

Conductivité électrolytique : une méthode rapide pour la sélection des porte-greffe d'agrumes résistant aux basses températures.

Ö. TUZCU*

CONDUCTIVITE ELECTROLYTIQUE :
UNE METHODE RAPIDE POUR LA SELECTION
DES PORTE-GREFFE D'AGRUMES RESISTANT AUX
BASSES TEMPERATURES.

Ö. TUZCU.

Fruits, Nov. 1984, vol. 39, n° 11, p. 699-707

RESUME - La méthode de conductivité électrolytique permet de repérer les dégâts avant qu'ils soient visibles et de refléter les dommages internes au niveau cellulaire dus aux basses températures. Le niveau du début des dégâts exprimé en conductivité électrolytique se situe vers 230 μ mhos. Par contre, le rapport de conductivité électrolytique (E) fournit des résultats beaucoup plus utilisables que la valeur de la conductivité électrolytique. Il existe une relation étroite ($r = 0,892 \pm 0,044^{xx}$) entre E et le taux de mortalité des tiges. Les dégâts commencent quand ce rapport dépasse 30 p. 100 et la mort a lieu quand il atteint 75 p. 100.

Donc, pour des études de résistance au froid et pour les sélections faites dans ce but, il sera utile de déterminer E dans les segments de tige de plantes de un an cultivées sous conditions « froides » et traitées à -10°C pendant 5 heures. Il faut déterminer aussi la température de décongélation des tissus pour chaque porte-greffe. On peut dire qu'elle se situe aux environs de 12 à 15°C .

Suivant les résultats obtenus, les porte-greffe se classent du sensible au résistant comme suit :

C. macrophylla, lime 'Rangpur', *C. volkameriana*, Rough lemon, pomélo 'Duncan', oranger 'Hamlin', bigaradier, mandarinier 'Cléopâtre', citrumélo 1452, *C. taiwanica*, citrange 'Carrizo', Yuzu, citrange 'Troyer' et *Poncirus trifoliata*.

INTRODUCTION

Le comportement de la plante au niveau cellulaire envers les effets des facteurs environnants, est réalisé généralement par des séries de réactions ou de processus tels ceux indiqués par LEVITT (1972) ; LI et SAKAI (1978). La résultante de ces phénomènes vise à élever la viscosité et la densité du protoplasme cellulaire pour pouvoir résister aux conditions écologiques (KRAMER et KOZLOWSKI, 1960 ; KACPERSKA - PALACZ et al., 1975). Toutes ces réactions

tendent à limiter la perte hydrique et à accroître la pression osmotique cellulaire. Cela n'est réalisable que par des modifications dans les processus physiologiques de la plante comme la décroissance de l'activité photosynthétique, de la respiration et de la transpiration (KNECHT et ORTON, 1970 ; YOUNG et BELL, 1974). En fait, LEVITT (1972), BIALOBOK (1974), BURKE et al., (1976) en généralisant, prétendent qu'il y a un rapport négatif entre la croissance et la résistance au froid de la plante.

Suivant FAW et al. (1976), il existe une relation très étroite entre la perméabilité cellulaire et la quantité de matières données au milieu par l'exosmose, et entre le pH du milieu et le flux des matières intra-cellulaire vers l'extérieur. La conductivité électrolytique des solutions obtenues

* - Département d'Horticulture - Faculté d'Agriculture, Université de Çukurova, ADANA, Turquie.

Etude dédiée à la mémoire de L. BLONDEL.

nues par la plasmolyse peut indiquer l'état de la perméabilité des cellules du tissu étudié. D'ailleurs, LEVITT (1972), YOUNG et MANN (1974), SING et al. (1975) et WIEST et STEPONKUS (1977), indiquent l'existence des liaisons entre la nature de la membrane cellulaire, la concentration protoplasmique cellulaire et la résistance au froid de la plante.

YELENOSKY (1971) fait remarquer qu'on peut limiter la croissance relative des cristaux de glace qui sont initiés dans la cellule des *Citrus* par les températures basses en augmentant les substances de poids moléculaire élevé qui font décroître le flux osmotique cellulaire.

En plus, la paroi cellulaire et le plasmalemma de la membrane sont des organelles qui limitent la croissance des cristaux de glace et qui règlent la perméabilité cellulaire (BURKE et al., 1976 ; STEPONKUS et WIEST, 1978). Les mesures physiques des électrolytes ou d'ions effluents par la plasmolyse ou par l'exosmose à une solution définie, peuvent refléter la perméabilité de la membrane et la concentration du protoplasme (KETCHIE, 1969 ; KETCHIE et al., 1972 ; PALTA et LI, 1978). Le mécanisme de la résistance au froid est étroitement lié à l'état physiologique de la cellule et à la capacité génétique de la plante.

SWINGLE (1932) a abordé la méthode de l'exosmose comme moyen de déceler la résistance au froid des arbres fruitiers. Au cours des études faites sur les pommiers par STUART (1941), EMMERT et HOWLETT (1953), WILNER (1964), et sur les pêcheurs par PROEBSTING Jr. (1956), l'utilisation de cette méthode dans différents domaines s'est développée. Ainsi, à la suite de ces essais, KETCHIE (1966), NESMITH et DOWLER (1976), YAVADA et al. (1978), sur les pêcheurs, FLINT et al. (1973) et KETCHIE et BEEMAN (1973), sur les agrumes, ont amélioré la méthode et lui ont fait gagner sa sensibilité actuelle. En vérité, elle est utilisée largement dans les études sur la résistance au froid et sur la détermination des dégâts causés par les basses températures (ZAGAJA, 1974 ; YAVADA et al., 1978).

