

K83

S NEESER

Promo 65

I T P A

MEMOIRE de FIN D'ETUDES

Problèmes de matière organique en Champagne crayeuse.

Problèmes liés à la décomposition des pailles.



Professeur responsable : Mr. COCHET (FNCETA)

Patron de stage : Mr. MONNIER (INRA)

REMERCIEMENTS

J'aurai tout d'abord à remercier Messieurs HENIN, Directeur de la Station d'Agronomie, et BETREMIEUX, Directeur du laboratoire des sols, qui m'ont permis d'accomplir mon stage de dernière année au CNRA de VERSAILLES.

Je remercierai tout particulièrement Monsieur MONNIER, chargé de recherches au laboratoire des sols, qui a bien voulu m'accueillir parmi ses stagiaires et m'a aidée, avec beaucoup de patience, à m'initier aux divers et complexes problèmes que soulève la notion de matière organique, et Monsieur COCHET, du service Information prospective à la FNCETA, mon professeur d'Agronomie à l'ITPA, qui m'a avec beaucoup de gentillesse, suivie et éclairée de ses conseils tout au long de l'élaboration de cette étude.

Je tiens également à remercier Monsieur DUTIL, Directeur de la Station Agronomique de CHALONS sur MARNE, Monsieur DEFALQUE, Ingénieur du CETA de ROMILLY, Monsieur LEGENDRE, Ingénieur du Service Agronomique de la FNCETA, Monsieur M.SEBILLOTTE, de l'Institut National Agronomique, Monsieur LEFEVRE, Directeur de la FDCETA de la Marne, Monsieur CASSABOIS, Directeur du CDER de la Marne et toutes les autres personnes qui ont bien voulu me faire bénéficier de leurs suggestions et de leurs critiques.

Enfin je remercierai l'ITPA en la personne de Monsieur RADIOYES, qui m'a laissé tout le temps nécessaire pour préparer ce mémoire et me permet aujourd'hui de le soumettre à votre jugement.

P L A N

Introduction générale

P 5

A - 1ère partie : Définition et rôles de la matière organique dans le sol

Introduction :

P 8

I - Qu'est-ce que l'humus, qu'est-ce que la matière organique du sol ?

- 1) Définitions :
- 2) Commentaires :
- 3) Méthodes d'appréciation :
 - a - C/N
 - b - Fractionnement densimétrique

II - Formation et évolution de l'humus :

P 12

- 1) Evolution des matières organiques dans le sol
- 2) Formation de l'humus
- 3) Les facteurs de variation :
 - a - Facteurs internes : nature de la matière organique
 - b - Facteurs externes : conditions climatiques
caractéristiques d'un sol
façons culturales

III - Rôles de l'humus :

P 21

- 1) Rôle "alimentaire" des matières organiques
- 2) Actions physiques des matières organiques :
 - a - Propriétés générales
 - b - Problèmes de "stabilité structurale"
 - c - Action des matières organiques suivant leur état d'évolution

Conclusion de la 1ère partie

P 29

B - 2ème partie : Bilan organique en Champagne crayeuse P 31

Introduction :

I - Eléments d'un bilan : P 31

- 1) Etude des sols de craie
- 2) Les pertes
- 3) Les restitutions :
 - a - Les résidus de récolte
 - b - La paille et le fumier
 - c - Les engrais verts
 - d - Sources extérieures à la ferme

II - Les bilans humiques : P 44

- 1) Bilan des assolements courants
 - a - Assolement à base de betteraves sucrières et de blé
 - b - Assolement à base de céréales et de fourrages
 - c - Assolement du type polyculture sans élevage
 - d - Assolement avec pommes de terre
 - e - Assolement maïs sur maïs
- 2) Analyse de ces bilans humiques
 - a - Exploitations intensives sans bétail
 - b - Exploitations intensives avec bétail
 - c - Exploitations traditionnelles de polyculture sans élevage
 - d - Exploitations traditionnelles de polyculture avec élevage

Conclusion de la 2ème partie P 53

C - 3ème partie : Problèmes liés à la décomposition des pailles. P 55

Introduction :

I - Les problèmes liés à la décomposition des pailles : P 55

- 1) Le problème de l'azote
- 2) Les risques d'accidents dûs à une asphyxie du milieu
- 3) Les risques de transmission parasitaire
- 4) La mauvaise décomposition des pailles

II - Dispositif du chantier et méthodes de travail : P 57

- 1) Dispositif du chantier
- 2) Les prélèvements
 - a - Mode de prélèvements
 - b - Problèmes soulevés par ces prélèvements
 - c - Réalisation de ces prélèvements
- 3) Les méthodes d'étude
 - a - Traitements et analyses
 - b - calculs et détermination des résultats
 - c - Difficultés intervenant à ce niveau

III - Expression et interprétation des résultats : P 66

- 1) Présentation des résultats globaux
- 2) Exploitation de ces résultats
 - a - Evolution comparée de la paille totale
 - b - Evolution comparée de la paille de surface
 - c - Evolution comparée de la paille enfouie

Conclusion de la dernière partie P 78

Conclusion générale P 80

INTRODUCTION GENERALE

"L'humus est le produit de la matière vivante et sa source; c'est une réserve et un stabilisateur de la vie organique sur terre, un des facteurs clés de la productivité et du maintien des sols".

C'est ainsi que THAER et WAKSMAN définissaient "l'humus" en 1936, exprimant là, la pensée vieille comme le monde, que l'humus était le facteur essentiel de la fertilité du sol. Depuis, l'expérience a prouvé qu'en dessous d'un certain taux de matière organique, qui varie suivant la nature des sols, les rendements diminuaient très sensiblement et le niveau de fertilité de ces sols baissait, entraînant la plupart du temps de très graves accidents de structure. Ceci nous amène donc à penser, de façon absolue, qu'un agriculteur, désireux d'obtenir les meilleurs rendements, doit avoir, pour souci permanent, le maintien dans ses terres d'un taux de matière organique constant, ou plus exactement, d'un taux "Seuil" de matière organique.

Le problème est donc de savoir, d'une part, quel est ce taux "Seuil" de matière organique suffisant pour garantir un bon niveau de fertilité, et d'autre part, comment en assurer le maintien.

On sait que parmi les divers constituants physiques du sol, sable, argile, limons et calcaires, l'humus occupe une proportion assez faible : en moyenne, les terres de culture contiennent généralement de 1,5 à 2 % de matière organique. C'est le cas des limons blancs de Normandie, et des limons moyens de la Région Parisienne. Cependant, les rendzines rouges caillouteuses du Poitou, comme les rendzines blanches sur craie de Champagne, en contiennent environ 4 %, dans le cas, bien sur, d'un état physique satisfaisant.

Si l'on estime les pertes annuelles à environ 1 % du stock d'humus, celui-ci, étant fonction de la masse de couche arable et de la teneur en matière organique, il faudra en fait apporter chaque année, 540 Kg. d'humus à l'hectare pour les limons blancs de Normandie, 960 pour les limons de la Région Parisienne, 660 pour les rendzines rouges du Poitou et 1120 pour les rendzines blanches de Champagne, ceci, afin de maintenir un taux humique correct. Ceci montre déjà l'importance des amendements humiques nécessaires aux terres calcaires de Champagne.

Les restitutions de matière organique peuvent se faire de diverses façons : résidus laissés par les récoltes, apport de fumier, de gadoues, enfouissement des pailles et, à la rigueur, d'engrais verts.

Bien qu'il y ait un certain nombre d'études et d'essais entrepris à ce sujet, il n'existe aucune norme, aucune règle mathématique, comme il en existe pour tous bilans : il y a beaucoup d'interactions, climat, nature et état physique du sol, problèmes parasitaires, méthodes d'analyses, qui interviennent. Nous verrons combien ce problème de "bilan humique" est complexe et délicat.

Dans le cas assez fréquent en Champagne crayeuse, des exploitations sans bétail, qui ne disposent pas de fumier naturel, il est recommandé d'enfouir une partie des pailles, surtout si l'assolement ne comporte ni graminées fourragères, ni luzerne. Toutefois, cette technique présente encore actuellement de grosses difficultés auxquelles on ne peut, malheureusement, remédier totalement.

D'abord, en terre calcaire, la paille se décompose très mal, et il arrive souvent que l'on en trouve des paquets quasi intacts, longtemps après l'enfouissement, ce qui est très ennuyeux, comme nous le verrons au cours de notre étude.

Ensuite, il y a le problème de la consommation d'azote minéral par les micro organismes cellulolytiques, qui concurrence la nutrition azotée des cultures et peut provoquer un effet dépressif sur celles-ci, s'il n'y a pas d'apport supplémentaire d'azote.

Enfin, les pailles peuvent abriter certains parasites et graines de plantes adventices qui nuieront à la culture suivante, surtout dans le cas de cultures céréalières successives.

Ce sont ces divers arguments qui ont amené un certain nombre d'agriculteurs à brûler leurs pailles, technique plus facile à réaliser et à laquelle on attribue un effet favorable sur la végétation de la culture suivante, effet de courte durée malheureusement.

Le but de notre étude est, en fait, de clarifier les diverses hypothèses relatives au problème "humus", matière organique en général, bilan humique et problème de l'enfouissement des pailles en particulier, ceci dans le cadre de la Champagne crayeuse où ces divers problèmes ont une assez grande importance.

A - 1ère PARTIE : Définitions et rôle de la matière organique dans le sol

Introduction :

Avant d'entreprendre notre étude, il serait bon de définir exactement ce que l'on entend par "humus" et par "matières organiques" du sol.

