

1968

INSTITUT FRANCAIS
DU CAFE ET DU CACAO

CENTRE DE RECHERCHES
DE COTE D'IVOIRE

INFLUENCE DE LA DESSICATION DU SOL
SUR LA TENEUR DU CAFEIER EN ELEMENTS MINERAUX

G. VERLIERE

Maître de Recherches de l'ORSTOM
Chef de la Division d'Agronomie
du Centre de Recherches de l'IFCC en Côte d'Ivoire

C. GAILLARD
Chimiste au laboratoire
de Chimie de l'IFCC à Bingerville

J. HAHN
Chimiste au laboratoire
de Chimie de l'IFCC à Bingerville

O.R.S.T.O.M. Fonds Documentaire

N° : 33939, ex 1

Cote : B

P4 M

INFLUENCE DE LA DESSICATION DU SOL
SUR LA TENEUR DU CAFEIER EN ELEMENTS MINERAUX

I - METHODES UTILISEES

Les observations ont porté sur deux variétés de caféiers Robusta :

- une descendance libre du clone A1, d'origine locale ;
- une descendance libre du clone 43, d'origine INEAC.

Ces caféiers avaient été plantés en mai 1962 dans des vases de végétation composés de buses en ciment de 1 m de haut et 80 cm de diamètre, contenant 0,5 m³ de terre. Le drainage, favorisé par un lit de graviers de quartz et de sable au fond de la buse, pouvait se faire librement. Enfin, les buses étaient placées sous un abri vitré.

Jusqu'en mars 1967, ces caféiers avaient été l'objet d'un essai sur l'influence de l'alimentation en eau sur la floraison et la fructification. Puis, à partir du mois d'avril, ils avaient tous reçu la même quantité d'eau, à savoir 12 litres par jour. Enfin, du 1er au 11 mai, la terre des buses avait été maintenue à saturation en eau ; les différents assèchements ont commencé le 15 mai. Trois traitements furent appliqués, chacun à trois arbres de chaque variété :

- un objet "vert" où l'assèchement fut le plus brutal et où tout apport d'eau cessa le 8 juin ;
- un objet "jaune" où l'apport d'eau fut maintenu jusqu'au 22 juin ;
- un objet "rouge" qui fut arrosé jusqu'au 29 juin.

De plus, mais uniquement pour le 43, un objet "bleu" dont l'humidité du sol était constamment maintenue à saturation servait de témoin. Les quantités d'eau apportées en litres par arbre sont indiquées dans le tableau 1.

La terre provenait de la station de Divo, sol d'origine granitique, et avait été homogénéisée au cours du remplissage des buses.

.../.

1 - CONTROLE DE L'HUMIDITE DU SOL -

L'humidité était mesurée chaque semaine à 20 et 40 cm de profondeur à l'aide d'une sonde à neutrons type C.E.A.-A cet effet, chaque buse était munie d'un tube en lucoflex situé à égale distance de l'arbre et du bord de la buse, soit à 20 cm de chacun d'eux. Le rayon de la sphère d'influence de la sonde est alors de 15 cm environ ; il n'y a donc pas d'interférence due au pivot de l'arbre ou au béton de la buse.

La sonde a été étalonnée en faisant des mesures dans 9 buses et en prélevant simultanément un échantillon de sol dont l'humidité était déterminée à l'étuve à 105 - 110° ; ces mesures ont été répétées 4 fois avec des humidités différentes, ce qui a donné 36 couples de résultats. Le calcul statistique montre qu'il existe une corrélation très hautement significative entre les deux séries de mesure ($r = 0,966$) et l'équation de la régression linéaire est donnée par $Y = 32,548 x - 0,5$

Y = humidité en grammes d'eau totale pour 100-g de terre sèche

x = comptage de la sonde dans le sol considéré
comptage de la sonde dans son étui

Y représente l'eau totale du sol, y compris l'eau de constitution des argiles ; celle-ci a été déterminée en effectuant la perte au feu des différents échantillons prélevés ; elle est égale à 5,8 % du poids de terre sèche. L'eau libre (eau totale - eau de constitution) est donc donnée par l'équation :

$$y = 32,548 x - 6,3$$

Les valeurs ainsi calculées sont données dans le tableau 2.

Les pF des terres ont été mesurés et l'on a trouvé les valeurs suivantes :

pF	2,2	2,5	3,0	3,7	4,0	4,2
H % terre sèche	21,1	17,0	13,2	10,2	9,5	9,1

L'eau utile aux plantes, c'est-à-dire celle comprise entre l'humidité correspondant au point de flétrissement ($pF = 4,2$) et celle correspondant à la capacité maximum au champ ($pF = 3,0$) est donc ici très faible : 4,1 % du poids de la terre sèche.

.../.

2 - ANALYSES FOLIAIRES -

Des prélèvements de feuilles étaient effectués toutes les semaines à raison de 16 feuilles par arbre. Les feuilles retenues étaient celles utilisées habituellement pour le diagnostic foliaire à l'IFCC, à savoir la troisième paire de feuilles en partant de l'extrémité apicale d'un rameau fructifère. Les analyses étaient effectuées arbre par arbre et portaient sur :

- la teneur en matière sèche
- la teneur en cendres
- la teneur en azote (méthode Kjeldahl)
 - phosphore (calorimétrie au vanadomolybdate d'ammonium)
 - potassium, calcium, magnésium (photométrie de flamme)
 - fer (calorimétrie à l'orthophenantroline)
 - manganèse, zinc, cuivre (spectrophotométrie d'absorption atomique)
 - bore (calorimétrie à la dianthrimide)
 - molybdène (calorimétrie au sulfocyanure).

Les résultats indiqués ci-après et dans les diagrammes correspondants sont les moyennes des analyses des trois arbres de chaque objet.

II - INFLUENCE DE LA SECHERESSE SUR LES RESULTATS DES ANALYSES FOLIAIRES

1 - TENEUR EN MATIERE SECHE -

La teneur en matière sèche des feuilles de caféiers dont l'alimentation en eau n'a souffert d'aucun déficit se tient entre 37,5 et 40 % du poids frais.

Au bout de 6 semaines d'assèchement, la teneur en matière sèche s'élève à 66,5 % pour le 43 et à 62,5 % pour le A1 ; les caféiers perdent leurs feuilles et il est déjà impossible de trouver des feuilles sur le troisième noeud sur certains caféiers à partir de la cinquième semaine. Au bout de 7 semaines, les feuilles sont devenues noires et il n'est plus possible d'en faire l'analyse.

Les objets "jaunes" se comportent de la même façon pour les 2 variétés et terminent avec des teneurs en matière sèche de 59 % pour le 43 et 57,5% pour le A1.

Par contre, en ce qui concerne le traitement rouge, il y a un dessèchement beaucoup plus poussé chez le 43 que chez le A1 : en effet, au bout de 8 semaines il y a 57,5 % de M.S. dans les feuilles du 43 et seulement 49 % dans les feuilles du A1. Alors qu'au début de l'expérience il y avait 62 g d'eau pour 100 g de feuilles fraîches dans les 2 variétés, il n'y en a plus

maintenant que 37,5 g (soit - 40 %) pour le 43 et encore 51 g (soit - 17,7 %) pour le A1.

Une très faible quantité d'eau peut donc permettre au A1 de subsister alors qu'il n'en est pas de même pour le 43.

2 - TENEUR EN CENDRES -

Les variations des teneurs en cendres par rapport à la matière sèche sont très faibles et sont du même ordre pour tous les objets quelque soit la quantité d'eau apportée. Il en résulte une augmentation des cendres par rapport au poids frais, d'autant plus forte que l'assèchement a été plus poussé et plus élevé chez le 43 que chez le A1 qui se déshydrate moins.

3 - TENEURS EN ELEMENTS MINERAUX -

Les caféiers ayant subi pendant trois ans des traitements différents, les teneurs en différents éléments ne sont ^{pas} les mêmes pour chacun des objets considérés. Il nous faudra donc considérer les variations relatives par rapport à la valeur de départ et non les valeurs absolues des différentes teneurs.

3.1 - Azote (tableau 3) :

Dans le témoin, le taux d'azote par rapport à la matière sèche, passe de 2,305 à 2,623 soit une augmentation de 13,8 % ; pour les caféiers 43, l'augmentation est nulle pour l'objet "vert", tandis qu'elle atteint 11,4 % pour le "jaune" et 4,0 % pour le "rouge".

Si l'on considère maintenant le A1, l'on note que les teneurs en azote sont supérieures à celles du 43 ; entre le début et la fin de l'essai il n'y a pas de différence pour les teneurs de l'objet vert ; au contraire, celles de l'objet jaune et de l'objet rouge sont en augmentation de 4,3 %.

Si l'on se réfère au pourcentage d'azote par rapport à la matière fraîche, l'on note alors une augmentation beaucoup plus forte qui atteint même 67 % pour le "43 jaune". Le taux est alors plus élevé dans les objets soumis au dessèchement que dans le témoin.

