

ESTIMATION DES PERTES PAR LIXIVIATION DES ELEMENTS FERTILISANTS DANS UN SOL DE BANANERAIE DE BASSE COTE D'IVOIRE

J. GODEFROY et M. MULLER E. ROOSE
I. F. A. C. O. R. S. T. O. M.

*ESTIMATION DES PERTES PAR LIXIVIATION DES
ELEMENTS FERTILISANTS DANS UN SOL DE
BANANERAIE DE BASSE COTE D'IVOIRE*

J. GODEFROY et M. MULLER (IFAC)
E. ROOSE (ORSTOM)

Fruits, Jun. 1970, vol. 25, n° 6, p.403-423.

RESUME - Après avoir décrit le dispositif expérimental d'une case de drainage construite sur le sol "en place" (sol jaune ferrallitique), les auteurs donnent les résultats du bilan mensuel et annuel des pertes d'éléments minéraux (Ca - Mg - K - NH₃ - NO₃ - N total) et organiques pour

3 années : 1966 - 1967 - 1968.

Tous les éléments minéraux sont très fortement lixiviés à l'exception du phosphore. Les pertes sont suivant les éléments, de 3 à 10 fois supérieures à celles observées dans les sols des régions tempérées.

Les auteurs concluent à la nécessité du fractionnement des apports de tous les éléments minéraux. Dans les conditions pédoclimatiques où est réalisée l'étude, la notion de fumure "de fond" n'est applicable qu'à la fumure phosphatée. Les apports calco-magnésiens doivent être au minimum annuels, et les épandages d'engrais azotés et potassiques pluriannuels.

La culture continue du bananier dans les sols de basse Côte d'Ivoire (sols ferrallitiques jaunes) n'est possible qu'à la condition d'apporter des fumures minérales importantes (azote, phosphore, potassium, calcium et magnésium).

L'importance des précipitations (1.800 à 2.000 mm/an) inégalement réparties au cours de l'année a pour conséquence un fort drainage pendant quelques mois de l'année durant lesquels la lixiviation () des engrais minéraux est élevée.*

L'un des buts de l'étude en cours, qui est prévue pour une période de 7 années, est d'estimer l'importance de ces pertes d'éléments fertilisants.

Cet article fait le bilan des résultats obtenus pour les années 1966, 1967 et 1968 sur une parcelle expérimentale située sur la Station IFAC à Azaoué.

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

CONDITIONS DE L'ETUDE

DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Le dispositif est conçu pour récupérer les eaux de ruissellement et de drainage oblique (ROOSE 1966). Entre deux drains à ciel ouvert sur une pente régulière de 14 p. cent, on a délimité une parcelle de 100 m² (16,67 x 6 m), avec des plaques de plastique empêchant aussi bien l'entrée que la sortie des eaux ruisselantes. Le drain amont a été approfondi jusqu'à 2 mètres afin d'arrêter les apports d'eau de drainage provenant des plantations en amont. Au bas de cette parcelle de 100 m², on a creusé une fosse en vue de recueillir les eaux de ruissellement et intercepter le drainage oblique sur 2 mètres de front et 1,75 m de profondeur.

Un canal en béton dirige les eaux de ruissellement vers un partiteur (fût de 200 l) et une cuve de 1 m³ (photo n° 1).

Le système permet de récupérer l'équivalent de 21,2 m³ d'eau de ruissellement soit 212 mm. Les eaux qui circulent obliquement à l'intérieur du sol sont recueillies par des gouttières disposées dans des fentes creusées sous les limites inférieures des horizons pédologiques et stockées dans des fûts de 60 l en plastique (fig. 1 et photo n° 2).

Les eaux récupérées aux différents niveaux sont numérotées comme suit :

- AO1 : eau de ruissellement récupérée dans le fût partiteur
- AO2 : eau de ruissellement récupérée dans la cuve
- AI : eau de drainage récupérée par la gouttière placée à 25 cm
- AII : eau de drainage récupérée par la gouttière placée à 75 cm
- AIII : eau de drainage récupérée par la gouttière placée à 150 cm
- AIV : eau de drainage récupérée par la gouttière placée à 175 cm.

La gouttière AIV n'a été placée qu'en novembre 1967, après approfondissement de la fosse.

Un drain à ciel ouvert creusé en aval de la case permet l'écoulement de l'eau de la nappe phréatique de la fosse (photo n° 3).

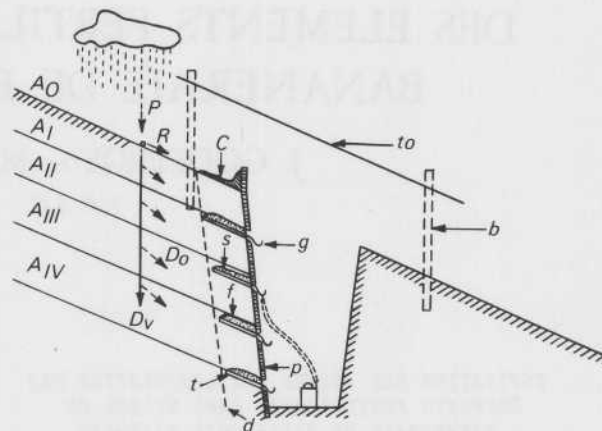


FIGURE 1 — SCHEMA DES MOUVEMENTS DE L'EAU DE GRAVITE ET D'UNE CASE DE LESSIVAGE OBLIQUE.

P: pluie; R: ruissellement; Dv: drainage vertical; Do: drainage oblique; AI-II-III-IV: horizons pédologiques; C: canal de ruissellement; g: gouttière; t: tôle; f: fente; s: sable lavé; d: tranche de sol protégée par le canal C et la tôle to; b: bâti soutenant le toit to; p: planches de soutènement.

Après chaque pluie ou irrigation on mesure le volume des eaux recueillies aux différentes profondeurs, et on prélève des échantillons de 2 litres pour effectuer les analyses au laboratoire.

Le canal de ruissellement et la fosse sont protégés des pluies par un toit de tôle (photo n° 4 et n° 6).

Un pluviographe à mouvement hebdomadaire enregistre la hauteur, l'intensité et la durée des pluies et des irrigations.

Cette case de drainage est placée dans un carré de la bananeraie conduit pour la production et planté à la densité de 2.000 bananiers à l'hectare (photo n° 5). Aucune modification n'est apportée aux techniques culturales, ni aux doses d'engrais minéraux couramment utilisées dans les exploitations de Côte d'Ivoire.

Dans une première phase de l'étude nous nous proposons simplement d'estimer les pertes d'éléments minéraux dans les conditions actuelles d'exploitation. Par la suite nous serons peut-être amenés à modifier certaines techniques, par exemple les dates des épandages, de façon à étudier dans quelle mesure on peut réduire les pertes d'éléments minéraux qui, comme nous le verrons sont excessivement élevées.

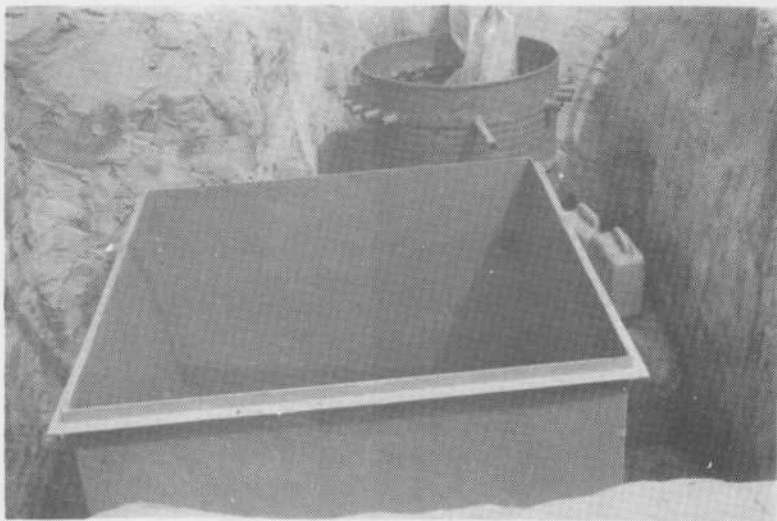


Photo n° 1 - Cuves de récupération des eaux de ruissellement : fût de 200 l avec 21 partiteurs, dont un s'écoule dans une cuve de 1m³. Le système permet de récupérer 21,2m³ d'eau de ruissellement (A0).

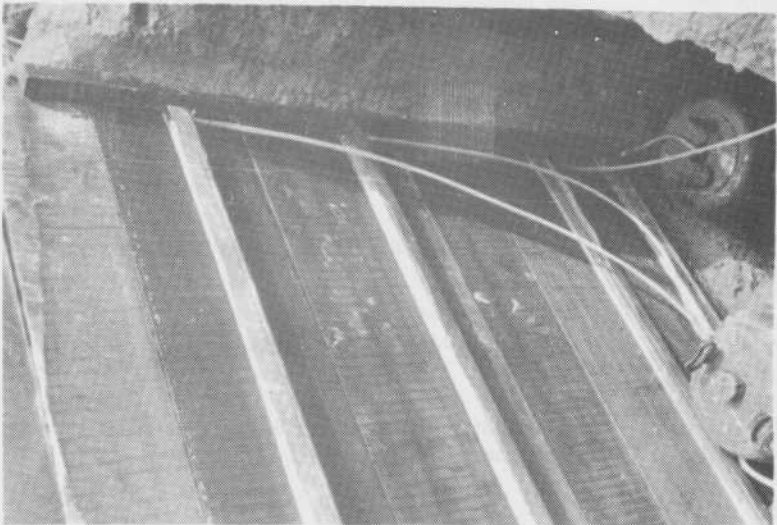


Photo n° 2 - Système de gouttière : AI - AII - AIII AIV. Au fond fûts en plastique de 60 litres.



Photo n° 3 - Drain creusé en aval de la case, permettant l'évacuation des eaux de la nappe.

L'avantage du dispositif est, outre son prix d'installation relativement faible, de ne pas modifier la structure des horizons et la perméabilité du sol, ce qui est l'inconvénient majeur des études en "cases lysimétriques".

Les inconvénients tiennent à ce qu'on ne mesure pas le drainage vertical et qu'on n'est pas parfaitement sûr de l'origine des eaux de drainage oblique (les tôles n'arrêtent que le ruissellement).

SOL

Le 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 moyenne 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.

Dans l'horizon de surface, l'apport régulier d'amendement calco-magnésien et de potassium permet de maintenir un niveau en cations échangeables moyen, et un coefficient de saturation élevé : supérieur à 70 p. cent.

La comparaison des teneurs du sol sous bananeraie et du même sol sous forêt montre nettement l'amélioration des niveaux due à la fertilisation (tableau 1).

Du point de vue chimique le sol est caractérisé par de très faibles teneurs en éléments fertilisants, à l'exception de l'horizon de surface relativement enrichi par les apports d'amendements organiques et minéraux (Annexe II).

Dans les horizons inférieurs à 30 cm, la somme des cations échangeables est comprise entre 1,0 et 1,5 méq. p. cent g. et le complexe absorbant est fortement désaturé : coefficient de saturation inférieur à 30 p. cent. Le pH est fortement acide : 5,0 à 5,5.

