

L'INJECTION DE SUBSTANCES DANS LES PLANTES⁽¹⁾

par **J. A. MASSIBOT**

CHEF DU SERVICE DES RECHERCHES
AGRONOMIQUES DE L'I. F. A. C.

et **J. DUMAS**

LICENCIÉ ÈS - SCIENCES
INGÉNIEUR D'AGRONOMIE COLONIALE
BIOCHIMISTE DE L'I. F. A. C.

CHAPITRE II.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Le matériel et les méthodes que l'on va décrire ont été mis au point à la Station de Recherches d'East Malling après plus de dix années d'efforts. Peut-être paraîtront-ils éloignés de la simplicité : c'est, qu'en fait, il s'agit d'une part d'entailler le végétal sans faire de chaque blessure un centre d'infection, d'autre part, de contraindre la plante à absorber des solutions nutritives par des voies qui ne lui sont pas habituelles. Cela se traduit par une lutte entre l'arbre et le milieu qui nécessite évidemment un appareillage et des techniques capables de forcer la nature à se plier aux exigences de l'expérimentateur, ce qui ne peut pas être simple.

I. — INJECTION DANS LES FEUILLES

A. — INJECTION ENTRE LES NERVURES.

1) Méthode normale.

La feuille injectée sert de support à l'appareil d'injection : ce dernier doit être léger et assez solidement attaché pour résister aux intempéries. Il doit, en outre, empêcher que les pluies ne viennent diluer les solutions employées.

Avant de décrire l'appareil utilisé en plein champ, signalons que pour des injections isolées réalisées au laboratoire, on peut employer un simple tube de verre dont une extrémité capillaire pénètre dans le limbe.

a) Appareillage.

Les réservoirs sont des « pailles » en cellophane de 1,5 à 2 mm de diamètre et d'environ 5 cm de long. On peut les choisir colorés pour éviter les nettoyages et affecter chaque couleur à un élément. Pour éviter

que le liquide ne gagne par capillarité la surface foliaire, surtout quand elle est velue, on trempe une extrémité du tuyau dans une fine couche de paraffine fondue sur une plaque de verre. On obtient ainsi un rebord intérieur qui interrompt toute ascension de la solution (Fig. 21 a et b).

Une guillotine en miniature est utilisée pour couper les pailles à la longueur voulue (Fig. 22). On les place le long du guide A, à travers le trou B d'une pièce de bois verticale C jusqu'au buttoir D que l'on peut régler sur une échelle E. Une lame de rasoir de sûreté est montée sur la glissière de bois F formée des trois parties b, c, d (représentées à droite sur la figure 22) assemblées de telle sorte que la partie médiane c servant de glissière à F occupe la position montrée en pointillé en d. Deux chevilles G, H, passant par les trous de la lame de sûreté, maintiennent celle-ci en position basculante sur la partie externe d ; elles passent aussi à travers les trous G, H dans les pièces c et b ; les trois pièces de bois sont maintenues assemblées par trois verrous et chevilles J, K, L. Ainsi, la lame est maintenue solidement fixée par la planchette C. Lorsque la glissière c est poussée vers la paille, la lame coupe celle-ci à la dimension voulue.

b) Construction.

L'extrémité de la paille sans rebord de paraffine est obturée par une mince plaque de cellophane découpée à l'emporte-pièce et d'un diamètre légèrement supérieur à celui de la paille. Le découpage se fait en intercalant un morceau de carton entre la cellophane et la plaque de laiton où appuie le poinçon. La rondelle ainsi obtenue est appliquée contre l'extrémité à obturer après avoir été enduite de collodion.

(1) Voir Fruits d'Outre Mer, vol. 2, n° 9, 1947, pages 281-290.

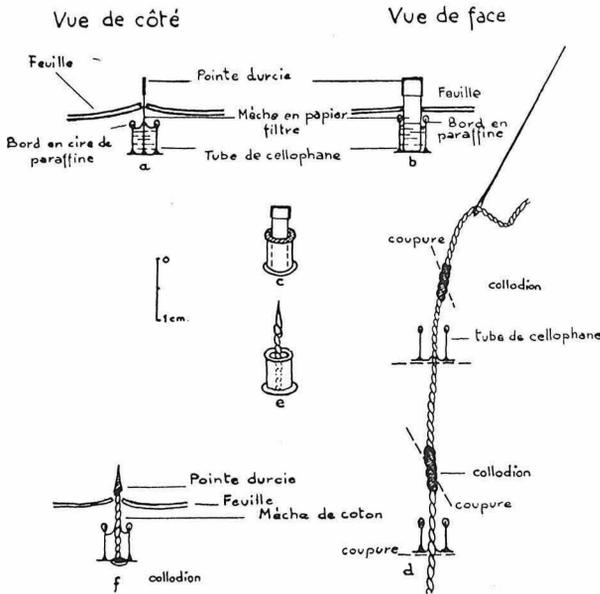


Fig. 21. — Appareil pour injection internervale. On voit en A et en B, de profil et de face, l'un des modèles employés ; on le voit en entier en C. La fabrication de l'autre modèle est indiquée en D ; on le voit en entier en E, F est ce modèle vu de profil lorsqu'il est mis en place sur une feuille.

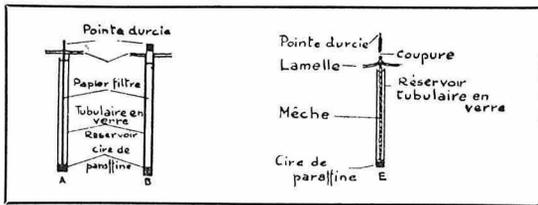


Fig. 21 bis. — Appareil pour injection internervale. A et B sont deux vues du même appareil, B étant à angle droit avec A, E appareil pour injection internervale de petites feuilles.

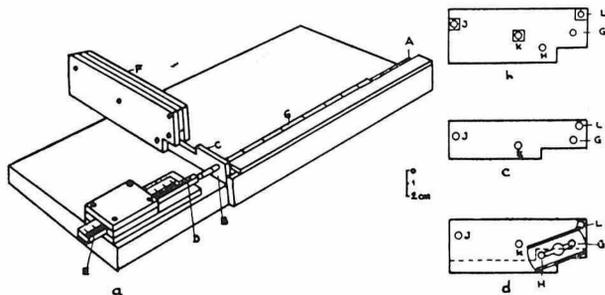


Fig. 22. — Guillotine permettant de couper les pailles à une longueur déterminée.

La mèche qui maintiendra le montage fixé à la feuille et qui reliera la solution au milieu interne soit en papier filtre, soit en coton non mercerisé.

α — Dès que la plaque de cellophane est appliquée contre l'extrémité à obturer de la paille et quand le

collodion est encore liquide, on place une mèche de papier filtre plus longue que celle-ci de 3 mm et de même diamètre, qui pourra supporter les réservoirs dès que la dissolution de collodion sera sèche. On utilisera aussi cette dernière pour enduire le sommet de la mèche, de façon qu'il présente une partie rigide, longue de 2 mm qui offrira assez de résistance pour assurer la pénétration du papier filtre dans le limbe de la feuille (Fig. 21 c).

β — Le coton non mercerisé est enfilé dans le chas d'une très fine aiguille qui va percer le fond du réservoir, une fois celui-ci bien soudé à la paille. On tire avec précaution jusqu'à ce qu'on ait dépassé le tube. Le coton est coupé sous le réservoir. On enduit de collodion le fond du récipient (pour fixer le fil et boucher l'orifice) ainsi que l'extrémité supérieure du coton sur 1 à 2 mm de longueur de telle sorte que l'on conserve 2 mm de mèche non traitée au-dessus du tube. Quand le fil est complètement sec, le bout durci est taillé en pointe avec une lame de rasoir (Fig. 21 e).

