

Estimation des pertes par les eaux de ruissellement et de drainage des éléments fertilisants dans un sol de bananeraie du sud de la Côte d'Ivoire

J. GODEFROY, E.J. ROOSE et M. MULLER*

ESTIMATION DES PERTES PAR LES EAUX DE RUISSellement ET DE DRAINAGE DES ELEMENTS FERTILISANTS DANS UN SOL DE BANANERAIE DU SUD DE LA COTE D'IVOIRE

J. GODEFROY, E.J. ROOSE et M. MULLER

Fruits, avril 1975, vol. 30, n°4, p. 223-235.

RESUME - Cette étude fait le bilan de huit années de mesure des pertes d'éléments fertilisants par entraînement avec les eaux de drainage et de ruissellement, dans un sol ferrallitique cultivé en bananiers.

Pour la période étudiée, les pertes moyennes annuelles à l'hectare sont estimées à : 380 kg de CaO, 175 kg de MgO, 415 kg de K₂O, 5 kg de P₂O₅ et 210 kg de N.

Les coefficients d'utilisation des engrais sont faibles, à l'exception du phosphore. La lixiviation d'éléments nutritifs représente 60 à 85 p. cent des investissements consentis pour la fertilisation.

Au cours des dix années écoulées une part importante des travaux de recherches d'agropédologie réalisés à l'IFAC a été consacrée à l'évolution, dans les sols de bananeraie, des éléments fertilisants apportés par les fumures minérales ou organiques. Ces études ont montré l'importance des phénomènes de lixiviation (1) dans les conditions pédoclimatiques du sud de la Côte d'Ivoire, caractérisée par :

- une pluviosité abondante (1400 à 2000 mm/an) irrégulièrement répartie au cours de l'année, nécessitant des irrigations permanentes ou complémentaires durant trois à cinq mois par an.
- des sols à faible capacité d'échange cationique : 5 à 10 mé/100 g de terre.
- des sols très pauvres en éléments nutritifs, nécessitant une fertilisation élevée (dépenses annuelles en engrais minéraux

de l'ordre de 100.000 à 150.000 F CFA (2) suivant les plantations) qui modifie fortement la composition minérale initiale du sol.

A ces conditions peu favorables à une bonne rétention des engrais s'ajoute un système racinaire du bananier généralement peu dense et, au moins dans les sols de Côte d'Ivoire, très superficiel (25 à 30 cm de profondeur).

Parallèlement, l'ORSTOM a débuté en Côte d'Ivoire depuis 1964, un programme d'étude de la dynamique actuelle des sols sous végétation naturelle et cultivée et mis au point diverses techniques de terrain en vue de mesurer l'érosion, le ruissellement, le drainage oblique et vertical (ROOSE, 1968 ; ROOSE, des TUREAUX, 1970). Un protocole d'accord a donc été signé entre les deux organismes de recherche en vue d'étudier ces phénomènes parallèlement sous forêt et sous bananeraie, à la station IFAC d'Azaguié.

Les résultats des premières années ont déjà été publiés (ROOSE, GODEFROY, 1967 ; ROOSE, GODEFROY, 1968 ; GODEFROY, ROOSE et MULLER, 1970). Nous présentons ici une estimation des pertes en éléments nutritifs solubles dans les eaux de ruissellement et de drainage sous bananeraie, durant les huit années d'expérimentation.

* - J. GODEFROY et M. MULLER, Institut français de Recherches fruitières Outre-Mer (IFAC), B.P. 1740, Abidjan, République de Côte d'Ivoire.

E.J. ROOSE, Maître de Recherche en pédologie, ORSTOM, B.P. 20, Abidjan, République de Côte d'Ivoire.

(1) On réserve le terme de lessivage à l'entraînement des argiles et de certains colloïdes organiques et minéraux à l'intérieur du profil. Par lixiviation on entend donc l'entraînement des autres éléments chimiques (G. AUBERT et P. SEGALLEN, 1966).

(2) prix à l'hectare à Abidjan (octobre 1974) - 50 F CFA · 1 FF.

CONDITIONS DE L'ÉTUDE

Dispositif expérimental.

Le dispositif a été décrit ailleurs (ROOSE, 1968 ; GODEFROY, ROOSE et MULLER, 1970) ; on ne rappellera ici que le principe.

Un système de gouttières placées dans un profil creusé dans une bananeraie conduite pour la production industrielle, permet de récupérer les eaux de ruissellement sur une surface de 100 m² (A0) et les eaux de drainage oblique à différentes profondeurs : 25 cm (A_I), 75 cm (A_{II}), 150 cm (A_{III}), 175 cm (A_{IV}). Les eaux recueillies après chaque pluie sont stockées. A la fin de chaque mois on constitue, pour chaque niveau de prélèvement, un échantillon moyen, proportionnel aux volumes récupérés, sur lequel on effectue les diverses analyses. Le principal avantage du dispositif est de ne pas modifier la structure des horizons, ni la perméabilité du sol, ce qui est l'inconvénient majeur des études en cases lysimétriques. Il faut noter, également, que le bananier est une plante qui se prête très mal aux études en cases, étant donné sa taille.

Sol.

Le sol de la bananeraie a été décrit dans la publication de 1970 (GODEFROY, ROSSE et MULLER) et il paraît utile d'en citer un extrait in extenso :

«Ce sol appartient aux sols ferrallitiques jaunes fortement désaturés en B remaniés modal issus de schistes.

Le profil est le suivant :

- 0 à 7 cm horizon gris brun, argilo-sablo-limoneux, humifère, structure fondue à polyédrique moyenne peu développée, poreux, friable, densité faible de racines de bananier. Limite distincte et irrégulière (labour).
- 7 à 30 cm horizon brun jaune, argilo-sablo-limoneux, quelques graviers et cailloux de quartz, structure polyédrique moyenne peu développée, poreux, peu collant, friable, densité forte de racines de bananier. Limite distincte et ondulée.
- 30 à 75 cm horizon ocre jaune, très graveleux à matrice d'argile sablo-limoneuse, graviers et cailloux de quartz de 0,5 à 15 cm de diamètre plus ou moins ferruginisés, structure polyédrique moyennement développée, racines rares. Limite diffuse.
- 75 à 280 cm horizon d'argile tachetée, rouge foncé sur fond brun ocre, quelques graviers vers le haut, structure polyédrique moyenne à fine très bien développée.

A partir de 150 cm la couleur du sol est plus claire (rouge sur fond blanc-gris) et la texture plus limoneuse. Les taches rouges disparaissent vers 250 cm où le sol est bariolé jaune, gris, beige.

L'horizon supérieur (0 à 25 cm) de texture argilo-sablo-limoneuse, initialement très pauvre en éléments nutritifs (sol forestier) a été enrichi au cours des vingt années de culture bananière par la fertilisation (tableau 1).

Climat.

Le climat de la station d'Azaguié et plus généralement celui du sud de la Côte d'Ivoire, se caractérise par de fortes précipitations réparties en deux saisons des pluies : la plus intense et la plus longue présente un maximum en juin, la plus courte est centrée sur octobre. Elles sont séparées par

TABLEAU 1 - Comparaison des caractéristiques chimiques du sol forestier avec le même sol en culture bananière depuis vingt ans (*).

	Forêt	Bananeraie
Calcium échangeable mé/100 g	0,5	4,2
Magnésium échangeable mé/100 g	0,2	1,0
Potassium échangeable mé/100 g	0,07	0,5
Coefficient de saturation p. cent	11	64
pH	4,0	5,5
Phosphore assimilable DYER (P ₂ O ₅ p. mille)	0,01	0,38

* - Prélèvement de novembre 1973, horizon : 0-25 cm.

la petite «saison sèche» d'août-septembre. La grande saison sèche dure en moyenne de trois à quatre mois, comprenant décembre, janvier et février.

Durant la période étudiée (1966 à 1973), la pluviosité annuelle moyenne est de 1.600 mm avec des variations de 1.400 à 2.000 mm (figure 1 et tableaux annexes 2 à 6).

Contrairement à la pluviosité les variations des températures mensuelles et annuelles sont relativement faibles : températures moyennes mensuelles 24 à 27°C, température moyenne annuelle 26°C.

ESTIMATION DU DRAINAGE

Méthode de calcul.

La méthode d'estimation du drainage a déjà été détaillée (GODEFROY, ROOSE et MULLER, 1970). Le drainage est égal à la différence entre la quantité d'eau tombée sur le sol (pluies ou irrigations) et les pertes : ruissellement plus évapotranspiration réelle. L'ETR peut, dans certaines conditions (sol entièrement couvert et humidité voisine de la capacité au champ), être identifiée à l'ETP qui est calculée par la formule de TURC. Cette assimilation tend à surestimer l'ETR, donc à sous-estimer le drainage ; l'estimation des pertes d'éléments fertilisants par les eaux de drainage est donc un bilan par défaut. Les teneurs en éléments nutritifs prises pour les calculs sont les moyennes, proportionnellement aux volumes, des eaux recueillies à 150 cm et 175 cm de profondeur (A_{III} et A_{IV}) ; les concentrations en A_{III} et en A_{IV} sont généralement voisines.

