

# Synthèse des essais entrepris avec l'imazalil\*\* sur les pourritures des agrumes après récolte

E.Y. LAVILLE, P.R. HARDING, Y. DAGAN, M. RAHAT  
et L.E. RIPPON\*

SYNTHESE DES ESSAIS ENTREPRIS AVEC L'IMAZALIL  
SUR LES POURRITURES DES AGRUMES APRES RECOLTE

E.Y. LAVILLE, P.R. HARDING, Y. DAGAN, M. RAHAT  
et L.E. RIPPON

Fruits, Avril 1978, vol. 33, n°4, p. 257-267.

RESUME - Cette synthèse regroupe la plupart des essais entrepris depuis plusieurs années avec l'imazalil sur les pourritures des agrumes après récolte. Elle confirme l'activité remarquable de ce fongicide sur les races de *P. digitatum* et *P. italicum*, sauvages ou devenues résistantes aux «benzimidazoles» et met en évidence son action sur *Alternaria citri*, *Phomopsis citri*, *Diplodia natalensis* et *Geotrichum citri-aurantii*.

Une synthèse plus succincte de ces travaux a été présentée au Congrès international de Citriculture, Orlando (Floride) en mai 1977.

La découverte, ces dix dernières années, de nouveaux fongicides de synthèse, à action systémique, et dont les plus connus sont le «thiabendazole», le «bénomyl» et le «méthylthiophanate», a profondément modifié l'efficacité des traitements appliqués aux agrumes après la récolte, pour en assurer la bonne conservation, aussi bien sur les pourritures principales à *Penicillium* sp. que sur les autres pourritures dues à *Alternaria* sp., *Diplodia* sp., *Phomopsis* sp., *Geotrichum* sp., *Phytophthora* sp., etc. (4, 15).

Il faut rappeler en effet que les fongicides qui étaient plus habituellement utilisés (5) comme les sels de bore, le Diphényl, l'Orthophénylphénate de sodium, ou le 2-amino-butane, possèdent essentiellement une action curative et se

révèlent peu actifs vis-à-vis des infections survenant après leur application, même si les formulations fongicides circuses, ou les papiers imprégnés, permettent parfois d'en prolonger l'action.

En revanche, les fongicides systémiques possèdent non seulement l'action curative de leurs prédécesseurs et ont en outre l'avantage de pouvoir être utilisés à des doses plus faibles, c'est-à-dire de laisser des taux de résidus inférieurs, mais ils sont aussi préventifs à l'encontre des infections survenant après leur application. Même si leurs activités fongitoxiques ne couvrent pas la totalité de la mycoflore des agrumes en entrepôt, leur efficacité totale est très supérieure.

Cependant l'utilisation généralisée de ces fongicides systémiques a fait surgir deux problèmes nouveaux :

- l'un d'importance moyenne concerne l'évolution qualitative des pourritures et l'on a pu observer au cours de longues périodes d'entreposage l'apparition de plus en plus fréquente de pourritures à *Geotrichum* et à *Alternaria* (14),

\* - E.Y. LAVILLE, IRFA - B.P. 5035 - 34032 Montpellier (France)  
P.R. HARDING, Sunkist Growers Inc., California USA  
Y. DAGAN, Agan Chemical Manufacturers Ltd, Israël  
M. RAHAT, Citrus Marketing Board, Israël  
L.E. RIPPON, Gosford Horticultural Postharvest Laboratory, NSW  
Australia.

\*\* - Imazalil - Janssen Pharmaceutica - N.V. - 2340 BEERSE, Belgique

- l'autre, plus inquiétant, a trait à l'apparition très rapide et fréquente de races résistantes aux «benzimidazoles», notamment chez les *Penicillium* (*P. digitatum* et *P. italicum*) et ceci simultanément dans des régions de production, très éloignées géographiquement les unes des autres (2, 7, 8, 18, 26, 28).

Devant ces difficultés et ces menaces, nous avons le choix, soit de revenir aux produits utilisés antérieurement et qui, bien qu'inférieurs, avaient fait et font encore la preuve de leur efficacité, soit de rechercher de nouvelles molécules, possédant les qualités des fongicides systémiques récents et demeurant actifs vis-à-vis des races mutantes résistantes apparues.

Dès 1969, les qualités fongitoxiques et systémiques de l'Imazalil étaient décelées par la Société JANSSEN PHARMACEUTICA, qui en avait effectué la synthèse, et dans les années suivantes, en Australie (25), en France (16, 17), en Israël (19, 20) et au Japon (1, 11, 12, 13, 23), son activité sur les pourritures à *Penicillium* des agrumes était mise en évidence. Depuis, d'autres recherches ont été conduites aux U.S.A. (9).

Tout au début des recherches, l'imazalil apparaissait comme un simple produit concurrent des benzimidazoles. Très tôt cependant (16), il était expérimenté sur différentes races de champignons devenues résistantes aux «benzimidazoles», dont certaines races de *Penicillium* des agrumes, obtenues au laboratoire par mutagénèse ou recueillies dans les entrepôts, et sur lesquelles il se révélait aussi actif, aux mêmes doses, que sur les races sauvages (9, 17, 19, 20, 21, 22).

Son utilisation éventuelle devenait donc extrêmement intéressante.

On notait aussi son activité non négligeable sur d'autres pourritures des agrumes, comme celles causées par *Alternaria citri*, *Phomopsis citri*, *Diplodia natalensis* et sur *Geotrichum citri-aurantii* (9, 11, 12, 13, 19, 20, 23).

