

La nutrition minérale du bananier dans le monde

Première partie

P. MARTIN-PRÉVEL*

LA NUTRITION MINÉRALE DU BANANIER DANS LE MONDE
Première partie

P. MARTIN-PRÉVEL (IRFA)

Fruits, Sep. 1980, vol. 35, n° 9, p. 503-518.

RESUME - L'auteur présente une synthèse géographico-historique des travaux publiés sur :

1. le contenu minéral du bananier : importance quantitative de K puis N, Ca, Mg, P, S, oligo-éléments ; absorption et redistribution.
2. sa fertilisation : azote, potasse, magnésie, chaux, autres éléments.
3. la symptomatologie de ses carences et troubles de nutrition : au champ, en culture artificielle.

Poursuivant sa revue bibliographique, l'auteur aborde l'analyse foliaire du bananier en soulignant le lent progrès de sa normalisation, et expose ses vues sur les conditions de validité de cette technique.

Avant d'entreprendre la publication par étapes des recherches sur la nutrition du bananier que nous avons animées au sein de l'IRFA au cours de ces dernières années, il nous a paru opportun de faire le point sur l'histoire et la géographie des travaux concernant le sujet.

Toutefois, l'ensemble de références sur lequel nous nous appuyons ne se prétend ni complet, ni parfaitement à jour. Nous n'avons en effet nul désir de concurrencer la liste bibliographique mondiale éditée par le «Groupe international sur la Nutrition minérale du Bananier» que nous avons fondé. Lors de son deuxième Séminaire, réuni par David TURNER du 9 au 13 août 1978 à Alstonville (Australie), le groupe a en effet confirmé une décision de principe prise au cours du premier Séminaire, réuni par Enrique FERNANDEZ-CALDAS aux Canaries. Emanuel LAHAV a ainsi accepté la lourde tâche de mener à exécution l'entreprise qu'il avait lui-même suggérée. Notre collègue vient d'aboutir, ayant rassemblé la totalité des références sur la nutrition minérale du bananier - articles, rapports, ouvrages ou parties d'ouvrages, etc. - qu'avec l'aide des membres du

groupe il a pu collationner. Des réactualisations périodiques sont envisagées.

Moins exhaustif et plus synthétique, notre propos est différent. Visant à situer la continuité de nos travaux par rapport à ceux de la communauté internationale, nous avons ordonné l'exposé en fonction des sujets abordés par les publications que nous pouvions nous procurer, mais aussi de l'articulation des recherches poursuivies à l'IRFA. En outre, la majeure partie de l'information rassemblée ici a été intégrée dans un cours sur l'agro-physiologie du bananier que nous avons donné, sous les auspices de l'Association des Ingénieurs agronomes de Tenerife, cette même année 1978.

Pour ces motifs, nous ne pouvions renoncer à un minimum d'esprit critique à l'égard de certaines positions rapportées. Nous avons également ajouté quelques développements sur des sujets qui ne trouveront pas leur place dans la série d'articles projetée. A l'inverse, ceux de nos propres travaux qu'il sera nécessaire de rappeler avec quelque détail par la suite font seulement l'objet d'allusions succinctes dans la présente revue.

Même les références émanant de l'IRFA ne sont donc pas

* - IRFA/GERDAT - B.P. 5035 - 34032 MONTPELLIER-Cedex (France).

toutes mentionnées. Cependant, en raison de leur accessibilité plus aisée, elles sont sans nul doute mieux représentées que les publications étrangères, de même que les références postérieures à 1977 sont essentiellement tirées de «Fruits». Le lecteur voudra bien ne pas nous en tenir rigueur, pouvant dès à présent réserver des exemplaires de la liste mondiale.

CONTENU MINERAL DE LA VEGETATION D'UNE BANANERAIE

Premières données.

Dès 1807, FOURCROY et VAUQUELIN eurent la curiosité d'analyser du suc extrait d'un bananier. Ils y décelèrent trois sels potassiques : nitrate, oxalate et chlorure, ce dernier moins abondant.

Puis il s'écoula un siècle avant que ne soient publiés de nouveaux résultats, à peine moins anecdotiques mais confirmant la prédominance du potassium dans la nutrition du bananier. En 1902, RIVIERE et coll. (cités par HUBERT, 1907, p. 83-86) publient dans la Revue des Cultures tropicales les analyses de deux bananiers d'Algérie, l'un aux fruits verts, l'autre aux fruits presque mûrs. HUBERT (1907) cite également des chiffres analogues de MARCANO au Vénézuéla.

FAWCETT (1913) donne seulement quelques teneurs en cendres, en précisant que celles de la plante contiennent 33-38 p. 100 de potassium et celles du fruit 60-64 p. 100 du même élément.

Enfin, vingt ans plus tard, des chercheurs de l'United Fruit Co (aujourd'hui United Brands) eurent l'idée - en avance sur leur époque - d'établir un bilan complet des taux (relatifs) et masses (absolues) des cinq éléments N, P, K, Ca, Mg dans la matière sèche de tous les organes d'un plant adulte du clone 'Petite Naine' (BAILLON et coll. 1933) : cf. tableau 1, colonne 1.

Malheureusement ce travail, réalisé aux Canaries, ne pouvait en dépit de sa précision fournir une base quantitative valable, pour la connaissance de la plante comme pour la pratique de la fertilisation. D'une part, il ne comportait aucune répétition dans le temps ni dans l'espace : un plant unique a été analysé, au stade de la récolte, et comparé à une souche unique représentant le matériel de plantation dont cet individu aurait pu être issu. D'autre part, dans le but de confronter plus aisément le bilan de la plante avec celui du sol correspondant, les auteurs avaient choisi un bananier ayant poussé isolé au milieu d'une petite terrasse de 13 m². Cela lui avait conféré un gabarit supérieur à la normale, d'où une erreur par excès si on extrapole le contenu de la plante à un hectare sur la base des densités usuelles aux Canaries (1.600 plantes/ha), une erreur par défaut si on se fonde sur la surface réelle (correspondant à 769 plants/ha) : tableau 1, colonnes 3 et 5. Aussi les conclusions des auteurs n'ont-elles pu dépasser le domaine des recommandations agronomiques d'ordre qualitatif : le bananier a des

«besoins élevés en azote» et des «besoins encore plus élevés en potassium».

Néanmoins, en publiant vingt-sept ans plus tard les premiers bilans calculés sur des individus de bananeraie normale, à toute une gamme de stades de développement et avec un nombre convenable de répétitions (MARTIN-PREVEL et TISSEAU, 1960 b), nous avons constaté un recouplement très acceptable avec les données de nos précurseurs américains. Leur plante devait être, par chance, représentative au double point de vue quantités de matière sèche et composition de cette matière sèche.

Nous avons utilisé pour notre part les données d'un travail entrepris en Guinée par J. DUMAS (1952, 1953, 1954), également sur 'Petite Naine' mais dans un autre but : étudier les gradients inter- et intra-organes sur des bananiers de différents stades. Au stade récolte, nos calculs donnent des immobilisations en N, P, et K, par plante, une à deux fois et demie inférieures à celles de BAILLON et coll., pour une quote-part de surface 3,25 fois inférieure : cf. tableau 1, colonnes 1 et 2. L'ordre de grandeur, rapporté au mètre carré occupé, diffère donc peu. Les rapports de 1 à 4 et de 1 à 12 observés respectivement pour les contenus d'une plante en Ca et en Mg s'expliquent parfaitement par la différence de types de sols, ceux de la Station de Guinée étant peu calcaïques et déficients ou sub-déficients en magnésium (CHAMPION et coll., 1958).

Besoins quantitatifs en N, P, K, Ca, Mg.

L'exemple précédent montre la grande latitude du bananier quant à certaines de ses exigences minérales, mais en même temps les chiffres illustrent l'importance quantitative de ses besoins. Pour les cinq éléments sus-nommés, les bilans établis ultérieurement, tant par nous-mêmes aux Antilles françaises (MARTIN-PREVEL et coll., 1964 a, 1965-66 III) que par GALLO et coll. au Brésil (1972) et par TWYFORD et WALMSLEY aux Antilles anglophones (1973-1976 III), ont confirmé l'ordre de grandeur de notre premier calcul : soit environ 250 kg/ha d'azote, 25 kg/ha de phosphore, 800 kg/ha de potassium, 150 kg/ha de calcium, 60 kg/ha de magnésium : cf. tableau 1, colonnes 6 et 7. Ces éléments se répartissent entre 1.600 à 2.500 plantes, selon les densités utilisées.

Encore s'agit-il là de données correspondant à une bananeraie courante, n'atteignant pas la vigueur végétative observée dans les meilleurs cas. Nous avons alors trouvé 450 kg/ha de N et 1.250 kg/ha de K, voire 550 et 1.550 kg (MARTIN-PREVEL et coll., 1968), tandis que les calculs de TWYFORD et WALMSLEY (1973-1976 IV) aboutissent dans un autre exemple à 450 kg/ha de N et 1.740 kg/ha de K : tableau 1, colonnes 8 et 9.

A l'inverse, en Malaisie, JOSEPH (1971) trouve seulement 40 kg/ha de N, 8 kg/ha de P, 285 kg/ha de K, 32 kg/ha de Ca et 48 kg/ha de Mg. Il s'agit du clone 'Pisang Asam',

TABLEAU 1 - Immobilisations minérales du bananier en éléments majeurs (kg/ha, sauf pour les deux premières colonnes).