Les dégâts causés par les basses températures ne sont pas toujours observables, car même sans défoliation, il se peut qu'il y ait un dommage interne. Parfois, les dégâts apparus sur les tiges ne donnent pas une indication satisfaisante. Ainsi COOPER et al., (1954) ont observé que, pour la variation de température de 1°C, les agrumes ne manifestent pas une réaction en forme de défoliation ou inversement ; selon KETCHIE (1969), les dégâts externes ne reflètent pas complètement les dégâts internes causés par les basses températures.

MATERIELS ET METHODES

Le matériel végétal est préparé, cultivé dans différentes conditions de milieu et traité à de basses températures, d'après TUZCU et al. (1984 a et b).

Les échantillons sont prélevés, juste après les traitements à basses températures, en segments de tiges coupés de 1 cm de longueur puis on forme des lots de 4 g. Chaque lot est immergé dans de l'eau déionisée (quantité = 15 fois le poids des segments) dans des tubes en « pyrex ». On laisse les échantillons en diffusion pendant 24 heures à la température ambiante du laboratoire. Une autre série est mise à l'ébullition 7 minutes pour tuer le tissu végétal et est laissée en diffusion comme les autres (KETCHIE, 1969).

Les mesures de conductivité électrolytique sont faites par le conductimètre électronique Taccusel type CD 7A (Solea - Lyon) avec des électrodes pipettes « Standard » CM 02/55, recouvertes de noir de platine. Au cours des mesures, on utilise une fréquence de 5000 Hz, d'intensité 12,5 mA et une constante de 0,5 et les échantillons sont maintenus à la température constante de 25°C. L'appareil est calibré avant l'utilisation à l'aide de la solution de KCl de 0,1 M à 25°C.

Le rapport de conductivité électrolytique (E) et le coefficient de dégât (I) sont obtenus comme suit :

$$E = \frac{L_t}{L_k} \cdot 100 \quad I = \frac{(L_t - L_o)}{(L_k - L_o)} \cdot 100$$

L_t : conductivité des électrolytes (μ mhos) après la diffusion des échantillons traités à basse température (t).

L_k : conductivité des électrolytes (μ mhos) après la diffusion des échantillons traités à basse température (t) et tués en les faisant bouillir.

L_o : conductivité des électrolytes (μ mhos) après la diffusion des échantillons non traités,

E : rapport de conductivité électrolytique (p. 100).

I : coefficient de dégât occasionné par le traitement à basse température (p. 100).

Les relations qui existent entre E, I et les rapports de mortalité sur les tiges, sont étudiées afin de comparer l'efficacité des méthodes à utiliser. On a obtenu des relations pour E ($\hat{Y} = 37,24 + 0,44 X \pm 0,12^{xx}$) et pour I ($\hat{Y} = 25,48 + 0,56 X \pm 0,13^{xx}$) et $r = 0,916 \pm 0,084^{xx}$ (figure 1). Par contre, les valeurs des coefficients de variation sont pour E = 26,87 et pour I = 56,65. La variation est plus grande, si on utilise les valeurs de I pour étudier les effets des basses températures sur le tissu végétal. Pour cette raison, on a décidé d'utiliser les valeurs de E et en plus, de L_o qui ont aidé à l'évaluation de la concentration protoplasmique et de la perméabilité cellulaire du matériel avant les traitements (KETCHIE et al., 1972).

On a utilisé la disposition des blocs complets de Fisher à 5 répétitions et les analyses statistiques indiquées par SNEDECOR et COCHRAN (1971).

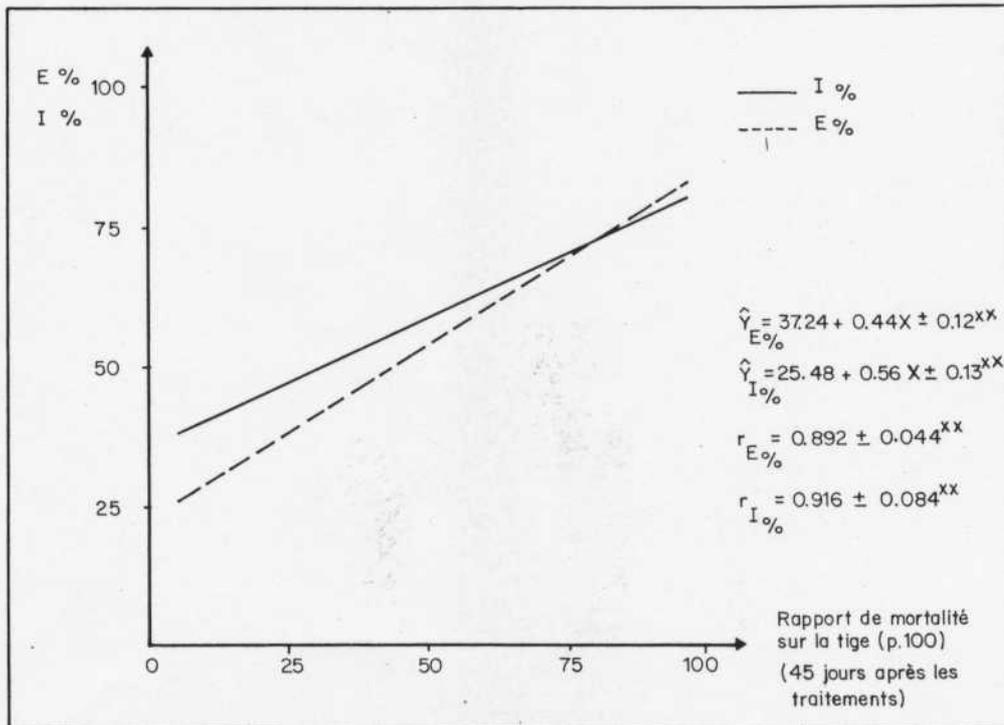


Figure 1 - RELATIONS ENTRE LE RAPPORT DE CONDUCTIVITE ELECTROLYTQUE (E), LE COEFFICIENT DE DEGAT (I) ET LE RAPPORT DE MORTALITE SUR LA TIGE (%).