La figure 21 d montre comment on équipe plusieurs réservoirs en une seule opération.

Les scalpels sont obtenus à partir de lames de sûreté convenablement brisées entre les mâchoires d'une pince. On fixe chaque morceau ainsi obtenu dans une entaille très mince faite au sommet d'un petit manche de bois et dans laquelle du durofix ou du collodion a été versé. On met sous presse une nuit, puis le durofix ou le collodion est répandu autour du montage. La dissolution de durofix est obtenue par dilution dans un mélange de 1,5 volume d'alcool et de 1,5 volume d'éther.

c) Manipulation.

Il convient de manipuler les feuilles avec précaution : elles sont fragiles et facilement déchirables lors de l'introduction des mèches, ce qui favorise la chute des réservoirs et peut faciliter la contamination par les agents pathogènes.

On procède ainsi : les 3^e et 4^e doigts des 2 mains sont placés contre bout sous la feuille qui est maintenue entre le pouce et l'index de la main gauche. Avec le scalpel tenu entre le pouce et l'index de la main droite, on fait une incision d'une longueur égale à la largeur de la mèche, à travers l'épaisseur du limbe. Le bout durci de la mèche est ensuite passé à travers l'incision, puis on tire avec précaution jusqu'à ce que le bord supérieur du réservoir atteigne la face inférieure du limbe foliaire. Une pellicule liquide relie les tissus de l'entaille au papier filtre ou au coton humide constituant la mèche solidement maintenue par les lèvres de l'incision. Les réservoirs tombent quand le liquide a été absorbé et que la liaison entre la mèche et la feuille n'est plus assurée par la pellicule liquide (Fig. 21 bis).

2) Méthode rapide.

C'est la « méthode d'injection au fil » qui réalise une grande simplification de l'appareillage et de la manipulation.

On réalise, en quelque sorte, une injection solide. Des torons de coton blanc à 4 ou 6 brins, que l'on peut isoler, sont imbibés en les plongeant dans la solution à essayer, séchés, puis mis dans une enveloppe numérotée. Une fine aiguille en acier, à chas long et mince, sert à piquer dans le limbe les brins de coton dont on détermine par tâtonnements le nombre optimum pour chaque type de tissu.

On coupe, de part et d'autre du limbe, le fil de coton qui le traverse. On procède comme l'indique la figure 23. De cette manière, le fil de coton demeure au contact des tissus dont le suc cellulaire dissout les sels qui vont diffuser dans la feuille.

On agit de la même manière avec les pétioles et les jeunes rameaux.

B. — INJECTION PAR LE SOMMET DE LA FEUILLE.

Le quart antérieur de la feuille choisie est coupé perpendiculairement à la nervure principale, puis celle-là est courbée dans un réservoir en carton contenant la solution, attaché à la branche par un fil de plomb (Fig. 4) (1).

C. — MÉTHODE D'IMMERSION D'ANDERSEN.

Le tiers antérieur, environ, de la feuille non coupée est plongé dans la solution à injecter (Fig. 24).

D. — INJECTION PAR LE PÉTIOLE.

1) Méthode normale.

C'est le mode d'injection le plus courant. On dispose de deux types d'appareils (Fig. 25 et 25 bis). L'un A, de 3 cm de longueur environ est utilisé pour les grandes

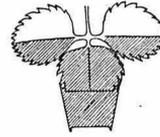


Fig. 24. — Injection d'une feuille de framboisier par l'extrémité d'une foliole latérale. Les zones pénétrées sont hachurées.

feuilles et les pétioles rigides. C'est un tube de verre, ouvert à sa partie supérieure, fermé à l'autre extrémité et terminé par un renflement. On le fixe en deux endroits par un lien mince, à un fil de plomb de 0,15 mm de diamètre. Pour que tout le dispositif soit lisse et ne blesse pas les tissus végétaux éventuellement en contact,

on enrobe le système de support et d'attache avec du collodion. Enfin, pour éviter que le vent ne cause des projections de liquide, le rebord intérieur du sommet du tube est enduit d'une couche de paraffine fondue. Quand on fixe l'appareil à la plante, on l'ajuste solidement en attachant au renflement basal un fil de plomb de 1/10 mm de diamètre qui sera enroulé autour de la branche (Fig. 25 bis B).

Quand on est en présence d'un matériel végétal de dimensions plus restreintes, on utilise l'appareil B de la figure 25, de 1,5 cm de long, fixé par un fil de plomb de 0,10 mm de diamètre.

Le scalpel le plus commode pour faire des incisions dans le pétiole est représenté sur la figure 26 C. L'opérateur le tient facilement dans sa bouche où il peut même rester collé à la lèvre inférieure humide entre deux opérations.

Les expérimentateurs anglais utilisent une variante de ces types que représente la figure 27.

Enfin, signalons un appareil d'étude d'un montage très aisé. C'est un petit tube à essai aminci à son extrémité inférieure, que l'on dresse verticalement sur le pétiole coupé ; un tube de caoutchouc de très petite dimension assure la liaison et l'étanchéité du montage (Fig. 25 ter).

2) Méthodes rapides.

a) Méthode d'injection au fil (Voir Fig. 23).

b) Méthode d'injection au bourrelet.

La feuille choisie est coupée à la base de son pétiole, très proprement. On extrait avec des pinces, d'un tube métallique étiqueté et bouché, un tampon d'ouate qui a été imbibé d'une solution nutritive ou colorée, puis légèrement pressé. On l'applique sur la coupure, puis on le fixe et on l'isole avec une bande adhésive imperméable (Fig. 28).

II. — INJECTION DANS LES JEUNES BRANCHES

1) Méthode normale.

De telles injections nécessitent un volume de liquide beaucoup plus important que dans les méthodes précédentes. Le plus souvent, le liquide pénètre par des trous dont le nombre et les dimensions sont déter-

(1) Voir Fruits d'Outre Mer, vol. 2, n° 9, 1947, page 285.

minés en fonction du diamètre de la branche ou du tronc. La solution ne peut diffuser que si la coupure du trou est propre et nette. Toutes ces exigences se traduisent par l'emploi d'un appareillage qui assure une bonne réalisation de l'injection.

Le réservoir.

Le réservoir contenant le liquide est en carton léger imprégné de cire, ce qui permet un transport facile par emboîtement. Il a la dimension d'un gobelet ordinaire.

Deux trous sont percés dans le sommet du gobelet, dans la partie de celui-ci où le carton est doublé. Une ficelle assez épaisse pour fermer ces trous est passée au travers, comme le montre la figure 31. La suspension du gobelet doit être assez solide pour résister aux intempéries, sauf toutefois lorsque le vent est très fort.

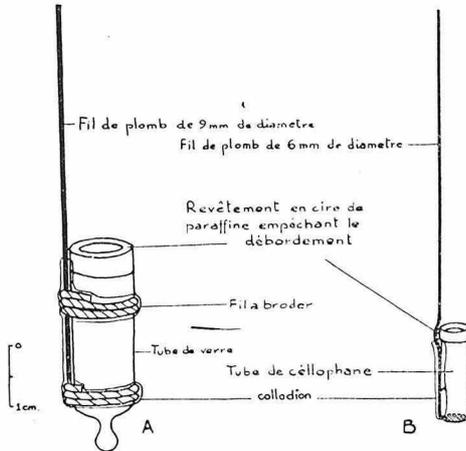


Fig. 25.

