

Ces travaux fondamentaux ont permis, entre autres, l'édition en 1968 d'un recueil de 86 diapositives sur les troubles de nutrition minérale du bananier, dont le second titre "Guide de diagnostic pratique" souligne l'intérêt concret pour le producteur.

Cette année nous exposerons au contraire un aspect des travaux animés par le Service de Physiologie, caractérisé par :

- l'orientation plus immédiatement "appliquée"
- la diversité des plantes étudiées.

Il s'agit d'une mosaïque d'actions plus ou moins indépendantes, d'importance quantitative très variable, dont les seuls points communs sont d'une part de "coller" au plus près à des problèmes concrets et actuels se posant aux praticiens des cultures fruitières tropicales, d'autre part d'utiliser des analyses minérales exécutées en série par le laboratoire central du service (J. -J. LA-COEUILHE et J. MARCHAL). Ces actions impliquent une étroite collaboration entre les agronomes spécialisés par plantes et les physiologistes. Les références données in fine montrent que l'initiative est largement partagée : nous parlerons surtout ici en nom collectif.

Le fondement scientifique des applications présentées provient soit de nos recherches de base au fur et à mesure de leur progression, soit de la bibliographie : car il y aurait souvent prétention et toujours gaspillage à vouloir partir de zéro lorsqu'existent déjà des travaux d'autres chercheurs.

AGRUMES

Nous avons entrepris la mise en oeuvre de leur analyse foliaire il y a 5 ans, en 1964 ; il fallait attendre le développement d'une Station agrumicole où l'IFAC ait les possibilités d'action nécessaires : celle de Corse. Il s'agit là du diagnostic foliaire (= D.F.) le plus classique, c'est-à-dire de la caractérisation de l'état de nutrition minérale des arbres par analyse à un moment donné d'un type de feuille défini.

Etudes préliminaires

Disposant des abondants travaux des écoles floridienne et californienne, puis israélienne, et enfin des mises au point ou applications réalisées en Espagne, Italie, Afrique du Sud, Maroc, etc... (1-I), nous avons seulement besoin :

- 1°) de choisir parmi les modes d'échantillonnage proposés

Quelques études rapides (et rapidement publiées) permirent de juger sur pièces et non dans l'abstrait, précaution d'autant plus utile que la Corse se distingue des pays cités par ses particularités climatiques et par l'importance essentielle de clémentinier. Les deux essais mis en place et étudiés avec le Service de Biométrie conclurent à la validité, dans les conditions locales, des techniques californienne et floridienne (1-II, 1-III). La première a été adoptée comme règle et la seconde comme complément éventuel.

- 2°) de fixer l'époque optimale des prélèvements dans les climats locaux. Or l'année climatologique moyenne est, comme chacun sait, une abstraction : d'où la nécessité d'étudier plusieurs années de suite, et en diverses localisations, les variations saisonnières de la composition des feuilles. En fait on a choisi une époque d'échantillonnage provisoire dès la première année terminée (1964-65), pour démarrer sans plus attendre l'application pratique dans les vergers des producteurs corses (1966). Elle se place commodément pour la formulation et la mise en oeuvre des recommandations concrètes, et se trouve assez bien confirmée par les résultats des années suivantes (1-IV). Nous ne la changerons plus, nous contentant d'apporter une correction telle année où se manifesterait un écart saisonnier notable.

Pratique de l'analyse foliaire en Corse (2, 3)

Sous la dynamique impulsion de J. CASSIN, c'est donc en ce moment la quatrième campagne d'échantillonnages chez les producteurs corses qui s'achève. (N.B. : l'analyse foliaire au bénéfice des plantations privées, supposant un prélèvement et une enquête agronomique effectuée l'un et

l'autre par un technicien averti, ne peut prendre d'extension et produire ses fruits que si un agronome local de l'IFAC s'y engage avec vigueur).

1966 : 20 vergers sondés,

1967, 1968 et 1969 : 34 à 37 vergers suivis (incluant ceux de 1966) dont certains sur plusieurs parcelles, soit 40 à 45 cas chaque année.