RESULTATS

Les valeurs de conductivité électrolytique des tissus de 14 porte-greffe non traités à basse température sont groupées dans le tableau 1.

Parmi ceux cultivés à 26/18°C, on a trouvé la plus basse conductivité électrolytique (L_0) chez *Poncirus trifoliata*, citrange 'Troyer', bigaradier, *C. taiwanica* et Yuzu. *C. macrophylla* et pomélo 'Duncan' ont suivi ce premier groupe. Citrumélo 1452, mandarinier 'Cléopâtre', oranger 'Hamlin' et citrange 'Carrizo' se situent juste au-dessus de la moyenne. La plus grande valeur est obtenue chez *C. volkameriana*. Rough lemon et lime 'Rangpur' ont aussi des valeurs élevées et proches de *C. volkameriana*.

Dans le traitement à 12/4°C, Yuzu a donné la plus petite conductivité. *Poncirus trifoliata* aussi a une valeur proche de Yuzu. En revanche, Rough lemon a présenté la conductivité la plus grande. Pomélo 'Duncan', *C. volkameriana* et lime 'Rangpur' l'ont suivi. Les autres se sont situés entre *Poncirus trifoliata* et lime 'Rangpur'.

Les effets des conditions de milieu imposées à des porte-greffe traités à de basses températures de -5°C et -10°C

pendant 5 heures sur les valeurs de conductivité électrolytique (L_t), sont indiqués dans le tableau 2.

Parmi les porte-greffe cultivés à 26/18°C, et traités à -5°C pendant 5 heures, bigaradier et citrange 'Troyer' ont montré les plus petites valeurs de conductivité électrolytique. Yuzu, *C. taiwanica*, pomélo 'Duncan', mandarinier 'Cléopâtre' et *Poncirus trifoliata* ont des valeurs considérées comme faibles. Oranger 'Hamlin', citrumélo 1452 et citrange 'Carrizo' suivent ce groupe. Les plus grandes valeurs de conductivité sont trouvées chez lime 'Rangpur' et *C. macrophylla*. Rough lemon et *C. volkameriana* sont aussi des porte-greffe donnant des valeurs élevées.

Parmi ceux cultivés à 12/4°C, la plus petite valeur de conductivité électrolytique est observée chez Yuzu. Citrumélo 1452, bigaradier et mandarinier 'Cléopâtre', suivent Yuzu. La plus grande valeur est donnée par lime 'Rangpur'.

Ainsi, oranger 'Hamlin', *C. volkameriana* et Rough lemon sont des porte-greffe ayant une conductivité élevée. Les autres se placent entre mandarinier 'Cléopâtre' et Rough lemon.

TABLEAU 1 - Valeurs de conductivité électrolytique (L_0) obtenues à partir de segments de tige de 14 porte-greffe d'agrumes non traités et cultivés sous différentes conditions de milieu (μ mhos).

Porte-greffe	26/18°C	12/4°C
Mandarinier 'Cléopâtre'	78,8 bc	57,8 abc
Bigaradier	38,2 a	85,4 cde
<i>C. volkameriana</i>	134,8 e	102,0 de
Rough lemon	102,8 cd	144,2 f
<i>C. macrophylla</i>	75,4 b	62,2 abc
Oranger 'Hamlin'	80,6 bc	75,2 abcd
Citrumelo 1452	76,6 bc	78,6 bcd
Citranger 'Carrizo'	93,0 bc	90,4 cde
Citranger 'Troyer'	37,8 a	58,0 abc
Pomélo 'Duncan'	76,2 b	116,0 ef
<i>Poncirus trifoliata</i>	34,2 a	45,8 ab
Lime 'Rangpur'	126,4 de	98,0 de
Yuzu	49,0 a	43,6 a
<i>C. taiwanica</i>	47,0 a	69,8 abcd
Moyenne	75,1	80,5
D 0,01 (*)	26,3	33,1

(*) D 0,01 = différence véritable de Tukey dans les limites de confiance de 99 p. 100.

TABLEAU 2 - Valeurs de conductivité électrolytique (L_t) obtenues à partir de segments de tige de 14 porte-greffe d'agrumes cultivés sous différentes conditions de milieu et traités à de basses températures de -5°C et -10°C pendant 5 heures (μ mhos).

Porte-greffe	-5°C		-10°C	
	26/18°C	12/4°C	26/18°C	12/4°C
Mandarinier 'Cléopâtre'	89,0 ab	104,2 ab	337,0 abc	571,0 de
Bigaradier	54,6 a	94,8 ab	594,0 de	572,0 de
<i>C. volkameriana</i>	232,8 d	195,8 de	902,0 f	512,0 bcde
Rough lemon	205,6 d	182,6 cde	524,0 de	706,0 e
<i>C. macrophylla</i>	319,0 e	127,2 abcd	724,0 ef	586,4 de
Oranger 'Hamlin'	125,2 bc	250,6 ef	544,0 cde	540,8 cde
Citrumelo 1452	168,0 cde	79,6 ab	461,4 bcd	345,8 bcd
Citranger 'Carrizo'	180,2 cd	146,6 bcd	306,0 ab	298,6 abc
Citranger 'Troyer'	54,2 a	119,2 abc	319,0 abc	290,8 ab
Pomélo 'Duncan'	86,6 ab	126,4 abcd	602,0 de	432,0 bcd
<i>Poncirus trifoliata</i>	102,0 ab	111,2 abc	195,2 a	62,4 a
Lime 'Rangpur'	337,6 e	320,2 f	902,0 f	758,0 e
Yuzu	82,4 ab	60,2 a	450,0 bcd	291,6 ab
<i>C. taiwanica</i>	86,6 ab	129,4 abcd	612,0 de	378,0 bcd
Moyenne	151,7	146,3	537,3	453,2
D 0,01 (*)	65,6	72,2	232,6	248,4