Le volume des eaux de ruissellement collectées dans les cuves A0₁ et A0₂ est connu avec précision. Dans les calculs des pertes d'éléments fertilisants nous n'avons tenu compte que de la charge soluble des eaux de ruissellement ; les pertes d'éléments nutritifs avec la terre érodée et les colloïdes en suspension dans l'eau n'ont pas été prises en considération.

Importance respective du ruissellement et du drainage.

Les quantités d'eau de ruissellement et de drainage, exprimées en mm sont résumées dans les tableaux annexes 2 à 6 et sur la figure 1.

Le ruissellement est important : il atteint 6 à 10 p. cent du total annuel des pluies et de l'irrigation ; il dépasse 50 p. cent pour les pluies de plus de 40 mm et 75 p. cent pour une pluie de 114 mm.

Le drainage annuel calculé varie de 680 mm à 450 mm pour les années 1969 à 1973. On observe une tendance à une diminution du drainage entre 1966 et 1973 en relation avec une décroissance de la pluviosité annuelle.

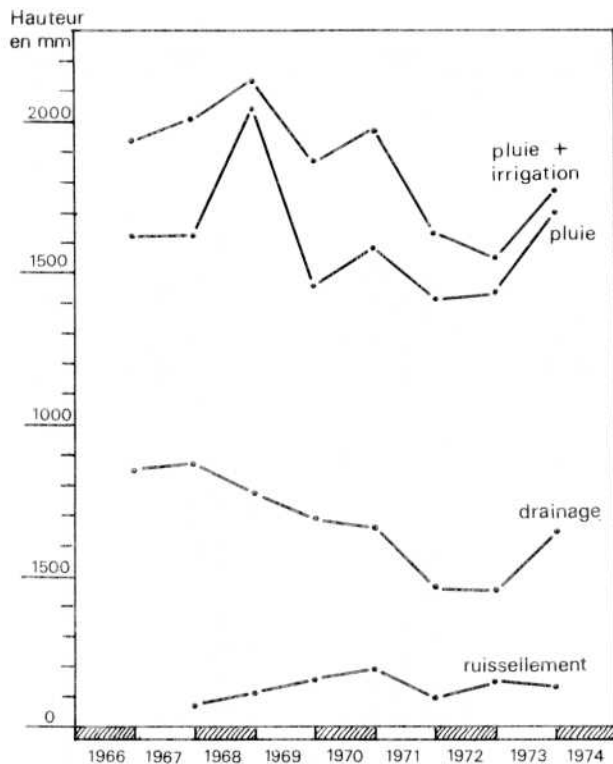


figure 1 • Evolution de la pluviosité, du drainage et du ruissellement (pente 14 p.cent) en fonction du temps, AZAGUÏÉ.

ESTIMATION DES PERTES D'ÉLÉMENTS FERTILISANTS PAR RUISSÈLEMENT ET DRAINAGE

Le détail des résultats qui suivent est donné dans les tableaux annexes 7 à 11. Pour chaque année sont indiqués :

- les pertes par ruissellement et par drainage exprimées en kg/ha de Ca - Mg - K - P₂O₅ et N. L'abréviation «tr» signifie : traces, elle est utilisée lorsque les quantités sont inférieures à 50 grammes
- le pourcentage des pertes totales mensuelles (R+Dr) par rapport aux pertes annuelles.
- les pourcentages respectifs des pertes annuelles par ruissellement et par drainage.

Certains résultats donnés dans les annexes sont repris dans le texte sous forme de tableaux simplifiés : dans ceux-ci les cations sont exprimés en oxyde.

Les pourcentages de pertes des engrais minéraux indiqués sont des ordres de grandeur. D'une part, la bananeraie étant conduite dans des conditions réelles d'une exploitation, les quantités exactes d'engrais épanchés peuvent différer de 10 p. cent des quantités théoriques, d'autre part nous n'avons pas tenu compte des éléments fertilisants apportés par les paillis (février 1966, novembre 1968, mai 1970), les eaux de pluie et d'irrigation ; ces dernières ne sont connues que pour l'année 1973 (annexe 12).

Les quantités d'éléments minéraux exportées par les récoltes de fruits sont calculées d'après les données fournies par MARTIN-PRÉVEL (1962) pour la variété Poyo. La production des huit années est estimée à 250 t/ha de régimes, soit un rendement annuel de l'ordre de 30 t/ha.

L'étude du sol est limitée à l'horizon 0-25 cm et à l'analyse des éléments échangeables ou assimilables.

Calcium.

Pour la période considérée (1969 à 1973) les pertes en calcium sont élevées : 200 à 495 kg/ha/an de CaO (tableau 2). Les variations importantes d'une année à l'autre sont en relation avec divers facteurs : intensité du drainage, quantité d'amendements apportée et dates des épandages. En 1969, le drainage est de 690 mm, le calcium lixivie (495 kg de CaO) est celui épanché au mois de novembre 1968. En 1972, la perte est de 200 kg de CaO, le drainage est seulement de 450 mm. D'autre part, lorsque débute la saison des pluies 1972, il n'y a pas eu d'apports de dolomie depuis le mois d'avril 1971 et celle-ci a été en partie lixiviée à la saison des pluies 1971. Plus de la moitié des pertes annuelles se produisent entre les mois d'avril et de juillet avec un maximum en mai et juin. Les exportations par les eaux de ruissellement sont relativement faibles : moins de 10 p. cent contre plus de 90 p. cent avec les eaux de drainage.

Les pertes totales de 1966 à 1973 sont de 3 t/ha de CaO ; pendant cette période les apports ont été également de 3 t/ha (on n'a pas tenu compte de la dolomie apportée en novembre 1973, un mois avant l'arrêt du bilan, et qui n'a pratiquement pas été lixiviée). La totalité des amendements calciques est donc perdue par lixiviation. L'étude des teneurs en calcium échangeable du sol confirme ces résultats (annexe 14). De 1966 à 1970 les apports annuels ont été en moyenne de 500 kg/ha de CaO ; les teneurs en calcium du sol se sont maintenues au même niveau de mars 1966 à février 1971. De 1971 à 1973 les apports ont été réduits : 300 kg/ha/an ; entre le mois de février 1971 et le mois de décembre 1973 les teneurs du sol ont diminué de 0,6 mé/100 g, soit une perte de 500 kg (calcul pour l'horizon 0-25 cm, densité apparente = 1,5; gravier = 20 p. cent). Les exportations par les récoltes étant extrêmement faibles : 10 kg/ha/an de CaO maximum, l'appauvrissement du sol, malgré un enrichissement de 3 t/ha, traduit bien une lixiviation très élevée.

TABLEAU 2 - Quantités d'éléments fertilisants perdus par drainage et ruissellement en kg/ha.

	1969	1970	1971	1972	1973	moyenne annuelle 1969-1973
CaO	493	406	309	202	415	365
MgO	195	172	125	88	163	149
K ₂ O	469	662	354	246	534	453
P ₂ O ₅	3,4	9,7	4,1	4,1	3,7	5,0
N-NH ₄	2	11	8	0,2	9	6
N-NO ₃	146	189	155	70	170	146
N. organique	41	4	9	8	3	13
N. total	189	204	172	78	182	165

Les concentrations mensuelles des eaux de ruissellement (A₀) varient de 5 à 44 mg/l de Ca ; 94 p. cent des valeurs sont comprises entre 5 et 20 mg/l. Les teneurs des eaux de drainage sont toujours supérieures à celles des eaux de ruissellement ; les concentrations les plus fréquentes pour les eaux recueillies en A₁₁₁ et en A_{1V} sont comprises entre 20 et 60 mg/l de Ca ; les teneurs ne sont jamais inférieures à 10 mg/l (figure 2).

TABLEAU 3 - Eléments minéraux du bananier solubles à l'eau. Quantités extraites après une heure d'agitation à l'agitateur rotatif. Rapport matière végétale/eau = 1/100. Résultats en p. cent du poids sec.

	K	Ca	Mg	N-NH ₄	N-NO ₃
limbe	2,8	0,03	0,09	0,01	0
stipe	8,2	0,04	0,07	0,01	0,30

Compte tenu de la quantité des résidus de culture du bananier (10 à 15 t/ha de M.S.) et de la proportion de limbe et de stipe, cette fraction soluble représente plus de 600 kg/ha de K₂O. On notera que, dans la réalité, les quantités de potassium solubilisées sont certainement plus faibles car : d'une part la matière végétale n'est pas aussi divisée que dans notre expérience de laboratoire, d'autre part l'extraction n'est pas aussi énergique, elle est limitée à une percolation.

Phosphore.

Contrairement à tous les autres éléments, la lixiviation du phosphore est extrêmement faible. Les pertes dépassent rarement 5 kg/ha/an de P₂O₅ ; en huit années elles sont seulement de 35 kg/ha. Pendant cette période les apports ont été de 370 kg/ha de P₂O₅ ; les exportations peuvent être estimées à 125 kg/ha. L'évolution de la teneur en phosphore assimilable du sol confirme la très faible lixiviation du phosphore dont le niveau n'a pas varié entre 1966 et 1973 : 0,39 et 0,38 p. mille de P₂O₅ (DYER).

Le phosphore se différencie également des autres éléments par la proportion des pertes, par ruissellement et par drainage, celles-ci sont à peu près de la même importance à l'exception de l'année 1971 (30 p. cent seulement dus au ruissellement).

