

QUELQUES ASPECTS BIOCLIMATOLOGIQUES EN AGRUMICULTURE

par **B. AUBERT**

Institut Français de Recherches Fruitières Outre-Mer.

La culture des agrumes à l'échelle industrielle date environ d'une centaine d'années. Ce n'est cependant qu'avec l'avènement du transport réfrigéré que cette activité a connu son véritable essor. Actuellement, la consommation de citrus en Europe est de 15 kg par personne sous forme de fruits presque exclusivement. Aux U. S. A., elle s'élève à 35 kg par personne sous forme de fruits frais (35 p. cent) et de jus (65 p. cent). De 1950 à 1967, la production est passée de 16 millions de tonnes à 29, et au rythme de plantation actuel, on prévoit une augmentation de 40 p. cent de ce tonnage d'ici à 1975.

Étant donné son importance économique et sa zone d'extension (proportion notable en pays industrialisé) l'agrumiculture a suscité de très nombreuses recherches. Lors du dernier Symposium international des Citrus qui s'est tenu à Riverside (Californie) du 16 au 27 mars 1968, le point était fait sur l'avancement des recherches au cours de ces dernières années dans ce domaine. Sur 250 communications présentées, 50 traitaient de questions se rapportant à la bioclimatologie : 8 sur les polluants de l'air, 24 sur les problèmes posés par le froid, 11 sur l'action des facteurs climatiques autres que le froid, 7 sur l'irrigation et le bilan hydrique.

Un résumé de ces communications est exposé ci-dessous.

I. Problèmes posés par la pollution de l'air.

Cet aspect nouveau touche non seulement les agrumes, mais toutes les plantes vivant dans le voisinage de grands centres urbains et industriels. Il semble se poser actuellement aux U. S. A., principalement dans le bassin de Los Angeles, et au Japon. Les conditions climatiques locales jouent un rôle prépondérant. Le problème est particulièrement grave dans les zones abritées par des barrières montagneuses qui empêchent le brassage de l'air et favorisent l'apparition du « smog ».

Les principaux polluants phytotoxiques sont l'ozone, le nitrate de peroxyacétyle (PAN), le SO₂, les fluorures, les chlorures, les oxydes d'azote. La proportion de ces constituants dans l'air dépend du type d'industrie et des sources d'énergie utilisées. Les produits les plus dangereux sont, par ordre d'importance : les oxydants photochimiques et les fluorures.

Oxydants photochimiques :

L'influence de ces substances a été étudiée par C. R. THOMPSON de l'Université de Californie (Riverside). Depuis 1960, il a observé plus de 76 sujets placés en atmosphère polluée et a noté que l'effet des oxydants photochimiques se traduit de différentes façons :

- diminution de la consommation en eau (les fluorures ne provoquant pas ces symptômes),
- chute de feuilles de 30 p. cent supérieure à celle de témoins placés en atmosphère purifiée,
- diminution de la photosynthèse apparente,
- baisse de production pouvant atteindre 50 p. cent.

D'après les études de W. M. DUGGER et R. L. PALMER, un jeune plant de 'Rough Lemon', placé dans une ambiance de 15-20 pphm d'ozone, 8 h par jour et cinq jours dans la semaine, présente après 3 à 4 semaines les symptômes suivants au niveau des feuilles :

- augmentation de la respiration (mesure de l'absorption d'oxygène),
- diminution de l'amidon et augmentation des sucres réducteurs,
- augmentation significative de la perméabilité des tissus de la feuille (études d'absorption de $C^{14}O_2$).

Fluorures.

Une feuille de citrus, comme toute feuille de végétal, peut accumuler plusieurs centaines de ppm (10^{-4}) de fluorures quand elle est exposée en atmosphère à 10^{-9} ; cela au bout d'un mois ou plus. R. F. BREWER (Riverside) a montré qu'une accumulation de fluorures supérieure à 75 ppm dans les jeunes pousses de printemps provoque les effets suivants :

- réduction de la taille de la feuille,
- abscission prématurée des feuilles,
- réduction de production de 10 p. cent,
- développement de chloroses internervaires dans les jeunes feuilles immatures.

II. Problèmes posés par le froid.

L'aire de culture des citrus s'étend du 35° de latitude S aux environs du 40° de latitude N. A ces niveaux extrêmes, il est fréquent de constater des dégâts importants occasionnés par le froid.

Les recherches dans ce domaine ont revêtu trois aspects principaux : prévisions des gelées, lutte, études de l'action du froid.

L'importance grandissante des satellites météorologiques permet d'espérer l'établissement des prévisions sur des délais plus longs. La lutte contre les gelées est pratiquement généralisée aux U. S. A., principalement en Californie, Floride et Arizona : elle met en œuvre des dispositifs de chauffage du type chaufferettes ou « petroleum wax », accompagnés d'un brassage efficace des couches atmosphériques enveloppant la plantation pour obtenir une meilleure inversion de température (ventilation forcée).