On parle facilement d'amendements humiques ou de "fumures organiques", de "taux humique" ou de "taux de matières organiques" : ces termes sont-ils comparables ? Que signifient-ils en fait ?

I - Qu'est-ce que l'humus ?

Qu'est-ce que la matière organique du sol ?

1) Définitions :

Pour WAKSMAN "l'humus comprend l'ensemble de la matière organique des sols, depuis la feuille qui tombe, jusqu'au gaz carbonique et à l'ammoniac, termes ultimes de sa décomposition".

Pour d'autres, l'humus est la "matière carbonnée à décomposition très lente, qui subsiste dans le sol lorsque les éléments les plus facilement attaquables de la matière organique fraîche ont été décomposés" (P. BOISCHOT, bulletin de l'AFES n° 2 - Février 1966)

Monsieur MONNIER tranche le problème : "la matière organique d'un sol cultivé provient essentiellement des débris végétaux laissés par les différentes récoltes ou d'amendements organiques divers apportés par l'homme"

"Au départ, il s'agit donc de débris organiques frais ou déjà en partie décomposés, mais qui, dans tous les cas, ne sont pas accrochés aux particules minérales du sol et leur sont seulement plus ou moins mélangés".

- C'est ce qu'il appelle la "matière organique libre"

Lorsque les conditions de milieu sont favorables, elle est susceptible d'évoluer rapidement en donnant naissance à des substances qui, elles, sont fixées à la partie minérale du sol et que, pour cette raison, nous qualifierons de matières organiques liées."

"Lorsqu'elle peut avoir lieu, cette évolution conduit, par l'intermédiaire de produits transitoires peu abondants parce qu'instables, mais dont l'importance agronomique est grande, à la formation d'un résidu de couleur foncée : l'humus, qui constitue la quasi totalité de la fraction liée"

(extraits de l'étude FNCEETA n° 1112 : les restitutions organiques par G. MONNIER).

2) Commentaires

Ainsi, la matière organique est constituée, au départ, par les résidus de récolte laissés par les cultures (systèmes racinaires, chaumes, pailles, feuilles et collets...) ou apportés par les amendements organiques divers (fumier, gadoues...) et l'humus est le résultat de la fermentation et de la décomposition dans le sol de ces matières organiques, d'origine animale ou végétale, sous l'action combinée de l'air, de l'eau et, particulièrement de certains micro-organismes du sol.

Entre ces deux stades ultimes de la décomposition de la matière organique, il existe une infinité de produits transitoires, comme nous le verrons plus loin, que l'on peut difficilement définir et classer. Tant que ces débris organiques en voie de décomposition ne sont pas accrochés aux particules minérales du sol, on les qualifie de "matières organiques libres". Une fois accrochés à ces particules minérales, on les qualifie de matières organiques liées.

On peut assimiler ces matières organiques liées à de l'humus.

La somme des matières organiques libres et des matières organiques liées constitue les matières organiques totales.

Les taux de matière organique portés sur les fiches d'analyse concernent les matières organiques totales. Cependant, si l'on observe une variation du taux de matière organique totale entre deux temps considérés, il ne faut pas interpréter cette variation comme une variation du taux d'humus : il peut très bien avoir accumulation de matières organiques libres avec une faible transformation de ces matières organiques libres en matières organiques liées, et un rendement en humus peu important.

L'évolution des matières organiques que nous analyserons plus loin, n'est absolument pas constante; elle dépend de nombreux facteurs que nous essayerons de déterminer.

Afin d'éviter le maximum d'erreurs, il semble utile, pour évaluer correctement la teneur en matière organique d'un sol, de caractériser séparément les deux fractions.

Nous disposons pour cela d'une méthode que nous allons maintenant étudier.

3) Méthodes d'appréciation :

a- % C/N

La caractérisation de ces deux fractions de matière organique pourrait se faire par l'évaluation du rapport C/N (carbone organique / azote); en effet, si la fraction liée de la matière organique a un rapport C/N assez constant, voisin de 10, la fraction libre, au contraire, a un rapport C/N beaucoup plus élevé et surtout plus variable : pour du fumier très bien décomposé ou des résidus de légumineuses, le rapport C/N est d'environ 14 ou 15, tandis que pour certaines pailles, il est voisin de 100 -

Plus une matière organique évolue, plus sa richesse en azote augmente, et plus son rapport C/N diminue, jusqu'à devenir constant.

Il semble donc que les matières organiques liées soient plus stables, donc plus résistantes aux actions microbiennes que les matières organiques libres : aussi sont-elles en général présentes dans le sol à des taux plus élevés que les autres matières organiques (en général plus de 70 %).

Cependant, si le rapport C/N nous permet de caractériser une fraction de la matière organique, il ne nous permet pas de déterminer le pourcentage de chacune des deux fractions.

On a donc recours à une méthode dite de "fractionnement densimétrique", qui va nous permettre d'isoler les deux sortes de matière organique sur un échantillon et de les doser ensuite.

b+ Fractionnement densimétrique :

Nous savons que ce qui différencie la fraction libre de la fraction liée de la matière organique, est le fait que la première n'est pas liée au support minéral, tandis que la seconde l'est.

C'est ainsi que S.HENIN et L.TURC, en 1949, ont cherché une méthode de séparation reposant sur le fait que les matières organiques libres, supposées exemptes de toute souillure minérale, ont une densité voisine de 1, tandis que les autres matières organiques ont une densité généralement supérieure à 2. Monsieur MONNIER, en 1962 a perfectionné et mis au point cette méthode, opérant dans un champ de gravité fourni par l'accélération d'une centrifugeuse.

On constitue un échantillon de 20 grammes à partir de terre séchée à l'air et tamisée à 1 cm. puis à 2 mm., de façon que cet échantillon soit représentatif de la terre prélevée.

On broie, puis on passe l'échantillon à travers un tamis de 500 microns, après quoi on en prélève 5 g. que l'on recueille dans un tube de centrifugeuse de 100 cc. On verse ensuite dans le tube un mélange d'alcool éthylique et de bromoforme de densité 1,75 pour les sols riches en calcaire, ou 2 pour les sols moins calcaires.

Après une centrifugation de 5 minutes, à une vitesse telle que l'accélération au centre du tube soit de l'ordre de 1000 g. (1 g. = 981 C G S), on recueille sur un filtre, la fraction légère qui doit normalement être constituée par la matière organique libre. En général, on remet dans le tube le mélange bromoforme alcool éthylique passé à travers le tamis, en suspension avec le reste de l'échantillon, puis on recentrifuge ceci, deux fois, par précaution, afin de bien recueillir la totalité de la fraction légère. Cette fraction légère, recueillie sur le filtre, est séchée à l'étuve à 105 ° C jusqu'à poids constant, puis pesée.

On peut donc ainsi évaluer la proportion de fraction légère pour la matière organique totale, puis en déduire la proportion de fraction liée, que nous assimilerons à de l'humus biologiquement "stable"

Voyons maintenant plus en détail, cette évolution de la matière organique, et la formation de l'humus.

II - Formation et évolution de l'humus.

1) Evolution des matières organiques dans le sol :

Nous venons de voir que la matière organique, au départ, est constituée par les débris végétaux laissés par les cultures, ou apportés par le fumier.

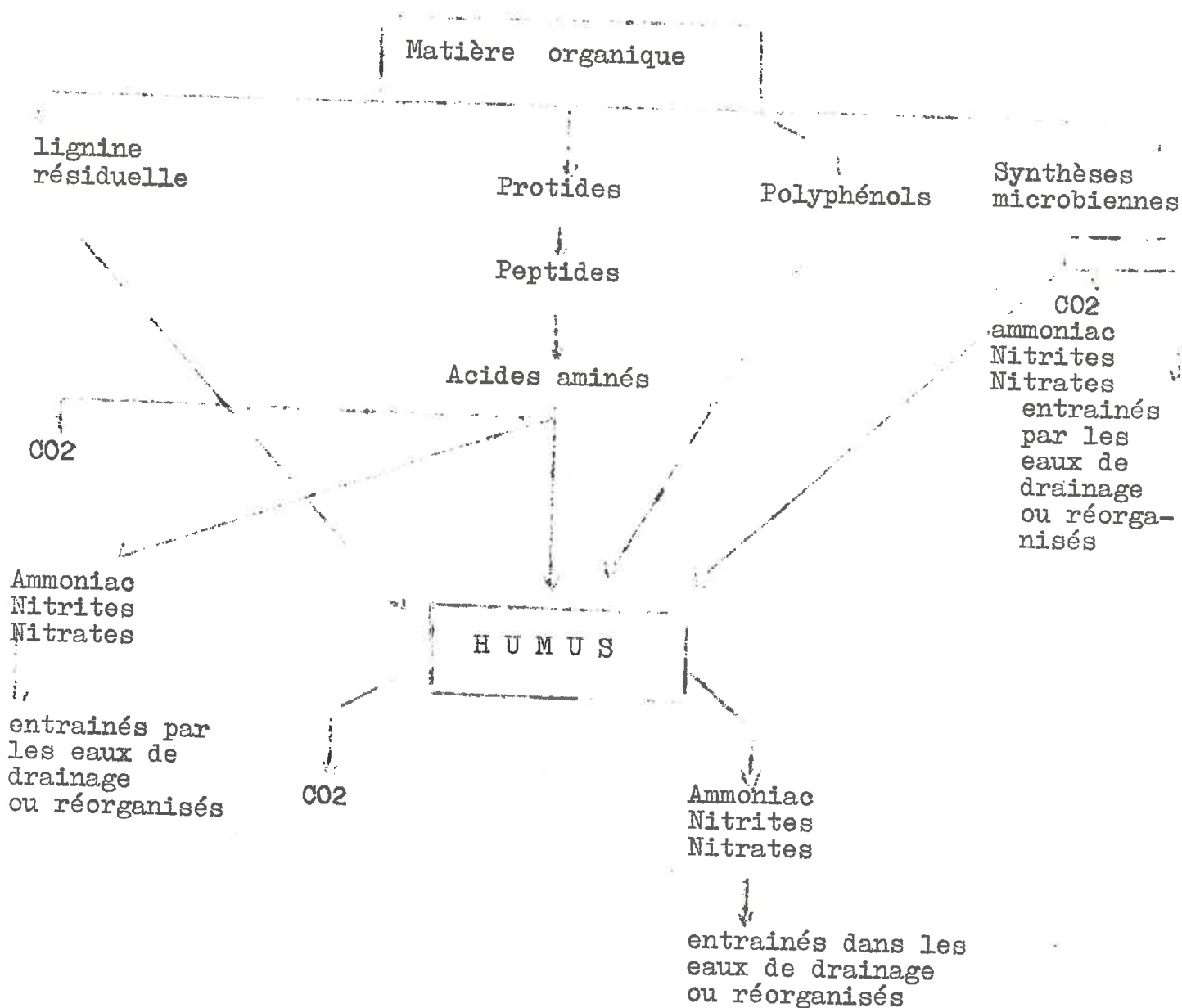
Dés que cette matière organique est en contact avec le sol, elle subit une certaine transformation sous l'attaque de la micropopulation ambiante, transformation qui aboutit généralement à la formation d'humus; puis, les attaques des micro organismes continuant, cet humus se dégrade à son tour, laissant subsister seulement des éléments minéralisés : azote, carbone sous forme de gaz carbonique, ainsi que d'autres corps en plus petite quantité .