Les teneurs en P₂O₅ des eaux sont toujours très faibles 1 à 2 mg/l en A₀, moins de 1 mg/l dans A_{III} et A_{IV} (figure 3).

Azote.

De 1969 à 1973, les pertes annuelles varient de 80 à 200 kg/ha, celles dues au ruissellement représentent toujours moins de 10 p. cent des pertes totales. La lixiviation de l'azote se produit principalement sous forme de nitrates (tableau 4) ; l'azote ammoniacal est toujours en faible quantité : moins de 10 kg/ha/an.

TABLEAU 4 - Pourcentage des pertes d'azote sous différentes formes.

	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973
ammoniacale	5	2	1	5	5	0,2	5
nitrate	71	76	77	93	90	90	93
organique	24	22	22	2	5	10	2

Les migrations sous forme d'azote organique sont relativement faibles, surtout à partir de 1970. De 1966 à 1969 elles sont en moyenne de 50 kg/ha/an, de 1970 à 1973 elles ne dépassent pas 10 kg/ha/an. Pendant la première période de l'étude la fertilisation azotée est apportée sous forme d'urée. Bien que l'hydrolyse de ce composé organique soit très rapide dans les conditions pédoclimatiques de cette bananeraie (96 p. cent après 24 heures et 100 p. cent après 36 heures *in vitro*), une partie de l'engrais peut être lixiviée lors d'une forte pluie avant que l'urée ne soit transformée en azote ammoniacal. Cette période critique est vraisemblablement supérieure à 36 heures, car en bananeraie l'engrais est épandu à la surface du sol. Pour que l'hydrolyse puisse s'effectuer il faut que l'urée soit d'abord solubilisée ; la solubilisation peut se faire par contact de l'engrais avec un sol humide ou, lorsque le sol est sec, au cours d'une pluie ou d'une irrigation. A partir de 1970 la fertilisation étant faite avec du sulfate d'ammonium, les pertes d'azote sous forme organique sont très faibles.

Comme pour les autres éléments, plus de la moitié de la lixiviation de l'azote se produit entre les mois d'avril et de

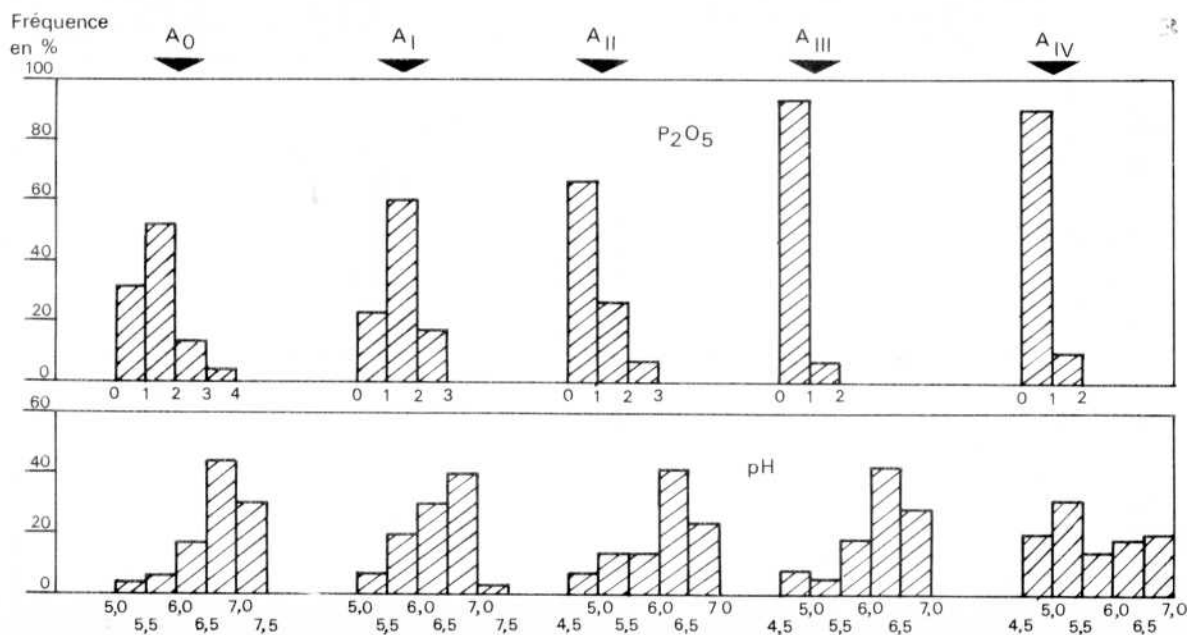


figure 3 • Distribution des teneurs mensuelles des eaux en phosphore assimilable et du pH. Résultats du phosphore exprimés en mg/l de P₂O₅.

juillet. Les différentes études d'évolution de l'azote minéral du sol montrent, en outre, que la quasi-totalité des nitrates est lixiviée à la fin de la saison des pluies quelles que soient les teneurs initiales du sol (GODEFROY, 1969 et 1975).

En huit années 1,7 tonnes d'azote ont été perdues et 3 tonnes ont été apportées par les engrais azotés, soit une perte de 60 p. cent. Pendant cette période, les exportations par les régimes peuvent être estimées à 500 kg/ha.

Les teneurs en azote ammoniacal et en azote organique des eaux de ruissellement et de drainage sont faibles : plus de 80 p. cent des valeurs sont inférieures à 2 mg/l ; celles en nitrates sont souvent élevées, elles augmentent avec la profondeur : A₀ 80 p. cent des valeurs entre 0 et 10 mg/l et 18 p. cent entre 10 et 20 mg/l ; A_{III} et A_{IV} 6 p. cent des teneurs de moins de 10 mg/l, 78 p. cent entre 10 et 30 mg/l, 16 p. cent entre 30 et 70 mg/l (figure 4).

pH :

Le pH des eaux de ruissellement est voisin de la neutralité : 78 p. cent des valeurs sont compris entre 6,5 et 7,5. Le pH des eaux de drainage varie entre 4,5 et 7,0, l'acidité tend à augmenter avec la profondeur (figure 3).

ESTIMATION DES PERTES D'ÉLÉMENTS FERTILISANTS D'APRÈS LES EXPORTATIONS PAR LES RÉCOLTES ET L'ÉVOLUTION DU SOL.

Une deuxième façon d'évaluer les pertes d'éléments minéraux est de les calculer d'après la relation suivante :

1) apports = exportation + pertes (drainage et ruissellement) + variations de la teneur du sol + immobilisation par la plante

Si on arrête le bilan fin octobre 1973, au moment de l'abattage de la bananeraie, on peut considérer que les quantités d'éléments immobilisées sont du même ordre de grandeur qu'en janvier 1966, la relation (1) peut s'écrire :

2) apports = exportations + pertes + variations sol ou encore

3) pertes = apports - (exportations + variations sol)

Notons, comme nous l'avons déjà signalé, que les apports sont un peu sous-estimés, puisque nous ne tenons pas compte des éléments contenus dans les paillis, les pluies et les irrigations. D'autre part, l'étude de l'évolution du sol limitée à l'horizon supérieur (0-25 cm) et à l'analyse des éléments échangeables ou assimilables, ne permet qu'une approximation. On notera, toutefois, que la rétrogradation des engrais potassiques dans ce sol est pratiquement nulle (GODEFROY, 1967).

Les résultats du tableau 5 qui mettent en parallèle les estimations des pertes faites d'après les deux méthodes d'investigation, méritent quelques commentaires.