(*) D 0,01 : différence véritable de Tukey dans les limites de confiance de 99 p. 100

Les porte-greffe cultivés à 26/18°C et traités à -10°C pendant 5 heures ont donné généralement des valeurs de conductivité élevées. *Poncirus trifoliata* se distingue des autres par sa valeur de conductivité relativement petite. Citranges 'Carrizo' et 'Troyer' et mandarinier 'Cléopâtre' ont suivi *Poncirus trifoliata*. Les plus grandes valeurs sont trouvées chez *C. volkameriana*, lime 'Rangpur' et *C. macro-*

phylla. Les autres se sont situés entre *C. macrophylla* et mandarinier 'Cléopâtre'.

Parmi ceux cultivés à 12/4°C, la plus petite valeur de conductivité est encore trouvée chez *Poncirus trifoliata*. Les valeurs proches de *Poncirus trifoliata* sont observées pour citranges 'Troyer' et 'Carrizo' et Yuzu. Lime 'Rang-

TABLEAU 3 - Rapports de conductivité électrolytique (E) obtenus à partir de segments de tige de 14 porte-greffe d'agrumes cultivés sous différentes conditions de milieu et traités à de basses températures de -5°C et -10°C pendant 5 heures (p. 100).

Porte-greffe	-5°C		-10°C	
	26/18°C	12/4°C	26/18°C	12/4°C
Mandarinier 'Cléopâtre'	28,27 a	33,47 a	77,86 bc	55,33 bc
Bigaradier	29,35 a	37,27 a	82,83 bc	70,09 def
<i>C. volkameriana</i>	66,41 g	48,79 c	73,54 ab	80,13 f
Rough lemon	46,52 cde	46,02 bc	82,69 bc	74,73 ef
<i>C. macrophylla</i>	59,32 fg	37,79 a	90,00 c	74,38 ef
Oranger 'Hamlin'	42,70 bcd	62,46 d	76,47 abc	60,94 cde
Citrumélo 1452	46,24 cde	34,95 a	75,80 abc	57,45 cd
Citranger 'Troyer'	31,57 ab	39,27 ab	62,04 a	42,82 b
Pomélo 'Duncan'	35,14 abc	33,41 a	73,54 ab	54,46 bc
<i>Poncirus trifoliata</i>	67,40 g	35,39 a	61,18 a	21,35 a
Lime 'Rangpur'	58,74 efg	52,44 c	76,19 abc	83,56 f
Yuzu	36,42 abc	34,66 a	72,33 ab	49,43 bc
<i>C. taiwanica</i>	31,46 ab	33,29 a	80,73 bc	54,01 bc
Moyenne	45,10	40,55	75,18	59,48
D 0,01 (*)	12,67	7,87	15,81	14,44

(*) D 0,01 : différence véritable de Tukey dans les limites de confiance de 99 p. 100.

TABLEAU 4 - Rapports de chute de feuilles obtenus de porte-greffe cultivés sous des conditions de thermopériodisme de 26/18°C et 12/4°C, traités à -5°C et à -10°C pendant 5 heures et laissés 45 jours dans la serre pour la reprise (p. 100).

Porte-greffe	26/18°C		12/4°C	
	-5°C	-10°C	-5°C	-10°C
Mandarinier 'Cléopâtre'	0,00 a	100,00	0,00 a	100,00
Bigaradier	0,00 a	100,00	0,00 a	100,00
<i>C. volkameriana</i>	100,00 g	100,00	9,96 c	100,00
Rough lemon	35,96 e	100,00	20,00 d	100,00
<i>C. macrophylla</i>	100,00 g	100,00	60,00 e	100,00
Oranger 'Hamlin'	27,78 c	100,00	0,00 a	100,00
Citrumélo 1452	0,00 a	100,00	0,00 a	100,00
Citranger 'Carrizo'	30,80 d	100,00	0,00 a	100,00
Citranger 'Troyer'	0,00 a	100,00	0,00 a	100,00
Pomélo 'Duncan'	0,00 a	100,00	0,00 a	100,00
<i>Poncirus trifoliata</i>	0,00 a	100,00	0,00 a	100,00
Lime 'Rangpur'	95,80 f	100,00	6,30 b	100,00
Yuzu	4,30 b	100,00	0,00 a	100,00
<i>C. taiwanica</i>	0,00 a	100,00	0,00 a	100,00
Moyenne	28,18	100,00	6,87	100,00
D 0,01 (*)	2,34	N.S. (**)	0,97	N.S. (**)

(*) D 0,01 : différence véritable de Tukey dans les limites de confiance 99 p. 100

(**) NS : non significative.

pur', mandarinier 'Cléopâtre', bigaradier et *C. macrophylla* ont des valeurs de conductivité élevées. Les autres se sont rangés entre mandarinier 'Cléopâtre' et citranger 'Carrizo'.

Les rapports de conductivité électrolytique (E) obtenus

de porte-greffe cultivés sous différentes conditions de milieu et traités à des températures de -5°C et -10°C sont indiqués dans le tableau 3.