Les études se sont alors multipliées, soit «in vitro» sur les races de *Penicillium* (*P. digitatum* et *P. italicum*) sauvages ou résistantes aux benzimidazoles, soit «in vivo» sur des fruits inoculés, avant ou après traitement, sur des lots plus importants de fruits non inoculés artificiellement, subissant toutes les contraintes de cueillette, de calibrage, d'emballage, de transport routier ou maritime, et d'entreposage de longue durée, et ont confirmé les qualités fongitoxiques et systémiques de l'imazalil.

Ces essais, réalisés simultanément dans différentes régions productrices ou importatrices d'agrumes et sur différentes variétés, et dont les résultats, comme nous le verrons,

concordent, permettent d'attribuer à l'imazalil trois caractéristiques extrêmement intéressantes :

- a) une activité remarquable, à faible dose, sur les pourritures à *Penicillium* des agrumes,
- b) une activité non négligeable sur les pourritures à *Alternaria* sp., à *Phomopsis* sp., à *Diplodia* sp. et à *Geotrichum* sp.,
- c) une activité remarquable sur les races de *Penicillium digitatum* et de *Penicillium italicum*, mutantes, devenues résistantes aux «benzimidazoles» (bénomyl, méthylthiophanate et thiabendazole).

(Ce dernier caractère n'est pas limité aux races résistantes du genre *Penicillium*, mais s'applique également aux races résistantes aux benzimidazoles des genres *Cercospora* sp., *Fusarium* sp., *Colletotrichum* sp., *Aspergillus* sp., etc.).

## MATÉRIEL ET MÉTHODES

### Imazalil : propriétés physiques et chimiques - mode d'action.

L'imazalil technique, ou 1- [2-(2,4-dichlorophényl)-2-(2-propényloxy)-éthyl]-1-H-imidazole, est un liquide huileux brun jaune (formule empirique  $C_{14}H_{14}Cl_2N_2O$ ) de poids moléculaire de 297,18. L'imazalil pur est presque incolore. Ce fongicide est légèrement soluble dans l'eau (0,03 g dans 100 ml de solution aqueuse) et très soluble dans les solvants organiques (plus de 50 g dans 100 ml de solution). En solution aqueuse, ce produit est stable à 40°C à un pH pouvant varier de 2,4 à 7,0 durant huit semaines.

Trois formulations sont disponibles : un concentré émulsionnable (R 23979) et deux sels, présentés sous forme de poudre blanche et parfaitement solubles dans l'eau : le nitrate d'imidazole (R 18531) et le sulfate d'imidazole (R 27180).

Les toxicités aiguës sur mammifères sont les suivantes : LD 50 oral sur rat : 320 mg/kg - LD 50 oral sur chien : 640 mg/kg et LD 50 dermal sur rat mâle : 4.200 mg/kg.

De rares études sur le mode d'action de l'imazalil indiquent que «l'activité de ce fongicide est dépendante du pH». Il semble que l'imazalil perturbe les fonctions membranaires de la cellule, comme les autres dérivés imadazole, le miconazole et le clotrimazole. Les spores de *Penicillium italicum*, traitées avec des doses subléthales d'imazalil, présentent une réduction du taux de germination et des hyphes germinatifs déformés (24).

Des méthodes d'analyse par chromatographie gazeuse ont été mises au point pour déceler les résidus éventuels sur et dans les agrumes.

### Champignons parasites.

Les essais ont été menés principalement «in vitro» et «in vivo» avec différentes souches sauvages de *Penicillium digitatum*, de *Penicillium italicum* et les souches correspondantes devenues résistantes aux «benzimidazoles» (le plus souvent au bénomyl et au thiabendazole) et au 2 amino-butane, obtenues soit par mutations naturelles apparues dans les entrepôts ou sur des fruits traités, soit par l'action d'agents mutagènes tels que les rayons U.V. ou la nitroso-guanidine (6).

D'autres essais, moins nombreux, «in vitro» et «in vivo» également, ont été réalisés sur des souches d'origines géographiques différentes de *Geotrichum candidum* var. *citri-aurantii*, *Alternaria citri*, *Phomopsis citri*, *Diplodia natalensis*, *Phytophthora* sp. inféodées aux agrumes, *Colletotrichum gloeosporioides*.

Signalons aussi un essai sur *Guignardia citricarpa*, parasite des fruits au verger.

### Variétés d'agrumes.

Selon les lieux d'expérimentation et les saisons, les essais ont été réalisés sur diverses variétés d'agrumes : clémentines, mandarines, citrons, grapefruits, oranges : O. Washington navel, O. Shamouti, O. Valencia, O. Hamlin, O. Cadenera, O. Unshu.

### Méthodes.

«In vitro» l'activité de l'imazalil a été révélée, soit par incorporation directe au milieu gélosé, soit en utilisant des rondelles de papier imprégnées du fongicide à différentes concentrations, déposées ensuite sur les boîtes de culture, soit enfin en solutions aqueuses pour l'étude de la germination des spores.

«In vivo», on note quelques différences entre les essais, portant principalement sur le nombre de fruits utilisés dans chaque lot (d'une dizaine à plusieurs milliers) selon la précision que l'on désire obtenir (10) sur les méthodes d'inoculation, blessure superficielle à l'emporte-pièce, scarification superficielle, injection sous-épidermique de suspensions de spores pour les tests de sporulation.

Les traitements étaient effectués par trempage dans des solutions aqueuses (2 minutes) ou par pulvérisation (imazalil en solution aqueuse ou en mélange avec les cires de lustrage) et intervenaient avant et après l'inoculation pour mettre en évidence les actions préventives et curatives de l'imazalil.