L'action du froid peut être également évitée en maintenant au sein de la culture un brouillard artificiel ; le rayonnement nocturne des végétaux s'en trouve ainsi sensiblement atténué. Le brouillard peut être obtenu par pulvérisation d'alcool cétylique (Th. POLMER, Riverside) ce qui entraîne la formation de gouttelettes d'eau d'un rayon de 10 μ emprisonnées dans un film d'alcool.

L'étude du bilan énergétique nocturne au sein du verger a été réalisée au moyen de thermocouples, caméra infrarouge, radiothermomètres (L. WIEGAND et *al.*, Weslaco, Texas) ; elle a permis d'établir un véritable relevé cartographique des températures à l'échelle de l'arbre ou du verger.

Un procédé inaccoutumé de lutte contre le froid signalé par YELENOWSKY et HORANIC (Orlando, Floride) consiste à placer les sujets à protéger (jeunes semis par exemple) dans un champ électrostatique créé par une différence de potentiel très élevée (2 000 000 de volts). Les auteurs ont observé une bonne résistance à des températures avoisinant — 10° C pendant 40 mn sur de jeunes plants ainsi traités.

Sur le chapitre des effets du froid et de la résistance au froid, de nombreux aspects ont été abordés :

— R. YOUNG a étudié l'effet du gel sur le système photosynthétique des citrus. Une feuille morte par refroidissement montre une perte régulière en chlorophylle au moment du dégel, principalement en chlorophylle a. La fixation photosynthétique de $C^{14}O_2$ par les feuilles est entiè-

rement stoppée par le gel après sa remise en conditions normales de température et de lumière. La fixation photosynthétique de CO_2 par un homogénéisat de feuilles placé en présence de Ribose-5-phosphate, ATP, et Mg^{++} n'est pas effectuée même s'il y a eu un effet de gel préalable sur l'échantillon. Il semble donc que la photoréduction et la phosphorylation, réaction qui conduisent à la fixation de CO_2 , soient affectées par le gel.

On observe également une sévère détérioration des membranes cellulaires. Les cellules de garde des stomates ne fonctionnent plus et ces dernières se maintiennent fermées après un temps d'exposition en conditions photosynthétiques.

— Delmer KETCHIE a étudié la résistance électrique au moyen de deux électrodes placées dans les tiges : la résistance décroît lorsque augmentent les dégâts causés par le froid. En comparant les variétés entre elles, on trouve que cette valeur augmente chez les plantes résistant au froid.

— Le point de congélation de la feuille est, d'après C. H. HENDERSHOTT, un bon indicateur du degré de résistance au froid ; il serait cependant préférable de se baser sur l'activité cambiale de l'arbre. Mais il n'existe pas à ce jour de méthode précise pour déterminer le degré d'activité cambiale.

III. Agrumiculture et climatologie.

Action des facteurs du milieu sur la photosynthèse et la respiration. (Température, humidité relative, lumière, CO_2 .)

Des travaux ont été entrepris en Australie par J. V. POSSINGHAM et P. E. KRIEDMANN (Australie), avec un analyseur à infrarouges travaillant sur des feuilles en place de citronnier et oranger. L'optimum de photosynthèse est de l'ordre de 12 mg CO_2 /hr/dm². La respiration à 20° C est habituellement équivalente au 1/10^e de la capacité photosynthétique, et elle augmente d'une façon linéaire avec la température jusqu'à 35° C. $Q_{10} = 2$.

En cas de déficit hydrique, le taux de respiration double avec baisse équivalente dans l'activité photosynthétique. Dans ces conditions, des produits de photosynthèse marqués au C^{14} dans les feuilles ne quittent pas celles-ci malgré la présence voisine de fruits sur le rameau.

Le taux de saturation photosynthétique est atteint à 20° C pour un éclaircissement de 10.10⁴ ergs/s/cm². Le point de compensation est de 125 et 375 f.c. à 20° C et 30° C.

L'effet de la température sur l'assimilation nette a été mesuré sur des plantes bien alimentées en eau, en lumière saturante et à 300 ppm de CO_2 . En air sec, un optimum est atteint entre 15° et 20° C, alors qu'en air humidifié le palier du maximum de photosynthèse se prolonge jusqu'à 30° C avec seulement une faible réduction à 35° C.

Les études réalisées par POSSINGHAM et KRIEDMANN conduisent aux conclusions suivantes : une des caractéristiques des feuilles de citrus réside dans leur faible capacité photosynthétique. Le taux moyen d'assimilation en condition de lumière saturante est 1/2 ou 1/3 inférieur à celui des arbres à feuilles caduques courants comme le pommier... : oranger 3,6 mg de CO_2 fixé par mg de chlorophylle et citronnier 2,8 mg de CO_2 fixé par mg de chlorophylle par heure. Par ailleurs les conditions arides sont incompatibles avec un taux élevé de photosynthèse, le degré hygrométrique et la température jouent un rôle non négligeable ; mais il se peut que la qualité des fruits ne s'en trouve pas affectée.