Parmi les porte-greffe cultivés à 26/18°C et traités à

TABLEAU 5 - Rapports de mortalité induite sur la tige en comparaison de la hauteur des porte-greffe cultivés sous les conditions de thermopériodisme de 26/18°C et de 12/4°C, traités à -5°C et -10°C pendant 5 heures et laissés 45 jours dans la serre pour la reprise (p. 100).

Porte-greffe	26/18°C		12/4°C	
	-5°C	-10°C	-5°C	-10°C
Mandarinier 'Cléopâtre'	0,00 a	100,00 c	0,00	94,50 j
Bigaradier	0,00 a	100,00 c	0,00	80,00 g
<i>C. volkameriana</i>	52,30 b	100,00 c	0,00	100,00 l
Rough lemon	0,00 a	100,00 c	0,00	92,60 i
<i>C. macrophylla</i>	71,90 d	100,00 c	0,00	100,00 l
Oranger 'Hamlin'	0,00 a	100,00 c	0,00	82,70 h
Citrumélo 1452	0,00 a	100,00 c	0,00	25,70 c
Citrangle 'Carrizo'	0,00 a	100,00 c	0,00	55,10 d
Citrangle 'Troyer'	0,00 a	89,10 a	0,00	10,30 b
Pomélo 'Duncan'	0,00 a	98,34 b	0,00	93,40 ij
<i>Poncirus trifoliata</i>	0,00 a	100,00 c	0,00	0,00 a
Lime 'Rangpur'	63,26 c	100,00 c	0,00	96,60 k
Yuzu	0,00 a	100,00 c	0,00	63,30 e
<i>C. taiwanica</i>	0,00 a	100,00 c	0,00	71,90 f
Moyenne	13,39	99,10	0,00	62,21
D 0,01 (*)	0,79	0,39	N.S. (**)	1,55

(*) D 0,01 : différence véritable de Tukey dans les limites de confiance 99 p. 100.

(**) N.S. : non significative

-5°C on a trouvé les plus petits rapports de conductivité chez mandarinier 'Cléopâtre' et chez bigaradier. *C. taiwanica* et citranger 'Troyer' ont suivi. En revanche, *Poncirus trifoliata* et *C. volkameriana* ont montré les rapports les plus élevés. De même, *C. macrophylla* et lime 'Rangpur' ont des valeurs proches des précédentes. Les autres se sont situés entre lime 'Rangpur' et citranger 'Troyer'.

Ceux cultivés à 12/4°C, ont présenté des différences beaucoup plus nettes et significatives. Parmi eux, *C. taiwanica*, pomélo 'Duncan', mandarinier 'Cléopâtre', Yuzu, citrumélo 1452, *Poncirus trifoliata*, bigaradier et *C. macrophylla* ont des rapports de conductivité électrolytique les plus petits. Citrangers 'Troyer' et 'Carrizo' sont les porte-greffe proches de ce groupe. Le plus grand rapport E est obtenu chez l'oranger 'Hamlin'. De même, *C. volkameriana* et lime 'Rangpur' sont considérés statistiquement proches de l'oranger 'Hamlin'.

Parmi les porte-greffe cultivés à 26/18°C et traités à -10°C, les plus petits rapports sont montrés par *Poncirus trifoliata* et citranger 'Troyer'. Les rapports considérés comme petits sont trouvés aussi chez citranger 'Carrizo', Yuzu, *C. volkameriana*, pomélo 'Duncan', citrumélo 1452, lime 'Rangpur' et oranger 'Hamlin'. La plus grande valeur de E est obtenue par *C. macrophylla*. Mandarinier 'Cléopâtre', *C. taiwanica*, Rough lemon et bigaradier, ont des rapports E voisins de *C. macrophylla*.

Parmi ceux cultivés à 12/4°C, *Poncirus trifoliata* est le seul porte-greffe qui se distingue nettement des autres par

son rapport de conductivité. Citranger 'Troyer', bien qu'il n'ait pas un rapport au niveau de *Poncirus trifoliata*, a une valeur petite. En outre, Yuzu, *C. taiwanica*, citranger 'Carrizo', pomélo 'Duncan' et mandarinier 'Cléopâtre', sont des porte-greffe ayant des rapports relativement petits. Les rapports élevés sont obtenus chez *C. volkameriana*, lime 'Rangpur', *C. macrophylla* et Rough lemon. Oranger 'Hamlin' et bigaradier suivent ce groupe.

Les tableaux 4 et 5 ont été préparés d'après TUZCU et al. (1984 a et b) et présentent des données prouvant les résultats obtenus par des mesures de conductivité électrolytique sur segments de tige de porte-greffe traités.

DISCUSSION

La teneur des matières organiques dans la cellule diminue en relation directe avec l'activité végétative de la plante. Le cas est vrai aussi à l'inverse. Les résultats indiqués dans le tableau 1 justifient en général ce point de vue. Bien qu'il existe des variations liées aux propriétés génétiques de la plante, on peut déduire, en tenant compte des moyennes, que les plantes cultivées sous les conditions de 26/18°C ont une concentration protoplasmique plus faible par rapport à celles cultivées à 12/4°C. Ces données sont en concordance avec celles de KETCHIE (1969), YOUNG (1969), KETCHIE et al. (1972). Car, la concentration protoplasmique cellulaire varie avec les conditions écologiques influant les processus de synthèse biochimique dans le métabolisme végétal. La nature de la perméabilité cellu-

laire et la concentration du protoplasme changent par la synthèse des protéines, des oligo et polysaccharides, des lipides et la formation des groupes de -SH ou -SS sous l'action des effets déterminés par les conditions environnantes de la plante (LEVITT, 1972).

