

LES BASSES TEMPÉRATURES EN AGRUMICULTURE

par **J. C. PRALORAN**

Institut Français de Recherches Fruitières Outre-Mer.



PHOTO 1. — Oranger sous la neige (SEA janvier 1963).

Contrairement à l'opinion très répandue dans les milieux agrumicoles français, les risques encourus par les agrumes du fait des froids hivernaux sont relativement importants dans de nombreuses régions de grande production.

L'Espagne, l'Italie, la Grèce, la Géorgie soviétique, la Turquie, la Floride, le Texas, l'Arizona, la Californie, le Japon et l'Australie connaissent en effet des froids dangereux moins accidentels que ne le croient, généralement, les agrumiculteurs français.

En feuilletant les revues spécialisées floridiennes, californiennes ou texanes, on prend conscience de l'importance accordée à cette question. La publicité, les articles de vulgarisation, les comptes rendus de travaux des chercheurs américains sur les matériels de protection contre le froid et leurs conditions d'utilisation, le comportement des agrumes pendant les périodes froides, les aspects divers de leur résistance aux basses températures, les techniques culturales ou les traitements spéciaux susceptibles d'accroître cette résistance, y apparaissent très fréquemment.

Il existe d'ailleurs, en Californie et au Texas depuis 1924, en Floride depuis 1938, un « Fruit Frost Service » (1) chargé de la centralisation de toutes les données sur ce sujet.

Le peu d'intérêt que les agrumiculteurs français ont accordé, jusqu'à présent, au problème des basses températures en agrumiculture a vraisemblablement pour cause le fait que leur activité s'exerçait dans les pays d'Afrique du Nord où la température hivernale est particulièrement clémente. La bordure sud du Bassin Méditerranéen semble en effet constituer une zone agrumicole privilégiée dans laquelle les froids sont suffisants pour l'obtention d'une excellente qualité des fruits (couleur et saveur) sans être assez intenses pour constituer une menace.

Cependant, les efforts récemment entrepris en Corse pour le développement de l'agrumiculture (*) confèrent tout à coup une importance particulière à cette question pour les agriculteurs corses ou rapatriés d'Afrique du Nord, tentés d'entreprendre cette culture, mais que la position de l'île, à la limite septentrionale couramment admise de culture commerciale des agrumes, fait hésiter.

Il a donc paru opportun de résumer, en une seule note, la somme des connaissances acquises en la matière par les chercheurs des pays ayant déjà abordé l'étude de cette question.

Le problème des basses températures en agrumiculture se présente sous deux aspects ; le premier englobe tous les procédés physiques de réchauffement du milieu ambiant (réchauds, brasseurs d'air, abris individuels ou collectifs, aspersion, etc.). Le second comprend les moyens capables de conférer à la plante une résistance accrue au froid (études génétiques, physiologiques et agronomiques).

La description des procédés physiques évoqués, tendant à supprimer ou, tout au moins, limiter le froid lui-même, n'entre pas dans le cadre d'une note dont l'objet est de définir les rapports entre les basses températures et les agrumes et d'exposer les connaissances acquises en ce domaine. Seuls donc, les moyens actuellement connus d'augmenter la résistance au froid des agrumes et les bases sur lesquelles la recherche de nouvelles améliorations peut être entreprise, sont évoqués ici.

(*) A la suite de la publication en 1957 d'un rapport de l'Institut Français de Recherches Fruitières Outre-Mer (IFAC), la Société pour la Mise en valeur de la Corse (SOMIVAC) a donné à l'agrumiculture une place prépondérante parmi les cultures à développer dans l'île. Elle a créé dans ce but une Station Expérimentale d'Agumiculture dont la direction technique est assurée par l'IFAC.

LES LIMITES DE LA RÉSISTANCE AU FROID

H. J. WEBBER (2) fait remarquer que « les températures minima qui peuvent être supportées sans dégâts sérieux, varient considérablement et dépendent : de l'état de l'arbre, de son espèce, de la variété, de la durée de la période froide et des divers facteurs climatiques », et W. G. BRIERLEY (3) définit ainsi les principaux facteurs de la résistance au froid.

I) Facteurs de base :

- 1) État de la plante,
- 2) Espèce et variété,
- 3) Aoûtement,
- 4) Exposition.

II) Relations avec l'eau :

- 5) Dessiccation hivernale,

III) Relations avec la température :

- 6) Période de repos,
- 7) Dormance,
- 8) Époque de développement de la résistance au froid,
- 9) Vitesse de développement de la résistance au froid,
- 10) Résistance limite au froid,
- 11) Perte de résistance au froid,
- 12) Faculté d'augmenter la résistance au froid.

Il est donc nécessaire d'examiner tous ces facteurs successivement pour obtenir une estimation suffisamment exacte des possibilités de développement de l'agrumiculture dans les régions situées à la limite de culture des citrus, spécialement en Corse.

FACTEURS CLIMATIQUES

Températures extrêmes.

Les limites généralement attribuées à la résistance au froid des agrumes rapportées par P. ROBERT (4) sont ainsi définies :

- Un froid de -11°C , tue l'arbre jusqu'au sol
- A -9°C , la charpente est détruite
- A -3°C , le feuillage subit des dégâts
- Une température de -2°C peut être dangereuse.

Cette dernière limite est confirmée par H. J. WEBBER (2) qui pense que si toute température inférieure à 0°C peut être dangereuse, les dégâts n'apparaissent qu'à partir de $-2,2^{\circ}\text{C}$.

Cependant il cite un froid de -9°C le 3 janvier 1924, en Californie, n'ayant provoqué d'autres dommages qu'une défoliation de 10 p. cent environ.

En Corse (5) un froid ayant atteint -7°C , n'a pas provoqué de dégâts.

W. C. COOPER et A. PEYNALDO (1) soulignent qu'en Californie les agrumes supportent des froids de $-6,6^{\circ}\text{C}$ à -9°C , en présentant seulement des dégâts sur feuilles et sur fruits.

R. H. DEAN (6) mentionne des froids de $-4,4^{\circ}\text{C}$, en Floride, ayant provoqué le gel des fruits, une sévère défoliation et des dessèchements de jeunes rameaux, dans certains cas seulement.

Des froids de $-6,6^{\circ}\text{C}$ à $-7,7^{\circ}\text{C}$ en Floride sont

rapportés par P. F. SMITH et G. E. RASMUSSEN (7) comme n'ayant provoqué que de faibles dégâts notés de 0,64 à 1,78 dans une cotation de 0 à 10.

Z. SAMISH et A. COHEN (8) signalent, en Israël, des froids qui ont atteint -6°C , en n'occasionnant que des dégâts sur fruits.

Enfin A. V. VASSILIEV rapporte qu'en Géorgie soviétique (9) 86,6 p. cent des agrumes se sont révélés adaptés à un froid de $-9,5^{\circ}\text{C}$ et B. TKATCHENKO (10) note que dans la zone « subtropicale humide » de ce pays des minima de -8°C , à -12°C , se produisent sans nuire aux agrumes.

La variabilité des observations, publiées par les différents auteurs consultés, montre qu'il n'existe qu'une limite relative de résistance et qu'elle est liée à de nombreux facteurs dont il importe, dans la mesure du possible, de préciser l'action.

Climat de la période précédant l'apparition des températures inférieures à 0°C .

Il a une grande influence sur la résistance au gel des citrus et W. C. COOPER et A. PEYNALDO (1) notent à ce sujet que le froid doit être considéré sous deux aspects :

— l'apparition des froids qui inhibent la croissance,

encouragent la dormance et induisent la résistance au froid ;

— l'apparition des froids provoquant les dégâts.

Il semble donc qu'une période fraîche précédant celle des plus grands froids ait un effet bénéfique sur la résistance des agrumes au gel, car elle incite les arbres à entrer en repos végétatif, état dans lequel leur sensibilité au froid est minimum.

Pour A. WALLACE (11) il est admis que la croissance des racines ne se produit plus à des températures inférieures à 12,2° C et pour W. C. COOPER et col. (12) la croissance des rameaux est arrêtée à 12,7° C et celle du cambium à 7,2° C seulement et ce n'est précisément que lorsque cesse l'activité cambiale qu'il est permis de parler de dormance complète. Cependant en 1959, soit 5 ans plus tard, W. C. COOPER et PEYNALDO (1) situent à 10° C, la dormance naturelle des citrus.

D'après les expériences effectuées sur la vitesse de germination des graines par FAWCETT en 1929 et MOWRY et LOUCKS en 1933 que rapporte H. J. WEBBER (2) la température de début de croissance des citrus se situerait entre 12,7° C et 16,1° C pour le premier, 14,4° C et 16,6° C pour les seconds.

Cette température en dessous de laquelle la croissance des rameaux ne se produit plus n'est cependant pas celle à laquelle commence la dormance complète. Elle ne représente donc que le seuil du repos végétatif.

W. C. COOPER et A. PEYNALDO (1) font d'ailleurs remarquer que si les agrumes supportent en Californie des froids de — 6,6° C à — 9° C, en présentant seulement des dégâts sur fruits et sur feuilles, c'est qu'ils sont dormants à l'époque où ces froids se produisent. Ils donnent à ce sujet l'exemple des froids de janvier 1922 qui furent précédés d'un temps inhabituellement chaud et occasionnèrent de graves dégâts aux arbres bien que n'ayant atteint que — 7,7° C.

Ils ajoutent que l'exemple de l'hiver 1948-1949 dans la Rio Grande Valley, au Texas, est encore plus probant. Les températures moyennes de décembre 1948 dans cette région étaient supérieures à la normale de 5,5° C à 8,3° C ce qui provoqua une nouvelle poussée. Le froid du 30/1/1949 qui atteignit — 7,2° C gela les fruits et les feuilles, détruisit les branches de 2,5 à 5 cm de diamètre et tua même quelques arbres. Au contraire, à Crystal City, bien que les mêmes températures extrêmes fussent atteintes, la plus grande fraîcheur de la période précédente avait permis à l'arrêt végétatif de se produire et les dégâts furent moindres. Ils rappellent que le grand froid de Floride de 1894-1895 présentait des conditions semblables d'une période chaude suivie d'un brusque refroidissement, tandis que le gel de 1957-1958 aussi intense ne détruisit que quelques sujets.

W. G. BRIERLEY (3) signale également qu'un réchauffement hivernal suivi d'un brusque refroidissement peut être la cause d'une perte de résistance au froid des plantes ligneuses.

A. D. KIZIOURINE (13) émet la même opinion.

R. H. YOUNG (14) relatant un de ses essais, note que le refroidissement, préalable au passage au froid de plants de citrus, induit une résistance significativement supérieure ; le même auteur et A. PEYNALDO (15) estiment que la résistance au froid apparait aussi comme liée aux changements de température diurnes et nocturnes, et leurs effets sur l'état physiologique des feuilles et des rameaux.

E. F. SCHULTZ (16) rapporte que les agrumes du Nord Tucuman souffrent plus du froid que ceux du Sud, car le climat du Nord est plus chaud et les citrus y restent, en conséquence, plus longtemps en végétation.

W. C. COOPER et col. (17) rappellent, au début du

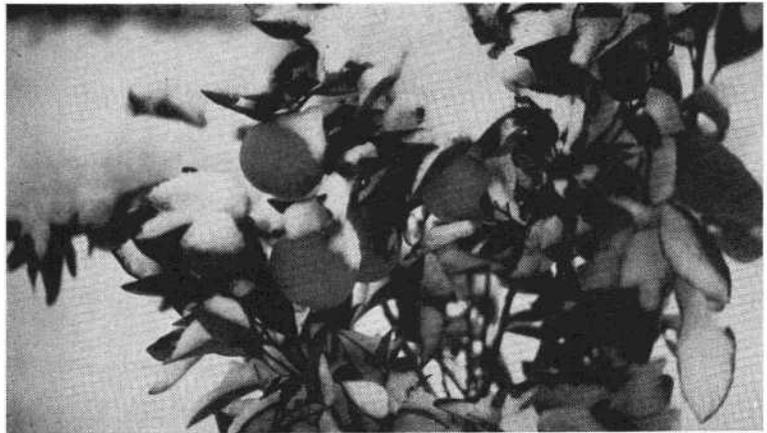


PHOTO 2. — Rameaux chargés de fruits après une chute de neige (SEA janvier 1963).

compte rendu d'un de leurs essais, les études d'IVANOV démontrant que le développement de la résistance au froid est meilleure en maintenant les plantes pendant 8 nuits successives à des températures nocturnes comprises entre 2,2° C et — 2,2° C. Les températures diurnes variant de 8,3° C à 24,3° C.

Dans une autre étude, W. C. COOPER et col. (18) notent que les orangers cessent de croître quand la température nocturne tombe en dessous de 12,7° C pendant 2 semaines. Si les températures automnales restent supérieures à cette limite, les arbres poussent jusqu'en décembre et supportent moins bien les froids.

J. F. GERBER et S. W. SITES (19) ont noté au cours d'un essai qu'un prétraitement à des températures de 3,3° C la nuit et de 25,5° C le jour a favorisé la résistance au froid des plants d'agrumes qui y furent soumis.

Enfin, il est utile de rappeler (encore que des résultats chiffrés précis n'aient pu être obtenus pour l'hiver 1955-1956) qu'en Corse, les dégâts furent beaucoup plus importants au cours de cet hiver, avec des froids qui ne descendirent pas en dessous de — 5° C, que durant l'hiver 1962-1963 où la température descendit jusqu'à — 7° C, et durant lequel les dégâts furent faibles (5). Il est très vraisemblable que cette différence est due au fait que l'hiver 1955-1956 fut particulièrement doux jusqu'au mois de février ; les agrumes commençaient à fleurir quand le froid survint, alors qu'en 1962, le refroidissement commença dès le mois de novembre, permettant aux agrumes d'entrer en repos végétatif.

En résumé, il apparaît qu'une région où le refroidissement est progressif pourra être aussi favorable à l'agrumiculture qu'une autre plus chaude, où des minima absolus, cependant moins bas, surviennent plus brutalement.

Vent.

Son influence sur la résistance au froid des citrus est double, semble-t-il. Sévissant avant l'apparition des froids dangereux, son action pourrait être avantageuse en provoquant une déshydratation partielle de la plante, cette diminution de l'eau libre rendant plus difficile la formation de la glace à l'intérieur des organes (20). Cependant, s'il est suffisamment violent, il peut occasionner des blessures qui constituent autant de portes d'entrée à la glace (20).

La présence de vent pendant la période de gel a un effet uniquement néfaste comme tend à le prouver une expérience de W. C. COOPER et col. (12) au cours de la-

quelle la résistance au froid de feuilles de citrus fut testée, sur la plante et en tubes. Les feuilles détachées, testées en tubes, supportèrent mieux les mêmes températures, vraisemblablement, concluent les auteurs, en raison de l'absence de mouvement d'air.

W. G. BRIERLEY (3) pense également que le vent, en provoquant un déficit en eau dans la plante au moment où les tissus devraient se réhydrater après le gel, peut accentuer les dégâts dus au froid.

L. MODLIBOWSKA (2) signale également que la déshydratation sévère que le vent peut provoquer, est irréversible et conduit à la mort des cellules ; des observations similaires ont été effectuées en Corse (5).

R. H. DEAN (6) a remarqué que des agrumes ont supporté des froids de — 6,1° C avec comme seul dégât le gel des fruits, tandis que les mêmes arbres présentaient des branches portant des plaques d'écorce gelée et des extrémités de rameaux desséchées par des froids ultérieurs accompagnés de vent violent, n'ayant pas dépassé — 4,4° C.

D. S. HARRISON et S. E. DOWING (21) notent que l'aspersion est pratiquement inefficace pour la protection contre le gel par temps venteux, la chaleur dégagée par la congélation de l'eau étant rapidement entraînée.

Dans une expérience enfin, F. M. TURREL et col. (22) trouvent que la vitesse de refroidissement des feuilles est bien supérieure, aussi bien à haute qu'à basse température, dans l'air en mouvement que dans l'air calme.

Lumière.

Les effets de la lumière, surtout de la durée d'éclairage, semblent être l'objet de divergences entre les auteurs consultés.

R. H. YOUNG (14) a trouvé pour des expositions à la lumière de 16 à 8 heures et des intensités lumineuses de 75 à 1 200 bougies, que les jours courts augmentent légèrement la résistance au froid sans induire la dormance et que cet accroissement de la résistance est plus important pour des agrumes ayant subi en même temps un pré-traitement de refroidissement. Il ne semble pas avoir obtenu de résultats probants ayant trait à l'intensité lumineuse.

W. C. COOPER et col. (17) citent IVANOV qui trouve que les plantes exposées à 8 heures de jour de la mi-août à la mi-décembre sont plus résistantes au froid que celles exposées à 18 heures de lumière.

G. S. NIJJAR et J. W. SITES (23) concluent de leurs essais que l'action de l'éclairage est étroitement liée à celle de la température : sous des températures

constamment élevées, l'augmentation de la durée d'éclaircissement va de pair avec l'augmentation de la résistance au froid ; par contre, sous un régime de basses températures constantes, les longues périodes sombres sont favorables à l'accroissement de la résistance au froid. En fonction de ces résultats, ils admettent que les facteurs favorisant la photosynthèse et ralentissant la respiration, améliorent la résistance au froid, ils précisent cependant que ni l'activité photosynthétique ni l'activité respiratoire n'ayant été mesurées dans cette expérience, leur conclusion demeure conjecturale.

Pour H. J. WEBBER (2), il ne semble pas que la durée du jour ait une influence déterminante sur le comportement végétatif des agrumes, dans la limite des variations enregistrées entre les différentes zones de culture, tandis que K. T. PACHALYIA (24) affirme qu'à Soukoumi les jours courts provoquent un affaiblissement de la résistance au froid et que S. M. IVANOV (25) admet que le mécanisme d'action du photopériodisme sur l'activité cellulaire est encore mal connu et émet l'hypothèse qu'il peut être en rapport avec l'accumulation intensive de glutathion réduit, par action des jours longs ; or cette substance est un stimulant de la croissance.

Enfin W. C. COOPER et A. PEYNALDO (26) font remarquer que les flux de croissance des agrumes sont séparés par deux périodes de repos qui se produisent à des époques où les conditions de climat sont diamétralement opposées : le repos estival se produit en jours longs et chauds tandis que le repos hivernal apparaît en jours courts et froids.

Il est fort probable que c'est l'interaction lumière-température qui doit retenir l'attention plutôt que la lumière considérée isolément.

Hygrométrie.