TABLEAU I
Comparaison des caractéristiques chimiques du sol sous forêt avec le même sol en culture bananière depuis 15 ans*

Profondeur (cm)	0 - 15		15 - 30	
	bananeraie	forêt	bananeraie	forêt
Végétation				
Carbone total (p. cent)	2,0	1,4	1,6	0,6
Azote total (p. mille)	1,4	1,0	1,2	0,5
C/N	14	14	12	13
Ca échangeable (méq. % g)	5,5	0,3	4,6	0,1
Mg échangeable "	1,7	0,03	1,1	0,02
K échangeable "	0,6	0,07	0,3	0,03
S échangeable "	7,8	0,4	6,1	0,15
Capacité de fixation (méq. % g)	8,9	8,6	5,0	3,8
Coefficient de saturation (%)	88	8	71	4
pH (pâte saturée)	6,0	4,2	5,7	4,4
P ₂ O ₅ assimilable p. mille (extraction citrique 2 %)	0,46	0,01	0,37	0,005

* - prélèvement de mars 1969.



Photo n° 4 - Case de drainage et pluviographe.



Photo n° 5 - Vue générale de la case de drainage dans la bananeraie.



Photo n° 6 - Tôle en forme de gouttière placée sur le canal de récupération des eaux de ruissellement protégeant de la pluie, Paillage de Guatemala grass.

Les teneurs en phosphore sont également faibles: P_2O_5 total inférieur à 0,5 p. mille en-dessous de 30 cm. Dans l'horizon supérieur enrichi par des apports de scories de déphosphoration ou d'engrais composés le niveau est voisin de 1 p. mille.

L'enrichissement par les engrais phosphatés apparaît nettement quand on compare les teneurs en phosphore assimilable sous banane-raie et sous forêt.

Les teneurs en carbone et en azote organique sont moyennes dans l'horizon humifère et faibles en profondeur. Comme pour les éléments minéraux, la culture du bananier enrichit le sol en matières organiques.

CLIMAT

Le climat est caractérisé par une forte pluviosité répartie en quatre saisons, une température variant peu autour de $26^{\circ}C$ (fig. 2) et une humidité très élevée voisine de 90 p. cent.

Les précipitations moyennes annuelles sur 15 années sont de l'ordre de 1.800 mm, mais elles peuvent varier du simple au double d'une année à l'autre. Deux saisons des pluies centrées sur juin et octobre alternent avec deux saisons sèches d'importance très inégale (fig. 2).

La grande saison des pluies commence en avril-mai par une série de tornades violentes mais de courte durée (fortes intensités mais hauteur moyenne). Près de 50 p. cent du total des précipitations tombent en mai-juin-juillet. Août est un mois généralement sec, nécessitant quelques irrigations (tableau Annexe III). De septembre à mars la pluviosité est faible: la petite saison des pluies centrée sur octobre est très irrégulière. Il peut cependant survenir des averses importantes.

La grande saison sèche s'étend de la mi-novembre à mars mais l'intensité et la durée peut

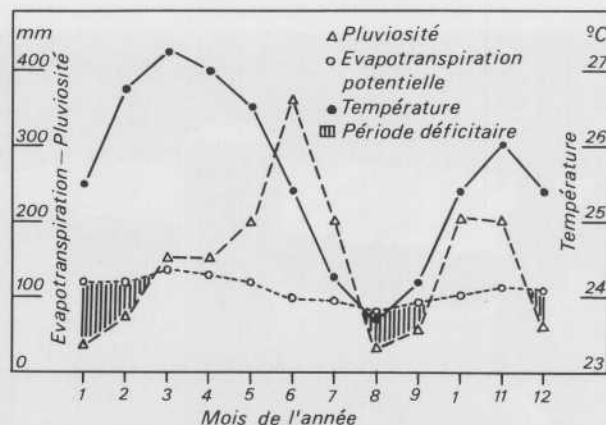


FIGURE 2 — VARIATIONS MENSUELLES DE TEMPÉRATURE, PLUVIOSITÉ ET ÉVAPOTRANSPIRATION POTENTIELLE (formule de TURC). Station IFAC à Azaguié. Moyennes 1951-1965.

varier d'une année à l'autre.

La température annuelle moyenne est de $25,9^{\circ}C$, l'amplitude des variations journalières dépasse rarement $10^{\circ}C$. Les températures minima et maxima moyennes sont de $21,7^{\circ}C$ et $30,7^{\circ}C$.

La température du sol à 15 cm est assez régulière. Les minima descendent rarement au-dessous de $25^{\circ}C$, tandis que les maxima dépassent rarement $30^{\circ}C$.

L'humidité relative mensuelle moyenne varie de 75 p. cent en février à 90 p. cent en juin; elle descend en-dessous de 50 p. cent lors des manifestations de l'harmattan en décembre-janvier.

L'évapotranspiration potentielle annuelle calculée par la formule de Turc plus 15 p. cent est voisine de 1.360 mm (1966 : 1.350 mm, 1967 : 1.370 mm, 1968 : 1.375 mm). Pendant 4 à 5 mois de l'année il y a un déficit hydrique (Fig. 2) qui doit être compensé par des irrigations par aspersion à raison d'une vingtaine de millimètres tous les 8 à 10 jours.

ESTIMATIONS DU DRAINAGE

METHODE DE CALCUL

Alors qu'on mesure le volume exact des eaux ruisselées sur la parcelle, on ne recueille qu'une fraction des eaux de drainage, celles qui circulent obliquement dans une tranche de sol. On peut admettre que la composition des eaux

de drainage oblique est identique à celle des eaux de drainage vertical à la même profondeur.

Dans la suite du texte nous considérons le drainage global: oblique et vertical, la distinction entre les deux n'étant pas nécessaire pour

le calcul d'un bilan des pertes par lixiviation.

On peut indirectement estimer le drainage à partir de la relation suivante :

$$P = 5 + Dr + ETR + Dh\% \quad (1)$$

Dans cette formule

P = précipitations + irrigations. Cette donnée est mesurée par le pluviographe placé à côté de la case.

R = ruissellement, mesuré sur une surface de 100 m².

ETR = évapotranspiration réelle. Cette caractéristique n'est pas connue mais on peut l'estimer dans certaines conditions que nous précisons plus loin en l'assimilant à l'ETP (évapotranspiration potentielle).

Dh% = différence d'humidité du sol entre le début et la fin de la période considérée. En arrêtant le bilan lorsque le sol est à la même humidité qu'au départ, on a Dh = 0. C'est ce que nous avons fait en démarrant et en terminant le bilan lorsque le sol est à la capacité au champ.

Dr = drainage. Cette donnée n'est pas connue, mais on peut la calculer à partir de la formule (1) :

$$Dr = P - R - ETR \quad (2)$$

C'est à partir de cette formule que nous avons calculé le drainage pour chaque mois de l'année.

On peut assimiler l'ETR à l'ETP lorsque le sol est entièrement couvert, et que l'humidité est voisine de la capacité au champ (ELDIN, communication personnelle 1968).

Les mesures d'humidité effectuées pendant un an dans l'horizon 0-25 cm (fig. 3) dans lequel se trouve localisée la presque totalité des racines du bananier, montrent que dans les conditions de culture irriguée, l'humidité du sol est rarement inférieure à pF 3,0, c'est-à-dire que l'on se trouve une grande partie de l'année, dans les conditions où l'ETR est voisine de l'ETP.

En assimilant l'ETR à l'ETP on fait une estimation par excès de l'ETR, donc une estimation par défaut du drainage. En fait l'erreur par défaut que l'on commet est assez faible. Le drainage maximum a lieu en saison des pluies, à cette période le sol est constamment très humide (humidité égale ou supérieure à pF 2,5) l'ETR est donc voisine de l'ETP.

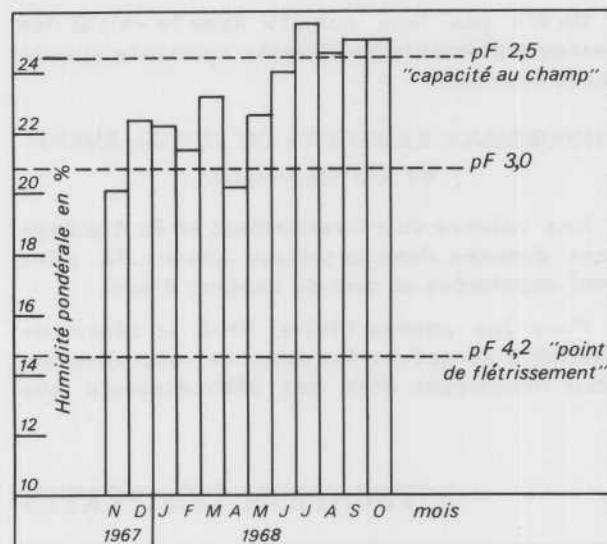


FIGURE 3 - VARIATIONS DE L'HUMIDITE DU SOL.

En saison sèche l'ETR est probablement inférieure à l'ETP, mais puisqu'on ne recueille pas d'eau dans les gouttières on peut considérer le drainage comme nul.

En fait l'absence de drainage oblique ne signifie pas forcément que le drainage vertical soit nul, mais si celui-ci existe il est vraisemblablement faible, et l'erreur par défaut que l'on commet est peu importante.

L'estimation de l'ETR est la plus délicate pendant les mois peu pluvieux. Il y a certains cas en effet où l'assimilation de l'ETR à l'ETP donne un drainage mensuel calculé nul, alors que l'on a récupéré de l'eau dans les gouttières. Cela signifie que l'on a surestimé l'ETR. Pour les mois à faible pluviosité il est donc nécessaire d'appliquer la relation (2) sur des durées plus courtes que le mois.

Exemple : en 1966 la première pluie de l'année qui a provoqué du drainage oblique est la pluie du 14 avril.

En appliquant la formule (2) pour le calcul du drainage au mois entier, on surestimerait l'ETR. Entre le 1er et le 14 avril le sol était sec et l'ETR très inférieure à l'ETP. Dans ce cas le drainage a été calculé entre le 14 et le 30 avril, soit seulement pour la période pour laquelle il y a du drainage oblique.

En résumé les différentes estimations faites pour calculer le drainage (assimilation de l'ETR à l'ETP) tendent à sous-estimer le drainage, et donc les pertes.

On n'a pas tenu compte dans le calcul des pertes d'éléments fertilisants entraînés avec la terre érodée.

IMPORTANCE RESPECTIVE DU RUISSELLEMENT ET DU DRAINAGE

Les valeurs du ruissellement et du drainage sont données dans le tableau Annexe III, elles sont exprimées en mm de hauteur d'eau.

Pour les années 1966 et 1967, le réservoir destiné à récupérer les eaux de ruissellement était insuffisant d'où des débordements que

nous avons estimés forfaitairement à 10 p. cent.

Pour les trois années considérées le drainage varie entre 770 et 870 mm et le ruissellement est de l'ordre d'une centaine de mm = 114 mm pour l'année 1968 où toutes les eaux ont été récupérées. Le ruissellement en 1966 (34 mm) est vraisemblablement sous-estimé.

L'importance du ruissellement varie beaucoup avec l'état de surface du sol : il est minimum après un labour, et après un paillage. Le drainage est en relation étroite avec la pluviosité.