Dans le fond du réservoir, on perce un trou à l'aide d'un alésoir à long manche, le travail étant fait de l'intérieur vers l'extérieur de façon à laisser un petit rebord externe (Fig. 31). On coupe ensuite une longueur de 50 à 55 mm d'un tube en caoutchouc d'un diamètre extérieur de 2 mm, dont l'extrémité, humectée sur la partie externe avec une dissolution de caoutchouc (en prenant soin qu'il n'en passe pas à l'intérieur du tube de peur de l'obstruer), est insérée dans le trou pratiqué au fond du réservoir de façon qu'elle affleure au niveau intérieur du carton. On obtient une fixation solide de cette extrémité du tube en caoutchouc en appliquant sur la surface externe du fond du réservoir, et autour du tube, un enduit important de dissolution de caoutchouc.

De cette façon, le tube en caoutchouc est assez solidement fixé pour qu'en le laissant pendre il ne se décolle pas du réservoir.

Forage du trou.

α — Matériel. — Le forage d'un trou exige :

a) Deux tampons de caoutchouc L et N (Fig. 31) mesurant chacun $4 \times 2,5$ cm pour une branche assez grosse (la dimension peut être

réduite pour une branche plus petite) qui sont coupés dans une plaque de caoutchouc vulcanisé d'environ 3 mm d'épaisseur. Un petit trou est percé

au centre de chaque tampon. Dans ce trou, on insère l'extrémité d'un tube de verre long de 1,5 cm et de 2 mm de diamètre.

Ce tube dépasse très légèrement le tampon de caoutchouc du côté extérieur à la branche. L'extrémité du tube du tampon L est introduite dans le tube de caoutchouc C.

L'extrémité du tube du tampon N est obturée par un petit chapeau H, constitué d'un morceau de tube en caoutchouc dans lequel on a introduit une baguette de verre.

b) Pour éviter le déchirement des tissus de l'extrémité du trou opposée au point où commence le forage, il faut appliquer contre celle-ci, durant l'opération, une pièce en caoutchouc vulcanisé mesurant $4 \times 2,5 \times 1,25$ cm.

c) Une paire de callipres ou un pied à coulisse, ou un ruban métrique pour mesurer le diamètre ou la circonférence de la branche à traiter.

d) Pour des branches de 5 à 30 mm de diamètre, on emploiera des forets métalliques dont le diamètre est indiqué dans le tableau ci-après et qui sont représentés par la figure 29 B. Le manche H₂ est recouvert d'un tube de caoutchouc G de façon à améliorer la prise. Pour obtenir un bon travail, on applique, à l'endroit où l'on veut percer la branche, l'outil marqueur C, indiqué sur la figure 29, qui est constitué d'un tube d'acier T dont le diamètre intérieur est tel qu'il glisse librement sur le foret approprié. On utilise, en outre, l'outil A de la figure 29 qui est

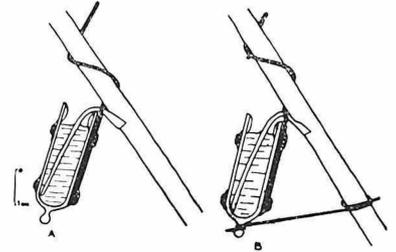


Fig. 25 bis. — Méthode de fixation des gobelets d'injection à la tige de la plante. On emploie normalement la méthode indiquée en A, à moins que le pétiole ne soit trop raide, cas dans lequel on emploie la méthode indiquée en B.

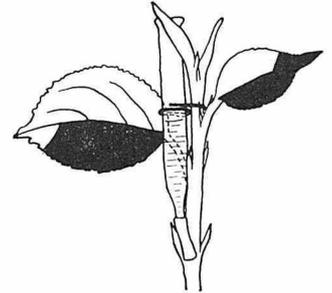


Fig. 25 ter. — Injection d'un pétiole. Le liquide se trouve dans un tube de verre qui est fixé au chicot du pétiole au moyen d'un tube de caoutchouc. Les zones pénétrées sont en noir.

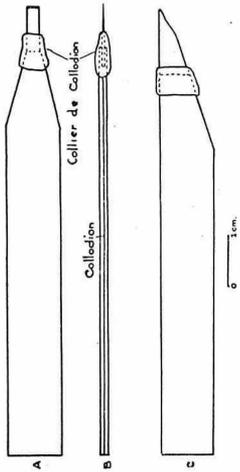


Fig. 26. — Scalpels à injection.
A : vue de face et B : vue de profil du scalpel à pointe en ciseau pour injection internervale.
C : vue de face du scalpel pour injection dans les pétioles.

formé d'une lame métallique R, d'un diamètre égal à celui du foret à employer, pourvue d'un manche H et dont l'extrémité libre est coupante.

e) Pour des branches d'un diamètre variant de 30 à 75 mm, on emploie les appareils indiqués sur la figure 30. L'appareil A de cette figure est l'équivalent de l'appareil C de la figure 29. Il permet de marquer l'emplacement du trou de forage et d'enlever la bande d'écorce sous-jacente. L'appareil B est l'équivalent de l'appareil A (Fig. 29). La figure 30 C ind que comment on emploie conjointement les appareils A et B.

L'appareil D de la figure 30 représente la mèche de RUSSEL JENNINGS, à forer le bois. Cette mèche est montée sur un tournevis dont la tige métallique a été coupée. L'appareil E de la figure 30 représente l'appareil B de la même figure dont la pointe a été remplacée par un foret.

f) Lorsque le diamètre des branches est supérieur à 75 mm, on utilise le matériel que nous indiquerons pour traiter les troncs.

Les dimensions respectives des branches et des forets correspondant sont les suivantes :

Diamètre de la branche en $\frac{m}{m}$...	6,5 à 20	20 à 22	22 à 31	31 à 45	45 à 75
Diamètre de la mèche (ou du trou) en $\frac{m}{m}$	1,5	2,35	3	4,7	6

β — Technique.

On procède à une série de manipulations qui ont pour but d'éviter toute déchirure et d'obtenir des plaies propres et nettes de toute entaille inutile. On utilisera toujours des outils coupant bien, manœuvrés sans pression superflue, car il importe de ne pas arracher des morceaux de fibres de bois qui boucheraient les vaisseaux conducteurs. Le trou fait dans le cambium doit toujours être aussi réduit que possible pour obtenir une cicatrisation rapide.

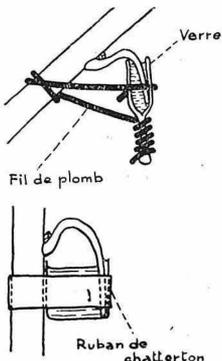


Fig. 27. — Injection par un pétiole.

On commence tout d'abord à râcler avec soin la zone où se fera le forage puis, à l'endroit choisi, à une dizaine de cm de toute ramification, on plante le tube marqueur C (Fig. 29). A l'intérieur de celui-ci est passé l'outil A (Fig. 29) dont la pointe déchiquette l'écorce dans l'anneau délimité par C. On enlève l'ensemble pour chasser le piston d'écorce qui encombre C, puis on replace cet outil à travers lequel on dispose la mèche de dimension convenable et on commence le forage que l'on conduit avec modération. Quand on est sur le point d'atteindre le côté diamétralement opposé, on applique la pièce de caoutchouc indiquée à l'alinéa ci-dessus b du paragraphe *Matériel*. Dès que la pointe de la mèche apparaît, on arrête le forage et, à cet endroit, on enlève le morceau d'écorce, par rotation du tube marqueur. Ainsi, on évite toute déchirure.