3.2 - Phosphore (tableau 3)

Il se produit d'une façon générale un abaissement de la teneur en phosphore par rapport à la matière sèche. Mais, à l'exception du témoin, il y a au contraire augmentation des teneurs en phosphore par rapport à la matière fraîche ; cette augmentation est assez variable pour le A1, mais elle est d'autant plus accentuée pour le 43 que l'assèchement a été plus poussé. Enfin, les teneurs en P du A1 sont nettement plus faibles que celles du 43.

3.3 - Potassium (tableau 4)

Les teneurs en potassium exprimées en % de M.S. ont toutes baissé durant la période considérée, moins cependant pour les arbres ayant été soumis à l'assèchement le plus prolongé. D'autre part, de même que pour l'azote, le A1 a des teneurs en potassium plus élevées que le 43, alors que c'était le contraire pour le phosphore.

Si l'on se rapporte à la matière fraîche, il y a augmentation des teneurs en potassium pour les arbres ayant subi l'assèchement le plus poussé et diminution pour les autres.

3.4 - Calcium (tableau 4)

Il y a une baisse générale des teneurs en calcium par rapport à la matière sèche. Elle est irrégulière pour le 43, mais au contraire, pour le A1 qui a des teneurs en Ca plus faibles que celles du 43, l'abaissement des taux de Ca est d'autant plus fort que le dessèchement a été plus accentué.

Dans le témoin, les teneurs en Ca par rapport à la matière fraîche sont plus faibles à la fin qu'au début de l'essai ; c'est le contraire pour les autres objets, à l'exception toutefois du "A1 vert".

3.5 - Magnésium (tableau 4)

L'on note une très légère baisse des teneurs en magnésium du témoin, tant par rapport à la matière sèche que par rapport à la matière fraîche.

Les objets "verts" montrent une diminution des taux de magnésium par rapport à la matière sèche, mais une augmentation si on les considère par rapport à la matière fraîche. Quant aux objets "jaunes" et "rouges" ils présentent une augmentation des teneurs en magnésium par rapport à la matière sèche et également par rapport à la matière fraîche.

Il n'y a pas de différence marquée entre les teneurs des 43 et celles des A1.

3.6 - Fer (tableau 5)

On trouve une élévation générale des teneurs en fer tant par rapport à la matière sèche que par rapport à la matière fraîche. Cependant, cette augmentation n'est pas régulière ; elle se manifeste surtout durant les quatrième et cinquième semaine. De plus elle est :

- plus faible pour le témoin que pour les autres objets
- plus élevée pour le A1 que pour le 43 ; pour le A1, les teneurs en fer sont d'autant plus élevées que le caféier a davantage souffert de la sécheresse.

3.7 - Manganèse (tableau 5)

Au contraire du fer, les teneurs en manganèse exprimées par rapport à la matière sèche montrent une baisse à la fin de l'essai. Pour le 43, cette baisse est plus faible pour le témoin ; de plus, elle est plus faible pour le A1 que pour le 43, alors que le A1 avait au départ des teneurs en manganèse nettement plus élevées.

Par rapport à la matière fraîche, il y a augmentation des teneurs en manganèse après la période d'assèchement, sauf pour le témoin.

3.8 - Zinc (tableau 5)

Les teneurs en zinc exprimées par rapport à la matière sèche montrent une forte diminution pour les objets ayant subi les dessèchements les plus forts (objets "vert" et "jaune"). Au contraire, pendant le même temps, la teneur en zinc du témoin s'est accrue de 34,5 %.

Par rapport à la matière fraîche, l'on note généralement une augmentation des teneurs en zinc ; pour le A1, celle-ci est d'autant plus forte que l'assèchement a été moins poussé.

3.9 - Cuivre (tableau 6)

Tous les objets montrent une diminution des teneurs en cuivre, que ce soit par rapport à la matière sèche ou par rapport à la matière fraîche. Par rapport à la matière sèche, cette diminution est la plus forte pour les caféiers ayant le plus souffert de la sécheresse.

Dans l'ensemble, le A1 est moins riche en cuivre que le 43.

3.10 - Bore (tableau 6)

Toutes les teneurs en bore exprimées par rapport à la matière sèche ont baissé durant la période considérée ; cette diminution est assez irrégulière et il n'est pas possible de préciser l'influence de l'intensité de la sécheresse.

Par contre, par rapport à la matière fraîche, on note un enrichissement en bore pour les objets ayant subi les dessèchements les plus forts et une perte en bore pour les autres.

Comme pour le cuivre, les teneurs en bore du A1 sont plus faibles que celles du 43.

.../.

3.11 - Molybdène (tableau 6)

Les variations des teneurs en molybdène sont très irrégulières et il n'est pas possible de les rattacher à la plus ou moins forte sécheresse à laquelle ont été soumis les caféiers.

Par contre, on peut constater que le A1 est moins riche en molybdène que le 43.

4 - CONCLUSION -

En résumé, on constate donc au cours de la période considérée :

- 1) Un appauvrissement relatif des teneurs en azote et en phosphore par rapport au témoin.
- 2) Une baisse générale des teneurs en potassium, mais celle-ci est moins forte pour les objets ayant subi les assèchements les plus prolongés.
- 3) Une baisse générale des teneurs en calcium, irrégulière pour le 43, mais d'autant plus forte pour le A1 que l'assèchement a été plus prolongé.
- 4) Des variations faibles et irrégulières des teneurs en magnésium.
- 5) Une augmentation des teneurs en fer, plus faible pour le témoin que pour les autres objets et plus faible pour le 43 que pour le A1.
- 6) Une baisse des teneurs en manganèse, générale mais irrégulière, plus faible cependant pour le A1 que pour le 43.
- 7) Une diminution par rapport au témoin des teneurs en cuivre et zinc des objets ayant été soumis à l'assèchement, d'autant plus forte que celui-ci a été plus accentué.
- 8) Une baisse générale des teneurs en bore sans que celle-ci semble être en rapport avec l'assèchement du sol.
- 9) Des variations irrégulières dans les deux sens des teneurs en molybdène.

.../.

III - BILAN MINERAL DES CAFEIERS

Après arrachage, les arbres ont été divisés en feuilles, branches, tronc correspondant au 4 premiers axes, pivot et racines. L'on a déterminé le poids frais et le poids sec de chacune de ces parties ; cependant, le poids frais des racines et du pivot qui avaient été lavés en jet pour les séparer de la terre n'a pu être mesuré. Un échantillon moyen a été ensuite réalisé sur lequel on a pratiqué les mêmes analyses que sur les feuilles prélevées pendant la période d'assèchement.

1 - TENEUR EN EAU -

Les teneurs en matière sèche des parties aériennes des différents objets sont données dans le tableau 7.

Dans le témoin, la teneur en eau augmente lorsque l'on passe successivement du tronc aux branches puis aux feuilles. C'est le contraire qui se produit avec les arbres ayant souffert de la sécheresse ; seul l'objet rouge du A1 présente encore le gradient d'humidité normal. L'on retrouve là le caractère de meilleure résistance à la sécheresse du A1 qui peut se contenter d'une faible quantité d'eau pendant une période assez longue.

2 - POIDS SEC -

Le tableau 8 indique les poids secs en grammes des différentes parties de l'arbre ainsi que le pourcentage qu'ils représentent par rapport au poids sec total.

Le témoin, qui n'a jamais été soumis à l'assèchement montre un développement supérieur aux autres objets, tant pour les parties aériennes que pour les parties souterraines.

Les poids des pivots sont les mêmes dans les deux variétés ; par contre, le 43 a presque deux fois plus de racines que le A1 ; le poids des troncs du 43 est également supérieur à celui du A1.

Le poids de feuilles restant sur l'arbre est en proportion inverse de la durée de l'assèchement auquel le caféier a été soumis. Là encore, le 43 a un poids de feuilles supérieur à celui du A1, sauf pour l'objet rouge où la faible quantité d'eau apportée a permis au A1 de garder une certaine proportion de feuilles, ce qui n'est pas le cas pour le 43.

Si l'on considère maintenant le pourcentage que représente chacun des organes par rapport au poids total, on constate qu'en ce qui concerne

- le pivot, il est plus élevé chez le A1 que chez le 43,
- les racines, il est au contraire plus important chez le 43,
- les troncs et les branches, il y a peu de différence entre les 2 variétés,
- les feuilles, il diminue avec l'importance du degré d'assèchement, mais moins vite au début pour le A1 que pour le 43.

.../.

3 - TENEURS EN ELEMENTS MINERAUX -

Nous considérons pour chaque élément dosé la teneur de chaque partie de l'arbre exprimée en % du poids sec et la quantité immobilisée exprimée en grammes.