ESTIMATION DES PERTES D'ÉLÉMENTS FERTILISANTS

METHODE DE CALCUL

Les pertes sont estimées en prenant comme teneur des eaux en éléments minéraux, la concentration moyenne mensuelle pondérée des eaux recueillies en AO₁ et AO₂ pour le ruissellement et en A_{III} (gouttière placée à 1,50 m) pour le drainage.

La moyenne pondérée est la somme des produits des teneurs de chaque échantillon par son volume, divisée par le volume total des échantillons. Cette moyenne pondérée mensuelle correspond à la concentration de l'eau, que l'on obtiendrait en versant après chaque pluie les eaux recueillies à une même profondeur, dans

un même récipient, et dont on ferait l'analyse à la fin de chaque mois.

Le détail des résultats qui suivent est donné dans les tableaux Annexe IV à XI et dans les tableaux 2 et 3. Pour chaque année sont indiqués :

a) les teneurs en éléments minéraux des eaux exprimées en mg par litre de Ca - Mg - K - P₂O₅ et N pour les différents horizons.

L'absence de résultats indique que l'on n'a pas recueilli d'eau de ruissellement ou de drainage oblique.

Na signifie non analysé, généralement parce que la quantité recueillie était insuffisante pour faire toutes les analyses.

TABLEAU 2

Quantités d'éléments fertilisants perdus par drainage et ruissellement en kg/ha

	1966	1966 sans le mois d'avril	1967	1968	Moyenne annuelle sans le mois d'avril 1966
Ca	340	251	267	254	257
CaO	476	351	374	356	360
Mg	168	123	120	98	114
MgO	282	204	199	163	189
K	361	267	266	203	245
K ₂ O	435	322	361	245	296
P ₂ O ₅	4,0	2,4	3,8	2,2	2,8
N-NH ₃	129	11	14	4	9,7
N-NO ₃	244	213	196	146	185
N total	résultats incomplets		276	194	235
Matières organiques	"	"	168	82	125

TABLEAU 3
Concentrations des eaux de drainage et de ruissellement en mg/l*

	Eaux de ruissellement (A0)			Eaux de drainage (AIII)			
	minimum	maximum	moyenne	minimum	maximum	moyenne	
Ca	1966	8	34	22	19	55	32
	1967	6	15	9	23	129	30
	1968	6	21	11	17	85	31
Mg	1966	4	12	9	9	19	13
	1967	2	6	5	3	18	13
	1968	3	10	4	6	18	12
K	1966	6	57	34	7	57	33
	1967	9	123	23	20	120	29
	1968	3	36	18	12	39	24
P ₂ O ₅	1966	0,4	2,3	1,3	0	0,7	0,3
	1967	0,3	2,1	0,5	0,1	0,8	0,4
	1968	0,7	2,1	1,0	0	0,4	0,1
N-NH ₃	1966	1	3	2,2	0,7	3,2	1,4
	1967	0,5	11	2,0	1,1	7	1,5
	1968	0	14	0,9	0,2	1,7	0,4
N-NO ₃	1966	1,2	17	10	17	38	27
	1967	0,7	10	2	4	36	22
	1968	0,3	10	3	10	49	19
N total	1967	7	34	16	21	34	30
	1968	6	33	11	17	49	24
Matières organiques	1967	16	42	23	7	48	19
	1968	10	66	12	3	13	9

* - mois d'avril 1966 exclu.

- b) les pertes dues au ruissellement exprimées en kg/ha de Ca - Mg - K - P₂O₅ et N. Dans les tableaux récapitulatifs 2 et 3 les cations sont exprimés sous deux formes : élément et oxyde.
- c) les pertes dues au drainage (même expression des résultats).
- d) les pertes totales : drainage + ruissellement.
- e) le pourcentage des pertes totales mensuelles par rapport aux pertes annuelles.

Pour l'année 1966 la première pluie de l'année qui a provoqué le drainage oblique et le ruissellement est la pluie du 14 avril, la dernière pluie pour laquelle on avait observé du drainage fut celle du 7 décembre 1966.

Pour cette pluie du 14 avril et la suivante, celle du 21 avril, les teneurs des eaux de drainage et de ruissellement sont anormalement

élevées pour tous les éléments minéraux. Bien que correspondant à un phénomène observé, nous avons préféré dans le bilan de 1966 faire la distinction entre bilan total et bilan sans le mois d'avril. Pour l'azote ammoniacal par exemple, les pertes seraient de 118 kg/ha pour ce seul mois d'avril pour un drainage plus un ruissellement de 66 mm, alors qu'il ne serait que de 11 kg pour tous les autres mois de l'année pour un drainage et un ruissellement de 813 mm.

Les analyses des eaux sont effectuées simultanément par les laboratoires de l'ORSTOM (Adiopodoumé) et de l'IFAC (Azaguié).

Les pourcentages de pertes d'éléments minéraux par rapport aux fertilisants apportés, que nous indiquons dans cette étude, doivent être considérés seulement comme des ordres de grandeur.

Comme nous l'avons déjà indiqué, la parcelle où est située la "case de drainage" est conduite en exploitation normale. Les engrais azotés, potassiques et les composés sont épandus en couronne autour du bananier, avec une boîte tarée. Malgré l'utilisation de boîtes tarées il y a une certaine marge d'erreur sur la quantité d'engrais épandue. Lors d'un test effectué sur 0,5 ha, avec un seul ouvrier, l'engrais réellement épandu a été supérieur de 10 p. cent à la quantité théorique. La dolomie et les scories de déphosphoration sont épandues à la volée sur toute la surface du terrain, la dose est calculée à l'hectare et non par bananier comme pour N et K.

D'autre part, dans le calcul des éléments minéraux apportés on ne tient pas compte de ceux contenus dans le paillage, ce qui tend à surestimer le pourcentage des pertes.

En 1966 (février) le paillage a été fait avec des branchages de forêt. On estime qu'un bon paillage représente un apport de 60 à 80 t/ha de matière verte, mais la composition minérale n'a pas été déterminée.

En 1967 (décembre) et 1968 (novembre) le paillage a été effectué avec du Guatemala grass (*Tripsacum laxum*). Un paillage moyen représente 40 t/ha de matière verte et 8 à 10 tonnes de matière sèche.

Une analyse effectuée sur une coupe faite au mois de juin 1969 (LACOEUILHE-MARCHAL) a donné la composition suivante (résultat en p. cent de la matière sèche).

MS/MF = 21,2 p. cent N = 1,12 p. cent
P = 0,145 p. cent K = 0,76 p. cent
Ca = 0,28 p. cent Mg = 0,33 p. cent.

Un paillage de 40 tonnes apporte donc de l'ordre de 96 kg de N, 12 kg de P, 64 kg de K, 24 kg de Ca et 28 kg de Mg.

CALCIUM

Les pertes en calcium sont élevées, de l'ordre de 350 à 370 kg/ha/an de CaO. La lixiviation est la plus intense durant les mois les plus pluvieux ; pour 1966, 1967 et 1968 : les pertes pendant les mois de mai, juin et juillet représentent respectivement : 65, 67 et 66 p. cent du calcium perdu annuellement.

Le drainage représente 95 à 98 p. cent des pertes, le calcium entraîné avec les eaux de ruissellement est donc relativement faible : 8 à 17 kg/ha/an de CaO.

Durant les trois années étudiées les apports de dolomie ont été de 5,5 tonnes/ha dont 1 tonne le 13 novembre 1968. Si l'on ne tient pas compte de cet apport qui n'a pas eu le temps d'être lixivié (lixiviation faible entre le 13 et le 30 novembre, nulle au mois de décembre), l'apport d'amendement calcique correspond à 1.400 kg/ha de Cao (4,5 t de dolomie titrant 30 à 32 p. cent de CaO). Les pertes représentent 75 p. cent (85 p. cent si on tient compte du mois d'avril 1966) de la chaux apportée par les engrais.

Les concentrations des eaux (avril 1966 exclu) de ruissellement (AO) varient suivant les années et les mois de 6 à 34 mg/l de Ca ; les teneurs moyennes sont de 22 mg/l en 1966, et voisines de 10 mg/l en 1967 et 1968.

Les teneurs dans les eaux de drainage (eaux récupérées en AIII à 150 cm) sont toujours supérieures à celles des eaux de ruissellement : la moyenne des concentrations pour les trois années est de l'ordre de 30 mg/l.

Pour la pluie du 14 avril 1966 les teneurs sont de 41 mg/l en AO et de 218 mg/l en AIII.

La concentration maximum observée en 1967 est celle du mois d'octobre au moment de l'abattage de la bananeraie. A cette période une masse importante de matière verte (150 à 200 t/ha) est incorporée au sol (18-10-67). Il est possible mais non démontré que cet enrichissement en calcium des eaux de drainage soit dû à une solubilisation du calcium de la matière végétale : feuilles, faux-troncs et rejets.

Les concentrations des eaux de drainage oblique augmentent en général de AI à AIII mais ce n'est pas une règle absolue.

MAGNESIUM

Les pertes en magnésium sont élevées : 160 à 200 kg/ha/an de MgO. Comme pour le calcium c'est au cours des mois de la saison des pluies (mai-juin-juillet) que les pertes sont les plus intenses : 70 à 80 p. cent de la lixiviation annuelle.

Le ruissellement ne représente que 2 à 5 p. cent du magnésium perdu.

Les apports de dolomie (paragraphe précédent) pour les trois années équivalent à 925 kg de MgO ; 60 à 70 p. cent (suivant que l'on tient compte ou non du mois d'avril 1966) de l'amendement magnésien est donc entraîné avec les eaux de ruissellement et de drainage.

Les concentrations sont plus faibles dans les eaux de ruissellement (4 à 9 mg/l de Mg) que dans les eaux de drainage (12 à 13 mg/l). Les teneurs varient généralement dans l'ordre suivant :

AO < AI < AII - AIII - AIV ; les concentrations varient peu de AII à AIV. Pour la pluie du 14 avril 1966 AO = 22 mg/l et AIII = 136 mg/l.

POTASSIUM

Les pertes en potassium sont élevées, de l'ordre de 300 kg de K₂O.

Comme pour le calcium et le magnésium les pertes dues au ruissellement sont relativement faibles par rapport aux pertes par drainage, mais elles sont cependant plus élevées que pour Ca et Mg (3 à 10 p. cent des pertes totales). Le mode d'épandage de l'engrais potassique (en surface sans enfouissement) explique que les pertes par les eaux de ruissellement soient proportionnellement plus importantes.

Les pertes les plus importantes ont lieu durant les mois de mai, juin et juillet : 65 p. cent des pertes en 1966, 70 p. cent en 1967, 58 p. cent en 1968.

La fumure potassique (chlorure 95 p. cent, sulfate 5 p. cent) a été la suivante :

1966 : 440 kg/ha de K₂O en 5 épandages
1967 : 770 kg/ha de K₂O en 9 épandages
1968 : 480 kg/ha de K₂O en 8 épandages.

Les pertes par lixiviation et ruissellement représentent 50 p. cent (60 p. cent si l'on tient compte du mois d'avril 1966) de l'engrais potassique apporté.

Les teneurs dans les eaux de ruissellement et de drainage varient dans d'assez larges li-

mites (tableau 3), cette variabilité est en relation avec les épandages d'engrais potassiques. En moyenne les concentrations en K dans les eaux recueillies en AO sont plus faibles que celles recueillies en AI - AII - AIII ou AIV qui diffèrent peu. Toutefois, après une pluie survenant après un épandage d'engrais potassique, l'eau de ruissellement peut avoir une teneur plus élevée que l'eau de drainage.