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
Cultivar		(g/plante) 'Petite Naine'		'Petite Naine'		'Grande Naine' 'Poyo'	'Naniçao'	'Poyo' optimum	'Americani' 'Grande Naine'	Plantains (3 cultivars)	'Popoulou'	'Gros Michel'	'Pisan Assam'	
Pays	Canaries	Guinée	Canaries	Guinée	Canaries	Archipel Caraïbe, Cameroun	Brésil	Martinique	îles du Vent	Cameroun		Cameroun	Malaysia	
Ref. biblio.	BAILLON et coll. (1933)	MARTIN-PREVEL et coll. (1960 b)	d'après BAILLON et coll.	MARTIN-PREVEL et coll. (1960 b)	d'après BAILLON et coll.	*	GALLO et coll. (1972)	MARTIN-PREVEL et coll. (1968)	TWYFORD et coll. 1973-1976)	MARCHAL et coll. (1979)		MARTIN-PREVEL et coll. (1968)	JOSEPH (1971)	
Densité/ha	13 m ² pour la plante analysée	4 m ² / plante	(769)	2.500	(1.600)	1.600 à 2.500	2.500	2.500	2.500	1.680 - 1.785	1.428	2.040	1.246	1.074
Productivité t/ha/cycle	régime de 32 kg	17 kg/ plante	(25)	42	(51)	40-50	66	50	32-48	69-75	32-48	44	26	16
(p.m.s. - plante mère seule)	(touffe)	(p.m.s.)	(touffe)	(p.m.s.)	(touffe)	(p.m.s.)	(p.m.s.)	(touffe)	(touffe, par extrapolation)	(touffe)	(touffe)	(touffe)	(touffe)	(p.m.s. incom- plète)
N	221	90	170	225	355	# 250	450	450	295	180-225	370	250	40	
P	23	9,5	18	24	37	# 25	30	135	30-40	20-30	47	40	8	
K	815	344	625	861	1.300	# 800	1.250	1.750	1.100- 1.300	950- 1.350	2.025	1.120	285	
Ca	145	35	112	87	230	# 150	145	300	160-190	95-140	180	215	32	
Mg	75	6,5**	58	16**	120	# 60	48**	235	65-75	35-40	69	54**	48	
S	-	-	-	-	-	# 14	-	144	29-36	14-20	31	-	-	

* - ordre de grandeur moyen d'après MARTIN-PREVEL et coll. (1964 a, 1965-1966, 1970 d), TWYFORD et coll. (1973-1976), avant l'usage des nématoïdes modernes.

** - tendance plus ou moins prononcée à la déficience magnésienne.

mené à faible densité (1.074/ha) et peu productif, au moins dans les conditions de l'étude : 16 t/ha. De plus le calcul est incomplet, car les rejets, la pulpe du fruit et quelques organes secondaires ont été négligés ; néanmoins, il est net qu'un effet du clone ou du terrain accentue la prédominance relative du potassium - suivi cette fois du magnésium - sur les autres éléments minéraux.

On notera qu'HUBERT (1907) avait déjà effectué ce genre de calculs sur les chiffres de RIVIERE et coll., qui avaient pesé la matière fraîche et sèche de quatre organes avant de les analyser : feuilles, pseudo-tronc, axe floral, bananes. Il trouve ainsi 80 kg de N et 400 à 500 kg de K, mais ajoute «dans les régions tropicales, on admet que la quantité de potasse puisée par les bananiers peut s'élever à plus d'une tonne par hectare et par an».

Contenu en autres éléments minéraux.

A ces immobilisations en éléments principaux viennent s'ajouter environ 14 à 36 kg/ha de soufre (MARTIN-PREVEL et coll., 1970 e, 1971-1972 V ; GALLO et coll., 1972 ; MARCHAL et MALLESSARD, 1979), 3 à 10 kg/ha de fer et 5 à 7 kg/ha de manganèse (TWYFORD et coll., 1968 ; MARTIN-PREVEL et coll., 1971-1972 III ; GALLO et coll., 1972), puis 400 à 1.000 g/ha de bore, 350 à 500 g/ha de zinc, 120 à 200 g/ha de cuivre (TWYFORD et coll., 1968 ; GALLO et coll., 1972). Enfin, selon les derniers auteurs cités, la bananeraie contient encore 300 kg/ha de chlore, 4,2 kg/ha de sodium, 3 kg/ha d'aluminium et 1,3 g/ha de molybdène. Les chiffres de GALLO et coll. sont des approximations par défaut, les souches, racines et rejets n'ayant pas été échantillonnés ; ils concernent des bananeraies du clone 'Nanicão', très voisin de la 'Grande Naine', recevant leur potassium sous forme de chlorure, et certainement magnifiques car produisant 76 t/ha/cycle de régimes. Selon les calculs par extrapolation de TWYFORD et WALMSLEY (1973-1976 V), le contenu d'un hectare à l'optimum devrait (sur les sols étudiés) avoisiner 144 kg de S, 26 kg de Mn, 4,5 kg de Fe, 620 g de B, 610 g de Zn et 220 g de Cu.

Transferts internes.

Aspect physiologique.

L'étude des bilans complets dressés par intervalles au long des cycles prend toute sa signification physiologique quand, au lieu de se limiter à établir des courbes d'absorption globale, on étudie les étapes successives de l'absorption des éléments et de leurs utilisations et réutilisations éventuelles d'un organe de la plante à l'autre.

Ce fut la ligne conductrice de toute une phase de nos travaux (MARTIN-PREVEL et coll., 1963 b, 1964 a, 1965-1966, 1967 a et d, 1969 b, 1970 d). Hormis le cas particulier traité au paragraphe suivant, ce thème paraît n'avoir été repris que très partiellement par TWYFORD et WALMSLEY (1973-1976). Comme indiqué en introduction,

le résumé de nos résultats antérieurs sera réparti dans des articles devant exposer de nouvelles données.

Aspect agronomique.

Pour la gestion minérale des plantations, les données du bilan peuvent à première vue se borner aux courbes d'absorption globale et à la distinction entre parties exportées (régime) et parties restant sur le terrain. Il reste à déterminer la vitesse pratique de recyclage (minéralisation des parties végétatives restituées au sol) et les coefficients de pertes, tous sujets du ressort du pédologue (cf. GODEFROY, 1974).

Cependant la «souche» qui reste en terre, ou celle qui y est déposée lors d'une replantation effectuée avec ce genre de matériel, met ses éléments à la disposition du rejet par d'autres voies. A priori on les penserait plus rapides et plus sûres, car il est logique d'impliquer la fourniture d'éléments minéraux dans les effets de volant maintes fois vérifiés au cours des comparaisons de calibre et de nature des matériels de plantation (cf. CHAMPION et coll., 1962 b ; MARTIN-PREVEL et coll., 1966 c). La réalité n'est pas aussi évidente.

Certes, WALMSLEY et TWYFORD (1968) ont prouvé à l'aide de ^{32}P la réalité qualitative du transfert de cet élément vers le rejet à partir d'un parent vivant, demeurant en place. Mais TEISSON et MARINI (1970) ont démontré à l'aide de ^{32}P et ^{45}Ca , dans une étude quantitative cette fois, que les transferts n'étaient pas moins réels en sens inverse. On peut donc se demander, comme nos collègues agronomes en ont souvent posé l'alternative, si dans le bilan net des échanges au sein d'une touffe les rejets ne nourrissent pas le pied-mère autant ou même plus que le pied-mère ne nourrit les rejets. Il y a là matière à nouveaux développements des recherches.

Dans le cas d'une nouvelle plantation effectuée en souches, TURNER (1973) a déterminé l'évolution des pertes en éléments minéraux de ce matériel au long des dix premières semaines. Les confrontant avec nos données sur l'absorption moyenne par le jeune bananier (1965-1966 III), il avance un taux de couverture de ces besoins de l'ordre de 40-45 p. 100 pour N, P et Ca, 66 p. 100 pour K, 0 p. 100 pour Mg. Ces chiffres supposent toutefois que tous les éléments perdus par la souche-mère allaient dans le rejet-fils, et que les bilans des jeunes bananiers de l'expérience étaient réellement identiques aux nôtres.

En appliquant notre méthodologie à la comparaison des bilans réels de la souche plantée et de son rejet-fils, TEISSON (1969) a démontré que le potassium de la souche-mère n'était pas disponible pour le rejet dans des proportions aussi élevées, et le calcium encore moins. L'extension du bilan aux principaux constituants organiques de la «souche-mère» a en même temps élucidé en grande partie un phénomène de carence physiologique en calcium, sur lequel nous aurons l'occasion de revenir. Il s'agit d'un besoin momentané de Ca supplémentaire dans le rejet, pour neutraliser des métabolites acides provenant de la dégradation des tissus du matériel planté. Plus la souche est lourde et âgée, plus le rejet nécessite un niveau élevé de calcium dans ses tissus

foliaires.

FERTILISATION DU BANANIER DANS LE MONDE

Importance.

La boulimie du bananier à l'égard des éléments minéraux majeurs a pour conséquence la nécessité impérieuse de lui fournir une abondante fertilisation : azotée dans tous les cas, plus complète lorsqu'il n'est pas installé sur des sols pourvus de très larges disponibilités nutritionnelles, tout particulièrement potassiques. Il est significatif que les aires d'extension privilégiées de la culture bananière aient toujours été des zones volcaniques, aux sols riches en bases : Canaries, archipel Caraïbe, Amérique latine, Philippines avec la culture de l'abaca.

L'emploi des engrais minéraux accompagné d'expérimentation sur ce sujet s'est introduit dans la culture bananière en Guinée, aux îles Fidji et en Australie dès la fin du XIX^e siècle (divers auteurs cités par FAWCETT, 1913). Le mythe si longtemps répandu dans le grand public de la fertilité inépuisable des Tropiques fut donc, pour cette culture, précocement battu en brèche.

Plusieurs revues sur la nutrition du bananier ont retracé l'évolution de la fertilisation dans les diverses régions du monde (JACOB et coll., 1966 ; FREIBERG, 1966 ; TWYFORD, 1967 ; von UEXKUELL, 1968 ; DE GEUS, 1973, pour nous borner aux plus récentes) ; nous n'entendons pas faire double emploi avec elles.

Fumure N ou NK de base.

En Amérique latine, l'United Fruit Co. lança dès 1914 un grand programme d'études sur la fertilité minérale (PESCOTT, 1917) qui se poursuivit fort longtemps, mené principalement en vue de lutter par ce biais contre la terrible fusariose ou «maladie de Panama» qui ravageait ses plantations de 'Gros Michel'. Ce programme déclina quand les Américains se tournèrent vers la reconversion variétale pour stopper l'abandon progressif de leurs meilleures terres devant l'extension de la maladie.