La différence de flux de chaleur radiante entre climats humides et climats arides est étudiée par NEWMAN (Lafayette, Indiana) ; il semble que cette différence ait une action directe sur le développement végétatif et la maturité. Dans les climats où les masses d'air contiennent plus de 12 g de vapeur d'eau par kilogramme d'air, le refroidissement nocturne est moins important et la somme thermique plus élevée. MENDEL (Israël) étudie la rapidité de développement des citrus dans les zones tropicales : la vitesse de croissance d'après lui peut être deux fois plus rapide.

Influence du climat sur la dormance et la floraison des citrus.

Les agrumes ont un seuil de végétation vers 12,5°, seuil en dessous duquel la plante entre en phase de dormance. Entre le 30° et 40° parallèle, on enregistre des baisses de température en dessous de ce seuil pendant environ deux mois. La date de floraison dépend de la remontée de la température : fin février, mars et avril.

En zone tropicale, la température est un facteur pratiquement constant qui favorise une végétation active toute l'année. Cependant, une saison sèche de 2 ou 3 mois à pluviométrie inférieure à 80 mm par mois provoque l'entrée en dormance. Si on irrigue pendant la saison sèche, les fruits sont rares et apparaissent à toute époque de l'année ; après une période de dormance en saison sèche, l'arbre fleurit abondamment. Dans le cas de saison sèche prolongée, on provoque la floraison par de courtes périodes d'irrigation durant deux mois : c'est une condition nécessaire et suffisante en climat tropical (Cassin et col., I. F. A. C., France).

D'après LENZ (Allemagne), lorsque la durée du jour est de 16 h, on n'obtient pas de floraison par abaissement de température nocturne jusqu'à 19° C, alors que ce seuil thermique suffit à déclencher la floraison en jour court (8 à 12 h).

G. VAN NOORT, en Afrique du Sud, a montré que durant l'hiver, si un plant de 'Washington Navel' est carencé en eau, il donne un plus grand nombre d'organes reproducteurs au moment de la floraison qu'un plant non carencé. Mais le nombre de fruits récoltés est inversement proportionnel au degré de déficit hydrique subi, ainsi qu'au nombre d'organes reproducteurs produits.

Le pourcentage de fruits retardés par rapport au total de fleurs représente le maximum de potentialité de fructification et de floraison de l'arbre. Le pourcentage de fruits retardés par rapport aux fruits récoltés peut être utilisé pour estimer l'influence des facteurs de préfloraison et de floraison.

IV. Bilan hydrique et irrigation.

Transpiration : HILGOMAN et col. (Arizona) ont déterminé le taux de transpiration sur oranger 'Valencia', en utilisant la méthode écologique (perte de poids d'une feuille fraîchement détachée). Les résistances à la diffusion de vapeur d'eau mesurées sur les feuilles en place et sur les feuilles fraîchement détachées présentaient les mêmes valeurs. Le déficit interne était estimé par calcul de la turgescence relative des feuilles, rétrécissement du fruit et mesure au dendographe. Le potentiel de l'eau dans le sol était donné par des tensiomètres.

Dans les conditions de l'été arizonien (40° C) la transpiration augmente rapidement jusque vers 10 h du matin et reste très élevée de 10 à 16 h. Le déficit hydrique des feuilles suit la courbe de transpiration. Les feuilles de l'année transpirent plus que les feuilles d'un an et celles exposées au sud plus que celles exposées au nord. Si l'alimentation en eau vient à baisser, la baisse de transpiration commence sur les feuilles exposées au sud puis s'étend à l'ensemble de l'arbre. Si le déficit s'accroît le fruit rétrécit.

Au cours du cycle annuel, l'évapotranspiration atteint son maximum en mai, se maintient élevée en juillet et baisse régulièrement jusqu'en novembre. De novembre à février elle est à son minimum.

Irrigation : selon J. Koo (Lake Alfred, Floride) l'irrigation est capitale dans les sols sableux des vergers de Floride, bien que la pluviométrie annuelle soit de 1 300 mm. Une humidité du sol élevée est nécessaire à l'obtention d'une forte récolte : les conditions favorables sont réalisées en maintenant cette humidité au-dessus de 60 p. cent de la capacité au champ entre la nouaison et le moment où le fruit atteint 2,5 cm de diamètre. Il faut ensuite diminuer les apports d'eau si l'on veut obtenir une bonne qualité de fruit. Pour régler la fréquence des arrosages on peut alors se baser sur le taux d'humidité du sol au niveau des racines. Un moyen pratique assez facile est d'attendre l'apparition d'un très léger flétrissement temporaire des feuilles avant d'irriguer.