Les concentrations maxima en 1967 : AO = 123 mg/l et AIII = 120 mg/l de K sont observées au mois d'octobre au moment de l'abattage de la bananeraie. Comme les eaux recueillies en octobre 1967, les eaux de drainage et de ruissellement du 14 avril 1966 (AO = 98 mg/l ; AIII = 210 mg/l) sont les premières après le renouvellement de la bananeraie (janvier 1966).

Il existe toutefois une différence : en avril 1966 on observe une augmentation des concentrations de K, Ca, Mg, NH₃ et NO₃, alors qu'en octobre 1967 seuls le calcium et le potassium augmentent.

PHOSPHORE

Le phosphore est le seul élément fertilisant dont les pertes soient faibles : 2, 8 kg/ha/an de P₂O₅.

Les quantités d'engrais apportées ont été :
1966 : 40 kg/ha de P₂O₅ sous forme d'engrais composé 10-10-20

1967 : 72 kg/ha de P₂O₅ sous forme d'engrais composé 12-6-20

1968 : pas d'apport.

Les pertes de phosphore par ruissellement et drainage représentent donc moins de 10 p. cent de l'engrais apporté.

La proportion de pertes par ruissellement est plus élevée que pour les autres éléments mais ces pertes représentent des quantités très faibles.

	Pertes en p. cent			Pertes pondérales de P ₂ O ₅ (kg/ha)		
	*1966	1967	1968	*1966	1967	1968
Ruissellement	18	14	52	0,43	0,53	1,17
Drainage	82	86	48	1,92	3,24	1,07

* = avril 1966 exclu.

Les concentrations des eaux en phosphore sont toujours très faibles. Contrairement à ce qu'on observe pour les cations, les concentrations des eaux de ruissellement sont plus élevées (0,5 à 1,3 mg/l de P₂O₅) que celles des eaux de drainage (0,1 à 0,3 mg/l). Cette observation s'interprète par la liaison du phosphore avec la matière organique et avec la charge pseudosoluble (colloïdes, fer).

Les teneurs des eaux diminuent généralement de AO à AIV, cela est particulièrement net sur les résultats de 1968.

AZOTE

Les pertes en azote total sont de 200 à 275 kg/ha/an dont 73 p. cent sous forme de nitrates. Celles sous forme ammoniacale sont faibles en valeur absolue (4 à 14 kg) et en valeur relative (4 p. cent). Les pertes sous forme

d'azote organique représentent donc 23 p. cent de l'azote total lixivié.

Comme pour les autres éléments c'est au cours des mois de la saison pluvieuse que la lixiviation est la plus importante.

Une étude de la variation mensuelle de l'azote minéral du sol, effectuée dans ce même carré de novembre 1967 à octobre 1968, montre qu'à la fin du mois de juin 1968, les nitrates sont totalement lixiviés dans l'horizon 0-25 cm, et ceci quelles que soient les quantités d'engrais azotés apportées.

Les pertes dues au ruissellement ne représentent qu'une faible fraction de l'azote total perdu : 4 à 7 p. cent. C'est sous forme d'azote organique qu'il se perd le plus d'azote par ruissellement en valeur absolue et en valeur relative.

Pourcentage des pertes par ruissellement et par drainage

		Ruissellement	Drainage
NH ₃	1966	1	99
	1967	10	90
	1968	23	77
NO ₃	1966	1	99
	1967	1	99
	1968	2	98
N organique	1967	14	86
	1968	20	80
N total	1967	4	96
	1968	7	93

Les teneurs en azote ammoniacal des eaux de ruissellement et de drainage sont toujours très faibles, les concentrations moyennes annuelles sont du même ordre de grandeur : 1 à 2 mg/l (exception pluie du 14 avril, AO = 66 mg/l AIII = 356 mg/l).

Les teneurs en nitrates sont généralement faibles dans les eaux de ruissellement (AO = 2 à 10 mg/l), la concentration augmente de AO à AIII (AIII = 19 à 27 mg/l).

L'azote organique est au contraire plus élevé dans les eaux de ruissellement que dans les eaux de drainage :

14 mg/l contre 6 mg/l en 1967

7 mg/l contre 4 mg/l en 1968

Cette concentration plus élevée dans les eaux de surface est en relation avec la teneur en matière organique également plus élevée dans les eaux de ruissellement.

La fertilisation azotée a été de :

- 430 kg/ha en 1966 en 7 épandages (73 p. cent urée, 18 p. cent sulfate, 9 p. cent 10-10-20)
- 500 kg/ha en 1967 en 10 épandages (63 p. cent urée, 8 p. cent sulfate, 29 p. cent 12-6-20)
- 360 kg/ha en 1968 en 9 épandages (89 p. cent urée, 11 p. cent sulfate).

Les pertes d'azote total calculées sur les années 1967 et 1968 (1966 résultats incomplets) représentent 55 p. cent des apports d'engrais

azotés.

A titre indicatif la quantité d'azote minéral apportée par les eaux de pluie, calculée pour les années 1966 et 1967 a été la suivante :

	1966	1967
N-NH ₃ kg/ha	15	13
N-NO ₃ kg/ha	9	7
N-NH ₃ + NO ₃ kg/ha	24	20

Les concentrations moyennes des eaux sont de 0,8 à 1,0 mg/l de N-NH₃ et de 0,4 à 0,6 mg/l de N-NO₃.

MATIERES ORGANIQUES

La matière organique contenue dans les eaux de ruissellement et de drainage est exprimée en quantité d'oxygène consommée par cette matière organique. Le principe de la méthode de dosage est une réduction d'un excès de permanganate de potassium en milieu acide. L'excès de permanganate est ensuite réduit par l'acide

oxalique titré.

Les résultats donnés dans les tableaux Annexes X et XI montrent que les pertes varient du simple au double entre les deux années 1967 et 1968 (analyses non effectuées en 1966) : 168 kg en 1967 contre 82 kg en 1968. Ces écarts proviennent des différences de concentrations des eaux : A0 = 23 mg/l en 1967 contre 12 mg/l en 1968, AIII = 18 mg/l en 1967 contre 9 mg/l en 1968.

Les maxima de concentration en 1967 correspondent aux pluies du mois d'octobre, au moment de l'abattage de la bananeraie.

La teneur de l'eau de ruissellement : 66 mg/l en janvier 1968 correspond à un ruissellement très faible : 0,6 mm.

A part quelques exceptions les eaux de ruissellement sont plus riches en matières organiques que les eaux de drainage, mais les pertes par les eaux de surface ne représentent que 9 à 17 p. cent des pertes totales annuelles.

ESTIMATION DES PERTES D'ELEMENTS MINERAUX D'APRES LES EXPORTATIONS

Une autre façon d'estimer les pertes d'éléments minéraux peut se calculer à partir de la relation suivante :

(1) Apports = exporté + lixivié + retenu dans le sol + immobilisé dans la plante.

Les analyses de sol effectuées depuis plusieurs années à la station d'Azaguié et dans les bananeraies de Côte d'Ivoire montrent que les niveaux sont sensiblement constants d'une année à l'autre, à l'exception du phosphore qui augmente lorsque l'on effectue régulièrement des apports. Il est donc possible de négliger la fraction retenue dans le sol.

D'autre part les bananiers étant au même stade végétatif (fin de cycle) en janvier 1966 et en décembre 1968, on peut considérer que la quantité d'éléments minéraux immobilisés dans la plante (feuilles, stipes, etc.) est sensiblement la même au début et à la fin du bilan.

La relation (1) peut donc s'écrire :

(2) lixivié = apports - exporté.

Cette relation n'est pas rigoureuse, en particulier pour l'azote, pour lequel on ne tient compte ni des pertes, ni des fixations biologiques d'azote gazeux.

Pour le calcul des quantités exportées nous prenons comme base de calcul les quantités d'éléments minéraux exportées suivantes par tonne de régimes : (chiffres cités par P. MARTIN-PREVEL 1962).

N = 2 kg, K₂O = 6 kg, CaO = 0,250 kg,
MgO = 0,300 kg.

Pendant les trois années étudiées on a fait trois récoltes d'un rendement moyen de 30 T/ha/an ; les exportations d'éléments minéraux ont donc été de l'ordre de 180 kg de N, 540 kg de K₂O, 20 kg de CaO et 25 kg de MgO.

Le tableau ci-dessous met en parallèle l'estimation des pertes annuelles d'éléments fertilisants par les deux méthodes.

Pertes moyennes annuelles en kg/ha

	Estimation d'après l'analyse des eaux de drainage et de ruissellement	Estimation d'après les exportations
N	235	370
K ₂ O	296	380
CaO	360	460
MgO	189	300

La comparaison des résultats obtenus par les deux méthodes montre que l'estimation des pertes d'éléments par lixiviation, par la mé-

thode du bilan hydrique, sous-estime probablement les pertes réelles, ce que nous avons mentionné au début de cette étude.

COMPARAISON ENTRE LES TENEURS EN ELEMENTS MINERAUX DANS LES EAUX ET DANS LE SOL

Des analyses de sol effectuées mensuellement dans une parcelle située à côté de la case de drainage permettent de comparer les teneurs en éléments minéraux dans le sol et dans les eaux. Les prélèvements de terre sont effectués dans un essai NK.

Les caractéristiques du sol et la topographie sont tout à fait comparables ; la date de plantation et des épandages de fertilisants sont les mêmes. La quantité de dolomie apportée est la même que dans la parcelle où est située la case de drainage, (2 t/ha), mais les doses d'engrais azotés et potassiques sont un peu différentes. Les teneurs dans le sol sont les moyennes de 15 parcelles élémentaires de l'essai. Pour ces 15 parcelles la moyenne des apports a été de 280 kg/ha d'azote et de 560 kg de K₂O. Pendant la même période les apports dans la parcelle où est située la case ont été de 320 kg d'azote et 420 kg de K₂O.

Pour chacun des éléments on a calculé la corrélation entre la teneur des éléments dans le sol et dans les eaux de drainage (AIII). L'étude porte sur 12 mois, de novembre 1967 à octobre 1968, mais comme il n'y a pas eu de drainage en novembre, décembre et janvier, les corrélations ne sont calculées que sur 9 couples.

Valeur des coefficients de corrélation "r"

Calcium : $r = 0,78$ ($0,02 < P < 0,01$)

Magnésium : $r = 0,64$ ($0,10 < P < 0,05$)

Potassium : $r = 0,85$ ($P > 0,01$)

Somme des cations : * $r = 0,82$ ($P > 0,01$)

Nitrates : $r = 0,80$ ($P > 0,01$)

* - Pour la somme des cations les teneurs dans les eaux sont exprimées en milliéquivalents par litre.