Peu d'auteurs semblent avoir étudié l'hygrométrie en tant que facteur de la résistance au froid des agrumes.

Les quelques informations rassemblées paraissent indiquer que l'humidité atmosphérique favorise le gel. J. W. LUCAS (27) mentionne en effet que les fruits humides gèlent plus vite que les fruits secs et le U. S. WEATHER BUREAU (28) signale que les nuits humides sont plus dangereuses que les nuits sèches pour une même température.

I. MODLIBOWSKA (20) note également que l'eau des organes demeure plus facilement en suspension quand l'atmosphère n'a qu'un faible pourcentage d'humidité relative, un point de rosée bas et ne contient pas de cristaux de glace.

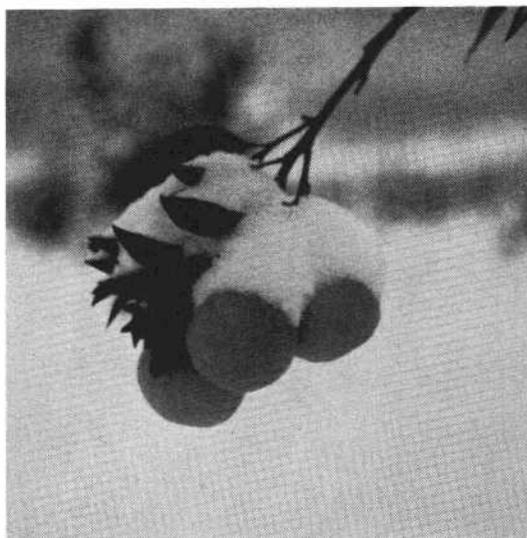


PHOTO 3. — Neige sur oranges (SEA janvier 1963).

Il convient de rappeler que sous forme de neige, l'eau atmosphérique représente une excellente protection contre le froid, mais la présence de neige en quantité suffisante pour assurer ce rôle de protection est extrêmement rare dans les régions agrumicoles ; seules les régions agrumicoles soviétiques (9) et japonaises (29) semblent en bénéficier couramment.

Il est nécessaire de souligner que, si les auteurs partagent tous l'opinion que pour une même température l'hygrométrie élevée est un facteur aggravant les dangers du froid, il n'en demeure pas moins qu'en atmosphère saturée le refroidissement est généralement plus lent qu'en atmosphère sèche, ce qui constitue donc, au contraire, un facteur favorable.

En général d'ailleurs, dans les régions agrumicoles, les froids les plus importants se produisent par temps clair et sec plutôt que par temps couvert et humide. L'humidité atmosphérique présente encore l'avantage de réduire sensiblement l'action desséchante du vent.

Durée du gel.

La durée du gel est peut-être le facteur le plus important et elle est pour beaucoup dans les différences de résistance manifestées par les agrumes, qui ressortent de la comparaison des chiffres exposés dans le premier paragraphe de ce chapitre (températures extrêmes).

H. J. WEBBER (2) fait remarquer qu'un froid de courte durée à $-6,6^{\circ}\text{C}$ est préférable à des tempéra-

tures comprises entre $-2,8^{\circ}\text{C}$ et $-3,9^{\circ}\text{C}$ sévissant pendant plusieurs heures.

C. H. HENDERSHOTT (30) a montré également l'importance de cette durée en exposant des plantes à $-5,5^{\circ}\text{C}$ pendant 4 et 8 1/2 heures. Dans le premier cas il n'y eut que 5 p. cent de feuilles détruites contre 50 p. cent dans le second.



PHOTO 4. — Pépinière d'agrumes enneigée (SEA janvier 1963).

Cette action de la durée du gel est liée à la vitesse de refroidissement des organes qui varie selon la température extérieure, celle de l'organe considéré et la différence entre ces deux températures. C. H. HENDERSHOTT (30) trouve, par exemple, que pour une température extérieure de $-2,2^{\circ}\text{C}$ et une température du fruit comprise entre $4,4^{\circ}\text{C}$ et $1,7^{\circ}\text{C}$ la vitesse de refroidissement est de $2,5^{\circ}\text{C}$ à 4°C , par heure, mais que pour la même température extérieure, cette vitesse de refroidissement tombe à $1,1^{\circ}\text{C}$ à $1,6^{\circ}\text{C}$ par heure quand le fruit atteint $1,1^{\circ}\text{C}$ à $-1,1^{\circ}\text{C}$.

A $-3,3^{\circ}\text{C}$ de température extérieure, la vitesse de refroidissement n'est plus que de $0,8^{\circ}\text{C}$ à $1,4^{\circ}\text{C}$ à l'heure, puis quand la température du fruit approche

celle de l'ambiance, cette vitesse de refroidissement ralentit encore pour atteindre $0,3^{\circ}\text{C}$ à $0,5^{\circ}\text{C}$ par heure.

R. H. YOUNG et A. PEYNALDO (31) ont également obtenu des résultats comparables avec des feuilles de citrus placées à $0,6^{\circ}\text{C}$, la température étant alors abaissée à $-6,6^{\circ}\text{C}$ à la vitesse de $8,3^{\circ}\text{C}$ à l'heure. 55 minutes après le début de l'essai, les premiers phénomènes de début de congélation se produisirent.

Dans la même expérience ils démontrent également, incidemment, l'importance de la durée du gel puisque le début de congélation de l'eau a libéré suffisamment de chaleur pour faire remonter la température des feuilles à $1,7^{\circ}\text{C}$ ralentissant ainsi le phénomène de congélation.

En d'autres termes, si le froid est de courte durée, la plante peut ne pas avoir le temps de geler et si un début de congélation se produit, l'élévation de température due à ce phénomène peut ralentir le gel complet des organes.

Température et humidité du sol.

L'arrêt de croissance des racines qui induit la mise en repos total de l'arbre est lié à la température du sol, donnant à ce facteur une grande importance.

Pour A. WALLACE (11) et GIRTON cité par W. C. COOPER et col. (17) il est admis que lorsque la température du sol descend en dessous de $12,2^{\circ}\text{C}$ la croissance des racines de citrus s'arrête ; pour R. H. YOUNG et col. (32) la différence de comportement, en ce qui concerne la résistance au froid conférée par le porte-greffe *Poncirus trifoliata*, en Californie et au Texas provient peut-être de ce que la température du sol est plus élevée au Texas qu'en Californie. A. WALLACE (11) et A. WALLACE et R. T. MUELLER (33) expliquent le ralentissement de la végétation par le refroidissement du sol par le fait que l'absorption des nitrates et leur translocation sont réduits aux basses températures (7°C).

W. C. COOPER et A. PEYNALDO (1) fournissent des indications sur la température du sol à différentes profondeurs et pour différents lieux :

Températures moyennes minima mensuelles à différentes profondeurs (en degrés centigrades).

LIEUX	PROF. (en cm.)	NOV.	DÉC.	JANV.	FÉV.	MARS	MOYENNE
Riverside (Californie).....	45	14,9	13,3	9,4	9,4	12,2	12,7
Orlando (Floride).....	30	16,1	12,2	8,8	10,5	11,1	11,6
Orlando (Floride).....	60	19,9	16,6	12,2	13,8	13,8	14,9
Monte Alto (Texas).....	15	17,2	14,9	14,4	16,1	17,7	14,4
Monte Alto (Texas).....	45	19,4	17,7	17,2	18,3	20,5	18,8

Ils relient à ces chiffres l'arrêt de croissance, qui se produit de décembre à février et quelquefois mars en Californie (ils citent à ce sujet SCHNEIDER qui trouve qu'il n'y a pas de croissance des parties aériennes d'octobre à avril et des parties souterraines de décembre à avril dans cette région), de décembre à février en Floride, de décembre à janvier au Texas, soit quatre et six semaines plus tôt qu'en Floride et qu'en Californie.

Tenant compte à la fois de la température et de l'humidité du sol, ils estiment que les très importants dégâts de l'hiver 1948-1949 au Texas sont dus en partie au temps chaud et à l'humidité du sol, entretenue par l'irrigation, qui provoquaient un nouveau flux de croissance.

RÉSISTANCE PROPRE DE LA PLANTE

Elle varie selon l'espèce, la variété, la combinaison porte-greffe/greffon et les diverses parties de la plante. Chacun de ces aspects doit donc être analysé séparément.

Résistance des espèces.

H. J. WEBBER (2) remarque qu'il n'y a pas eu d'expériences systématiques, mais que de nombreuses observations ont permis de classer ainsi les espèces suivant leur degré de résistance croissante :

- 1) Cédratier (*Citrus medica*)
- 2) Limes vraies (*Citrus aurantifolia*)
- 3) Citronnier (*Citrus lemon*)
- 4) Pomelo et Pamplemousse (*Citrus paradisi* et *Citrus grandis*)
- 5) Oranger (*Citrus sinensis*)
- 6) Bigaradier (*Citrus aurantium*)
- 7) Mandarinier et tangerines (*Citrus reticulata*)
- 8) Kumquat (*Fortunella margarita* et *F. japonica*)
- 9) *Poncirus trifoliata*

Il indique que la différence est faible d'une espèce à celle qui la suit ou la précède immédiatement, sauf pour *Poncirus trifoliata*, mais que, par exemple, le Kumquat est beaucoup plus résistant que le citronnier.

Il pense que la résistance spécifique est liée à la faculté de se mettre en dormance et indique que pour Calamondin, *Poncirus trifoliata* et les Citranges la température minima de croissance est légèrement supérieure à 19,9° C, alors qu'elle n'est que de 14,9° C pour le pomelo et 13° C, pour le bigaradier.

D'après B. TKATCHENKO (10) les agrumiculteurs soviétiques utiliseraient les cultures d'engrais verts en partie dans le but de dessécher la couche superficielle du sol.

Enfin I. MODLIBOWSKA (20) note que la forte humidité du sol est un facteur favorisant le gel de la plante.

M. BECVIDE (34) estime que la température et la teneur en eau du sol ont encore une autre action, puisque au moment du gel l'importance des dégâts dépend en partie de la possibilité qu'aura la plante de se réhydrater rapidement. Ceci implique donc une température suffisante pour que les racines soient actives et une humidité du sol telle que la plante puisse s'approvisionner normalement en eau.

R. CHOPINET et J. DUPOUY (29) donnent une définition différente de la résistance en classant des zones de culture possible en fonction de l'isotherme du mois de janvier

la zone du Cédratier et du Citronnier est limitée par l'isotherme + 9° C,

la zone de l'Oranger par l'isotherme + 8° C

la zone du Bigaradier par l'isotherme + 7° C

la zone du Satsuma par l'isotherme + 5° C.

B. TKATCHENKO (10), citant RYNDINE, précise un classement plus complet de la résistance au froid établi par ordre décroissant :

- | | |
|-------------------------------|-------------------|
| 1) <i>Poncirus trifoliata</i> | 8) Oranger |
| 2) <i>Citrus ichangensis</i> | 9) Pamplemoussier |
| 3) Satsuma | 10) Pomelo |
| 4) Mandarine 'Cléopâtre' | 11) Citronnier |
| 5) Kumquat | 12) Tangerine |
| 6) <i>Citrus junos</i> | 13) Lime |
| 7) Bigaradier | 14) Cédratier |

A. KNAUTH (35) confirme la meilleure résistance au froid du pomelo par rapport au citronnier et G. A. NESTERENKO (36) assigne les limites de résistance suivantes à quelques espèces :

La destruction totale de la plante interviendrait à :

— 8° C, pour le Citronnier

— 9° C, à — 10° C pour l'Oranger

— 12° C, pour le Mandarinier

K. T. KLIMENKO et V. D. KLIMENKO (37) ont observé les résistances suivantes, par ordre décroissant :

- 1) *Citrus junos*
- 2) Satsuma
- 3) Pamplemoussier
- 4) Oranger
- 5) Citronnier

Pour G. E. HORANIC et T. B. GARDNER (38) l'ordre de résistance décroissant au froid serait :

- 1) *Poncirus trifoliata*
- 2) Bigaradier
- 3) Mandarine 'Cléopâtre'
- 4) Oranger
- 5) Rough lemon (citronnier ou hybride de citronnier).

Des différences existent entre ces divers classements, mais elles semblent concerner des espèces dont le comportement a été moins étudié. Ce sont les Pomelos, les Tangerines et la Mandarine 'Cléopâtre' pour lesquelles les opinions sont les plus divergentes. Ceci tient certainement aux conditions de milieu très différents sous lesquelles les observateurs cités ont travaillé.

Résistances des variétés.

Elle est rarement mentionnée dans la littérature consultée.

J. T. Mc COWN (39) indique que, pour l'oranger, les variétés se classent ainsi (par ordre décroissant) :

- | | |
|-----------------------------|-------------------|
| 1) 'Jaffa' | 4) 'Parson Brown' |
| 2) 'Florida Sweet Seedling' | 5) 'Hamlin' |
| 3) 'Valencia late' | 6) 'Pineapple' |

Il signale, ce qui est important, que la variété 'Valencia late', présente plus d'aptitudes que les autres à réparer les dégâts du gel.

En ce qui concerne les pomelos, ceux à chair sanguine lui semblent un peu moins résistants que ceux à chair blonde, mais précise que les premiers étaient des arbres plus jeunes que les seconds et que cette différence d'âge peut expliquer la différence de sensibilité.

J. R. FURR et W. W. ARMSTRONG JR. (40) signale que mandarine 'Changsha' est la plus résistante des tangerines suivie de Tangerine 'Dancy', et que dans les citronniers le plus résistant est 'Meyer' suivi de 'Gul-Gul' et de 'Kusner'. W. E. Cross (41) signale également la résistance du citronnier 'Meyer' au froid.

V. A. GLASIRINE (42) a trouvé des différences de résistance au froid entre plusieurs clones de mandarinier 'Unshiu' (Satsuma).

G. RUGGIERI (43) a classé, en Sicile, les variétés

d'orangers de la manière suivante (mortalité enregistrée sur plants de 2 ans de greffe) :

Moro	64,5 p. cent
Sanguinella M.	55,5 p. cent
Washington Navel	50,8 p. cent
Sanguinella Moscato Cuscuna	27,5 p. cent
Sanguinella Moscato SGG n° 2	21,5 p. cent
Sanguinella Moscato M. R. n° 2	12,7 p. cent
Sanguinella S. P. n° 2	7,2 p. cent
Tarocco a Scossa	6,3 p. cent
Sanguinella Moscato SGG n° 1	3,1 p. cent
Sanguinella SP n° 1	1,4 p. cent.

Influence de la combinaison porte-greffe — greffon sur la résistance au froid.

La remarque, peut être la plus importante en ce domaine, est faite par G. R. HORANIC et F. B. GARDNER (38) qui notent que l'ordre habituellement cité de résistance décroissante au froid conférée aux variétés par le porte-greffe est identique à celui de ces plantes non greffées et que ceci n'est pas forcément exact, la relation n'étant peut-être pas aussi simple, car la résistance est au premier chef liée à la dormance. Ils citent l'exemple du clémentinier, résistant au froid et qui, utilisé comme porte-greffe dans leur étude, n'a pas conféré le même caractère aux variétés qu'il supportait. Cette réserve faite, ils admettent cependant qu'en règle générale il est possible de dire qu'un porte-greffe résistant augmentera la résistance de la variété.

Le classement des principaux porte-greffe parmi les 41 qu'ils ont expérimenté est le suivant, les arbres ayant supporté des froids de — 4,4° C et même — 6,6° C dans les bas-fonds (destruction du bois noté de 1 à 8) :

Bigaradier (Bergamia)	3,48
Tangelo 'Sampson'	3,75
Citrangle 'Savage'	4,54
Oranger 'Hamlin'	4,91
Mandarinier 'Cléopâtre'	5,08
Tangerine 'Dancy'	5,32
Lime 'Rangpur'	6,03
Rough lemon	6,80

J. T. Mc COWN (39) observa une meilleure résistance des orangers 'Valencia late' greffés sur Bigaradier par rapport à celle de cette variété greffée sur Rough lemon.

R. H. YOUNG et col. (32) ont effectué des essais de porte-greffe avec 4 variétés :

— 'Red Blush' pomelo greffé sur Bigaradier,

Citrange 'Troyer', *Citrus macrophylla*, Lime 'Rangpur', Mandarine 'Sunki', Lime 'douce' 'Columbian', Citrus 'moi' Citrange, 'Savage', *Poncirus trifoliata*, et Mandarine 'Cléopâtre'.

— 'Valencia late' greffé sur Mandarine 'Cléopâtre' et Lime 'Rangpur'.

— Lime 'Mexicaine' et Satsuma greffés sur Citrange 'Savage', *Poncirus trifoliata*, Bigaradier, Mandarine 'Cléopâtre' et Lime 'Mexicaine'.

Les arbres étaient considérés comme dormants quand la température a été abaissée à -5°C , et maintenue à ce niveau pendant 4 heures.

Ils concluent de cet essai que la nature du porte-greffe n'a qu'un très léger effet, ou un effet nul, sur la résistance du Satsuma (quelques faibles dégâts sur feuilles) et des Limes 'mexicaines' (dégâts sévères, branche de 1 à 2 cm de diamètre gelées). Pour le Pomelo, le Bigaradier confère la meilleure résistance; viennent ensuite la Mandarine 'Cléopâtre', le Citrange 'Savage' et *Poncirus trifoliata*.

Sur 'Valencia late' c'est la Lime 'Rangpur' qui a conféré la plus grande résistance.

W. C. COOPER (44) a observé que les orangers et pomelos sont plus sensibles au froid quand ils sont greffés sur Rough lemon que sur Bigaradier. Les orangers greffés sur Mandarine 'Cléopâtre' sont plus résistants au froid et c'est surtout *Poncirus trifoliata* et plusieurs citranges qui ont augmenté la résistance au froid des orangers. Il signale encore que le Pomelo 'Red Blush' a subi seulement 5 p. cent de défoliation greffé sur lime 'Rangpur', 35 p. cent sur Bigaradier et Rough lemon et 52 p. cent sur Mandarine 'Cléopâtre'. En ce qui concerne les fendillements d'écorce, les résultats sont identiques dans cet essai.

Il admet que le problème de la résistance au froid des diverses combinaisons était compliqué du fait que les arbres poussaient en terrain salé, ce qui explique le caractère contradictoire des résultats.

Résistance des différents organes de la plante.

Les fruits.

Il est bien connu que le fruit est l'organe végétal le moins résistant au froid. Les périodes de gel sévissant dans les régions agrumicoles sont rarement assez graves pour mettre la vie des arbres en danger, mais par contre la température s'abaisse fréquemment au point de constituer une menace pour la récolte pendante. C'est donc par la limite de résistance du fruit qu'il convient de commencer ce paragraphe.