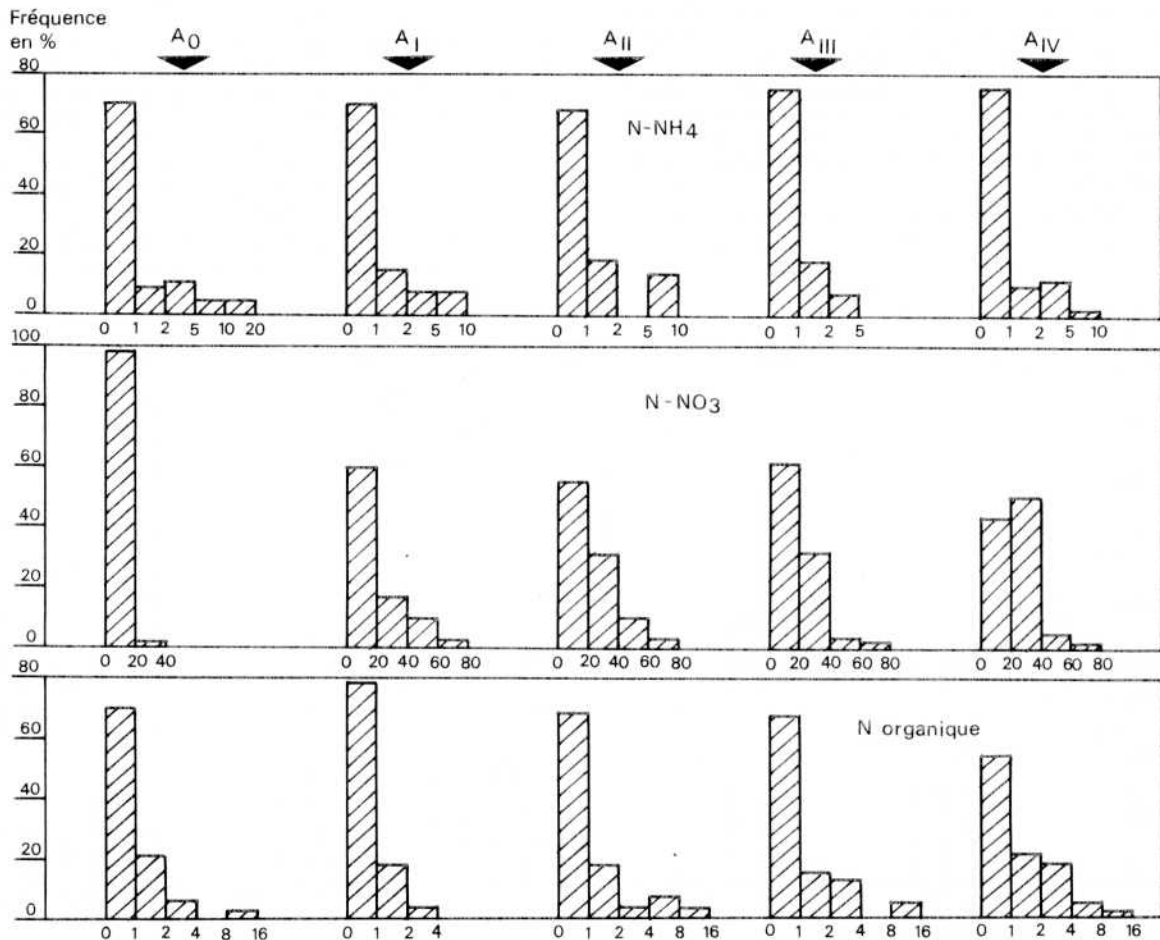


figure 4 • Distribution des teneurs mensuelles des eaux en azote. Résultats exprimés en mg/l de N.

TABLEAU 5 - Pertes moyennes annuelles d'éléments fertilisants en kg/ha (1966 à 1973).

	estimations d'après le ruissellement et le drainage	estimations d'après les exportations par les récoltes et l'évolution du sol	apports moyens annuels d'engrais minéraux
CaO	380	425	380
MgO	175	175	190
K ₂ O	415	490	625
P ₂ O ₅	5	30	45
N	210	310	380

Les valeurs estimées sont bonnes pour les cations, particulièrement pour le **magnésium**, puisque l'on arrive au même chiffre par les deux méthodes : 175 kg. Pour le **calcium** et le **potassium**, les calculs basés sur la lixiviation donnent des quantités inférieures de 15 p. cent par rapport aux estimations faites d'après les exportations par les récoltes et l'évolution du sol. On notera que l'estimation par la deuxième méthode citée, conduit à la conclusion que les pertes de chaux sont supérieures de 10 p. cent aux apports, ce qui se traduit par une diminution de la teneur du sol de 20 p. cent entre 1966 et 1973.

Pour le **phosphore**, la seule analyse de la fraction assimilable qui n'a pas varié entre 1966 et 1973 est insuffisante pour juger de l'évolution des réserves du sol qui ont probablement augmenté ; la valeur de 30 kg obtenue est probablement surestimée. Si l'on considère que les pertes calculées d'après la lixiviation sont les plus proches de la réalité (5 kg), les réserves en P₂O₅ du sol auraient augmenté de 0,07 p. mille en huit ans.

L'évolution de l'azote du sol n'a pas été suivie dans cette parcelle expérimentale, mais les études faites sur le même sol et dans les mêmes conditions de culture sur d'autres carrés de la station d'Azaguié permettent de supposer que la teneur en azote organique a très peu varié en huit ans, (GODEFROY, 1974). Les estimations des quantités perdues par les deux méthodes donnent des différences de l'ordre de 30 p. cent.

Les valeurs plus faibles calculées à partir du drainage et du ruissellement, comparativement au bilan fait d'après les exportations, résultent du fait que la première méthode ne tient compte que des migrations par les eaux. Une autre source de pertes est due à la volatilisation d'une fraction de l'azote des engrais sous forme d'ammoniac gazeux. Des mesures *in vitro* montrent que les déperditions sous cette forme ne sont pas négligeables. Pour l'urée, l'azote volatilisé est, dans nos conditions expérimentales (enrichissement de 200 p.p.m. de N sur un sol de pH = 6,1, de capacité d'échange = 6,0 mé/100 g, d'humidité = 1,5 fois la capacité au champ, température ambiante : 26 °C de moyenne) : de 20 p. cent lorsque l'engrais est mélangé à la terre et de 30 p. cent lorsqu'il est appliqué à la surface. Les pertes avec le **sulfate d'ammonium** sont beaucoup plus faibles, elles sont du même ordre quel que soit le mode d'épandage : 6 et 7 p. cent.

CONCLUSION

Cette étude de la lixiviation des éléments fertilisants pour les années 1969 et 1973 confirme les conclusions que nous avions formulées après les trois premières années d'expérimentation (GODEFROY, ROOSE, MULLER, 1970). Les pertes d'éléments nutritifs sont très élevées à l'exception du phosphore. Des variations importantes des migrations apparaissent d'une année à l'autre en fonction de la pluviosité annuelle (variations de 630 mm au cours des huit années étudiées), mais surtout en fonction de la répartition des pluies au cours de l'année, donc du drainage.

La mise en parallèle de nos résultats avec ceux obtenus à Quimper, une des régions les plus pluvieuses de France (COPPENET 1969) montre que dans les conditions pédo-climatiques où est réalisée notre étude (sol ferrallitique, climat tropical humide), les pertes sont quatre fois plus élevées pour l'azote, treize fois pour le potassium, six fois pour le magnésium et le phosphore ; seule la lixiviation de la chaux est du même ordre de grandeur dans les deux sites. On notera, en particulier, le comportement très différent du potassium en région tempérée et en région tropicale. Dans le sol ferrallitique étudié, la fraction argileuse de l'horizon supérieur (0-25 cm) qui représente 15 à 20 p. cent de la terre fine, est composée d'environ 50 p. cent de kaolinite, 25 p. cent d'interstratifiés de type illite et 25 p. cent de type chlorite ; les phénomènes de rétrogradation du potassium sont très faibles.

Les causes de la lixiviation importante des éléments fertilisants sont diverses :

- drainage + ruissellement élevés : 550 à 950 mm soit 35 à 45 p. cent du total annuel des pluies et des irrigations
- faible capacité d'échange cationique : 8 à 9 mé/100 g
- système racinaire du bananier peu dense, peu ramifié et superficiel (sol peu structuré) et fortement parasité par les nématodes (les traitements aux nématicides organo-phosphorés n'ont débuté qu'en 1973)
- fertilisation minérale élevée représentant trois fois les exportations d'azote, de potassium et de phosphore, vingt fois celles du magnésium et quarante fois celles du calcium.

Des techniques doivent être recherchées pour améliorer le rendement d'utilisation des engrais dont les pertes représentent dans la bananeraie étudiée, un coût de 93.000 F CFA à 121.000 F CFA/ha/an (chiffre le plus faible : estimation d'après la lixiviation ; chiffre le plus élevé : estimation d'après les exportations) pour une dépense de 145.000 F CFA/ha/an (prix Abidjan, octobre 1974).

Outre le gaspillage de 60 à 85 p. cent des investissements consentis pour la fertilisation des cultures bananières, il convient de signaler les inconvénients pour l'environnement qui découlent de la mauvaise utilisation des engrais par les bananiers. Les eaux de percolation sont beaucoup plus minéralisées dans une bananeraie fertilisée que dans le milieu naturel ou dans d'autres types de culture (ROOSE, 1974). Ces eaux peuvent polluer les eaux de nappe en les rendant impropres à la consommation (danger de méthémoglobinémie des enfants si N > 10 p.p.m.) et les eaux de surface (marigots et surtout étangs) en provoquant leur eutrophisation (développement brutal de certains types d'algues entraînant une baisse du taux d'oxygène dissous dans l'eau et l'arrêt de son pouvoir auto-épurateur : eaux vertes et malodorantes).

Il est difficile d'agir sur le drainage sauf en ajustant de très près l'irrigation aux conditions écologiques. Des essais de couverture du sol avec du polyéthylène n'ont pas donné de résultats satisfaisants (GODEFROY, CHARPENTIER, 1970) ; d'autre part au prix de vente actuel, la couverture

du tiers de la superficie d'une bananeraie reviendrait à 150.000 F CFA à l'hectare.

Le ruissellement peut être considérablement réduit par le labour et surtout par le paillis. Cependant, la teneur des eaux de ruissellement en éléments nutritifs étant plus faible (sauf pour le phosphore pour lequel les pertes sont faibles) que celle des eaux de drainage, on peut se demander s'il n'y a pas intérêt, dans la mesure où l'érosion est faible, à laisser les excédents d'eau ruisseler plutôt que de les forcer à percoler à travers tout le profil.