Le calcul des coefficients de corrélation et la comparaison des courbes de variation des éléments minéraux dans le sol et dans les eaux de drainage (fig. 4 et 5) montrent qu'il y a une relation étroite entre la teneur d'un élément

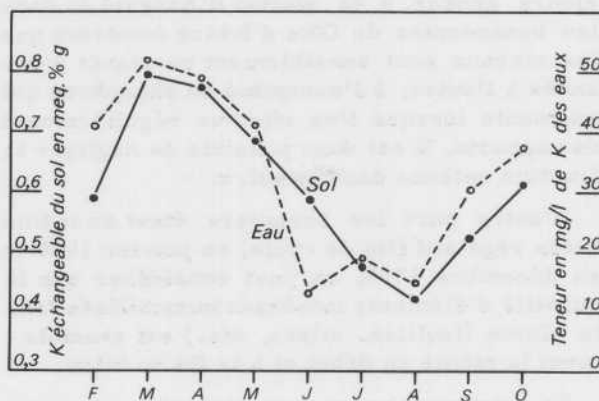


FIGURE 4 - VARIATION DES TENEURS EN POTASSIUM DANS LE SOL ET DANS L'EAU DE DRAINAGE.

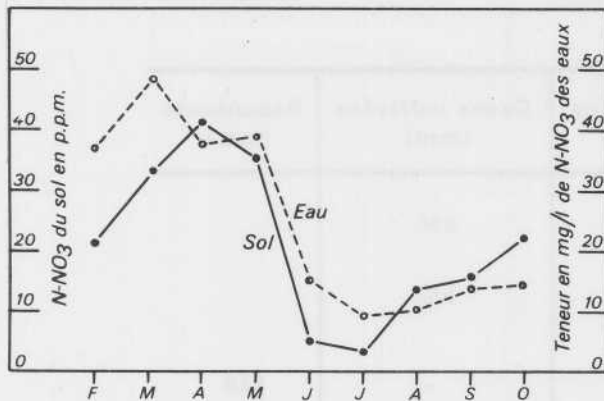


FIGURE 5 — VARIATION DES TENEURS EN NITRATES DANS LE SOL ET DANS L'EAU DE DRAINAGE.

dans le sol et dans l'eau de drainage. Il s'établit un équilibre entre les éléments fixés sur le complexe absorbant du sol et la solution du sol, puis entre celle-ci et les eaux de drainage.

De ces relations on peut conclure que les pertes d'éléments fertilisants sont d'autant plus élevées que l'on apporte plus d'engrais puisque, comme on l'a montré dans une étude antérieure (GODEFROY, MARTIN 1969), les teneurs en éléments minéraux dans ce sol sont étroitement liées aux apports de fertilisants chimiques.

La comparaison entre les concentrations des eaux recueillies dans cette case sous bananeraie, et d'une deuxième case sous forêt (même situation topographique) à 200 m de la première, (tableau 4 et tableau Annexe XII) montre bien que les teneurs en éléments minéraux proviennent des fumures minérales appliquées dans la bananeraie. Les teneurs dans les eaux recueillies sous bananeraie peuvent être jusqu'à 20 fois plus élevées (ex. : nitrates et potassium) que celles recueillies sous forêt, il n'y a que pour le phosphore et l'azote ammoniacal que les teneurs soient très voisines.

TABLEAU 4

Comparaison des teneurs des eaux recueillies dans les gouttières IV de la case sous bananeraie et sous forêt (résultats exprimés en mg/l)

	avril 1968 *		juillet 1968		septembre 1968	
	bananeraie	forêt	bananeraie	forêt	bananeraie	forêt
Ca	46	8	17	6	27	4
Mg	17	4	6	2	11	2
K	24	6	21	1	21	0,1
P ₂ O ₅	0	0	0,2	0	0,1	0
N-NH ₃	1,6	1,2	0,3	0,3	1,1	0
N-NO ₃	32	1,6	11	0,8	15	1,5

* = ces trois mois sont ceux pour lesquels on a recueilli de l'eau de drainage oblique dans la case sous forêt.

COMPARAISON DES RESULTATS AVEC CEUX OBTENUS SOUS CLIMAT TEMPERE

Il nous paraît intéressant de comparer ces résultats des pertes d'éléments minéraux obtenus sous climat tropical avec ceux obtenus sous climat tempéré. Nous nous référons à une étude publiée récemment par M. COPPENET (1969) dans laquelle sont donnés les résultats de douze années d'études en cases lysimétriques à Quimper, et où sont citées les valeurs obtenues à Versailles.

Dans cette étude l'auteur étudie le drainage en cases nues et en cases cultivées. Dans ces dernières il y a eu une succession de cultures: avoine, pomme de terre, blé, orge, betterave, ray-grass.

La pluviosité et le drainage à Azaguié sont 2 fois plus élevées qu'à Quimper, et 4 fois plus qu'à Versailles.

PLUVIOMETRIE ET DRAINAGE

	Cases nues (mm)	Cases cultivées (mm)	Bananeraie (mm)
Quimper 1954-1965) Pluie : 1,089 mm) drainage	563	485	
Versailles 1933-1949 Pluie : 595 mm	217	152	
Azaguié 1966-1968 Pluie + irrigation = 2,020 mm dont 262 mm irrigation	-	-	828

PERTES D'ELEMENTS MINERAUX

Les résultats de Quimper sont les moyennes de plusieurs cases dans lesquelles on a apporté des doses différentes d'amendement calcique : 2,4 à 14,6 tonnes de CaO/ha pour les 12 années (moyenne des 6 cases = 8,9 t/ha).

Ces amendements (chaux éteinte ou maërl) apportent également de 150 à 900 kg de MgO (moyenne des 6 cases : 675 kg).

Les engrais phosphatés (scories ou super-phosphate) sont de 180 unités de P₂O₅ les 8 premières années, puis de 60 unités.

Les engrais potassiques (chlorure) correspondent à une moyenne de 140 unités par an.

Il n'a jamais été appliqué d'engrais azotés au cours des 12 années.

A Azaguié l'apport de CaO a été de 1,4 t/ha en trois ans, soit une moyenne annuelle de 470 kg contre 740 kg à Quimper. Le MgO représente 310 kg/an contre 55 kg à Quimper. La fumure phosphatée à Azaguié a été de 40 unités en 1966, de 70 en 1967 et nulle en 1968, soit inférieure à celle de Quimper. Pour le potassium, au contraire la fumure d'Azaguié est plus élevée 560 kg/an contre 140 kg. De même pour l'azote : Azaguié : 430 kg contre aucune fumure à Quimper.

Voici, mise en parallèles, les pertes moyennes annuelles en kg/ha pour trois stations :

	Quimper		Versailles		Azaguié
	cases nues	cases cultivées	cases nues	cases cultivées	bananeraie
N	142	63	116	45	235
P ₂ O ₅	0,8	0,8	0,3	0,2	2,8
K ₂ O	56	29	8	4	296
CaO	434	322	407	251	360
MgO	39	30	28	17	189

Par rapport à la case cultivée de Quimper, les pertes d'éléments minéraux à Azaguié sont 4 fois plus élevées pour N, 3 fois pour P, 10 fois pour K, 6 fois pour Mg et du même ordre de grandeur pour Ca.

La lixiviation à Azaguié est donc plus élevée

qu'à Quimper, même si on tient compte du fait que le drainage est presque le double : 828 mm contre 485 mm dans la case cultivée de Quimper. Les concentrations des eaux de drainage à Azaguié sont toujours plus élevées à l'exception du calcium, comme le montre le tableau suivant.

Concentration moyenne des eaux de drainage en mg/l

	Quimper		Versailles		Azaguié bananeraie
	cases nues	cases cultivées	cases nues	cases cultivées	
N	25	13	53	30	37
P ₂ O ₅	0,14	0,17	0,13	0,11	0,27
K ₂ O	10	6	4	4	35
CaO	77	66	188	165	43
MgO	7	6	13	11	21

La différence la plus élevée tant en perte totale annuelle qu'en concentration est celle du potassium. La comparaison des analyses granulométriques (tableaux Annexes II et XIII) montre que la texture est plus argileuse à Azaguié, mais la nature des argiles n'est vraisemblablement pas la même. Dans le sol ferrallitique d'Azaguié l'argile est de la kaolinite alors qu'à Quimper l'argile doit être de la montmorillonite. Une étude effectuée sur ce sol d'Azaguié (GODEFROY 1967) a montré que la rétrogradation de l'engrais potassique était pratiquement nulle pour des apports d'engrais inférieurs

ou égaux à 0,5 méq. p. cent g de terre, ce qui est le cas dans la pratique lorsque les épandages d'engrais sont fractionnés. Le potassium apporté reste donc sous forme échangeable ce qui facilite sa lixiviation, mais on ne s'explique pas que celle-ci soit aussi importante dans un sol à texture argileuse dont le complexe absorbant est fortement désaturé à partir de 30 cm de profondeur. L'étude des variations mensuelles de potassium (GODEFROY et MARTIN 1969) (fig. 4) confirme l'importance de la lixiviation du potassium dans ce sol.

CONCLUSION

Cette étude met nettement en évidence l'importance de la lixiviation de tous les éléments minéraux à l'exception du phosphore : en moyenne 235 kg/ha/an d'azote, 2,8 de phosphore, 296 de potasse, 360 de chaux, 189 de magnésie. Ces résultats concordent bien avec les observations que l'on peut faire à partir des analyses de sol effectuées depuis une dizaine d'années dans les bananeraies de Côte d'Ivoire.

Après quelques années de mise en culture les niveaux en calcium et magnésium du sol se stabilisent malgré des apports réguliers de dolomie ou de chaux magnésienne. Les quantités de Ca et Mg exportées avec les régimes étant très faibles (moins de 10 kg pour une production de 30 t/ha) et ne représentant que 2 à 4 p. cent des apports, qui sont en moyenne de 1 t/ha/an de dolomie ou de chaux magnésienne, le surplus est donc lixivié.

Pour l'azote et le potassium les quantités exportées sont plus élevées, ce qui explique que la proportion d'engrais perdus soit plus faible que pour Ca et Mg, alors que ces deux éléments (N et K) sont plus facilement entraînés par les eaux de drainage, comme le montrent

les courbes de variation de ces éléments au cours d'une année.

Le phosphore est très peu lixivié, ce qui est confirmé par les teneurs élevées des sols de bananeraie de nombreuses plantations de Côte d'Ivoire, originellement très pauvres en phosphore, mais dans lesquels des apports réguliers d'engrais phosphatés sont effectués.

Les pertes par drainage des divers éléments fertilisants sont les plus importantes, les pertes dues au ruissellement représentent en valeur absolue et relative des quantités faibles.

La concentration en éléments chimiques des eaux de drainage est presque toujours plus élevée que celle des eaux de ruissellement pour le calcium, magnésium, potassium et les nitrates, sauf le cas d'une forte pluie survenant après un épandage d'engrais azoté ou potassique. Pour le phosphore, l'azote ammoniacal et organique, ce sont au contraire les eaux de ruissellement qui sont généralement les plus riches.

C'est pendant la saison des pluies que la lixiviation des éléments fertilisants est la plus

importante, bien que les concentrations dans les eaux soient les plus faibles (effet dilution).

Il existe une relation entre les teneurs des éléments dans le sol et dans les eaux de drainage.

Ce bilan montre qu'à l'exception de la fumure phosphatée la notion de fumure de fond valable en région tempérée ne s'applique pas dans le cas d'Azaguié. Les épandages d'engrais potassiques doivent être fractionnés au même titre que les apports d'azote (6 à 8 par an). Les pertes étant maxima durant les mois de saison des pluies on devra éviter de faire des apports d'engrais importants avant la saison des pluies, mais cela est quelquefois difficile, car les é-

pandages doivent aussi tenir compte des dates de plantation et de l'âge de la plante.

