

L'INJECTION DE SUBSTANCES DANS LES PLANTES

par **J. A. MASSIBOT**

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

et **J. DUMAS**

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

AVANT-PROPOS

Les études de phytoagronomie agricole (1) ont pour but de préciser, dans des conditions écologiques naturelles déterminées (type génétique de sol, climat, facteurs sociaux), le mode de nutrition et, par voie de conséquence, les besoins alimentaires des plantes cultivées.

Elles font appel à des expériences culturales, exécutées dans les conditions de la pratique agricole, par lesquelles on cherche à préciser le mode de nutrition des végétaux soumis à différents traitements. L'expérimentation culturale entreprise doit conduire à déterminer le mode d'alimentation optimum de chaque végétal cultivé dans un milieu donné, ce mode d'alimentation conduisant, soit au rendement maximum, soit au profit maximum. Et elle aboutit également à préciser la fumure et les pratiques culturales qui, dans le milieu considéré, permettent au végétal examiné de fournir ce rendement ou ce profit maximum.

L'expérimentation culturale dont nous venons de parler permet, si le dispositif adopté est approprié au but poursuivi, de comparer l'efficacité des facteurs de variation mis en cause et de leurs diverses interactions, cette efficacité étant évaluée par leur action sur le rendement de la plante cultivée. Toutefois, l'action des facteurs de variation mis en cause et de leurs interactions sur le mode d'alimentation de la plante examinée n'est pas mise en évidence par la seule considération des rendements. Car si le rendement est l'expression finale de l'action des divers facteurs de croissance intervenant dans une expérience, il ne définit ni le mode de développement de la plante, ni son mode d'alimentation qui conditionne celui-ci.

Ces considérations montrent la nécessité de compléter la détermination du rendement des cultures expérimentales par le contrôle de leur mode d'alimentation dont on déduira les pratiques culturales, la fumure en particulier, permettant d'aboutir au rendement ou au profit maximum.

Pendant longtemps, on a cru, et certains agronomes croient encore, que la connaissance de la richesse d'un sol en éléments nutritifs suffisait pour préciser le mode d'alimentation et les besoins d'une culture qui y serait entreprise. L'analyse chimique mesure seulement la capacité potentielle de production du sol en appréciant ses réserves par des dissolvants sur lesquels l'accord est loin d'être unanime et qui, d'ailleurs, travaillent dans des conditions de contact avec le sol très différentes de celles réalisées par le système racinaire des végétaux. Et, jusqu'à présent, on n'a pas pu tenir compte de l'action réciproque des éléments nutritifs contenus dans le sol. Par ailleurs, l'analyse chimique du sol ne révèle rien en ce qui concerne l'importante

substance nutritive qu'est l'azote, car les quantités disponibles de cet élément sont dues en partie à l'activité biologique du sol.

On peut donc affirmer, qu'actuellement, l'analyse chimique qui ne donne qu'une idée statique des possibilités du sol et non une idée dynamique et qui ne tient pas compte des caractéristiques intrinsèques de la plante, ne permet pas de caractériser le mode d'alimentation de celle-ci, d'autant plus qu'il est matériellement très difficile de réunir un échantillon de sol vraiment représentatif.

Il est donc nécessaire de suivre le mode d'alimentation en s'adressant à la plante elle-même, particulièrement à ses feuilles qui reflètent fidèlement le niveau d'accumulation des éléments nutritifs minéraux dans le végétal.

Différentes méthodes ont été proposées. Signalons d'abord le diagnostic foliaire de LAGATU et MAUME, la triple analyse de LUNDEGARDH, qui sont à la fois quantitatives et qualitatives. Jusqu'à présent, les analyses des feuilles auxquelles elles font appel ont surtout tendu à doser N, P, K, parfois Ca, Mg. Diverses méthodes gravimétriques, colorimétriques et spectrographiques sont appliquées, soit aux cendres provenant de la calcination des feuilles séchées, soit aux liquides d'extraction obtenus par macération des feuilles dans des solutions acides. On n'a généralement pas tenu compte des autres éléments nutritifs, mais les travaux récents montrent qu'il y aurait lieu de doser également les corps négligés jusqu'ici, tels que S, Na, Fe, Mg, Ca, Mn, Bo, Zn, Cu, dont la carence a souvent été signalée sur les cultures fruitières tropicales. Et il serait sans doute utile d'examiner les différentes formes sous lesquelles se trouvent les corps considérés, certaines étant plus actives que d'autres.