En Californie (M. MARSH), de nombreux agrumiculteurs utilisent le tensiomètre pour régler les irrigations. Cet appareil doit être correctement installé (profondeur adéquate et bon tassement du sol), entretenu (alimentation régulière en eau distillée, bouillie et filtrée) et lu régulièrement. Il est alors possible d'obtenir les informations qui permettent de connaître l'époque et la quantité des arrosages. Avant l'installation de ces appareils dans une région il importe de tenir compte des qualités physiques du sol, principalement du taux d'humidité entre pF 4,2 et 2,8.

Conclusion.

Lors du Symposium de Riverside, les sujets les plus divers ont été abordés, allant de la lutte biologique à la commercialisation ou au conditionnement. La proportion importante de communications ayant trait à la bioclimatologie indique que dans bien des cas les problèmes auxquels se heurte l'agrumiculteur sont de cet ordre. L'aspect nouveau réside dans le fait qu'un bilan général de l'action des facteurs du milieu sur le métabolisme a pu être établi grâce au concours de plusieurs équipes de chercheurs. De nombreuses solutions ont été en outre proposées pour la lutte contre le froid ou la rationalisation des irrigations.

LISTE DES COMMUNICATIONS CONCERNANT LA BIOCLIMATOLOGIE

Polluants :

- Effects of air pollutants in the Los Angeles Basin on Citrus : C. R. THOMPSON, University of California, Riverside, California.
- Carbohydrat metabolism in Rough Lemon as influenced by Ozone : W. M. DUGGER et R. L. PALMER, University of California, Riverside, California.
- Effects of Air-Borne Fluorides on Citrus : C. D. LEONARD et H. B. GRAVES, University of Florida, Citrus Experiment Station, Lake Alfred, Florida.
- The effects of fluoride air pollution on Citrus growth and fruit production : R. F. BREWER, University of California, Riverside, California.

Lutte contre le froid :

- New types of heaters : petroleum wax under-tree Heaters : N. MAXWELL, Texas agricultural Experiment Station, Weslaco, Texas.
- Petroleum Coke fuel blocks : alone and with wind machines : R. A. HENSZ, Texas Arts and Industries, University Center Weslaco, Texas.
- Use of high voltage-Low current in Freeze protection : G. YELENOWKY et G. HORANIC, USDA, Agricultural Research Service, Orlando, Florida.
- Physical Characteristics of a Cetyl-alcohol for frost protection : Th. PALMER, U. S. Forest Service, Forest Fire Laboratory, Riverside, California.
- Thermal patterns revealed by infra-red camera : C. L. WIEGAND et J. F. BARTHOLIC, USDA ARS Soil and Water Conservation Research division, Weslaco, Texas.

Effets du gel :

- The effect of freezing on the photosynthetic system in Citrus : R. YOUNG, USDA, Agricultural research service, Weslaco, Texas.
- Methods of determining Cold hardiness and cold injury in Citrus : Delmer KETCHIE, University of Washington tree fruit experiment Station, Wenatchee, Washington.

Cold Hardiness and freezing point of Citrus : C. H. HENDERSHOTT, University of Georgia Athens Georgia.

Climatologie :

- Environmental effects on the formation and distribution of photosynthetic assimilates in Citrus : J. V. POSSINGHAM et P. E. KRIEDMANN, CSIRO Division of horticultural Research, Adelaide, South Australia.
- The influence of Climate upon the blooming of Citrus in tropical areas : P. J. CASSIN et col., Station de Recherches agrumicoles, Corse, France.
- Effects of day length and temperature on the vegetative and reproductive growth in Washington Navel cuttings : F. LENZ, Institut für Obstbau University of Berlin, Berlin, Germany.
- Determining the potentiel production of Citrus in a given environment : G. VAN NOORT, South African Cooperative Citrus exchange Ltd., Nelspruit, Republic of South Africa.

Bilan hydrique :

- Apparent transpiration and internal water stress in Valencia Oranges as affected by soil water season and climate : R. H. HILGEMAN et col., University of Arizona Citrus experiment Station, Tempe, Arizona.
- Evapotranspiration and soil moisture determination as guides to Citrus irrigation : R. C. J. KOO, University of Florida Institute of Food and agricultural Sciences Citrus experiment Station, Lake Alfred, Florida.
- Timing and design criteria for irrigation of Citrus : M. R. TILL, Department of Agriculture, Adelaide, South Australia.
- Use of instruments in management of Citrus irrigation in California : A. W. MARSH, Agricultural extension Service, University of California, Riverside, California.

N. B. La liste ci-dessus n'est pas exhaustive. Chaque communication s'accompagne de l'adresse complète du chercheur auquel on peut s'adresser directement pour plus ample information.