En dehors de ces considérations phytosanitaires quelque peu déçues, l'United Fruit Co. et sa concurrente, la Standard Fruit Co., en se cantonnant au maximum sur les sols riches, ont pu se contenter pendant des décennies d'une fertilisation exclusivement azotée (BUTLER, 1960). Aux 100-400 kg/ha/an d'azote ainsi apportés on doit, pour les bananeraies établies sur des sols moins riches, ajouter des apports phosphorés parfois et potassiques presque toujours ; les doses courantes varient alors entre 200 et 800 kg/ha/an de potassium (réf. des revues ci-dessus mentionnées).

Même l'United Brands et la Standard Fruit Co. ont dû, plus récemment, se tourner vers une fertilisation non exclusivement azotée, par suite de la mise en culture de nouvelles zones et de l'intensification de la production sur les zones

existantes. Les motifs en sont d'ailleurs aussi bien socio-politiques qu'agro-économiques. Leurs études récentes donnent une plus large place au potassium (RODRIGUEZ GOMEZ, 1980) et aux autres éléments majeurs ou mineurs (BHANGOO et coll., 1962).

Pendant ce temps, aux Canaries où de telles études ont toujours été poursuivies par épisodes (FERNANDEZ CALDAS et coll., 1962) la sensibilisation de la 'Petite Naine' à la maladie de Panama a au contraire partiellement ramené les chercheurs au type des investigations initiales de la puissante compagnie américaine (GARCIA, 1977).

A Taiwan, l'accent a constamment été mis sur le potassium (CHU, 1958 ; YANG et PAO, 1961 ; HO, 1967, 1969 a). Il en est de même au Malawi (SPURLING, 1975) et, pour une part, en Israël ; mais la fumure potassique y est généralement combinée avec une fumure azotée ou organique (STOLLER et coll., 1952 ; LAHAV, 1973 a, 1976). Azote et potassium sont également le pivot de l'expérimentation et de la pratique en matière de fertilisation à la Jamaïque (Rapports annuels du Banana Board Research Department), aux îles du Vent (Rapports du Winban), à Trinidad (MURRAY, 1961), à Porto Rico (publications de la Station de Rio Piedras, il s'agit essentiellement de plantains), aux Hawaii (WARNER et coll., 1972-1973), aux Fidji (CASSIDY, 1960), dans la péninsule indo-pakistanaise (nombreux articles, pas tous cités en bibliographie car de portée individuelle très réduite), en Afrique du sud (LANGENEGGER et coll., 1969, 1971), dans les anciennes possessions portugaises d'Afrique (CARDOSO, 1972, 1973, MELO, 1975), en Australie (LEIGH, 1969), et dans l'ensemble des pays où l'IRFA exerce ses activités : Afrique francophone, Madagascar, D.O.M., Amérique latine par contrats temporaires (BOUFFIL, 1944 ; PELEGRIN, 1953 ; CHAMPION, 1966 ; CHARPENTIER et MARTIN, 1970 ; anonyme, 1976).

La fumure azotée suffit en Somalie (FUNAIOLI, 1962) et reste dominante en Egypte (EL MAHMOUDI et coll., 1959), aux Philippines (VALMAYOR et coll., 1965) et en certaines régions du Brésil (CARVALHO, 1961). En revanche, en Australie, à Cuba et en beaucoup d'autres contrées, c'est l'accroissement de la fumure potassique qui fournit la clef d'un certain nombre de situations difficiles (TURNER et coll., 1970 c ; GARCIA et coll. 1976 a et b).

Fertilisation magnésienne et amendements calco-magnésiens.

Avec ces fumures potassiques très élevées, on se heurte fréquemment à d'autres problèmes, soulevés par l'élément auquel la pratique agronomique accorde le troisième rang dans l'alimentation du bananier : il ne s'agit pas du troisième larron de la traditionnelle trilogie NPK, mais du magnésium (CHALKER et TURNER, 1969 a et b ; MARTINPREVEL, 1969 b ; TURNER, 1970 a, b, c). L'importance de la nutrition magnésienne du bananier a été démontrée en Guinée dès le début du présent demi-siècle avec la guérison de la «maladie du bleu» (BRUN et CHAMPION, 1952-

1954). Elle s'est vérifiée en Côte d'Ivoire, même en l'absence de «bleu» caractérisé (CHARPENTIER et coll., 1963), au Brésil (MOREIRA et coll., 1968), aux îles du Vent (MESSING, 1974), à Madagascar (MOREAU et ROBIN, 1972 a), et dans de nombreuses autres régions.

L'incidence de la fertilisation potassique sur la nutrition magnésienne du bananier fut très tôt pressentie. Des preuves nettes résultèrent de l'analyse du sol (DUGAIN, 1960 b) et de l'analyse foliaire (DUMAS et coll., 1958 b, 1960 b; MARTIN-PREVEL et coll., 1964 d, e, 1967 c; MARCHAL et coll., 1970; presque tous les Rapports annuels IRFA; FERNANDEZ-CALDAS et coll., 1973; LAHAV, 1973 c, 1978; GARCIA et coll., 1978) confirmées par l'expérimentation au champ (MARTIN-PREVEL et coll., 1967 e, 1969 a), ou en culture sur sable (1963 a, 1971).

Les interactions entre les trois cations ne se limitent pas à l'effet de K sur Mg. Le pH optimum du sol pour le bananier paraissant se situer vers 6,5 (CHAMPION et coll., 1958), les sols plus acides sont, sauf cas exceptionnels, régulièrement chaulés (CHARPENTIER et coll., 1963; GODEFROY, 1967 b; MOREIRA, 1969; Anon: 1976, p. 298). Cela peut créer des difficultés à l'absorption du potassium, comme il s'en manifeste naturellement sur sols alcalins (BIDNER-BARHAVA et coll., 1958). C'est pourquoi l'étude des interrelations entre les trois cations a tenu une place importante dans nos travaux personnels (MARTIN-PREVEL et coll., 1958, 1963 a II, 1964 d, e, 1965-1966 VII, IX, 1967 c, e, 1969 a, 1970 c, 1974-1975).

Fertilisation en autres éléments.

Des réponses au soufre ont été, plus récemment, enregistrées en divers pays : Cameroun (MELIN, 1970; MARTIN-PREVEL et coll., 1971-1972 V), îles du Vent (MESSING, 1971), Costa Rica (JARAMILLO CELIS et BAZAN, 1976). Le soufre y est devenu un élément normal de la fumure. De même, en Côte d'Ivoire et dans de nombreuses autres régions, on prend soin depuis une quinzaine d'années d'apporter au moins périodiquement l'un des éléments fondamentaux N ou K sous forme de sulfate, en raison des carences qui peuvent se manifester sinon (GUIMBERTEAU, 1964; CHARPENTIER et GODEFROY, 1963).

Les cas de réponse prouvée à la fertilisation phosphatée sont rares. Cependant, il convient de ne pas éliminer cet élément des formules d'engrais pendant de trop longues périodes, sauf lorsque les sols sont exceptionnellement pourvus de réserves phosphorées comme le cas en est fréquent dans le Mungo au Cameroun (GODEFROY, 1966, 1977). Les formulations NPK de type 12-4-24 ou approchant représentent, dans l'ensemble, les meilleurs engrais passe-partout pour le bananier, à condition qu'ils contiennent également 3 à 4 p. 100 de soufre et qu'on n'oublie pas de surveiller l'équilibre potassium/magnésium.

Les oligo-éléments ne sont utilisés, dans la pratique la plus courante, qu'en cas de carence apparente. Toutefois, l'usage

de «cocktails» apportés systématiquement à faible dose commence à se faire jour.

SYMPTOMATOLOGIE DE LA NUTRITION MINERALE

Troubles observés en grande culture.

Les planteurs de tous pays ont vite identifié la carence en azote ou «chlorose azotée». Puis la «chlorose magnésienne» et les symptômes nervo-pétiolaires du «bleu» magnésien ont été catalogués lors des études déjà citées de l'IRFA en Guinée (J. BRUN et CHAMPION, 1952-1954). On les a retrouvés depuis en Côte d'Ivoire et aux Antilles (MARTIN-PREVEL, 1964 d, e), en Australie (BARKUS et coll., 1968), au Brésil (MOREIRA et coll., 1968), etc.

Vers la même époque, SIMMONDS a observé deux autres anomalies (SIMMONDS, 1959, p. 181). Pour la première, cas unique relevé dans l'île de la Dominique, l'analyse du sol indiquait qu'il devait s'agir d'une carence en phosphore. Des symptômes en tous points semblables ont été trouvés plus récemment en Guadeloupe et identifiés par LACOEUILHE et GODEFROY (in : MARTIN-PREVEL et coll., 1971-1972, IV). La comparaison avec les carences obtenues artificiellement, et l'analyse foliaire, ont alors confirmé le diagnostic de SIMMONDS pour ce qui concerne le rabougrissement et les nécroses marginales; mais dans ces deux cas, jusqu'à présent isolés, la pâleur du limbe est à l'opposé des observations en culture contrôlée et pourrait être due à une déficience concomitante en fer.

La seconde anomalie observée par SIMMONDS présentait un caractère plus épidémique, en Jamaïque. Les chercheurs de ce pays l'ont dénommé «jaunissement prématuré» (sous-entendu : du feuillage, à ne pas confondre avec le jaunissement prématuré de la pulpe ou «pulpe jaune» que les anglophones appellent «green ripe»). Ils l'ont identifiée comme la conséquence d'une carence potassique (TAI, 1956; HASSELO, 1961). Elle a été retrouvée plus ou moins nettement dans de très nombreux pays, notamment en Inde (Anon., 1961), en Australie (MISSINGHAM, 1962), au Cameroun (BRZESOWSKY et coll., 1962), en Amérique latine (GARCIA REYES, 1970; ECHEVERRI-LOPEZ et coll., 1974), et nous l'avons personnellement observée en de nombreuses localisations.

La carence en zinc fut déterminée en Guinée par un planteur particulièrement curieux et averti (MOITY, 1954). Ce dernier provoqua ensuite volontairement par surchaulage, et identifia à l'aide de pulvérisations foliaires, la carence en manganèse (MOITY, 1956). Puis il découvrit une carence en cuivre dans les tourbières de Côte d'Ivoire (MOITY, 1961). La carence en zinc fut retrouvée en Colombie (CARDENOSA-BARRIGA, 1962), en Jamaïque (JORDINE, 1962), en Côte d'Ivoire (IRFA, non publié), en Martinique (IRFA, 1977, non publié), etc. La carence en manganèse a été «officiellement» identifiée par JORDINE (1961, 1962) en Jamaïque et retrouvée en Côte d'Ivoire (IRFA, non publié) puis, combinée avec une carence en soufre, au Cameroun (MARTIN-PREVEL et coll., 1971-1972, III).