Les traitements à -5°C et -10°C sur les porte-greffe cultivés sous différentes conditions de milieu ont influencé et ont pu refléter l'induction des changements et des dégâts au niveau des membranes et au niveau de la concentration protoplasmique en relation avec les dommages extérieurs causés par les basses températures (tableaux 2, 4 et 5). Le traitement à -5°C a provoqué des dégâts sur les tiges de *C. volkameriana*, lime 'Rangpur' et *C. macrophylla*, cultivés sous les conditions optimales (tableau 5). En fait, les valeurs de conductivité électrolytique (Lt) sont élevées particulièrement chez les plantes endommagées (tableau 2). Selon ces résultats, il apparaît une possibilité de déterminer la valeur de conductivité électrolytique où commencent les dégâts. Cette valeur se situe aux environs de 230 μ mhos. De même, il y a un parallélisme entre les dégâts foliaires et les valeurs de conductivité. Pour ceux cultivés à 12/4°C, les résultats obtenus présentent un aspect assez diffus. Car, les groupes des porte-greffe, selon les données obtenues à partir des valeurs de conductivité électrolytique et les valeurs de dégâts des tiges, 45 jours après le traitement à -5°C, ne se confirment pas entre elles. Il se fait qu'il y ait une insuffisance de l'effet des basses températures sur la désorganisation intracellulaire qui pourrait apparaître sous forme morphologique. D'ailleurs, la concentration protoplasmique est beaucoup plus élevée et les membranes cellulaires sont plus perméables quand la plante est tenue à l'état de repos. Ce fait est prouvé aussi par les valeurs de conductivité électrolytique qui semblent élevées pour les plantes cultivées à 12/4°C. Par contre, pour les traitements à -10°C, les résultats obtenus sont surtout observés pour les plantes cultivées à 12/4°C (tableaux 2, 4 et 5), résultats également confirmés par WILNER (1961), YOUNG (1969), KETCHIE et al. (1972) et YAVADA et al. (1978).

De ce fait et simplement à partir des valeurs de conductivité électrolytique, il semble difficile de déterminer objectivement les dégâts causés par les basses températures et la résistance au froid de la plante. En fait, le dommage est étroitement lié au mouvement de la quantité de matière inter ou extra-cellulaire en fonction de la nature de la membrane de la cellule. KETCHIE et al. (1972) font remarquer qu'au flux extra-cellulaire de 30 p. 100 du total des matières intra-cellulaires démarre l'apparition des dégâts chez les agrumes. Bien que les valeurs des rapports changent suivant le matériel étudié, ce fait est valable aussi pour les autres espèces fruitières. Pour cette raison, au lieu d'utiliser des valeurs mesurées, on est conduit à se baser sur des rapports de conductivité électrolytique obtenus par le tissu végétal traité et tué. Ce point de vue est accepté par WILNER (1960), FLINT et al. (1967), KETCHIE (1969) et YAVADA et al. (1978). Suivant les résultats obtenus dans cette étude, on peut indiquer que lorsque les rapports

de conductivité électrolytique atteignent consécutivement 50, 60 et 71 p. 100, les rapports de mortalité sur la tige sont respectivement de 25, 50 et 75 p. 100 et de plus, lorsque le rapport de conductivité dépasse 75 p. 100, la mort est complète pour la plante (tableaux 3 et 5, figure 1).

Parmi les porte-greffe appelés sensibles, cultivés à 26/18°C et traités à -5°C, *C. volkameriana*, *C. macrophylla* et lime 'Rangpur' ont donné des rapports de conductivité électrolytique élevés et ont manifesté des symptômes de dégâts soit sur les feuilles, soit sur la tige, 45 jours après le traitement. Par contre, le rapport élevé de *Poncirus trifoliata* indique l'existence d'un dommage au niveau cellulaire. Car, le symptôme de dégâts apparaît plus de 45 jours après le traitement. En vérité, on a observé un taux de mortalité de 65 p. 100 chez *Poncirus trifoliata* 60 jours après le traitement et, à fin de la même période, citrange 'Carrizo', Rough lemon, citrumélo 1452 et oranger 'Hamlin' ont présenté des taux de mortalité entre 20 et 33 p. 100. D'ailleurs, parmi ceux cultivés à 12/4°C aucun n'a montré de dégât 45 jours après le traitement mais, à la fin des 60 jours, oranger 'Hamlin', lime 'Rangpur', *C. volkameriana* et Rough lemon, ont manifesté des dommages entre 32 et 38 p. 100. Ces résultats prouvent que le rapport de conductivité électrolytique peut refléter nettement les dommages causés par les basses températures au niveau intra-cellulaire.

En général la température de -10°C est mortelle surtout pour les jeunes plants d'agrumes (YELENOSKY, 1977). Le comportement surprenant de citrange 'Troyer' et de pomélo 'Duncan' parmi les porte-greffe cultivés à 26/18°C est qu'ils ne montrent que des dégâts respectifs de 89,10 et de 93,34 p. 100, puis ils sont morts intégralement comme les autres à la fin des 60 jours après le traitement de basse température à -10°C. Pour le même traitement et parmi les porte-greffe cultivés sous les conditions de 12/4°C, il existe une bonne concordance entre les rapports de conductivité électrolytique et les taux de mortalité surtout chez bigaradier, *C. volkameriana*, *C. macrophylla*, citranges 'Carrizo' et 'Troyer', *Poncirus trifoliata* et lime 'Rangpur'. Citrumélo 1452 a montré, 45 jours après le traitement, un dommage de 25,70 p. 100 qui s'est élevé à 56,00 p. 100 au bout de 60 jours. Ce résultat aussi a confirmé les dégâts hypothétiques exprimés par le rapport de conductivité électrolytique mesuré sans attendre 60 jours pour l'apparition des dégâts finals. Mais, pour mandarinier 'Cléopâtre' et pomélo 'Duncan' on a obtenu des rapports de conductivité qui correspondent à des dégâts hypothétiques se situant à des niveaux beaucoup plus bas en comparaison de ce qu'on a trouvé en réalité, respectivement de 94,50 et de 93,40 p. 100, au lieu d'environ 60 p. 100. Ce cas est valable aussi pour oranger 'Hamlin', Yuzu et *C. taiwanica*. Pour les porte-greffe mentionnés, on peut suggérer la cause venant de la décongélation des tissus rapide qui a un effet actif sur la formation des dommages causés par les basses températures. Car, la vitesse de décongélation varie suivant le tissu végétal étudié en relation avec la température