A ces "cas", très disséminés et recouvrant au mieux l'éventail très varié des conditions écologiques de la Corse, s'ajoute bien entendu la Station elle-même. Différents essais y sont suivis chaque année par analyse foliaire, d'une part pour aider à la compréhension de leurs résultats (mais c'est là un aspect "recherches de base", hors du sujet choisi aujourd'hui), d'autre part pour resserrer les grilles ou normes d'interprétation du D.F. En effet, celles établies aux U.S.A. sont avérées valables pour débayer la voie, mais elles ont besoin d'être adaptées :

- aux conditions écologiques de la Corse, différentes de celles de Californie ou de Floride,
- aux exigences particulières du clémentinier.

Exemple : l'accident des brûlures foliaires, spécifiquement corse, et affectant tout particulièrement le clémentinier. Dû à l'acidification des terrains démaquisés, il cause des dégâts importants aux jeunes vergers depuis trois ans. Le problème n'est pas encore totalement résolu, malgré la convergence des efforts des agronomes, des pédologues (H. MOULINIER, de l'INRA) et des physiologistes (4, 5).

Il a fallu d'abord diversifier les dosages chimiques réalisés au laboratoire :

- à N, P, K, Ca, Mg qui constituent la routine habituelle,
- on a ajouté Na, Fe, Mn, Cu, Al dans presque tous les cas,
- plus B, S, Mo assez souvent,
- et même Ni, Cr, V, Ti sur quelques échantillons typiques, en faisant appel à un laboratoire spécialisé.

Au-delà du diagnostic foliaire

Puis, l'analyse foliaire au sens strict ne parvenant pas à fournir la clef de l'aspect physiologique de cet accident, on est passé à des méthodes d'investigation plus profondes. Tandis que le Service de Biochimie se penchait sur les déviations métaboliques des feuilles brûlées, l'analyse minérale entrainait dans la voie de la dynamique des éléments dans le végétal, ouverte par les essais sol-plante sur bananier. Un bilan complet organe par organe, des racines aux pépins, sur 9 ans, a déjà fourni des enseignements très riches (6). Ses déductions font intervenir les mécanismes hormonaux du développement des bourgeons de l'année ; elles attribuent donc à l'azote un rôle de pilote dans les modifications du train alimentaire conduisant aux brûlures foliaires, qui n'était pas évident dans les résultats du D.F. conventionnel. Cette première incursion dans les bilans totaux montre l'intérêt considérable d'un projet d'étude basé sur l'emploi suivi de cette méthode sur une plantation spéciale de clémentiniers.

Dans les pays tropicaux

Les problèmes sanitaires y sont trop limitants pour qu'il soit question de figurer la fertilisation. Cependant plusieurs interventions très restreintes de D.F. (Côte d'Ivoire, Cameroun, bientôt Madagascar) ont permis un dégrossissage, en identifiant les déficiences dominantes dans telle ou telle situation (7).

AUTRES ARBRES FRUITIERS

Avocatier

La situation est déjà moins confortable que pour les agrumes : il y a d'excellents travaux américains, mais l'allure de la végétation dans les conditions africaines est par trop différente. On bute sur le problème de l'âge des feuilles, conséquence de l'extrême irrégularité des démarrages de pousses : des arbres de même variété, placés les uns à côté des autres, n'ont ni même nombre ni même répartition de leurs poussées de feuilles dans l'année. Même en Corse (travail entrepris en collaboration avec R. VOGEL) les normes de prélèvement made in USA ne peuvent être direc-

tement appliquées.

Malgré toutes les études très modestes (question de limites dans les moyens !) entreprises depuis 1965 ont fourni quelques enseignements sur la plus ou moins bonne adaptation des variétés aux conditions locales (8). Ainsi 'Booth 7' semble absorber trop d'azote au Cameroun comme en Côte d'Ivoire, et cela pourrait expliquer ses difficultés de mise à fruit ; tandis que 'Hall' et 'Hickson' tendent à se montrer déficientes en potasse, même sur les terres volcaniques du Cameroun.

Palmier-dattier

Situation encore moins confortable : les travaux sur la variété 'Deglet Nour' en Floride, ceux de l'IRHO et de divers chercheurs internationaux sur le palmier à huile, constituent une base précieuse pour définir la méthode d'approche mais leurs données chiffrées ne sont d'aucun secours pour les variétés mauritaniennes auxquelles nous sommes le plus souvent confrontés.