L'étude du mode de nutrition des cultures expérimentales sera faite de préférence par le diagnostic foliaire, qui réalise une observation cinématique de l'alimentation qui « construit » la plante, ce qui permet d'en dégager le dynamisme. En effet, il a été montré, d'une part, que la végétation d'une plante annuelle et la végétation annuelle d'une plante pérenne correspondent à une évolution annuelle des besoins alimentaires, que l'on considère les quantités absolues de principes absorbés ou les rapports selon lesquels ils sont admis. D'autre part, on a constaté qu'une plante suit une évolution chimique variable avec les

(1) J. A. MASSIBOT. — La technique des essais culturaux et des études d'écologie agricole. G. Frère, Tourcoing, 1946, p. 467-516.

conditions du milieu (richesse du sol, climat, facteurs biotiques) ce qui consacre la plasticité chimique du végétal. Et il est certain que le développement végétatif n'est, en nature comme en intensité, que la traduction morphologique du train de nutrition.

LUNDEGARDH a proposé la triple analyse qui est une méthode d'exécution plus économique que le diagnostic foliaire qui nécessite de nombreuses analyses chimiques que l'on peut d'ailleurs mécaniser par l'emploi de méthodes et d'un matériel parfaitement appropriés et d'un personnel bien entraîné. Cette triple analyse part d'une conception statique de l'alimentation végétale. Elle se contente seulement d'étudier la teneur des feuilles des plantes des parcelles témoins des essais de fumure parvenues à leur maximum de développement qui se situe vers la floraison. Alors que le diagnostic foliaire cherche à caractériser le mode d'alimentation optimum d'un végétal donné cultivé dans un certain milieu conduisant au rendement maximum, la triple analyse permet de préciser le supplément de rendement auquel peut conduire une fumure déterminée apportée au végétal dans le milieu considéré. En outre, elle a l'avantage de mettre en évidence les interactions de facteurs chimiques sur lesquelles le diagnostic foliaire n'a pas assez insisté.

Toutefois, ces méthodes exigent une expérimentation culturale étendue et un travail de dosage dont l'importance ne saurait être sous-estimée. Certains auteurs ont pensé gagner du temps en déterminant qualitativement les causes d'une nutrition anormale. Ceci nécessite la caractérisation des symptômes apparents de chacune de ces diverses causes. Et plusieurs auteurs, T. WALLACE en Angleterre, A. F. CAMP en Floride notamment, ont publié des atlas de planches en couleurs montrant les symptômes de divers troubles de la nutrition de certaines plantes cultivées.

L'établissement de la cause du trouble constaté nécessite l'analyse des feuilles et des autres organes des plantes malades comparativement à ceux des plantes normales et la culture artificielle du végétal en milieux nutritifs carencés. Pour ce diagnostic, les données quantitatives ne sont d'ailleurs pas nécessaires dans la plupart des cas, et les méthodes rapides d'analyse qualitative faisant appel à la spectrographie rendent de grands services.

Cependant, lorsqu'on a constaté qu'une feuille est relativement pauvre en un élément nutritif, cela n'indique pas, qu'en y remédiant, on aboutira au rendement optimum, car le problème de la nutrition des cultures est généralement beaucoup plus complexe, les rapports physiologiques des divers éléments jouant un rôle considérable. De même, si les symptômes apparents d'une carence marquée d'un élément nutritif sont souvent assez caractéristiques, il n'en est pas toujours ainsi lorsqu'il s'agit d'un phénomène moins marqué ou plus complexe : carences simultanées de plusieurs éléments, carence d'un élément et excès simultané d'un autre élément, etc... Néanmoins, la connaissance de ces symptômes apparents rendra de grands services aux agronomes et aux cultivateurs.

Une plante présentant des symptômes d'une mauvaise nutrition, ROACH a, de son côté, cherché à en diagnostiquer la cause en procédant à l'introduction directe dans les tissus de celle-ci de différents éléments nutritifs : celui ou le groupe de ceux qui rendent à l'organe traité ses caractères habituels peuvent être considérés comme responsables des troubles constatés.

Cette méthode concourt à la détermination des symptômes apparents des troubles de la nutrition d'un végétal, mais, jusqu'à présent, elle n'a qu'un caractère qualitatif ; elle peut servir également à combattre les troubles constatés. Son emploi a été fait sur une échelle étendue en Angleterre et en Afrique du Sud.

Comme les autres méthodes qualitatives que nous avons signalées, cette méthode n'est pas une panacée. Elle peut permettre, à défaut ou avant d'entreprendre une expérimentation culturale, d'effectuer une étude préliminaire par laquelle il sera souvent possible de préciser quels sont les éléments nutritifs qui manquent à une plante. Elle facilitera la mise sur pied, elle abaissera le prix de revient et elle réduira la durée de l'expérience culturale qui conduira à fixer la fumure d'une plante (dose, relations entre les constituants, mode et époque d'application). Employée sur les plantes de bordure des parcelles traitées de l'expérience culturale, elle permettra de contrôler, dans une certaine mesure, l'efficacité des traitements mis en cause.

La méthode de ROACH complète donc avantageusement le diagnostic foliaire et la triple analyse. Toutefois, pour donner de bons résultats, elle doit être employée avec prudence, car il faut éviter les produits qui peuvent provoquer des troubles chez les organes traités.