La chlorose ferrique, qui n'intéresse aucun des pays dans lesquels l'IRFA exerce actuellement son activité, a également été reconnue au cours des années 50 aux Hawaï (COOIL et coll., 1953 a et b) et en Israël (ZIV, 1954). Elle existe également aux Canaries où nous avons pu l'observer, et en certaines régions d'Amérique latine.

L'identification sur le terrain, en Côte d'Ivoire, des stades bénins de la carence en soufre (GUIMBERTEAU, 1964) a suivi de peu sa première obtention en culture artificielle dans le même pays par notre équipe (MARTIN-PREVEL et CHARPENTIER, 1963 a - 1966 I). Elle sévit surtout au Cameroun (MARCHAL et coll., 1969 a) et affecte encore plus les plantains que les bananes douces (FOX et coll., 1979).

La découverte de carences en calcium sur rejets issus de plantation en souches de Côte d'Ivoire (in : MARTIN-PREVEL et coll., 1965-1966 IX) et celle de carences en bore dans des bananeraies d'Amérique latine (NORTON, 1965 ; TOLLENAAR, 1966) furent également postérieures à leur obtention en milieu contrôlé (MARTIN-PREVEL et CHARPENTIER, 1963 a - 1966 I ; NORTON, 1963).

D'autres anomalies ont été déterminées par l'analyse de la plante, telles le «bleu de défrichement», dû au déséquilibre des alcalino-terreux en excès par rapport au potassium (MARTIN-PREVEL et CHARPENTIER, 1963 a - 1966 I), une toxicité du fer (MARTIN-PREVEL, 1964 d), la toxicité du sodium (LACOEUILHE et coll., 1966), alors que le chlore s'avère inoffensif aux niveaux parfois très élevés que l'on peut rencontrer (MARTIN-PREVEL et coll., 1974-1975).

Les désordres observés par WARDLAW et coll. (1933, 1934-1938-1940) n'ont pu être éclaircis à leur époque. Brûlures salines, carences en Zn et Fe, et viroses étaient tour à tour ou simultanément invoquées. Les connaissances générales sur les oligo-éléments dans le règne végétal, et partant la méthodologie analytico-expérimentale, manquaient pour tirer au clair ces anomalies comme on pourrait le faire présentement.

Troubles provoqués en milieu contrôlé.

Les symptômes des diverses carences sont connus avec une plus grande certitude, et bénéficient de descriptions à la fois plus exhaustives et plus précises, quand on peut les provoquer artificiellement en culture sur milieu nutritif contrôlé. Dans le cas du bananier, la commodité a conduit tous les auteurs à opter pour la technique du sable arrosé de solutions synthétiques.

Les carences en N, P, K, Ca, Mg ont été réalisées en premier lieu sur 'Petite Naine' par MURRAY (1959). Une aquarelle illustre chacune d'elles, des mensurations ont été relevées et des analyses foliaires effectuées (MURRAY, 1960). STEWARD et FREIBERG (1960 III) ont repris l'étude des carences en P, K, Ca, Mg sur 'Gros Michel'. Mais, s'intéressant essentiellement aux modifications des composés

azotés solubles, ils ne consacrent que quelques lignes à la symptomatologie, avec un tableau très succinct de mensurations. Toutefois S.R. FREIBERG a bien voulu nous communiquer à titre personnel une série d'épreuves en couleurs. De même, l'obtention de la carence en bore par NORTON (1963) n'a fait l'objet que d'une publication interne à l'United Fruit Co.

SRIVASTAVA (1962) a fourni une description très sommaire des symptômes de carences en N, P, K sur 'Basrai'. SAMUELS et CIBES-VIADE (1964) ont succinctement décrit les symptômes de carences en N, P, S, K, Ca, Mg, Fe, Mn et B qu'ils avaient obtenus sur 'Petite Naine', avec quelques photographies en noir et blanc renvoyées dans l'ouvrage de CHILDERS (1966) ; pour le bore, il n'a été obtenu de symptômes que dans le fruit.

La plupart de ces descriptions présentent un caractère statique. Lorsqu'exceptionnellement elles tracent l'évolution d'une carence, il s'agit de conditions drastiques. Pour mieux asseoir le diagnostic visuel et mieux percevoir la physiologie des éléments minéraux dans la plante, une série de travaux réalisés sur 'Poyo' en Côte d'Ivoire a mis l'accent sur les aspects évolutifs et les carences modérées (MARTIN-PREVEL et CHARPENTIER, 1963 a - 1966 ; CHARPENTIER et MARTIN-PREVEL, 1967). Elle s'est conclue par l'édition d'un «guide de diagnostic pratique» (CHARPENTIER et MARTIN-PREVEL, 1968). Ce titre nous a paru légitime, moyennant quelques précautions détaillées dans le livret, en conséquence du très grand nombre d'observations et de recoupements (y compris avec des observations de terrain) qui en constituaient la source. La progression des phénomènes, leur réversibilité ou non-réversibilité, leurs implications quantitatives et qualitatives, ont reçu une grande attention. Ainsi ont pu être mis en lumière un certain nombre de polymorphismes et de convergences, et dépistés quelques artefacts.

Par exemple, notre description de la carence calcique - chlorose irrégulière sur les plus jeunes feuilles - diffère radicalement de celles de MURRAY (1959) et de STEWARD et FREIBERG (1960 III) - halo nécrotique sur les feuilles les plus âgées - nous avons démontré (1962 a) que ces auteurs observaient en réalité une toxicité sodique (cf. LACOEUILHE et coll., 1966). En revanche, nous ne sommes pas parvenus à reproduire les carences en fer et en cuivre connues sur le terrain. Quant à la carence en molybdène, ses symptômes restent encore à découvrir.

La masse des données fournies par l'observation et l'analyse foliaire dans cette série d'expériences (MARTIN-PREVEL et coll., 1963 a-1966, 1971-1972 I, II, III) a complété de manière irremplaçable, pour leur interprétation physiologique, les études de base menées au moyen de bilans détaillés sur bananiers de terrain (MARTIN-PREVEL et coll., 1963 b, 1964 a, 1965-1966, 1967 a et d, 1968, 1970 d).

Tableau synoptique des principaux symptômes
(extrait de : CHARPENTIER et MARTIN-PREVEL,
1968).

Symptômes généralisés.

● Carence en azote.

Chlorose généralisée avec accentuation sur les vieilles feuilles. Coloration jaune-vert pâle des limbes, jaune-vert rosé des pétioles et des gaines.

Croissance fortement ralentie : engorgement, modification d'hélice foliaire. Tronc fluet, pétioles minces et comprimés, feuilles petites à durée de vie courte.

Influence sur le rendement toujours importante.

Réaction très rapide à la carence comme aux soins.

● Carence en cuivre.

(maladie du bananier cultivé sur tourbière ; il s'agit peut-être non d'une carence vraie mais d'une toxicité autre : en tout cas le cuivre la guérit).

Port affaibli, pleureur, en parasol. Pâleur générale des limbes, pétioles et gaines. «Taches de rouille» dans le fruit.

Symptômes commençant par les jeunes feuilles.

● Carence en soufre.

Sur bananiers jeunes : chlorose du limbe des deux ou trois plus jeunes feuilles, sur toute leur surface, réversible et accompagnée seulement d'un ralentissement de croissance.

Sur bananiers plus âgés, troubles de la différenciation : déformations morphologiques (réduction des limbes, épaississement des nervures secondaires, gaufrage des feuilles à marges ondulées), décolorations internervaires et, sur la face inférieure des feuilles, alignements de ponctuations perpendiculaires aux nervures.

Dans des cas graves, mort par avortement du sommet végétatif.

En cas de déficience partielle, notable influence sur le rendement.

● Carence en bore.

Déformations morphologiques très importantes sur les jeunes feuilles : limbes réduits souvent très fortement (nervure centrale) et irrégulièrement, gaufrage et ondulation des marges. Nécroses «tabac» sans chlorose préalable sur le bord des feuilles, principalement à leur extrémité qui se recroqueville.

Chloroses internervaires et striation perpendiculaire aux nervures secondaires (alignement de points décolorés, excoriés, sur la face inférieure des feuilles).

Les rejets, qui sont émis en abondance, présentent des symptômes encore plus prononcés.

En carence très accentuée toute croissance est stoppée.

Noter les nombreuses analogies avec la carence en soufre.

● Carence en calcium.

Chloroses localisées en dents de scie, principalement vers l'extrémité des feuilles, sans caractère de continuité, déjà visibles sur le cigare : «dents» chlorotiques jaune pâle sur la plus jeune feuille, virant au jaune d'or, au pourpre, puis au brun-pourpre au fur et à mesure que la feuille vieillit. Chaque feuille passe par les mêmes stades d'évolution de la carence, qui arrive à son terme vers le rang VI ou VII ; plages nécrosées ne gagnant plus en surface. Ces symptômes sont irréversibles.

Rabougrissement végétatif, engorgement avec modification d'hélice foliaire, aspect tourmenté du cigare, épaississements de nervures qui sont le siège d'excoriations superficielles, gaufrage des feuilles avec ondulation des marges.

Influence sur le rendement quantitatif quasi-nulle, mais fruits de qualité médiocre avec tendance à l'éclatement bien avant maturité, et allongement du cycle.

● Carence en zinc.

Chlorose en bandes : bandes chlorotiques souvent presque blanches, dans le sens des nervures secondaires et de largeur très variable, alternant avec des bandes parfaitement vertes.

Pigmentation «lie de vin» du «cigare» et de la face inférieure de la plus jeune feuille, notamment sur la nervure centrale ; cette coloration disparaît rapidement, et elle ne suffit pas pour diagnostiquer une carence en zinc.