3.1 - Azote (tableau 9)

Les teneurs en azote vont en diminuant lorsque l'on passe des racines au pivot et au tronc et augmentent ensuite dans les branches et les feuilles. Dans toutes les parties de l'arbre, le A1 est plus riche en azote que le 43. La différence est sensible entre les arbres ayant souffert de la sécheresse et ceux constamment irrigués : environ 40 g d'azote fixé pour les premiers et 70 g pour les autres. Cette différence est due surtout aux différences de poids entre les divers organes, plus qu'à une différence dans les taux d'azote.

3.2 - Phosphore (tableau 10)

Le gradient des teneurs en phosphore dans les différentes parties de l'arbre est le même que celui de l'azote. Par contre, le 43 est ici plus riche que le A1.

La différence entre les quantités de phosphore fixée selon que l'arbre a souffert de la sécheresse ou non est également importante : environ 7 g de phosphore pour les arbres bien arrosés et 4,5 g pour les autres. L'augmentation de la quantité de phosphore provient et d'une augmentation de poids des différents organes et d'une élévation sensible de la teneur des feuilles en phosphore.

3.3 - Potassium (tableau 11)

Les teneurs en potassium dans les différentes parties de l'arbre évoluent dans le même sens que celles en azote et phosphore. Mais alors que les branches ne renferment environ qu'une fois et demi plus d'azote et deux fois plus de phosphore que le tronc, la proportion est de 3 contre 1 en ce qui concerne le potassium.

Les teneurs en potassium sont du même ordre chez le A1 et chez le 43 en ce qui concerne les parties ligneuses, mais dans les feuilles il y a davantage de potassium chez le A1.

L'augmentation de la quantité de potassium fixée chez les arbres bien alimentés en eau provient surtout de l'augmentation de poids des différents organes et non d'une élévation du taux de potassium.

3.4 - Calcium (tableau 12)

Les teneurs minimum en calcium se trouvent dans le pivot et augmentent ensuite lorsque l'on passe d'une part aux racines et d'autre part au tronc puis branches et feuilles.

Les teneurs en calcium des racines, pivot et tronc sont du même ordre dans les 2 variétés considérées mais en ce qui concerne les branches, les teneurs sont plus élevées pour le A1 alors que c'est le contraire pour les feuilles.

Là encore, les quantités fixées sont beaucoup plus fortes chez les arbres bien alimentés en eau (environ le double de celles des autres) ; ces valeurs plus élevées sont également dues à une augmentation de poids de l'arbre et non à une élévation des teneurs en calcium.

3.5 - Magnésium (tableau 13)

La répartition du magnésium dans l'arbre est la même que celle du calcium.

Les quantités de magnésium fixées sont les mêmes dans les deux variétés ; elles sont plus fortes (13 g au lieu de 6,5 g) lorsque l'arbre n'a pas souffert de la sécheresse, du fait de l'augmentation de poids des différents organes.

3.6 - Oligoéléments (tableaux 14 à 19)

Les teneurs minimum en fer se trouvent dans le tronc ; elles augmentent d'une part vers le pivot et les racines et d'autre part vers les branches et les feuilles. Il y a peu de différence entre les 2 variétés et le régime hydrique auquel est soumis l'arbre ne semble pas avoir d'influence.

En ce qui concerne le manganèse, les teneurs vont en décroissant des racines au pivot puis augmentent en passant au tronc, aux branches et aux feuilles. Le A1 est plus riche en manganèse que le 43.

Les arbres bien alimentés en eau semblent avoir des teneurs en manganèse supérieures à celles des autres dans le pivot, le tronc et les branches.

Les teneurs en zinc vont en décroissant des racines au pivot et au tronc où elles atteignent leur minimum absolu puis augmentent dans les branches et diminuent à nouveau dans les feuilles. Elles sont du même ordre dans les deux variétés et ne semblent pas être sous la dépendance du régime hydrique.

Le cuivre semble assez uniformément réparti dans tout l'arbre ; comme pour le zinc, les teneurs en cuivre dans les deux variétés sont les mêmes ; elles ne semblent pas non plus influencées par le régime hydrique.

Pour le bore, les teneurs sont faibles dans les racines, le pivot et le tronc ; elles sont sensiblement deux fois plus fortes dans les branches et trois fois plus fortes dans les feuilles. Il n'y a pas de différence entre les deux variétés, mais elles sont plus élevées, surtout dans les feuilles, dans les arbres n'ayant pas souffert de la sécheresse.

La répartition du molybdène est très inégale dans les deux variétés. Les teneurs dans les différents organes ne semblent pas en relation avec le régime hydrique auquel a été soumis l'arbre.

4 - CONCLUSION -

Les caféiers bien alimentés en eau possèdent une réserve d'éléments minéraux généralement supérieure à celle des arbres ayant souffert de la sécheresse. Cela est dû principalement au fait que les arbres se sont mieux développés et que le poids sec des différents organes est plus élevé ; par contre, le taux des éléments minéraux ne varie pas sensiblement sauf pour le phosphore, le manganèse et le bore où il augmente quand l'arbre est bien alimenté en eau.

D'autre part, dans les caféières bien conduites, la quantité d'éléments minéraux stockée par les caféiers est profondément modifiée par la taille. En effet, le système de taille actuellement préconisé consiste à conduire le caféier avec quatre tiges et à procéder à un recépage tous les quatre ans en gardant un tire-sève.

Il en résulte que tous les quatre ans on supprime après la récolte les trois quarts des parties aériennes ; la quatrième branche, gardée comme tire-sève, est coupée après la récolte suivante.

En se basant sur les chiffres fournis par l'objet bleu, l'on constate que l'on retire alors de la plantation environ :

45 g d'azote par arbre,
4,5 g de phosphore,
24 g de potassium
39 g de calcium,
9 g de magnésium.

D'autre part, l'ablation du tire-sève entraîne l'année suivante une perte de 15 g d'azote, 1,5 g de phosphore, 8 g de potassium et 3 g de magnésium.

Au moment du recépage, les tiges sont dans leur troisième année de production et l'on peut compter avoir dans une plantation bien entretenue une récolte de l'ordre d'un kilo de café marchand par arbre. Les quantités d'éléments minéraux par kilo de café sont de l'ordre de :

35 g d'azote
3 g de phosphore
32 g de potassium
3,5 g de calcium
4 g de magnésium.

A l'exception du potassium, les exportations d'éléments minéraux imputables à la récolte sont donc inférieures à celles provenant du recépage. La différence est particulièrement sensible pour le calcium où la taille produit une perte de calcium dix fois plus forte que celle causée par la récolte.

Les besoins en calcium seront certes étalés dans le temps au fur et à mesure du développement de l'arbre, mais un des rôles du calcium étant de donner de la résistance aux tissus végétaux, il sera donc important que le caféier n'en manque pas au moment où il devra reconstituer ses branches charpentières après le recépage. Il pourra donc être utile pour les caféières implantées sur des sols pauvres en calcium de veiller à apporter cet élément lors de l'épandage des engrais qui suit le recépage ; il faut noter à ce sujet que la majeure partie des engrais complexes renferme du calcium qui y est généralement introduit sous forme de phosphate.

Tableau 1

Quantités d'eau apportée en litres par arbre

Jour	Mai				Juin				Juil.
	Bleu	Rouge	Jaune	Vert	Bleu	Rouge	Jaune	Vert	
1					20	2	1	0.5	
2	12	12	12	12	30	4	2	1	
3	20	20	20	20					20
4									20
5	40	40	40	40	20	2	1	0.5	20
6					20	2	1	0.5	20
7					20	2	1	0.5	20
8	20	20	20	20	20	2	1	0.5	20
9	20	20	20	20	20	2	1	0.5	
10	20	20	20	20					20
11	20	20	20	20					20
12					20	1	0.5		20
13					20	1	0.5		20
14					20	1	0.5		20
15					20	1	0.5		
16	12	2	1	0.5	20	1	0.5		
17	12	2	1	0.5					20
18	12	2	1	0.5					
19	20	4	2	1	20	1	0.5		
20					20	1	0.5		
21					20	1	0.5		
22	12	2	1	0.5	20	1	0.5		
23	12	2	1	0.5	20	0.5			
24	12	2	1	0.5					
25	12	2	1	0.5					
26	30	4	2	1	20	0.5			
27					20	0.5			
28					20	0.5			
29	20	2	1	0.5	20	0.5			
30	20	2	1	0.5	20				
31	20	2	1	0.5					