Lorsque la plantation est faite après la saison des pluies (août, septembre, octobre) l'amendement calco-magnésien apporté à la plantation sera relativement peu lixivie durant les 6 à 8 premiers mois. Dans le cas de plantation de printemps (mars-avril) il y aura intérêt à n'apporter que la moitié de la chaux et de la magnésie à la plantation, et faire un deuxième apport en août ou septembre.

Seule la fumure phosphatée peut être apportée en fumure de fond à chaque replantation, soit tous les 3 ans environ.

BIBLIOGRAPHIE

- AUBERT (G.) et SEGALEN (P.) - 1966. Projet de classification des sols ferrallitiques. *ORSTOM*, inédit.
- COPPENET (M.) - 1969. Résultats de 12 années d'observations lysimétriques à Quimper. *Ann. agron.*, 20, (2), 111-143.
- DUTHION - 1968. Le potassium dans le sol. *Revue de la Potasse*, Section 4, 43ème suite, nov.-dec., p. 1 à 20.
- ELDIN (M.) et DAUDET (A.) - 1967. Notice des cartes climatologiques de Côte d'Ivoire. *Doc. technique ORSTOM*, Centre d'Adiopodoumé, 18 pages.
- GODEFROY (J.) - 1967. Etude de la rétrogradation du potassium dans différents sols de bananeraies. *Revue de la potasse*, section 4, 40ème suite, dec., p. 1-5.
- GODEFROY (J.), CHARPENTIER (J.-M.) et LOSSOIS (P.) - 1969. Action de la fumure organique sur les caractéristiques chimiques et structurales d'un sol de bananeraie. *Fruits*, vol. 24, n° 1, p. 21-42.
- 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.
- MARTIN-PREVEL (P.) et TISSEAU (R.) - 1962. Les éléments minéraux dans le bananier et dans son régime. *Fruits*, vol. 17, n° 3, p. 123-128.
- ROOSE (E.), GODEFROY (J.) - 1967. Erosion, ruissellement et drainage oblique sous une bananeraie de basse Côte d'Ivoire. *Doc. technique ORSTOM*, dec., 72 pages.
- ROOSE (E.) - 1968. Un dispositif de mesure du lessivage oblique dans les sols en place. *Cahiers ORSTOM*, pédologie, vol. VI, n° 2, p. 235-249.
- ROOSE (E.) et GODEFROY (J.) - Lessivage des éléments fertilisants en bananeraie. *Fruits*, vol. 23, n° 11, p. 580-584.



ANNEXE I

Travaux culturaux effectués dans la bananeraie en 1966, 1967 et 1968.

Janvier 1966 : abattage de la bananeraie, labour manuel au "4 dents".

Février 1966 : plantation (2, 25 x 2, 25 m), épandage de 1, 5 t/ha de dolomie, paillage avec branchages de forêt.

Février à juillet 1966 : épandages fractionnés des engrais N.P.K.

Décembre 1966 : épandage de 1 t/ha de dolomie, enfouissement par un labour manuel superficiel au "4 dents".

Décembre 1966 à août 1967 : épandages fractionnés des engrais N. P.K.

Octobre 1967 : abattage et replantation, épandage de 2 t/ha de dolomie, enfouissement par labour manuel au "4 dents".

Décembre 1967 : paillage avec du guatemala grass.

Décembre 1967 à octobre 1968 : épandages fractionnés des engrais N et K.

Novembre 1968 : épandage de 1 t/ha de dolomie, enfouissement par un labour au "4 dents", paillage avec du guatemala grass.

ANNEXE II

Résultats analytiques du profil de la case de lessivage du carré 4 de la bananeraie IFAC à Azaguié (laboratoire ORSTOM Adiopodoumé)

ANNEX

Profondeur (cm)	0-25	30-40	60-80	100-120	140-160	180-200	230-250		
CATIONS ECHANGEABLES									
Calcium meq % g	5,1	0,8	0,9	0,7	0,5	0,3	0,3	Ca	
Magnésium meq % g	1,4	0,1	0,3	0,3	0,2	0,2	0,4		
Potassium meq % g	0,7	0,2	0,3	0,2	0,2	0,1	0,1		
Sodium meq % g	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,4	0,4		
Somme des cations meq % g	7,5	1,4	1,9	1,5	1,2	1,0	1,2		
Capacité de fixation meq % g	10,6	5,6	6,3	7,2	7,1	4,3	5,6	Mg	
Coefficient de saturation % g	70	26	29	21	16	25	20		
pH (eau 1/2, 5)	5,4	5,5	5,1	5,0	5,5	5,5	5,3		
CATIONS TOTAUX									
Calcium meq % g	7,9	1,1	1,2	0,7	0,8	0,5	0,7		
Magnésium meq % g	2,7	1,4	1,6	1,5	1,5	2,1	2,6	K	
Potassium meq % g	1,4	1,3	1,1	1,2	1,1	0,9	0,7		
Sodium meq % g	0,6	0,7	0,6	0,6	0,7	1,0	1,0		
MATIERE ORGANIQUE									
Carbone total p. cent	1,9	0,5	0,5	0,4	0,2	0,7	0,8		
Matière organique p. cent	3,3	0,8	0,8	0,7	0,4	1,3	1,4	P ₂ O ₅	
Azote total p. mille	1,4	0,6	0,6	0,7	0,5	0,3	0,3		
C/N	14	8	8	6	4	2	3		
P ₂ O ₅ total p. mille	0,9	0,3	0,4	0,4	0,5	0,4	0,4		
TRIACTIDE									
Si O ₂ p. cent	-	-	14,0	18,0	23,0	23,3	21,9	N-NH ₃	
Al ₂ O ₃ p. cent	-	-	12,5	16,1	20,8	19,6	19,1		
Fe ₂ O ₃ total p. cent	2,4	3,9	5,1	7,3	11,0	6,9	7,1		
Fe ₂ O ₃ libre p. cent	1,4	2,4	3,9	5,5	7,7	4,8	3,8		
Ti O ₂ p. cent	-	-	0,7	0,8	1,0	0,9	0,8		
Si O ₂ / Al ₂ O ₃	-	-	1,9	1,9	1,9	2,0	2,0	N-NO ₃	
GRANULOMETRIE									
Argile p. cent	15	25	33	41	47	32	30		
Limon fin p. cent	8	9	8	10	10	22	24		
Limon grossier p. cent	14	17	14	13	5	9	11		
Sable fin p. cent	33	26	22	17	24	18	19	N total	
Sable grossier p. cent	28	21	23	18	14	19	15		
Gravier p. cent	5	48	39	7	3	3	0		
Indice de perméabilité :									
K cm/h	4,0	0,6	0,4	0,4	1,1	0,8	0,6		
Indice d'instabilité : I _s	1,2	5,1	7,7	4,5	2,5	7,4	6,6		
pF 4,2 (p. cent du poids)	7,5	10,9	13,9	17,1	19,2	14,9	15,4		
pF 3,0	13,0	17,3	21,4	23,3	25,8	27,2	27,5		
pF 2,7	16,6	19,3	22,6	29,5	34,3	33,4	33,5		
pF 2,5	17,8	21,6	26,4	31,7	36,0	37,0	41,1		
pF 2,2	24,0	26,3	30,2	37,2	41,8	41,5	44,9		

ANNEXE III

Pluies - Irrigations - Ruissellement - Drainage (résultats en m/m).

	1966												1967												J	F	M		
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	An.	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N				D	An.
	Hauteur des pluies	18	52	101	160	94	525	316	10	56	154	64	65	1615	20	98	74	155	256	639	90	10	51	108				26	93
Nbre jours de pluies	1	2	9	7	11	23	20	7	8	19	7	8	119	1	8	4	6	8	10	7	4	7	14	6	5	80	2	8	1
Hauteur des irrigations	60	60	20	0	0	0	0	40	20	20	60	37	317	68	22	42	21	0	0	0	132	70	0	0	28	383	52	25	1
Nbre d'irrigations	3	3	1	0	0	0	0	2	1	1	1	2	14	2	1	1	1	0	0	0	3	1	0	0	1	10	2	1	
Pluies + irrigations	78	112	121	160	94	525	316	50	76	174	124	102	1932	88	120	116	176	256	639	90	142	121	108	26	121	2003	56	105	16
Ruissellement	0	0	0	1	0	11	11	0	7	3	1	34	6	1	7	6	6	31	2	3	6	4	0	2	74	1	1		
Drainage	0	0	0	65	19	408	211	0	40	64	30	8	845	25	16	0	56	124	503	60	17	52	16	0	0	869	0	0	1
E T P (TURC)	121	123	136	131	118	101	113	80	86	103	119	113	1349	123	122	113	114	126	105	91	79	88	105	130	112	1308	123	111	12

ANNEXE VIII

Teneur des eaux (en mg/litre).

250			1968											
			J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
3	Ca	A01	21	11	11	6	7	10	9	7	9	8	15	16
4		A02	-	-	-	-	-	13	10	10	11	8	18	-
1		AI	-	-	-	-	-	24	19	-	-	-	-	-
4		AII	-	-	77	-	55	30	19	21	30	-	33	-
2		AIII	-	85	72	64	52	30	17	18	28	33	36	-
6		AIV	-	34	49	46	43	28	17	17	27	30	34	-
3	Mg	A01	10	6	5	7	9	4	3	3	3	5	6	
		A02	-	-	-	-	-	5	4	4	3	4	8	-
		AI	-	-	-	-	-	6	5	-	-	-	-	-
7		AII	-	-	18	-	26	9	6	7	10	-	12	-
6		AIII	-	14	23	22	25	10	6	6	11	11	13	-
7		AIV	-	7	18	17	22	9	6	6	11	10	12	-
0	K	A01	24	34	24	13	14	16	21	12	8	34	29	36
		A02	-	-	-	-	-	16	16	15	9	33	42	-
		AI	-	-	-	-	-	15	18	-	-	-	-	-
8		AII	-	-	26	-	38	19	17	18	15	-	35	-
4		AIII	-	41	52	48	41	13	18	14	22	37	38	-
3		AIV	-	19	37	24	37	12	21	17	21	31	39	-
4	P ₂ O ₅	A01	0,9	1,5	0,7	0,9	0,9	1,4	1,2	1,0	0,7	1,1	1,6	2,1
		A02	-	-	-	-	-	0,9	1,2	0,9	0,6	0,8	1,8	-
		AI	-	-	-	-	-	0,5	0,4	-	-	-	-	-
9		AII	-	-	0	-	0	0,1	0,2	0,2	0,3	-	2,0	-
1		AIII	-	0,2	0	0	0	0,2	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	-
8		AIV	-	0,4	0	0	0	0,1	0,2	0	0,1	0,1	0	
8	N-NH ₃	A01	13,5	0,9	0,8	0,6	1,0	1,1	0,6	0,5	0,7	1,0	1,2	3,2
		A02	-	-	-	-	-	1,5	0,3	1,8	0,9	0	0,7	-
		AI	-	-	-	-	-	0,8	0,5	-	-	-	-	-
		AII	-	-	0,5	-	0	0,5	0,6	0,8	0,4	-	0,6	-
		AIII	-	0,6	0,2	1,7	0,3	0,5	0,5	0,3	0,2	0,7	0,8	-
0		AIV	-	1,3	0,1	1,6	2,6	0,5	0,3	0,2	1,1	0,5	0,3	
	N-NO ₃	A01	1,0	3,1	5,4	2,7	2,7	3,6	2,6	1,7	2,0	2,5	7,7	10,2
		A02	-	-	-	-	-	4,9	2,9	0,5	0,3	1,8	9,8	-
		AI	-	-	-	-	-	8,8	8,0	-	-	-	-	-
		AII	-	-	50,1	-	38,6	18,7	12,6	15,3	18,0	-	18,5	-
		AIII	-	37,4	49,0	37,0	38,9	15,3	9,9	10,2	14,1	14,0	21,9	-
6		AIV	-	14,0	39,4	32,0	32,7	16,3	10,8	11,5	15,1	17,4	20,7	
6	N total	A01	17	NA	9	15	6	9	9	10	15	14	21	26
4		A02	-	-	-	-	-	8	7	9	11	8	33	-
5		AI	-	-	-	-	-	11	12	-	-	-	-	-
5		AII	-	-	-	-	NA	23	17	22	25	-	34	-
1		AIII	-	NA	49	NA	39	17	15	18	21	31	43	-
9		AIV	-	NA	39	39	32	18	16	16	20	36	54	-