En dehors de son utilisation en phytoagronomie, elle peut rendre des services notoires dans les études de physiologie végétale.

C'est pour ces diverses raisons que nous avons entrepris la synthèse des principales publications parues sur la méthode de ROACH. Et nous pensons que les milieux agronomiques de langue française seront intéressés par ce travail initialement rédigé à l'usage des stations de l'Institut des Fruits et Agrumes Coloniaux. Nous remercions le D^r ROACH qui a bien voulu nous autoriser à reproduire de nombreux dessins parus dans ses publications, et nos remerciements s'adressent également à ses éditeurs, l'Imperial Bureau of Horticulture and Plantation Crops et le Journal of Pomology and Horticultural Science.

INTRODUCTION

Injecter une plante ne doit pas être regardé comme l'entendrait un médecin ou un vétérinaire ; dans la majeure partie des cas, le liquide pénètre sans pression : seule la tension osmotique du milieu interne provoque la pénétration du liquide étranger dans la circulation, mais il faut dire aussi que le terme d'injection est employé même quand on introduit dans le végétal des substances solides.

L'injection n'a jamais été une pratique courante. Si, comme on pouvait s'y attendre, les grandes sociétés pastorales du Proche Orient et de l'Afrique n'en ont rien su, l'antiquité gréco-latine ne semble pas en avoir été davantage avertie. Il faut attendre l'Hispano-arabe HADJ, de Grenade, qui, en 1158 décrit plusieurs méthodes pour donner aux fruits des parfums et des qualités médicinales, le coloris aux fleurs, etc... Puis il faut sauter jusqu'au XVI^e siècle pour trouver trace de l'injection : ce fut ce prodigieux génie LÉONARD DE VINCI qui s'intéressa à cette méthode qu'il trouva pratique pour... empoisonner ses ennemis ; il faut croire qu'il n'alla pas plus loin sur la voie du crime. Il recommandait de creuser des trous jusqu'à la moelle et d'y verser avec une seringue de l'arsenic ou du réalgar sublimé,

puis il bouchait les trous avec des chevilles de bois.

En 1602 « The Orchard and Garden » suggérait de mettre des épices dans une branche percée jusqu'à la moelle pour parfumer les fruits, le trou étant bouché avec de l'écorce et de la bouse de vache. De même, le miel devait rendre doux les fruits âcres. Enfin, un mélange de poivre et de laurier était censé détruire les insectes mineurs.

Si l'on peut douter de l'efficacité de telles méthodes qui sont du domaine de l'imagination, on peut voir que, déjà, des hommes ont pensé à suppléer aux racines pour charger la sève des arbres selon leur désir. Il faut attendre le développement de l'esprit scientifique du XVIII^e siècle et du XIX^e pour trouver des travaux dignes d'intérêt.

La première observation sérieuse fut celle de MAGNOL, qui professait la Botanique à l'Université de Montpellier ; il signale, en 1709, qu'une solution colorée était absorbée par la section d'une tige et gagnait feuilles et fleurs en suivant un chemin qu'il étudia. Ce furent, en effet, les botanistes qui, examinant l'ascension de la sève, furent amenés à injecter des colorants très dilués dans les végétaux. D'autres observations suivirent jusqu'à celle de MARTY, en 1853, qui fit absorber à un arbre du pyrolignite de fer, contenu dans cinq réservoirs, par quatre trous au niveau du sol et sécants au centre d'un arbre. La disposition des zones voisines étaient étudiées. En 1871, MAC NAB étudia par spectrographie le cheminement des métaux.

Au XX^e siècle, dans tous les pays, des chercheurs s'attachèrent à déterminer les conditions de l'injection. On peut constater que partout on songea à cette méthode pour lutter contre la chlorose. En Russie, SHEVGREV mit l'accent sur la nécessité, selon lui, d'éviter l'entrée de l'air dans les trous. Tous, JANCZEWSKY, NICOLAËV, RESHKO, MOCKRJECKI étudièrent le temps de progression du liquide, sa répartition. Ils travaillèrent avec des solutions nutritives et des colorants. Enfin, G. DEMANTIEV essaya d'atteindre les insectes parasites en faisant pénétrer différents poisons par les feuilles, les pétioles, les racines des plantes.

En France, MANGIN, SIMON, OPOIX, COFIGNIEZ, appliquèrent la méthode pour examiner la physiologie de nombreuses plantes : légumes, arbres fruitiers, et pour étudier leur métabolisme. Nombreux furent les auteurs qui luttèrent contre la chlorose, selon de nombreuses modalités, grâce à des injections de fer sous divers états.

En Italie, des chercheurs, tels VEROSINO, BARBERO, ALESSI, FRANCHESCHINI luttèrent contre les insectes selon les modalités les plus diverses. DEZEANI étudia le comportement du cyanure de potassium injecté.