Pour les branches d'un diamètre supérieur à 22 mm, on utilise un outillage un peu modifié (Fig. 30). A l'emplacement choisi, A délimite une circonférence ; B à travers A (Fig. 30 C) nettoie l'écorce jusqu'au bois, le tampon d'écorce est expulsé et le centre de la circonférence apparaît nettement marqué par l'extrémité aigüe de B. La pointe de la mèche choisie (Fig. 30 D) est appliquée en ce point, et le forage proprement dit commence. On l'arrête quand une marque, que l'on a pris soin de faire sur la mèche, atteint le bois : elle délimite un trou représentant les 3/4 du diamètre de la branche. Le forage sera poursuivi ensuite avec une mèche beaucoup plus petite (Fig. 30 E) jusqu'à ce qu'on rencontre la plaque de caoutchouc fermement appuyée à l'endroit où la pointe du foret apparaît. On applique à cette extrémité le tube A et on nettoie l'écorce à l'aide de B ; enfin, on ajuste le trou avec la mèche du diamètre convenable.

Deux tampons, L et N (Fig. 31), de 4 × 2,5 cm pour les grosses branches, sont découpés dans du caoutchouc de 3 mm d'épaisseur. Un petit trou est percé au centre, par où passe un tube de verre de 15 mm de long et de 2 mm de diamètre. Les deux tampons sont solidement fixés à la branche et on engage chaque tube de verre

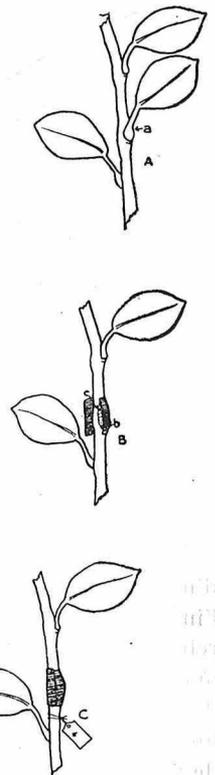


Fig. 28.

dans une extrémité du trou. L'un des tubes est connecté avec le tuyau de caoutchouc C venant du réservoir, l'autre est passé dans un tuyau semblable mais très court dont l'extrémité est obturée par une baguette de verre H. Les deux petits tuyaux, ainsi que les tampons, sont maintenus solidement fixés à la branche par une lanière de caoutchouc enroulée comme l'indiquent les figures 32.

Le réservoir étant fixé à la branche, le tube C (Fig. 31) n'est pas connecté avec le tube de verre. On commence à remplir le réservoir, et quand

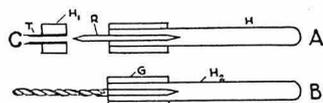


Fig. 29.

le liquide jaillit par l'orifice libre du tuyau de caoutchouc, on obture celui-ci durant le remplissage. On branche le tuyau lorsque le réservoir est plein, et dès que le liquide

sort à l'autre extrémité du trou de forage, on adapte l'obturateur H qui force le liquide à pénétrer dans les tissus de la branche.

Cette façon d'opérer permet de se rendre compte de l'état de propreté du trou. Si la solution ne coulait pas assez, il faudrait procéder à un nettoyage intégral du canal d'injection et du trou de forage.

REMARQUE.

Il convient de signaler trois autres montages très simples, utilisés surtout dans un but d'études.

Dans les deux premiers montages, les rameaux sont coupés sous l'eau, près du méristème apical. Le premier consiste à utiliser un petit tube de verre dont une extrémité s'applique exactement sur la coupe et qui est maintenu verticalement par une bague de caoutchouc (Fig. 33). Le deuxième, plus simple, comporte un récipient contenant la solution dans lequel on recourbe le rameau coupé (Fig. 34).

Le troisième montage appelé méthode de LEACH, est tout aussi aisément réalisé, quoiqu'on utilise un matériel plus important. Il convient de choisir deux rameaux de même valeur ; l'un est coupé sous l'eau vers son milieu et ployé dans un réservoir cylindrique, solidement fixé à la grosse branche la plus proche (Fig. 35). Ce réservoir est obturé par un tampon d'ouate non en contact avec le liquide.

Cette méthode appliquée à de plus grosses branches est appelée méthode de COLLISON, HARLAN et SWEENEY.

2) MÉTHODE RAPIDE.

La méthode d'injection au fil n'est applicable qu'aux très jeunes rameaux.

III. — INJECTION DANS LE TRONC OU LES GROSSES BRANCHES

A. — INJECTION NORMALE.

Le trou, qui ne traverse pas le tronc, est creusé avec les précautions déjà indiquées ; des outils du même type mais plus grands sont employés. La dimension du foret est choisie d'après le tableau suivant (longueur en cm) :

Diamètre du tronc	Circonférence du tronc	Profondeur du trou à creuser	Longueur de la vis à employer
7,50	22,90	2,50	5
10	33	3,80	6,35
12,70	40,65	5	7,60
15,25	48,20	6,35	8,90
17,80	53,35	7,60	10,15
20,30	63,50	8,90	11,45

On doit disposer (Fig. 36) :

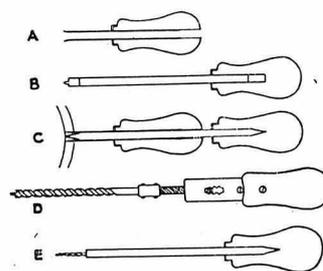
D'un bloc de caoutchouc D d'environ 25 à 30 mm de long sur 15 à 20 mm de large traversé, dans le sens de la largeur, d'un trou de 6 mm de diamètre ; du milieu de ce trou et perpendiculairement on creuse un canal de 4 mm où est inséré un tube de caoutchouc C qui est maintenu en place par un petit tube de verre E.

D'une petite rondelle de caoutchouc H qui doit faire un joint étanche avec la vis à bois J.

D'une plaquette métallique L par où passera la tige de la vis J qui fixe l'ensemble.

D'une série de godets en contreplaqué de forme tronconique, pouvant s'emboîter les uns dans les autres. Ils sont de deux dimensions : les uns d'une contenance de 16 litres, les autres d'une contenance de 8 litres (Fig. 37).

Fig. 30. — Appareils pour injecter de grosses branches.



On creuse deux petits trous ronds d'environ 5 mm de diamètre dans le fond de chaque petit godet, ou quatre dans le fond d'un grand godet.

On imperméabilise les godets par immersion dans la paraffine chaude jusqu'à ce que les bulles d'air cessent de monter.

Dans chaque trou on branche au fond des godets un tube de verre d'un diamètre d'environ 2,5 mm, entouré, pour obtenir une étanchéité suffisante des orifices,

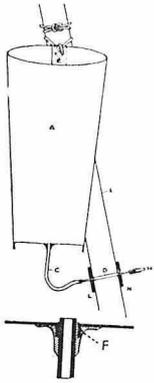


Fig. 31. — Méthode d'injection de petites branches. Le liquide est contenu dans un gobelet en carton A fixé à la branche B et conduit par le tube de caoutchouc C au trou D percé suivant le diamètre de la branche.

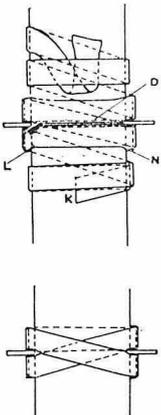


Fig. 32.