L'évolution de l'humus va donc depuis sa formation à partir de matières organiques fraîches, jusqu'à sa destruction complète. On distingue ainsi deux phases dans l'évolution de la matière organique :

- une phase d'humification, plus ou moins longue, au cours de laquelle la matière organique fraîche subit des fermentations, donnant ainsi des produits qui se fixent peu à peu au support minéral du sol, constituant ainsi une réserve que l'on peut appeler stock d'humus.

- une phase de minéralisation au cours de laquelle l'azote organique de l'humus se transforme en azote ammoniacal, puis en azote nitrique et où le carbone est libéré sous forme de gaz carbonique.

P. BOISCHOT, dans un bulletin de l'A F E S, schématise ainsi ce phénomène :



Il apparait clairement par ce schéma, que toute décomposition de la matière organique aboutit finalement, après un temps plus ou moins long, à la libération de gaz carbonique, d'ammoniac et de nitrates.

Ceux-ci peuvent être, soit entraînés par les eaux de drainage, soit réorganisés.

Ainsi, nous venons de mettre en évidence un troisième phénomène, que nous appellerons phase de réorganisation.

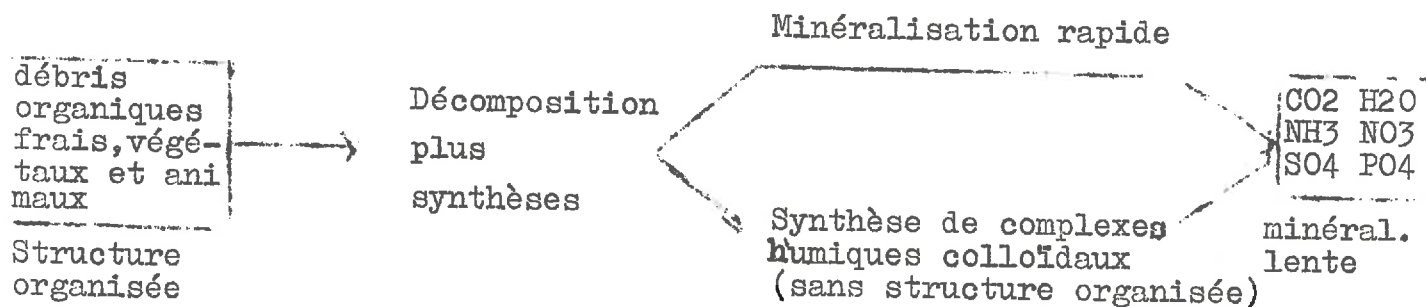
"La réorganisation est le phénomène qui aboutit à la formation de composés organiques (corps microbiens) aux dépens des éléments minéraux (en particulier l'ammoniac et les nitrates) libérés par la décomposition de la matière organique et de l'humus," nous dit Monsieur BOISCHOT.

2) Formation de l'humus - Humus jeune, humus stable -

"Les résidus végétaux et animaux retournant aux terres, ne sont pas totalement minéralisés.

Une partie d'entre eux se mue en fraction plus ou moins résistante à la décomposition par les micro organismes, restant momentanément dans un état complexe".

(J.POCHON et H.de BARJAC " traité de microbiologie des sols").



Au départ, nous avons donc des éléments organiques en fractions grossières, de structure plus ou moins organisée, qui aboutissent à la libération d'éléments minéraux, par une minéralisation plus ou moins rapide; au cours de cette décomposition, il se forme des complexes humiques, colloïdaux, sans structure organisée, que nous regroupons généralement sous le terme d'"humus". On distingue ainsi des acides humiques "gris" riches en azote, nés en milieu riche en calcium, facilement flocculables, des acides humiques "bruns" et des complexes humoligniques, pauvres en azote, nés en milieu acide et difficilement flocculables.

Les acides humiques gris, riches en azote, ont un rapport C/N faible, ils sont ainsi un terrain particulièrement favorable à l'activité des micro-organismes, qui travaillent essentiellement à partir de l'azote; les acides humiques se décomposent donc relativement vite : on peut les assimiler à de l'humus jeune.

Les acides humiques bruns, par contre, de même que les complexes humoligniques, pauvres en azote, auront une décomposition plus lente : on peut les assimiler à de l'humus stable.

L'humus jeune et l'humus stable sont toujours présents dans le sol, mais leurs proportions peuvent varier beaucoup d'un sol à l'autre.

Ainsi, chaque matière organique enfouie évolue, de fraction libre, elle passe en fraction liée aux particules du sol, pour donner à plus ou moins longue échéance, une substance noirâtre que l'on appelle "humus" et qui est elle-même une substance plus ou moins stable, qui disparaît plus ou moins vite. Ceci montre bien la complexité du phénomène, l'incertitude où nous sommes de pouvoir affirmer de façon absolue, que tel type d'apport de matière organique donne, au bout de x temps, tel type de produit transitoire, au bout de y temps, tel type d'humus...

Car ce phénomène de décomposition est soumis à diverses conditions internes et externes, susceptibles d'accélérer ou de ralentir considérablement l'évolution de la matière organique dans le sol.

C'est ainsi que partant des mêmes données, bien souvent on aboutit à des résultats différents, ce qui est très gênant dans le cas d'essais à effectuer.

3) Les facteurs de variation -

a- Facteurs internes

Lors de l'attaque des tissus végétaux par les micro organismes, leurs divers constituants sont plus ou moins sensibles à la décomposition biologique. Il en résulte un ordre d'attaque de ces constituants suivant leur vitesse de dégradation (POCHON et BARJAC), ce sont les glucides solubles, type sucre, qui seront les premiers et les plus vite décomposés, puis les hémicelluloses, les galactanes, les pentosanes, les acides uroniques, les pectines, les amidons...

La cellulose et la lignine seront plus lentement attaquées et décomposées. Aussi, les végétaux et débris de récolte subsisteront-ils plus ou moins longtemps, suivant leur richesse en ces divers éléments.

Voici un tableau, établi par Monsieur MONNIER, présentant les résultats qu'il a obtenus à partir d'apports de matières végétales différentes, correspondant à 10 % de la masse de terre, et où il compare des teneurs moyennes en carbone lié (C %) suivant la nature des matières végétales apportées.

	Témoin	Luzerne	Blé	Avoine	
Produits fixés sur place	aérobiose	3,8	17,1	9,1	11,8
	anaérobiose	3,9	16,2	7,2	6,9
Produits de transport	aérobiose	4,0	8,0	5,0	4,9
	anaérobiose	3,9	8,7	5,2	4,8

L'essai ayant été réalisé, en fait, dans un sol pratiquement dépourvu d'azote, il semble que ce soit le rapport C/N de la matière organique apportée qui détermine l'intensité de son évolution.

On peut ainsi constater dans le tableau ci-dessus, que l'apport de luzerne aura un rendement supérieur à celui du blé ou de l'avoine dans un même laps de temps.

C'est ainsi qu'on a été amené à chiffrer, approximativement, le rendement en humus de chaque type d'apport de matière organique; le coefficient établi est appelé "coefficient isohumique".

Valeurs du coefficient isohumique :

Matières organiques	Valeur du coefficient	Remarques
Parties de céréales	0,08 à 0,20	
Résidus des prairies temporaires et artificielles	0,15 à 0,30	
Fumiers	0,15 à 0,45	suivant état de décomposition
Tourbe	1	
Engrais vert jeune	voisin de 0	

On remarque, pour chaque type d'apport de matière organique, une variation plus ou moins considérable du rendement en humus. Ceci s'explique, en partie, par la différence qui existe au départ entre divers apports du même type de matière organique : ainsi, un fumier bien décomposé présente un coefficient isohumique plus élevé qu'un fumier pailleux. Une paille aura un rendement plus ou moins fort en humus suivant sa richesse en cellulose, un engrais vert suivant sa richesse en lignine.