Il fallait donc suivre, - mais en réduction, pour proportionner l'effort à l'intérêt économique des cultures - à peu près le même processus que sur agrumes : choix d'un type d'échantillon (âge des palmes), étude des variations saisonnières. De plus il était nécessaire d'établir à peu près entièrement les normes d'interprétation.

Le mode d'échantillonnage fut rapidement défini (9). Les autres points ont été abordés avec l'analyse de prélèvements effectués régulièrement dans l'essai NPK de la Station de Kankossa (10):

- janvier (avant floraison) et mai-juin (après nouaison) conviennent aux prélèvements,
- l'engrais azoté marque toujours, sur le rendement et sur la teneur foliaire en N : on a ainsi une amorce de normes par le bas (niveaux "insuffisants" de N),
- l'engrais phosphoré augmente la teneur foliaire en P sur parcelles irriguées, mais n'augmente jamais le rendement : amorce de normes par le haut (niveaux "de luxe" en P),
- l'engrais potassique ne marque ni sur le rendement, ni sur les teneurs foliaires.

Sans attendre des normes complètes, le D.F. a été utilisé cette année dans le cadre d'une étude sous contrat concernant les palmeraies de l'Oued-Rhir en Algérie (11). Des analyses jumelées de parcelles "bonnes" et "mauvaises" permettent, lorsque les normes de D.F. sont inexistantes ou peu applicables, d'aider un agronome chargé de mission à formuler ses recommandations. Nous utilisons souvent cette méthode, par exemple sur bananier en dehors des grandes enquêtes systématiques.

Anacardier, grenadille, mangoustancier

Le premier est étudié depuis début 1968, les deux autres depuis octobre 1969, pour la mise en place du conseil de fertilisation et la recherche des causes d'accidents de qualité sur fruits. La bibliographie ne renferme strictement rien sur le D.F. de ces trois fruitiers : il est passionnant d'avoir tout à faire, mais la capacité du laboratoire n'est pas infinie !

Nous démarrons donc à petite échelle, en tentant des "impasses" soigneusement calculées à partir des résultats connus sur agrumes ou autres espèces et des données constantes de la physiologie végétale.

- L'observation soignée de la plante, du rythme de ses pousses et de leur allure morphologique, permet le choix a priori d'un type de feuilles précis (âge, localisation sur les rameaux).

- Le prélèvement à mi-hauteur de la frondaison, à la périphérie de celle-ci et réparti sur tout son pourtour, est adopté comme règle générale (sauf contre-indication due à la morphologie de la plante).

- Des échantillonnages réguliers sont effectués pour l'étude des variations saisonnières, et sur des essais ou tests d'engrais.

Des symptômes de carences ont ainsi été identifiés sur anacardier, à Madagascar : carences en N, P et probablement Cu à Betangirika, carence en K à Amborovy (12).

Litchi, papayer

Sur demande des agronomes locaux comme pour les précédentes, ce sont les prochaines espèces dont nous démarrerons le D.F., et en suivant le même processus. Quelques données bibliographiques très restreintes existent.

PLANTES NON ARBUSTIVES

Revenons enfin au bananier et à l'ananas, avec l'interaction entre stades de développement et saisons qui constitue l'un des problèmes cruciaux de leur diagnostic chimique.

Ananas

Pendant des années l'emploi pratique de l'analyse foliaire a été bloqué par les sautes rapides de composition de ses feuilles, dues au mode d'application des engrais. Son intérêt s'est limité par force aux études plus théoriques, avec prélèvements répétés à intervalles réguliers sur les mêmes parcelles ; l'apport des analyses foliaires à l'exploitation des essais et par là à la pratique culturale a été important, mais hors de notre sujet présent. Cependant les chiffres accumulés au cours de ces essais, plus certains recoupements avec les travaux étrangers, constituent la matière d'un réseau de normes bien élaboré qu'on peut maintenant appliquer aux plantations dont les conditions le permettent.