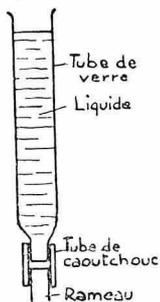


Fig. 33. — Injection d'une extrémité d'un rameau raide.

d'un petit tube de caoutchouc; l'ensemble doit affleurer le fond du récipient.

Le récipient est ensuite rempli (les tubes de caoutchouc étant obturés par une petite baguette de verre) et on dispose l'appareillage de la manière suivante :

On fait passer la vis à bois dans la plaque métallique L, la rondelle H, le bloc de caoutchouc D (Fig. 36).

On introduit avec précaution la vis à bois dans le forage, de sorte que le système ne soit pas étanche. On le relie au godet, et le liquide pénètre peu à peu dans le trou dont il chasse l'air; quand le ruissellement se manifeste à l'extérieur, on visse solidement le dispositif pour assurer une obturation parfaite et l'injection commence.

Un autre dispositif plus simple a été adopté dernièrement (Fig. 38). A l'extrémité et autour d'un des orifices du trou de forage, on enlève un anneau d'écorce. Le rapport du diamètre du trou au diamètre de l'anneau doit être de 2/3. On enfonce ensuite dans l'orifice ainsi élargi, l'extrémité effilée d'une cheville de bois dur, au centre de laquelle passe un tube de caoutchouc reliant celle-ci (et le trou du forage) au réservoir contenant la solution à injecter. La cheville n'est solidement enfoncée que lorsqu'on a chassé l'air contenu dans le trou de forage. On doit éviter de léser le bois et l'écorce par des manipulations trop brutales.

Position du réservoir.

On a constaté que la hauteur du réservoir n'influe pas sensiblement sur la quantité de liquide injecté, même lorsque ce réservoir est situé à 2,5 m au-dessus du niveau du trou de forage.

B. — INJECTION SOUS PRESSION

1) Basses pressions.

Certains expérimentateurs ont utilisé une lampe à souder Primus dont ils ont enlevé une partie du tube d'où naît la flamme, en laissant une hauteur de 5 à

7 cm de ce dernier. Ils y ont fixé un tube de caoutchouc dont l'autre extrémité était terminée par un tube de verre traversant un bouchon de caoutchouc (1).

Ils ont foré un trou de moins de 1 cm de diamètre pour les petits arbres et les petites branches, de 1,5 cm pour les sujets plus gros, dans lequel fut enfoncé le tube de verre précité.

La pompe de la lampe injectait le liquide sous une pression de 2,80 kg par cm^2 . Les auteurs ont employé 500 cm^3 de solution par injection, ce qui correspond au débit horaire de l'appareil. Un manipulateur peut s'occuper simultanément de 8 appareils et faire une soixantaine d'injections dans une journée.

2) Hautes pressions.

La pompe « Ki Gass Petrol Mist Injector » (2) fut employée. Son piston a 1 cm de diamètre et donne aisément une pression d'une atmosphère sur le liquide, mais on peut facilement obtenir plusieurs atmosphères. L'injecteur est terminé par un jet tronconique dont les bases ont des diamètres de 1,1 cm et 0,6 cm et dont la hauteur mesure 3 cm. Avec une mèche de 6 mm on fit, à 30 cm au-dessus du sol, un trou légèrement inférieur au diamètre (11 cm) du tronc d'un pommier de 13 ans. On enfonça fortement l'extrémité du jet dans l'orifice du forage après que l'air ait été chassé par une solution de thiosulfate de sodium à N/100.

On commença alors à pomper; en 3 minutes, 800 cm^3 de solution furent injectés. On peut ainsi utiliser rapidement plusieurs litres de solution.

Enfin, signalons qu'en Amérique on a injecté avec succès, dans des *Citrus*, une dizaine de litres par arbre d'une solution contenant 50 à 100 g de sulfate ferreux. Le trou d'injection avait 1 cm de diamètre et 10 cm de long et on y avait vissé un ajutage en cuivre. Un compresseur envoyait la solution sous une pression de 5 à 7 kg/cm^2 .

Il convient de noter que des injections sous des pressions exagérées ont provoqué un décollement de l'écorce.

IV. — INJECTION SOLIDE

Les sels sont apportés à l'intérieur de trous forés dans de grosses branches ou le tronc et sous forme de pastilles standardisées.

Il convient de maintenir les trous dans un parfait état de propreté, car, forés en hiver ou au commencement du printemps, ils sont exposés aux intempéries durant tout un cycle végétatif. Aussi, la cicatrisation doit-elle être rapide. On creuse plusieurs trous par arbre et leur nombre est fonction du diamètre du tronc. Les auteurs ont construit une règle en

(1) Subtropical Horticultural Research Station, Nelspruit Eastern Transvaal.

(2) MM. ROTHERHAM and SONS, Ltd Coventry.

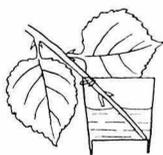


Fig. 34. — Injection de l'extrémité d'un rameau pouvant être courbé.

caoutchouc (Fig. 39) sur laquelle on a dessiné une série de rectangles de 7,5 cm de largeur portant en haut le nombre de pastilles à mettre dans chaque trou et en haut ou en bas la position des trous à forer. On applique sur le tronc le début de la graduation de la règle qu'on développe autour de l'arbre. On fait la lecture là où la règle s'applique sur elle-même. La coïncidence des deux extrémités de celle-ci peut se faire entre deux traits, et pour ne pas couper une pastille en deux, on met alternativement dans les trous le nombre supérieur et le nombre inférieur indiqués par la lecture. Pour un arbre de dimensions moyennes, on creuse dans l'écorce des trous de 16 mm de diamètre, puis dans le bois, on les réduit à 12,5 mm. Ils doivent être nets, sans arrachage ni déchirure ; dans le cas contraire, il faut rafraîchir les plaies.

On utilise, pour enfoncer les pastilles dans le trou, un cylindre métallique de 12,5 mm. de diamètre intérieur et de 16 mm de diamètre extérieur. Une des extrémités est taillée en biseau, dans l'autre se meut un piston, emmanché à l'extérieur et pourvu, à l'intérieur, d'un tampon de liège de 12,5 mm de diamètre et de 6 à 7 cm d'épaisseur (Fig. 40).

Les pastilles de 1 g sont placées dans le cylindre, et on applique celui-ci par son extrémité en biseau sur le bois du tronc foré. Le piston est poussé et les pastilles glissent jusqu'au fond du trou. Le piston a la même longueur que le tube métallique et ne dépasse pas l'écorce. Seul le tampon amovible en liège pénètre dans le bois.

V. — LES SOLUTIONS

Etude de l'extension de la substance injectée.

Les chercheurs se sont toujours servis de colorants dans un but d'étude. Leur progression est rapide et facilement décelable, mais elle n'est pas la même pour tous. La chromatographie a rendu familier ce phénomène de la séparation des solutions sur un support.

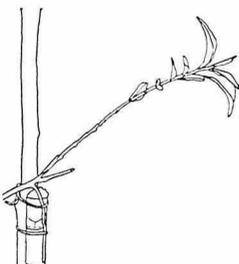


Fig. 35. — Méthode de LEACH.

Voici dans l'ordre de rapidité de diffusion décroissante le classement des colorants :

- 1 Fuchsine acide.
- 2 Vert lumière.
- 3 Lissamine Fast Yellow.
- 4 Patent blue.
- 5 Rouge ponceau.
- 6 Bleu à l'eau.
- 7 Tartrazine.