La technique du paillage est de plus en plus abandonnée en Côte d'Ivoire à cause de son prix de revient (50.000 F CFA/ha) et de la main-d'oeuvre qu'elle nécessite. Il faut cependant souligner, si l'augmentation élevée du prix des engrais minéraux se poursuivait, qu'il conviendrait peut-être de reconsidérer le problème du paillis (au sens large, c'est-à-dire apport en couverture de paille ou de tout autre résidu de culture) en tenant compte, non seulement de son efficacité pour protéger le sol contre l'érosion, l'évaporation, le tassement et le glaçage de l'horizon superficiel mais encore de son rôle en tant que source d'apport d'éléments nutritifs.

La capacité d'échange du sol peut être accrue par enrichissement de la teneur en matière organique obtenue avec des apports de fumier ou mieux de fumier + paillis (GODEFROY, 1974). Pour obtenir une augmentation notable, il faut apporter des quantités importantes de fumier (100 t/ha tous les trois ou quatre ans) ce qui est irréalisable dans les plantations industrielles dont les surfaces sont fréquemment supérieures à 100 hectares.

L'amélioration sanitaire du système racinaire des bananiers est possible par l'utilisation rationnelle des nouveaux nématicides (Némacur, Mocap, Furadan) ; l'accroissement du volume de sol prospecté par les racines est beaucoup plus difficile à obtenir, puisqu'en relation avec les caractéristiques physiques du sol : hydriques, structure, porosité, texture.

Les caractéristiques hydriques sont modifiables par le drainage et l'irrigation. Des améliorations de l'état structural et de la porosité peuvent être obtenues par le travail du sol (labour) et les amendements organiques : fumier en particulier, mais la rentabilité de ces apports n'a pas été nettement démontrée.

Les différentes techniques culturales énumérées n'ont pas donné sur le plan de la rentabilité des résultats probants à l'exception des traitements nématicides ; il semble qu'une solution aux problèmes de lixiviation doit être recherchée dans les techniques de fertilisation.

Le fractionnement des apports des engrais azotés et potassiques est déjà largement pratiqué dans les bananeraies ivoiriennes : 6 à 12 épandages annuels suivant les plantations (8 à 10 dans la bananeraie étudiée). Il semble difficile de conseiller d'augmenter le nombre des épandages (frais de main-d'oeuvre) d'autant plus que les essais de fractionnement réalisés par l'IFAC dans différents pays ont souvent donné des résultats contradictoires.

Pour les amendements calco-magnésiens on conseille de faire un apport annuel en automne à partir du deuxième cycle et pour les plantations du quatrième trimestre ; pour les plantations de printemps il est préférable d'apporter la moitié de la dose à la plantation et l'autre moitié en automne, la lixiviation étant très intense en mai - juin - juillet.

La fertilisation phosphatée ne pose pas de problèmes, un apport à chaque replantation, soit tous les trois ou quatre ans, est suffisant dans la majorité des plantations

ivoiriennes dans lesquelles les niveaux en phosphore sont bons.

L'azote et le potassium représentant respectivement 55 p. cent et 25 p. cent du coût des engrais perdus, c'est en priorité sur ces deux engrais qu'il faut chercher à améliorer le coefficient d'utilisation.

Pour l'azote, de nouveaux engrais organiques type «urée polymérisée», à minéralisation «lente», sont actuellement en expérimentation. Dans une étude d'incubation *in vitro*, à la température ambiante (26°C), 50 p. cent seulement de ces composés sont minéralisés après quatre mois, alors que pour l'urée l'hydrolyse est complète après 36 heures. Les possibilités de lixiviation sous forme d'azote organique de ces nouveaux engrais n'ont pas été étudiées.

Pour le potassium, on peut se demander si la technique d'épandage consistant à concentrer la fertilisation sur une faible superficie autour du bananier n'est pas un facteur favorable à la lixiviation. Dans la zone d'application la teneur en potassium échangeable est généralement de 0,5 à 1,0 mé/100 g alors que la teneur du sol à l'équilibre climatique (forêt) est inférieure à 0,1 mé/100 g. OCHS (communication orale) étudiant l'évolution du potassium dans les sols sablo-argileux des palmeraies du sud de la Côte d'Ivoire n'a observé de lixiviation du potassium que pour une teneur du sol supérieure à 0,2 mé/100 g. Des études vont être faites pour préciser s'il y a une relation entre la lixiviation et le mode d'épandage des engrais potassiques.

Avec le même objectif d'une meilleure utilisation des engrais, des essais de fertilisation azotée et potassique vont être entrepris afin de définir les quantités de fertilisants économiquement optimales, compte tenu des augmentations du prix des engrais. Les doses actuellement préconisées ont été établies d'après des expérimentations faites dans des bananeraies où le contrôle du parasitisme des racines n'était pas total. On peut espérer, avec l'utilisation des nouveaux nématicides qui permet d'obtenir un système racinaire sain et beaucoup plus développé, pouvoir réduire les quantités d'engrais et accroître le coefficient d'utilisation.

ANNEXE 1 - TRAVAUX CULTURAUX EFFECTUES DANS LA BANANERAIE DE 1969 A 1973.

1969. janvier à décembre :

- épandages fractionnés (10) des engrais N et K. Apports annuels : N = 490 kg/ha (60 p. cent urée, 40 p. cent sulfate d'ammonium), K₂O = 860 kg/ha (chlorure de potassium).

1970.

- janvier à novembre :
- épandages fractionnés (10) des engrais N et K. Apports annuels : N = 370 kg/ha (sulfate), K₂O = 790 kg/ha (chlorure) avril
- abattage de la bananeraie et replantation ; épandage de 1 t/ha de dolomie (CaO = 300 kg, MgO = 200 kg) et de 1 t/ha de scories de déphosphoration (P₂O₅ = 170 kg, CaO = 500 kg) ; enfouissement des amendements par un labour manuel superficiel au 4 «dents»
- mai-juin :
- épandage de 300 kg/ha de NO₃Ca (CaO = 75 kg).
- mai :
- paillage avec des herbes et des branchages coupés dans la forêt.

1971.

- février : tornade, beaucoup de bananiers cassés

- mars à octobre :
 - épandages fractionnés (8) des engrais N et K. Apports annuels : N = 320 kg/ha (sulfate), K₂O = 660 kg (chlorure)
 avril :
 - recépage du carré : épandage de 0,5 t/ha de dolomie (CaO = 150 kg, MgO = 100 kg) ; labour manuel superficiel.

1972.

- février à septembre :
 - épandages fractionnés (5) des engrais de N et K. Apports annuels : N = 260 kg/ha (sulfate), K₂O = 330 kg (chlorure)
 juillet :
 - épandage de 0,5 t/ha de dolomie (CaO = 150 kg, MgO = 100

kg) et de 0,5 t/ha de scories (P₂O₅ = 90 kg, CaO = 250 kg).

1973.

- janvier à novembre :
 - épandages fractionnés (7) des engrais N et K. Apports annuels : N = 250 kg (sulfate), K₂O = 670 kg (chlorure)
 octobre (24-25) :
 - abattage de la bananeraie
 novembre :
 - replantation de la bananeraie et épandage de 0,6 t/ha de dolomie (CaO = 180 kg, MgO = 120 kg) et de 1 t/ha de scories (P₂O₅ = 170 kg, CaO = 500 kg).

ANNEXE 2 - Pluie - Irrigation - Ruissellement - Drainage - ETP (résultats en mm), 1969.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	annuel
hauteur des pluies	0	81	56	200	93	350	127	20	12	292	181	43	1455
nombre jours de pluie	0	6	6	13	9	16	11	6	2	10	10	3	92
hauteur des irrigations	82	31	51	41	0	0	0	54	58	25	0	60	402
nombre d'irrigations	2	2	2	1	0	0	0	2	2	1	0	1	13
pluies + irrigations	82	112	107	241	93	350	127	74	70	317	181	103	1857
ruissellement	0	0	0	1	1	68	1	0	0	47	36	1	155
drainage	0	25	10	128	0	200	55	0	0	175	78	20	691
ETP (Turc)	110	110	127	112	118	82	79	70	82	94	110	101	1195

ANNEXE 3 - Pluie - Irrigation - Ruissellement - Drainage - ETP (résultats en mm), 1970

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	annuel
hauteur des pluies	24	118	82	210	182	284	177	43	106	169	167	21	1583
nombre jours de pluie	3	9	9	13	14	14	10	3	10	16	10	6	117
hauteur des irrigations	72	37	39	0	52	0	0	69	38	20	0	63	390
nombre d'irrigations	3	2	2	0	1	0	0	4	2	1	0	4	19
pluies + irrigations	96	155	121	210	234	284	177	112	144	189	167	84	1973
ruissellement	1	4	1	5	31	37	88	0	2	2	21	1	192
drainage	5	45	5	98	94	149	53	0	67	89	48	5	658
ETP (Turc)	105	115	125	107	109	98	78	72	75	98	98	81	1161

ANNEXE 4 - Pluie - Irrigation - Ruissellement - Drainage - ETP (résultats en mm), 1971

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	annuel
hauteur des pluies	0	35	100	169	242	241	135	54	80	134	140	79	1409
nombre jours de pluie	0	2	8	8	10	15	8	9	8	8	9	5	90
hauteur des irrigations	70	9	20	0	0	0	0	45	32	0	0	30	206
nombre d'irrigations	3	1	1	0	0	0	0	2	2	0	0	2	11
pluies + irrigations	70	44	120	169	242	241	135	99	112	134	140	109	1615
ruissellement	3	1	6	5	14	22	3	1	2	7	25	7	96
drainage	20	0	0	50	106	131	65	0	0	27	30	33	462
ETP (Turc)	86	117	120	125	122	88	100	79	75	100	95	69	1176