Tableau 2
Humidité du sol

Variété	Objet	Profond.	12/5	19/5	26/5	2/6	9/6	16/6	23/6	30/6	7/7	17/7
43	Vert	20 cm	14.1	9.4	7/9	7/7	7.3	6.7	6.7	5.9	5.9	5.7
		40 cm	13.5	10.2	9.0	8.8	8.6	7.9	7.3	7.1	7.1	7.3
	Jaune	20 cm	14.1	9.0	7.7	7.3	6.9	6.7	6.5	6.3	5.7	5.3
		40 cm	15.0	9.8	8.8	8.8	8.4	7.7	7.5	7.5	7.5	7.1
	Rouge	20 cm	14.7	10.6	8.6	8.1	7.9	7.7	6.1	6.7	6.5	5.7
		40 cm	15.0	11.2	9.6	8.8	9.2	8.1	8.1	8.1	7.9	7.5
	Bleu	20 cm	16.4	15.4	15.4	17.0	17.0	17.4	17.0	16.8	18.3	17.2
		40 cm	16.4	14.5	14.3	17.0	17.0	17.4	17.2	16.8	18.3	18.3
A1	Vert	20 cm	13.3	9.2	7.1	7.1	7.1	6.5	6.1	5.7	5.5	5.3
		40 cm	14.5	10.0	8.8	8.4	8.4	7.9	7.3	7.3	7.1	7.1
	Jaune	20 cm	12.9	8.6	7.3	6.9	6.5	6.5	5.7	5.3	5.1	4.6
		40 cm	16.0	11.2	9.8	9.2	9.0	8.6	8.4	7.9	7.9	7.3
	Rouge	20 cm	12.7	7.9	7.9	8.4	7.3	7.3	6.7	6.7	6.7	6.1
		40 cm	13.7	9.6	9.0	9.4	9.0	9.0	8.4	8.4	8.4	8.1

Tableau 3

		N					P				
		% M.S			% M.F		% M.S			% M.F	
		12/5	7/7	Δ %	12/5	7/7	12/5	7/7	Δ %	12/5	7/7
43	V	2,072	2,086	+ 0,7	0,782	1,388	0,129	0,113	-10,1	0,049	0,075
	J	1,960	2,184	+11,4	0,771	1,291	0,143	0,119	-16,8	0,053	0,070
	R	2,091	2,175	+ 4,0	0,802	1,245	0,128	0,099	-22,6	0,049	0,057
	B	2,305	2,623	+13,8	0,886	0,998	0,170	0,157	- 7,6	0,065	0,060
A1	V	2,128	2,184	+ 2,6	0,854	1,347	0,090	0,074	-17,8	0,036	0,046
	J	2,259	2,352	+ 4,1	0,888	1,357	0,123	0,087	-29,3	0,048	0,050
	R	2,389	2,492	+ 4,3	0,910	1,228	0,090	0,090	0	0,034	0,044

$\Delta \% = 100$

$$\frac{\text{Teneur au 12/5} - \text{Teneur au 7/7}}{\text{Teneur au 12/5}}$$

Tableau 4

		K					Ca					Mg				
		% M.S			% M.F		% M.S			% M.F		% M.S			% M.F	
		12/5	7/7	Δ %	12/5	7/7	12/5	7/7	Δ %	12/5	7/7	12/5	7/7	Δ %	12/5	7/7
43	V	1.46	1.15	-21.2	0.55	0.77	1.57	1.21	-22.9	0.59	0.81	0.31	0.40	- 6.5	0.12	0.15
	J	1.63	1.19	-27.0	0.61	0.70	1.51	1.27	-15.9	0.56	0.75	0.33	0.29	+ 9.1	0.12	0.19
	R	1.38	0.82	-40.6	0.53	0.47	1.66	1.24	-25.3	0.64	0.71	0.31	0.36	+ 3.2	0.12	0.21
	B	1.64	1.15	-29.9	0.63	0.44	1.60	1.14	-28.0	0.62	0.43	0.41	0.40	- 2.4	0.15	0.15
A1	V	1.49	1.12	-24.8	0.60	0.69	1.59	0.92	-38.4	0.64	0.57	0.32	0.30	- 6.3	0.13	0.19
	J	2.03	1.35	-33.5	0.80	0.78	1.16	0.96	-17.2	0.46	0.55	0.27	0.30	+11.1	0.11	0.17
	R	1.87	1.23	-34.2	0.71	0.61	1.36	1.20	-11.8	0.52	0.59	0.36	0.38	+ 5.6	0.14	0.19

Tableau 5

		Fe					Mn					Zn				
		ppm / M.S			ppm / M.F		ppm / M.S			ppm / M.F		ppm / M.S			ppm / M.F	
		12/5	7/7	Δ %	12/5	7/7	12/5	7/7	Δ %	12/5	7/7	12/5	7/7	Δ %	12/5	7/7
43	V	182	308	+23.1	69	205	519	406	-21.8	196	270	21	15	-28.6	8	10
	J	209	280	+69.2	78	167	300	200	-33.3	109	118	27	14	-48.1	10	8
	R	202	326	+34.0	77	187	383	298	-48.3	147	171	26	21	-19.2	10	12
	B	160	197	+23.1	62	75	304	246	-19.1	117	94	29	39	+34.5	11	15
A1	V	192	365	+90.1	77	225	716	625	-12.7	287	386	20	15	-25.0	8	9
	J	145	301	+107.5	57	174	439	319	-27.3	173	184	20	18	-10.0	8	10
	R	172	285	+65.7	65	140	424	413	-2.6	161	204	23	24	+ 4.3	9	12

Tableau 6

		Cu					B					Mo				
		ppm/M.S			ppm/M.F		ppm/M.S			ppm/M.F		ppm/M.S			ppm/M.F	
		12/5	7/7	Δ %	12/5	7/7	12/5	7/7	Δ %	12/5	7/7	12/5	7/7	Δ %	12/5	7/7
43	V	21.7	9.0	- 58.5	8.2	6.0	40	25	- 37.5	15	17	0.71	0.93	+ 31.0	0.27	0.62
	J	20.5	8.3	- 59.5	7.6	4.9	44	31	- 29.5	16	18	0.83	2.25	+171.1	0.31	1.33
	R	16.2	8.5	- 47.5	6.2	4.9	44	29	- 34.0	17	17	0.18	0.63	- 46.6	0.45	0.36
	B	21.5	15.3	- 28.8	8.3	5.8	50	36	- 28.0	19	14	0.79	2.00	+153.2	0.30	0.76
A1	V	14.2	6.0	- 57.7	5.7	3.7	37	24	- 35.1	15	16	0.49	0.25	- 49.0	0.20	0.15
	J	11.0	6.5	- 40.9	4.3	3.8	36	28	- 22.2	14	16	0.44	0.75	+ 70.5	0.17	0.43
	R	15.5	12.0	- 22.6	5.9	5.9	54	28	- 48.1	21	14	0.45	0.62	+ 37.8	0.17	0.31

Tableau 7

		Teneur en M.S		
		Feuilles	Branches	Tronc
43	V	72.5	65.8	62.7
	J	68.6	62.1	61.8
	R	63.8	60.6	60.6
	B	36.5	44.5	55.9
A1	V	72.5	70.6	62.8
	J	71.2	62.8	61.2
	R	52.9	60.4	63.9

Tableau 8

		Poids sec						% poids total				
		Racines	Pivot	Tronc	Branches	Feuilles	Total	Racines	Pivot	Tronc	Branches	Feuilles
43	V	1240	435	4030	790	135	6630	19.0	6.7	60.5	11.8	2.0
	J	1245	405	3620	855	195	6320	19.9	6.4	57.0	13.6	3.1
	R	1070	395	3515	565	215	5760	18.8	6.9	60.8	9.7	3.8
	B	1535	540	5715	1230	935	9955	16.4	5.4	56.8	12.3	9.1
A1	V	685	415	3310	655	85	5150	13.4	8.0	64.2	12.8	1.6
	J	585	435	2900	595	135	4650	11.6	9.3	63.9	12.1	3.1
	R	835	530	3095	1105	450	6015	13.5	9.3	52.1	18.4	6.7

Tableau 9

		N % poids sec					N fixé					
		Racines	Pivot	Tronc	Branches	Feuilles	Racines	Pivot	Tronc	Branches	Feuilles	Total
43	V	0.793	0.644	0.579	0.859	2.258	9.83	2.80	23.33	6.79	3.05	45.80
	J	0.737	0.756	0.476	0.803	2.240	9.18	3.06	17.23	6.87	4.37	40.71
	R	0.719	0.588	0.483	0.868	2.259	7.69	2.32	16.98	4.90	4.86	36.75
	B	0.691	0.644	0.457	0.765	2.305	10.60	3.48	26.12	9.41	21.55	71.16
A1	V	0.971	0.775	0.625	1.017	2.329	6.65	3.22	20.69	6.66	1.98	39.20
	J	0.933	0.793	0.728	1.017	2.436	5.46	3.45	21.11	6.05	3.29	39.36
	R	0.961	0.849	0.588	0.971	2.548	8.02	4.50	18.20	10.73	11.47	52.92