En Allemagne, ROTH, WEBER se penchèrent sur le métabolisme de la plante, et plus particulièrement

sur la période de repos ; ils la modifièrent par différentes injections. MULLER envisagea surtout le but préventif de cette méthode, voulant protéger la plante contre les parasites cryptogamiques et les insectes.

En Amérique, beaucoup d'essais furent tentés pour étudier la physiologie végétale et les moyens de lutte. En Angleterre, il en fut de même. Et on peut dire que partout, les chercheurs aboutirent aux mêmes résultats ; ce furent des résultats partiels, puisque jamais ils n'entreprirent une étude systématique de la question.

Il appartenait à ROACH et à ses collaborateurs de faire de l'injection une méthode digne de ce nom (1938).

CHAPITRE I.

ÉTUDE THÉORIQUE DE L'INJECTION

On sait que la transpiration et la pression osmotique sont les grands moteurs de la circulation dans les végétaux : la transpiration créant au sommet de la plante l'excès de concentration qui déclenche le mécanisme de l'osmose dont l'effet se fera sentir de proche en proche jusqu'à l'extrémité des plus fines radicules.

En un point quelconque du végétal, un liquide hypotonique par rapport au milieu interne, étant mis en contact, sera attiré et passera dans la circulation générale, ou envahira certaines zones de tissus bien déterminées.

Tel est le principe de l'injection dans les plantes.

I. - INJECTION DANS LES FEUILLES

A. — INJECTION ENTRE LES NERVURES

Prenons une feuille de pommier et choisissons entre deux nervures latérales et la nervure principale, une fine nervure reliant l'une de celles-là à celle-ci. Vers le milieu de cette nervure, en X (Fig. 1), piquons l'extrémité d'un fin capillaire surmonté d'un réservoir contenant une solution à 0,5 % du colorant Patent blue. Immédiatement, la teinture envahit cette nervure mais butte contre la nervure principale et la nervure secondaire dont elle émane. La solution s'étend aussi, mais plus lentement, vers le haut et vers le bas, dans les tissus voisins. La légende de la figure 1 fait le bilan de la coloration à des temps différents après l'injection.

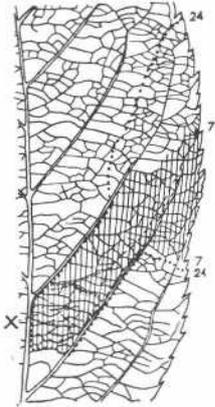


Fig. 1. — Limite de la surface envahie au bout de 1/2 heure
 1 heure
 4 heures
 24 heures
 Les hachures indiquent la surface envahie au bout de 7 heures. Les lignes numérotées marquent les limites de pénétration d'une solution colorante injectée par une incision X dans une feuille de pommier, au bout de temps croissants ; on a percé une petite nervure pour faire l'incision.

On constate que les nervures secondaires et la nervure principale « canalisent » la progression de la solution injectée. Elles constituent un barrage efficace contre toute diffusion. Le liquide peut progresser entre les grandes nervures. Les très fins faisceaux vasculaires sont beaucoup plus aisément traversés et ne constituent que des lignes d'arrêt plus ou moins transitoires. Le mouvement général de la progression est à dominance centrifuge ; c'est ainsi que le liquide va déborder puis traverser les fins extrémités de la plus basse des nervures secondaires, puis celles de la plus haute et se répandra d'une manière très limitée, de part et d'autre du

canal injecté, du côté du bas de la feuille seulement.

L'anatomie de la feuille rend compte du mécanisme de l'invasion de la substance injectée. Les canaux du liber qui drainent le tissu foliaire sont des tubes que des cloisons transversales percées de trous divisent à intervalles à peu près réguliers. Par ces trous, la sève et aussi le liquide injecté peuvent passer et cheminer dans le sens longitudinal. Ces vaisseaux ont également des trous dans leurs parois longitudinales, mais en moins grand nombre, ce qui rend le déplacement latéral d'un canal à l'autre plus difficile. Enfin, ces vaisseaux inclus dans les faisceaux libéro-ligneux se juxtaposent un à un comme l'indique la figure 2 où l'on voit les fines nervures se joindre à leurs semblables pour former les nervures secondaires qui vont, elles aussi, s'unir en la nervure principale. Il y a donc juxtaposition et non confluence et ceci explique pourquoi le liquide injecté a tant de peine à traverser une nervure secondaire par exemple, puisque chaque petit vaisseau est une barrière parmi 60 à 80 autres situées côte à côte, qu'il faut passer une à une par les rares orifices des parois

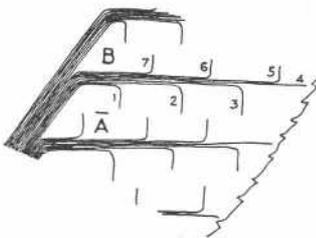


Fig. 2. — Représentation schématique de la disposition des tissus vasculaires en connexion directe avec les petites nervures numérotées de 1 à 7 d'après les résultats d'injections faites par des incisions telles que A.

longitudinales. De plus, dans chacun de ces vaisseaux, le courant normal de sève, très fort, s'oppose lui aussi à ce mouvement transversal. On comprend ainsi que le déplacement des substances injectées soit plus rapide le long des nervures ; d'où la progression saccadée d'un liquide étranger qui marquera un temps d'arrêt quand une petite nervure isolera le parenchyme compris entre deux nervures latérales, et qui envahira rapidement les tissus compris entre deux de ces petites nervures.