C. H. HENDERSHOTT (30) et le U. S. WEATHER BU-

reau (28) assignent les limites suivantes à la résistance des fruits :

oranges vertes	— $1,4^{\circ}\text{C}$ à — $1,9^{\circ}\text{C}$
oranges 1/2 mûres	— $1,6^{\circ}\text{C}$ à — $2,2^{\circ}\text{C}$
oranges mûres	— $2,2^{\circ}\text{C}$ à — $2,8^{\circ}\text{C}$
petits citrons	— $0,8^{\circ}\text{C}$ à — $1,4^{\circ}\text{C}$
citrons verts	— $1,4^{\circ}\text{C}$ à — $1,9^{\circ}\text{C}$
boutons floraux de citronnier	— $2,8^{\circ}\text{C}$

mais d'après C. H. HENDERSHOTT (30), il semblerait que, par le fait que le fruit se refroidit moins vite que l'atmosphère, le gel du fruit ne commencerait à se produire pour un refroidissement atmosphérique de $0,5^{\circ}\text{C}$ à l'heure, qu'à $-3,9^{\circ}\text{C}$ (5 p. cent de fruits gelés à cette température), après 8 h 1/2 à $-3,9^{\circ}\text{C}$, 80 p. cent des fruits sont gelés. Le U. S. WEATHER Bureau (28) signale encore que les fruits situés à l'extérieur de l'arbre ont une température inférieure de $0,5^{\circ}\text{C}$ et ceux de l'intérieur supérieure de $0,5^{\circ}\text{C}$ à celle de l'air.

J. M. WHITEMAN (45) estime que le gel des fruits de pomelos commence entre $-1,6^{\circ}\text{C}$ et $-1,1^{\circ}\text{C}$ pour la pulpe, entre $-2,8^{\circ}\text{C}$ et $-1,3^{\circ}\text{C}$ pour la peau (pour 5 variétés). Sur 14 variétés d'oranges il indique que le gel se produit entre $-2,5^{\circ}\text{C}$ et $-0,8^{\circ}\text{C}$ et enfin, pour les tangelos, les températures de gel seraient de $-2,2^{\circ}\text{C}$ à $-1,1^{\circ}\text{C}$ pour la pulpe et -3°C , à $1,6^{\circ}\text{C}$ pour la peau (4 variétés).

R. H. YOUNG et A. PEYNALDO (46) travaillant sur Pomelo 'Red Blush' ont obtenu pour un froid de $-5,0^{\circ}\text{C}$ pendant 4 heures, des résultats variables selon l'époque de leurs essais :

en novembre 4,9 quartiers en moyenne par fruits sont gelés; en décembre 4,2 quartiers en moyenne par fruits sont gelés; en janvier 2,2 quartiers en moyenne par fruits sont gelés; en février 0,8 quartiers en moyenne par fruits sont gelés.

R. H. DEAN (6) a observé le gel des fruits avec une température de $-6,1^{\circ}\text{C}$ pendant 1/2 heure après 12 heures de températures inférieures à 0°C . Par contre, dans d'autres cas, des températures de $-4,4^{\circ}\text{C}$ n'ont pas provoqué de dégâts aux fruits.

Pour R. H. HILGEMAN et col. (14) la température critique pour les oranges 'Valencia late' se situerait à $-2,2^{\circ}\text{C}$. C. H. HENDERSHOTT (30) fixe un seuil encore plus bas puisqu'il admet que le gel des fruits intervient seulement 1 heure après l'abaissement de la température ambiante à $-6,6^{\circ}\text{C}$.

H. J. WEBBER (2) indique que les fruits de pomelos sont plus résistants au froid que les mandarines, bien que l'inverse soit vrai pour l'arbre.

Les conditions dans lesquelles se produit le gel sont très importantes et R. H. DEAN (6) signale qu'il arrive que, malgré la formation de glace dans les fruits, ceux-ci ne soient pas endommagés ; un temps froid continu suivi d'un lent dégel pouvant empêcher les dégâts. Il a remarqué également que les fruits verts dégelèrent mieux que les fruits mûrs. J. T. Mc COWN (39) note également que les fruits de 'Valencia late' ont plus d'aptitude à réparer les dégâts du froid que les fruits des autres variétés et que ceci tient sans doute à leur stade de maturation moins avancé au moment des froids.

Les feuilles.

Les feuilles ont une résistance bien supérieure à celle des fruits. W. C. COOPER et A. PEYNALDO (48) ont constaté la destruction de la totalité du feuillage par un froid de $-5,5^{\circ}\text{C}$ pendant 3 heures. R. H. YOUNG et A. PEYNALDO (31) situent à $-3,9^{\circ}\text{C}$ le seuil de gel des feuilles et C. H. HENDERSHOTT (30) estime qu'à :

- $4,4^{\circ}\text{C}$, — 5°C : 1 p. cent des feuilles sont détruites,
- $5,5^{\circ}\text{C}$: 5 p. cent des feuilles sont détruites ;
- $6,1^{\circ}\text{C}$, — $6,6^{\circ}\text{C}$: 50 à 70 p. cent des feuilles sont détruites
- $6,6^{\circ}\text{C}$: 100 p. cent des feuilles sont détruites.

W. C. COOPER (44) a constaté d'autre part qu'à $-3,9^{\circ}\text{C}$ la destruction du feuillage varie de 5 à 52 p. cent, mais, sous d'autres conditions, R. H. DEAN (6) observe que pour une température de $-6,1^{\circ}\text{C}$ pendant 1/2 heure et 12 heures de températures inférieures à 0°C , le feuillage reste indemne.

Pour G. A. NESTERENKO (36) le gel des feuilles intervient à :

- 5°C , — 6°C pour les citronniers,
- 6°C , — 7°C pour l'oranger,
- 7°C , — 8°C pour le mandarinier.

Le bois.

La sensibilité du bois dépend évidemment de sa grosseur. W. C. COOPER et A. PEYNALDO (48) estiment que le bois de 6 mm de diamètre est détruit par un froid de $-6,1^{\circ}\text{C}$ durant 3 heures, et les mêmes auteurs (1) relatent aussi, la destruction du bois de 5 cm de diamètre et des éclatements d'écorce avec un froid de $-7,2^{\circ}\text{C}$ pendant 6 heures. W. C. COOPER (44) mentionne la destruction complète du tronc avec des froids compris entre $-7,7^{\circ}\text{C}$ et $-6,6^{\circ}\text{C}$ pendant plusieurs heures. R. H. DEAN (6) rapporte qu'un froid atteignant $-4,4^{\circ}\text{C}$ pendant 1 heure et ayant duré 7 heures en dessous de 0°C , mais en présence de vent, a provoqué l'apparition de plaques d'écorce gelée sur les branches et le dessèchement des rameaux.

Les résultats enregistrés par les auteurs soviétiques ont été consignés au paragraphe « résistance des espèces ». Par contre il est peut-être utile de rappeler qu'en 1962-1963, en Corse (5) des froids d'une durée de 60 à 100 heures en dessous de 0°C dont 48 heures de suite entre -1°C et 0°C et ayant atteint jusqu'à -6°C pendant plus de 5 heures au total (discontinu) n'ont provoqué qu'une défoliation de 10 à 30 p. cent et le gel de quelques jeunes branches (les dégâts sur cédratiers et plantations en mauvais état végétatif sont exclus).

Les graines.

Il peut être intéressant de terminer ce paragraphe en donnant une indication sur la résistance des graines, elle est tirée du travail de G. E. HORANIC et F. B. GARDNER (49) :

Les pourcentages de germination de graines d'orange ayant subi des températures de $-9,4^{\circ}\text{C}$, $-6,6^{\circ}\text{C}$ et $-3,9^{\circ}\text{C}$ sont les suivants : 0-70-94 p. cent respectivement.

Sur les graines de 4 espèces provenant de fruits gelés à $-7,7^{\circ}\text{C}$ et $-2,2^{\circ}\text{C}$ les résultats obtenus sont les suivants (certains fruits ont été conservés 7 et 14 jours après le gel, avant extraction des graines).

	TÉMOIN	EXTRACTION IMMÉDIATE		EXTRACTION APRÈS 7 JOURS		EXTRACTION APRÈS 14 JOURS	
		$-2,2^{\circ}\text{C}$	$-7,7^{\circ}\text{C}$	$-2,2^{\circ}\text{C}$	$-7,7^{\circ}\text{C}$	$-2,2^{\circ}\text{C}$	$-7,7^{\circ}\text{C}$
Mandarine 'Cléopâtre'	98	96	79	98	89	97	72
Rough lemon.	96	95	92	93	95	99	89
Bigaradier.....	95	92	84	87	83	84	57
Oranger.....	97	90	94	93	97	76	58

La température de $-7,7^{\circ}\text{C}$ semble donc avoir un léger effet dépressif sur la germination des graines d'agrumes, surtout pour le mandarinier 'Cléopâtre'

et le Bigaradier, mais c'est surtout la conservation des graines à l'intérieur du fruit gelé, qui influe sur la levée.

INTENSITÉ, FRÉQUENCE ET DURÉE DU FROID DANS QUELQUES ZONES AGRUMICOLES

Dans les paragraphes précédents, les seuils de résistance des agrumes au gel ont été examinés par rapport à chaque facteur pris séparément, il a paru utile de présenter, en manière de conclusion, quelques données sur l'intensité, la fréquence et la durée des basses températures enregistrées dans des régions agrumicoles. Ce sont les régions agrumicoles des États-Unis qui fournissent les renseignements les plus détaillés en ce domaine.

CALIFORNIE

W. C. COOPER et A. PEYNALDO (1) communiquent la fréquence moyenne d'apparition de certaines températures à Indio et à Riverside :

de $-1,6^{\circ}\text{C}$ à $-3,8^{\circ}\text{C}$: Indio (sur 51 ans) toutes les 1,1 années ; Riverside (sur 36 ans) toutes les 1,1 années ;

de $-3,9^{\circ}\text{C}$ à $5,4^{\circ}\text{C}$: Indio (sur 51 ans) toutes les 1,6 années ; Riverside (sur 36 ans) toutes les 3,1 années ;

$-5,5^{\circ}\text{C}$ et inférieures : Indio (sur 51 ans) toutes les 3,1 années ; Riverside (sur 64 ans) toutes les 10,8 années.

Pour les températures inférieures à $-5,5^{\circ}\text{C}$, à Riverside, ils précisent que sur la période 1922-1958, soit 36 ans, la fréquence d'apparition est de 7,4 années en moyenne au lieu de 10,8.

Ils signalent encore l'existence de température de l'ordre de -9°C .

E. T. BARTHOLOMEW et col. (50) rapportent quelques températures et leur durée, pendant l'hiver 1948-1949 :

nuit du 23 au 24 décembre 1948 :

Placentia	$-2,2^{\circ}\text{C}$ pendant 5 h 20
	$-2,8^{\circ}\text{C}$ pendant 2 h 10
Fullerton	$-2,2^{\circ}\text{C}$ pendant 3 h 15
	$-2,8^{\circ}\text{C}$ pendant 2 h 20
	$-3,3^{\circ}\text{C}$ pendant 1 h

du 3 au 7 janvier 1949 :

Placentia	$-5,1^{\circ}\text{C}$ pendant 13 heures
-----------	--

Fullerton	$-4,8^{\circ}\text{C}$ pendant 14 heures
Anaheim	$-3,7^{\circ}\text{C}$ pendant 7 heures

Enfin H. J. WEBBER signale le froid du 3 janvier 1924 qui a atteint -9°C pendant 1 h 30' et $-2,8^{\circ}\text{C}$ pendant 13 heures.

FLORIDE

W. C. COOPER et A. PEYNALDO (1) dans le même article que celui cité à propos de la Californie donnent également les fréquences moyennes d'apparition du froid en Floride :

de $-1,6^{\circ}\text{C}$ à $3,8^{\circ}\text{C}$: Ocala (sur 21 ans) chaque année ; Orlando (sur 21 ans) tous les 2,2 années ; Avon Park (sur 21 ans) tous les 1,4 années ;

de $-3,9^{\circ}\text{C}$ à $-5,4^{\circ}\text{C}$: Ocala (sur 64 ans) tous les 2,5 années ; Orlando (sur 64 ans) tous les 3,6 années ; Avon Park (sur 64 ans) tous les 4,1 années ;

$-5,5^{\circ}\text{C}$ et inférieurs : Ocala (sur 64 ans) tous les 3,1 années ; Orlando (sur 64 ans) tous les 8 années ; Avon Park (sur 64 ans) tous les 10,8 années.

Ils rappellent que la célèbre période froide de 1894-1895 qui détruisit pratiquement toute l'agrumiculture floridienne n'a pas été plus intense que celle de l'hiver 1957-1958 (minimum absolu -10°C).

R. H. DEAN (6) communique des renseignements beaucoup plus détaillés encore sur les froids en Floride, particulièrement quant à leur durée, pour 6 stations d'emplacement non précisé. Le tableau suivant résume les informations qu'il donne :

STATION ET ANNÉE	NOMBRE TOTAL D'HEURES DE FROID EN DESSOUS DE :											
	0° C	-0,5° C	-1,1° C	-1,6° C	-2,2° C	-2,8° C	-3,3° C	-3,9° C	-4,4° C	-5,0° C	-5,5° C	-6,1° C
Station 1 1950-1951 ..	84 h 40	68 h 35	60 h 15	49 h 45	41 h 25	27 h 40	18 h	11 h 35	4 h 40	2 h 30	2 h	0 h 3
Station 1 1952-1953 ..	37 h 25	33 h 25	26 h 15	20 h 05	11 h 55	7 h	0 h 45					
Station 2 1950-1951 ..	68 h 55	60 h 35	51 h 10	39 h 50	31 h	19 h 30	12 h 25	3 h 45	1 h 30			
Station 3 1950-1951 ..	70 h 25	62 h 05	52 h 10	35 h 55	21 h 10	6 h 55	3 h 45					
Station 4 1950-1951 ..	47 h 50	41 h 05	32 h 35	19 h 10	14 h 30	11 h 30	6 h 15	1 h	0 h 30			
Station 5 1950-1951 ..	69 h 20	62 h 50	51 h 15	41 h 15	24 h 55	12 h 40	5 h 20	1 h 10				
Station 5 1952-1953 ..	37 h 05	25 h 50	20 h 30	11 h 10	7 h	6 h	4 h 50					
Station 6 1952-1953 ..	42 h 05	34 h	25 h 50	19 h 45	12 h 20	3 h 40	1 h 50					

G. E. HORANIC et F. B. GARDNER (38) mentionnent les froids de l'hiver 1957-1958 :

Le 11 décembre 1957 la température fut inférieure à 0° C à partir de 23 h 30 et descendit jusqu'à - 5° C, à 7 h 30 le 12.

Le 13 décembre la température était de - 3,9° C à 4 heures et atteignit - 4,4° C à 7 h 30. Il y avait jusqu'à 2 à 3° C de moins dans les bas fonds.

P. F. SMITH et G. E. RASMUSSEN (7) signalent également les froids de 1957-1958 durant lesquels la température descendit en dessous de - 6,6° C le 28 novembre 1956 et à - 7,7° C du 11 au 13 décembre 1956. D'autres périodes froides suivirent en janvier et février 1957.

TEXAS

D. C. ALDERMAN et G. H. GODFREY (51) parlent d'un froid atteignant - 7,2° C le 6 décembre 1950.

W. C. COOPER et A. PEYNALDO (1) dans leur publication déjà citée à propos de la Californie et de la Floride citent également les fréquences d'apparition des froids au Texas.

de - 1,6° C à - 3,8° C : Crystal City (sur 27 ans) toutes les 1,1 années ; Weslaco (sur 33 ans) toutes les 2,9 années ;

Brounville (sur 64 ans) toutes les 2,6 années ; de - 3,9° C à 5,4° C : Crystal City (sur 27 ans) toutes les 1,6 années ; Weslaco (sur 33 ans) toutes les 5 années ; Brounville sur 64 ans) toutes les 5 années.

- 5,5° C et inférieures : Crystal City (sur 27 ans)

toutes les 2,7 années ; Weslaco (sur 33 ans) toutes les 11,7 années ; Brounville (sur 64 ans) toutes les 13 années.

Dans le même article, ils signalent une température de - 7,2° C pendant 6 heures le 30 janvier 1949.

N. P. MAXWELL (52) donne le détail d'une période froide s'étendant du 9 au 12 janvier 1962 dans la Rio Grande Valley :

65 h	à	- 0° C
57		- 0,5° C
54 h 30		- 1,1° C
51 h		- 1,6° C
40 h		- 2,2° C
30 h		- 2,8° C
22 h		- 3,3° C
16 h		- 3,9° C
8 h 30		- 4,4° C
8 h 10		- 5° C
8 h		- 5,5° C
7 h		- 6,1° C
7 h		- 6,6° C
4 h		- 7,2° C
4 h		- 7,7° C
0 h 40		- 8,3° C
0 h 30		- 9° C

W. C. COOPER (44) apporte également quelques indications sur les froids de l'hiver 1950-1951 dans la basse vallée du Rio Grande.

Le 7 décembre 1950 la température a été inférieure à 0° C pendant 14 heures avec un minimum absolu de — 3,9° C pendant 45 minutes.

A partir du 31 janvier 1951 et pendant 3 jours la température a oscillé entre 0° C et — 3,9° C avec vents violents du nord, il y eut ensuite 2 jours pendant lesquels la température minima atteignit — 6,6° C et — 7,7° C. Il rappelle une autre période de froid en janvier 1949.

Arizona.

R. H. HILGEMAN et col. (47) sont les seuls parmi les auteurs consultés à fournir un renseignement sur les froids dans cette région. Ils disent « En Arizona la température tombe normalement en dessous de 0° C ou plus bas pendant 30 ou 40 nuits chaque année, quelquefois les minima atteignent — 3,3° C à — 5° C, pendant plusieurs nuits... »

« En 1949 et en 1954, des minima de — 9,0° C et — 7,2° C respectivement, avec des températures inférieures à — 3,3° C pendant 10 à 12 heures ont été enregistrés... »

Israël.

Z. SAMISH et A. COHEN (8) ont été appelés à travailler sur des fruits gelés en 1950, à la suite de froids qui se sont produits après quelque 15 années d'hivers doux.

Les températures qu'ils rapportent sont les suivantes :

- 3° C le 28 et le 29 janvier 1950
- 4,5° C le 30 janvier 1950

— 5,5° C les 6 et 9 février 1950

— 6° C les 7 et 8 février 1950

Géorgie soviétique.