ANNEXE 5 - Pluie - Irrigation - Ruissellement - Drainage - ETP (résultats en mm), 1972

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	annuel
hauteur des pluies	7	65	100	158	250	339	121	16	46	183	76	48	1409
nombre jours de pluie	2	6	9	11	17	17	11	5	5	11	11	7	112
hauteur des irrigations	25	34	16	0	0	0	0	8	0	17	0	27	127
nombre d'irrigations	3	1	2	0	0	0	0	1	0	1	0	2	9
pluies + irrigations	32	99	116	158	250	339	121	24	46	200	76	75	1536
ruissellement	0	1	1	5	38	74	3	0	0	24	1	1	148
drainage	0	0	0	40	113	179	46	0	0	75	0	0	453
ETP (Turc)	98	119	119	112	99	86	72	71	80	102	98	94	1150

ANNEXE 6 - Pluie - Irrigation - Ruissellement - Drainage - ETP (résultats en mm), 1972

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	annuel
hauteur des pluies	8	167	114	120	28	400	68	110	212	170	164	128	1689
nombre jours de pluie	1	4	5	11	9	19	7	11	13	17	12	6	115
hauteur des irrigations	57	13	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	85
nombre d'irrigations	3	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6
pluies + irrigations	65	180	129	120	28	400	68	110	212	170	164	128	1774
ruissellement	0	66	2	1	0	20	2	3	6	8	2	5	115
drainage	0	40	20	0	0	301	31	5	100	57	66	23	643
ETP (Turc)	113	121	105	116	116	79	90	74	82	99	115	101	1211

ANNEXE 7 - Pertes en éléments fertilisants (kg/ha), 1969.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	annuel		
Ca	ruissellement	tr	tr	tr	tr	tr	13,1	tr	tr	tr	10,7	3,3	tr	27,1	8 %
	drainage	0	10,3	3,1	74,2	0	78,0	13,2	0	0	112,0	28,1	5,4	324,3	92 %
	R + Dr	tr	10,3	3,1	74,2	tr	91,1	13,2	tr	tr	122,7	31,4	5,4	351,4	
	p. cent des pertes annuelles		3	1	21		26	4			35	9	2		
Mg	ruissellement	tr	tr	tr	tr	tr	5,4	tr	tr	tr	3,3	1,0	0,1	9,8	8 %
	drainage	0	3,8	1,0	16,6	0	32,0	5,0	0	0	38,5	9,4	1,8	108,1	92 %
	R + Dr	tr	3,8	1,0	16,6	tr	37,4	5,0	tr	tr	41,8	10,4	1,9	117,9	
	p. cent des pertes annuelles		3	1	14		32	4			35	9	2		
K	ruissellement	tr	0,1	tr	0,1	0,1	25,1	0,1	0,1	tr	19,6	9,4	0,5	55,1	14 %
	drainage	0	9,8	2,8	53,8	0	90,6	16,0	0	0	119,0	35,1	7,8	334,9	86 %
	R + Dr	tr	9,9	2,8	53,9	0,1	115,7	16,1	0,1	tr	138,6	44,5	8,3	390,0	
	p. cent des pertes annuelles		3	1	14	<1	30	4	<1		36	11	2		
P ₂ O ₅	ruissellement	tr	tr	tr	tr	tr	0,4	tr	tr	tr	0,6	0,6	tr	1,6	48 %
	drainage	0	tr	0	0	0	tr	tr	0	0	1,2	0,4	0,1	1,7	52 %
	P + Dr	tr	tr	tr	tr	tr	0,4	tr	tr	tr	1,8	1,0	0,1	3,3	
	p. cent des pertes annuelles						12				55	30	3		
N-NH ₄	ruissellement	tr	NA	tr	0	tr	0,1	tr	tr	0	1,1	tr	tr	1,2	57 %
	drainage	0	NA	0,1	0,1	0	0,2	6,2	0	0	0,2	0	0,1	0,9	43 %
	R + Dr	tr	NA	0,1	0,1	tr	0,3	0,2	tr	0	1,3	tr	0,1	2,1	
	p. cent des pertes annuelles			5	5		14	10			62		5		
N-NO ₃	ruissellement	tr	tr	tr	tr	tr	3,6	tr	tr	tr	5,5	0,9	0,1	10,1	7 %
	drainage	0	4,2	2,3	19,5	0	36,2	6,3	0	0	51,5	12,9	3,1	136,0	93 %
	R + Dr	tr	4,2	2,3	19,5	tr	39,8	6,3	tr	tr	57,0	13,8	3,2	146,1	
	p. cent des pertes annuelles		3	2	13		27	4			39	9	2		
N. organ.	ruissellement	0	0	0	0	0	5,0	0	0	0	1,6	0,4	0	7,0	17 %
	drainage	0	0	0,5	13,7	0	8,6	1,8	0	0	9,2	0	0,5	34,3	83 %
	R + Dr	0	0	0,5	13,7	0	13,6	1,8	0	0	10,8	0,4	0,5	41,3	
	p. cent des pertes annuelles			1	33		33	4			26	1	1		
N total	ruissellement	tr	tr	tr	tr	tr	8,7	tr	tr	tr	8,2	1,3	0,1	18,3	10 %
	drainage	0	4,2	2,9	33,3	0	45,0	8,3	0	0	60,9	12,9	3,7	171,2	90 %
	R + Dr	tr	4,2	2,9	33,3	tr	53,7	8,3	tr	tr	69,1	14,2	3,8	189,5	
	p. cent des pertes annuelles		2	2	18		28	4			36	7	2		

ANNEXE 8 - Pertes en éléments fertilisants (kg/ha), 1970

		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	annuel	
Ca	ruissellement	0,1	0,2	0,1	0,6	3,2	6,7	7,3	tr	1,0	0,4	4,6	0,2	24,4	8 %
	drainage	1,5	23,0	1,3	25,5	38,5	56,6	14,3	0	38,9	36,5	27,8	1,3	265,2	92 %
	R+Dr	1,6	23,2	1,4	26,1	41,7	63,3	21,6	tr	39,9	36,9	32,4	1,5	289,6	
	p. cent des pertes annuelles	1	8	<1	9	14	22	7		14	13	11	1		
Mg	ruissellement	tr	0,1	tr	0,2	1,2	2,5	2,9	tr	0,3	0,1	1,5	0,1	8,9	9 %
	drainage	0,6	7,7	0,5	7,8	14,1	20,9	4,8	0	14,1	13,4	9,6	0,5	94,0	91 %
	R+Dr	0,6	7,8	0,5	8,0	15,3	23,4	7,7	tr	14,4	13,5	11,1	0,6	102,9	
	p. cent des pertes annuelles	1	8	<1	8	15	23	7		14	13	11	1		
K	ruissellement	0,3	0,7	0,4	2,0	10,7	21,2	20,7	0,1	2,2	0,7	7,5	0,3	66,8	12 %
	drainage	1,8	29,7	1,6	47,0	96,8	123,7	29,2	0	65,0	49,8	35,5	2,2	482,3	88 %
	R+Dr	2,1	30,4	2,0	49,0	107,5	144,9	49,9	0,1	67,2	50,5	43,0	2,5	549,1	
	p. cent des pertes annuelles	<1	6	<1	9	20	26	9	<1	12	9	8	<1		
P ₂ O ₅	ruissellement	tr	0,1	tr	0,1	0,6	1,2	2,3	tr	0,1	tr	0,2	tr	4,6	47 %
	drainage	tr	0,4	tr	1,1	0,8	1,8	0,5	0	0,5	tr	0,1	tr	5,2	53 %
	R+Dr	tr	0,5	tr	1,2	1,4	3,0	2,8	tr	0,6	tr	0,3	tr	9,8	
	p. cent des pertes annuelles		5		12	14	31	29		6		3			
N-NH ₄	ruissellement	tr	tr	0	tr	2,1	0,4	0,5	tr	0,4	tr	0,1	tr	3,5	31 %
	drainage	tr	1,3	0	1,2	0,9	1,2	0,3	0	1,8	0,5	0,6	tr	7,8	69 %
	R+Dr	tr	1,3	0	1,2	3,0	1,6	0,8	tr	2,2	0,5	0,7	tr	11,3	
	p. cent des pertes annuelles		12		11	27	14	7		19	4	6			
N-NO ₃	ruissellement	0,1	0,1	tr	0,4	1,4	4,7	2,6	tr	0,6	0,2	1,9	0,1	12,1	6 %
	drainage	1,0	10,2	0,9	15,5	27,9	44,7	8,5	0	26,9	25,8	14,4	0,7	176,5	94 %
	R+Dr	1,1	10,3	0,9	15,9	29,3	49,4	11,1	tr	27,5	26,0	16,3	0,8	188,6	
	p. cent des pertes annuelles	<1	5	<1	8	16	26	6		15	14	9	<1		
N organ.	ruissellement	0	tr	0	0	0	0,1	0,5	0	0	tr	0,1	tr	0,7	19 %
	drainage	tr	0,7	tr	0	1,4	0,3	0,2	0	0,1	0	0,1	0,2	3,0	81 %
	R+Dr	tr	0,7	tr	0	1,4	0,4	0,7	0	0,1	tr	0,2	0,2	3,7	
	p. cent des pertes annuelles		19			38	11	19		3		5	5		
N total	ruissellement	0,1	0,1	tr	0,4	3,5	5,2	3,6	tr	1,0	0,2	2,1	0,1	16,3	8 %
	drainage	1,0	12,2	0,9	16,7	30,2	46,2	9,0	0	28,8	26,3	15,1	0,9	187,3	92 %
	R+Dr	1,1	12,3	0,9	17,1	33,7	51,4	12,6	tr	29,8	26,5	17,2	1,0	203,6	
	p. cent des pertes annuelles	<1	6	<1	8	17	25	6		15	13	8	<1		