- | | |
|--------------------------|-----------------------|
| 8 Amarante. | 16 Bleu de méthylène. |
| 9 Azogéranine. | 17 Méthyl orange. |
| 10 Lissamine Fast Red. | 18 Violet de Méthyle. |
| 11 Coomassie Yellow. | 19 Rouge neutre. |
| 12 Bleu Solway. | 20 Rouge Congo. |
| 13 Bleu à l'ammoniaque. | 21 Violet Cristal. |
| 14 Eosine Erythrosine A. | 22 Fuchsine. |
| 15 Eosine Erythrosine B. | 23 Brun Bismarck. |

CASE a trouvé que le Méthyl orange « G » est une teinture rouge satisfaisante. L'avis des chercheurs est partagé sur le bleu de méthylène. Les colorants les plus favorables sont la fuchsine acide, le vert lumière, le Patent blue. La coloration vitale est obtenue à la concentration de 0,1 %, mais on utilise couramment la concentration de 0,5 %. Le colorant le moins nocif est le Patent blue.

La pureté des colorants est une qualité primordiale. Bien des accidents, attribués à des concentrations excessives, étaient dus à des impuretés.

Enfin, colorants et substances nutritives se comportent d'une manière semblable dans le végétal. Dans l'étude de la pénétration des liquides d'injection, on peut utiliser des solutions d'ions métalliques, et l'on analyse ensuite, au spectrographe, si on le peut, des portions de la plante convenablement choisies pour localiser

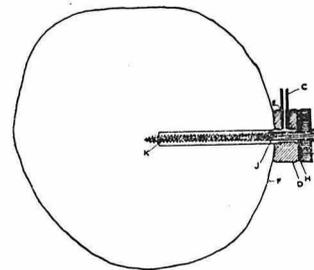


Fig. 36. — Injection d'arbre entier. Le liquide pénètre par le tube de caoutchouc C et, par l'espace compris entre la vis et la paroi du trou, dans le tronc de l'arbre.

l'invasion. Mais on se sert plus communément de solutions colorées qui modifient l'aspect du limbe au fur et à mesure qu'elles l'envahissent. Cependant, il arrive que cette méthode présente des difficultés d'application, quand on travaille sur un matériel très foncé ou quand on assiste, comme chez le caféier, à la formation de leuco-dérivés.

Dosage des solutions nutritives.

Pour passer ensuite sur le plan pratique de l'alimentation de l'arbre, il faut doser les solutions nutritives. On fait un dosage biologique, et l'expérimentateur est guidé par la nature et l'importance des dommages causés à la feuille par des concentrations excessives.

On a classé les dommages en deux catégories (Fig. 41).

Le *dommage marginal* se produit chez les feuilles adultes qui prennent un aspect desséché sur une mince bande périphérique, puis virent au brun, deviennent cassantes, se brisent aisément et peuvent tomber. Cette altération du limbe peut s'étendre entre les nervures donnant à la partie saine l'aspect lobé

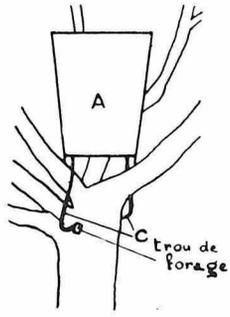


Fig. 37. — Injection de l'arbre entier. Le liquide est contenu dans un réservoir A et introduit par un tube de caoutchouc C dans le trou de forage percé dans le tronc.

d'une feuille de chêne. Ce dommage est causé par des concentrations trop fortes de sels non toxiques de Potassium, Sodium, Calcium, Magnésium.

Les signes de dommages constatés le long des nervures se rencontrent chez les jeunes feuilles où ils sont provoqués par des concentrations élevées de toute substance, et chez les feuilles adultes par des sels moins inoffensifs, tels que les sels de Fer ou les composés organiques. C'est

un brunissement qui apparaît de part et d'autre de la nervure principale et des nervures secondaires et qui peut s'étendre assez loin d'elles.

Mais, ce qui différencie surtout ces deux réactions de la plante d'un excès de concentration des solutions, c'est le temps qu'elles mettent pour se manifester.

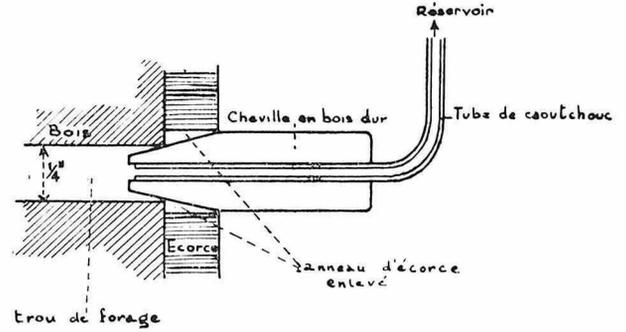


Fig. 38.

Quelques heures après, on note la concentration la plus faible à laquelle le dommage marginal apparaît. Une légère dilution évitera tout accident.

Pour doser des solutions de sels toxiques on opère comme précédemment avec des sels inoffensifs, tels que le sulfate de Potassium et on se sert des résultats obtenus ainsi pour déterminer la valeur approchée du titre de la solution du sel toxique à employer. On diluera

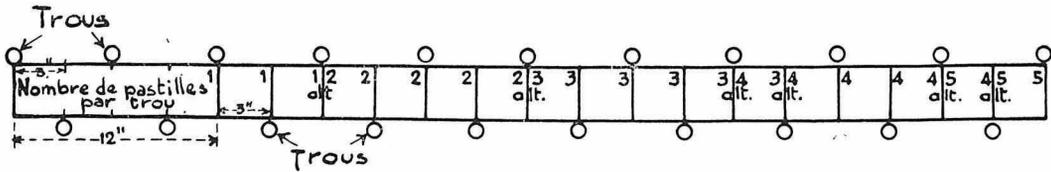


Fig. 39. — Bande de caoutchouc calibrée pour déterminer les caractéristiques des trous d'injection et le nombre de pastilles à employer. Cette bande est enroulée autour de l'arbre, la ligne la plus rapprochée de l'endroit où le commencement de la bande recouvre l'autre extrémité indique le nombre de pastilles à introduire dans le trou.

Tandis que le dommage marginal se voit immédiatement, le dommage le long des nervures apparaît une semaine environ après l'injection. Cette différence est capitale et c'est sur elle que repose le dosage.

Pour doser des solutions de sels non toxiques, on injecte une gamme de concentrations croissantes.

la solution ferrique par exemple au dixième de la concentration la plus faible de SO_4K_2 qui a causé le dommage marginal. Il ne restera plus qu'à vérifier la non toxicité de la solution obtenue.