Cependant la composition interne de l'apport de matière organique n'est pas le seul facteur de variation : deux apports identiques, dans des conditions d'humification différentes, évolueront différemment.

Ces conditions sont, en fait, celles qui influencent la vie des micro-organismes agents de transformation.

b- Facteurs externes

Ces facteurs externes sont essentiellement de deux sortes :

- Les conditions climatiques et les caractéristiques du sol concerné d'une part.

- Les façons culturales : assolement, travaux du sol... d'autre part.

- Les conditions climatiques : La chaleur et l'humidité activent la décomposition de l'humus tandis que le gel, la sécheresse, ou une humidité excessive sont un frein puissant à toute activité microbienne.

- Les caractéristiques d'un sol, c'est à dire sa porosité, son pH, sa richesse minérale... ont également une grande influence. Une bonne porosité, c'est à dire une bonne répartition de la granulométrie, en assurant une quantité d'air suffisante pour le développement de la vie microbienne, favorise la dégradation des matières organiques.

Le pH d'un sol peut freiner et même stopper toute vie microbienne s'il est trop acide. Un pH voisin de la neutralité ou mieux, un pH alcalin, est de beaucoup préférable, aussi est-il parfois utile de chauler certaines terres, à condition de ne pas y apporter des doses trop massives, ce qui pourrait être dangereux. Et pourtant, en Champagne crayeuse où les terres, très calcaires, ont un pH parfois voisin de 8,

Les taux de matière organique sont généralement très élevés, d'environ 4 % : dans ce milieu favorable à la minéralisation, la matière organique devrait disparaître beaucoup plus rapidement !

On attribue ceci au fait que, dans ces terres, les particules d'humus sont enrobées de carbonate de chaux, comme une coquille qui les rend beaucoup moins vulnérables à l'attaque microbienne.

Aussi les agriculteurs de cette région devront-ils s'efforcer, pour favoriser cette action microbienne, de dissoudre, par tous les moyens possibles - engrais acidifiants, engrais verts générateurs de gaz carbonique... - cette pellicule calcaire.

La richesse en éléments minéraux d'un sol, et particulièrement sa richesse en azote, a une importance qu'il ne faut pas négliger : monsieur MONNIER a prouvé, par des essais, que la vitesse d'évolution des matières organiques, c'est à dire la proportion de substance liée, dans un temps donné, est essentiellement fonction de la teneur en azote du matériel initial.

En effet, les micro-organismes, responsables de la décomposition de la matière organique, ont des besoins importants en azote pour se multiplier.

Si la matière organique, au cours de sa dégradation, ne leur en apporte pas suffisamment, ils sont obligés de puiser dans les ressources en azote du sol : il en résulte une véritable lutte entre les micro-organismes du sol et la végétation avoisinante, qui entraîne parfois un effet dépressif sur celle-ci ainsi qu'une décomposition plus lente des matières organiques.

C'est ainsi qu'au moment d'enfouir des matières organiques fraîches pauvres en azote, comme la paille, il est recommandé de faire un petit apport d'azote de l'ordre de 40 unités par hectare. Cet azote, fixé pendant un certain temps dans les corps bactériens, sera d'ailleurs restitué sous forme minérale après leur destruction.

- les façons culturales.

Nous venons de voir qu'une bonne porosité, un pH légèrement alcalin et une bonne richesse en éléments minéraux du sol favorisent la vie microbienne; donc les façons culturales tendant à ameublir le sol et lui assurer une meilleure porosité, le drainage, le chaulage et la fertilisation du sol, logiquement, doivent accélérer la décomposition de la

matière organique et la minéralisation de l'humus.

Seulement, si l'on favorise la vitesse d'évolution de la matière organique, on limite l'accumulation de l'humus en accélérant sa vitesse de minéralisation. En fait, chaque opération culturale est liée à un système, et ce système cultural, d'une part, favorise ou non le maintien dans le sol d'un certain stock d'humus, et d'autre part fournit chaque année un stock de matière végétale à enfouir dans le sol.

Ainsi, des plantes sarclées, comme les betteraves sucrières, nécessitent, au semis, une terre très fine, donc de nombreuses façons superficielles qui auront pour conséquence de favoriser la perméabilité, donc le développement de la vie microbienne ; à la récolte, on pourra enfouir les feuilles et les collets, ce qui fournira une masse importante de matière organique fraîche au sol ; et si l'on a forcé les fumures minérales pour obtenir de meilleurs rendements à la récolte, on observera peut être une activité plus intense de la vie microbienne d'une part, mais on aura aussi des résidus plus importants à restituer au sol.

De même un drainage ou un retournement de prairie favorise et l'activité microbienne et la croissance de la culture suivante.

Il y a aussi le problème posé par la culture avec suppression de labour : en fait d'après les essais de R. Gras à VANVILLE, il n'a été constaté aucune différence de taux de matière organique liée entre les parcelles travaillées et les parcelles de non-labour ; par contre, on observe une légère différence du taux de matière organique libre ; ceci peut s'expliquer par la présence d'une végétation adventice dans les parcelles non travaillées, qui s'installe pendant l'hiver, produisant une masse de matière végétale de l'ordre de quelques centaines de Kg. de matière sèche à l'ha, qui se décompose très vite avec un rendement en humus à peu près nul, ce qui est comparable avec un engrais vert que l'on enfouierait pour installer une culture de printemps.

Ainsi, les diverses cultures ont un rendement humique fort différent, les façons culturales ont une influence plus ou moins favorable sur la vitesse d'évolution des matières organiques ; aussi nous disposons là de tout un éventail de possibilités - assolement, mécanisation...- avec lequel l'agriculteur devra composer pour organiser le meilleur système cultural pour son exploitation, en établissant une sorte de "bilan humique".

III - Rôles de l'humus

Pendant longtemps on a pensé que les végétaux s'alimentaient directement à partir des matières organiques noires. C'est au cours du XVIIIe siècle que l'on s'est aperçu que non seulement l'humus n'était pas absorbé directement par les plantes, mais qu'il jouait divers autres rôles, plus ou moins complexes, plus ou moins nets, et rarement indépendants les uns des autres.

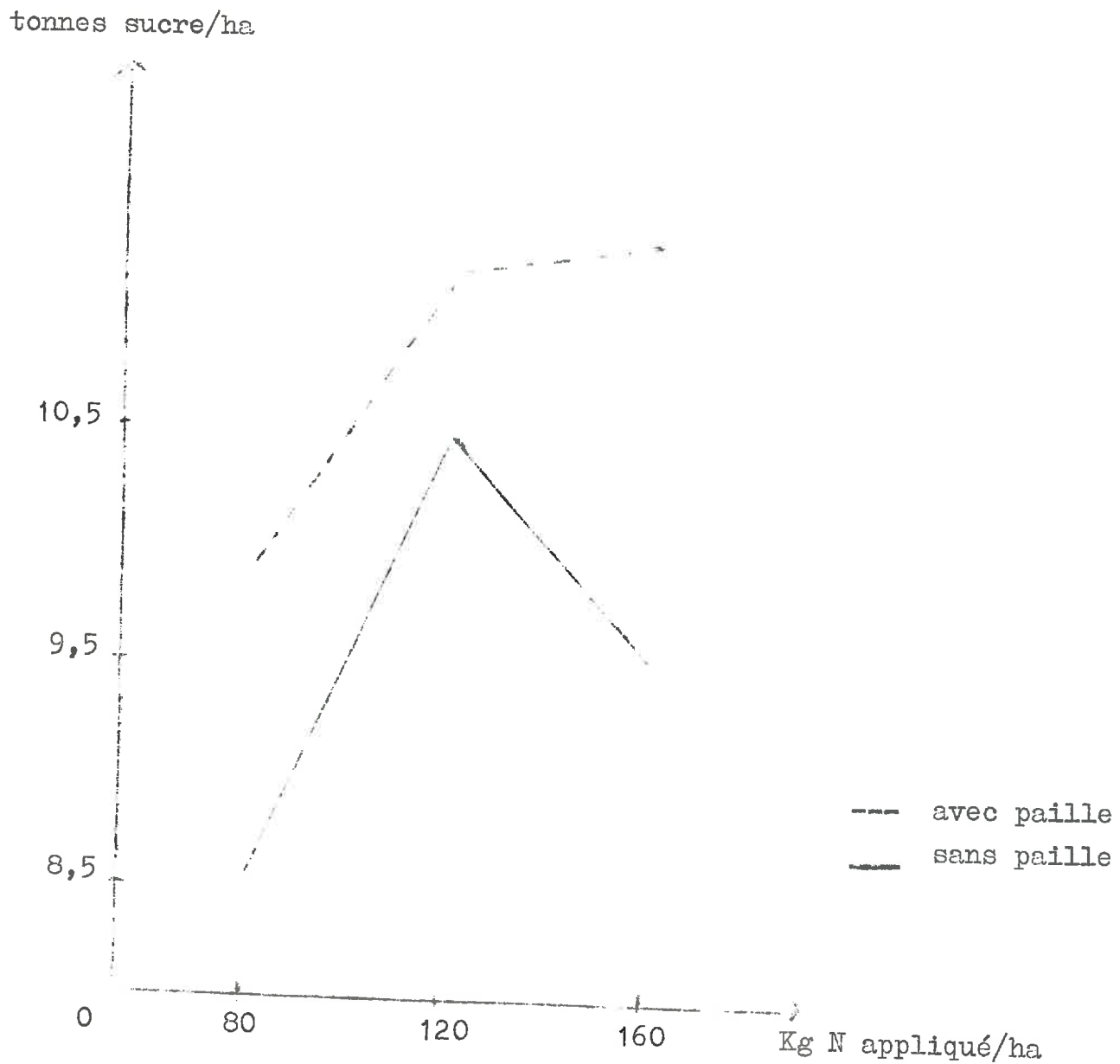
Ainsi, si l'humus joue un rôle chimique qui n'est pas négligeable, nous le verrons, en faveur de l'alimentation des plantes, il joue un rôle capital dans le maintien des sols en bon état, un rôle en fait, de stabilisateur des sols; c'est pourquoi le "problème humus" a pris une si grande importance en champagne crayeuse où les terres sont facilement "battantes".