ambiante où se déroule cette opération. La réhydratation de la cellule ralentit et la désorganisation intra-cellulaire s'accroît en cas d'accélération de la vitesse de décongélation. La vitesse de décongélation du tissu est acceptée, comme facteur déterminant le degré du dégât induit à la plante, par WEISER (1970), LEVITT (1972) et BURKE et al. (1976). En réalité, la température de décongélation au cours des traitements était aux environs de 20°C. On peut suggérer que si elle avait été aux environs de 10°C ou de 15°C, les dégâts finals observés sur les porte-greffe mentionnés auraient correspondu à des dégâts hypothétiques trouvés selon les rapports de conductivité électrolytique, respectivement de 60 p. 100 pour oranger 'Hamlin', mandarinier 'Cléopâtre' et pomélo 'Duncan', de 45 p. 100 pour Yuzu et 50 p. 100 pour *C. taiwanica* au lieu de 82,70 - 94,50 - 93,40 - 63,30 et 71,90 p. 100. Ce résultat est obtenu du fait du traitement de décongélation appliqué uniformément à tous les porte-greffe (tableaux 3 et 5).

CONCLUSION

La méthode de conductivité peut refléter très efficacement les dégâts causés par les basses températures dans le tissu végétal. Elle indique aussi la résistance au froid des porte-greffe des agrumes à partir des plantes de 1 an sans attendre des durées assez longues pour déterminer leurs caractères dans ce domaine. Elle donne la possibilité de sélectionner les plantes à des époques précoces. On peut faire remarquer qu'elle est utile dans la sélection des hybrides pour la résistance au froid.

Suivant les résultats de cette étude, on peut ranger les

porte-greffe du sensible au résistant comme suit :

C. macrophylla
Lime 'Rangpur'
C. volkameriana
Rough lemon
Pomélo 'Duncan'
Oranger 'Hamlin'
Bigaradier
Mandarinier 'Cléopâtre'
Citrumélo 1452
C. taiwanica
Citrange 'Carrizo'
Yuzu
Citrange 'Troyer'
Poncirus trifoliata.

REMERCIEMENTS

Je remercie très sincèrement le Professeur J.M. BOVE et le Dr. C. MOUCHES, qui m'ont accordé tous les soutiens et les facilités scientifiques et matérielles à la réalisation de cette étude dans le laboratoire de Biologie cellulaire et moléculaire du Centre de Recherches agronomiques de Bordeaux.

Je remercie vivement les responsables du Centre qui m'ont permis l'utilisation des moyens nécessaires à la mise en place des essais, ainsi que C. JACQUEMOND et P. BONNET pour leur participation à la préparation du matériel végétal.

BIBLIOGRAPHIE

- BIALOBOK (S.). 1974.
Cold hardiness.
In : *Proc. XIXth Internat. Hort. Congress.*, 4 : 155-167
Warszawa, Poland (Eds. R. Antoszewski, L. Harrison and J. Nowosielski).
- BURKE (M.J.), GUSTA (L.V.), QUAMME (H.A.), WEISER (C.J.) and LI (P.H.). 1976.
Freezing and injury in plants.
Ann. Rev. Plant Physiol., 27 : 507-528.
- COOPER (W.C.), GORTON (B.S.) and TAYLOR (S.E.). 1954.
Freezing tests with small trees and detached leaves of grapefruit.
Proc. Amer. Soc. Hort. Sci., 63 : 167-172.
- EMMERT (F.H.) and HOWLETT (F.S.). 1953.
Electrolytic determinations of resistance of fiftyfive apple varieties to low temperatures.
Proc. Amer. Soc. Hort. Sci., 62 : 311-318.
- FAW (W.F.), SMITH (S.C.) and JUNG (G.A.). 1976.
Extractant influence on the relationship between extractable proteins and cold hardiness of alfalfa.
Plant Physiol., 57 : 720-723.
- FLINT (H.L.), BOYCE (B.R.) and BEATTIE (D.J.). 1967.
Index of injury - A useful expression of freezing injury to plant tissues as determined by electrolytic method.
Can. J. Plant Sci., 47 : 229-230.
- HARRIS (R.E.). 1973.
Relative hardiness of strawberry cultivars at three times of the winter.
Can. J. Plant Sci., 53 : 147-152.
- KACPERSKA-PALACZ (A.), DEBSKA (Z.) and JAKUBOWSKA (A.). 1975.
The phytochrome involvement in the frost hardening process of rape seedlings.
Bot. Gaz., 136 : 137-140.
- KETCHIE (D.O.). 1966.
Fatty acids in the bark of Halehaven peach as associated with hardiness.
Proc. Amer. Soc. Hort. Sci., 88 : 204-207.
- KETCHIE (D.O.). 1969.
Methods of determining cold hardiness and cold injury in Citrus.
In : *Proc. First Internat. Citrus Symposium*, 2 : 559-563.
Univ. of Calif. Riverside, California (Ed. H.D. Chapman).
- KETCHIE (D.O.), BEEMAN (C.H.) and BALLARD (A.L.). 1972.
Relationship of electrolytic conductance to cold injury and acclimation in fruit trees.
J. Amer. Soc. Hort. Sci., 97 : 403-406.
- KETCHIE (D.O.) and BEEMAN (C.H.). 1973.
Cold acclimation in «Red Delicious» apple trees under natural conditions during four winters.
J. Amer. Soc. Hort. Sci., 98 : 257-261.
- KNECHT (G.N.) and ORTON (E.R.). 1970.
Stomate density in relation to winter hardiness of *Ilex opaca* AIT.
J. Amer. Soc. Hort. Sci., 95 : 341-345.