A. V. VASSILIEV (9) parle d'un froid atteignant — 9,5° C et B. TKATCHENKO (10) dit que les minima de — 8° C à — 12° C n'y sont pas rares.

Espagne.

10 récoltes sur 25 sont plus ou moins endommagées par le froid. Les gelées de 1926 et de 1935 détruisirent 20 p. cent des fruits. En 1947 un froid de — 7° C fut enregistré à Castellon et en février 1954, 50 p. cent des fruits furent gelés, les dégâts s'étendant jusqu'à la région de Murcie. Enfin au cours des froids de 1956, les dommages causés intéressaient même les troncs ; de nombreux arbres furent détruits et on estima que le rétablissement du verger d'agrumes du pays nécessiterait 2 ans. De nouvelles périodes froides détruisant ou endommageant 20 à 30 p. cent de la récolte ont été enregistrées en 1961-1962 et 1962-1963.

Corse.

L'intensité, la fréquence et la durée des périodes froides en Corse paraissent tout à fait comparables à celles des régions citées ci-dessus pour lesquelles les informations les plus nombreuses ont pu être obtenues.

Les renseignements les plus précis ont trait à l'hiver 1962-1963 (5) ils sont regroupés dans le tableau ci-dessous.

LIEUX	NOMBRE TOTAL D'HEURES DE FROID EN DESSOUS DE : (a)						
	0° C	— 1° C	— 2° C	— 3° C	— 4° C	— 5° C	— 6° C
Luri (cap Corse).....	383 h 30	211 h	110 h 30	45 h	16 h 30	5 h 30	
Moriani.....	141 h 30	32 h 30	17 h	6 h	3 h 30		
Alesani.....	74 h	14 h 30					
Linquiezetta.....	88 h 30	10 h	p. m.				
Haut Tuvignano.....	120 h 30	31 h	1 h 30				
Vaccaja.....	130 h 30	39 h	8 h	2 h			
Tagnone.....	70 h	10 h 30	2 h	1 h			
Saint-Antoine.....	138 h	49 h	15 h 30	7 h	p. m.		
Ghisonaccia (R. F. 10).....	143 h 30	57 h 30	11 h 30	p. m.			
Ghisonaccia (R. N. 198).....	183 h	99 h	25 h 30	11 h	4 h	0 h 30	
Fium'Orbo.....	362 h	152 h	48 h 30	10 h 30	2 h 30		
Morta Prunelli.....	127 h	40 h	9 h 30	3 h 30	0 h 30		
Porto Vecchio.....	226 h 30	130 h	77 h	41 h	14 h	4 h	0 h 30

(a) Dans ce tableau les durées sont cumulées, mais les périodes froides ont été discontinues. Il y eut en réalité 4 vagues de froid séparées par des périodes de basses températures, mais supérieures à 0° C.

Les renseignements tirés de la Météorologie Nationale (53) sans être d'une précision parfaite avant 1957 permettent néanmoins d'obtenir une assez bonne idée des froids dans l'île :

Au cap Corse, sur 25 ans d'observations, le minimum absolu enregistré l'a été en 1927-1928 avec -4°C (minimum de 1962-1963 : -5°C). Les températures inférieures à 0°C apparaissent d'après les documents consultés, 8 années sur 25 et le nombre moyen de jours de gel par an est de 4 (43 jours en 1962-1963).

Dans la plaine orientale (Casabianda), sur 5 ans d'observations, le minimum absolu est de $-4,5^{\circ}\text{C}$ (en 1954). Il semble y avoir entre 10 et 28 jours (en 1954) de gel par an (14 à 26 en 1962-1963).

Dans la région de Porto Vecchio, le minimum absolu sur 20 ans d'observations a été de $-3,4^{\circ}\text{C}$ (1921-1922) et le gel n'est apparu que 3 années sur 20. En 1962-1963 cependant, le minimum absolu est de $-6,3^{\circ}\text{C}$ avec 28 jours de gel.

A Ajaccio, sur 35 ans, le minimum absolu est de $-9,0^{\circ}\text{C}$ (1956) et, sauf cette année particulièrement froide, de -5°C enregistré 2 fois en 35 ans. Les températures inférieures à 0°C apparaissent 29 ans sur 35 et des minima voisins de -3°C seulement 7 ans sur 35.

Le nombre de jours de gel varie considérablement, de 0 à 30 par an, et des périodes de gel de 10 jours par an ne sont apparues que 6 fois en 35 ans.

Pendant l'hiver 1961-1962 (53), classé dans les hivers froids inhabituels, les minima absolus n'ont pas dépassé -3°C (pendant 9 h 30 à Moriani), le plus grand nombre de jours de gel est de 80 (à Porto Vecchio) et la durée maxima cumulée du froid a été de 203 heures.

En ce qui concerne la fréquence, il est encore possible d'ajouter que les hivers « rigoureux » dont les agriculteurs de Corse se souviennent sont ceux de :

1896-1897
1927-1928
1934-1935
1955-1956
1962-1963

Soit des intervalles de 31-7-21 et 7 ans (16 ans en moyenne).

Cependant ces hivers rigoureux n'ont jamais provoqué des dégâts d'une intensité comparable à celle des hivers catastrophiques de Floride de 1894-1895 et 1957-1958 ou du Texas en 1950-1951, par exemple.

MÉCANISMES D'ACTION DU FROID ET RÉACTIONS DE LA PLANTE

Il est intéressant, dans une note bibliographique dont l'objet est de rassembler le plus grand nombre possible d'informations sur le comportement des agrumes au froid, de donner un aperçu des connaissances actuelles dans le domaine des mécanismes d'action du froid sur la plante et des phénomènes d'ordre anatomique et physiologique liés à sa réaction. L'ensemble de ces mécanismes et phénomènes forment en effet la « résistance de la plante ».

MÉCANISMES D'ACTION DU FROID

L. MODLIBOWSKA décrit, d'une manière générale pour les plantes, les mécanismes du gel et du dégel. D'après ses travaux (20) quand la température de la plante s'abaisse en dessous du point de congélation, deux phénomènes peuvent se produire, l'eau du végétal reste en surfusion ou se congèle.

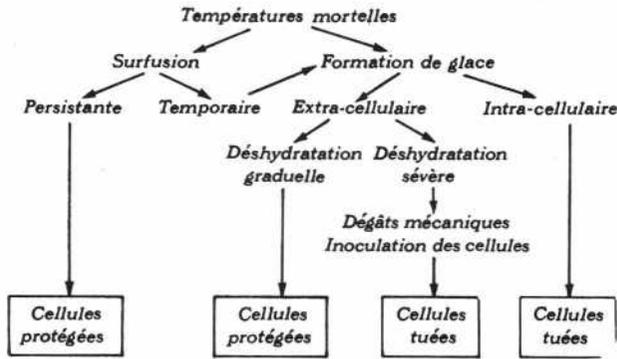
Dans le cas de la surfusion, celle-ci peut être *persistante*, protégeant ainsi les plantes contre le gel, ou *temporaire* ; à sa cessation il peut apparaître de la glace soit extra soit intra-cellulaire.

A partir du moment où la glace se forme, soit sans, soit après peu de surfusion, trois cas peuvent se produire :

— la formation de glace est intra-cellulaire, il y a alors rupture, désorganisation et mort de la cellule.

— la formation de glace est extra-cellulaire, sans ou avec peu de surfusion préalable, et ce processus aboutit à une déshydratation de la cellule ; graduelle, et la cellule est protégée ou sévère et accompagnée de dégâts mécaniques et d'inoculation de glace à l'intérieur de la cellule, ce qui aboutit à sa destruction.

Ces bases conduisent l'auteur à établir le schéma suivant :



— C'est lors de la formation de la glace extra-cellulaire que peut se produire, par augmentation de la pression de la glace, une « inoculation » des cellules qui réalise alors, après un stade intermédiaire, le phénomène de formation de glace intracellulaire.

Ce phénomène d'inoculation n'intervient que lors d'un gel d'une certaine durée.

— Pour que le phénomène de surfusion se manifeste, il faut des conditions extérieures particulières : faible pourcentage d'humidité relative, point de rosée bas, air calme sans cristaux de glace, faible humidité du sol.

— Il convient de remarquer que le degré de surfusion (temporaire ou persistante) dépend essentiellement de la durée du gel, puisque plus le phénomène durera longtemps par rapport au temps de gel, moins le temps de congélation sera long, la quantité de glace formée étant plus faible et donc moins dangereuse quant à ses effets mécaniques possibles.

PHÉNOMÈNES ET RÉACTIONS ANATOMIQUES DE LA PLANTE

Points de pénétration du froid.

L. MODLIBOWSKA (20) admet que les stomates, les punctuations, les blessures et les plasmodesmes peuvent être, sont les voies de pénétration de la glace dans les cellules.

C. WAIBEL (55) rapporte les observations de Wallace ayant trait aux dégâts plus importants que supportent les arbres présentant des blessures accidentelles ou parasitaires.

Vitesse de pénétration du gel dans la plante.

J. W. LUCAS (27) a obtenu sur citronnier, pour des plants et des fruits en surfusion, une vitesse de pénétration de la glace, à partir du point de formation du premier cristal, de 15 cm par minute à une température extérieure de $-5,2^{\circ}\text{C}$.

R. H. YOUNG et A. PEYNALDO (3) ont mesuré cette vitesse de congélation dans une de leurs expériences sur le comportement au froid des citrus :

leur matériel végétal était placé dans une ambiance à $0,6^{\circ}\text{C}$ et la température abaissée jusqu'à $-6,6^{\circ}\text{C}$ à la vitesse de 8°C/heure . Ils mesurèrent la température des feuilles de minute en minute.

A $-5,5^{\circ}\text{C}$ les feuilles furent complètement gelées, ce point de congélation est indiqué par l'augmentation brutale de la température de la feuille qui est à ce moment de $-3,9^{\circ}\text{C}$ seulement. La température des feuilles décroît ensuite régulièrement ce qui indique que toute l'eau est gelée puisqu'il n'y a plus de nouvelle cristallisation marquée par une nouvelle élévation de température. Dans les conditions de l'expérience, le phénomène a commencé à se produire 55 minutes après la mise au froid des feuilles.

C. H. HENDERSHOTT (30) travaillant sur le gel des fruits (oranges), a mesuré la vitesse de refroidissement pour un abaissement de la température extérieure de $18,3^{\circ}\text{C}$ à $-2,2^{\circ}\text{C}$ en 3 h 30, température maintenue à ce niveau jusqu'à ce que les fruits aient atteint $-1,1^{\circ}\text{C}$ à $-1,9^{\circ}\text{C}$; ensuite le refroidissement est poursuivi jusqu'à $-3,3^{\circ}\text{C}$ et cette température maintenue pendant 11 h 25.

L'auteur a enregistré que pour des températures de $-2,2^{\circ}\text{C}$ (extérieures) et $1,7^{\circ}\text{C}$ à $4,4^{\circ}\text{C}$ (fruits), la vitesse de refroidissement de ces derniers est de $2,5^{\circ}\text{C}$ à 4°C par heure; quand les fruits atteignent $1,1^{\circ}\text{C}$ à $-1,1^{\circ}\text{C}$ le refroidissement se ralentit et tombe à 1°C à $-1,6^{\circ}\text{C}$ à l'heure.

Quand la température extérieure a atteint $-3,3^{\circ}\text{C}$ la vitesse de refroidissement du fruit se ralentit encore, elle n'est plus que de $0,8^{\circ}\text{C}$ à $1,4^{\circ}\text{C}$ par heure et elle atteint $0,3^{\circ}\text{C}$ à $0,5^{\circ}\text{C}$ quand la température des fruits est proche de celle de l'ambiance ($\pm 1^{\circ}\text{C}$).

C. H. HENDERSHOTT a aussi déterminé que lorsque la température des fruits est comprise entre $-1,9^{\circ}\text{C}$ et $-1,3^{\circ}\text{C}$ et celle de l'air de $1,7^{\circ}\text{C}$ à 3°C plus basse, il faut 3 h 30 pour que les fruits gèlent.

Avec une exposition des fruits à un froid de $-3,9^{\circ}\text{C}$ en partant d'une température de l'air de $17,7^{\circ}\text{C}$ et d'une température des fruits de 18°C à $15,5^{\circ}\text{C}$ après 3 h, l'ambiance étant de $-2,2^{\circ}\text{C}$, les fruits n'atteignent que $4,7^{\circ}\text{C}$ à 3°C . L'air étant main-

tenu alors à la température de $-2,2^{\circ}\text{C}$ pendant 2 heures, la température des fruits s'abaisse à $-1,1^{\circ}\text{C}$ soit un refroidissement moyen de $2,5^{\circ}\text{C}$ par heure. La température extérieure étant ensuite abaissée jusqu'à $-3,9^{\circ}\text{C}$ à raison de $0,5^{\circ}\text{C}$ par heure, les fruits atteignent en même temps la même température et le gel commence.

Pour une exposition à un froid de $-6,6^{\circ}\text{C}$ suivant une exposition à -5°C le gel des fruits intervient en général dans l'heure qui suit l'abaissement à $-6,6^{\circ}\text{C}$ de l'ambiance.

En ce qui concerne la vitesse de refroidissement des feuilles, C. H. HENDERSHOTT donne également une indication : le gel des feuilles commencerait 4 heures après l'exposition à un froid de $-5,5^{\circ}\text{C}$ mais s'étendrait très lentement à partir de ce moment puisque 8 h 30 après le début de l'exposition à $-5,5^{\circ}\text{C}$, 50 p. cent seulement des feuilles sont gelées.

Nature et importance des surfaces.

I. MODLIBOWSKA (20) souligne l'importance du type de la surface dans la pénétration de la glace à l'intérieur des organes. Une couche additionnelle de cutine ou de cire protège l'organe, tandis que les surfaces mouillées favorisent le gel.

J. W. LUCAS (27) et le U. S. WEATHER Bureau (28) notent également que les surfaces humides favorisent le gel.

Dans une expérience sur fleurs de pommier, I. MODLIBOWSKA (20) a constaté que l'enlèvement du bois et des feuilles en réduisant les surfaces a favorisé la surfusion et donc réduit les dégâts.

Les observations de G. E. HORANIC et F. B. GARDNER (38) et de J. T. Mc COWN (39) tendraient au contraire à démontrer que plus le feuillage est abondant, meilleure est la résistance au gel. Cette apparente contradiction avec les résultats de I. MODLIBOWSKA tient certainement au fait que l'abondance du feuillage est surtout un symptôme de parfait état végétatif.

Pour C. H. HENDERSHOTT (30), en ce qui concerne les fruits, il ne semble pas y avoir corrélation entre la vitesse de refroidissement et la grosseur du fruit. La surface étant fonction de la grosseur, mais les volumes les plus faibles ayant une surface relativement plus importante, il se peut que l'augmentation relative de la surface dans les petits fruits soit en partie compensée par l'augmentation absolue de surface dans les gros fruits en ce qui concerne le facteur « vitesse de refroidissement ».

F. M. TURREL et col. (22) trouvent également que le

coefficient de conductivité thermique des fruits de citrus est indépendant du volume du fruit, mais qu'il semble lié à l'épaisseur de la peau.

Cependant R. H. YOUNG et A. PEYNALDO (46) trouvent que les petits fruits gèlent plus rapidement que les gros. Cela peut d'ailleurs s'accorder avec les résultats de TURREL et HENDERSHOTT puisque, dans une même variété, la peau des jeunes fruits est moins épaisse (absolument et non relativement) que dans les gros fruits.

Le U. S. WEATHER Bureau (28) note que les fruits à l'intérieur de l'arbre ont une température supérieure de $0,5^{\circ}\text{C}$ à celle de l'air, ceux de l'extérieur étant au contraire plus froids de $0,5^{\circ}\text{C}$ que l'ambiance.

Les techniciens soviétiques (10) semblent aussi tenir largement compte de la protection assurée par le feuillage dense, puisqu'ils plantent jusqu'à 3 000 sujets à l'hectare pour assurer une meilleure protection des vergers contre le froid.

Les contradictions relevées entre les divers auteurs consultés, en ce qui concerne l'influence des surfaces sur la résistance au gel, trouvent vraisemblablement une explication dans le fait que le feuillage a un double rôle, à la fois *mécanique* — contre la pénétration du froid à l'intérieur de la frondaison — qu'il jouera plus ou moins efficacement selon qu'il sera sec ou humide et, *physiologique*, la résistance au gel dépendant de son état sanitaire et de la composition des feuilles, les éléments devant se trouver en certaines quantités et proportions pour une résistance donnée.

Les auteurs consultés insistent sur l'un ou l'autre de ces deux rôles, d'où un apparent désaccord.

Les effets anatomiques du froid.

I. MODLIBOWSKA (20) décrit les modifications d'ordre physiques et anatomiques que subissent les cellules lorsqu'elles supportent une période de froid, selon la vitesse de refroidissement et la nature des cellules :

La surfusion dépend de l'hydratation de la cellule. Quand celle-ci est imbibée d'eau peu fortement liée qui gèle facilement, la surfusion ne se produit pas. Cette eau moins fortement liée se trouve surtout le long des parois dans les méats intercellulaires. Au cours d'un refroidissement lent, une déshydratation des cellules accompagnée d'une évacuation de l'air se produit par contraction de la vacuole et son déplacement avec les chloroplastes au milieu de la cellule.

Elle peut aussi avoir lieu par « cythorrhèse » c'est-à-dire par collapse des parois extérieures qui se rapprochent au milieu de la cellule et repoussent vacuole et chloroplastes contre les parois. Les bulles d'air éva-

cuées s'accroissent soit vers le milieu soit au-dessus des parois intérieures.

A ce moment, selon la vitesse de refroidissement et la perméabilité de l'ectoplasme, la déshydratation ou la congélation ont lieu.

Quand il y a refroidissement très ralenti et *inoculation de glace par une blessure*, la glace se forme d'abord le long des parois, la couche s'accroît aux dépens de l'eau de la vacuole qui se contracte, gèle et se vésiculise. Ce processus est toujours mortel, par déshydratation sévère.

Quand la glace est inoculée dans les feuilles *par les stomates* et se forme dans les tissus lacuneux très élastiques et perméables à l'eau, les cellules de ce tissu peuvent se rétrécir rapidement et se regonfler au dégel sans dégâts.

Dans le cas d'une formation très lente de glace dans les méats intercellulaires, il peut y avoir déshydratation protectrice, l'eau du protoplasme étant peu à peu attirée dans les méats où elle gèle, mais après un trop long temps, la quantité de glace formée dans les méats peut être telle que sa pression sépare les cellules, écrase et rompt les parois. Ce processus conduit à l'inoculation intercellulaire.