De plus, nous avons vu qu'il existait presque autant de formes d'humus différentes que d'apports de matière organique, aussi nous aurons des actions spécifiques différentes suivant l'apport de matière organique. De même nous aurons des actions différentes suivant l'état de décomposition de ces matières organiques.

1) Rôle "alimentaire" des matières organiques.

On dit que l'humus est une "source et une réserve d'aliments" pour la plante. En effet, en évoluant jusqu'à sa destruction complète, sous l'action des micro-organismes du sol, l'humus se minéralise peu à peu, fournissant non seulement de l'azote, sous forme ammoniacale puis nitrique, mais aussi tous les éléments fertilisants et les oligo-éléments contenus dans la matière organique; la plante, en cours de végétation, trouvera ainsi un fond d'approvisionnement assez régulier.

Cependant, il est bien évident que cette réserve est insuffisante pour alimenter correctement les végétaux en cours; aussi devra-t-on également apporter une certaine quantité d'éléments fertilisants - azote (N), acide phosphorique (P) et potasse (K) - Notons d'ailleurs que l'humus favorise l'action de ces engrais minéraux, ceux-ci, pour des doses identiques, étant mieux utilisés par les plantes en présence d'humus.



Influence d'une fumure organique sur le rendement en plein champ de la betterave à sucre recevant des doses croissantes d'azote minéral.

(d'après G. BARBIER)

Les travaux de R.CHAMINADE (INRA - VERSAILLES) ont montré que l'humus favorise l'absorption des éléments fertilisants à travers la membrane cellulaire des radicelles.

Il semblerait que l'humus joue un rôle de transporteur d'ions, accélérant leur transfert de la solution du sol à la cellule végétale suivant un mécanisme mal connu.

En fait, tout se passe comme si l'humus augmentait la perméabilité cellulaire aux ions.

En ce qui concerne le pouvoir absorbant, l'humus fixe les éléments minéraux, mieux même que l'argile. Les éléments ainsi fixés peuvent se déplacer dans le sol et être libérés au fur et à mesure de la destruction de l'humus. C'est pourquoi cette libération fait de l'humus une source constante d'aliments pour les végétaux.

2) Actions physiques des matières organiques

a- Propriétés générales

On dit couramment que l'humus "donne du corps aux terres légères et ameublir les terres fortes". En pratique il a été constaté, sans pouvoir l'expliquer scientifiquement, que l'apport de matière organique dans le sol facilite le labourage et le rend plus efficace, accélère le ressuyage, empêchant le sol de se fermer et de se croûter, et favorise la levée des semis.

En fait, l'humus agit sur la structure :

- en constituant des agrégats dans les sols sableux.
- en s'associant à l'argile dans les sols argileux et en corrigeant les propriétés colmatantes de celle-ci.
- du fait de cette dernière propriété, l'humus réduit l'adhérence des sols lourds aux instruments de culture et facilite les façons culturales.
- Enfin, la matière carbonée totale (matière organique fraîche et humus) augmente la capacité des sols pour l'eau (d'après BOISCHOT, bulletin A.F.E.S. n°2 - février 1966).

En Champagne crayeuse, où les terres sont facilement "battantes", l'humus contribue à atténuer cet effet de battance en maintenant les particules du sol en état d'agrégation. En outre il a une légère tendance à assombrir la teinte du sol, ce qui entraîne une meilleure absorption des rayons lumineux, donc un réchauffement plus hâtif du sol, facteur essentiel à la production de maïs dans les terres blanches et calcaires de Champagne.

En fait, le problème majeur des terres calcaires de Champagne, qui sont presque totalement des terres de défriche où la matière organique, accumulée pendant des années sous les forêts de pins, subit une diminution sensible du fait des modifications entraînées par le défrichement et les travaux culturaux, est un problème de stabilité structurale.

Aussi allons-nous nous pencher un peu sur ce problème, que Monsieur MONNIER a spécialement étudié et éclairci, et tout d'abord, essayons de définir ce que l'on entend par "stabilité structurale".

b- Problème de "Stabilité structurale"

- La structure est en fait l'agencement des particules du sol - sables, argile, limons et calcaire. Elle est donnée par la proportion de ces divers éléments et la façon dont ils sont disposés les uns par rapport aux autres. Suivant que ces divers éléments sont simplement juxtaposés, réunis par des ciments colloïdaux, ou dans une situation intermédiaire, la structure est dite "monoparticulaire", "continue" ou "fragmentaire".

Les rendzines blanches ou grises de Champagne, qui proviennent généralement d'une formation tuffeuse, ont une teneur extrêmement élevée en calcaire (60 à 80 %) presque entièrement réparti entre les fractions granulométriques correspondant au limon et aux sables grossiers.

La porosité est la conséquence première de cet agencement.

Cependant cette structure subit une évolution constante, notamment dans le cas des sols cultivés.

La stabilité structurale est en fait l'aptitude d'une structure à résister aux agents de dégradation : pluie, gel, vent, façons culturales... Il est malheureusement quasi impossible d'étudier l'action de ces agents dans le milieu naturel. Aussi, S.HENIN a-t-il étudié ce phénomène en laboratoire en faisant intervenir, de diverses façons, l'action de l'eau sur des fragments de terre dans des conditions standard.

Il a montré qu'en imbibant la terre par capillarité ou sous vide même partiel, les pores les plus fins étant les premiers imbibés, la stabilité augmentait.

Au contraire, en mouillant la terre sous pression, la stabilité diminuait. De même, en fixant au sol un corps gras, la stabilité croissait. La teneur en argile, qui assure la cohésion du sol, est aussi un facteur croissant de stabilité.

- Monsieur MONNIER a étudié plus spécialement l'action des matières organiques sur la stabilité structurale des sols.

Après de nombreux essais et expérimentations, en laboratoire et en plein champ, il s'est aperçu que les fermentations, déclenchées par la mise en contact de débris organiques et d'agglomérats de terre, et principalement les agents de cette fermentation (champignons, bactéries) jouaient un rôle prépondérant dans l'accroissement de stabilité des sols, mais avec un effet d'autant plus court que la matière organique est plus fermentescible. Il a ainsi dissocié l'action des matières organiques selon leur état d'évolution dans le sol, constatant que les matières organiques libres, les produits transitoires accompagnés de nombreuses fermentations et les matières organiques liées ou humus proprement dit avaient des comportements et des influences différentes dans le sol, avec des intensités et des durées d'action très diverses.

c- Action des matières organiques suivant état d'évolution.

- Les matières organiques libres, dans la mesure où elles couvrent suffisamment bien le terrain, ce qui peut être le cas avec un apport de fumier ou de pailles de céréales broyées et éparpillées, peuvent freiner le dessèchement de la partie supérieure du sol, favoriser la levée de petites graines en conditions difficiles, (et la levée de mauvaises herbes!!) Bien disposés dans un labour convenablement orienté, les apports organiques grossiers, comme les tiges de maïs, les collets de betterave..., accélèrent la pénétration de l'eau au cours de l'hiver et accélèrent le ressuyage au printemps. Et chose importante dans nos terres de Champagne, les racines des cultures précédentes et surtout les racines fasciculées, réparties dans toute la masse de terre, retardent la prise en masse en favorisant la division des mottes de terre argileuse.

Mais en aucun cas il ne faut que ces débris de matière organique se tassent, constituant un obstacle mécanique au développement des racines, et servant souvent de refuge à certains parasites.

Les substances transitoires obtenues par fermentations se fixent à la surface des agglomérats de terre, les protégeant, comme un enduit, contre l'action dégradante de l'eau. Leur rôle, dans le maintien et l'accroissement de la stabilité structurale est donc très important, mais, nous l'avons vu, d'autant plus court que la matière enfouie est plus fermentescible. C'est ainsi qu'un engrais vert, aura à court terme, un effet plus marqué qu'un fumier. Mais cet effet sera par contre de courte durée. Signalons également que c'est à ce stade que se situent les risques les plus graves de blocage d'azote et d'asphyxie des racines consécutifs aux fermentations.

Comme les produits transitoires, l'humus joue un rôle important dans le maintien de la stabilité structurale, mais avec un effet peut être moins spectaculaire, mais de plus longue durée. C'est le cas des apports de fumier, de résidus de pailles, cannes de maïs... tous les résidus enfouis qui ont un coefficient isohumique assez élevé, une bonne teneur en cellulose, et une faible fermentescibilité.

3) CONCLUSION : Effet suivant la nature des apports

Nous venons de voir, brièvement, que les apports de matière organique ont des effets divers suivant leur état d'évolution : effets plus ou moins spectaculaires, qui durent plus ou moins longtemps.