Les fruits traités ont été placés à des températures élevées, 20 à 25°C en hygrométrie saturante, ou aux températures habituelles d'entrepôts : + 2°C, + 5°C, pendant des

durées variant de 10 à 60 jours, et dans certains essais, remis à température ambiante 4 jours avant la fin des observations, pour simuler les conditions habituelles de la vente au détail, après entreposage.

Dans d'autres essais, les lots traités ont été transportés par voie maritime et en ont subi toutes les contraintes.

## RÉSULTATS

Il n'est pas possible, dans le cadre de cette synthèse, de donner dans le détail tous les résultats obtenus au cours des différents essais de traitement des agrumes à l'imazalil.

Seuls les plus représentatifs de leur catégorie ont été retenus.

### Résultats des essais sur *Penicillium* (*P. digitatum* et *P. italicum*).

#### Résultats des essais «in vitro».

Les premiers essais «in vitro» effectués par LAVILLE en 1972 ont montré qu'une dose de 0,5 ppm de m.a. incorporée dans le milieu gélosé était suffisante pour arrêter toute croissance du mycélium des souches sauvages et mutantes. En 1973, KURAMOTO, avec une technique semblable, obtenait le même résultat avec une concentration de 1 ppm, mais son rapport ne mentionne pas l'essai de doses plus faibles.

HARDING en 1976 effectuait un essai «in vitro», à des doses nettement plus élevées, dont les résultats sont mentionnés dans le tableau 1.

Nous savons en outre que les conidies de *P. digitatum* en suspension aqueuse stérile gardent leur pouvoir germinatif jusqu'à la concentration de 0,2 ppm m.a., mais que cette dose, et dans ces conditions particulières, ne permet pas le développement ultérieur du tube germinatif ni la croissance d'un filament mycélien plus âgé.

#### Résultats des essais «in vivo», sur fruits.

Il faut distinguer parmi ces résultats ceux obtenus sur fruits inoculés de ceux recueillis sur des lots plus importants de fruits non inoculés.

#### ● Fruits inoculés.

Un grand nombre d'essais ont été effectués sur fruits inoculés et l'on peut observer, à la lecture des tableaux suivants (2, 3, 4, 5, 6, 7, 8), que les valeurs obtenues des pourcentages de fruits pourris varient très sensiblement d'un essai à l'autre.

En comparaison avec le bénomyl, à dose égale, l'imazalil se montre tantôt plus actif, tantôt légèrement moins actif selon la formulation utilisée.

TABLEAU 1 - Effet «in vitro» du R 23979 sur les souches sensibles et résistantes de *P. italicum* et *P. digitatum* - Moyenne de croissance en mm, après 7 jours à 24°C sur milieu P.D.A.

| Souche n°           | Nature   | R 23979 sulfate<br>40 ppm | 2 AB<br>500 ppm | Thiabendazole<br>40 ppm | Témoin non traité |
|---------------------|--|---------------------------|-----------------|-------------------------|-------------------|
| <i>P. italicum</i>  |  |                           |                 |                         |                   |
| 4081                | thiabendazole<br>sensible<br>2 AB résistante   | 0                         | 33              | 0                       | 55                |
| 4121                | thiabendazole<br>résistante<br>2 AB résistante | 0                         | 36              | 16                      | 53                |
| <i>P. digitatum</i> |  |                           |                 |                         |                   |
| 4126                | thiabendazole<br>résistante<br>2 AB résistante | 0                         | 51              | 49                      | 85                |
| 4127                | thiabendazole<br>résistante<br>2 AB résistante | 0                         | 49              | 45                      | 82                |

(Lord Range Test - 4 répétitions) (d'après HARDING, 1976).

2 AB = 2 amino-butane

Par comparaison avec le thiabendazole, l'imazalil se révèle toujours plus efficace, à concentration identique, et une efficacité équivalente au thiabendazole est souvent obtenue à une dose moitié moindre.

L'action antispোরante de l'imazalil est également révélée dans ces essais.

Ces résultats indiquent clairement que l'imazalil, comme

le bénomyl, possède une activité systémique qui lui permet de se situer à l'endroit même de l'infection initiale et d'en contrôler efficacement le développement lorsqu'elle survient après traitement.

Le traitement TBZ ne contrôle pas la sporulation. En revanche, les traitements imazalil empêchent sur 70 à 80 p. 100 des fruits l'apparition des spores et diminuent ainsi les risques d'extension des pourritures.

TABLEAU 2 - Action comparée de l'imazalil et du bénomyl. Fruits inoculés (*P. digitatum*) 24 heures avant trempage dans les solutions de traitement - Oranges Navel entreposées 7 jours à 70°F (21°C).

| Traitement | Concentration | p.100 de fruits pourris - (nombre de jours après traitement) |    |    |    |
|------------|---------------|--|----|----|----|
|            |               | 4  | 5  | 6  | 7  |
| R 18531    | 0 ppm         | 97*  | -  | -  | -  |
| imazalil   | 10            | 19   | 35 | 43 | 54 |
| nitrate    | 30            | 2  | 9  | 10 | 12 |
|            | 100           | 3  | 4  | 5  | 8  |
|            | 200           | 2  | 2  | 3  | 5  |
| bénomyl    | 0 ppm         | 96*  | -  | -  | -  |
|            | 10            | 23   | 37 | 49 | 59 |
|            | 30            | 4  | 16 | 17 | 25 |
|            | 100           | 6  | 16 | 19 | 27 |
|            | 200           | 4  | 8  | 13 | 18 |

\* - les fruits de ces traitements étaient presque tous pourris au 4e jour et ont été éliminés (d'après SMITH - 1972).