W. C. COOPER et col. (12) parlent de la diffusion de l'eau dans les espaces intercellulaires des feuilles formant des taches visibles surtout sur la face inférieure (aspect Water Soak). Pour eux, cette diffusion d'eau peut ne pas être l'indice de dégâts mais seulement le seuil à partir duquel les dégâts sont à craindre ; ils ajoutent que ces feuilles disparaissent au dégel, ce qui n'a pas été constaté en Corse (56). Cette diffusion d'eau correspond semble-t-il au dernier cas décrit par I. MODLIBOWSKA.

Les mêmes auteurs ont observé la formation de cristaux de glace dans la zone cambiale de l'écaillage de l'écorce des branches mais sans coloration particulière du cambium.

En ce qui concerne la diffusion de l'eau dans les espaces intercellulaires E. T. BARTHOLOMEW et col. (50) estiment que ce phénomène indique seulement une déshydratation des cellules et non leur destruction, puisque toutes ces taches à l'aspect huileux disparaissent après quelques semaines.

I. MODLIBOWSKA (20) décrit les dégâts sur bois. Cet auteur les classe en 2 catégories :

1° Fissures radiales dues à une contraction tangentielle pendant un froid sévère.

2° Fissures circulaires, le long du xylème, à travers

le cambium, provoquées par la contraction différente du xylème et du cambium et par la formation de glace entre ces tissus.

Dans ce cas l'écorce n'éclate pas et la cavité formée, très humide, se cicatrise rapidement. Les cellules vivantes, surtout celles du liber, forment un cal en éventail qui remplit le vide, puis un cambium nouveau se différencie et donne naissance à des tissus normaux de xylème et de liber. Le cal au-dessous ne se lignifie pas et il est possible de le reconnaître après des années à un « anneau de froid » formé de collenchyme, parmi le xylème et aussi dans le liber où il est caractérisé par le grossissement local, en éventail, des rayons.

Enfin, fissures circulaires et fissures radiales de l'écorce seule peuvent être associées. L'écorce se décolle, un phéllogène se différencie dans le liber et forme une couche de liège en dessous de l'écorce. Un nouveau cambium différencié produit de nouveaux tissus de xylème et de liber mais dans le sens contraire.

L. GENEVES (57) travaillant sur iris estime que les écailles des bourgeons ne protègent les tissus méristématiques contre les effets du froid qu'en cas d'abaissement brusque de la température et que les cellules doivent leur résistance au froid à des propriétés intrinsèques du protoplasma et à l'organisation anatomique des cellules des jeunes feuilles. Dans celles-ci (encore dans le bourgeon) des lacunes aplaties en forme de len-

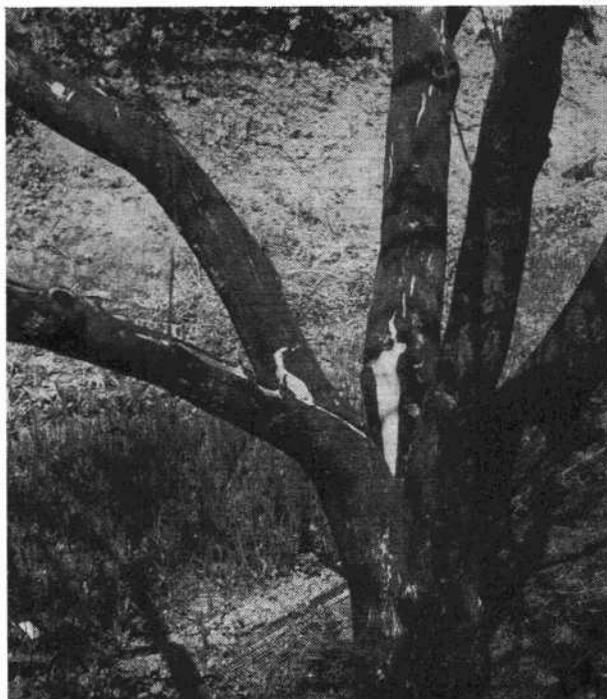


PHOTO 5. — Mandarinier gelé à Porto Vecchio Corse (mars 1963).

tilles s'étendent entre le parenchyme et l'assise sous-épidermique, les cristaux s'insèrent dans les lacunes et finalement cette disposition histologique favorise la formation de la glace aux dépens du liquide intercellulaire. Au cours de leur accroissement, ces cristaux attirent l'eau des cellules elles-mêmes, le contenu cellulaire se contracte, il y a plasmolyse par le froid. Ceci correspondrait, en règle plus générale, à la déshydratation graduelle des cellules de I. MODLIBOWSKA.

E. T. BARTHOLOMEW et col. (50) décrivent aussi les modifications anatomiques subies par les fruits gelés.

1° Diffusion de l'eau dans les espaces intercellulaires et intervésiculaires.

2° La surface de la pulpe prend une couleur gris pâle ou laiteuse.

3° Des cristaux d'héspéridine apparaissent à la surface des cloisons des quartiers.

4° Les cloisons des quartiers sont ondulées. Ceci peut être dû au rétrécissement de la pulpe par déshydratation ou au fait que les parois sont gélatinisées.

5° Dans les fruits plus atteints il y a des poches de gomme situées, le plus souvent, dans les angles aigus des quartiers proches de l'axe central.

6° « Gélatinisation » de la pulpe.

7° Apparition de granulations jaunâtres dans la pulpe.

8° Un ou deux quartiers se trouvent aplatis (ceux ayant gelé) par les autres ayant poursuivi une croissance normale.

9° La peau est desséchée et présente des taches brunes. Ces taches sont causées par l'huile qui s'échappe des glandes gelées. La peau peut aussi rester terne ou présenter des taches vertes ne disparaissant pas à maturité.

10° Les auteurs signalent enfin n'avoir jamais rencontré de dégâts sur l'albedo.

Aspects physiologiques de la résistance au froid.

Tous les auteurs consultés insistent sur l'accroissement de résistance au froid lié à l'état plus ou moins prononcé de dormance, c'est-à-dire de ralentissement de l'activité physiologique des agrumes.

Les températures provoquant la dormance ont été exposés au paragraphe « Climat de la période précédant l'apparition des températures inférieures à 0° C » il reste donc à examiner comment cette dormance se manifeste au niveau physiologique.

G. S. NIJJAR et J. W. SITES (23) estiment qu'elle est liée à une photosynthèse active et à une faible respiration. Les études qu'ils ont conduites sur les effets

de la durée d'éclairement et de la température leur ont permis d'aboutir aux conclusions suivantes :

— Aux températures constamment hautes, il semble que l'augmentation de la durée d'éclairement va de pair avec l'accroissement de la résistance au froid.

— Les longues périodes sombres à basse température sont également favorables à la résistance au froid.

— La résistance au froid décroît pour des plantes ayant subi des passages de plus en plus longs à basse température sous un éclairement constant en durée.

— Les hautes températures diurnes alternant avec les basses températures nocturnes accroissent la résistance au froid.

Autrement dit, et bien que l'activité photosynthétique et l'intensité respiratoire n'aient pas été mesurées dans leurs expériences, les facteurs favorisant la première (durée d'éclairement) et ralentissant la seconde (froid) ayant augmenté la résistance au froid, il leur semble que leur conclusion est exacte encore que conjecturale.

R. ULRICH (59) confirme cette conclusion en disant : « la chute de l'intensité respiratoire avec le refroidissement du milieu est une constatation banale ».

I. G. BATHADZE (58) estime également que la somme de l'activité photosynthétique peut servir d'indice indirect de la résistance à la gelée, mais K. T. PACHALIYA (24) a remarqué qu'à Soukoumi les jours courts provoquent un affaiblissement de la résistance au froid.

Pour S. M. IVANOV (25) cependant, le mécanisme selon lequel le photopériodisme influe sur l'activité cellulaire est encore mal connu. Il émet l'hypothèse de son rapport avec l'accumulation intensive de glutathion réduit par l'action des jours longs, cette substance étant un stimulant de la croissance.

Ces trois auteurs ne parlant pas de la température, il se peut que leurs observations soient en accord avec celles de G. S. NIJJAR et J. W. SITES et l'induction de la résistance au froid pourrait être obtenue de différentes manières :

— Longue durée d'éclairement et température élevée = photosynthèse active et de longue durée, respiration active mais de courte durée.

— Courte durée d'éclairement et basses températures = photosynthèse et respiration ralenties.

— Durée moyenne d'éclairement, hautes températures diurnes et basses températures nocturnes = photosynthèse active et respiration ralentie.

W. C. COOPER et A. PEYNALDO (26) font d'ailleurs remarquer que les agrumes subissent 2 périodes de dormance sous des conditions climatiques absolument opposées :

— La dormance d'été qui se produit en jours longs et chauds,

— La dormance d'hiver survenant en jours courts et froids.

Ce sont les deux premiers cas tirés des expériences de G. S. NIJJAR et J. W. SITES.

Les autres synthèses sont également modifiées au moment de l'apparition des froids.

En ce qui concerne les glucides, W. W. JONES et M. L. STEINACKER (60) font remarquer que le saccharose est à un maximum en hiver tandis que l'amidon est à son minimum et que ce phénomène constitue probablement la réaction au froid des citrus. Ils appuient cette thèse sur le fait que l'accroissement du sucre est moins marqué dans le citronnier que dans l'oranger et que le premier est moins résistant au froid que le second.

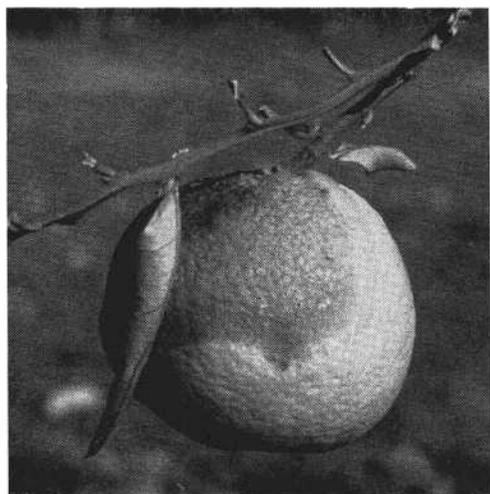
G. S. SHARPLES et L. BURKHART (61) confirment que la concentration minimum en amidon de la sève apparaît au moment où les températures sont les plus basses et que l'augmentation de la concentration de la sève en sucre peut constituer un mécanisme par lequel les parties délicates de l'arbre sont protégées contre le froid. Ils précisent que la température critique à laquelle l'amidon est transformé en sucre semble être caractéristique de chaque espèce ; pour les pomélos elle serait de $12,7^{\circ}\text{C}$.

A. N. SUTULOV (62) note d'autre part que le rapport saccharose/monoses répond rapidement aux changements internes des cellules affectées par des conditions défavorables de température et d'humidité. L'augmentation de ce rapport indiquerait une augmentation du déficit en eau avec apparition de symptômes as-



PHOTO 6. — Effets du gel sur bigaradier (SEA février 1963).

PHOTO 7. — Gel sur Valencia Late (Aghione-Corse février 1963).



sociés tels que l'interruption de la synthèse des polysaccharides, ralentissement et même interruption de la photosynthèse, augmentation de la pression osmotique et arrêt de la croissance.

R. ULRICH (59) dit que l'accumulation des sucres solubles dans les organes végétaux refroidis va de pair avec une résorption partielle de l'amidon et que l'intensité respiratoire étant en étroite liaison avec la teneur en sucres, particulièrement en saccharose, son abaissement conduit à une augmentation des sucres. La conséquence de l'accumulation des sucres solubles est l'augmentation de la pression osmotique vacuolaire capable d'entraîner un appel d'eau du protoplasme.

Cette déshydratation du protoplasme constitue une amélioration de la résistance au gel, mais finalement

l'enrichissement en sucres n'est pas un facteur primaire de la résistance au froid.

J. HENZE (63) admet que les pentoses peuvent avoir un rôle de protection contre le froid :

— En solubilisant les protéines, les empêchant ainsi d'être détruites par déshydratation.

— Comme polymérisants, ils augmentent l'aptitude à la dilatation et donc la capacité de rétention pour l'eau.

— En formant un complexe arabinose-polypeptides accumulé dans la masse protoplasmique et augmentant son caractère hydrophile.

Pour J. LE VITT (64) enfin, la concentration en sucres et la pression osmotique de la sève sont fréquemment parallèles à la résistance au froid.

V. A. MIRIMANIAN (65) dit que la détermination de l'amylase montre que les quantités les plus faibles sont trouvées dans les citrons pendant l'hiver et que ceux qui produisent plus d'amylase contiennent plus de sucres, lesquels élèvent la résistance au froid.

Les modifications intervenant dans la synthèse des lipides et des protides font l'objet de publications beaucoup moins nombreuses.

R. ULRICH (59) note simplement que les plantes résistantes au gel accumulent des lipides à la surface du protoplasme et que la résistance au gel semblant bien siéger dans le protoplasme, il est normal de penser que le froid peut agir sur des protides cellulaires.

Il rapporte encore que la diminution des protéines pendant les périodes froides a été souvent signalée.

G. A. YOUNG (66) travaillant sur la luzerne a constaté une augmentation des protéines solubles et non solubles liée à un accroissement de la résistance au froid dans une variété résistante au froid et, au contraire, leur diminution liée à l'augmentation de la résistance au froid dans une variété plus sensible.

V. A. MIRIMANIAN (67) étudiant un hybride végétatif d'un mandarinier trouve que la capacité de rétention pour l'eau des tissus foliaires est augmentée chez cet hybride, vraisemblablement en liaison avec une modification du complexe protidique du protoplasme. Ceci est à rapprocher des conclusions de J. HENZE (63) citées à propos de la synthèse des glucides.

Au cours d'un autre travail, déjà cité V. A. MIRIMANIAN (65) a trouvé que l'albumine et la globuline dans les feuilles de pomelos et tangerines sont plus abondantes que dans celles de citronniers et que ceci peut être lié à leur plus grande résistance au froid.

En ce qui concerne les autres synthèses, la littérature consultée donne encore moins de précisions, seul V. A. MIRIMANIAN (65) indique que l'acide ascorbique s'accumule dans les feuilles des citrus pendant les

nuits froides et que pendant les hivers rigoureux la teneur en vitamine C s'abaisse, plus d'ailleurs dans les citrons que chez les autres fruits d'agrumes. Il a remarqué que la congélation de 0° C à -16° C des feuilles d'agrumes provoque une perte considérable de vitamines.

Les modifications dans le régime hydrique des cellules ont également une grande importance.

J. T. Mc COWN (39) fait remarquer que des arbres irrigués jusqu'en fin octobre en Floride, ont beaucoup souffert des froids de l'hiver 1957-1958.

M. BEOVIDE (34) dit que, au début de l'abaissement de températures les plantes rejettent de l'eau pour lutter contre les effets de sa dilatation dans les tissus. I. G. BAHTADZE (58) estime que la teneur en matière sèche et en eau des feuilles pendant l'hiver peut servir d'indices indirects de la résistance à la gelée. R. H. YOUNG et A. PEYNALDO (31) ont obtenu pour des conditions identiques de température (-6,6° C) le gel des feuilles de divers agrumes dans l'ordre suivant :

1° Pomelos ; 2° Citrange 'Troyer' ; 3° Lime 'Rangpur' ; 4° Rough Lemon ; 5° Bigaradier, et ont estimé que cet ordre était sensiblement le même que celui de la teneur en eau des feuilles :

Pomelo 78 p. cent ; Rough Lemon 69 p. cent ; Citrange 'Troyer' 68 p. cent ; Lime 'Rangpur' 65 p. cent ; Bigaradier 66 p. cent.

Il faut néanmoins remarquer que 2 sur 5 des espèces ne sont pas classées de la même manière dans les 2 cas (Rough Lemon et Lime 'Rangpur').

L. I. SURKOVA (68) a trouvé que la quantité d'eau retenue par les feuilles (eau de constitution) augmente en hiver tandis que l'eau libre diminue, d'où une meilleure résistance au gel. Il précise que cette relation n'est nette que pour les plantes nettement différentes quant à leur comportement au froid, ce qui expliquerait les contradictions des classements opérés par R. H. YOUNG et A. PEYNALDO.

V. A. GLASIRINE (42) a également remarqué que les feuilles des différents clones de mandariniers 'Unshiu' n'ont pas la même capacité de rétention pour l'eau et que cette capacité est plus grande pour les arbres les plus résistants au gel.

J. HENZE (63) admet aussi que les variations de la teneur en eau de l'écorce donnent une image partielle du degré de résistance au froid.

H. MEIDNER (69) a établi qu'il y avait corrélation entre les variations de l'épaisseur de la feuille et de la teneur en eau d'une part, entre les variations de la température de la feuille et celles de son épaisseur d'autre part.



PHOTO 8. — Bigaradier après une période de basses températures (SEA janvier 1963).

I. KOSCIS (70) rapporte la constatation classique de la réduction de l'eau dans le cytoplasme.

V. A. MIRIMANIAN (67) admet aussi que la capacité de rétention pour l'eau des colloïdes des tissus foliaires augmente avec la résistance au froid chez un hybride végétatif de mandarinier 'Unshiu', chez lequel, par contre, l'énergie d'accumulation de la matière sèche est basse.

Il semble qu'il soit nécessaire de préciser dans l'avenir le rôle de l'eau en tant qu'eau libre ou en tant qu'eau de constitution. Le seul point paraissant bien établi est que l'abaissement de la teneur en eau libre s'accompagne d'une moindre sensibilité au froid.

Le rôle de plusieurs éléments minéraux est également exposé dans la littérature rassemblée.

G. C. SHARPLES et L. BURKHART (61) ont observé que les arbres déficients en azote (moins de 2 p. cent de la matière sèche des feuilles), accumulent moins d'amidon dans les branches et les rameaux et plus dans les feuilles.

A. WALLACE (11) a étudié l'absorption et la translocation de cet élément à différentes températures des racines. La quantité d'azote absorbé est maxima à 23,8° C et nettement moindre à 18,3° C ; par contre le pourcentage d'azote absorbé dans la matière sèche des feuilles décroît quant la température croît. En ce qui concerne la migration de l'azote dans la plante, il trouve qu'en moyenne il migre 3,4 fois plus d'azote des racines aux feuilles entre 23,2° C et 26,6° C et 2,6 fois plus à 14,4° C-15,5° C qu'à 8,8° C. Mais puisqu'il y a plus d'azote dans les racines aux hautes températures, la plus grande quantité trouvée au même moment dans les feuilles n'est pas forcément un effet de ces hautes températures et il préfère utiliser le rapport de $\frac{N \text{ racines}}{N \text{ Feuilles}}$ comme critère de la translocation en fonction de la température.