ANNEXE 9 - Pertes en éléments fertilisants (kg/ha), 1971

		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	annuel	
Ca	ruissellement	0,3	0,2	0,8	0,9	2,0	3,0	0,2	0,1	0,2	0,6	0,9	0,4	9,6	4 %
	drainage	4,4	0	0	34,5	54,1	51,1	28,0	0	0	16,5	12,6	10,2	211,4	96 %
	R+Dr	4,7	0,2	0,8	35,4	56,1	54,1	28,2	0,1	0,2	17,1	13,5	10,6	221,0	
	p. cent des pertes annuelles	2	<1	<1	16	25	24	13	<1	<1	8	6	5		
Mg	ruissellement	0,1	tr	0,2	0,3	0,6	1,3	0,1	tr	0,1	0,3	0,5	0,2	3,7	5 %
	drainage	1,6	0	0	12,0	18,0	18,3	9,8	0	0	5,7	4,5	4,0	73,9	95 %
	R+Dr	1,7	tr	0,2	12,3	18,6	19,6	9,9	tr	0,1	6,0	5,0	4,2	77,6	
	p. cent des pertes annuelles	2		<1	16	24	25	13		<1	8	6	5		
K	ruissellement	1,0	0,2	1,8	2,4	6,0	6,2	0,3	0,2	0,4	3,2	3,3	1,2	26,2	9 %
	drainage	8,4	0	0	39,5	67,8	69,4	32,5	0	0	19,2	15,6	15,5	267,9	91 %
	R+Dr	9,4	0,2	1,8	41,9	73,8	75,6	32,8	0,2	0,4	22,4	18,9	16,7	294,1	
	p. cent des pertes annuelles	3	<1	1	14	25	26	11	<1	<1	8	6	6		
P ₂ O ₅	ruissellement	tr	tr	0,1	0,1	0,3	0,3	tr	tr	tr	tr	0,3	0,1	1,2	29 %
	drainage	0,1	0	0	0,3	0,9	0,9	0,5	0	0	0,1	0,1	tr	2,9	71 %
	R+Dr	0,1	tr	0,1	0,4	1,2	1,2	0,5	tr	tr	0,1	0,4	0,1	4,1	
	p. cent des pertes annuelles	2		2	10	29	29	12			2	10	2		
N-NH ₄	ruissellement	tr	tr	0,1	0,3	0,8	0,2	tr	tr	tr	tr	tr	tr	1,4	18 %
	drainage	0,1	0	0	2,4	1,8	1,3	0,2	0	0	0,1	0,4	0	6,3	82 %
	R+Dr	0,1	tr	0,1	2,7	2,6	1,5	0,2	tr	tr	0,1	0,4	tr	7,7	
	p. cent des pertes annuelles	1		1	35	34	19	3			1	5			
N-NO ₃	ruissellement	0,1	0,1	0,3	0,8	1,6	1,7	0,1	0,1	0,1	0,2	1,2	0,4	6,4	4 %
	drainage	2,5	0	0	30,2	41,6	29,3	16,7	0	0	5,7	17,3	5,0	148,3	96 %
	R+Dr	2,6	0,1	0,3	31,0	43,2	31,0	16,8	0,1	0,1	5,9	18,5	5,1	154,7	
	p. cent des pertes annuelles	2	<1	<1	20	28	20	11	<1	<1	4	12	3		
N organ.	ruissellement	tr	0	0	0	0,1	0,1	tr	0	0	0,1	0,3	0,1	0,7	8 %
	drainage	0,1	0	0	0,1	0,2	6,0	1,1	0	0	0,6	tr	0,4	8,5	92 %
	R+Dr	0,1	0	0	0,1	0,3	6,1	1,1	0	0	0,7	0,3	0,5	9,2	
	p. cent des pertes annuelles	1			1	3	66	12			8	3	5		
N total	ruissellement	0,1	0,1	0,4	1,1	2,5	2,0	0,1	0,1	0,1	0,3	1,5	0,2	8,5	5 %
	drainage	2,7	0	0	32,7	43,6	36,6	18,0	0	0	6,4	17,7	5,4	163,1	95 %
	R+Dr	2,8	0,1	0,4	33,8	46,1	38,6	18,1	0,1	0,1	6,7	19,2	5,6	171,6	
	p. cent des pertes annuelles	2	<1	<1	20	27	22	11	<1	<1	4	11	3		

ANNEXE 10 - Pertes en éléments fertilisants (kg/ha), 1972

		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	annuel	
Ca	ruissellement	0	0,2	0,1	0,5	3,2	6,2	0,2	0	0	2,3	0,1	0,1	12,9	9 %
	drainage	0	0	0	20,0	37,3	35,8	8,3	0	0	30,0	0	0	131,4	91 %
	R + Dr	0	0,2	0,1	20,5	40,5	42,0	8,5	0	0	32,3	0,1	0,1	144,3	
	p. cent des pertes annuelles		<1	<1	14	28	29	6			22	<1	<1		
Mg	ruissellement	0	0,1	tr	0,3	1,4	2,5	0,1	0	0	1,0	tr	tr	5,4	10 %
	drainage	0	0	0	7,2	13,6	12,5	3,2	0	0	10,5	0	0	47,0	90 %
	R + Dr	0	0,1	tr	7,5	15,0	15,0	3,3	0	0	11,5	tr	tr	52,4	
	p. cent des pertes annuelles		<1		14	29	29	6			22				
K	ruissellement	0	0,4	0,2	1,4	10,1	14,3	0,4	0	0	5,3	0,2	0,3	32,6	16 %
	drainage	0	0	0	21,6	49,7	53,7	12,9	0	0	33,8	0	0	171,7	84 %
	R + Dr	0	0,4	0,2	23,0	59,8	68,0	13,3	0	0	39,1	0,2	0,3	204,3	
	p. cent des pertes annuelles		<1	<1	11	29	33	7			19	<1	<1		
P ₂ O ₅	ruissellement	0	tr	tr	0,1	0,5	1,1	tr	0	0	0,3	tr	tr	2,0	49 %
	drainage	0	0	0	0,2	0,8	0,7	0,2	0	0	0,2	0	0	2,1	51 %
	R + Dr	0	tr	tr	0,3	1,3	1,8	0,2	0	0	0,5	tr	tr	4,1	
	p. cent des pertes annuelles				7	32	44	5			12				
N-NH ₄	ruissellement	0	tr	0	tr	0	0	0	0	0	0,1	tr	tr	0,1	50 %
	drainage	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	50 %
	R + Dr	0	tr	0	0,1	0	0	0	0	0	0,1	tr	tr	0,2	
	p. cent des pertes annuelles				50						50				
N-NO ₃	ruissellement	0	0,1	0,1	0,3	1,3	1,9	0,1	0	0	0,9	0,1	0,1	4,9	7 %
	drainage	0	0	0	11,0	18,5	16,7	4,0	0	0	14,9	0	0	65,1	93 %
	R + Dr	0	0,1	0,1	11,3	19,8	18,6	4,1	0	0	15,8	0,1	0,1	70,0	
	p. cent des pertes annuelles		<1	<1	16	28	27	6			23	<1	<1		
N organ.	ruissellement	0	0	0	0	0,6	1,0	0	0	0	0	0	0	1,6	20 %
	drainage	0	0	0	0,1	1,6	2,3	1,0	0	0	1,3	0	0	6,3	80 %
	R + Dr	0	0	0	0,1	2,2	3,3	1,0	0	0	1,3	0	0	7,9	
	p. cent des pertes annuelles				1	28	42	13			16				
N total	ruissellement	0	0,1	0,1	0,3	1,9	2,9	0,1	0	0	1,0	0,1	0,1	6,6	8 %
	drainage	0	0	0	11,2	20,1	19,0	5,0	0	0	16,2	0	0	71,5	92 %
	R + Dr	0	0,1	0,1	11,5	22,0	21,9	5,1	0	0	17,2	0,1	0,1	78,1	
	p. cent des pertes annuelles		<1	<1	15	28	28	7			22	<1	<1		