**TABLEAU 3 - Efficacité comparée des divers produits à différentes doses. Fruits inoculés à l'emporte-pièce (*P. digitatum*) - Trempage : 2' - Fruits inoculés 24 heures avant traitement - Fruits entreposés 7 jours à 24°C (75°F) - 95 p. 100 H.R. - Oranges Hamlin**

| traitement                             |         | nombre fruits | p. 100 fruits pourris <i>P. digitatum</i> | indice d'efficacité |
|--|---------|---------------|---|---------------------|
| témoin                                 |         | 300           | 80,90                                     | 0                   |
| bénomyl                                | 500 ppm | 300           | 4,54                                      | 94,34               |
| bénomyl                                | 500 ppm | 300           | 7,76                                      | 90,40               |
| imazalil<br>nitrate                    | 250 ppm | 300           | 4,46                                      | 94,48               |
| imazalil<br>nitrate                    |         |               |   |                     |
| imazalil<br>nitrate                    | 500 ppm | 300           | 1,86                                      | 97,70               |
| imazalil<br>nitrate                    |         |               |   |                     |
| imazalil<br>concentré<br>émulsionnable | 250 ppm | 300           | 4,46                                      | 94,48               |
| imazalil<br>concentré<br>émulsionnable |         |               |   |                     |
| imazalil<br>concentré<br>émulsionnable | 500 ppm | 300           | 7,14                                      | 91,17               |

$$\text{indice d'efficacité} = \frac{\text{p. 100 pourris témoins} - \text{p. 100 pourris traités}}{\text{p. 100 pourris témoins}} \times 100$$

d'après LAVILLE - 1973.

**TABLEAU 4 - Efficacité comparée des divers produits à différentes doses - Fruits inoculés à l'emporte-pièce (*P. digitatum*) - Trempage : 2' Fruits inoculés 24 heures après traitement - Fruits entreposés 7 jours à 24°C - 95 p. 100 H.R. - Oranges Hamlin**

| traitement                             |         | nombre fruits | p. 100 fruits pourris <i>P. digitatum</i> | indice d'efficacité |
|--|---------|---------------|---|---------------------|
| témoin                                 |         | 300           | 92,43                                     | 0                   |
| bénomyl                                | 250 ppm | 300           | 8,13                                      | 91,20               |
| bénomyl                                | 500 ppm | 300           | 2,40                                      | 97,40               |
| imazalil<br>nitrate                    | 250 ppm | 300           | 27,34                                     | 70,42               |
| imazalil<br>nitrate                    |         |               |   |                     |
| imazalil<br>nitrate                    | 500 ppm | 300           | 10,76                                     | 88,35               |
| imazalil<br>nitrate                    |         |               |   |                     |
| imazalil<br>concentré<br>émulsionnable | 250 ppm | 300           | 12,14                                     | 86,86               |
| imazalil<br>concentré<br>émulsionnable |         |               |   |                     |
| imazalil<br>concentré<br>émulsionnable | 500 ppm | 300           | 14,17                                     | 84,69               |

$$\text{indice d'efficacité} = \frac{\text{p. 100 pourris témoins} - \text{p. 100 pourris traités}}{\text{p. 100 pourris témoins}} \times 100$$

d'après LAVILLE - 1973.

**TABLEAU 5 - Prévention de l'infection et de la sporulation - Oranges Valencia conservées un mois au froid - Inoculation par grattage de l'épiderme et inoculation par injection sous l'épiderme - Pourcentage de fruits pourris et couverts de spores.**

| traitement              | p. 100 fruits pourris | Antisporulation                       |  |   |
|-------------------------|-----------------------|---------------------------------------|--|---|
|                         |                       | développement mycélien et sporulation | développement mycélien et sporulation faible | développement mycélien sans sporulation |
| TBZ                     |                       |                                       |  |   |
| 4.000 ppm cire imazalil | 73                    | 100                                   |  |   |
| 2.000 ppm cire imazalil | 0                     | -                                     | 30   | 70                                      |
| 3.000 ppm cire imazalil | 0                     | -                                     | 17   | 83                                      |

**TABLEAU 6 - Pourcentage de fruits pourris - Oranges Washington inoculées avec une souche sensible au bénomyl de *P. digitatum* et oranges Valencia inoculées avec une souche résistante au bénomyl de *P. digitatum* - Inoculation 24 heures avant traitement par trempage 30" - Conservation 5 jours à 23°C**

| Traitement                        | p. 100 fruits pourris                  |  |
|-----------------------------------|--|--|
|                                   | <i>P. digitatum</i><br>souche sensible | <i>P. digitatum</i> souche résistante<br>moyenne des fruits pourris<br>après transformation angulaire* |
| témoin                            | 98,7                                   | 97,3   |
| TBZ 25 mg/litre                   | 84,9                                   | -  |
| TBZ 125 mg/litre                  | 0,4                                    | -  |
| R 23979<br>nitrate } 25 mg/litre  | 0,3                                    | 48,8   |
| R 23979<br>nitrate } 125 mg/litre | 0,0                                    | 1,9  |
| bénomyl 250 mg/litre              | -                                      | 94,6   |

\* - 2,3° pour chaque moyenne - d'après RIPPON, 1976.