Il établit ainsi les rapports suivants :

10,0 à 8,8° C
6,1 à 14,4° C — 15,5° C
5,7 à 23,2° C — 26,6° C

Il a également étudié l'influence de la nature de l'engrais azoté, sur le coefficient d'absorption et obtenu les résultats suivants :

Températures	Ammoniaque	Nitrates
8,8° C à 14,4° C	1,3	1,4
14,4° C à 23,2° C	2,2	1,7

P. F. SMITH et G. E. RASMUSSEN (7) ont étudié les dégâts provoqués aux Agrumes par les froids de l'hiver 1956-1957 en Floride (minimum absolu — 7,7° C) en fonction de la quantité d'azote apportée dans la fumure et de la composition des feuilles, sur oranger 'Valencia late' et pomelo 'Marsh Seedless' greffés sur Rough Lemon. (Voir tableau page suivante.)

Il en conclut que les hauts niveaux de fertilisation azotée ont une petite mais nette tendance à accroître la résistance au froid.

Par contre J. T. Mc COWN (39) a observé, également en Floride, après les froids de 1957-1958, que la fertilisation azotée appliquée tardivement (fin octobre) est en relation avec une exagération des dégâts dus au froid. Mais dans cet exemple il faut tenir compte des façons culturales et des irrigations poursuivies jusqu'en novembre.

R. ULRICH (59) rappelle que l'enrichissement en azote soluble des organes végétaux refroidis a été signalé fréquemment.

G. A. JUNG (66) travaillant sur la luzerne pense que

VARIÉTÉ	kg DE N PAR ARBRE	DÉGATS NOTÉS SUR 10	TENEUR EN N, p. cent DE LA MATIÈRE SÈCHE
Oranger 'Valencia Late'	0,800	0,64	2,87
	1,600	0,47	3,05
Pomelo 'Marsh Seedless'	0,900	1,78	2,64
	1,800	1,52	2,86

La forme de l'azote paraît avoir de l'importance pour des teneurs en azote des feuilles identiques, tout au moins pour le sulfate d'ammoniaque qui augmente légèrement la sensibilité au froid.

Pomelo 'Marsh Seedless'	nitrate de chaux	1,56	2,75
	nitrate d'ammoniaque	1,52	2,74
	sulfate d'ammoniaque	1,88	2,75

la température joue un rôle important en ce qui concerne l'efficacité de traitements à l'urée et à la thio-urée. Les traitements furent surtout efficaces pour la variété la plus sensible des deux soumises à l'expérience, et il est apparu que l'accroissement de la concentration d'urée et de thio-urée avait en général provoqué une diminution des protéines solubles avec un accroissement de la résistance au froid.

En ce qui concerne le phosphore, P. F. SMITH et G. E. RASMUSSEN (7) n'ont remarqué aucun effet sur la résistance au froid en l'absence d'une déficience en cet élément, mais W. F. SPENCER (71) établit au contraire que les fumures phosphatées sont en relation avec les plus forts dégâts du froid. Il pense que ceci peut être dû à l'effet dépressif des fumures phosphatées sur l'absorption des micro-éléments.

Il reprend cette conclusion dans un autre article (72).

Pour S. S. MARCHANIYA (73) au contraire, le phosphore n'influe pas sur la résistance au froid.

La potasse fait également l'objet d'opinions différentes selon les auteurs.

P. F. SMITH et G. E. RASMUSSEN (7) trouvent que la teneur des feuilles en cet élément est de :

1,40 p. cent de la matière sèche pour des dégâts notés 0,47 sur 10

1,47 p. cent de la matière sèche pour des dégâts notés 0,64 sur 10

Sur 'Valencia late' :

1,71 p. cent et 1,72 p. cent à 1,76 p. cent de la matière sèche pour des dégâts notés 1,52 et 1,56 sur 10.

1,90 p. cent de la matière sèche pour des dégâts notés 1,78 sur 10

1,94 p. cent de la matière sèche pour des dégâts notés 1,88 sur 10.

D'autre part, ils indiquent qu'avec 0,2 kg de potasse par arbre la défoliation fut de 10 p. cent contre 30 p. cent avec 2 kg de potasse par arbre dans les mêmes conditions de froid. Ils se sont aperçus que les feuilles les plus riches en potasse contenaient 8 p. cent d'eau de plus que les feuilles les moins riches. Ces résultats leur permettaient de conclure « les hauts niveaux de fertilisation potassique ont une petite mais nette tendance à réduire la résistance au froid ».

O. C. BRYAN (74) partage l'avis des deux auteurs précédents. Par contre S. S. MARCHANIYA (73) affirme que la potasse accroît la résistance au froid et préconise les fumures du type suivant : 90-90-120.

J. F. GERBER et S. W. SITES (19) bien qu'ayant obtenu des résultats positifs quant à la résistance au froid avec des doses croissantes de potasse lorsque les plantes de leur expérience étaient brutalement exposées au froid (3 heures à $-7,7^{\circ}\text{C}$) et seulement pour une dose moyenne de cet élément pour les plantes subissant un prétraitement à basse température ($3,3^{\circ}\text{C}$ la nuit pendant 7 nuits) avant le passage à $-7,7^{\circ}\text{C}$, estiment qu'il est difficile de conclure, car le prétraitement a eu une forte influence.

D'après les résultats obtenus par P. F. SMITH et G. E. RASMUSSEN (7) il semble que l'augmentation de la teneur des feuilles en Ca soit liée à l'augmentation des dégâts, mais les résultats sont peu nets :

Sur 'Valencia late' :

Dégâts notés sur 10 :

0,47, Ca dans les feuilles 2,96 p. cent de la M. S. *

0,64, Ca dans les feuilles 3,25 p. cent de la M. S.

Sur Pomelo 'Marsh Seedless' :

Dégâts notés sur 10 :

1,52, Ca dans les feuilles 3,70 p. cent

1,52 — — — 3,78 p. cent

1,56 — — — 4,04 p. cent

1,78 — — — 3,84 p. cent

1,88 — — — 3,49 p. cent

Pour W. F. SPENCER (71) les applications de chaux n'ont pas d'effet sur la résistance au froid des Agrumes et pour J. F. GERBER et S. W. SITES (19) les feuilles des arbres les moins atteintes par le froid ont la teneur la plus faible en calcium.

Au contraire pour le magnésium les résultats exposés par les différents auteurs sont concordants.

P. F. SMITH et G. E. RASMUSSEN (7) communiquent les données suivantes sur Valencia late :

Dégâts notés sur 10 :

0,47 Mg dans les feuilles = 0,56 de la M. S.

0,64 — — — 0,46 p. cent

1,52 — — — 0,52 p. cent

1,56 — — — 0,46 p. cent

1,88 — — — 0,47 p. cent

Sur Pomelo 'Marsh Seedless' :

Dégâts notés sur 10 :

1,52 0,49 et 0,52 p. cent

1,56 0,46 p. cent

1,78 0,48 p. cent

1,88 0,47 p. cent

Ils avancent l'idée que l'ancien rôle protecteur, vis-à-vis du froid, attribué à la potasse serait en réalité celui du magnésium, dont les anciens sels de potasse, moins purs que ceux employés actuellement, contenaient des quantités notables.

J. F. GERBER et S. W. SITES (19) ont également obtenu une meilleure résistance au froid des arbres dont les feuilles avaient une forte teneur en magnésium.

W. C. COOPER est le seul des auteurs consultés à s'être occupé de l'influence du sodium et des chlorures

sur la résistance au froid (75). Il a remarqué que pour des sujets végétant en sols salés, la concentration en chlore et en sodium varie selon les porte-greffes dans l'ordre croissant suivant :

Mandariner — oranger — hybrides de *Poncirus trifoliata* pour le sodium ; oranger — hybrides de *Poncirus trifoliata*, mandarinier pour le chlore ; le bigaradier et le rough lemon, en général, n'accumulent que de faibles quantités de chlore et de sodium. Cet auteur a établi également que les variétés, à l'intérieur des groupes, accumulent différemment le chlore et le sodium, et il lui est apparu que la mauvaise reconstitution de la frondaison après les froids était associée à une forte accumulation soit de chlore soit de sodium dans les feuilles. Mais des variations de comportement montrent que le problème de la liaison entre les dégâts du froid et l'accumulation du chlore et du sodium est complexe. Il rappelle simplement que les hautes concentrations en chlore et en sodium affectent la teneur des tissus en eau et peuvent, de ce fait, avoir une influence sur la résistance au froid.

En matière d'oligo-éléments, les seules indications complètes sont fournies par P. F. SMITH et G. E. RASMUSSEN (7) qui ont expérimenté une fumure comportant Cu — Zn — Mn — et V à raison de 100, 200, et 400 grammes environ toutes les 6 semaines et 400

PHOTO 9. — Dégâts du froid sur clémentinier (Aléria-Corse février 1963).



* M. S. = Matière sèche.

grammes environ toutes les 12 semaines. Dans le premier cas (toutes les 6 semaines), les applications sont arrêtées au mois d'octobre et dans le second (toutes les 12 semaines) en fin août. Les résultats qu'ils ont obtenu montrent que les plus fortes doses d'oligo-éléments sont en corrélation avec les moindres dégâts du froid.

M. K. CHAILAKHYAN (76) travaillant sur l'effet du bore trouve que les besoins en cet élément peuvent être en rapport avec l'adaptation des plantes aux conditions hivernales.

Les plantes ayant des besoins élevés en bore demandent une période de jours longs pour se développer normalement, tandis que celles ayant de faibles besoins en bore ont leur croissance contrôlée par les disponibilités du sol en bore et ne commencent à pousser que lorsque le sol est suffisamment chaud pour assurer une alimentation régulière en cet élément.

Les viroses modifiant le comportement physiologique de la plante, il a semblé logique de placer dans ce paragraphe les observations de C. WAIBEL (55) sur le comportement au froid des agrumes atteints de Psorose. Il rapporte qu'après les froids de 1949 au Texas, plusieurs agrumiculteurs observèrent que les pertes étaient plus importantes sur les arbres présentant des symptômes de Psorose. Il fut également observé que certains arbres apparemment sains étaient détruits tandis que d'autres, de même aspect, survivaient. Ces observations suggèrent que quelques-uns des arbres apparemment sains étaient aussi atteints de Psorose. Un décompte fut fait sur des arbres dont l'état sanitaire était connu en ce qui concerne la Psorose : arbres présentant des symptômes foliaires et corticaux, arbres présentant seulement des symptômes foliaires et arbres sains.

Sur 18 sujets présentant des symptômes corticaux, 1 seul survécut.

Sur 36 sujets présentant des symptômes foliaires, 2 survécurent.

Sur 96 sujets sains présentant des symptômes foliaires, 95 survécurent.

Il est probable que d'autres viroses peuvent avoir un effet similaire sur le comportement des agrumes au froid.

Deux séries de phénomènes indiquant une modification de la physiologie du végétal doivent encore être signalées, il s'agit du changement de la conductivité électrique des feuilles gelées et des variations de la densité des fruits.

J. WILNER (77) indique que le degré des dégâts dus au froid peut être apprécié, chez les plantes ligneuses par la mesure de la conductivité électrique de l'eau extraite des rameaux et feuilles ayant trempé pendant 24 heures dans de l'eau distillée à température ambiante (18,3° C à 26,6° C) W. C. COOPER et col. (12) ont utilisé cette méthode sur feuilles d'agrumes et se sont aperçus que l'extrait aqueux de feuilles non gelées avait une conductivité électrique de 0,2 millimhom tandis que celui des feuilles gelées qui disparaîtront a une conductivité électrique égale ou supérieure à 1,0 millimhom.

Deux publications, celles de E. T. BARTHOLOMEW et col. (50) et de Z. SAMISH et A. COHEN (8) apportent quelques indications sur les modifications de la densité des fruits gelés.

Les premiers, sur oranges 'Valencia late' trouvent des poids spécifiques moyens de :

93 à 94 pour les fruits peu gelés
89 à 92 pour les fruits moyennement gelés
81 à 86 pour les fruits très gelés.

Les seconds donnent des renseignements plus précis pour des orangers 'Shamouti' en indiquant les variations de la densité dans le temps.

DENSITÉS.

	Dates	ANNÉE 1949			ANNÉE 1950			
		1/2	14/2	27/2	7/2	10/2	8/3	
Fruits non gelés		0,859	0,860	0,855	0,846	0,875	0,849	
	Dates	6/2	18/2	23/2	2/2	14/2	2/3	19/3
Fruits gelés		0,817	0,812	0,815	0,836	0,818	0,767	0,746

D'après ces deux séries de résultats, il semble y avoir diminution de la densité immédiatement après le gel et, d'une manière moins certaine, poursuite de l'abaissement de la densité des fruits gelés dans le temps, ou tout au moins maintien à la même valeur, tandis que la densité des fruits non atteints par le froid augmente

légèrement puis diminue mais reste toujours à une valeur supérieure à celle trouvée lors de la première mesure.

Z. SAMISH et A. COHEN indiquent encore une perte en jus et en sucre des feuilles gelées.

LES POSSIBILITÉS D'AMÉLIORATION DE LA RÉSISTANCE AU FROID

Il est rappelé que cette étude bibliographique ayant pour seul objet la résistance propre de la plante au froid, ce dernier chapitre n'envisage pas les moyens de protection contre le gel, dont l'effet peut cependant venir s'ajouter à celui obtenu par l'amélioration ou la sélection du matériel végétal existant, la mise au point de techniques culturales favorisant une végétation estivale vigoureuse, une entrée en dormance précoce et les traitements spéciaux pouvant induire cette dormance. Enfin quelques indications sur les méthodes propres à réparer, dans la mesure du possible, les dégâts dus à un froid trop sévère, ou à limiter l'importance économique de ces dégâts, figurent également dans ce chapitre.

Amélioration génétique.

Jusqu'à présent, les tentatives d'hybridation, effectuées en vue d'obtenir un matériel végétal plus résistant au froid n'ont pas eu de succès dans le domaine des variétés à fruits comestibles. Elles ont permis cependant de sélectionner quelques nouveaux porte-greffes présentant, parmi leurs qualités, celle d'avoir une moindre sensibilité au froid, et, dans une certaine mesure, d'augmenter la résistance au gel des variétés auxquelles ils servent de sujet.

J. R. FURR et W. W. ARMSTRONG (40) font, dans un article, la synthèse des travaux entrepris dans ce domaine par les hybrideurs américains depuis le grand froid de 1894-1895 en Floride. Au début, *Poncirus trifoliata* servit de base, mais l'absence de qualités gustatives des hybrides obtenus découragea les chercheurs. Le kumquat fut aussi utilisé en croisement avec les limes et les citronniers, les limequats en résultèrent dont les variétés 'Eustis' et 'Lakeland' ont longtemps été utilisées en remplacement des limes, très sensibles au froid.

Une tangerine particulièrement résistante fut aussi obtenue, la mandarine 'Changsha', puis la Tangerine 'Dancy'.

Dans les fruits acides, les citronniers 'Meyer', 'Gul-Gul' et 'Kusner' sont également plus résistants au froid.

R. CHOPINET et J. DUPOUY (29) parlant de l'acclimatation possible des Agrumes en France mentionnent que le premier hybride de *Poncirus trifoliata* fut ob-

tenu en France en 1894 par Armand Bernard, il est connu sous le nom de « Citrange de Montauban », il résiste à des froids de -10°C à -14°C mais ses fruits ne sont pas comestibles. D'autres citranges sont apparus depuis, mais ils ne sont pas tous particulièrement résistants au froid, tels les citranges 'Rusk' et 'Willits' qui, en hiver doux, continuent de végéter et peuvent souffrir de brusques abaissements de température.

Il semblerait, mais la littérature en langue russe n'est pas facile à consulter, que les sélectionneurs soviétiques aient obtenu des résultats plus intéressants en matière de variétés comestibles.

B. TKATCHENKO (10) cite toute une liste de variétés soit issues des variétés classiques dans les autres régions agrumicoles, et dont ils ont sélectionné des clones, soit provenant d'« hybridation végétative » ou « ébranlement ».

V. A. MIRIMANIAN (67) parle d'un hybride de mandarinier 'Unshiu' (Satsuma) résistant à -16°C , A. V. VASSILIEV (9) indique que 86,8 p. cent des variétés d'agrumes se sont révélées, à Sukhoum, adaptées à un froid de $-9,5^{\circ}\text{C}$. K. T. KLIMENKO et V. N. KLIMENKO (37) mentionnent les mandarines 'Shiva-Mikan' et 'Unshiu', les pamplemoussiers 'Natou-Mikan' et 'O-You' de semis, comme plus résistants au froid que les arbres parents.

Ils estiment cependant qu'il sera nécessaire d'examiner les seconde et troisième générations. Leurs arbres de semis ayant fructifié à 10 ou 13 ans, la sélection génétique d'arbres résistant mieux au froid que

les variétés actuelles est donc une œuvre de longue haleine.

Les méthodes de la génétique classique ne donnant pas de résultats plus rapides, il conviendrait d'établir et d'entreprendre très vite un programme d'hybridation très vaste donnant des chances raisonnables d'obtenir un ou plusieurs hybrides possédant suffisamment de qualités commerciales en même temps qu'une résistance accrue au froid.

Amélioration sanitaire.

L'influence des maladies à virus, tout au moins de la Psorose sur la sensibilité au froid, a été relatée par C. WAIBEL (55), les travaux conduits dans la plupart des pays producteurs d'agrumes pour obtenir des souches indemnes de viroses intéressent donc également la résistance au froid et leurs résultats influenceront favorablement, de ce point de vue, le comportement des agrumes.

Perspectives offertes par les traitements spéciaux.

L'action de l'hydrazide maléique et d'autres produits sur la dormance des agrumes a été étudiée par plusieurs chercheurs. Actuellement les résultats sont encore décevants.

W. C. COOPER et A. PEYNALDO (48) ont entrepris les essais les plus complets de ceux relatés dans la littérature consultée. Ils ont expérimenté :

- l'hydrazide maléique
- le 2 — 4 — D
- le 2 — 4 — 5 — T
- le 2 — 4 — 5 — TP
- le C. I. P. C.
- le 2 — 4 — DP.

en pulvérisations foliaires et en irrigations, et n'ont obtenu dans tous les cas qu'une légère diminution de l'activité cambiale et une faible augmentation de la résistance au froid, mais, par contre, des effets toxiques et déformants dans tous les cas.