Tableau 10

		P % poids sec					P fixé					
		Racines	Pivot	Tronc	Branches	Feuilles	Racines	Pivot	Tronc	Branches	Feuilles	Total
43	V	0.101	0.064	0.049	0.102	0.143	1.25	0.28	1.97	0.81	0.19	4.50
	J	0.120	0.078	0.061	0.114	0.159	1.49	0.32	2.21	0.97	0.31	5.30
	R	0.104	0.070	0.052	0.114	0.119	1.11	0.28	1.83	0.64	0.26	4.12
	B	0.66	0.074	0.052	0.110	0.168	1.01	0.40	2.97	1.35	1.57	7.30
A1	V	0.079	0.067	0.045	0.087	0.126	0.54	0.28	1.49	0.57	0.11	2.99
	J	0.085	0.068	0.058	0.101	0.115	0.50	0.30	1.68	0.60	0.16	3.24
	R	0.057	0.063	0.041	0.071	0.096	0.48	0.33	1.27	0.78	0.43	3.29

Tableau 11

		K % poids sec					K fixé					
		Racines	Pivot	Tronc	Branches	Feuilles	Racines	Pivot	Tronc	Branches	Feuilles	Total
43	V	0.34	0.29	0.20	0.68	1.30	4.22	1.26	8.06	5.37	1.76	20.67
	J	0.31	0.32	0.21	0.77	1.38	3.86	1.30	7.60	6.58	2.69	22.03
	R	0.32	0.24	0.21	0.82	1.07	3.42	0.95	7.38	4.63	2.30	18.68
	B	0.31	0.34	0.19	0.56	1.45	4.76	1.83	10.86	6.69	13.56	37.90
A1	V	0.28	0.29	0.18	0.68	1.39	1.92	1.20	5.96	4.45	1.18	14.71
	J	0.28	0.29	0.28	0.81	1.49	1.64	1.26	8.12	4.82	2.01	17.85
	R	0.26	0.28	0.22	0.67	1.46	2.17	1.48	6.81	7.40	6.57	24.43

Tableau 12

		Ca % poids sec					Ca fixé					
		Racines	Pivot	Tronc	Branches	Feuilles	Racines	Pivot	Tronc	Branches	Feuilles	Total
43	V	0.52	0.44	0.57	0.67	0.96	6.45	1.91	22.97	5.29	1.30	37.92
	J	0.44	0.38	0.53	0.66	1.03	5.48	1.54	19.55	5.64	2.01	34.22
	R	0.52	0.46	0.54	0.72	1.02	5.56	1.82	18.98	4.07	2.19	32.62
	B	0.59	0.40	0.62	0.63	1.08	9.06	2.16	35.43	7.75	10.10	64.50
A1	V	0.48	0.46	0.50	0.86	0.86	3.29	1.91	16.55	5.63	0.73	28.11
	J	0.56	0.53	0.62	0.79	0.72	3.28	2.31	17.98	4.70	0.97	29.24
	R	0.56	0.48	0.52	0.81	0.98	4.68	2.54	16.09	8.95	4.41	36.67

Tableau 13

		Mg % poids sec					Mg fixé					
		Racines	Pivot	Tronc	Branches	Feuilles	Racines	Pivot	Tronc	Branches	Feuilles	Total
43	V	0.09	0.07	0.09	0.17	0.32	1.12	0.30	3.63	1.34	0.43	6.82
	J	0.09	0.07	0.09	0.17	0.34	1.12	0.28	3.26	1.45	0.66	6.77
	R	0.09	0.08	0.10	0.16	0.33	0.96	0.32	3.52	0.90	0.71	6.41
	B	0.09	0.09	0.11	0.18	0.32	1.38	0.49	6.29	2.21	2.99	13.36
A1	V	0.10	0.09	0.11	0.21	0.31	0.69	0.37	3.64	1.38	0.26	6.34
	J	0.09	0.08	0.12	0.21	0.30	0.53	0.35	3.48	1.25	0.41	6.02
	R	0.10	0.08	0.09	0.19	0.34	0.84	0.42	2.79	2.10	1.53	7.68

Tableau 14

		Fe ppm./M.S					Fe fixé en mg					
		Racines	Pivot	Tronc	Branches	Feuilles	Racines	Pivot	Tronc	Branches	Feuilles	Total
	V	192	97	76	90	424	238	42	306	71	57	714
	J	143	83	63	83	396	178	34	228	71	77	588
	R	160	124	82	89	557	171	49	288	50	120	678
	B	138	98	68	73	504	212	53	389	90	471	1215
	V	148	94	77	90	350	101	39	255	59	30	484
	J	177	83	93	91	395	104	36	270	54	53	517
	R	159	94	68	85	546	133	50	210	94	246	783

Tableau 15

		Mn ppm./M.S					Mn fixé en mg					
		Racines	Pivot	Tronc	Branches	Feuilles	Racines	Pivot	Tronc	Branches	Feuilles	Total
43	V	44	17	42	121	279	55	7	169	96	38	365
	J	37	16	33	79	204	46	6	119	68	40	282
	R	46	12	46	121	233	49	5	162	68	50	334
	B	36	29	87	146	233	55	16	499	180	218	968
A1	V	84	26	133	261	421	58	11	440	175	36	720
	J	50	19	91	179	242	29	8	264	107	33	441
	R	36	22	54	144	421	30	12	167	159	189	557

Tableau 16

		Zn ppm./ M.S					Zn fixé en mg					
		Racines	Pivot	Tronc	Branches	Feuilles	Racines	Pivot	Tronc	Branches	Feuilles	Total
43	V	57	25	9	37	14	71	11	36	29	2	149
	J	40	25	9	24	14	50	10	33	21	3	117
	R	43	16	12	24	14	46	6	42	14	3	111
	B	34	31	8	36	13	52	17	46	44	12	171
A1	V	43	21	9	38	13	29	9	30	25	1	94
	J	61	26	11	31	13	36	11	32	18	2	99
	R	69	24	7	36	14	58	13	22	40	6	139

Tableau 17

		Cu ppm./ M.S					Cu fixé en mg					
		Racines	Pivot	Tronc	Branches	Feuilles	Racines	Pivot	Tronc	Branches	Feuilles	Total
43	V	7	7	8	8	7	9	3	32	6	1	51
	J	8	9	7	7	10	10	4	25	6	2	47
	R	6	8	7	8	6	6	3	25	5	1	40
	B	8	10	10	12	9	12	5	57	15	8	97
A1	V	5	9	7	10	6	3	4	23	7	1	38
	J	7	8	9	6	5	4	3	26	4	1	38
	R	7	8	8	9	4	6	4	25	10	2	47

Tableau 18

		B ppm./ M.S					B fixé en mg					
		Racines	Pivot	Tronc	Branches	Feuilles	Racines	Pivot	Tronc	Branches	Feuilles	Total
43	V	8	8	6	12	21	10	3	24	9	3	49
	J	7	7	7	11	23	9	3	25	9	4	48
	R	8	6	7	13	23	9	2	25	7	5	48
	B	11	9	9	11	37	17	5	51	14	35	122
A1	V	9	7	7	14	24	6	3	23	9	2	43
	J	10	7	9	16	22	6	3	26	10	3	48
	R	10	8	6	14	24	8	4	19	15	11	57

Tableau 19

		Mo ppm./ M.S					Mo fixé en mg					
		Racines	Pivot	Tronc	Branches	Feuilles	Racines	Pivot	Tronc	Branches	Feuilles	Total
43	V	0.69	0.70	0.49	0.36	0.30	0.86	0.30	1.97	0.28	0.04	3.45
	J	0.34	0.87	0.33	0.55	0.33	0.42	0.35	1.19	0.47	0.06	2.49
	R	0.70	0.53	0.65	0.44	0.66	0.75	0.21	2.28	0.25	0.14	3.63
	B	0.56	0.63	0.90	0.44	0.31	0.86	0.34	5.14	0.54	0.29	7.17
A1	V	0.39	0.48	0.54	0.39	0.34	0.27	0.20	1.79	0.26	0.03	2.55
	J	0.57	0.56	0.65	0.65	0.39	0.33	0.24	1.89	0.39	0.05	2.90
	R	0.72	0.70	0.58	0.34	0.14	0.60	0.37	1.80	0.38	0.06	3.21