Ainsi aux Antilles, où la généralisation de la fumure par pulvérisations très fractionnées supprime les à-coups gênants dans la composition foliaire, C. PY a bousculé les dernières réticences des physiologistes. Depuis un an il opère régulièrement des prélèvements foliaires chez les producteurs, le laboratoire lui en envoie très rapidement les analyses, et le système donne satisfaction.

En Côte d'Ivoire, les engrais sont encore appliqués fréquemment sous forme solide. Mais même dans ce cas la fumure est maintenant, en général, suffisamment fractionnée ; et le climat ne comporte pas les saisons extrêmement tranchées de la Guinée, où nous avons entrepris la mise au point du D.F. de l'ananas. Son application pratique est désormais possible en Côte d'Ivoire, où dès cette année ont été par exemple dépistés un cas de déficience magnésienne aiguë (avec symptômes atypiques dus à la présence simultanée d'une déficience légère en potassium), et un cas - exceptionnel chez l'ananas de déficience phosphorée.

Bananier

A l'inverse de l'ananas, le D.F. pratique du bananier est entré dans les moeurs depuis 15 ans déjà (avec J. DUMAS). Ses perfectionnements successifs ont fait l'objet d'une mise au point récente (13). Pour 1968-69 il a été marqué par deux importantes opérations concertées :

- Un échantillonnage très complet de bananeraies martiniquaises, demandant plusieurs centaines d'analyses. Destiné à la recherche des zones à déficience ou excès éventuel de manganèse, il a servi en même temps à tirer des recommandations pour la fertilisation de chaque carré étudié (14). Parallèlement, un cas de carence phosphorée aiguë a été dépisté en Guadeloupe (15).
- Un autre sur le fléau de la pulpe jaune au Cameroun, avec plus de 360 échantillons non exclusivement foliaires. Il a d'abord mis en évidence une tendance endémique à la déficience en soufre et en manganèse dans la région de Nyombé (16). Mais pour la pulpe jaune elle-même il nous faut ouvrir une parenthèse sur nos méthodes d'interprétation des analyses.

NORMES DE DIAGNOSTIC FOLIAIRE ET THEORIES DES ENSEMBLES

L'emploi de normes d'interprétation préétablies ne convient pas à ce genre d'enquêtes : leurs "échelles", concernant chaque élément indépendamment des autres, apportent rarement une distinction nette entre des plantes qui diffèrent seulement au plan qualitatif. Il en va de même, bien entendu, quand les normes n'existent pas encore, ou quand elles ont besoin d'être ajustées à une écologie donnée, ce qui est en fait le cas permanent du bananier. A cause de sa rapidité de végétation, les "fourchettes" seraient trop larges si on ne les ré-établissait pas pour chaque enquête

d'importance.

Comme Monsieur JOURDAIN faisait de la prose sans le savoir, nous utilisons alors, à la suite de J. DUMAS et depuis une douzaine d'années, une forme de raisonnement dont les études de nos enfants nous font maintenant découvrir qu'elle s'apparente aux mathématiques modernes. Il s'agit jusqu'à présent de simple logique; mais les perspectives offertes par la théorie des ensembles nous permettront sans doute d'aller plus vite et plus loin dans le mode d'exploitation des données que nous schématisons ci-après :

Al'aidele plus souvent de représentations graphiques binaires ou ternaires, on cherche à constituer parmi la masse des résultats analytiques un ensemble qui :

1°) renferme **uniquement** les points représentatifs des individus d'un autre ensemble

- celui des très bonnes plantations quand on recherche des normes d'optimum,
- celui des bananiers à pulpe jaune dans le cas présent ;

2°) renferme tous les points représentatifs, pour les mêmes combinaisons d'éléments, des individus appartenant à cet autre ensemble.

Dans l'établissement des normes, cette approche complète économiquement la méthode rigoureuse mais longue esquissée ci-dessus à propos du palmier-dattier. Elle ne demande pas les très nombreux essais nécessaires à isoler les variations dans la feuille et les effets sur le rendement de chaque élément un à un. La validité des normes obtenues est moins universelle à terme, mais comme elles résultent de données recueillies dans tout un éventail de situations elles n'encourent pas, dans un premier temps, les dangers inhérents aux extrapolations de résultats d'essais localisés.