An.	1968												An.
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
1620	4	80	153	114	262	344	284	157	239	180	161	62	2040
80	2	8	13	10	16	21	20	16	19	15	10	4	139
383	52	25	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	87
10	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
2003	56	105	163	114	262	344	284	157	239	180	161	62	2127
74	1	1	2	1	5	17	29	5	29	14	9	1	114
869	0	0	12	4	129	228	153	46	107	48	42	0	769
1308	123	111	125	129	128	99	102	96	103	118	119	122	1375

Teneur des eaux (en mg/litre).

ANNEXE IV

ANNEXE VI

		1966											1967												
		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Ca	AO	-	-	-	41	-	34	19	-	-	17	8	8	11	15	9	9	8	6	15	8	12	10	-	15
	AI	-	-	-	47	-	38	25	-	-	14	19	22	29	15	12	12	13	16	17	19	24	35	-	-
	AII	-	-	-	45	-	32	22	-	26	15	14	11	21	-	-	15	27	17	-	-	48	-	-	-
	AIII	-	-	-	137	55	37	26	-	23	19	21	19	32	45	-	52	35	24	23	30	24	129	-	-
Mg	AO	-	-	-	22	-	12	7	-	-	11	7	4	6	6	5	4	4	5	6	3	5	2	-	6
	AI	-	-	-	18	-	16	11	-	-	11	8	10	12	7	7	5	9	6	1	8	13	8	-	-
	AII	-	-	-	17	-	14	13	-	32	12	6	6	11	-	-	16	13	14	-	-	17	-	-	-
	AIII	-	-	-	70	19	16	14	-	19	15	9	9	15	18	-	13	14	15	8	10	10	3	-	-
K	AO	-	-	-	96	-	57	31	-	-	16	8	6	17	18	16	10	26	15	16	21	9	123	-	44
	AI	-	-	-	150	-	74	43	-	-	29	11	30	78	18	32	27	23	12	19	17	18	38	-	-
	AII	-	-	-	123	-	63	38	-	49	29	26	24	66	-	-	32	34	21	-	-	40	52	-	-
	AIII	-	-	-	144	-	35	33	-	36	25	7	29	50	20	-	32	35	24	23	25	24	120	-	-
P ₂ O ₅	AO	-	-	-	0	-	2,3	0,7	-	-	1,0	1,0	0,4	1,3	0,5	1,0	0,7	0,6	0,5	0,3	0,8	0,6	2,1	-	1,4
	AI	-	-	-	4,6	-	1,6	1,0	-	-	2,3	-	0,8	1,9	3,1	1,3	1,9	0,5	0,5	0,6	1,0	1,0	0,9	-	-
	AII	-	-	-	1,6	-	0,9	0,8	-	0	1,0	0,6	0,3	1,7	-	-	0,2	0,3	0,2	-	-	1,2	-	-	-
	AIII	-	-	-	2,5	0	0,1	0,4	-	0	0,7	0,3	0,3	0,8	0,2	-	0,1	0,2	0,6	0	0,1	0,2	0,5	-	-
N-NH ₃	AO	-	-	-	64,3	-	2,3	2,4	-	-	1,5	3,7	1,9	2,3	3,7	5,4	1,1	1,9	0,5	1,6	2,1	3,7	1,1	-	10,6
	AI	-	-	-	8,2	-	2,6	1,5	-	-	0,9	3,5	4,4	1,7	3,0	2,3	0,6	0,6	1,0	1,6	1,7	2,2	4,6	-	-
	AII	-	-	-	7,6	-	2,4	1,2	-	0,8	0,9	2,7	1,2	1,7	-	-	1,9	6,2	0,6	-	-	5,8	6,5	-	-
	AIII	-	-	-	181	3,2	1,5	1,1	-	1,0	0,7	1,5	1,2	1,3	3,9	-	1,4	3,2	0,8	1,1	1,5	2,0	7,4	-	-
N-NO ₃	AO	-	-	-	54,3	-	16,8	9,8	-	-	6,1	1,2	2,8	3,1	4,0	1,9	1,0	2,1	2,2	10,4	0,7	0,7	1,2	-	0,4
	AI	-	-	-	157,1	-	28,0	17,6	-	-	8,0	18,0	2,2	19,0	11,6	12,0	0,9	8,5	3,8	10,4	9,5	10,9	18,9	-	-
	AII	-	-	-	55,1	-	26,5	16,9	-	21,8	9,6	13,3	9,4	16,7	-	-	16,2	27,8	13,1	-	-	38,0	20,5	-	-
	AIII	-	-	-	47,9	38,7	30,5	24,5	-	20,4	17,4	19,7	17,4	25,0	35,6	-	32,9	28,2	20,5	17,9	24,1	19,7	4,3	-	-
N-total	AO	-	-	-	-	-	19	3	-	-	-	-	-	7	NA	NA	10	11	24	34	8	8	9	-	NA
	AI	-	-	-	-	-	40	21	-	-	-	-	-	20	NA	NA	13	13	21	NA	14	17	NA	-	-
	AII	-	-	-	-	-	40	22	-	-	-	-	-	24	-	-	NA	24	-	-	NA	NA	-	-	-
	AIII	-	-	-	-	-	46	26	-	-	-	-	-	29	NA	-	34	32	32	21	30	21	21	-	-

ANNEXE X

Teneurs des eaux en matières organiques (exprimées en mg/l d'O₂ consommé)

		Jan.	Fev.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
1967	AO	29	42	NA	23	24	17	16	36	26	42	-	NA
	AI	34	NA	NA	29	22	19	NA	31	8	NA	-	-
	AII	45	-	-	NA	NA	26	-	NA	NA	NA	-	-
	AIII	43	NA	-	16	19	17	12	7	16	48	-	-
1968	AO1	66	41	22	16	10	14	12	10	5	13	13	14
	AO2	-	-	-	-	-	25	15	13	0,1	11	25	-
	AI	-	-	-	-	-	30	18	-	-	-	-	-
	AII	-	-	NA	-	NA	13	17	15	0,1	-	11	-
	AIII	-	NA	7	NA	10	10	11	11	2	10	6	-
AIV	-	NA	3	6	10	9	13	11	3	7	10	-	

ANNEXE XI Pertes

1967	Ruissellement
	Drainage
	R + Dr
	p. cent des pertes annuelles
1968	Ruissellement
	Drainage
	R + Dr
	p. cent des pertes annuelles

ANNEXE IX

Pertes en éléments minéraux (kg/ha).

			1968														
O	N	D		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Annuel	
			Ca	Ruissellement	0,1	0,1	0,2	0,1	0,3	2,0	2,9	0,4	3,1	1,2	1,5	0,1	12,0
0	-	15	Ca	Drainage	0	0	8,7	2,5	67,1	68,1	26,3	8,1	30,0	16,0	15,0	0	241,8
5	-	-		R + Dr	0,1	0,1	8,9	2,6	67,4	70,1	29,2	8,5	33,1	17,2	16,5	0,1	253,8
	-	-		% de pertes annuelles	0,1	0,1	4	1	27	28	11	3	13	7	6	0,1	
9	-	-															
2	-	6	Mg	Ruissellement	0,1	0,1	0,1	0,1	0,4	0,8	1,0	0,1	1,0	0,5	0,6	0,1	4,9
8	-	-	Mg	Drainage	0	0	2,8	0,9	32,7	21,7	9,3	2,9	12,2	5,3	5,3	0	93,1
	-	-		R + Dr	0,1	0,1	2,9	1,0	33,1	22,5	10,3	3,0	13,2	5,8	5,9	0,1	98,0
3	-	-		% de pertes annuelles	0,1	0,1	3	1	34	23	11	3	13	6	6	0,1	
3	-	44															
8	-	-	K	Ruissellement	0,1	0,4	0,4	0,2	0,7	2,7	5,0	0,6	2,6	4,8	3,2	0,1	20,8
2	-	-	K	Drainage	0	0	6,2	1,9	52,6	30,0	28,2	6,4	23,3	17,8	16,1	0	182,5
0	-	-		R + Dr	0,1	0,4	6,6	2,1	53,3	32,7	33,2	7,0	25,9	22,6	19,3	0,1	203,3
2,1	-	1,4		% de pertes annuelles	0,1	0,2	3	1	26	16	16	3	13	11	10	0,1	
0,9	-	-															
	-	-	P2O5	Ruissellement	0,01	0,02	0,01	0,01	0,04	0,20	0,34	0,05	0,19	0,14	0,16	0	1,17
0,5	-	-	P2O5	Drainage	0	0	0	0	0	0,34	0,18	0,08	0,21	0,14	0,12	0	1,07
1,1	-	10,6		R + Dr	0,01	0,02	0,01	0,01	0,04	0,54	0,52	0,13	0,40	0,28	0,28	0	2,24
4,6	-	-		% de pertes annuelles	0,4	1	0,4	0,4	2	24	23	6	18	12	12	0	
6,5	-	-															
7,4	-	-	N-NH3	Ruissellement	0,08	0,01	0,01	0,01	0,05	0,23	0,11	0,04	0,26	0,08	0,08	0,01	0,9'
1,2	-	0,4	N-NH3	Drainage	0	0	0,02	0,07	0,37	1,03	0,81	0,13	0,21	0,32	0,34	0	3,30
18,9	-	-		R + Dr	0,08	0,01	0,03	0,08	0,42	1,26	0,92	0,17	0,47	0,40	0,42	0,01	4,2'
20,5	-	-		% de pertes annuelles	2	0,2	1	2	10	29	22	4	11	9	10	0,2	
4,3	-	-															
9	-	NA	N-NO3	Ruissellement	0,01	0,04	0,08	0,02	0,13	0,74	0,82	0,07	0,16	0,31	0,81	0,03	3,2
NA	-	-	N-NO3	Drainage	0	0	5,88	1,48	50,17	34,84	15,07	4,72	15,04	6,74	9,22	0	143,1
NA	-	-		R + Dr	0,01	0,04	5,96	1,50	50,30	35,58	15,89	4,79	15,20	7,05	10,03	0,03	146,3
21	-	-		% de pertes annuelles	0,01	0,03	4	1	34	24	11	3	10	5	7	0,02	
			N-total	Ruissellement	0,1	(0,05)	0,1	0,1	0,3	1,5	2,1	0,5	4,0	1,7	2,5	0,1	13,0
			N-total	Drainage	0	0	5,9	1,6	50,1	37,9	22,1	8,2	22,0	14,8	18,2	0	180,8
				R + Dr	0,1	(0,05)	6,0	1,7	50,4	39,4	24,2	8,7	26,0	16,5	20,7	0,1	193,8
				% de pertes annuelles	0,5	0,3	3	1	26	20	12	4	13	8	11	0,5	