43

A1

70

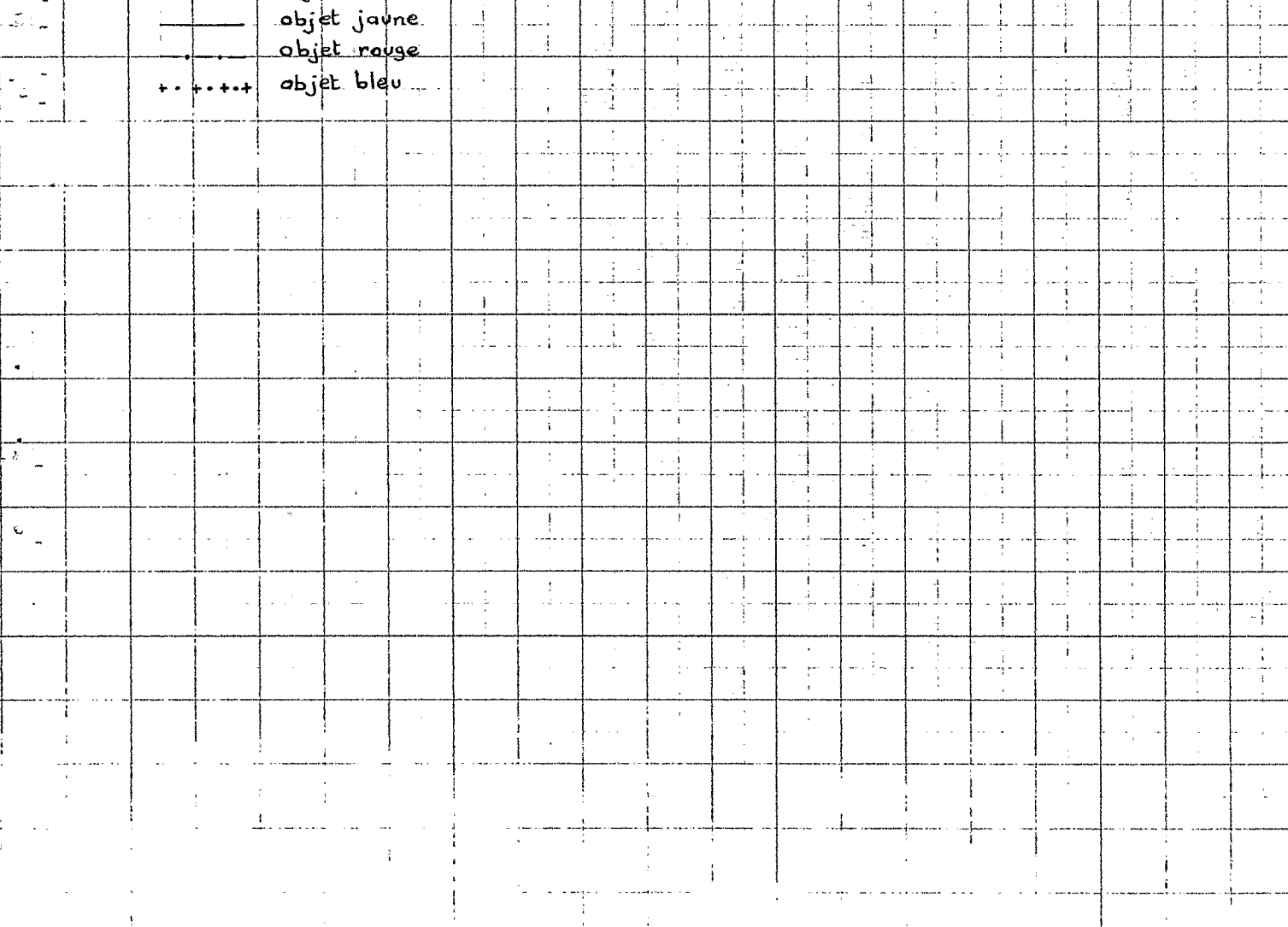
50

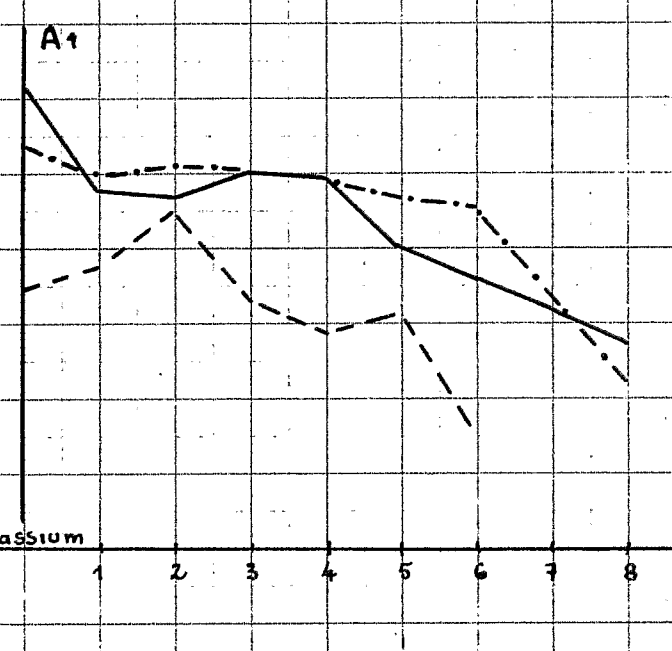
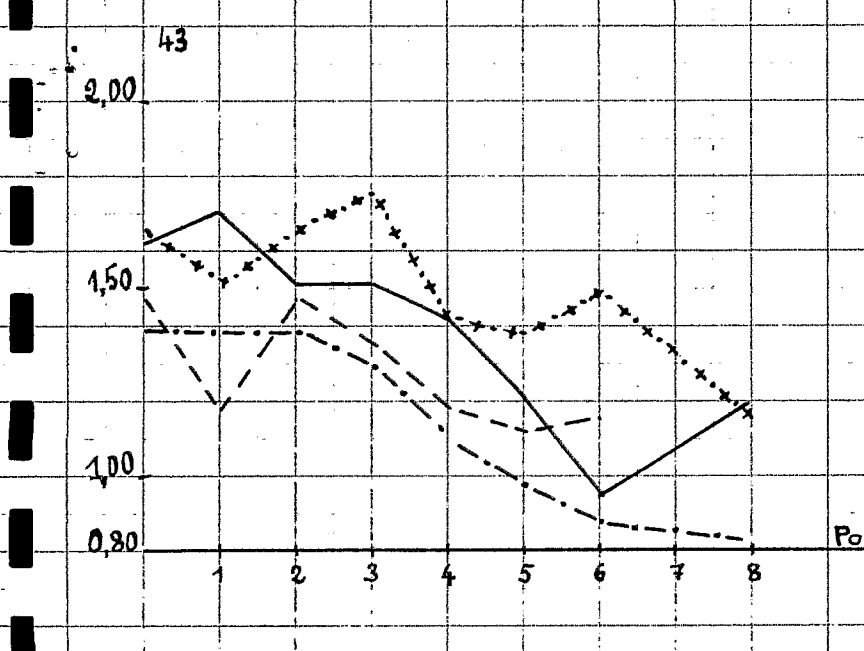
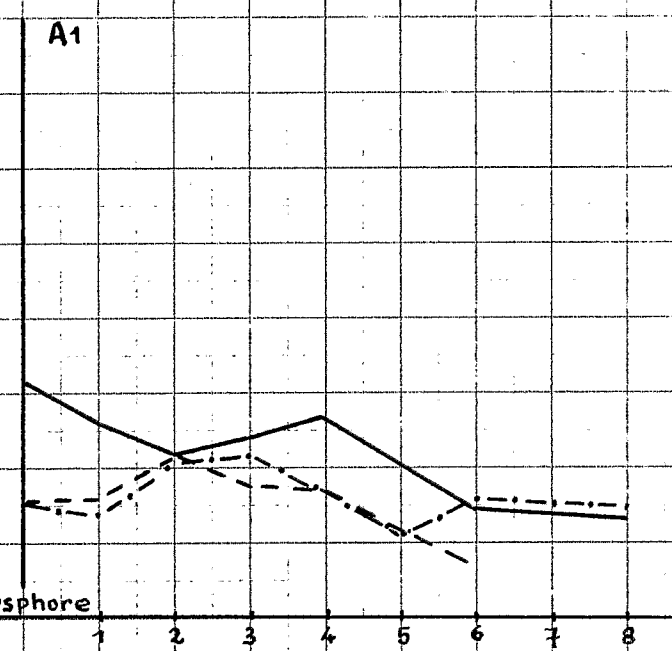
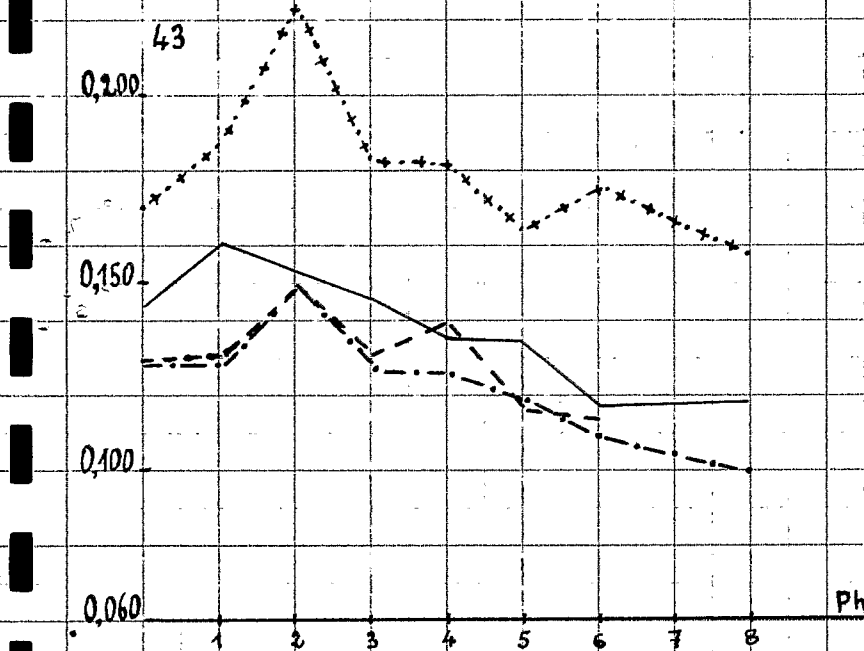
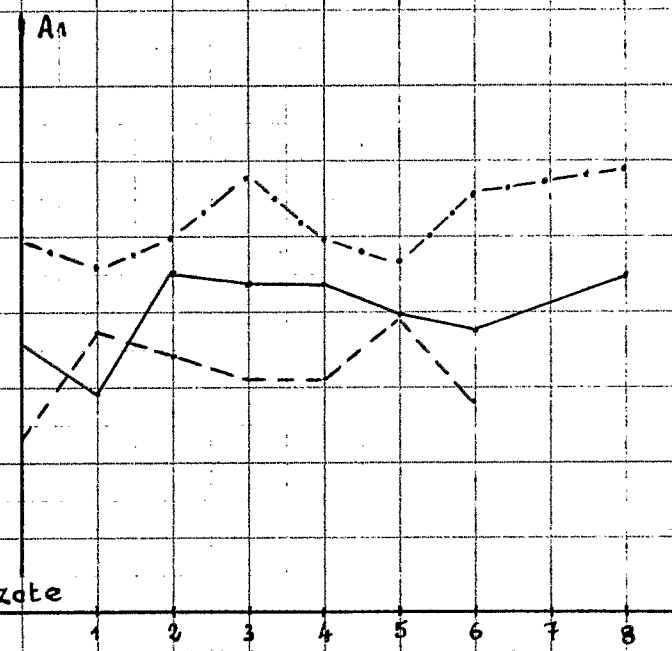
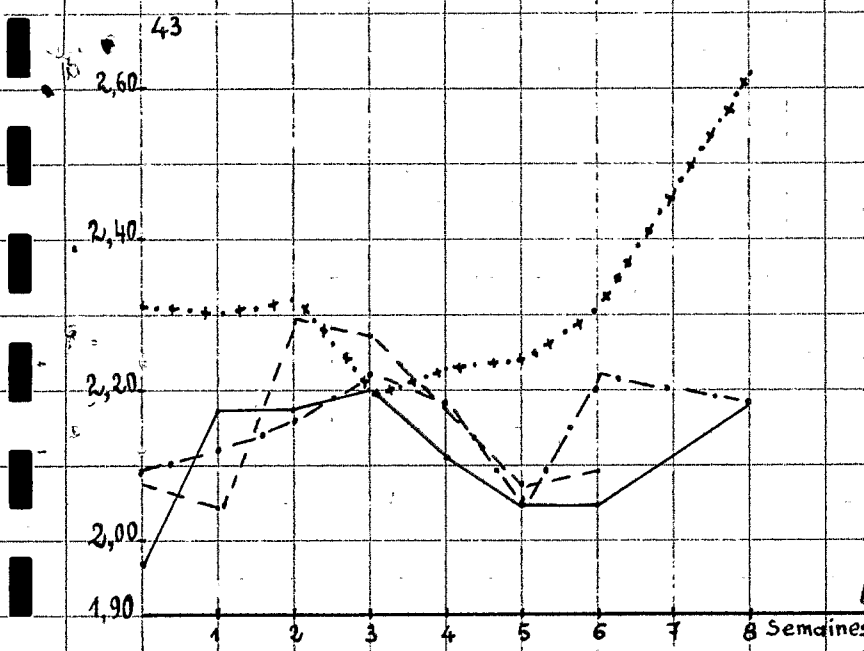
25