Voici un tableau établi par monsieur MONNIER, résumant les conséquences, sur les principales caractéristiques de l'état physique du sol, de l'incorporation de quelques types de matières organiques.

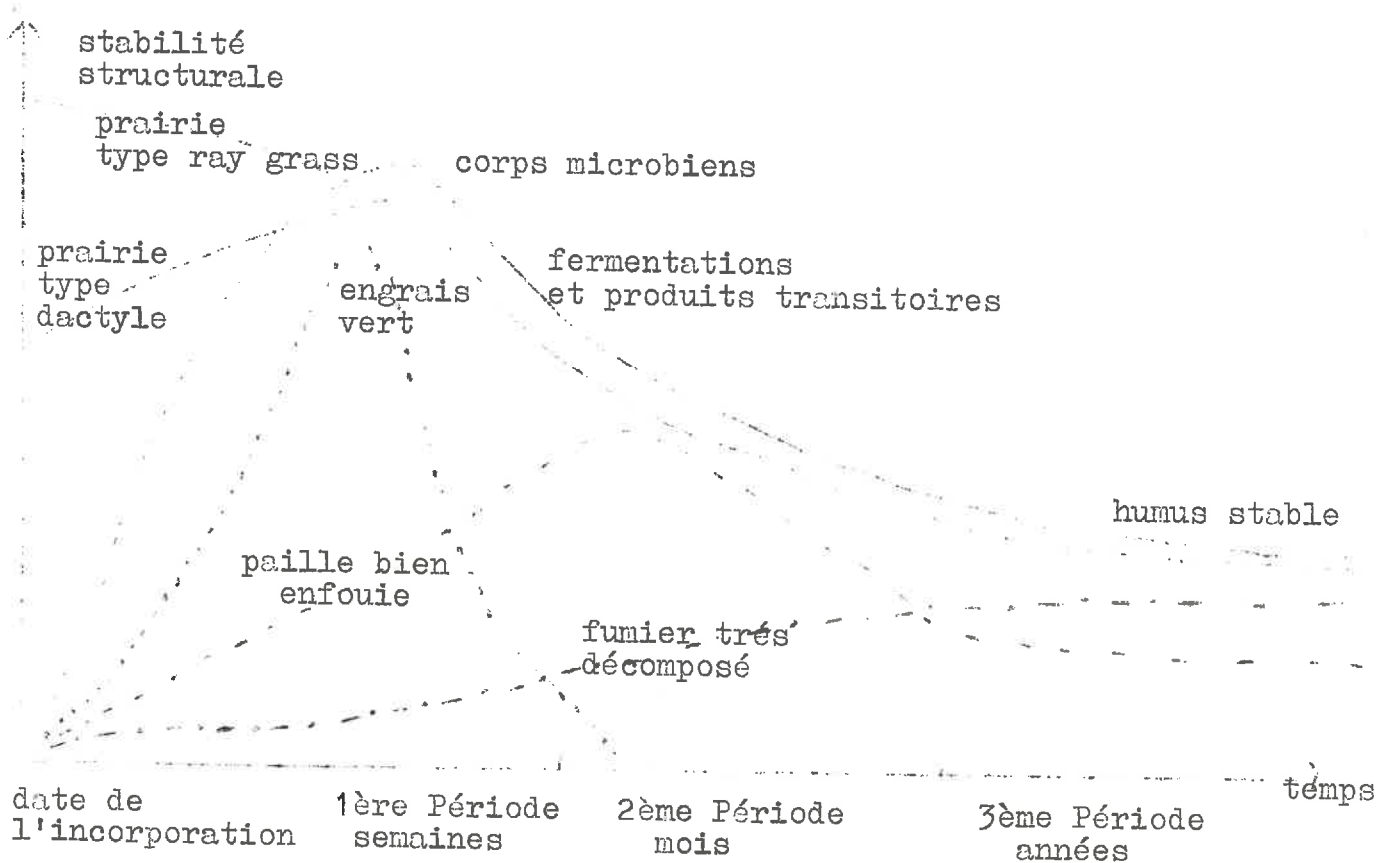
	: Actions mécaniques :		: Action sur la stabili- :		: Accidents :	
	: type :	: Conditions :	: types :	: Conditions :	: types :	: Conditions :
	: d'action :		: d'action :			
Enfouissement de pailles de céréales	: Meilleur :	: Incorpora- :	: Action à :	: Bon mélange :	: Obstacle :	: Localisati- :
	: drainage :	: tion en :	: court :	: à la couche :	: aux raci- :	: on de la :
	: dans la :	: lits dres- :	: terme :	: arable : é- :	: nes : très :	: paille :
	: couche a- :	: sés :	: moyenne :	: parpillag- :	: fréquents :	: bouchons, :
	: rable :			: -broyage :		: couches con- :
						: tinues, :
						: terre creu- :
						: se :
		: action de :	: Tronçonnage :	: Action à :	: Absence d'a :	: Gley :
	: division :	: et broyage :	: long ter- :	: ccidents de :	: fréquents :	: tion trop :
	: retard à :	: mélange in- :	: me (humus) :	: végétation :		: profonde ou :
	: la prise :	: time à la :	: moyenne :	: provoqués :		: en terre :
	: en masse :	: couche ara- :		: par l'en- :		: mal drainée :
	: * :	: ble :		: fouissement :		
Engrais verts	: Protec- :	: Engrais :	: Action à :	: Incorpora- :	: Obstacle :	: Sauf si :
	: tion du :	: vert bien :	: court :	: tion conve- :	: aux raci- :	: l'abondance :
	: sol :	: implanté :	: terme :	: nable. En- :	: nes : peu :	: de la végè- :
			: importan- :	: grais vert :	: fréquents :	: tation don- :
			: te relati- :	: jeune : a- :		: ne une ter- :
			: vement, :	: bondance :		: re creuse :
			: mais très :	: des racines :		
			: fugace :			
		: Division :	: Système ra- :	: Action à :	: Engrais :	: Gley :
	: du sol :	: diculaire :	: long terme :	: vert bien :	: fréquents :	: tion trop :
	: * :	: abondant et :	: fourniture :	: fertilisé :	: (matière :	: proche du :
		: fasciculé :	: directe :	: incorporé à :	: très fer- :	: semis de la :
			: d'humus né :	: bonne date, :	: mentesci- :	: culture sui- :
			: gligeable :	: absence d'a :	: ble) :	: vante-en :
			: Action pos :	: ccidents :		: terre trop :
			: sible par :			: humide-en- :
			: accroisse- :			: fouissement :
			: ment des :			: trop pro- :
			: résidus de :			: fond :
			: récolte :			

(suite)

	Actions mécaniques	Action sur la stabilité structurale	Accidents
	type d'action	Conditions	types
		Conditions	Conditions
Fumier	* Comme les autres fumures organiques, l'incorporation de fumier accroît le nombre et l'activité des petits animaux du sol (v.d.t. en particulier). Cette action est la plus nette sous prairie où à l'apport d'aliments vient s'ajouter l'action favorable de l'absence de travail du sol.	Action à court terme : très faible	Sauf pour les fumiers très "pailleux" : très rares
		Action à long terme : relativement forte	Obstacles aux racines : très rares
			Sauf pour fumiers pailleux ou racines pivotantes (betterave)
			Gley : très rare
			Sauf pour fumier pailleux ou sol très humide
Prairies temporaires (graminées)	Protection du sol	Espèce à fort tallage	Obstacles aux racines : peu fréquents
	Division du sol	Sauf en cas de surpâturage ou de piétinement du sol trop humide par les animaux	Installation et exploitation : convenables
	Granulation de la structure		Graninées à racines annuelles. Du rée de la prairie égale ou supérieure à 3 ans. Labour de retourne-ment pas trop profond
	*		Obstacles aux racines : peu fréquents
			Gley : fréquents
			Inversion du profil : lors du retournement (labour couché)
			Labour trop profond et trop proche de l'installation de la culture pionnière.
			Sol trop humide

On voit apparaître clairement, sur ce tableau, non seulement les actions favorables mais aussi . les actions défavorables des matières organiques suivant la nature des apports : en effet, une fermentation trop rapide entraîne des phénomènes secondaires provoquant l'apparition de conditions réductrices : c'est pourquoi, il est recommandé d'assurer un mélange intime matière organique - sol, ce qui est un facteur de sécurité.

Voici maintenant un graphique, présentant schématiquement les divers types de stabilisation par les matières organiques.



Les résultats obtenus à partir d'expériences en laboratoire concordent à peu près avec les résultats obtenus à partir de techniques utilisées en plein champ. Evidemment, ces résultats sont très variables, suivant la nature et la quantité de matières enfouies, les conditions de leur incorporation et de leur fermentation. Mais de toutes façons, nous obtiendrons toujours une action stabilisatrice importante mais à court terme avec des engrais verts, une action moins spectaculaire, mais certaine à long terme avec une paille, des chaumes ou un fumier enfouis, et une action à double effet avec des prairies temporaires; en effet la formation, à partir des racines, de produits transitoires, soit avant le retournement (graminées à enracinement annuel) soit aussitôt après (graminées à enracinement pérenne) entraîne un accroissement important de la stabilité à court terme.

Puis la masse de matière sèche incorporée au sol évolue en humus stable, avec une action stabilisatrice à long terme. Nous pourrions ainsi obtenir un effet du même type, en cumulant l'enfouissement d'un engrais vert et celui de chaumes et pailles de céréales sur une même parcelle.

Il est également possible de jouer, dans le temps, avec des apports successifs plus ou moins variés, répondant aux besoins des sols: voici un point important dont l'agriculteur aura à tenir compte lorsqu'il organisera son assolement futur.