**TABLEAU 7 - Action de la formulation R 23979 (concentré émulsionnable) en émulsion cireuse sur des souches de *P. digitatum* et *P. italicum*, résistantes au thiabendazole, au bénomyl et au 2-amino-butane (2 AB) - Citrons inoculés par grattage d'épiderme 24 heures avant traitement et entreposés 17 jours à 14°C et 88 p. 100 H.R.**

| souche                         | nature   | traitement            | nombre fruits | nombre pourris | p. 100 pourris |
|--------------------------------|--|-----------------------|---------------|----------------|----------------|
| <i>P. italicum</i><br>n° 4081  | thiabendazole<br>sensible<br>2 AB résistante           | R 23979 500 ppm       | 75            | 0              | 0              |
|                                |  | bénomyl 500 ppm       | 75            | 0              | 0              |
|                                |  | thiabendazole 500 ppm | 76            | 5              | 6,6            |
|                                |  | témoin                | 75            | 67             | 89,3           |
|                                |  |                       |               |                |                |
| n° 4121                        | thiabendazole<br>résistante<br>2 AB résistante         | R 23979 500 ppm       | 73            | 0              | 0              |
|                                |  | bénomyl 500 ppm       | 76            | 22             | 29,0           |
|                                |  | thiabendazole 500 ppm | 75            | 74             | 98,7           |
|                                |  | témoin                | 74            | 71             | 96,0           |
|                                |  |                       |               |                |                |
| <i>P. digitatum</i><br>n° 4045 | thiabendazole<br>résistante +<br>bénomyl<br>résistante | R 23979 500 ppm       | 75            | 0              | 0              |
|                                |  | bénomyl 500 ppm       | 75            | 23             | 30,7           |
|                                |  | thiabendazole 500 ppm | 75            | 74             | 98,7           |
|                                |  | témoin                | 75            | 74             | 98,7           |
|                                |  |                       |               |                |                |

3 répétitions - d'après HARDING, 1976

**TABLEAU 8 - Activités comparées du R 23979 (C.E.), du bénomyl et du thiabendazole en formulations cireuses, sur la sporulation des *Penicillium* - Oranges Valencia, inoculées avant traitement par injection sous épidermique et entreposées 21 jours à 11°C - 88 p. 100 H.R.**

| souche                         | traitement              | nombre fruits | nombre pourris | p. 100 pourris | contrôle de la sporulation |
|--------------------------------|-------------------------|---------------|----------------|----------------|----------------------------|
| <i>P. italicum</i><br>n° 4121  | R 23979 2.000 ppm       | 80            | 80             | 100            | 80                         |
|                                | bénomyl 4.000 ppm       | 80            | 80             | 100            | 0                          |
|                                | thiabendazole 4.000 ppm | 80            | 80             | 100            | 10                         |
|                                | témoin                  | 80            | 80             | 100            | 0                          |
|                                |                         |               |                |                |                            |
| <i>P. digitatum</i><br>n° 4045 | R 23979 2.000 ppm       | 80            | 80             | 100            | 100                        |
|                                | bénomyl 4.000 ppm       | 80            | 80             | 100            | 0                          |
|                                | thiabendazole 4.000 ppm | 80            | 80             | 100            | 0                          |
|                                | témoin                  | 80            | 80             | 100            | 0                          |
|                                |                         |               |                |                |                            |

4 répétitions - d'après HARDING, 1976

• Fruits non inoculés.

Les essais réalisés sur fruits non inoculés, dans les conditions habituelles des stations d'emballage, comportant un entreposage de longue durée, et un transport maritime, sont moins nombreux (tableaux 9, 10, 11).

Dans ces essais également, les valeurs absolues des pourcentages de fruits pourris par *Penicillium* varient d'un essai à l'autre, selon les variétés et les méthodes de traitement, par trempage ou par pulvérisation de mélange fongicides plus cire.

TABLEAU 9 - Efficacité comparée des divers produits aux différentes doses - Fruits entreposés à 10-14°C (50-57°F) durant 30 jours - Oranges Cadenera - Trempage : 2'.

| traitement                          |           | nombre fruits | p. 100 fruits pourris<br><i>P. digitatum</i><br><i>P. italicum</i> | indice d'efficacité |
|-------------------------------------|-----------|---------------|--|---------------------|
| témoin                              |           | 1.300         | 12,79  | 0                   |
| bénomyl                             | 500 ppm   | 1.300         | 0,68   | 94,68               |
| bénomyl                             | 1.000 ppm | 1.300         | 0,50   | 96,09               |
| imazalil nitrate                    | 500 ppm   | 1.300         | 0,34   | 97,34               |
| imazalil nitrate                    | 1.000 ppm | 1.300         | 0,54   | 95,77               |
| imazalil sulfate                    | 500 ppm   | 1.300         | 0,81   | 93,66               |
| imazalil sulfate                    | 1.000 ppm | 1.300         | 0,23   | 98,20               |
| imazalil concentré<br>émulsionnable | 500 ppm   | 1.300         | 0,35   | 97,26               |
| imazalil concentré<br>émulsionnable | 1.000 ppm | 1.300         | 0,48   | 96,24               |

$$\text{indice d'efficacité} = \frac{\text{p. 100 pourris témoins} - \text{p. 100 pourris traités}}{\text{p. 100 pourris témoins}} \times 100 \quad \text{d'après LAVILLE, 1973.}$$

TABLEAU 10 - Essai de transport et d'entreposage - 45 jours - Oranges Valencia

| traitement         | pourcentage de fruits pourris ( <i>Penicillium</i> ) |
|--------------------|--|
| TBZ                | 0,6  |
| imazalil 1.000 ppm | 0,2  |
| imazalil 2.000 ppm | 0  |

d'après RAHAT, 1976.