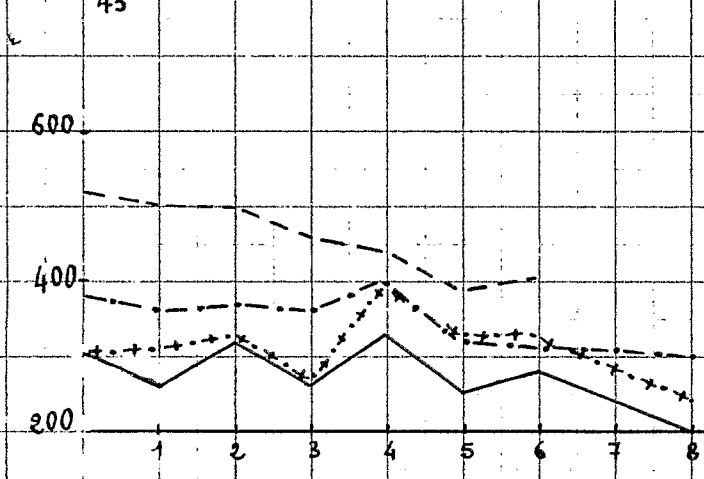
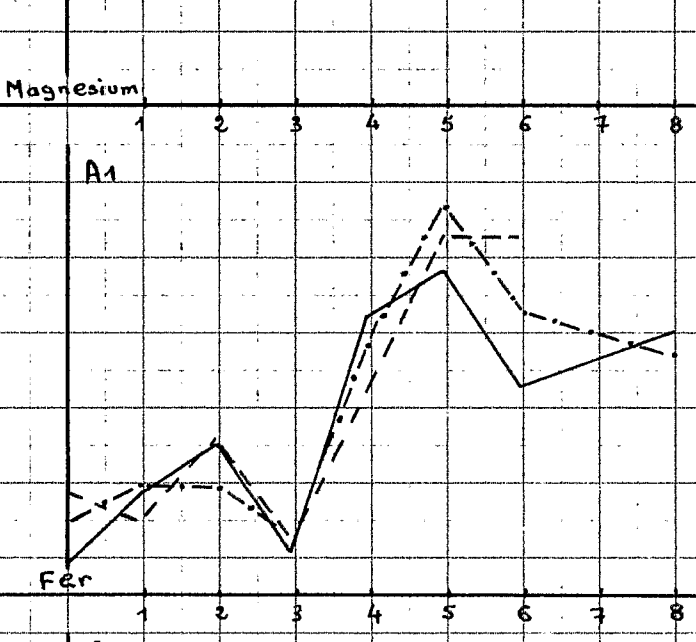
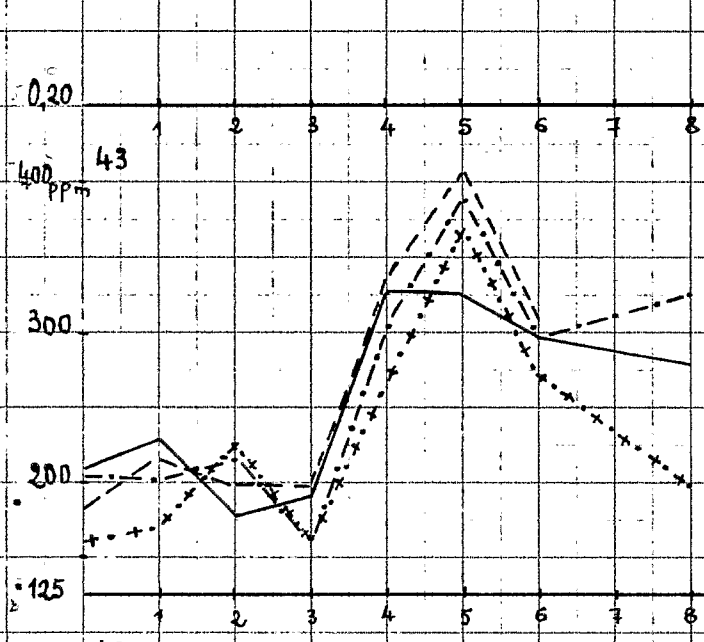
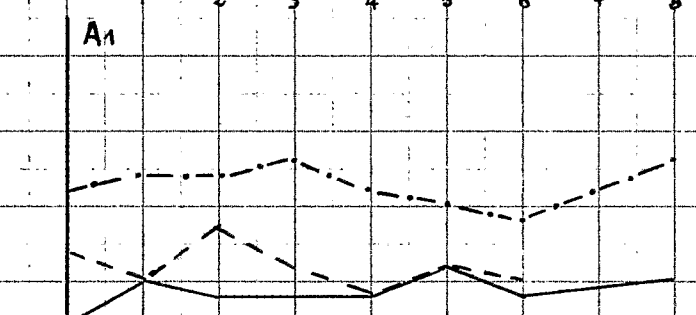
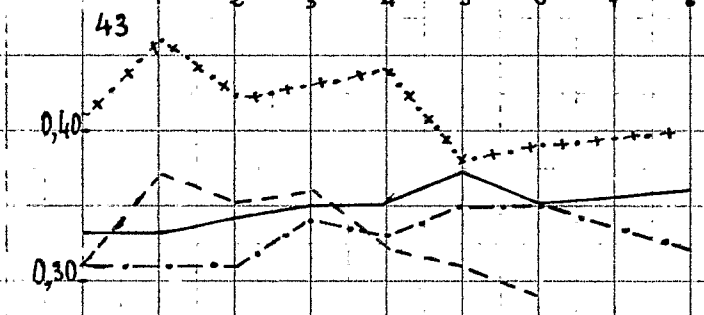
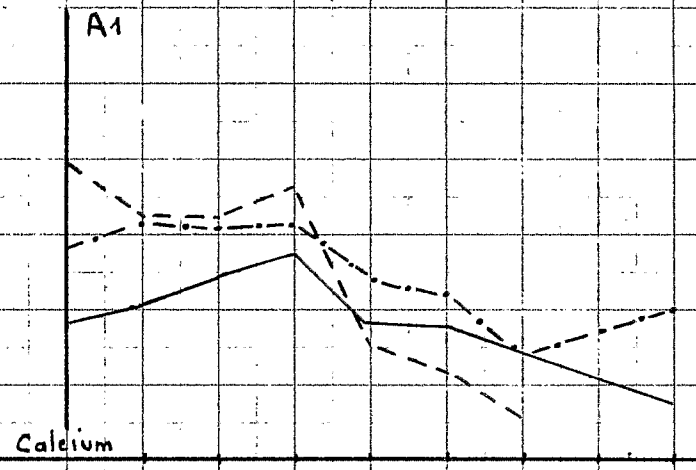
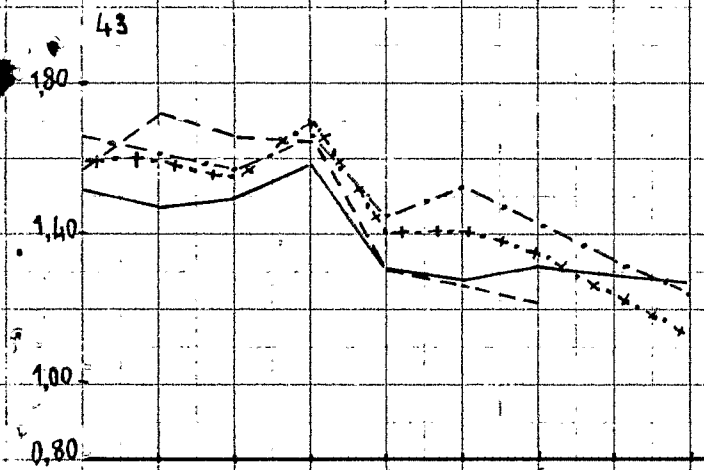
Matière sèche