Dans l'étude des problèmes-pièges comme celui de la pulpe jaune, si la nutrition minérale est impliquée dans le phénomène on doit parvenir à trouver parmi les résultats analytiques, avec plus ou moins d'approximation, un "ensemble" énonçant les conditions de sensibilité de la plante. En cas d'insuccès, il est au contraire probable que les éléments minéraux sur lesquels a porté l'analyse n'exercent pas d'effet déterminant sur le phénomène étudié ; on ne peut jamais en être tout à fait certain ; il faudrait doser tous les éléments sous toutes leurs formes chimiques dans tous les organes ... La pulpe jaune camerounaise a sans doute d'abord des causes climatiques. Néanmoins les conditions minérales de son apparition paraissent résider dans un déséquilibre entre cations dû à l'excès du calcium et tel qu'il y ait déficience relative en magnésium, ou peut-être exceptionnellement en potassium ; l'état de nutrition en manganèse venant en outre discriminer les bananiers marginaux à l'égard du déséquilibre magnésien (17).

Il reste ensuite à vérifier agronomiquement les hypothèses émises, mais aussi à préciser d'année en année la constitution de l'"ensemble". Or, quand les données analytiques se multiplient, des points bleus prennent toujours un malin plaisir à apparaître au milieu des points rouges, sur les graphiques où à force de combinaisons variées on avait réussi à isoler des nuages de points de même couleur correspondant aux "bons" et aux "mauvais". Mais ceci est une autre histoire : la vérité scientifique ne se dégage en général que progressivement, surtout en matière agronomique, et le métier de chercheur consiste bien souvent à tisser une tapisserie de Pénélope.

DE LA RÉGIE T.V. AU CONTRÔLE RADAR

Pour conclure, revenons au diptyque de l'introduction.

Notre exposé d'il y a deux ans présentait des recherches, menées par le Service de Physiologie en collaboration avec des agronomes de la Section Bananiers et avec d'autres services de l'IFAC (Biométrie, Pédologie ...), comparables à la réalisation d'une émission de télévision : un faisceau convergent de prises de vues cernant le même sujet sous des angles et avec des "plans" variés, une régie triant ou "mixant" les images pour obtenir les séquences les plus explicites.

Cette fois-ci le fonctionnement du Service apparaît comme celui d'une tour de contrôle, assurant un contact divergent avec des appareils de toutes importances - "coucou" d'aéroclub, long-courrier, supersonique ... il serait aisé de pousser les comparaisons - ayant chacun des caractéristiques

téristiques de vol différentes et son commandant seul maître à bord, mais apparaissant tous à tour de rôle sur un même écran radar : les analyses du laboratoire, pour les aider à tracer au mieux leurs routes individuelles.