En carence très accentuée, chlorose générale du limbe des jeunes feuilles, avec ponctuation blanche se détachant sur le fond jaune pâle ; feuilles de taille réduite, pointues, très allongées, se groupant en rosette à allure de bouquet (et non d'éventail).

Une carence en zinc prononcée peut conduire à des troubles graves de la différenciation et produit des fruits déformés.

● Carence en fer.

Chlorose marginale au début, gagnant rapidement vers l'intérieur par les espaces internervaires, en laissant d'abord des bandes plus vertes. En carence moyenne, les nervures vertes se découpent finement sur le fond jaunâtre du limbe. En carence très aiguë, les nervures transversales se décolorent, d'abord par endroits seulement (striation des nervures) ; le bananier devient vert pâle à blanchâtre.

Possibilité d'une chlorose diffuse généralisée à la place de ces symptômes. Les zones chlorotiques reverdissent très difficilement.

Feuilles à tendance lancéolée, se groupant en rosette à allure de bouquet, comme dans la carence en zinc.

- Carence en manganèse.

Chlorose « en peigne » : marginale, avec parfois persistance d'un fin liséré vert en bordure de feuilles, et gagnant vers la nervure centrale en progressant plus rapidement sur les nervures transversales principales que sur les secondaires et que sur les espaces internervaires, qui restent longtemps verts.

Cette chlorose à l'aspect strié apparaît sur les feuilles en position II, III ou IV, puis gagne très rapidement les feuilles plus jeunes et plus âgées. La totalité du feuillage devient alors jaune-vert sale, surtout sur les parties de limbe les mieux éclairées.

Développement éventuel du champignon *Deightonella torulosa*, provoquant des nécroses marginales plus ou moins importantes et pouvant contaminer le régime.

Influence sur le rendement en cas de carence grave.

- Brûlures de suralimentation.

Plages blanches submarginales oblongues, apparaissant sur les feuilles les plus actives, puis se nécrosant.

Analogie avec les coups de soleil, auxquels elles paraissent liées.

Symptômes commençant par les organes âgés.

- Carence en magnésium.

Jaunissement parallèle aux marges foliaires, commençant près de celles-ci puis gagnant vers l'intérieur ; les portions de limbe bordant la nervure centrale restent vertes. Cette chlorose apparaît sur les feuilles les plus âgées et gagne ensuite vers les plus jeunes, s'accroissant souvent davantage sur les surfaces les mieux éclairées. En carence très accentuée, les marges chlorotiques se nécrosent. Parfois liséré vert sur la bordure.

Marbrures brun-violacé à la face inférieure des pétioles et de la base des nervures centrales («bleu» magnésien).

Dans les cas graves, dérèglement de croissance et importantes déformations morphologiques : émission de feuilles irrégulières, de largeur réduite, gaufrées, disposées dans un même plan (en éventail), décollement des gaines qui se cassent et pourrissent provoquant la sénescence anticipée des feuilles.

Influence toujours importante sur le rendement quantitatif et qualitatif.

Réaction rapide à la carence comme aux soins.

- Carence en potassium.

Jaunissement fulgurant des feuilles sur la totalité de leur surface en commençant par les plus vieilles (fanaison éclair) : chlorose jaune d'or puis orangée quasi-uniforme, gagnant la totalité du limbe en deux ou trois jours, suivie de

complet dessèchement. Le limbe se déchire, se replie vers le bas et la nervure principale se casse vers les 2/3 de sa longueur : la feuille prend un aspect recroquevillé caractéristique avant de s'affaisser, donnant au bananier un aspect «lamentable».

En général, apparition auparavant de taches brunes dans la gouttière nerveuse, qui évoluent en marbrures brun-violacé à la face inférieure des pétioles («bleu» potassique).

La «fanaison» atteint rapidement des feuilles de plus en plus jeunes ; en carence grave le bananier peut perdre toute sa surface foliaire.

Régimes «rachitiques» et de mauvaise qualité, se remplissant très mal.

- Toxicités.

Halo marginal décoloré évoluant ensuite en nécrose ; les symptômes des diverses toxicités connues sont très proches les uns des autres.

Excès de magnésium avec carence en potassium : halo assez large, irrégulier, accompagné de «bleu» pétioleux («bleu de défrichement»).

Excès de sodium : halo continu, régulier, en général étroit, parfois larges marges nécrotiques brunes.

Excès de fer : halo étroit, assez régulier, nécrose rapide.

Excès de manganèse : marges nécrotiques noires continues.

- Carence en phosphore.

Feuillage de coloration vert foncé à tendance bleutée (sauf s'il y a carence simultanée en fer).

Parfois décoloration marginale très étroite, irrégulière, pouvant porter de petites taches brunâtres. Puis nécrose se développant en larges dents de scie vers la nervure centrale, à partir des bords du limbe, presque sans chlorose préalable, les petites taches brunâtres d'aspect «graisseux» pouvant se retrouver sur la zone chlorotique de transition. Sénescence prématurée des feuilles par extension des nécroses.

Très forte réduction de croissance sur jeunes rejets sevrés. Influence sur le poids du régime seulement en cas de carence accusée et prolongée.

Carence encore inconnue.

- Carence en molybdène.

Seul élément indispensable à la vie végétale, dont on ne connaît pas encore les symptômes de carence chez le bananier.

CONTROLE DE NUTRITION PAR ANALYSE FOLIAIRE

La recherche de méthodes d'appréciation de l'état alimentaire s'est imposée à toutes les équipes concernées par la nutrition minérale du bananier, en raison de la fréquence des déficiences ou déséquilibres nutritionnels affectant cette plante, de l'importance du poste fertilisation dans les dépenses de sa culture, et des risques de déséquilibres supplémentaires inhérents à l'emploi d'engrais à doses élevées. Tout naturellement, on a cherché à lui appliquer les principes du diagnostic foliaire (D.F.) issus des conceptions de LAGATU et MAUME (1926).

Définition et limites du diagnostic foliaire.

Le titre du mémoire établi par les deux professeurs montpelliérains pour présenter leur méthode à l'Académie des Sciences devrait suffire à dissiper des équivoques ayant fréquemment cours au sujet du D.F. : «Diagnostic de l'alimentation d'un végétal par l'évolution chimique d'une feuille convenablement choisie».

Diagnostic de l'alimentation d'un végétal.

Seule l'analyse du végétal lui-même est capable d'informer sur son alimentation. Cela ne diminue en rien l'utilité de l'analyse du sol, qui informe sur les disponibilités offertes à cette alimentation. L'analyse foliaire ne donne pas plus d'indications sur les causes du train alimentaire révélé par elle, que l'analyse du sol n'en fournit sur l'efficacité des ressources mises en évidence à son niveau. Les autres facteurs de l'absorption minérale, en particulier l'abondance et l'état sanitaire des racines, le régime hydrique, les incidences climatiques, et les interactions des éléments minéraux les uns sur les autres, doivent être inventoriés au même titre que l'offre proposée par le sol, puis confrontés comme elle avec la nutrition effective de la plante et les performances en découlant.

Par l'évolution chimique.

De nombreux producteurs et agronomes attendent de l'analyse foliaire (et de celle du sol) des interprétations aussi simples que l'analyse du sang en permet à la médecine humaine moderne. C'est oublier que l'organisme d'une plante autotrophe est soumis à des régulations infiniment moins strictes que celui du plus évolué des primates.

Malgré tout, on devra tirer les premières conclusions d'une première analyse foliaire sur une plantation donnée en comparant ses résultats avec des normes, établies par l'expérimentation ou à la faveur d'enquêtes systématiques. Mais ces normes devront avoir été élaborées - ou à tout le moins vérifiées - pour une zone écologique, des conditions saisonnières, un cultivar, un stade phénologique et un type d'échantillon strictement équivalents à ceux du prélèvement. Et c'est essentiellement la comparaison de prélèvements successifs, à la lumière des éventuelles modifications de

fertilisation ou d'autres facteurs intervenues entre temps et de leur retentissement sur la végétation, qui permettra d'affiner le diagnostic.

D'une feuille convenablement choisie.

Dans le cas du bananier, il faudrait rectifier : d'une portion de feuille. Le «bon choix» consiste à assurer :

- la reproductibilité des résultats quand on s'adresse à des plantes placées dans des conditions en tous points identiques ;
- leur dépendance maximale à l'égard du train alimentaire effectif de la plante et, si possible, minimale à l'égard des autres facteurs.

Une perception insuffisamment claire de ces critères a pu être à l'origine de certains mécomptes dans l'application du D.F. au bananier, soit par sous-estimation des effets de facteurs non nutritionnels sur la composition minérale des tissus (âge ou stade de la plante, gradients inter- et intra-foliaires, cultivars ...), soit par confusion entre des notions telles que sensibilité, fidélité et intensité.

En outre le choix idéal est souvent différent selon l'élément à diagnostiquer, voire selon que cet élément est déficient ou excédentaire (cf. FOX et coll., 1979), et il peut être jugé incompatible avec les impératifs d'ordre pratique auxquels chaque chercheur estime devoir se plier.

Divergences méthodologiques initiales dans le D.F. du bananier.

Les deux premières approches, simultanées mais vierges de toute inter-connexion, ont suivi des logiques foncièrement différentes.

L'école jamaïcaine.

A la Jamaïque, l'agro-chimiste C.W. HEWITT (1953) a fait, sur 'Lacatan', oeuvre essentiellement pragmatique. Comparant sur quelques cas les limbes entiers des feuilles en position impaires (*), il retient la feuille III en vertu d'un sophisme fréquent : la plus grande richesse d'un tissu en un élément, ici l'azote, est tenue pour gage d'une meilleure valeur indicative à l'égard de la nutrition en cet élément.

(*) - Nous utilisons dans cet article le code de désignation des feuilles adopté par l'IRFA (MARTIN-PREVEL et TISSEAU, 1966 b). Un chiffre arabe désigne une feuille par son numéro d'ordre chronologique dans la séquence des émissions foliacées, la feuille n° 1 étant la première à avoir été émise avec un limbe d'au moins 10 cm de largeur. Un chiffre romain désigne la position ou rang d'une feuille par rapport à l'apex du pseudo-tronc.

Avant la floraison, le rang zéro est celui de toute feuille non entièrement déroulée.