ANNEXE XI Pertes en matières organiques (exprimées en kg/ha d'oxygène consommé)

		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Annuel
1967	Ruissellement	1,7	0,5	NA	1,2	1,4	5,3	0,3	1,1	1,5	1,9	0	NA	14,9 9 %
	Drainage	10,6	NA	NA	8,7	23,3	85,9	7,0	1,2	8,3	7,7	0	0	152,7 91 %
	R + Dr	12,3	0,5	-	9,9	24,7	91,2	7,3	2,3	9,8	9,6	0	-	167,6
	p. cent des pertes annuelles	7	0,3	-	6	15	54	4	1	6	6	-	-	
1968	Ruissellement	0,4	0,5	0,3	0,1	0,5	3,3	4,1	0,5	0,4	1,8	1,9	0,04	13,8 17 %
	Drainage	0	0	0,9	0,2	12,9	23,5	16,3	4,9	2,0	4,8	2,7	0	68,2 83 %
	R + Dr	0,4	0,5	1,2	0,3	13,4	26,8	20,4	5,4	2,4	6,6	4,6	0,04	82,0
	p. cent des pertes annuelles	0,5	0,6	1	0,4	16	33	25	7	3	8	6	0,05	

Pertes en éléments minéraux (kg/ha).

ANNEXE V

ANNEXE VII

	1966													1967													
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Annuel	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Annuel	
	Ca	Ruissellement	0	0	0	0,3	0	3,7	2,1	0	0	1,2	0,2	0,1	7,6 2 %	0,7	0,2	0,6	0,5	0,5	1,9	0,3	0,3	0,7	0,4	0,3	6,4 2 %
	Drainage	0	0	0	88,7	10,5	150,3	54,1	0	9,2	12,2	6,2	1,5	332,7 98 %	8,1	7,2	0	28,9	43,1	121,6	13,6	5,1	12,5	20,6	0	260,7 98 %	
	R + Dr	0	0	0	89,0	10,5	154,0	56,2	0	9,2	13,4	6,4	1,6	340,3	8,8	7,4	0,6	29,4	43,6	123,5	13,9	5,4	13,2	21,0	0,3	267,1	
	% des pertes annuelles	0	0	0	26	3	45	17	0	3	4	2	0,5		3	3	0,2	11	16	46	5	2	5	8	0,1		
Mg	Ruissellement	0	0	0	0,2	0	1,3	0,8	0	0	0,7	0,2	0	3,2 2 %	0,3	0,1	0,4	0,2	0,2	1,6	0,1	0,1	0,3	0,1	0,1	3,5 3 %	
	Drainage	0	0	0	45,2	3,5	65,5	29,7	0	7,7	9,8	2,6	0,7	164,7 98 %	3,7	2,9	0	7,1	17,2	73,4	4,5	1,7	5,8	0,5	0	116,8 97 %	
	R + Dr	0	0	0	45,4	3,5	66,8	30,5	0	7,7	10,5	2,8	0,7	167,9	4,0	3,0	0,4	7,3	17,4	75,0	4,6	1,8	6,1	0,6	0,1	120,3	
	% de pertes annuelles	0	0	0	26	2	40	18	0	5	6	2	0,4		3	2	3	6	14	62	4	1	5	0,5	0,1		
K	Ruissellement	0	0	0	0,7	0	6,3	3,5	0	0	1,1	0,2	0,1	11,9 3 %	1,0	0,2	1,1	0,5	1,5	4,8	0,3	0,7	0,5	5,5	0,8	16,9 6 %	
	Drainage	0	0	0	93,3	6,7	144,3	70,4	0	14,4	16,0	2,0	2,3	349,4 97 %	12,5	3,2	0	17,8	42,9	121,6	13,9	4,2	13,3	19,2	0	248,6 94 %	
	R + Dr	0	0	0	94,0	6,7	150,6	73,9	0	14,4	17,1	2,2	2,4	361,3	13,5	3,4	1,1	18,3	44,4	126,4	14,2	4,9	13,8	24,7	0,8	265,5	
	% des pertes annuelles	0	0	0	26	2	42	21	0	4	5	0,6	0,7		5	1	0,4	7	17	48	5	2	5	9	0,3		
P ₂ O ₅	Ruissellement	0	0	0	0	0	0,25	0,07	0	0	0,07	0,03	0,01	0,43 10 %	0,05	0	0,06	0,04	0,04	0,15	0,01	0,03	0,03	0,09	0	0,03	0,53 14 %
	Drainage	0	0	0	1,63	0	0,53	0,86	0	0	0,43	0,08	0,02	3,55 90 %	0,02	0,02	0	0,05	0,17	2,77	0	0,02	0,11	0,08	0	3,24 86 %	
	R + Dr	0	0	0	1,63	0	0,78	0,93	0	0	0,50	0,11	0,03	3,98	0,07	0,02	0,06	0,09	0,21	2,92	0,01	0,05	0,14	0,17	0	0,03	3,77
	% de pertes annuelles	0	0	0	41	0	20	23	0	0	13	3	0,7		2	1	2	2	6	76	1	1	4	4	0	1	
N-NH ₃	Ruissellement	0	0	0	0,46	0	0,26	0,26	0	0	0,10	0,10	0,02	1,20 1 %	0,13	0,04	0,38	0,06	0,11	0,17	0,03	0,07	0,21	0,05	0	0,20	1,45 10 %
	Drainage	0	0	0	17,42	0,61	6,24	2,28	0	0,40	0,45	0,44	0,09	127,93 99 %	0,32	0,63	0	0,72	3,93	3,87	0,68	0,25	1,04	1,18	0	12,62 90 %	
	R + Dr	0	0	0	17,88	0,61	6,50	2,54	0	0,40	0,55	0,54	0,11	129,13	0,45	0,67	0,38	0,78	4,04	4,04	0,71	0,32	1,25	1,23	0	0,20	14,07
	% de pertes annuelles	0	0	0	91	0,5	5	2	0	0,3	0,4	0,1			3	4	3	6	29	29	5	2	9	9	0,1		
N-NO ₃	Ruissellement	0	0	0	0,01	0	1,85	1,08	0	0	0,43	0,03	0,02	3,42 1 %	0,18	0,05	0,14	0,05	0,12	0,71	0,19	0,02	0,04	0,05	0	0,01	1,56 1 %
	Drainage	0	0	0	31,14	7,35	124,36	51,61	0	8,16	11,10	5,90	1,40	241,02 99 %	5,24	5,70	0	18,44	34,96	103,32	10,72	4,09	10,25	0,69	0	194,41 99 %	
	R + Dr	0	0	0	31,15	7,35	126,21	52,69	0	8,16	11,53	5,93	1,42	244,44	5,42	5,75	0,14	18,49	35,08	104,03	10,91	4,11	10,29	0,74	0	0,01	195,97
	% de pertes annuelles	0	0	0	13	3	52	22	0	3	5	2	0,6		3	3	0,1	9	18	53	6	2	5	0,4	0		
N-total	Ruissellement					2,08	3,2								0,4	(0,1)	(0,5)	0,5	0,6	7,5	0,6	0,3	1,0	0,4		11,9 4 %	
	Drainage					185,52	53								7,1	(6,4)	0	19,2	39,3	159,7	12,6	5,1	11,1	3,3	0	(0,2)	263,8 96 %
	R + Dr					187,60	56,2								7,5	(6,5)	(0,5)	19,7	39,9	167,2	13,2	5,4	12,1	3,7	0	0	275,7
	% de pertes annuelles														3	2	0,2	7	15	61	5	2	4	1			

ANNEXE XIII Résultats analytiques du profil de la case lysimétrique de Quimper.

Profondeur (cm)	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100
GRANULOMETRIE					
Argile p. cent	18	17	22	20	19
Limon fin p. cent	18	19	19	21	23
Limon grossier p. cent	11	11	12	14	15
Sable fin p. cent	9	8	8	9	11
Sable grossier p. cent	30	29	28	31	34
Gravier	25	27	25	23	22
CATIONS ECHANGEABLES					
Calcium meq % g	1,8	1,4	0,9	0,6	0,4
Magnésium meq % g	0,40	0,22	0,12	0,09	0,06
Potassium meq % g	0,43	0,35	0,19	0,17	0,17
pH (eau)	4,9	4,8	4,8	4,85	4,9
Azote total p. mille	4,3	3,8	2,5	1,3	0,9
P ₂ O ₅ citrique p. mille	0,05	0,05	0,04	0,03	0,03
Humidité équivalente p. cent	26,5	27,4	24,5	23,1	21,8

NNEXE XII Teneur des eaux (en mg/l) case sous forêt.

Mois	Jan.	Fev.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
a	TO1	-	7	5	4	3	3	2	2	2	2	2
	TO2	-	-	-	14	6	4	2	3	2	2	-
	TI	-	-	-	-	-	7	-	-	12	3	-
	TH	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	TIV	-	-	-	3	-	-	6	-	4	-	-
g	TO1	-	4	4	4	8	2	1	1	1	1	1
	TO2	-	-	-	8	6	2	2	1	1	1	-
	TI	-	-	-	-	-	5	-	-	3	2	-
	TH	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	TIV	-	-	-	4	-	-	2	-	2	-	-
.	TO1	-	18	4	4	2	1	1	2	1	1	2
	TO2	-	-	-	6	4	1	2	2	0,2	1	1
	TI	-	-	-	-	-	2	-	-	1	1	-
	TH	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	TIV	-	-	-	6	-	-	1	-	0,1	-	-
'2O5	TO1	-	0,3	0,2	0	0	0,4	0	0	0	0,2	0,1
	TO2	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	-
	TI	-	-	-	-	-	0	-	-	0	0	-
	TH	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	TIV	-	-	-	-	-	-	0	0	0	-	-
-NH3	TO1	-	0,3	0,4	1,1	0,6	0,7	0,3	0,3	0,2	0	0,4
	TO2	-	-	-	1,4	0,4	0,7	0	0,4	4,4	0,2	0,5
	TI	-	-	-	-	-	0,7	-	-	1,7	0	-
	TH	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	TIV	-	-	-	1,2	-	-	0,3	-	0	-	-
-NO3	TO1	-	1,2	0,5	1,1	0,6	0,7	0,4	0	0,3	0,4	0,8
	TO2	-	-	-	0,9	0,8	1,0	0,3	0	0,2	0,5	1,0
	TI	-	-	-	-	-	1,0	-	-	0,8	1,8	-
	TH	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	TIV	-	-	-	1,6	-	-	0,8	-	1,5	-	-