nitrogen absorption and translocation by citrus cuttings at different root temperatures. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 1953, vol. 61, p. 89.
- (3) COOPER (W. C.) et col. — Freezing tests with small trees and detached leaves of grape fruit. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 1954, vol. 63, p. 167.
- (4) ROBERT (P.). — Les Agrumes dans le monde. *Sté d'éditions techniques coloniales*, Paris.
- (5) WEBBER (H. J.). — Plant characteristics and climatology. *Citrus Industry*, vol. I, chap. II, p. 41. University of California Press, 1948.
- (6) CHOPINET (R.) et DUPOUY (J.). — Résistance au froid de certains citrus et de leurs hybrides. *Fruits*, vol. 6, n° 4, 1951, p. 131.
- (7) YOUNG (R. H.). — Influence of day length, light intensity and temperature on growth, dormancy and cold hardiness of Red Blush Grape fruit trees. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 1961, vol. 78, p. 174.
- (8) PACHALIYA (K. T.). — Influence de la durée du jour sur la résistance du citronnier à la gelée. *Svobsch. A. N. Grus. S. S. S. R.* 1960, vol. 25, p. 335.
- (9) NIJJAR (G. S.) et SITES (J. W.). — Some effects of day length and temperature on cold hardiness. *Proc. Flo. State. Hort. Soc.* vol. 72, 1959, p. 106.
- (10) COOPER (W. C.) et PEYNALDO (A.). — Effect of gibberellic acid on growth and dormancy in citrus. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 1958, vol. 72, p. 284.
- (11) DEMOLON (A.). — Croissance des végétaux cultivés. Dunod, Paris, 1941.
- (12) BAIN (F.). — Citrus and climate. *Calif. Citrograph*, vol. 34, n° 9, juil. 1949.
- (13) BARNARD (C.). — How climate affects distribution of citrus. *Citrus Leaves*, vol. 28, n° 10, oct. 1948.
- (14) GONZALEZ-SICILIA (E.). — El cultivo de los agrinos. Instituto Nacional de Investigaciones agronomicas, Madrid, 1960.
- (15) Bulletin quotidien de renseignements météorologiques du Maroc (1963 à 1966).
- (16) Rapports mensuels de la Station de Recherches agrumicoles de Corse (1963-1966).
- (17) TALLING (J. F.). — Photosynthesis under natural conditions. *Annual Review of Plant Physiology*, vol. 12, 1961, p. 133.
- (18) WENT (F. W.). — The effect of temperature on plant growth. *Annual Review of Plant Physiology*, vol. 4, 1953, p. 347.
- (19) BLACK (J. N.). — The distribution of solar radiation over the Earth's Surface. *Archiv für Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie*, Serie B. Allgemeine und biologische klimatologie, Band 7, 2 Heft, 1956.
- (20) GLEIZES (C.). — Techniques rurales en Afrique. I. — Évaluation des quantités d'eau nécessaires aux irrigations. Ministère de l'Agriculture, Paris, oct. 1964.
- (21) LUNDEGÅRDH (H.). — Klima und Boden. Veb. Gustav Fischer Verlag. Jena 1957.
- (22) PRALORAN (J. C.). — Les basses températures en agrumiculture. *Fruits*, vol. 19, n° 2, 1964, p. 61.