- KRAMER (P.J.) and KOZLOWSKI (T.T.). 1960.
Physiology of trees.
Mc Graw-Hill Book Company, Inc., New York, 642 p.
- LEVITT (J.). 1972.
Responses of plants to environmental stresses.
Academic Press, New York, San Francisco, London, 697 p.
- LI (P.H.) and SAKAI (A.). 1978.
Plant cold hardiness and freezing stress mechanisms and crop implications.
Academic Press, New York, San Francisco, London, 416 p.
- NESMITH (W.C.) and DOWLER (W.M.). 1976.
Cultural practices affected cold hardiness and peach tree shortlife.
J. Amer. Soc. Hort. Sci., 101 : 116-119.
- PALTA (J.P.) and LI (P.H.). 1978.
Cell membrane properties in relation to freezing injury.
In : *Plant cold hardiness and freezing stress mechanisms and crop implications*. p. 93-115.
Academic Press, New York, San Francisco, London (Eds. P.H. Li and A. Sakai).
- PROEBSTING (E.L.). 1956.
An apparatus and method of analysis for studying fruit bud hardiness.
Proc. Amer. Soc. Hort. Sci., 68 : 6-14.
- SNEDECOR (G.W.) and COCHRAN (W.G.). 1971.
Statistical methods.
The Iowa State University Press, Ames, Iowa, 593 p.
- SING (J.), ROCHE (I.A.) and SIMINOVITCH (D.). 1975.
Membrane augmentation in freezing tolerance of plant cells.
Nature, 257 : 669-670.
- STEPONKUS (P.L.) and WIEST (S.C.). 1978.
Plasma membrane alterations following cold acclimation and freezing.
In : *Plant cold hardiness and freezing stress mechanisms and crop implications*, 75-91.
Academic Press, New York, San Francisco, London (Eds. P.H. Li and A. Sakai).
- STUARD (N.W.). 1941.
Cold hardiness of malling apple rootstocks types as determined by freezing tests.
Proc. Amer. Soc. Hort. Sci., 38 : 311-314.
- SWINGLE (C.F.). 1932.
The exosmosis method of determining injury, as apple rootstock hardiness studies.
Proc. Amer. Soc. Hort. Sci., 29 : 380-383.
- TUZCU (Ö.). 1984 a.
Comportement de 14 porte-greffe d'agrumes cultivés sous différentes conditions de milieu.
Fruits, vol. 39, n° 9, p. 551-560.
- TUZCU (Ö.). 1984 b.
Résistance au froid de 14 porte-greffe d'agrumes cultivés sous différentes conditions de milieu.
Fruits, vol. 39, n° 7-8, p. 461-466.
- WEISER (C.J.). 1970.
Cold resistance and acclimation in woody plants.
Science, 169 : 1269-1278.
- WILNER (J.). 1960.
Relative and absolute electrolytic conductance tests for frost hardiness of apple varieties.
Can. J. Plant Sci., 40 : 630-637.
- WILNER (J.). 1961.
Relationship between certain methods and procedures of testing for winter injury of outdoor exposed shoots and roots of apple trees.
Can. J. Plant Sci., 41 : 309-315.
- WILNER (J.). 1964.
Seasonal changes in electrical resistance of apple shoots as a criterion of their maturity.
Can. J. Plant Sci., 44 : 329-331.
- YAVADA (U.L.), DOUD (S.L.) and WEAWER (D.J.). 1978.
Evaluation of different methods to assess cold hardiness of peach trees.
J. Amer. Soc. Hort. Sci., 103 : 318-321.
- YELENOSKY (G.). 1971.
Relationship between the rate of ice growth in solutions, the molecular weight of the solutes and the osmotic pressure of the solutions.
Biodynamica, 11 : 95-100.
- YELENOSKY (G.). 1977.
The potential of Citrus to survive freezes.
In : *Proc. Internat. Soc. Citriculture*, 1 : 199-203. Orlando, Florida, (Ed. W. Grierson).
- YOUNG (R.). 1969.
Effect of freezing on the photosynthetic system in Citrus.
In : *Proc. First Internat. Citrus Symposium 2* : 553-558, Univ. of Calif., Riverside, California (Ed. H.D. Chapman).
- YOUNG (R.) and PEYNADO (A.). 1965.
Changes in cold hardiness and certain physiological factors of Red Blush grapefruit seedlings as affected by exposure to artificial hardening temperatures.
Proc. Amer. Soc. Hort. Sci., 86 : 244-252.
- YOUNG (R.) and BELL (W.D.). 1974.
Photosynthesis in detached leaves of cold-hardened Citrus seedlings.
J. Amer. Soc. Hort. Sci., 99 : 400-403.
- YOUNG (R.) and MANN (M.). 1974.
Freeze disruption of sour orange leaf cells.
J. Amer. Soc. Hort. Sci., 99 : 403-407.
- ZAGADA (S.W.). 1974.
Breeding cold hardy fruit trees.
In : *Proc. XIXth Internat. Hort. Congress*, 3 : 9-17, Warszawa, Poland (Eds. R. Antoszewski, L. Harrison and J. Nowosielski).