C. H. HENDERSHOTT (78) a défini les meilleures conditions d'absorption de l'hydrazide maléique par les feuilles de citrus.

Il établit que les feuilles absorbent mieux l'hydrazide maléique par la face inférieure et que l'absorption est sensiblement la même pour les pomélos et les orangers. La meilleure absorption a lieu avec une hygrométrie de 90 à 95 p. cent et une température moyenne

de 26,6° C. En dessous d'une hygrométrie de 60 à 70 p. cent l'absorption diminue.

Le même auteur (79) a également expérimenté 2 doses de pulvérisations : 1 000 et 2 000 ppm et a observé l'arrêt de croissance 10 à 15 jours après le traitement. Au cours de la première année d'essai, la dormance s'est maintenue 30 jours pour la concentration la plus faible et 60 jours pour la plus forte, mais l'année suivante, la croissance ne reprit qu'en fin mai. L'augmentation de résistance obtenue a permis aux arbres de supporter des froids plus intenses de 2,8° C que ceux supportés par les témoins.

Comme W. C. COOPER et A. PEYNALDO (48), dont l'absence de résultats peut s'expliquer par les faibles concentrations utilisées (60 ppm), C. H. HENDERSHOTT enregistre des dégâts : jeunes pousses et jeunes feuilles parfois détruites, déformations des feuilles du premier flux de croissance après le traitement, et bourgeons « multiples » donnant naissance à des pousses groupées par 3 ou 4. Les fruits présents sur l'arbre au moment du traitement ne sont pas affectés mais ceux du printemps suivant sont de taille réduite, à peau épaisse, rugueuse, et ils sont en forme de poire.

Il estime que la résistance obtenue n'est pas supérieure à celle atteinte dans les conditions d'un hiver normal se refroidissant lentement, car elle ne provient que du même phénomène de dormance simplement provoqué artificiellement.

I. STEWART et C. D. LEONARD (80) rappellent que l'hydrazide maléique est diversement efficace en ce qui concerne la dormance cambiale et très efficace pour la dormance des bourgeons.

Ils ont expérimenté des doses de 100, 500, et 1 000 ppm d'hydrazide maléique à raison de 30 litres de solution par arbre de 10 ans. Ils ont obtenu une meilleure résistance au froid à partir de 1 000 ppm et la dormance disparut normalement en mars. Sur de jeunes plants pulvérisés avec 15 litres de solution à 1 000 ppm, la résistance au froid s'accrut sensiblement, ceci étant particulièrement intéressant pour des jeunes plants qui tendent à pousser même en hiver.

Ils constatent les mêmes déformations foliaires que celles rapportées par les autres auteurs et précisent également qu'elles n'intéressent que le premier flux de croissance.

G. A. SAMYGIN (81) essayant le traitement des citronniers à l'hydrazide maléique obtient une diminution de la vitesse de croissance et les déformations déjà signalées par les chercheurs américains. Il estime que la résistance au froid est considérablement augmentée.

En résumé, le traitement à l'hydrazide maléique ne

paraît pas d'une très grande efficacité puisqu'il n'augmente pas la dormance mais se limite à la déclencher ; d'autre part son arrière effet sur la fructification à venir interdit son emploi sur arbres adultes devant porter une récolte. Cependant, comme le font remarquer I. STEWART et C. D. LEONARD (80), l'intérêt de son utilisation sur de jeunes arbres qui, en effet, tendent à végéter tout l'hiver, peut se concevoir d'autant mieux que les déformations des feuilles n'intéressent que le premier flux de poussée qui suit la pulvérisation et que ces jeunes arbres ne portent pas de récolte appréciable l'année suivante.

Il convient cependant de souligner avec R. M. BURNS et col. (82), qui ont expérimenté les pulvérisations d'hydrazide maléique aux concentrations de 500 à 3 000 ppm, que ces traitements ne sont pas encore au point.

En s'inspirant des travaux de G. A. JUNG (66) sur luzerne, les pulvérisations d'urée et de thio-urée pourraient être expérimentés sur agrumes en vue d'accroître la résistance au froid. Il semble d'ailleurs logique d'admettre que cette méthode appartient plus aux améliorations susceptibles d'être obtenues par la fumure rationnelle qu'à la catégorie des traitements spéciaux, puisque tous les auteurs consultés s'accordent à donner à l'azote un rôle dans la protection des arbres contre le froid.

Fertilisation.

Bien que tous les chercheurs dont les publications ont été examinées soient de la même opinion que P. F. SMITH et G. E. RASMUSSEN (7) sur le peu d'effet de la fertilisation sur la résistance au froid, il n'en demeure pas moins que certains principes doivent être respectés pour placer les arbres dans les meilleures conditions possibles.

— En règle générale, les apports d'engrais devront être arrêtés assez tôt en saison, fin août au maximum (7-39).

— Les fortes fumures azotées sont favorables à la résistance au froid (7-11-19-61-73) tandis que les fumures phosphoriques et potassiques semblent au contraire augmenter la sensibilité au gel (7-19-71-72-74). Toutefois, quelques auteurs ne partagent pas cet avis (19-73).

— Toute carence est préjudiciable à la résistance au froid, notamment celle en magnésium, élément qui paraît avoir un rôle prépondérant dans la protection contre le froid, et celle en cuivre (7-19).

Les équilibres de fumure préconisés sont :

Sur arbres adultes :

1,400 à 1,600 kg d'azote pur par arbre
pas d'indications sur le phosphore
0,200 kg de potasse pure par arbre (7)

Sur jeunes arbres :
une fumure :

6	—	6	—	2	—	1/2	—	1/2	—	1/2	—	1/10	
N		P		K		Mg		Cu		Zn		Mn	V

à la dose de 200 grammes toutes les 12 semaines jusqu'en fin août (7).

Sur arbres adultes :

120	—	90	—	60
90	—	90	—	120

(73)

Irrigation.

W. C. COOPER et A. PEYNALDO (1) et J. T. Mc. COWN (39) font observer que les dégâts les plus sévères furent observés pendant les hivers rigoureux dans les vergers ayant été irrigués très tardivement en saison. Il est rappelé à ce sujet que, en Géorgie soviétique, les engrais verts sont utilisés dans le but accessoire de dessécher la couche superficielle du sol (10).

En année sèche et chaude, il convient donc de veiller avec la plus grande attention aux dernières irrigations, de manière à apporter juste la quantité d'eau permettant aux arbres de ne pas souffrir de la soif, sans qu'ils fassent un dernier flux de croissance qui retarderait d'autant la dormance.

Il faut noter à ce sujet que trop souvent, en Corse, les irrigations sont insuffisantes au cours de l'été ou suspendues trop tôt, ce qui provoque au moment du début des pluies d'automne un départ en végétation donnant des pousses non encore aoûtées au moment où survient le froid.

Ceci est encore vrai pour les vergers au sol saturé d'eau en hiver, l'écorce du pied des arbres, imbibée d'eau, résiste moins bien au froid.

Traitements antiparasitaires.

Le maintien en parfait état sanitaire est une excellente garantie contre le froid, puisque d'une part les arbres plus vigoureux résistent mieux au froid (3-6-39) et que d'autre part toute blessure occasionnée par les insectes ou les maladies est une porte ouverte à la pénétration de la glace (20-55). Les plaies de gommose notamment sont particulièrement dangereuses et devront être nettoyées et obturées avant l'hiver.

R. H. YOUNG et col. (83) observent que les pulvérisations d'huile réduisent la résistance au froid et cet affaiblissement de la résistance dure au moins 28 jours. Il convient donc de suspendre les traitements antiparasitaires en octobre au plus tard et de ne les reprendre qu'au printemps, lorsque tout danger de froid est écarté.

Façons culturales diverses.

— Contrairement aux pratiques mises en œuvre en Géorgie (10) qui consistent à pailler le sol ou à cultiver des engrais verts pour diminuer le refroidissement nocturne, E. S. WEST (84) rappelle que les sols nus et tassés diffusent mieux leur chaleur que les sols cultivés ou enherbés et participent ainsi au réchauffement de l'ambiance. D'autre part le refroidissement du sol par rayonnement facilite la mise en dormance du système racinaire et, partant, de toute la plante.

Il semble donc que les cultures d'engrais verts devraient être effectuées en été et le sol nettoyé et roulé avant les froids.

La taille, en réduisant l'importance du feuillage, diminue son rôle de protection et est la cause de plaies (3-6-39), elle ne devra donc pas être effectuée en automne, mais tôt au printemps de manière à permettre aux arbres de reconstituer une frondaison épaisse au cours de la saison de végétation. En outre les plaies de taille devront être rigoureusement parées et mastiquées pour supprimer une voie de pénétration de l'eau et de la glace (20-55).

Méthodes propres à réparer ou à limiter l'importance économique des dégâts.

Malgré les précautions prises et les soins apportés aux vergers, il est possible qu'un hiver particulièrement rigoureux soit la cause de dégâts, sur les fruits surtout, puisqu'ils sont les organes les moins résistants de la plante, mais aussi sur le feuillage, les rameaux ou mêmes les branches et les troncs.

En ce qui concerne les fruits, il a été noté que les fruits gelés avaient une densité moindre que celle des fruits non gelés. Or les fruits gelés ne se distinguent pas toujours visuellement des fruits non atteints. E. T. BARTHOLOMEW et col. (50) proposent d'effectuer le tri des fruits par trempage dans une solution d'une densité donnée et estiment que ce procédé de séparation est plus exact que le tri visuel. Il semble cependant que la densité des fruits gelés varie, au moins d'un

pays à l'autre (8-50), et que la densité de la solution doit être étudiée pour chaque cas.

Z. SAMISH et A. COHEN (8) opérant avec des fruits de 'Shamouti' gelés se sont aperçus que ceux cueillis immédiatement après le gel et stockés dans une enceinte à température normale (ils n'indiquent pas ce qu'ils entendent par température normale) perdent leur amertume, tandis que la perte en jus se réduit considérablement et que les sucres augmentent à nouveau. Il y a donc là encore, une perspective ouverte à la récupération du maximum de fruits commercialisables après un gel.

Quand le froid a simplement détruit le feuillage, il convient de ne pas toucher aux arbres, la réduction de surface (20) les rendant plus résistants. Cependant, le plus souvent les arbres défoliés voient leur dormance s'arrêter et émettent de nouvelles pousses pour peu que la température s'adoucisce entre deux périodes froides (44) ; c'est peut être dans ce cas que les pulvérisations d'hydrazide maléique pourraient être utiles sur arbres adultes, la récolte suivante serait perdue, mais des arbres en végétation étant beaucoup plus sensibles au froid, une seconde période de gel fait peser le risque de la destruction de branches (44), il paraît donc préférable de choisir la solution économiquement la moins grave, c'est-à-dire tenter de sauver l'arbre au détriment d'une récolte.

I. MODLIBOWSKA (20) suggère également l'emploi de pulvérisations de gibberelline pour stimuler la régénération des tissus après le gel.

Le même auteur parlant des fissures dans les branches et le tronc dit qu'il est possible d'en favoriser la cicatrisation et d'éviter le dessèchement des tissus exposés à l'air libre en clouant l'écorce au bois immédiatement après l'apparition de la fissure, avec deux rangs de clous placés sur chaque bord et de sceller la blessure avec de la cire à cacheter.

Les rameaux et les branches tués par le gel ne doivent pas être taillés avant la reprise de la végétation et les plaies de coupe soigneusement parées et mastiquées.

L'application de fortes fumures azotées au printemps suivant les dégâts permettra une régénération rapide de la charpente. Il est déconseillé de tailler les jeunes pousses en surnombre dès la première année, les frondaisons denses se protégeant mieux du froid et les pousses émises étant encore jeunes, donc non aoûtées et moins résistantes. La protection de cette nouvelle frondaison, l'hiver suivant celui au cours duquel les dégâts se sont produits, pourrait être envisagée par pulvérisations d'hydrazide maléique pour déclencher une dormance précoce.

CONCLUSIONS

Au terme de cette étude bibliographique qui, sans être exhaustive, résume une part importante des travaux effectués sur le comportement des agrumes aux basses températures dans l'intention de mieux juger de la vocation agrumicole de la Corse, il apparaît que ce département présente au moins autant de conditions favorables au développement de l'agrumiculture que de nombreuses et très importantes régions productrices étrangères, particulièrement en ce qui concerne les conditions hivernales.

En effet, le principal facteur d'hésitation des agrumiculteurs français a trait à la durée de la saison froide qui s'étend de novembre à mars inclus. Or, la dormance étant l'état de plus grande résistance dont l'apparition est favorisée par un abaissement progressif de la température, le climat côtier corse correspond très exactement à cette exigence, puisque les gelées ne surviennent généralement qu'en fin décembre c'est-à-dire un mois et demi à deux mois après le début du refroidissement capable de déclencher la dormance.

M. G. BIERLEY (3) souligne bien que « la résistance au froid dépend de la précocité de la plante à se mettre en repos végétatif (sensibilité aux premiers froids légers). W. C. COOPER et A. PEYNALDO (1) distinguent deux aspects du froid : celui qui inhibe la croissance, encourage la dormance et induit la résistance au froid, et celui qui provoque les dégâts. Ils remarquent d'ailleurs qu'au Texas la dormance est moins prononcée et les dégâts sont plus fréquents qu'en Californie en raison des températures automno-hivernales plus élevées et de l'apparition plus brutale des froids. R. H. YOUNG (14) note que le refroidissement préalable permet une résistance au froid significativement meilleure.

Le second argument présenté contre la vocation agrumicole de la Corse s'appuie sur les températures minima absolues qui peuvent être atteintes : — 9,0° C en 1956 à Ajaccio, — 7,0° C en 1963 à Porto Vecchio et dans la zone de Ghisonaccia. Ces températures sont exceptionnelles en Corse et d'autre part elles ont également été relevées en Californie, au Texas, en Arizona, en Espagne et même en Floride.

Elles semblent fréquentes, pour ne pas dire normales, dans la zone des « Subtropiques » de la Géorgie soviétique.

En conséquence, ce second argument ne peut être retenu pour minimiser la vocation agrumicole de l'Ile.

La durée des périodes froides ne peut, pas plus que les deux précédents arguments, être retenue, puisque en Corse le risque réel de gel ne s'étend, sauf exception, que sur les mois de janvier et février, alors que des froids dangereux et ayant provoqué de graves dégâts sont signalés dans les régions agrumicoles des États-Unis à partir de novembre jusqu'en février.

La durée de chaque période froide n'est également pas plus longue en Corse qu'au Texas, en Californie, en Floride ou en Arizona :

5 h 20' en dessous de — 2,2° C ; 13 h en dessous de — 2,8° C ; 1 h 30' à — 9,0° C en Californie.

8 h en dessous de 0° C ; 2 h 30' en dessous de — 5,0° C en Floride.

6 h à — 7,2° C ; 65 h en dessous de 0° C ; (dont 8 heures en dessous de — 5,0° C et 0 h 30' à — 9° C) ; 3 jours à une température oscillant entre 0° C et — 3,9° C au Texas.

10 à 12 h à des températures inférieures à — 3,3° C en Arizona.

Ces exemples sont suffisamment probants quand ils sont comparés à ce qui a été enregistré en Corse au cours d'un hiver particulièrement rigoureux (1962-1963) :

0 h 30' en dessous de — 6° C

5 h 30' en dessous de — 5° C

28 h 30' en dessous de — 3° C

La fréquence des hivers dangereux n'est pas non plus supérieure à celle subie par les régions ayant servi de termes de comparaison. Bien que les informations précises soient rares pour la Corse avant 1957, il semble que l'écart moyen de 16 ans avancé dans cette note entre deux apparitions de froids très graves, c'est-à-dire inférieur à — 5,5° C pour reprendre la classification adoptée par W. C. COOPER et A. PEYNALDO (1), soit une base sérieuse. Cet intervalle, est du même ordre que ceux établis pour la Californie, le Texas et la Floride, il semblerait même que la Corse est moins soumise au risque de fréquentes apparitions de très basses températures ; son climat hivernal se caractérise par une température moyenne sensiblement plus froide que celle de ces 3 pays (et il a été vu que ceci constituait un facteur favorable à la dormance) mais les écarts en plus et en moins y sont moins fréquents.

Il est cependant un domaine dans lequel la Corse est actuellement désavantagée par rapport aux autres régions productrices ; il ne concerne pas les conditions de milieu, mais l'application de principes culturaux capables de placer les arbres dans les conditions végétatives les plus favorables à une résistance au froid aussi élevée que possible.

Les observations effectuées jusqu'à présent sur le matériel végétal agrumicole existant en Corse démontrent absolument que les dégâts ayant une importance économique ont dans tous les cas été effectués sur des arbres :

- 1° en mauvais état sanitaire (principalement présentant des plaies de gommose) ;
- 2° subissant une mal nutrition poussée ;
- 3° en cours de végétation pendant l'hiver par suite d'absence ou d'insuffisance d'irrigations d'été ;
- 4° plantés dans des terrains excessivement humides l'hiver ou dans des bas-fonds, et non drainés ;
- 5° atteints de viroses ;
- 6° de faible vigueur (plantations faites à l'automne ou négligées et envahies de bois mort ou dépérissantes).

Sans vouloir terminer cette note par une proposition paradoxale il doit être dit qu'il est plus surprenant d'avoir eu à enregistrer si peu de dégâts graves à la suite des hivers de 1956-1957 et 1962-1963, eu égard à l'état moyen des plantations d'agrumes qui, sauf exception souffrent d'un sous-entretien marqué, que d'affirmer la vocation agrumicole de l'Ile.

Il n'en reste pas moins que l'élaboration et la réalisation d'un programme de Recherches sur les basses températures en agrumiculture devrait être entreprises à l'exemple des grandes régions productrices (« Fruit Frost Service » de Californie, de Floride et du Texas).

Cette opinion rejoint celle de plusieurs chercheurs, en effet :

— G. W. SCHNEIDER et col. (85) notent que « les observations effectuées sous des conditions non contrôlées, au champ ou post mortem ne permettent de récolter qu'un minimum d'observations ».

— W. C. COOPER et col. (18) soulignent « l'importance que devraient avoir les recherches sur la résistance au froid des citrus » et ajoutent que « les centres de recherches agrumicoles U. S. s'intéressent activement à ce problème depuis quelques années ».

— Z. SAMISH et A. COHEN (8) remarquent que « quoique les dégâts dus au froid apparaissent très fréquemment dans plusieurs zones de culture des agrumes du monde, la littérature sur ce sujet est assez limitée ».