CONCLUSION DE LA 1ère PARTIE

Les faits qui viennent d'être exposés montrent bien l'importance fondamentale des matières organiques, la diversité et la complexité de leurs rôles.

Le problème "matière organique" se pose ainsi à tous les niveaux dans la conduite d'une exploitation; l'assolement envisagé, l'introduction de bétail, donc de prairies, avec leur mode d'exploitation et la densité de bétail choisie, les techniques culturales diverses pratiquées avec le matériel voulu, les fumures minérales, le mode d'utilisation des résidus de récolte et en particulier des pailles, joints aux problèmes de climat et de nature du sol, ont une incidence importante sur les résultats obtenus avec les fumures organiques.

C'est pourquoi il n'est absolument pas certain, pour un agriculteur, d'obtenir tel résultat à partir de tel apport de matière organique, du moins à court terme. Aussi l'agriculteur devra-t-il envisager une véritable "politique" à long terme des matières organiques, en jouant sur les différents facteurs que nous venons d'énumérer, en vue d'un objectif qu'il se sera fixé au préalable. Cet objectif pourra être soit le maintien d'un stock suffisant d'humus stable en compensant les pertes annuelles, soit l'augmentation progressive du taux d'humus stable par des apports supérieurs aux pertes constatées, soit, et c'est là un point nouveau, le maintien d'une stabilité suffisante en valorisant au maximum tous les produits transitoires provenant de la décomposition de la totalité des résidus de récolte.

L'idéal serait évidemment de maintenir dans le sol, un stock d'humus suffisant pour garantir une bonne stabilité, en tirant parti le plus possible des actions à court terme obtenues avec les divers apports organiques.

Ceci demande évidemment une bonne connaissance des diverses conditions - climat, nature du sol, appareil de production d'une exploitation afin d'adapter une "politique" matière organique quelconque à ces conditions.

B - 2ème PARTIE : Bilan organique en Champagne crayeuse

Introduction :

Nous venons de voir la nécessité, pour un agriculteur, de maintenir un certain taux de matière organique dans le sol. Nous savons que, d'une part, les matières fraîches incorporées au sol se transforment plus ou moins lentement avec un rendement très variable en humus, et que, d'autre part, l'humus déjà présent dans le sol se minéralise lentement. L'idéal serait évidemment de pouvoir estimer, par des moyens mathématiques, ces gains et ces pertes, ce qui permettrait à l'agriculteur de savoir, dans chaque cas, si les gains compensent les pertes.

Une telle estimation est d'autant plus difficile à établir que les conditions de milieu sont différentes. Aussi nous limiterons-nous au cadre de la Champagne crayeuse, où les exploitations, bien que diverses, ont toutes des sols de défriche plus ou moins anciens comparables, des besoins en matière organique très importants, nous le verrons, et un système cultural à peu près du même type, généralement et de plus en plus sans bétail.

Précisons également que notre estimation de bilan ne pourra porter, pour être valable, que sur les gains et les pertes concernant la couche arable, c'est à dire "la masse de sol qui est intéressée par le labour le plus profond de la rotation". C'est dans cette couche de sol que se trouve la majeure partie du stock de matière organique, et ce sont d'ailleurs les propriétés de cette couche qui intéressent surtout l'agriculteur.

I - Eléments d'un bilan :

1) Etude des sols de craie :

"Les sols, qui recouvrent la Champagne crayeuse, plus ou moins squelettiques, de faible épaisseur, reposent sur la roche carbonatée tendre, ou encore sur de la grève calcaire. Ils appartiennent par définition pédologique au groupe des rendzines, lesquelles désignent des sols carbonatés plus ou moins humifères, dérivant de la roche calcaire plus ou moins dure".

(Extrait d'un bulletin de l'AFES - par E. RADET, ancien directeur de la Station d'Agronomie de CHALONS S/MARNE.

"Propriétés agricoles des sols de craie de la Champagne").

Ces sols, qui dérivent de la craie ou de la grève calcaire, ont donc une couche arable peu épaisse (de 10 - 15 cm sur les crêtes et les pentes, à 35 - 40 cm dans les parties basses et les fonds) et reposent directement sur la roche mère (la craie).

D'après les microbiologistes, les microorganismes responsables de la décomposition des matières organiques se développent dans la zone superficielle, de 10 à 15 cm, aussi est-il recommandé d'enfouir les matières organiques fraîches peu profondément et de ne pas labourer au dessous de cette couche, afin de ne pas ramener de la terre stérile en surface, ce qui diluerait la terre riche en matière organique.

Dans les sols de craie, normalement pourvus, le taux de matière organique est d'environ 4 %, tandis que dans les sols de limons il est d'environ 2 %. Ceci peut nous étonner, puisque le calcaire, comme la chaux, favorise l'évolution des matières organiques dans le sol; les sols de craie sont extrêmement riches en carbonate de chaux (environ 70 % avec des écarts de 60 à 80 %). Cependant, nous savons que les particules de matière organique liée ou d'humus sont enrobées d'une pellicule qui les protège contre les agents microbiens et ralentit considérablement leur évolution dans le sol. L'acide carbonique en solution dans l'eau dissout cette pellicule calcaire en formant du bicarbonate de chaux, lequel reste en solution si la tension de gaz carbonique reste le même dans l'eau et dans l'air. Ce gaz carbonique CO₂ est produit dans le sol par les fermentations microbiennes : donc les apports de matière organique, en activant le travail des micro-organismes cellulolytiques, augmentent la production de gaz carbonique CO₂ et la solubilisation du calcaire, et la matière organique, ainsi délivrée de son revêtement calcaire, se consume beaucoup plus vite.

Il faut également remarquer que les terres de la champagne crayeuse sont, dans l'ensemble, des terres de défriche, et que la teneur en matière organique de ces terres diminue sensiblement avec leur mise en culture.

Ainsi, dans une parcelle de défriche de pins mise en culture, le taux de matière organique peut varier de 5,5 à 8 %; les premières années de culture, on observe une décomposition rapide de la matière organique, mais après 4 à 6 ans, elle se stabilise aux environs de 4 %.

Dans les sols de vieille culture, le taux de matière organique peut varier entre 3,2 et 5,8 % de terre fine. On observe d'ailleurs, avec le vieillissement des parcelles mises en culture, une lente diminution de la stabilité structurale.

Voici un tableau établi par Monsieur MONNIER regroupant les résultats concernant les deux tests de stabilité structurale (analyse d'agrégats et perméabilité) effectués sur des parcelles défrichées depuis des laps de temps variable.

Evolution des sols après défrichement en Champagne.

Désignation des sols	M.O. totale %	M.O. liée %	Stabilité structurale (moyenne)	
			log 10 S	log 10 K
<u>1ère catégorie</u>				
Terres défrichées n° 1	5,1			
depuis moins de 15 ans n° 2	6,7	4,82		
n° 3	4,7			
n° 4	4,0			
Moyenne	5,12		0,71	2,21
<u>2ème catégorie</u>				
Terres défrichées n° 5	3,7	3,15		
depuis plus de 15 ans et moins de 50 ans n° 6	3,75			
n° 7	3,65			
Moyenne	3,7		0,88	2,01
<u>3ème catégorie</u>				
Terres défrichées n° 8	3,3			
depuis plus de 50 ans n° 9	2,6			
n° 10	2,8	2,38		
n° 11	3,0			
Moyenne	2,91		1,13	1,65

On attribue la baisse progressive de la stabilité structurale enregistrée à la décroissance du taux de matière organique. C'est pour quoi il faudra veiller tout particulièrement à maintenir un taux de matière organique correct dans les terres de Champagne crayeuse défrichées depuis longtemps si l'on veut éviter des accidents de structure du sol.

Retenons seulement que dans les terres de défriche récente (de 0 à 15 ou 20 ans) il serait souhaitable de maintenir le taux de matière organique totale aux environs de 4 %, et que dans les terres de vieille culture (terres défrichées depuis plus de 20 ans) il serait bon de ne pas descendre au-dessous de 3,5 % de matière organique. C'est donc sur les taux de matière organique souhaitables (4 % - 3,5 %) que nous fonderons notre étude.

Nous allons maintenant essayer d'évaluer les pertes éventuelles, et les gains possibles qui nous permettront de combler ces pertes et de nous maintenir au niveau correct que nous venons de déterminer.

2) Les pertes -

Nous savons que la matière organique liée du sol qui constitue la réserve d'humus, n'est pas complètement morte, mais se minéralise lentement; bien qu'il n'y ait aucune certitude quant à la valeur du taux de destruction de cet humus, on estime généralement qu'il se décompose à raison de 1 à 2 % de sa masse par an.

Nous ne reviendrons pas sur les facteurs susceptibles d'accélérer ou de retarder cette vitesse d'évolution de l'humus dans le sol; nous les avons vus au cours de notre première partie. En fait, on suppose que, dans les terres calcaires de Champagne qui nous intéressent, le taux annuel de décomposition du stock d'humus est d'environ 1 %.

Ce stock d'humus est lui-même fonction du taux de matière organique et de la masse de terre. Pour un hectare de terre, le stock d'humus est égal au produit du poids de terre arable par le taux d'humus contenu dans cette couche de terre. Ainsi les pertes pourront varier du simple au double suivant le taux d'humus, la profondeur du labour et la quantité de cailloux présents dans le sol.

Voici un tableau établi par Monsieur MONNIER, qui démontre bien ceci, et met en évidence les besoins importants de matière organique en Champagne crayeuse.