Position du trou d'injection.

Comme le sens de l'injection a une très nette dominance centrifuge et pour que le liquide n'envahisse pas des zones au delà des nervures secondaires, on choisit le point d'injection proche de la nervure principale. De plus, l'incision ne doit léser aucune nervure importante, car il s'ensuivrait la mort de la partie du limbe qu'elle draine.

Le point idéal est situé à mi-chemin entre les deux nervures latérales et la nervure principale, sur une fine nervure reliant l'une de celles-là à celle-ci. L'observation a montré aussi que la surface injectée est moins nettement délimitée quand l'injection a été faite près du sommet ou de la base de la feuille qu'en son centre : c'est donc dans cette région que la fine nervure, précédemment définie, sera choisie. Dans la figure 3, une feuille de pommier a été injectée entre chaque nervure latérale sur le côté droit, toutes les deux nervures sur le côté gauche, mais sur le côté droit, on a intercalé une injection colorée et une injection d'eau distillée. Les parties hachurées montrent l'invasion de l'injection après une durée de 4 heures, les lignes pointillées donnent la limite de cette invasion après 23 heures. L'injection d'eau n'a eu aucun effet sur la répartition du colorant. On peut constater qu'une aire envahie l'est totalement, sans îlots respectés par le liquide injecté, et ceci est capital pour la discussion des résultats.

Durée de l'injection.

L'observation des effets de l'injection est facilitée par l'alternance de zones bien délimitées, envahies par le liquide et respectées par lui. Il faut donc que les nervures latérales constituent, sur toute leur longueur, une barrière suffisamment étanche. L'expérimentateur devra donc, pour chaque variété, connaître la limite au delà de laquelle les extrémités plus fines des nervures latérales laissent passer le liquide injecté.

Durée d'attente de la réaction du végétal.

Des zones, nettement délimitées, proches les unes des autres comme peuvent l'être des zones séparées seulement par des nervures, permettent des compa-

raisons sans ambiguïté. Les zones injectées manifestent une réaction généralement 8 à 10 jours au plus après l'injection; cependant, l'injection de citrate de fer dans les feuilles chlorotiques de pommier a manifesté ses effets améliorants 3 jours seulement après avoir été faite.

Choix de la feuille.

Les feuilles non encore parfaitement développées sont le matériel le plus malléable, car bien souvent elles manifestent des réactions quand les feuilles adultes restent inchangées. Mais en revanche, il peut arriver que les zones injectées se développent plus que les autres et la feuille prend alors un aspect froncé. De plus, la nervation des jeunes feuilles est peu dense et peut n'offrir qu'une résistance insuffisante à la solution. C'est ainsi qu'on a constaté, pour de jeunes folioles de tomates, une invasion diffuse

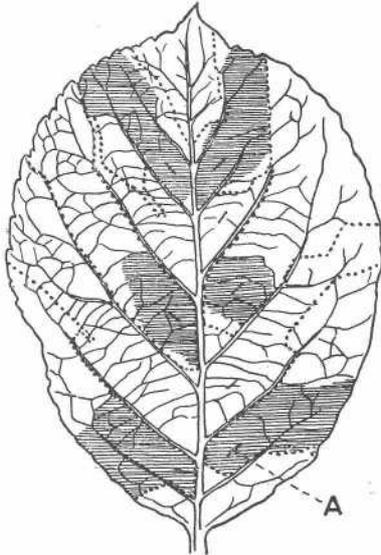


Fig. 3. — Résultats d'une injection inter-nervale d'une feuille de pommier. Les parties hachurées furent pénétrées en 4 heures par une solution de bleu du commerce, injectée par des incisions telles que celle marquée A. Les limites de pénétration au bout de 23 heures sont marquées par une ligne pointillée. Les parties inter-nervales alternées de droite furent injectées avec de l'eau, ceci n'eut pas d'effet sur la distribution du colorant.

de l'injection. Dans ce cas, la zone d'observation choisie est, non pas celle comprise entre deux nervures latérales, mais la demi-foliole ou même la foliole entière.

B. — INJECTION PAR LE SOMMET DE LA FEUILLE

a) Feuilles simples.