TABLEAU 11 - Efficacité comparée de traitements industriels effectués par pulvérisation de formulations fongicide plus cire - Observations 13, 25, 34 et 44 jours après transport maritime Maroc-France - Oranges Washington navel entreposées à 5°C.

| traitement                   | pourcentages cumulés de fruits pourris ( <i>Penicillium</i> ) |          |          |          |
|------------------------------|---|----------|----------|----------|
|                              | 13 jours  | 25 jours | 34 jours | 44 jours |
| témoin cire seule            | 3,68  | 7,37     | 11,14    | 16,70    |
| imazalil 2.000 ppm plus cire | 1,70  | 2,25     | 2,96     | 3,54     |
| imazalil 4.000 ppm plus cire | 0,57  | 0,79     | 1,09     | 1,34     |
| TBZ 4.000 ppm plus cire      | 1,60  | 2,01     | 2,66     | 3,10     |

d'après LAVILLE, 1977.

On retrouve cependant sensiblement le même classement par ordre d'efficacité des différents produits en comparaison avec l'imazalil à plusieurs doses.

On ne note aucune différence significative entre les traitements, ce qui souligne cependant la bonne activité de l'imazalil à des doses nettement plus faibles.

Ces résultats soulignent la persistance de l'activité de l'imazalil, alors que celle du TBZ commence à décliner vers le 34<sup>e</sup> jour.

#### Résultats des essais sur les autres espèces pathogènes.

##### ● Résultats des essais «in vitro».

Sur *Geotrichum candidum* var. *citri-aurantii*, plusieurs essais concordent pour montrer qu'une réduction sensible de la croissance est obtenue à partir de 40 à 50 ppm, mais que l'arrêt complet du développement n'est réalisé que vers 1.000 ppm.

Vis-à-vis d'*Alternaria citri*, on remarque l'arrêt de la

conidiogénèse vers 10 ppm et l'arrêt complet de la croissance à partir de 40 ppm.

Pour *Phomopsis citri*, la dose capable d'arrêter le développement mycélien se situe entre 5 et 10 ppm.

La concentration active sur la croissance de *Colletotrichum gloeosporioides* est d'environ 10 à 20 ppm et sur celle de *Diplodia natalensis* de 25 ppm.

Les différences constatées entre ces essais proviennent sans doute des réactions propres à chacune des souches utilisées.

##### ● Résultats des essais sur fruits.

Dans un essai réalisé au Japon en 1973 (KURAMOTO), sur fruits traités à 250 ppm, puis inoculés par *Geotrichum candidum* et entreposés, il a été obtenu 8 p. 100 de fruits pourris dans les lots traités, pour 44 p. 100 dans les témoins non traités.

Un autre essai effectué par HARDING en 1976 est résumé dans le tableau 12.

TABLEAU 12 - Contrôle de la pourriture à *Geotrichum* sur citrons préconditionnés à l'eau chaude et inoculés par grattage de l'épiderme.

| Traitements fongicide<br>+ émulsion cirreuse                 | nombre fruits | nombre pourris | p. 100 pourris |
|--|---------------|----------------|----------------|
| R 23979 2.000 ppm  | 331           | 39             | 11,8           |
| SoPP 1 p. 100  | 331           | 37             | 11,2           |
| R 23979 2.000 ppm<br>plus SoPP 1 p. 100<br>émulsion cirreuse | 338           | 6              | 1,8            |
| témoin   | 339           | 89             | 26,3           |

4 répétitions - d'après HARDING, 1976.

On ne note pas de différence significative entre les deux premiers traitements, en revanche le traitement comprenant en mélange l'imazalil et le SOPP s'est révélé extrêmement actif.

Il n'existe que très peu de résultats disponibles de l'activité de l'imazalil sur les pourritures à *Alternaria citri*, à *Colletotrichum gloeosporioides* et à *Diplodia natalensis* sur

fruits. Ceci tient sans doute aux difficultés de disposer de lots infectés de manière homogène naturellement ou artificiellement par ces parasites.

Enfin, pour *Phomopsis citri* un essai réalisé au Japon (SADAMATSU, 1974) sur oranges Unshu, traitées au verger en novembre et entreposées jusqu'en mai, a permis d'obtenir les résultats résumés dans le tableau 13.

TABLEAU 13 - Entreposage de longue durée (6 mois).

| traitement                  | nombre fruits | nombre fruits pourris par <i>Phomopsis</i> |
|-----------------------------|---------------|--|
| benlate 50 % WP 1 4.000 ppm | 500           | 12   |
| benlate 50 % WP 1 6.000 ppm | 500           | 17   |
| imazalil 1 3.000 ppm        | 500           | 9  |

d'après SADAMATSU, 1974



## RÉSIDUS

Un certain nombre d'essais de recherche de résidus ont été réalisés dès 1974, plus particulièrement en Israël (RAHAT et RESNICK †) sur oranges et grapefruits et sont actuellement poursuivis.

D'une manière générale, pour les traitements effectués aux doses de 1.000 à 2.000 ppm, les taux de résidus varient entre 0,7 et 1,4-1,6 ppm. Ils varient aussi d'un essai à l'autre, pour un même traitement.

La chair du fruit ne semble pas recéler de résidus dans des concentrations analysables, c'est-à-dire inférieures à 0,01 ppm et ceci plusieurs semaines après traitement.

Les variations observées soulignent la difficulté d'obtenir, dans ce domaine, une estimation exacte et répétitive, car interviennent nécessairement la qualité des fruits, le mode de traitement, les formulations aqueuses ou cireuses, et les méthodes d'échantillonnage.

## DISCUSSION - CONCLUSIONS

### Les qualités de l'imazalil.

L'ensemble de ces résultats confirme les caractéristiques extrêmement intéressantes de l'imazalil dans la lutte contre les pourritures des agrumes après récolte et notamment des pourritures à *Penicillium* (*P. digitatum* et *P. italicum*).