Tous les éléments peuvent être injectés, mais à des concentrations variables selon la méthode. En général :

	Méthode du tube	Méthode du fil	Méthode du bourrelet
L'Azote est injecté sous forme d'urée en solution à une concentration de.....	1 %		
Le Phosphore est injecté sous forme de Phosphate monosodique	0,5 %		
Le Potassium est injecté sous forme de Chlorure ou Sulfate de Potassium.....	1 %		
Le Calcium est injecté sous forme de Chlorure de Calcium....	1 %		
Le Magnésium est injecté sous forme de Sulfate de Magnésium	0,5 %		
Le Bore est injecté sous forme d'Acide Borique	0,1 %		
Le Fer est injecté sous forme de Sulfate Ferreux.....	0,025 %	1 à 0,5 %	0,5 à 0,1 %
ou Citrate Ferreux	0,05 %	plus 0,1 % SO_4H_2	plus 0,1 % SO_4H_2
Le Manganèse est injecté sous forme de Sulfate de Manganèse	0,025 %	10 % à 1 %	1 à 0,1 %
Le Zinc est injecté sous forme de Sulfate de Zinc.....	0,025 %	plus 0,1 % SO_4H_2	plus 0,1 % SO_4H_2
Le Cuivre est injecté sous forme de Sulfate de Cuivre	0,025 %		
Le Nickel est injecté sous forme de Sulfate de Nickel.....	0,025 %		

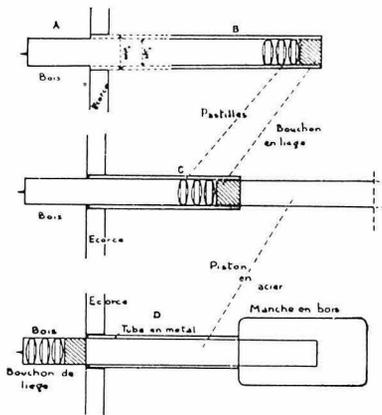


Fig. 40. — Profils montrant la méthode d'injection d'une branche en utilisant des substances sous forme de pastilles. A : trou creusé dans l'écorce et dans le bois, B : tube de métal avec le bouchon de liège et les pastilles en place, C : tube introduit dans le trou percé dans l'écorce jusqu'à l'ouverture du trou creusé dans le bois (l'extrémité du piston est prête à pousser le liège et les pastilles dans le bois), D : bouchon et pastilles mis en place dans le trou d'injection.

solution neutre à 0,05 % de sulfate double de potassium et de 8-hydroxyquinoléine contre *Ceratostomella Ulmi*.

Pour éviter la précipitation des éléments métalliques au contact du milieu interne du végétal, il est bon d'ajouter à la solution 0,025 % en volume d'acide sulfurique pur, dans la méthode du tube. On utilise couramment, pour chasser l'air des trous avant l'injection, une solution de thiosulfate de sodium N/100. Cette solution en injection a servi à lutter contre le mildiou du pommier, ainsi qu'une

Ces procédures ne dispensent pas de l'expérimentation dans les conditions de la culture, qui seule permettra de préciser les caractéristiques de la fumure à apporter.

Analyse statistique des résultats de l'injection.

Si on obtient une pénétration de l'injection dans une partie seulement de chacune des feuilles traitées, la comparaison est sans ambiguïté, puisque le limbe témoin et le limbe injecté sont pris sur la même feuille et ne sont séparés que par une nervure. Les chercheurs anglais ont en effet calculé que la probabilité de trouver dans le limbe non traité d'une feuille présentant des symptômes de carence, une zone en meilleure santé que le reste de la feuille, était de 1/1000. Si l'essai est mené en double, la probabilité devient 1/1000000, degré de précision rarement atteint.

Supposons toutes les feuilles d'un arbre affectées, et faisons une injection sur une seule d'entre elles. Si elle prend une apparence de bonne santé, la certitude est pratiquement absolue. Mais en fait, on doit se baser sur le rapport existant entre le nombre de feuilles ayant également une apparence de bonne santé et le nombre total de feuilles comparables non traitées sur l'arbre. La précision de l'injection est alors calculée selon les règles courantes des probabilités.

CHAPITRE III

L'INJECTION TECHNIQUE AGRONOMIQUE

L'injection se propose deux buts :

- le diagnostic d'une alimentation défectueuse,
- l'amélioration de celle-ci.

A. — DIAGNOSTIC DES DÉFECTUOSITÉS DE L'ALIMENTATION

Il s'agit de rechercher l'élément ou les éléments dont une absorption déficiente trouble le métabolisme. Pour des expérimentateurs avisés, l'observation des symptômes du feuillage, des rameaux et des fruits donne déjà de précieuses indications sur la nature de la carence, mais, en général, elle ne permet pas de conclure d'une manière formelle. Il faut compléter les données de l'observation des feuilles par l'analyse de celles-ci, et par la culture de la plante en cause sur milieu nutritif artificiel carencé, de façon à déceler sans ambiguïté l'effet de l'absence d'un élément.

La valeur de la méthode de l'injection est due au fait que le diagnostic et l'expérimentation ne font qu'un dans la pratique : on conclut à la carence d'un élément lorsque son apport provoque la disparition des symptômes de sa déficience sur les feuilles traitées. L'analyse des organes malades complète le diagnostic fourni par l'injection.

B. — LUTTE CONTRE LES MALADIES.

La méthode de l'injection ambitionne de guérir non seulement des maladies physiologiques, mais aussi les maladies parasitaires, plus particulièrement les affections fongiques. C'était d'ailleurs le but des premiers expérimentateurs.

L'histoire de l'injection est jalonnée des résultats obtenus dans la lutte contre la chlorose. Depuis longtemps, le sulfate ferreux a été utilisé, puis on s'est servi de sels moins toxiques tels que le tartrate double de Potassium et de Fer ferrique, le pyrophosphate de Fer, l'oxalate double d'Ammonium et de Fer ferrique. On lutte maintenant contre les carences de Zinc, de Cuivre, de Bore, par cette méthode. ANDERSSON, en Afrique du Sud, guérit par une solution

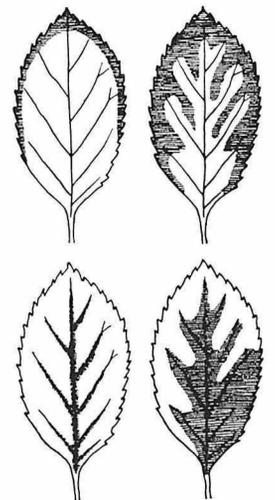


Fig. 41. — Dégâts causés par injection de feuille. En haut : à gauche marginaux, à droite internervaux. En bas : à gauche nervaux moyens, à droite nervaux importants.

de SO_4Cu à 0,3 p.p.m. de Cu une chlorose accompagnée de chutes de fruits. CHANDLER, HOAGLAND et HIBBARD, firent disparaître par injection de sulfate de Zinc la « rosette » chez divers arbres fruitiers. De même, la carence en Bore fut traitée avec succès par l'injection en divers pays : par ATKINSON en Nouvelle Zélande, MAC LARTY au Canada, JAMALAINEN en Finlande.

Si la valeur de diagnostic de l'injection est indéniable puisqu'elle prouve indubitablement que tel élément guérit une affection déterminée, par contre, en tant que correctif du métabolisme des arbres, elle semble peu connue des praticiens qui lui préfèrent encore les pulvérisations. Et pourtant celles-ci sont loin de donner intégralement satisfaction, bien qu'elles constituent un progrès important dans la lutte contre les troubles de la nutrition. Leur grand avantage est leur facilité d'application. Il est incontestable que creuser un ou plusieurs trous dans chaque arbre d'un verger est long et générateur de risques d'infection. L'injection est pourtant le seul moyen qui donne l'assurance que tout l'élément apporté est utilisé par l'arbre : pas de rétrogradation ni d'insolubilisation dans le sol, pas d'entraînement par les pluies.

Elle permet, par conséquent, une action immédiate dans la lutte contre les troubles de la nutrition : le métabolisme de l'arbre est très vite corrigé et une bonne récolte est rapidement obtenue. On peut, pendant ce temps, entreprendre le redressement du comportement du sol, redressement toujours lent puisqu'il s'agit en général d'élever le taux des matières organiques ou de saturer le complexe absorbant. Tout le long de cette évolution, sans injection, le phénomène qui dissimule l'élément déficient à la plante continuerait à faire sentir son action, tant que le sol n'aurait pas retrouvé ses qualités normales : cela se traduirait par plusieurs récoltes déficitaires et souvent de mauvaise qualité.