Il n'est pas indifférent de couper la feuille en n'importe quel point, car plus la coupure est éloignée du sommet, plus elle est grande et plus elle affecte de vaisseaux; ceux-ci peuvent alors, si leur section et leur nombre sont suffisamment grands, véhiculer la solution jusqu'à des feuilles voisines (fig. 4). On a constaté en effet que si on coupe le 1/10 antérieur

du limbe, près de la moitié de la feuille est envahie; 1/5 antérieur du limbe, toute la feuille est envahie; plus du 1/5 antérieur du limbe, toute la feuille est envahie, mais aussi un peu plus ou un peu moins de la moitié de la feuille supérieure et de la feuille inférieure.

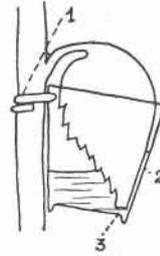


Fig. 4. — Injection par l'extrémité d'une feuille: 1° Fil de plomb. 2° Gobelet en carton. 3° Extrémité coupée de la feuille.

On conçoit que dans cette méthode où l'on compare deux feuilles plus ou moins distantes, il soit moins aisé de déceler des différences de teintes que dans le cas où on comparait des zones situées côte à côte sur une même feuille.

En conséquence, afin que le choix de la feuille témoin ne soit pas limité, il faut éviter que d'autres feuilles que celle injectée ne soient atteintes par la solution. On ne coupera donc que le quart inférieur du limbe.

b) Feuilles composées.

Les constatations faites précédemment sont aussi valables pour les feuilles composées.

Si on coupe le quart antérieur d'une foliole, toute la foliole sera injectée.

Si on coupe plus du quart de la foliole, toute la foliole sera injectée, mais aussi la moitié voisine de la foliole adjacente (fig. 5).

Si on coupe plus du quart de la foliole du milieu, la moitié qui lui est adjacente des deux folioles latérales sera injectée.

On a ainsi deux groupes de zones idéales de comparaison.

C. — MÉTHODE D'IMMERSION D'ANDERSEN

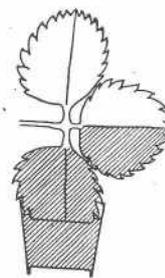


Fig. 5. — Injection d'une feuille de fraisier par l'extrémité d'une foliole latérale. Les zones hachurées ont été pénétrées.

La pénétration du liquide se fait par les très nombreux stomates répandus à la surface du limbe. La solution gagne de proche en proche les tissus conducteurs de la feuille, puis les feuilles voisines avec lesquelles elles sont en liaison directe. On conçoit que la pénétration du liquide ne pourra pas se produire si toute la feuille est immergée, l'arrêt de la transpiration suspendant l'activité osmotique du système.

La répartition de l'injection n'a pas été étudiée avec précision.

tration. La distribution d'une substance injectée par le pétiole s'est montrée irrégulière.



Fig. 13



Fig. 14



Fig. 15



Fig. 15 bis

Fig. 13 et 14. — Injection d'un pétiole de groseiller rouge. Troisième feuille au-dessus du point d'injection. 13: feuille d'un rameau à phyllotaxie à droite; 14: feuille d'un rameau à phyllotaxie à gauche. Les zones pénétrées sont hachurées.

Fig. 15. — Injection d'un pétiole de houblon. Les zones pénétrées sont hachurées sur la feuille opposée au pétiole injecté.

Fig. 15 bis. — Injection d'une foliole de lupin.

i) *Groseiller à Maquereau du Cap* : D'après une expérimentation préliminaire, il semble que cette plante se prête au diagnostic d'une déficience alimentaire par la méthode du pétiole. Dans ces conditions, les première, seconde et troisième feuilles au-dessus du pétiole injecté furent envahies assez irrégulièrement sur leurs deux faces par la substance essayée. Cette plante offrirait un intérêt évident comme plante indicatrice pour diagnostiquer les déficiences alimentaires, particulièrement lorsqu'elle est plantée dans un verger d'arbres à feuilles caduques, car les substances alimentaires provoquent sur ses feuilles des réactions très nettes, alors que les arbres de la strate supérieure sont au repos.

j) *Citrus* : Quelques expériences furent entreprises sur les orangers dans les périodes séparant deux poussées végétatives. L'injection doit être faite sur des rameaux à phyllotaxie régulière dans lesquels la distribution de la substance injectée peut être prévue avec assez de précision. Le type le plus commun de distribution est celui qui a été indiqué pour le pommier. On devra également éviter de pratiquer l'injection sur des rameaux de croissance anormale qui sont particulièrement fréquents chez les agrumes, car l'injection de rameaux trop vigoureux se traduit par une répartition dans la

totalité du feuillage de ceux-ci. Les expériences entreprises avec des substances nutritives n'ont, jusqu'ici, pas été couronnées de succès, mais leurs auteurs recommandent de les renouveler en les faisant porter sur des arbres en période active de végétation; ils recommandent de se rappeler que les feuilles d'agrumes blanchissent souvent lorsqu'elles sont exposées au soleil, ce qui peut gêner une diagnose.