Ce fongicide s'est révélé, dans tous les essais, à dose égale, toujours très supérieur au thiabendazole et souvent légèrement supérieur, à dose égale aussi, au bénomyl. De plus, son activité anti-sporulante est remarquable.

En outre, il est le seul fongicide systémique actuel à être efficace à la fois sur les souches sauvages et sur les souches mutantes de *Penicillium digitatum* et de *P. italicum* devenues résistantes aux benzimidazoles.

Son action non négligeable sur les *Alternaria*, *Geotrichum*, *Diplodia*, *Phomopsis*, inféodés aux agrumes, est un avantage supplémentaire.

### Recommandations pour les traitements.

Les formulations différentes de l'imazalil, le concentré émulsionnable et les sels solubles dans l'eau (sulfate et nitrate) permettent plusieurs techniques d'application.

Les traitements peuvent être effectués soit par trempage, soit par pulvérisation avec la certitude de disposer de solutions homogènes aqueuses stables et n'obturant pas les buses.

De plus, étant parfaitement miscible aux principales formulations cireuses actuellement commercialisées, son utilisation avec les cires de lustrage ne pose pas de problè-

mes nouveaux à résoudre.

En trempage ou en pulvérisation de solutions aqueuses, on peut recommander les doses de 500 à 1.000 ppm m.a. En revanche, en mélange avec les cires de lustrage, il est nécessaire d'augmenter sensiblement les doses, jusqu'à 2.000 ou 3.000 ppm selon les équipements et les saisons. Vers 4.000 ppm, l'efficacité est encore augmentée, mais il est nécessaire de considérer alors le prix du traitement et les taux de résidus, avant de recommander cette dose.

On pose souvent la question de savoir, devant l'éventualité ou la réalité de l'apparition de races résistantes aux benzimidazoles, s'il est possible d'effectuer des traitements alternés, par exemple bénomyl, suivi d'imazalil, et avec quelle fréquence, ou s'il est préférable d'utiliser l'imazalil en continu.

Peu de travaux ont été réalisés actuellement sur cette question.

Il semble cependant (3) que les traitements alternés ne peuvent être recommandés que lorsque le pourcentage de races résistantes au bénomyl est faible par rapport aux races sauvages sensibles.

Dès que l'envahissement d'un entrepôt par des races résistantes se généralise, il apparaît nécessaire de traiter uniquement avec l'imazalil.

Des précisions cependant devront être obtenues par de nouveaux travaux sur cette importante question.

### Problème de l'éventuelle apparition de races résistantes à l'imazalil.

Cette éventualité a été envisagée dès les premiers essais réalisés avec ce fongicide et pour notre part (LAVILLE), nous avons tenté d'obtenir des races de *P. digitatum* mutantes, résistantes à l'imazalil, en utilisant la nitroso-guanidine comme agent mutagène.

Ces essais ont été répétés plusieurs fois, sur différentes races de *P. digitatum* sauvages, mais sans succès. Rappelons que la même méthode de mutagenèse permet d'obtenir des races mutantes résistantes au bénomyl avec une fréquence d'environ  $10^{-6}$ .

La probabilité de voir apparaître spontanément des races résistantes à l'imazalil est donc beaucoup plus faible que celle concernant l'apparition de races résistantes au bénomyl.

Cependant des travaux récents ont permis d'obtenir des mutants résistants à l'imazalil, chez *Aspergillus nidulans* (27). Ces travaux révèlent un taux très faible de mutation et un niveau de résistance faible également ne dépassant pas trois fois la dose normale, sur milieu supplémenté, alors que pour le bénomyl il est fréquent d'observer des races

mutantes supportant 100 ou 1.000 fois la dose active sur les souches sauvages.

Ces travaux indiquent en outre que la résistance à l'imazalil chez *Aspergillus nidulans* est contrôlée par un système polygénique composé de 21 gènes mutés, définissant 8 loci et liés à 6 groupes de linkage (27).

On est donc en présence d'une résistance de type polygénique ou horizontale, qui, si on la compare aux systèmes équivalents réglant les rapports hôtes-parasites, est plus difficile à surmonter qu'une résistance de type oligogénique dite aussi verticale.

Il est donc vraisemblable que la fréquence d'apparition de races mutantes de *Penicillium* résistantes à l'imazalil est extrêmement faible, et lorsque cet événement se produit, il intéresse un grand nombre de gènes. Il n'est donc pas certain que le mutant apparu possède encore les qualités requises pour se développer sur les agrumes.

\*\*\*

Il est donc parfaitement légitime de considérer que l'imazalil est un excellent fongicide de traitement des agrumes après récolte.