BIBLIOGRAPHIE

- 1 - DEL BRASSINE (J.), MARTIN-PREVEL (P.), LOSSOIS (P.), LACOEUILHE (J.-J.) et MARCHAL (J.). Echantillonnage des agrumes pour le diagnostic foliaire. I - Revue des principales méthodes utilisées dans le monde. *Fruits*, 1965, vol. 20, n° 1, p. 9-17. II - Influence de la position des feuilles sur l'arbre. *Fruits*, 1965, vol. 20, n° 11, p. 595-603. III - Influence du caractère fructifère ou non-fructifère des rameaux, de leur hauteur et de l'ombrage. *Fruits*, 1966, vol. 21, n° 11, p. 577-587. IV - Variations saisonnières en Corse. *Fruits*, (à paraître en 1970).
- 2 - LACOEUILHE (J.-J.), MARTIN-PREVEL (P.), LOSSOIS (P.) et CASSIN (J.). Contribution du diagnostic foliaire au développement d'une agrumiculture. *Colloque sur la Fertilité des Sols tropicaux*, Tananarive, 19-25 nov. 1967, comm. n° 15.
- 3 - CASSIN (J.), BOVE (J.-M.), LACOEUILHE (J.-J.), LOSSOIS (P.), MARCHAL (J.), MARTIN-PREVEL (P.), et MOULINIER (H.). General study of leaf analysis and citrus fruit analysis under Corsica environmental conditions. *First International Citrus Symposium*, Riverside (California), 15-26 mars 1968, comm.
- 4 - CASSIN (J.). Etude de brûlures foliaires observées sur agrumes cultivés sur sols d'alluvions anciennes en Corse. *2e Coloquio europeo e mediterraneo para el control de la alimentacion de las plantas cultivadas*, Sevilla 8-15 septembre 1968, comm.
- 5 - LACOEUILHE (J.-J.), MARCHAL (J.), et MARTIN-PREVEL (P.). Aspects physiologiques de défoliations anormales des agrumes en Corse. *2e Coloquio europeo e mediterraneo para el control de la alimentacion de las plantas cultivadas*, Sevilla 8-15 septembre 1968, comm.
- 6 - MARCHAL (J.) et LACOEUILHE (J.-J.). Bilan minéral du mandarinier 'Wilking' : influence de la production et de l'état végétatif de l'arbre sur sa composition minérale. *Fruits*, 1969, vol. 24, n° 6, p. 299-318.
- 7 - MARCHAL (J.), MARTIN-PREVEL (P.), LACOEUILHE (J.-J.), BOURDEAUT (J.) et GAILLARD (J.-P.). Analyses de feuilles d'agrumes. I - En Côte d'Ivoire : symptômes sur bigaradier en pépinière. II - Au Cameroun : premier sondage, symptômes sur arbres virosés. *Réunion annuelle IFAC*, 1968, doc. n° 105 bis et 106 bis.
- 8 - MARTIN-PREVEL (P.), LACOEUILHE (J.-J.), MARCHAL (J.), GAILLARD (J.-P.) et BOURDEAUT (J.). Analyses foliaires d'avocatiers: I - Dans le test fumure Côte d'Ivoire. II - Premiers résultats au Cameroun. *Réunion annuelle IFAC*, 1968, Doc. n° 105 et 106.
- 9 - LACOEUILHE (J.-J.), LOSSOIS (P.), MARTIN-PREVEL et SACHS (G.). Premiers travaux sur la mise au point du diagnostic foliaire du palmier-dattier en Mauritanie. *Colloque sur la Fertilité des Sols tropicaux*, Tananarive 19-25 novembre 1967, comm. n° 16.
- 10 - LOSSOIS (P.), LEYRITZ (J.-P.) et coll. Publication en préparation.
- 11 - LETURCQ (Ph.) et MARCHAL (J.): Mission Oued-Rhir (Algérie), avril-mai 1969 : Analyses foliaires sur palmier-dattier. *Doc. non publié*.
- 12 - MARTIN-PREVEL (P.), LEFEBVRE (A.), MARCHAL (J.) et LACOEUILHE (J.-J.). Etude des variations saisonnières de la composition des feuilles d'anacardier : premiers résultats. II - Diagnostic foliaire de l'essai anacardiens N P K Ca Mg n° 18, avril 1968. *Réunion annuelle IFAC*, 1968, Doc. n° 103 et 104.
- 13 - MARTIN-PREVEL (P.), LACOEUILHE (J.-J.) et MARCHAL (J.). Orientations du diagnostic foliaire du bananier. *Fruits*, 1969, vol. 24, n° 3, p. 153-161.
- 14 - JEANTEUR (P.) et LACOEUILHE (J.-J.). Le manganèse et le bananier en Martinique. *Réunion annuelle IFAC*, 1969, Doc. n° 100.
- 15 - GODEFROY (J.) et LACOEUILHE (J.-J.). Un cas de carence en phosphore sur bananier en plein champ à la Guadeloupe. *Réunion annuelle IFAC*, 1969, Doc. n° 136.
- 16 - MELIN (Ph.), MARCHAL (J.), MARTIN-PREVEL (P.) et LACOEUILHE (J.-J.). Diagnostic foliaire sur jeunes plantations de bananiers au Cameroun. *Réunion annuelle IFAC*, 1969, Doc. n° 122.
- 17 - MARCHAL (J.), MARTIN-PREVEL (P.), LACOEUILHE (J.-J.) et MELIN (Ph.). I - Résultats des analyses minérales de l'enquête sur bananiers à pulpe jaune au Cameroun. II - Analyses du test culture bananière après ananas. *Réunion annuelle IFAC*, 1969, Doc. n° 128 et 137.