k) *Prunier japonais et Prunier commun* : La méthode d'injection du pétiole produit les meilleurs résultats et conduit à la distribution des substances indiquée pour le poirier (fig. 10 et 11). En ce qui concerne le prunier japonais, il ne faut pas employer de rameaux provenant de bourgeons adventifs venus sur vieux

bois dans lesquels l'injection se répartit dans la totalité du feuillage.

l) *Neflier du Japon* : Seules des expériences avec colorant sont signalées. L'injection internervale donne de bons résultats. La substance ainsi introduite pénètre dans une bande allongée commençant presque à l'extrémité de la feuille. On peut donc comparer, de ce fait, la moitié de la feuille injectée à celle non traitée. L'injection par le pétiole produit une distribution générale dans les feuilles du rameau.

m) *Pêcher* : La méthode d'injection par le pétiole est la meilleure; elle donne une répartition semblable à celle du pommier.

n) *Rosier* : Mêmes renseignements que pour le pêcher.

o) *Soja* : La méthode internervale et la méthode du pétiole donnent de bons résultats.

p) *Lupin* : Pour cette plante, la méthode d'injection représentée par la figure 5 a donné de bons résultats sur un grand nombre de variétés de lupins cultivés en Afrique du Sud. La figure 15 bis donne une distribution typique d'un colorant. L'effet des substances nutritives injectées se manifeste généralement par des zones sombres et noires. La méthode du pétiole tend à atteindre la seconde feuille située au-dessus du pétiole traité, la première et la troisième feuilles au-dessus n'étant pénétrées que du côté le plus proche de celui-ci. Cette méthode du pétiole paraît à recommander à cause de sa simplicité.

3. — Feuilles opposées décussées.

r) *Hydrangea* (Hortensia) : Les feuilles situées du même côté que le pétiole injecté sont entièrement pénétrées par le colorant, les feuilles opposées qui sont du même rang ne sont pas atteintes et peuvent servir de témoin.

Pour les feuilles décussées par rapport aux précédentes qui sont dans l'intervalle, seule la moitié adjacente au pétiole injecté est atteinte (fig. 16).



Fig. 16. — Phyllotaxie et injection sur *Hydrangea*. X est le pétiole injecté; les zones pénétrées sont en noir.

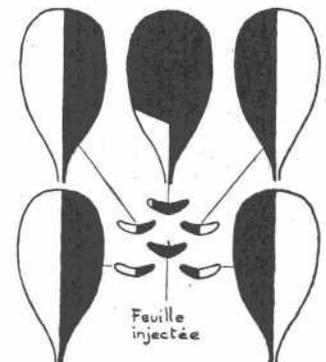


Fig. 17. — Injection d'un pétiole de betterave. La disposition des bases des feuilles est indiquée au milieu. Les régions pénétrées sont en noir.

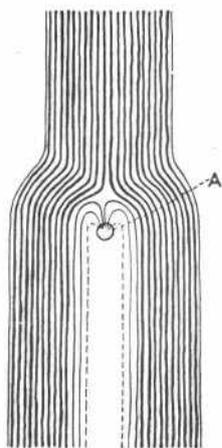


Fig. 18. — Injection solide.
A: niveau du trou d'injection.



Fig. 19.

s) *Caféier* : La phyllotaxie est très proche de la disposition opposée décussée et la substance injectée se répartit comme précédemment.

t) *Houblon* : La disposition est également opposée décussée. Contrairement aux cas précédents, seule la feuille opposée au pétiole injecté est pénétrée et sur 2 secteurs seulement (fig. 15).

u) *Goyavier* : L'injection internervale de colorants produit une distribution qui se limite aux nervures secondaires qui ne sont pas atteintes. L'injection du pétiole conduit à la distribution observée pour le caféier et l'*Hydrangea*.

4. — Feuilles en couronne.

v) *Bellerave* : Comme le montre la figure 17, toutes les feuilles sont pénétrées mais en partie seulement. C'est le côté adjacent au pétiole injecté qui reçoit la solution (1).

II - INJECTION DANS LES BRANCHES

Le liquide peut pénétrer soit par une section, soit par un forage.

a) Il convient que la section soit faite assez loin du méristème apical, afin que la solution ne trouve que des tissus conducteurs bien différenciés. Pour un jeune rameau, il convient de couper les 7 à 8 cm. apicaux ; pour un rameau adulte, on coupera 1,5 à 2 cm. Pour que toutes les feuilles d'un rameau soient atteintes par la substance, il suffit de couper environ un quart de ce rameau. Si on en coupe la moitié, quelques feuilles des rameaux voisins de l'année sont aussi pénétrées.

L'injection par forage est la plus courante et a été la plus étudiée.