ANNEXE 11 - Pertes en éléments fertilisants (kg/ha), 1973

		tr	0	0,1	0,2	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	10,0	15,0	20,0	30,0	40,0	50,0	annuel	%
Ca	ruissellement	tr	6,9	0,2	0,1	tr	2,0	0,1	0,2	0,6	0,5	0,2	0,5	11,3	4 %								
	drainage	0	20,8	4,8	0	0	153,5	9,9	0,9	38,0	19,4	30,4	6,7	284,4	96 %								
	R + Dr	tr	27,7	5,0	0,1	tr	155,5	10,0	1,1	38,6	19,9	30,6	7,2	295,7									
	p. cent des pertes annuelles		9	2	<1		53	3	<1	13	7	10	2										
Mg	ruissellement	tr	3,0	0,1	tr	tr	0,7	0,1	0,1	0,3	0,2	0,1	0,2	4,8	5 %								
	drainage	0	6,8	2,2	0	0	48,2	3,4	0,4	12,0	6,8	9,9	2,5	93,2	95 %								
	R + Dr	tr	9,8	2,3	tr	tr	48,9	3,5	0,5	13,3	7,0	10,0	2,7	98,0									
	p. cent des pertes annuelles		10	2			50	4	0,5	14	7	10	3										
K	ruissellement	tr	26,2	0,8	0,2	tr	5,9	0,3	0,9	2,0	2,1	0,5	3,0	36,9	8 %								
	drainage	0	26,8	9,4	0	0	198,7	14,9	1,3	66,0	30,8	41,6	11,7	401,2	92 %								
	R + Dr	tr	53,0	10,2	0,2	tr	204,6	15,2	2,2	68,0	32,9	42,1	14,7	438,1									
	p. cent des pertes annuelles		12	2	<1		47	3	0,5	16	8	10	3										
P ₂ O ₅	ruissellement	tr	0,8	tr	tr	tr	0,2	tr	0,1	0,1	0,1	tr	0,2	1,5	39 %								
	drainage	0	0,1	0,2	0	0	0,9	0,1	tr	0,4	0,2	0,2	0,2	2,3	61 %								
	R + Dr	tr	0,9	0,2	tr	tr	1,1	0,1	0,1	0,5	0,3	0,2	0,4	3,8									
	p. cent des pertes annuelles		24	5			29	3	3	13	8	5	11										
N-NH ₄	ruissellement	tr	0,5	tr	tr	tr	0,4	tr	tr	0,1	0,1	0,1	0,3	1,5	17 %								
	drainage	0	0,2	0,2	0	0	3,0	0,2	0,1	1,9	0,3	0,8	0,4	7,1	83 %								
	R + Dr	tr	0,7	0,2	tr	tr	3,4	0,2	0,1	2,0	0,4	0,9	0,7	8,6									
	p. cent des pertes annuelles		8	2			40	2	1	23	5	10	8										
N-NO ₃	ruissellement	tr	4,6	0,2	0,1	tr	0,9	0,1	0,2	0,4	0,3	0,1	0,2	7,1	4 %								
	drainage	0	11,0	3,7	0	0	86,7	5,7	0,6	20,2	10,8	20,5	4,1	163,3	96 %								
	R + Dr	tr	15,6	3,9	0,1	tr	87,6	5,8	0,8	20,6	11,1	20,6	4,3	170,4									
	p. cent des pertes annuelles		9	2	<1		51	3	0,5	12	7	12	3										
N organ.	ruissellement	0	0,1	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0,2	7 %								
	drainage	0	tr	0,1	0	0	1,2	0,2	0	0,5	0,2	0,6	tr	2,8	93 %								
	R + Dr	0	0,1	0,1	0	0	1,3	0,2	0	0,5	0	0,6	tr	3,0									
	p. cent des pertes annuelles		3	3			43	7		17	7	20											
N total	ruissellement	tr	5,2	0,2	0,1	0	1,4	0,1	0,2	0,5	0,4	0,2	0,5	8,8	5 %								
	drainage	0	11,2	4,0	0	0	90,9	6,1	0,7	22,6	11,3	21,9	4,5	173,2	95 %								
	R + Dr	tr	16,4	4,2	0,1	0	92,3	6,2	0,9	23,1	11,7	22,1	5,0	182,0									
	p. cent des pertes annuelles		9	2	<1		51	3	0,5	13	6	12	3										

ANNEXE 12 - Apports d'éléments fertilisants par les eaux de pluie et d'irrigation (en kg/ha), année 1973.

	CaO	MgO	K ₂ O	N	P ₂ O ₅
pluies (1690 mm)	71	66	2,6	42 (1)	2,8
irrigations (85 mm)	6	7	2,7	2,3 (2)	traces

(1) NH₄ = 34 p. cent, NO₃ = 55 p. cent, N. organique = 11 p. cent(2) NH₄ = 18 p. cent, NO₃ = 82 p. cent, N. organique nul

ANNEXE 13 - Teneurs des eaux de pluies en éléments fertilisants (en mg/l), année 1973

	Ca	Mg	K	N-NH ₄	N-NO ₃	N. org.	P ₂ O ₅	pH
valeurs extrêmes	1 - 7	2 - 3	0 - 4	0 - 2	0 - 3	0 - 2	0 - 1	5,9-7,8
valeurs les plus fréquentes	2 - 3	-	0	<1	1 - 2	0	<0,2	7,5

ANNEXE 14 - Evolution des caractéristiques chimiques du sol de la bananeraie de 1966 à 1973, Azaguié.

	1966	1971	1972	1973
Ca échangeable mé/100 g	5,4	5,4	4,8	4,2
Mg échangeable mé/100 g	0,9	1,3	1,3	1,0
K échangeable mé/100 g	0,8	0,5	0,6	0,5
Capacité d'échange mé/100 g	8,2	8,2	9,1	9,0
Coefficient de saturation p. cent	87	88	73	64
pH	5,8	6,3	5,4	5,5
P ₂ O ₅ assimilable p. mille (extraction citrique)	0,39	0,23	0,38	0,38

BIBLIOGRAPHIE

- AUBERT (G.) et SEGALIN (P.). 1966.
Projet de classification des sols ferrallitiques.
Cahiers ORSTOM, pédologie, vol. IV, n°4, p. 97-112.
- BOYER (J.). 1973.
Comportement du potassium dans les sols tropicaux.
C.R. 10ème Colloque, Institut international de la Potasse, p. 53-70.
- COPPENET (M.). 1969.
Résultats de douze années d'observations lysimétriques à Quimper.
Ann. Agron., 20, 2, p. 111-143.
- ELDIN (M.), DAUDET (A.). 1967.
Notice des cartes climatologiques de Côte d'Ivoire.
Doc. technique ORSTOM, centre Adiopodoumé, 18 p.
- GODEFROY (J.). 1967.
Etude de la rétrogradation du potassium dans différents sols de bananeraie
Revue de la Potasse, section 4, 40 e. suite, p. 1-5.
- GODEFROY (J.) et MARTIN (Ph.). 1969.
Evolution des éléments minéraux du sol dans un essai de fumure minérale en bananeraie de basse Côte d'Ivoire.
Fruits, vol. 24, n°9-10, p. 425-435.
- GODEFROY (J.) et CHARPENTIER (J.M.). 1970.
Intérêt de la couverture du sol par un film polyéthylène sur bananeraie de Côte d'Ivoire.
Fruits, vol. 25, n°2, p. 77-85.
- GODEFROY (J.), ROOSE (E.J.) et MULLER (M.). 1970.
Estimation des pertes par lixiviation des éléments fertilisants dans un sol de bananeraie de basse Côte d'Ivoire.
Fruits, vol. 25, n°6, p. 403-420.
- GODEFROY (J.). 1974.
Evolution de la matière organique du sol sous culture du bananier et de l'ananas. Relations avec la structure et la capacité d'échange cationique.
Thèse, Université de Nancy.
- MARTIN-PREVEL (P.) et TISSEAU (Renée). 1972.
Les éléments minéraux dans le bananier et dans son régime.
Fruits, vol. 17, n°3, p. 123-128.
- ROOSE (E.J.) et GODEFROY (J.). 1967.
Erosion, ruissellement et drainage oblique sous une bananeraie de basse Côte d'Ivoire.
Doc. technique ORSTOM, dec., 72 p.
- ROOSE (E.J.) et GODEFROY (J.). 1967.
Lessivage des éléments fertilisants sous bananeraie.
Tananarive, Coll. Fertilité des Sols tropicaux, comm. 114, p. 1405-1409.
- ROOSE (E.J.). 1968.
Un dispositif de mesure du lessivage oblique dans les sols en place.
Cahier ORSTOM, sér. pédol., VI, 2, p. 235-249.
- ROOSE (E.J.), Henry DES TUREAUX (P.) 1970.
Deux méthodes de mesure du drainage vertical dans les sols en place.
Agron. trop., 25, 12, p. 1079-1087.
- ROOSE (E.J.) et TALINEAU (J.C.). 1973.
Influence du niveau de fertilisation sur le bilan des éléments nutritifs majeurs de deux plantes fourragères cultivées sur un sol sableux de basse Côte d'Ivoire.
Comm. au Colloque Instit. Potasse, Abidjan, dec. 1973, 24 p.
- ROOSE (E.J.). 1974.
Influence du type de plante et du niveau de fertilisation sur la composition des eaux de drainage en climat tropical humide.
Comm. XIII Journées de l'Hydraulique, Paris, sep. 1974, rapport 13, question 3.