Enfin, les grandes cultures fruitières sont quelquefois établies en une contrée de sol hétérogène. L'amélioration de la culture d'un tel pays nécessiterait un plan de travail extrêmement détaillé quant aux problèmes des porte-greffes et de la fumure : ce serait une œuvre de longue haleine et très onéreuse. Il est alors bien plus aisé d'injecter le greffon avec les suppléments d'éléments minéraux que, dans chaque cas particulier, le sol lui donne avec parcimonie.

Dans la pratique il semble que l'injection solide soit préférée par les praticiens aux autres modes d'injection. Elle permet d'atteindre toutes les parties de l'arbre sans endommager la charpente, comme le ferait nécessairement l'injection liquide si on lui fixait le même but. Enfin, elle a sur cette dernière l'avantage d'une plus grande commodité.

La lutte contre les maladies parasitaires se fait par cette méthode avec les solutions les plus variées. Il s'agit, soit de rendre l'arbre très vigoureux grâce à une excellente nourriture et de le mettre ainsi

en état de lutter avec énergie contre les parasites, soit, plus généralement, de communiquer à l'arbre une nocivité aussi peu transitoire que possible.

La première technique est illustrée par la lutte contre la cochenille du Pommier, *Mytilaspis pomorum*, la cochenille du poirier, *Diaspis fallax*, grâce à des injections de liquide de Knop et de solutions d'éléments minéraux. De même, *Oligonichus ulmi* Koch et *Jassidae*, parasites du pommier, n'attaquèrent plus les arbres quand ils étaient injectés d'une solution de phosphate de Potassium et d'urée.

La deuxième technique est la plus courante : il est bien évident que la dose à appliquer ne doit être nocive que pour le parasite et ne pas affecter l'arbre. C'est le Cyanure de Potassium qui est le plus anciennement et le plus communément utilisé. SANFORD a montré, à la suite d'expériences sur le pêcher, que les fruits d'arbres injectés n'étaient pas vénéneux. La cochenille *Icerya Purchasi* qui parasitait un « Spanish broom » fut détruite de cette manière.

La lutte contre les champignons parasites est identique. Les invasions de mildiou des pommiers sont enrayerées par des injections de thiosulfate de sodium N/100 ; celles de *Ceratostomella Ulmi* des ormes sont jugulées par des injections d'une solution neutre à 0,05 % de sulfate double de Potassium et de 8-hydroxyquinoléine, qui paraît être l'anticryptogamique le plus actif en injection.

Enfin, on accroît la résistance des fruits aux champignons parasites en les injectant de solutions nutritives ou minérales soit quand ils sont encore sur l'arbre, soit après la cueillette. Des études sont en cours qui ont pour but la détermination des modifications apportées à l'activité physiologique des fruits à la suite d'injections. Il semble probant que de tels traitements facilitent la conservation des récoltes.

Signalons que certains ont tenté sans succès d'appliquer le principe de la vaccination aux végétaux.

CHAPITRE IV

L'INJECTION MÉTHODE D'ÉTUDE PHYSIOLOGIQUES

L'étude systématique de l'injection a amené les chercheurs à examiner l'important problème de la répartition du liquide injecté et, par conséquent, les voies qu'il empruntait. De nombreuses précisions ont été apportées sur la connaissance de l'anatomie vasculaire d'un grand nombre d'espèces végétales.

Mais c'est surtout dans le domaine du métabolisme que l'injection est une méthode féconde. Elle a servi à JESENKO qui étudiait la période de repos

des plantes : il a pu la raccourcir chez *Robinia pseudo-acacia* en injectant une solution à 0,17 % d'éther et 1 % d'alcool. De même, WEBER a noté l'éclosion de bourgeons dormants en les injectant d'eau à leur base.

MOREAU et VINET, qui étudiaient la mise à fruits chez la vigne, ont doublé le nombre de grappes en injectant du glucose dans le tronc. C'est aussi dans ce but que OINONE injectait un mélange de glucose et d'asparagine et observait les variations en rapport $\frac{C}{N}$.

XYER, SIDAPPA et SUBRAHMANYAN injectèrent des solutions de composés organiques dans un certain nombre de plantes, pour étudier leur croissance et leur reproduction sexuée.

CONCLUSION

Certains, peut-être, envisagent de faire une panacée universelle de l'injection. Il est tentant, en effet, de voir en elle le moyen idéal d'alimenter un arbre et de le prémunir contre les hôtes indésirables. Pourtant, en l'état actuel de la technique, il n'y faut pas songer.

S'il s'agit seulement d'accrocher à chaque arbre un récipient léger plein d'une solution dans laquelle on courbe un pétiole, on peut dire qu'on a là une méthode simple et pratique, mais ainsi, on ne peut atteindre l'arbre entier. Pour y parvenir il faut réaliser une injection solide. Une telle nécessité fera toujours hésiter un arboriculteur qui considérera avant tout les risques d'infection, et qui aussi lui fera répéter sur chaque arbre une opération longue et minutieuse nécessitant un personnel nombreux et entraîné. Sans doute préférera-t-il réserver une telle opération au traitement des quelques sujets affectés dispersés dans sa plantation. Il ne manquera pas d'utiliser les pulvérisations pour un traitement d'ensemble car elles sont d'une application bien plus facile et moins dangereuse, quoi que sans aucun doute moins efficaces.

C'est aux techniciens des engins mécaniques de réaliser la machine à injection. Il semble bien qu'elle sera la machine à injection solide, car seul ce mode de traitement agissant sur l'arbre entier, paraît susceptible d'application à grande échelle. Il faudra donc forer économiquement des trous dans tous les sujets d'un verger, et y glisser rapidement le nombre convenable de pastilles nutritives.

Alors, l'agriculture sera en possession d'une technique pouvant faire face avec souplesse aux exigences de la physiologie des arbres fruitiers.

En l'état actuel des choses, l'injection peut être regardée comme une méthode de dépistage des troubles de la nutrition. Si on ajoute les possibilités de lutte ou de protection préventive contre les hôtes indésirables, la faculté de servir à des études sur le métabolisme, on conçoit le parti que les chercheurs peuvent tirer de l'injection dans les plantes.

Mai 1947

BIBLIOGRAPHIE

- ROACH (W. A.). — Plant Injection for diagnostic and curative purposes, Imperial Bureau of Horticulture and Plantation Crops, Octobre 1938. Techn. Comm. n° 10. Nombreuses références bibliographiques.
- ROACH (W. A.) — Diagnostic of Mineral deficiencies and excesses by systematic leaf injection and analysis. East Malling Res. Sta. Ann. Rep. 1939 : 51-58.
- HILL (H.) and ROACH (W. A.). — Injection for the diagnostic of mineral deficiencies in the tomato, the potato and the broad bean. Ann. Bot. N. S. 4, 1940 : 505-592.
- ROACH (W. A.) and ROBERTS (W. O.). — Further work on Plant Injection for diagnostic and curative purposes. Imperial Bureau of Horticulture and Plantation Crops, 1945. Techn. Comm. n° 16.
- LAL (B. N.). — Plant injection methods for the diagnosis of mineral deficiencies in tobacco and the soya bean. Ann. Bot. 1945.
- ROBERTS (W. O.). — Simplifications of the ROACH method of the diagnostic Plant injection. J. Pomology, 1946, XXII, 3-4 : 184-8.
- MASSIBOT (J. A.). — La Technique des Essais culturaux et des études d'écologie agricole. 1946.