(1) D'autres plantes ont été étudiées. Nous nous proposons de faire, dans un autre article, une mise au point des travaux les plus récents qui nous sont parvenus au moment où nous corrigions les épreuves de notre travail.

b) On a suivi la progression de la substance en écorçant une grosse branche sur toute sa longueur. Chaque feuille au-dessus et au-dessous du trou, concourt à maintenir la pression osmotique et aspire le liquide injecté. Il progresse verticalement d'environ 1 cm. à 1,5 cm. par minute, mais aussi tangentiellement 10 fois moins vite. La figure 18, coupe longitudinale passant par le trou d'injection, montre la pénétration des faisceaux interrompus par le forage. Les faisceaux qui ne parviennent pas jusqu'au trou, c'est-à-dire ceux qui innervent les branches latérales situés en dessous du trou d'injection (A) ne sont pas atteints par la solution. La figure 19 montre l'aspect d'une branche injectée sur une grande partie de sa longueur ; les canaux blancs sont les faisceaux des branches latérales, toujours distincts du fait de la juxtaposition au sein de la masse vasculaire de l'axe principal. Ils ne seront atteints que beaucoup plus tard, par transfusion latérale dont l'importance déterminera le point limite de l'invasion de l'injection : celle-ci sera d'autant plus réduite qu'il y aura davantage de liquide transfusé, c'est-à-dire qu'il y aura davantage de ramifications latérales. C'est ainsi qu'une branche très ramifiée ne sera pénétrée au-dessous du point d'injection que sur un tiers de la hauteur de pénétration au-dessus de ce point.

Cependant, s'il est placé assez bas sur la branche, près de la fourche principale, le liquide d'injection pourra envahir les branches voisines, et, dans certaines conditions atmosphériques (sécheresse excessive par exemple) atteindre même les racines et jusqu'aux plus fines radicules.

III. - INJECTION DE L'ARBRE ENTIER

La nécessité d'assurer à chaque branche sa part de liquide contraint l'expérimentateur à choisir, pour le forage, une position en relation avec chaque ramification principale. Aussi, convient-il de connaître le dispositif vasculaire de l'arbre.

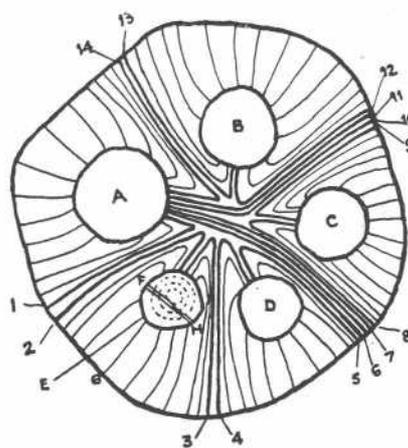


Fig. 20.

La figure 20 nous en donne un exemple. Elle représente une coupe transversale d'un tronc, légèrement au-dessus du départ des branches principales, qui sont les sections A, B, C, D, E. Les chiffres de 1 à 14 désignent les faisceaux principaux, disposés radialement pour la commodité de l'exposé.

On constate que les binomes de faisceaux sont communs à deux branches sauf deux 6-7 et 10-11 qui appartiennent en propre à la branche maîtresse A. Ceci a pour conséquence que, par le jeu de la progression dans les canaux et de la transfusion latérale de canal à canal, un forage fait à travers 1-2 par exemple, permettra l'invasion de A, E, D. En effet, l'injection pénétrera directement en A et E le long de 1-2, mais 2, dans la portion qui paraît en retour sur le schéma, est contiguë à la portion en retour de 3 ; le liquide pourra ainsi transfuser de 2 en 3 puis de 3 en 4 et par là injecter D. Mais ce mouvement transversal ne pourra progresser davantage, car la solution sera arrêtée par la juxtaposition de quatre faisceaux importants, et en particulier par les faisceaux 6-7 propres à la branche A. C'est ainsi que C et B seront isolés.

Ce fait est important et fixe les principes de la détermination de la position du forage. Dans le cas

de la figure 20, pour que l'arbre entier soit pénétré, il conviendrait de creuser deux trous, l'un affectant les faisceaux 5, 6, 7, 8, l'autre les faisceaux 9, 10, 11, 12. Mais l'expérience a montré que des faisceaux, tels que 6 et 7, et 10 et 11, drainent beaucoup plus de liquide qu'il n'est nécessaire. Aussi, préfère-t-on forer en 1-2 et en 9-10.

IV. - INJECTION SOLIDE

Dans des trous convenablement placés dans le tronc ou les grosses branches, on dispose les sels qui seront dissous par la sève. Mais leur distribution dans l'arbre est beaucoup plus lente que pour les injections liquides. On a remarqué que cette lenteur affecte plus particulièrement le mouvement tangentiel.

Remarque. — Signalons, pour terminer ce chapitre, que l'injection est beaucoup plus importante en volume par temps sec et pour un sol sec. Il est évident que de telles conditions rendent plus difficile l'approvisionnement en eau du végétal, tandis que la transpiration est accrue : la concentration interne augmente ainsi que la pression osmotique.

A suivre.