Après la floraison, c'est celui de toute bractée ou feuille nettement bractéale, jusqu'à la normalisation internationale décidée en 1975, l'IRFA prenait comme limite entre «feuille» et «bractée» une longueur de limbe égale à 50 cm pour la 'Petite Naine' et 1 m pour les autres clones (DUMAS, non publié).

MESSING (1978) reprend la même argumentation pour le choix entre diverses parties de la feuille. Nous avons au contraire établi que, pour l'azote, les valeurs diagnostiques de la nervure centrale, du limbe juxta-nervaire et du limbe marginal se classaient dans l'ordre des teneurs décroissantes (Anon. 1976, p. 302-303).

Le même motif invalide conduit HEWITT à retenir le stade émission de l'inflorescence plutôt que tout stade ultérieur, les stades non fleuris étant par ailleurs éliminés comme trop difficiles à identifier. Il échantillonne donc les feuilles III à la floraison sur un essai factoriel NPK 3³ trilocal, une seule fois, et en déduit des «niveaux critiques» pour ces trois éléments.

En six pages petit format (HEWITT, 1955), l'essentiel du diagnostic foliaire du bananier apparaît résolu ... Sept ans plus tard, une deuxième publication à partir de plusieurs essais d'engrais confirmera les niveaux critiques avancés (HEWITT et OSBORNE, 1962).

L'école française.

Pendant ce temps, J. DUMAS (1952-1954) abordait la question sur 'Petite Naine', en physiologiste. Reprenant la voie ouverte par SUMMERVILLE (1944), mais y ajoutant l'étude de la composition chimique, il imbriquait celle-ci avec d'importants travaux sur la croissance et le développement (DUMAS, 1955, 1958 a). Il en retint cinq stades, extrêmement précis, étagés de l'affranchissement du jeune rejet à la récolte commerciale du régime.

Bien qu'analysant divers rangs foliaires au cours de ces études préliminaires, il optait par principe pour le rang I, seul à bénéficier d'un âge physiologique précis sur bananiers non fleuris. Après la floraison, cet argument diminuant d'importance, il prenait le rang II à cause des déformations fréquentes de la feuille I.

Décidant dès l'origine de sélectionner une portion définie du limbe, dans le double but de diminuer le volume des échantillons et d'améliorer leur valeur indicatrice, il essayait son choix sur une étude des gradients internes de cet organe (DUMAS, 1960 a), dont l'intensité est lourde de conséquences (MARTIN-PREVEL, 1977 a). Une bande définie du demi-limbe premier déroulé fut sélectionnée, puis divisée par tiers transversaux.

La comparaison des valeurs indicatrices de ces trois portions de limbe et des cinq stades de développement choisis s'opéra essentiellement à la faveur d'enquêtes en parcelles de plantations commerciales (MARTIN-PREVEL, 1955-1958 ; DUMAS, 1958 b, 1960 b). Le tiers juxta-nervaire de la bande de limbe prélevé aux deux stades extrêmes donna les meilleurs résultats, avec une nette supériorité du stade récolte sur le stade «feuille-origine».

Ces enquêtes permirent d'établir des taux de référence (optima) pour N, K, Ca, Mg, mais révélèrent en même temps deux causes de variation des normes de composition foliaire : le clone, et - dans une mesure moindre mais conséquen-

te - les régions et périodes climatiques. La suite a amplement vérifié ces faits (MARTIN-PREVEL et coll., 1964 d, e, 1967 c, 1970 a, c, 1973, 1974-1975).

La phase d'aggravation.

Expansion des deux écoles et premières failles.

Ainsi, en raison de sa plus grande finesse, le travail de DUMAS se présenta sur la scène internationale trois ans après celui de HEWITT et sous des apparences moins sécurisantes. La langue de sa rédaction l'affectait en outre, à l'époque, d'un lourd handicap, auquel s'ajoutait la référence à des stades d'échantillonnage dont la définition complète se trouvait seulement dans des rapports internes n'ayant pas fait l'objet d'une large diffusion.

La majorité des chercheurs mondiaux s'est donc appuyée sur le seul travail de HEWITT. Beaucoup, au moins à leurs débuts, adoptèrent ses critères sans sourciller : FREIBERG (1956) à l'United Fruit Co., BIDNER-BARHAVA et coll. (1958) en Israël, FERNANDEZ CALDAS et coll. (1958, publié 1962) aux Canaries, MURRAY (1961) à Trinidad, BHANGOO et coll. (1962) à la Standard Fruit Co., VICENTE-CHANDLER et coll. (1962) à Porto-Rico, HO (1967) à Formose, WEIR et coll. (1968) puis TURNER et coll. (1969) en Australie, WARNER et coll. (1972) aux Hawaii, GALLO et coll. (1974) au Brésil, divers auteurs dont RAMASWAMY et coll. (1972) dans la péninsule indienne, etc. Après tout, les normes d'échantillonnage pour l'analyse foliaire contiennent toujours une part d'arbitraire (MARTIN-PREVEL, 1967 b), et l'exact respect de leurs prescriptions importe plus que la logique de leur choix (MESSING, 1978).

Quelques chercheurs prirent cependant la précaution de vérifier - mais toujours sur feuilles de rang impair - le maximum de teneur en azote dans la feuille III, tels BATTIKHAH et KHALIDY (1962) sur 'Petite Naine' au Liban. Mc CREERY (1960) le confirma également sur abaca à Costa Rica ; ayant analysé d'autres parties de la plante, il conclut, selon le même sophisme, que la base du pseudo-tronc est préférable pour diagnostiquer les besoins en potassium.

Encore moins licites sont les jugements portés par certains, tels TURNER et coll. (1974), WARNER et coll. (1974), d'après les niveaux critiques du 'Lacatan' à la floraison en Jamaïque, sur l'état nutritif d'autres clones sous d'autres latitudes et, de plus, à d'autres stades. Avec nos collègues de l'IRFA nous avons à de multiples reprises constaté l'importance des variations de composition - actuelle ou optimale - selon l'âge de la plante (MARTIN-PREVEL, LACOEUILHE, MARCHAL 1967 c et passim).

Certaines de ces équipes, y compris celle de Jamaïque, se mirent cependant sans tarder en quête - toujours sur la feuille III - de normes particulières aux divers clones et concernant des stades antérieurs à la floraison : notamment BOLAND (1959-1960), HO (1969 a), TURNER et coll. (1970-1974). Cela conduisait chacune à s'arrêter sur un stade différent de celui choisi par les autres, et défini assez subjectivement (cf. MARTIN-PREVEL, 1972 a, 1974).

Seuls quelques chercheurs en relation privilégiée avec l'IRFA adoptèrent avec ou sans variantes les techniques de notre Institut : CUCALÓN (1965) en Equateur, GONZALEZ (non publié) à Costa Rica, CARDOSO (1969-1973) aux îles du Cap Vert et en Mozambique, MELO (1975) en Angola. Mais HO (1969 b) combina le rang foliaire prescrit par HEWITT avec la portion de limbe retenue par DUMAS. Enfin les Hollandais BRZESOWSKY et VAN BIESEN (1962), dans un travail indépendant et sans lendemain, choisirent comme DUMAS la feuille I en raison de son âge physiologique défini.

La grande dispersion.

Tandis que la majorité s'engageait ainsi en faveur de la feuille III sur la lancée de HEWITT, Dorothy BOLAND prenait en Jamaïque la relève de ce dernier et complétait son premier travail en s'intéressant aussi aux feuilles de rang pair. Elle aboutit à un choix définitif en faveur de la feuille II, mais personne ne l'a jamais suivie sur ce point, annoncé dans des réunions de portée limitée (BOLAND, 1970, 1974).

Les équipes les plus averties ont estimé insuffisantes les bases jetées par HEWITT, mais elles ont jugé trop complexes celles avancées par DUMAS pour bananiers non fleuris, tandis que le stade récolte leur apparaissait trop peu précis parce qu'influencé par les impératifs commerciaux de chaque région. Chacune a donc repris à zéro les problèmes de l'échantillonnage, en fonction de ses objectifs particuliers : TWYFORD et coll. (1964) aux îles du Vent, TURNER et coll. (1971, 1974) en Australie, LANGENEGGER et coll. (1971) en Afrique du sud, LAHAV (1972 a, b, c) en Israël.

Même lorsqu'elle soulignait les inconvénients de la diversité des méthodes déjà en service, chacune de ces équipes est donc venue l'accentuer en se définissant une nouvelle technique (MARTIN-PREVEL 1972 a, 1974, et fig. 1 dans 1977 a), dont les bases n'étaient d'ailleurs nullement dénuées de validité. Ainsi LAHAV a retenu le pétiole de la feuille VII sur des rejets très jeunes - mais dans le même pays ZIV (in STOLLER et coll., 1952) procédait différemment -, LANGENEGGER et coll. n'ont éliminé que le tiers externe de leur bande de limbe et se sont intéressés de plus en plus à la nervure centrale, etc. En Egypte, SHAWKY et coll. (1974 a) ont élaboré un échantillonnage encore différent, en déclarant n'avoir trouvé aucune référence bibliographique sur le sujet ...

A l'IRFA, quand nous avons pris la relève de J. DUMAS, nous avons conservé les principes généraux posés par lui mais simplifié l'emploi pratique de l'analyse foliaire, en abandonnant le repérage rigide des stades de développement antérieurs à la floraison (MARTIN-PREVEL et coll., 1964 b, c). Une étude plurilocale et plurisaisonnière des variations selon l'âge de la plante permit de constater que la période située aux alentours de la différenciation florale correspondait à la plus faible variation de composition du limbe, dans les feuilles de même rang, en fonction de l'âge de la plante :

les taux de N, P, Ca, Mg, deviennent stables, la décroissance des taux de K se ralentit (MARTIN-PREVEL et coll., 1967 c). Ce stade, déjà adopté pour le même motif par TWYFORD (1964), remplaça donc les stades «feuille-origine + x feuilles» définis par DUMAS, tandis que le stade récolte était maintenu comme référence principale en raison de ses bons résultats.

En revanche, nous avons alourdi l'échantillonnage en introduisant en 1965 l'analyse (au moins pour le stade récolte) de la nervure centrale en sus du limbe, suite aux premiers résultats des travaux sur la plante entière (MARTIN-PREVEL, 1963 b).