### BIBLIOGRAPHIE

- 1 - Anonyme. 1974.  
Field spray tests of imazalil against storage rot of Unshu orange.  
*Nat. Fruits Exp. Station Okitsu Branch. Japan.*, Internal report.
- 2 - DEKKER (J.). 1972.  
Resistance - Chap. 8  
in «*Systemic fungicides*» R. W. Marsh, Edt. Longman, 321 p.
- 3 - DOVAS (G.), SKYLAKAKIS (G.) et GEORGOPOULOS (S.G.). 1976.  
The adaptability of the benomyl resistant population of *Cercospora beticola* in Northern Greece.  
*Phytopathology*, vol. 66, n°12, p. 1452-1456.
- 4 - ECKERT (J.W.) et SOMMER (N.F.). 1967.  
Control of diseases of fruits and vegetables by post-harvest treatment.  
*Annual review of Phytopathology*, vol. 5, pp. 391-432.
- 5 - FAWCETT (H.S.). 1936.  
Citrus diseases and their control.  
Mc Graw-Hill Book Company, New York and London, 655 p.
- 6 - FOURCADE (I.) et LAVILLE (E.). 1973.  
Obtention in vitro de souches résistantes au bénomyl chez *Cercospora musae* ZIMM.  
*Fruits*, vol. 28 (2), pp. 103-106.
- 7 - GUTTER (Y.). 1973.  
Benzimidazole resistant strains of Citrus fruit pathogens.  
*Research Summaries 1971-1973, The Volcani Center, Israël*, 117 p.
- 8 - HARDING (P.R.). 1972.  
Differential sensitivity to thiabendazole by strains of *Penicillium italicum* and *P. digitatum*.  
*Plant Dis. Rep.*, 56 (3) pp. 256-260.
- 9 - HARDING (P.R. Jr.), 1976.  
R. 23979, a new imidazole derivative effective against post-harvest decay of Citrus by molds resistant to thiabendazole, benomyl and 2-aminobutane.  
*Plant Dis. Rep.*, vol. 30, n°8, pp. 643-646.
- 10 - HARDIVILLER (C.) et LOSOIS (P.). 1971.  
Méthodes statistiques pour l'estimation de l'efficacité des produits fongicides appliqués aux agrumes après récolte.  
*Compte rendu Réunion de la Commission agro-technique du CAZF Annaba, Algérie*
- 11 - KURAMOTO (T.) et YAMADA (S.). 1973.  
Laboratory test of imazalil on *Penicillium* rot of Unshu orange.  
*Nat. Fr. Ex. Station Okitsu Branch. Japan.*, internal report.
- 12 - KURAMOTO (T.) et YAMADA (S.). 1973.  
Antifungal test of imazalil for Citrus fruit rot.  
*Nat. Fr. Ex. Station, Okitsu Branch. Japan.*, internal report.
- 13 - KURAMOTO (T.) et YAMADA (S.). 1973.  
Test of imazalil for control of sour rot of Unshu orange  
*Nat. Fr. Ex. Station Okitsu Branch. Japan.*, internal report.
- 14 - LAVILLE (E.). 1971.  
Evolution des pourritures d'entreposage des agrumes avec l'utilisation de nouveaux fongicides de traitement après récolte.  
*Fruits*, vol. 26 (4), p. 301-304.
- 15 - LAVILLE (E.) et PIEDALLU (C.). 1973.  
Etude de l'activité du méthyl-thiophanate sur les pourritures à *Penicillium (P. digitatum et P. italicum)* des agrumes.  
*Fruits*, vol. 28 (1), p. 33-35.
- 16 - LAVILLE (E.). 1973.  
Etude des activités du R 23979 et de ses sels sur les pourritures à *Penicillium (P. digitatum et P. italicum)* des oranges.  
*Fruits*, vol. 28 (7-8), p. 545-547.
- 17 - LAVILLE (E.). 1974.  
Action du R 23979 (imazalil) sur les pourritures à *Penicillium* des agrumes.  
*XXVI International symposium on crop protection Mededelingen Fakulteit Landbouwwetenschappen, Gent*, 1974, 39 (2), p. 1121-1126.
- 18 - MUIRHEAD (I.F.). 1974.  
Resistance to benzimidazole fungicides in blue mold of Citrus in Queensland.  
*Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.*, 14, p. 698-701.
- 19 - RAHAT (M.) et DAGAN (Y.). 1975.  
Imazalil trials 1974/1975  
*Agan chemical manufacturers Ltd, Israël*, internal report.
- 20 - RAHAT (M.). 1976.  
Imazalil trials 1975/1976 - Citrus Season.  
*Citrus Marketing Board, Israël*, internal report.
- 21 - RIPPON (L.E.) et WILD (B.L.). 1975.  
Evaluation of R 27180 and R 23979 for control of a benomyl resistant strain of *Penicillium digitatum*.  
Fungicide screening trial 1974/1975.  
Internal report of *Gosford Horticultural Postharvest Laboratory N.S.W. Australie*
- 22 - RIPPON (L.E.) et WILD (B.L.). 1976.  
Control of benomyl resistant strains of green mould of Citrus with sodium ortho-phenylphenate, 2-aminobutane and imazalil.  
A paraître.
- 23 - SASAMATSU (M.). 1974.  
Test of imazalil on storage rot of Unshu orange.  
*Saya fruit experiment station, Japan*, internal report.
- 24 - SIEGEL (M.R.), KERKENAAR (A.) et KAARS SIJPESTEIJN (A.). 1976.  
Studies on the mode of action of imazalil.

- Symposium on internl Therapy of Plants Wageningen, N.L., Aug. 1976.*
- 25 - SMITH (L.W.). 1972.  
An evaluation of mebendazole and R 18531 for control of green mold (*Penicillium digitatum*) of oranges  
Internal report of Hawthorn Park Research Laboratories Mittagong, N.S.W., Australia.
- 26 - SMOOT (J.J.) et BROWN (G.E.). 1974.  
Occurence of benzimidazole-resistant strains of *Penicillium digitatum* in Florida Citrus packinghouses.  
*Plant Dis. Rep.*, 58 (10), p. 933-934.
- 27 - VAN TUYL (J.M.). 1976.  
Genetic aspects of resistance to imazalil in *Aspergillus nidulans*.  
*Symposium on Internal Therapy of Plants, Wageningen, N.L., aug. 1976.*
- 28 - WILD (B.L.) et RIPPON (L.E.). 1975.  
Response of *Penicillium digitatum* strains to benomyl, thiabendazole and sodium 0-Phenylphenate  
*Phytopathology*, 65 (10), p. 1176-1177.