Semaines

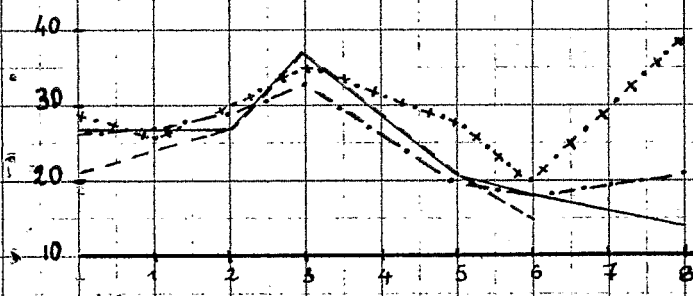
- objet vert
- objet jaune
- objet rouge
- +•••••+ objet bleu



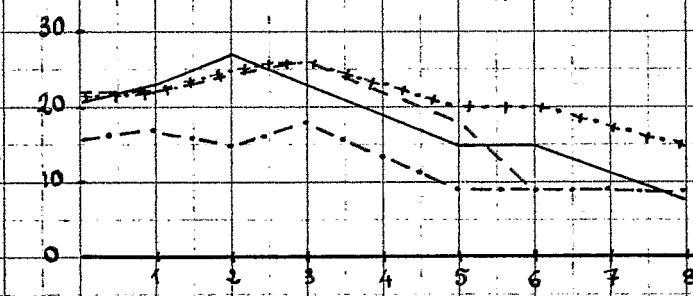




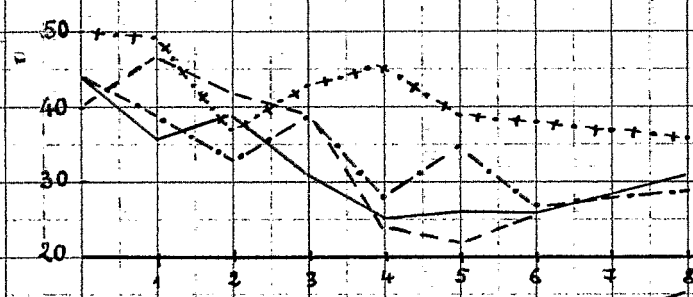
43



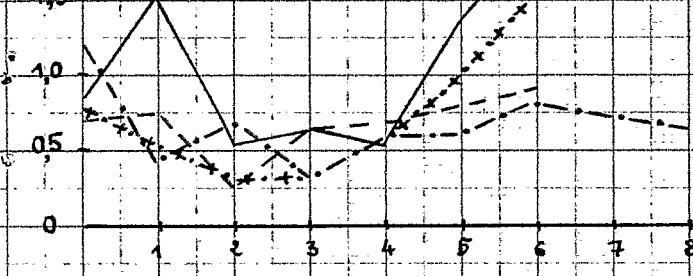
43



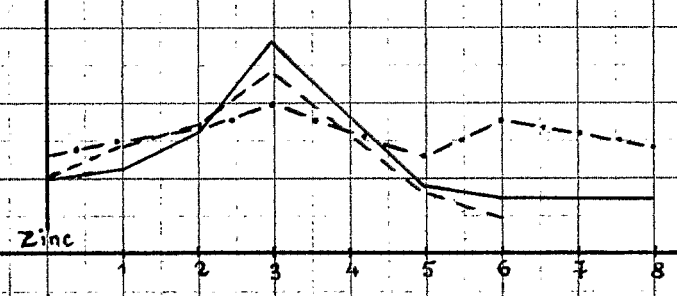
43



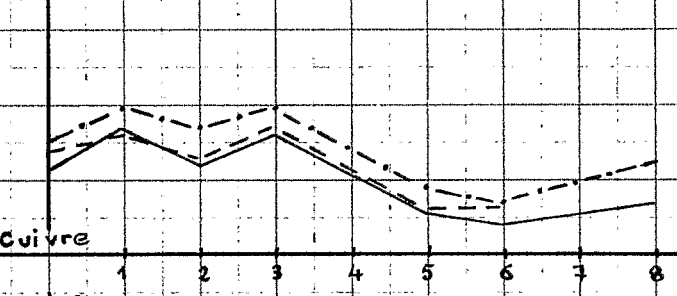
43



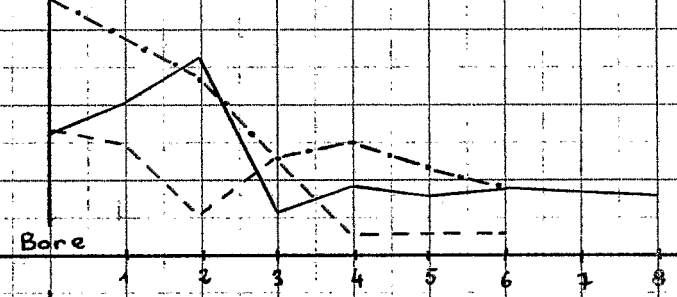
A1



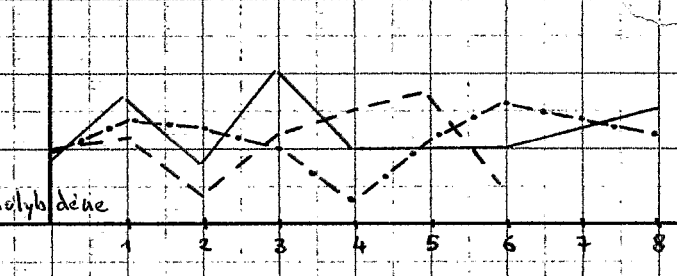
A1



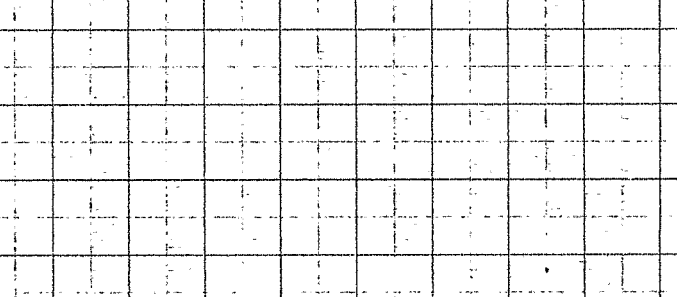
A1



A1



A1



A1

Zinc

Cuivre

Bore

Molybdene