Approche d'une normalisation internationale.

Les premiers pas.

Au sein de l'IRFA nous avons également fait prélever, à partir de 1963, des échantillons de limbes II et III sur bananiers non fleuris (en sus des échantillons IRFA sur feuille I), afin de permettre une interconversion entre nos données et celles de la majorité des chercheurs utilisant d'autres normes que les nôtres. Mais aucune réciprocité ne nous a été rendue ; or un quadruplement unilatéral des tâches de routine au champ comme au laboratoire ne pouvait se concevoir qu'à titre transitoire.

En fait, chacun de nos partenaires désirait une normalisation mais, fort du bien-fondé de ses arguments, attendait que les autres adoptent sa propre technique. Dans ses tentatives de codification internationale du diagnostic foliaire sur toutes plantes, CHAPMAN (1964, 1966) a été contraint, même en schématisant à l'extrême, de laisser plusieurs variantes pour le bananier.

A partir de ce constat, c'est un patient labeur épistolaire doublé de visites dans un grand nombre de pays concernés qui nous a permis de réunir peu à peu la quasi-totalité des intéressés en un groupe de travail informel, fonctionnant par correspondance. Nous avons pu ainsi dresser un bilan destiné à provoquer une prise de conscience de l'extrême diversité des techniques utilisées et l'assortir de propositions concrètes de rapprochement (MARTIN-PREVEL, 1972 a 1974). La zone caraïbe fit entendre un écho favorable (BOLAND, 1974), ainsi que les plus actifs des autres correspondants.

Le Séminaire canarien de 1975.

A l'invitation d'Enrique FERNANDEZ-CALDAS, la majorité des chercheurs concernés accepta de se réunir pour sortir de l'impasse : le Groupe international sur l'Analyse foliaire du Bananier quittait le stade de la gestation pour effectuer ses premiers pas au grand air (MARTIN-PREVEL, 1976 b).

La sensibilisation de l'assemblée fut achevée par un rappel pour certains, une découverte pour d'autres, de l'ampleur des modifications d'échelles de taux des éléments dont les

variations d'échantillonnage peuvent être responsables (MARTIN-PREVEL, 1977 a), avec pour facteur aggravant leur latence fréquente dans les publications. A l'appui venaient des travaux méthodologiques réalisés exprès pour le colloque (FOX et coll., 1979 ; GARCIA et coll., 1978 ; LAHAV, 1977, 1978 ; LANGENEGGER et coll., 1977 ; TURNER et coll., 1980 b), dont plusieurs comparaient divers modes d'échantillonnage avec les normes proposées (BOLAND, 1980 ; FERNANDEZ-CALDAS et coll., 1977 a et b ; MESSING, 1978 - prenant la suite de TWYFORD - ; TURNER et coll., 1977 ; MARTIN-PREVEL et coll., 1974-1975).

Cristallisé en une réelle communauté intercontinentale de travail, le groupe est parvenu à normaliser quelques repères auparavant mal définis, tel le rang I sur bananiers fleuris, et surtout à adopter un «échantillonnage international de référence» (MARTIN-PREVEL, 1976 a), défini par la figure 1. L'usage de cette norme est schématisé sur la figure 2 : la situation n'est pas encore mûre pour une uniformisation totale, il faut tenir compte des habitudes acquises et des sujétions propres à chacun. Il faudra du temps pour établir des tables de conversion entre les résultats des anciens modes d'échantillonnage et ceux de l'échantillonnage normalisé. La validité de ce dernier devra être précisée, et des modifications ne sont pas exclues.

La lente marche.

Dès 1971, l'équipe FERNANDEZ-CALDAS et coll. (1972-1973) avait mis en service pour ses prélèvements foliaires de routine les normes qui devaient être adoptées comme référence en 1975 : à partir des résultats de l'enquête menée par correspondance, nous en avons dressé le schéma cette année-là au cours de notre première visite à Ténérife. Elles sont également appliquées comme règle générale, depuis le Premier Séminaire, en Amérique latine (DARTHENUCQ et coll., 1978). Dans les pays où oeuvre l'IRFA elles sont devenues le pivot de tous les prélèvements.

Mais le Second Séminaire tenu par le Groupe (Australie, 1978) constata que, dans certaines contrées, la mise en service tardait à s'amorcer, même à titre de plaque tournante intermédiaire comme c'en était l'objectif minimal. Dans d'autres régions on applique la norme pour le choix du tissu à analyser mais pas pour le stade de la plante, ou vice versa. Trois ans représentent sans doute un délai relativement bref en regard de l'inertie inhérente à toute recherche organisée ; les principaux «retardataires» ont promis d'entreprendre sans tarder l'établissement de tables de conversion des données.

Il s'est également avéré nécessaire, comme nous l'avions prévu (MARTIN-PREVEL, 1972 a, 1974), d'introduire une alternative à la norme adoptée en 1975, qui retenait le seul échantillonnage de bananiers fleuris. Les participants d'Alstonville 1978 ont étendu aux bananiers non fleuris les critères de choix de la zone foliaire définis aux Canaries : à *mi-longueur de la feuille III, de part et d'autre du limbe*, la référence internationale étant constituée par les *moitiés*

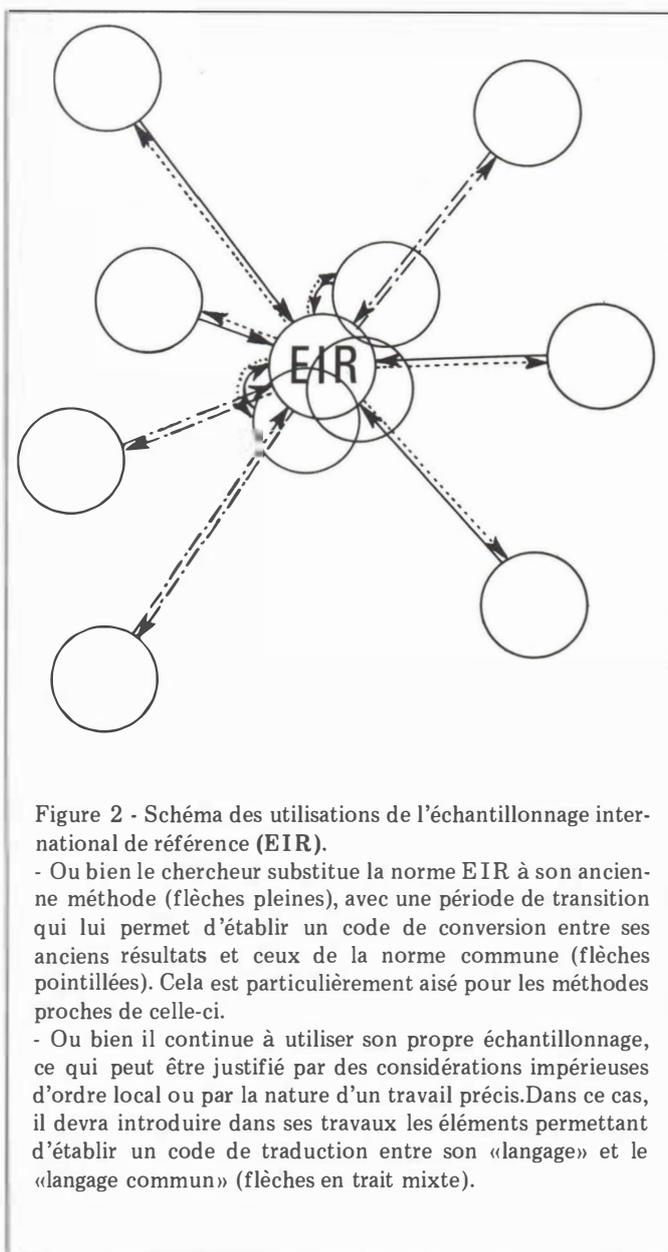


Figure 2 - Schéma des utilisations de l'échantillonnage international de référence (EIR).

- Ou bien le chercheur substitue la norme EIR à son ancienne méthode (flèches pleines), avec une période de transition qui lui permet d'établir un code de conversion entre ses anciens résultats et ceux de la norme commune (flèches pointillées). Cela est particulièrement aisé pour les méthodes proches de celle-ci.

- Ou bien il continue à utiliser son propre échantillonnage, ce qui peut être justifié par des considérations impérieuses d'ordre local ou par la nature d'un travail précis. Dans ce cas, il devra introduire dans ses travaux les éléments permettant d'établir un code de traduction entre son «langage» et le «langage commun» (flèches en trait mixte).

de ces bandes de limbe les plus proches de la nervure centrale («1/2 int.»), avec faculté d'analyser en outre la «1/2 ext.» et le tronçon de nervure centrale correspondant. Quant au stade du bananier, les participants ont été d'accord pour retenir la période située au voisinage de l'initiation florale. Sur la dénomination des stades de croissance-développement du bananier non fleuri (par ex. «full-grown sucker»), les confrontations sur le terrain ont révélé une certaine distorsion dans la pratique. Ne serait-ce qu'à ce titre, la recherche de repères du développement floral caché (cf. GANRY, 1977) mérite donc d'être poursuivie, en visant à l'obtention de critères utilisables par des équipes de terrain tout-venant.

Valeur et avenir de l'analyse foliaire.

Dans les essais agronomiques.

Pratiquée avec régularité, l'analyse foliaire confère inmanquablement une valeur ajoutée aux essais agronomiques, et contribue ainsi à l'accumulation progressive des connaissances sur la nutrition du bananier.