— J. R. FURR et W. W. ARMSTRONG (40) rapportent que les laboratoires d'horticulture du U. S. dept. of Agr. d'Orlando (Floride), Weslaco (Texas), et Indio (Californie) ont été spécialement dotés pour les recherches sur la résistance au froid des citrus.

BIBLIOGRAPHIE

- (1) W. C. COOPER, A. PEYNALDO. — 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) H. J. WEBBER. — Plant characteristics and climatology ; *Citrus Industry*, vol. I, p. 53 (Univ. Califor. Press, 1948).
- (3) W. G. BRIERLEY. — The winter hardiness complex in deciduous woody plants. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 1947, vol. 50, p. 10.
- (4) P. ROBERT. — Les agrumes dans le monde et le développement de leur culture en Algérie. *I. F. A. C.*, Paris, 1947.
- (5) J. C. PRALORAN. — Les effets des froids de l'hiver 1962-1963 sur les Agrumes de Corse. Rapport Annuel de l'I. F. A. C. 1963, Doc. 20.C.
- (6) R. H. DEAN. — Some low temperatures and related damage to citrus in the Upper East Coast District. *Citrus Industry*, déc. 1953, p. 12.
- (7) P. F. SMITH, G. E. RASMUSSEN. — Relation of fertilization to winter injury of citrus trees. *Citrus Industry*, février 1959, p. 5.
- (8) Z. SAMISH, A. COHEN. — The effect of frost on the composition of shamouti oranges *Ktavim*, déc. 1952, vol. 2, 3, p. 27.
- (9) A. V. VASSILIEV. — Influence de l'hiver 1949-1950 sur les plantes tropicales et subtropicales à Sukhoum. *J. Bot. U. R. S. S.*, sept. oct. 1953, vol. 38, n° 5, p. 650. Résumé : « Fruits », vol. II, Fasc. 7, juillet 1954 (II-7796).
- (10) B. TKATCHENKO. — Les Agrumes en U. R. S. S. *Fruits*, vol. 6, n° 2, 1951, p. 43.
- (11) A. WALLACE. — Nitrogen absorption and translocation by citrus cuttings at different root temperatures. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 1953, vol. 61, p. 89.
- (12) W. C. COOPER, B. S. GORTON, S. D. TAYLOR. — Freezing tests with small trees and detached leaves of Grapefruit. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 1954, vol. 63, p. 167.
- (13) A. D. KIZIOURINE. — De la défense des arbres fruitiers contre le réchauffement hivernal. *Verges et jardin potager U. R. S. S.*, 1950, n° 10, p. 19. Résumé : *Fruits*, vol. 8, fasc. 4, mai 1951 (8-583).
- (14) R. H. YOUNG. — Influence of day length, light intensity and temperature on growth, dormancy and cold hardiness of Red Blush Grapefruit trees. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 1961, vol. 78, p. 174.
- (15) R. H. YOUNG, A. PEYNALDO. — Seasonal changes in the cold hardiness of ten year — old Red Blush Grapefruit trees as related to dormancy and temperature. *J. Rio Grande Valley Hort. Sci.*, 1961, vol. 15, p. 59.
- (16) E. F. SCHULTZ. — La poda de los citricos. *Bol. Estac. Exp. Agric. Tucuman*, 1944-48, p. 13. Résumé *Hort. Abstr.*, déc. 1945, vol. 15, n° 4, p. 245.
- (17) W. C. COOPER, S. TAYLOR, N. MAXWELL. — Preliminary studies in cold hardiness in citrus as related to cambial activity and bud growth. *Proc. Rio Grande Valley Hort. Inst.*, 25-1-1955, p. 1.
- (18) W. C. COOPER, A. PEYNALDO, J. R. FURR. — Research planned on response of Valencia to microclimate particularly temperature. *Citrus Industry*, déc. 1960, p. 14.

- (19) J. F. GERBER, S. W. SITES. — Preconditioning of plants in relation to cold tolerance. *Flo. Agr. Exp. Sta. Ann. Rep.*, 1961, p. 139.
- (20) I. MODLIBOWSKA. — Sur les mécanismes du gel et de la reprise d'une vie normale au retour de la température ordinaire. *Bull. Soc. Française Physiol. Veget.*, 1961, t. 7, n° 4, p. 123.
- (21) D. S. HARRISSAN, S. E. DOWLING. — Frost protection of citrus with sprinkler irrigation. *Citrus Industry*, août 1962, p. 4.
- (22) F. M. TURRELL, S. W. AUSTIN, R. L. PERRY. — Nocturnal thermal exchange of citrus leaves in warm and freezing temperatures. *Plant. Physiology*, vol. 36, suppl. 27-31, août 1961, p. XXIV.
- (23) G. S. NIJJAR, J. W. SITES. — Somme effects of day length and temperature on cold hardiness. *Proc. Flo. State Hort. Soc.*, vol. 72, 1959, p. 106.
- (24) K. T. PACHALIYA. — 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.
- (25) S. M. IVANOV. — La résistance au froid des Agrumes contrôlée par la longueur du jour. *C. R. Acad. Sci. U. S. S. R.*, Nouv. série, 1940, vol. 28, n° 8, p. 738. Résumé *Fruits*, vol. 4, fasc. 6, juin 1947 (4-739).
- (26) W. C. COOPER, A. PEYNALDO. — Effect of gibberellic acid on growth and dormancy in citrus. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 1958, vol. 72, p. 284.
- (27) J. W. LUCAS. — Tests on freezing in lemons. *Citrus Leaves*, déc. 1953, p. 14.
- (28) U. S. WEATHER BUREAU. — Fruit Frost Service, Firing Information. *California Citrograph.*, nov. 1958, n° 1, p. 30.
- (29) R. CHOPINET, J. DUPOUY. — Résistance au froid de certains citrus et de leurs hybrides, Essai sur la possibilité de leur culture en France. *Fruits*, vol. 6, n° 4, 1951, p. 131.
- (30) C. H. HENDERSHOTT. — The response of oranges trees and fruits to freezing temperatures. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 1962, vol. 80, p. 247.
- (31) R. H. YOUNG, A. PEYNALDO. — Changes in citrus leaves temperatures during freezing. *J. Rio Grande Valley Hort. Sci.*, 1960, vol. 14, p. 53.
- (32) R. H. YOUNG, A. PEYNALDO, W. C. COOPER. — Effect of Rootstock scion combination and dormancy on cold hardiness of citrus. *J. Rio Grande Valley Hort. Sci.*, 1960, vol. 14, p. 58.
- (33) A. WALLACE, R. T. MUELLER. — Further studies concerning birdling and cutting the xylem on absorption and translocation of nitrogen in small citrus trees. *Trees Physiology Studies at U. C. L. A. Spe. Rep. N° 1. Calif.*, sept. 1958, p. 139.
- (34) M. BEOVIDE. — Otro acusado al banquillo : los haladas. *Agricultura*, juin 1950, vol. 3, n° 17, p. 42.
- (35) A. KNAUTH. — Grapefruchtanbau in Italien erfolgreich. *Obst. und Gemüse*, 23 août 1951, vol. 3, n° 17, p. 42.
- (36) G. A. NESTERENKO. — Au sujet de la culture des Agrumes. *Verger et jardin potager U. R. S. S.*, février 1955, n° 2, p. 67.
- (37) K. T. KLIMENKO, V. N. KLIMENKO. — Les nouvelles variétés d'Agrumes de semis. *Agrobiologie*, mai-juin 1951, n° 3, p. 69. Résumé : *Fruits*, vol. 9, fasc. 3, mars 1952 (9-2167).
- (38) G. E. HORANIC, F. B. GARDNER. — Influence of various rootstocks of the cold resistance of scion variety of citrus. *Citrus Industry*, déc. 1958, p. 9.
- (39) J. T. MC COWNS. — Field observation of Florida citrus following the 1957-58 Freezes. *Proc. Flo. State Hort. Sci.*, vol. 71, 1958, p. 152.
- (40) J. R. FURR, W. W. AMSTRONG. — Breeding citrus for cold hardiness. *Proc. Flo. State Hort. Sci.*, vol. 72, 1959, p. 67.
- (41) W. E. CROSS. — Citricos. *Rev. Indus. Tucuman*, févr.-mars 1946, p. 29.
- (42) V. A. GLASIRINE. — Régime hydrique et résistance à la gelée de différentes formes de mandariniers Unshiu dans les conditions de Sochi. *Sb. Tr. Aspirantov i molodih nautch Sotrudnikov (Vses-in-t. Rustenievodstva) L.*, 1960, p. 197.
- (43) G. RUGGIERI. — In difesa degli agrumeti dalle gelate. *Rivista di Agrumicoltura*, vol. I, fasc. 11-12, sept.-oct. 1956, p. 449.
- (44) W. C. COOPER. — Influence of rootstock on injury and recovery of young citrus trees exposed to the freezes of 1950-1951 in the Rio Grande Valley. *Proc. Rio Grande Valley Hort. Inst.*, 16-1-1952, p. 16.
- (45) J. M. WHITEMAN. — Freezing point of fruits. *Citrus Industry*, mars 1958, p. 12.
- (46) R. H. YOUNG, A. PEYNALDO. — Effects of artificial freezing on Red Blush Grapefruit. *J. Rio Grande Valley Hort. Sci.*, 1961, vol. 15, p. 68.
- (47) R. H. HILGEMAN, H. TUCKER, T. A. HALES. — The effect of temperature, precipitation, blossom date and yield upon the enlargement of valencia oranges. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 1959, vol. 74, p. 266.
- (48) W. C. COOPER, A. PEYNALDO. — Effects of plant regulators on dormancy, cold hardiness and leaf form of Grapefruit trees. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 1955, vol. 66, p. 100.
- (49) G. E. HORANIC, F. B. GARDNER. — Effect of sub-freezing temperatures on the varieties of citrus seeds. *Citrus Industry*, janvier 1959, p. 12 A.
- (50) E. T. BARTHOLOMEW, W. B. SINCLAIR, R. P. HORSPOOL. — Freeze injury and subsequent seasonal changes in Valencia oranges and Grapefruit. *California Agricultural Exper. Station. Bull.* 719, oct. 1950.
- (51) D. C. ALDERMAN, G. H. GODFREY. — An analysis of the factors entering into fruit quality of Valencia oranges, following damaging freeze. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 1953, vol. 61, p. 275.
- (52) N. P. MAXWELL. — Cold hardiness of avocados during the january 1962 freeze. *J. Rio Grande Valley Hort. Sci.*, 1962, vol. 16, p. 83.
- (53) ANONYME. — Rapport sur les possibilités de l'agrumiculture et de la culture des fruitiers exotiques en Corse. *I. F. A. C., Paris*, mars 1957.
- (54) C. WAIBEL. — The effect of psorosis on the survival of Red Grapefruit trees after the 1950-1951 freeze on the lower Rio Grande Valley of Texas. *Proc. Rio Grande Valley Hort. Inst.*, 16-1-1962, p. 25.
- (55) J. Y. POIDEVIN. — Première note sur les variations de températures hivernales en relation avec la culture des Agrumes en Corse. *Rapport Annuel I. F. A. C.*, 1962, Doc 24 C.
- (56) J. C. PRALORAN. — Observations effectuées en Corse pendant l'hiver 1962-1963 (non publiées).
- (57) L. GENEVES. — Réactions de quelques organes résistants au froid, soumis aux basses températures puis au réchauffement. *Bull. Soc. Française Physiol. Veg.*, t. 7, n° 4, 1961, p. 134.
- (58) I. G. BAHTADZE. — Variations saisonnières des indices physiologiques de certains citrus et de Poncirus trifoliata. *Sub. Tr. Aspirantov i molodih nautch Sotrudnikov (Vses-in-t. Rustenievodstva)*, 1960, p. 205.
- (59) R. ULRICH. — Le froid et le métabolisme des plantes. *Bull. Soc. Française Physiol. Veg.*, t. 7, n° 4, 1961, p. 144.
- (60) W. W. JONES, M. L. STEINACKER. — Seasonal changes in concentrations of sugar and starch in leaves and twigs of citrus trees. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 1951, vol. 58, p. 1.
- (61) G. C. SHARPLES, L. BURKHART. — Seasonal changes in carbohydrates in the Marsh Grapefruit tree in Arizona. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 1954, vol. 63, p. 74.
- (62) A. N. SUTULOV. — Les variations dans le métabolisme des hydrates de carbone chez les plantes sont en rapport avec leur approvisionnement en eau. *Proc. Lenin. Acad. Agric. Sci.*, U. R. S. S., 1946, n° 11, 12, p. 31. Résumé : *Hort. Abst.*, sept. 1947, vol. 17, n° 3, p. 144.
- (63) H. J. HENZE. — Physiologische Untersuchungen zu Frostresistenz bei Obstgehölzen. *Advances in horticultural science and their applications*, vol. 2, 1962, p. 140 (Pergamon press).
- (64) J. LE VITT. — Frost, drought and heat resistance. *Annual Review of Plant Physiology*, vol. 2, 1951, p. 245.
- (65) V. A. MIRIMANIAN. — Quelques caractères biochimiques et physiologiques caractérisant la résistance au froid des citrus. *Doklady Vsesoyuz Akad. Sel'skokhoz nauk im. V. A. Lenina*, 21, n° 9, 36-9 (1956). Résumé : *Chemical Abstracts*, vol. 51, n° 13-9966 C.
- (66) G. A. JUNG. — Effect of uracil, thiouracil and guanine on cldo

- resistance and nitrogen metabolism of Alfalfa. *Plant. Physiology*, nov. 1962, vol. 37, n° 6, p. 768.
- (67) V. A. MIRIMANIAN. — Étude de la physiologie d'un mandarinier hybride végétatif. *Agrobiologie U. R. S. S.*, janvier-février 1955, n° 1, p. 70. Résumé : *Fruits*, vol. 12, fasc. 9, oct. 1955 (12-11.058).
- (68) L. I. SURKOVA. — Relations entre le régime hydrique des citrus et leur résistance à la gelée. *Sub. Tr. Aspirantov i molodih nauch. Sotrudnikov (Vses-in-t-Rustenievodstva) L.*, 1960, p. 192.
- (69) H. MEIDNER. — An instrument for the continuous determination of leaf thickness changes in the field. *J. Exp. Bot.*, sept. 1952, vol. 3, n° 9, p. 319. Résumé : *Fruits*, vol. 10, fasc. 8, août-sept. 1953 (10-5265).
- (70) I. KOSCIS. — Aperçu des recherches sur la culture et l'acclimatation des citronniers en Hongrie. *Obst. und Gemüse*, 1954, vol. 6, mars, n° 6, p. 228 ; avril, n° 7, p. 279. Résumé : *Fruits*, vol. II, fasc. II, déc. 1954 (11-8-917).
- (71) W. F. SPENCER. — The effects of phosphate and lime applications on growth, root distribution and freeze injury of young grapefruit trees. *Proc. Flor. State Hort. Sci.*, vol. 71, 1958, p. 106.
- (72) W. F. SPENCER. — Phosphorus in citrus nutrition. *A. R. Agric. Exp. Stat.*, 1958, Univ. Flor., p. 234.
- (73) S. S. MARCHANIYA. — L'Influence des engrais organiques et minéraux sur la résistance au froid des plants de citrus âgés d'un an. *Koutaïssis sassayo — sameurneo institutis chromebi. Tr. koutaïssk. S. Inta*, 1957, I, p. 49.
- (74) O. C. BRYAN. — The mysterious role of potassium in plant growth citrus fertilizer practices. *Citrus Industry*, mars, 1959, p. 9.
- (75) W. C. COOPER. — Salt tolerance of an accumulation of sodium and chloride ions in grapefruit on various rootstocks in a naturally saline soil. *Proc. Rio Grande Valley Hort. Inst.*, 21-1-1953, p. 107.
- (76) M. K. CHAILAKHYAN. — Effet du bore sur le développement des plantes privées de leurs racines. *Doklady Akad. Nauk S. S. R.* 77, 1115-18 (1951). Résumé : *Chemical Abstracts*, vol. 45, n° 20-25, oct. 1951, p. 9138 h.
- (77) J. WILNER. — Results of laboratory tests for winter hardiness of woody plants by electrolytic methods. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 1955, vol. 66, p. 93.
- (78) C. H. HENDERSHOTT. Absorption of maleic hydrazide by citrus. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 1962, vol. 80, p. 237.
- (79) C. H. HENDERSHOTT. — The influence of maleic hydrazide on citrus trees and fruits. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 1962, vol. 80, p. 241.
- (80) I. STEWART, C. D. LÉONARD. — Increased winter hardiness in citrus from Maleic hydrazide sprays. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 1960, vol. 75, p. 253.
- (81) G. A. SAMYGIN. — Influence de l'hydrazide maléique sur la croissance et la résistance au froid des plants de citronniers. *C. R. Acad. Sci. U. R. S. S.*, 1954, vol. 95, n° 2, p. 411. Résumé : *Bull. Anal. C. N. R. S.*, 1954, vol. 15, n° 10, 2^e part., p. 3482.
- (82) R. M. BURNS, M. J. GARBER, H. Z. HIELD. — M. H. Sprays and frost protection of young trees. *Calif. Citrog.*, sept. 1962, n° 11, p. 384.
- (83) R. H. YOUNG, H. DEAN, A. PEYNALDO, J. C. BAILEY. — Effects of winter oil spray on cold hardiness of Red Blush Grapefruit trees. *J. Rio Grande Valley Hort. Sci.*, 1962, vol. 16, p. 7.
- (84) E. S. WEST. — Frost occurrence and damage conditions on Murrum bridge irrigation area. *Citrus News*, 1947, vol. 23, n° 7, p. 105.
- (85) G. W. SCHNEIDER, D. R. WALKER, F. E. CONELL. — A Controlled temperature chamber for hardiness studies with young fruit trees. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 1958, vol. 72, p. 23.

PUBLICATION DE L'INSTITUT FRANÇAIS DE RECHERCHES FRUITIÈRES OUTRE-MER (IFAC)

Vient de paraître :

MALADIES A VIRUS DES AGRUMES

Analyses des publications de 1926 à 1962

Bibliographie établie par

l'Institut français de Recherches fruitières Outre-Mer (IFAC)

Sous les auspices de

l'Organisation internationale des Virologistes des Agrumes (IOCV)

945 analyses - un index-matières - un index-auteurs

Prix : 50 francs.

I.F.A.C., 6, rue du Général-Clergerie, Paris, 16^e