L'analyse foliaire est le moyen de contrôle par excellence de l'absorption d'un élément déterminé et de ses répercussions sur les autres éléments : qu'il s'agisse de l'azote (MINESY et coll., 1958 ; BATTIKHAH et coll., 1962 ; MARCHAL et coll., 1972 b ; RAMASWAMY et coll., 1974 ; SHAWKY et coll., 1974 b), du phosphore (MIRZA et KHALIDY, 1964 a), du soufre (MARTIN-PREVEL et coll., 1970 e, 1971-1972 V ; MESSING, 1971 ; MARCHAL et coll., 1972 a ; FOX et coll., 1979), du potassium (MINESY, 1965 a ; LAHAV, 1972 a, b, 1973 c ; HIROCE et coll., 1976 ; GARCIA R. et coll., 1976), du magnésium (MIRZA et KHALIDY, 1964 b), du manganèse (MARCHAL et coll., 1972 c), du zinc (MARTIN et coll., 1969), du bore (COKE et BOLAND, 1970), ou de plusieurs éléments combinés (BHANGOO et coll., 1962 ; OSBORNE et coll., 1963 ; TWYFORD et coll., 1964 ; MARTIN-PREVEL et coll., 1967 e, 1969 a ; LOSSOIS et coll., 1967, 1972, 1975 ; LACOEUILHE et coll., 1969 ; TURNER et coll., 1970 f ; LANGENEGGER et coll. 1971 ; MARCHAL et coll. 1972 d, e, f ; LAHAV, 1973 a ; WARNER et coll., 1974). A ce titre, elle a également tenu sa place dans de très nombreux autres travaux mentionnés au chapitre fertilisation.

L'appoint de l'analyse foliaire est potentiellement du même ordre dans les essais qui prennent pour objet de leurs variantes non des traitements proprement nutritionnels, mais des facteurs susceptibles d'agir au moins en partie par le biais de la nutrition : lumière (MURRAY, 1961 ; MARCHAL et coll., 1972 g), nématicides (in : LACOEUILHE et MARCHAL, 1969), pluies (BOLAND, 1970). La brièveté de cette énumération montre que la coordination entre les spécialistes de la nutrition et ceux des autres facteurs agronomiques laisse encore à désirer, - exception faite des sols (cf. MARCHAL et coll., 1969 d) avec lesquels un parallélisme est en général établi à l'occasion des travaux examinés dans le prochain paragraphe.

Dans les bananeraies de production.

L'emploi de l'analyse foliaire aux fins de diagnostic dans les bananeraies de production ressort peu des publications. Il se concrétise seulement par des fiches individuelles et par des statistiques dans les rapports annuels, sauf lorsqu'il donne lieu à des études de synthèse (BIDNER BARHAVA et coll., 1958 ; DUMAS et coll., 1954, 1958 b, 1960 b ; Mc CREERY et coll., 1960 ; MARTIN-PREVEL et coll., 1955, 1956, 1958, 1964 d, e, 1967 c, 1970 a, c, 1974-1975 ; WEIR et coll., 1968 ; MARCHAL et coll., 1969 a, b, 1970 ; CARDOSO, 1969-1973 ; TURNER et coll., 1970 d ; MESSING, 1970, 1978 ; PAYNE, 1970 ; GALLO et

coll., 1974 ; FERNANDEZ-CALDAS et coll., 1977 ; GARCIA V. et coll., 1977-1978 ; RODRIGUEZ GOMEZ, 1980).

La productivité, la qualité ou la rentabilité ont été améliorées grâce au diagnostic foliaire dans de nombreux cas individuels. Cependant les recours à cette technique sont, en certaines contrées, moins fréquents que ne devraient y inciter les services déjà rendus. Cela est dû pour une part aux mécomptes qui surviennent lorsqu'on ne tire pas toutes leurs conséquences des principes généraux rappelés en tête de ce chapitre, et des sujétions propres au bananier.

a) Toute donnée biologique étant affectée d'une variabilité statistique, la sécurité de l'interprétation exige des garanties d'autant plus strictes que le nombre des cas examinés en une fois est plus restreint. Le classique système de comparaison avec des normes de composition (niveaux « critique », déficient, optimum, excessif, etc.) répond à une conception « stratégique » du D.F. : il faut échantillonner des centaines et centaines de parcelles en un bref laps de temps, et accepter la possibilité d'inexactitudes sur quelques cas individuels, qui n'empêcheront pas les plantations testées de tirer dans leur ensemble un large profit de la technique (économies grâce à des apports d'engrais effectués seulement quand ils sont utiles au bananier). La répétition annuelle de l'échantillonnage sur les mêmes parcelles doit d'autre part résoudre progressivement les problèmes des laissés-pour-compte de la stratégie générale.

b) Dans l'établissement des normes de composition il importe de tenir compte des variations climatiques, notamment des effets saisonniers. Le cycle de végétation du bananier étant peu dépendant des saisons, le choix d'un stade ne détermine pas celui de l'époque de prélèvement. Or il y a une interaction entre ces deux paramètres : pour un même clone cultivé en un même lieu et envisagé à un même stade de la plante, la composition d'un échantillon foliaire répondant aux mêmes normes varie, au long de l'année, d'une manière très notable (MARTIN-PREVEL et coll., 1967 c ; BOLAND, 1970, 1980 ; MOREAU et coll., 1972 b). Cette fluctuation n'est généralement pas reproductible d'une année sur l'autre (TURNER, 1974).

Certains ont pu résoudre la question en décidant de ne prélever les stades choisis qu'à une ou deux époques déterminées de l'année. C'est possible dans les pays où le climat subtropical, voire parfois une orientation volontaire de la part des bananiculteurs, déterminent un groupement relatif des stades en fonction des saisons : notamment Israël (LAHAV, non publié), Canaries (GARCIA, 1977), Afrique du sud (LANGENEGGER et DU PLESSIS, 1977).

Pour les enquêtes de diagnostic foliaire chez les producteurs, on peut aussi fixer arbitrairement une époque de l'année et prélever sur les parcelles ou individus se trouvant à ce moment au stade choisi. Mais, lorsqu'on ne travaille pas à l'échelle envisagée dans l'alinéa a) ci-avant, il vaut encore mieux élaborer des normes de composition propres à chaque enquête. Chaque fois qu'on peut échantillonner simultanément quelques dizaines au moins de parcelles au même stade, avec fiche de renseignements agronomiques et

notation de la productivité ou des dimensions des plantes, on est en mesure de déterminer pour chaque élément les limites des taux rencontrés dans les meilleures parcelles, puis de s'en servir pour identifier les causes de moins bonne productivité ou moins bonne qualité de fruit dans les autres parcelles. Ce travail se réalise plus aisément à l'aide de graphiques binaires, inaugurés par J. DUMAS (1958 b, 1960 b) ; il est possible par ce moyen d'établir des normes pour plusieurs types d'échantillons à la fois, tandis que des graphiques triangulaires permettent de déterminer selon le même principe les proportions optimales entre K, Ca et Mg (MARTIN-PREVEL et coll., 1967 c).

c) Le bananier est une plante à réactions de croissance particulièrement importantes et rapides, notamment à l'azote. Nos approches par bilans (MARTIN-PREVEL et coll., 1965-1966, 1967 a, 1970 d) ont démonté leur mécanisme, conduisant par effets de dilution à atténuer ou parfois même inverser (MARCHAL et coll., 1972 f) les répercussions, sur le taux interne d'un élément, d'une absorption accrue de ce même élément.

Il y a donc lieu :

- d'une part, d'englober dans toute étude par analyse foliaire des critères dimensionnels permettant de jauger les effets de dilution ;

- d'autre part, comme l'a également fait remarquer R.L. FOX (note à paraître) au cours du Séminaire canarien de 1975, de rechercher des indices nutritionnels plus quantitatifs que les taux d'éléments dans lesquels se cantonne le D.F. classique. Nous expérimentons à cette fin, depuis quelques années, un échantillonnage foliaire pondéré (MARTIN-PREVEL, 1977 b).

d) Même quantifié au second degré comme tendent à le rendre ces adaptations, l'échantillonnage devra, pour échapper à l'obligation de remodeler continuellement les normes de composition en fonction des lieux et des saisons, s'intégrer dans un système plus large d'avertissement à base climatologique. La Section Physiologie de l'IRFA aux Antilles s'est engagée dans cette voie avec J.P. BLONDEAU, en collaboration avec les collègues des autres disciplines concernées. De son côté TURNER (1980 a) avait entrepris dès avant 1975 de formuler des relations entre paramètres climatiques et composition foliaire.

e) Le système en voie d'élaboration doit s'appliquer à des

ensembles homogénéisés. Pendant la phase d'homogénéisation, puis ensuite pour tous les cas marginaux, un D.F. «coup-par-coup» (tout à l'opposé du «stratégique») demeurera la base la plus rationnelle des décisions à prendre.

A cette échelle, les comparaisons immédiates sont souvent le meilleur moyen d'obtenir des résultats interprétables avec sécurité : on compare la parcelle de bananiers présentant l'anomalie dont on cherche la cause (infériorité de rendement, le plus souvent) avec une ou plusieurs parcelles voisines ne présentant pas cette anomalie. Il importe que toutes deux soient au même stade et qu'on les échantillonne de façon strictement comparable, avec enquête agronomique approfondie, relevé de mensurations, analyse de sol. Normalement on utilise alors l'échantillonnage standardisé, afin de faire appel aussi aux normes de composition existantes, tout en enrichissant la «banque».

Cependant, dans le cas particulier de symptômes à identifier, il est préférable d'adapter l'échantillonnage au faciès de l'anomalie. Nous recommandons alors d'échantillonner séparément trois lots de plants, qui devront tous être au même stade de développement :

- plants malades,
- plants sains pris dans la parcelle malade,
- plants pris dans une ou plusieurs parcelles aussi équivalentes que possible à la parcelle malade et entièrement saines.

Sur chacun de ces trois lots, on prélèvera un ou plusieurs échantillons, strictement repérés et correspondant au lieu d'apparition préférentiel des symptômes. Le plus instructif est en général un prélèvement opéré dans la zone où ceux-ci s'étendent quand l'anomalie s'accroît, mais sur une feuille d'un âge tel qu'ils commencent à peine à se manifester (sinon on ne peut plus discerner les causes de leurs effets secondaires). On peut aussi étudier les variations de composition de ce même échantillon, de feuille à feuille, en fonction du degré d'intensité des symptômes.

Ces échantillonnages spéciaux doivent être doublés de prélèvements effectués selon les techniques usuelles de référence, afin - dans la mesure où la cause des symptômes aura pu être identifiée - d'en incorporer les résultats dans la «banque» des normes de composition.

La fin de cet article, avec la bibliographie, paraîtra dans le prochain numéro de FRUITS.