Sol	Profondeur max. du labour	taux M.O. de sol	Kg. terre fine/dm ³ de place	Poids de la couche arable	Stock d'humus	Pertes annuelles
Unités	(cm)	%	Kg.	t/ha	t/ha	Kg/ha.
Limon blanc de Normandie	20	1,8	1,5	3000	54	540
Limon rouge du Bassin Parisien	30	2,0	1,5	4500	90	900
Terre de Groix du Poitou	15	4,0	1,1	1650	66	660
Terre blanche sur craie de Champagne	20	4,0	1,4	2800	112	1120

Pertes annuelles en humus de quelques sols cultivés.

Précisons que, dans chaque cas, la teneur en matière organique indiquée correspond à un état physique satisfaisant, donc qu'il convient de conserver. Quant aux autres chiffres indiqués, ce sont des chiffres moyens comparables d'une région à l'autre.

Ainsi, pour la profondeur maximum de labour, le coefficient choisi est 20 cm pour la Champagne crayeuse; nous avons vu que la couche arable pouvait varier, d'un extrême à l'autre, de 10 à 40 cm; en fait nous estimerons que la profondeur de labour peut varier de 15 à 30 cm suivant les exploitations. Aussi, en fonction de cette variation, nous aurons des pertes d'humus allant de 840 Kg/ha à 1680 Kg/ha, variant en fait, du simple au double ! Ces chiffres sont, bien sûr, extrêmes.

En général, on estime à 1000 - 1200 Kg/ha les pertes d'humus en terre de Champagne.

Nous nous fonderons donc sur ces chiffres pour évaluer les reconstitutions nécessaires, en sachant que, dans les cas extrêmes, ces

pertes peuvent être de 800 à 1500 Kg/ha et par an.

3) Les restitutions -

Les restitutions de matière organique, dans le cadre même d'une exploitation agricole, sont constituées essentiellement par les résidus de récolte, c'est à dire "la partie du système racinaire et des organes aériens qui restent à la surface ou à l'intérieur du sol lorsque la récolte proprement dite a été enlevée". Chaque culture pratiquée dans l'assolement fournit ainsi une certaine quantité "gratuite" de matières organiques fraîches, très variable suivant la nature de la culture pratiquée et les rendements obtenus.

Dans le cas des céréales, une partie des résidus sera obligatoirement restituée au sol : ce sont les chaumes et les racines, tandis qu'une autre partie pourra ou non être restituée suivant sa destination, c'est la paille. Cette paille pourra soit être enfouie, soit être brûlée, soit être enlevée pour être ensuite soit vendue, soit transformée en fumier que l'on pourra soit vendre, soit restituer au sol ! L'enfouissement de pailles ou de fumier ne peut donc être considéré comme une source "gratuite" d'humus, puisque l'agriculteur aurait la possibilité de les vendre au lieu de les enfouir.

Nous considérerons donc que l'enfouissement de pailles et de fumier est un amendement organique, au même titre qu'un engrais vert, ou qu'un apport de tourbe, de goémon, de varech ou de gadoues.

a- Les résidus de récolte -

Les résidus de récolte proviennent des diverses cultures pratiquées dans l'assolement, c'est à dire, principalement

	Betteraves (racines, verts, collets)
	Pommes de terre (racines, tiges non enfouies)
<u>Têtes de rotation</u>	Colza (racines, chaumes, pailles, siliques)
<u>Précédents à blé</u>	Maïs (racines, chaumes, cannes)
	Luzerne (racines, verts)
	Prairies temporaires (racines,verts)
	Graminées/ Fourragères (racines, verts)
	à graines (racines, chaumes, paille)

Céréale principale

Blé (racines, chaumes, pailles)

Orge (racines, chaumes, pailles)

Céréales secondaires

Avoine (racines, chaumes, pailles)

Escourgeon (racines, chaumes, pailles)

Ce sont, en fait, les cultures essentielles que l'on rencontre dans les assolements courants de Champagne sèche.

Quelques estimations du rendement en humus de ces diverses restitutions ont été faites par certains chercheurs de l'INRA, en collaboration avec quelques CETA, notamment par monsieur HEBERT (directeur de la station agronomique de l'Aisne) qui, avec le CETA du Marlois, a réalisé une étude considérable sur ce sujet il y a une douzaine d'années

Nous nous appuyerons également sur les résultats obtenus, en Champagne crayeuse, à partir d'essais effectués principalement dans les CETA de VITRY-le-FRANCOIS et de ROMILLY, contrôlés, pour certains, par la station agronomique de la Marne, avec monsieur RADET (ancien directeur) et monsieur DUTIL (directeur actuel), et pour d'autres, par l'INRA de VERSAILLES, avec monsieur HENIN et monsieur MONNIER.

Il nous faut néanmoins être très prudent quant à l'exploitation de ces résultats, car, d'une part, ils sont fonction de la masse des apports, chose très difficile à évaluer d'autant plus qu'elle est elle-même fonction des rendements, et d'autre part, ils sont calculés d'après un coefficient appelé coefficient isohumique et qui exprime le rendement en humus suivant chaque type d'apports, comme nous l'avons vu au cours de notre première partie.

Rappelons que ce coefficient est de l'ordre de 0,15 pour les résidus de plantes annuelles, tels que les racines et les chaumes et 0,20 pour les résidus de prairies et plantes fourragères.

S'il est difficile d'estimer la quantité de racines laissée dans le sol par telle culture, il est encore plus difficile d'estimer le rendement en humus de ce seul résidu de racines ! Le chiffre 0,15 a, en fait, été établi d'après la teneur en cellulose et la fermentescibilité de ces divers éléments et c'est, soulignons-le, un chiffre approximatif, global, car il est bien évident que ces diverses cultures ne laissent pas des résidus identiques en nature et en répartition en parties aériennes et souterraines: ainsi les résidus d'une prairie sont-ils constitués principalement de racines peu lignifiées, tandis que

les résidus de betteraves sont constitués essentiellement de feuilles vertes et de collets laissés en surface.

Nous allons donc essayer, approximativement, d'évaluer le rendement en humus des restitutions pour chaque culture considérée, suivant le rendement en matière sèche de ces résidus.

Nous distinguerons ainsi trois colonnes de chiffres : une colonne correspondant aux faibles rendements et une colonne correspondant aux bons rendements, une troisième colonne nous donnera les rendements moyens d'une bonne exploitation.

Restitutions humiques de diverses cultures -

(* d'après M. MONNIER - e d'après M. DEFALQUE)

Cultures	Faibles rendements		Bons rendements		rendements moyens		Coeff. isoh.
	tonnes de matière sèche/ha	Kg d'humus/densité	tonnes de matière sèche/ha	Kg d'humus/densité	tonnes de matière sèche/ha	Kg d'humus/densité	
Betteraves à sucre *	3	450	6	900	5	750	0,15
Pommes de terre e	très faible	négligeable	0,5	75	0,3	45	0,15
Colza (pailles enfouies) e	4	480	6	720	5	600	0,12
Maïs (cannes enfouies) *	4	500	7	1050	5	750	0,12
Luzerne 2 ans *	5	500	8	800	7	700	0,20
Prairies temporaires 3 ans *	15	750	18	900	17	850	0,15
Graminées à graine 3 ans (pailles enfouies) e	10	500	15	750	13	650	0,15
Blé (pailles exportées) *	2	300	4	600	3	450	0,15
Orge (pailles exportées) *	1	150	2	300	1,5	225	0,15
Avoine (pailles exportées) e	1	150	3	450	2	300	0,15
Escourgeon (pailles exportées) e	1	150	3	450	2	300	0,15

Précisons bien que ces chiffres sont approximatifs et qu'ils peuvent varier d'une année à l'autre. Il n'en reste pas moins qu'ils sont représentatifs d'exploitations moyennes courantes en Champagne crayeuse, où la mécanisation est assez développée et l'intensification assez poussée.

Il serait possible de les améliorer tant soit peu en augmentant les rendements par des processus tels que l'irrigation, par exemple, ce qui peut être valable dans le cas de la betterave sucrière ou du maïs mais le serait moins pour les céréales ou les graminées.

Ces chiffres permettent en outre une bonne comparaison des restitutions des diverses cultures, celles-ci étant réalisées dans des conditions semblables.

Ainsi, que ce soit dans une exploitation à faible niveau productif, dans une exploitation à haut niveau productif, ou dans une exploitation moyenne, la prairie temporaire, la luzerne, les betteraves sucrières et le maïs auront toujours des restitutions plus importantes que le colza ou les céréales, et les pommes de terre auront toujours des restitutions à peu près nulles.

b- La paille et le fumier

Nous avons vu que les pailles de céréales peuvent être soit brûlées, soit enfouies, soit enlevées et restituées au sol sous forme de fumier, dans la mesure où l'exploitation comporte un élevage quelconque, à moins que l'exploitant ait la possibilité d'acheter du fumier à l'un de ses voisins ! Dans le premier cas, la restitution en humus sera à peu près nulle, par contre l'agriculteur y gagnera une somme de temps non négligeable à une époque de l'année très chargée.

Dans le deuxième cas, la restitution sera de l'ordre de 100 kg. d'humus par tonne de matière sèche enfouie, le coefficient iso-humique étant de l'ordre de 0,10, par contre, l'agriculteur aura à broyer ses pailles avant de les enfouir s'il veut obtenir une décomposition correcte de ces pailles, ce qui n'est guère certain et cela pose des difficultés, nous le verrons au cours de notre troisième partie.

Enfin, dans le dernier cas, pour une tonne de matière sèche de fumier épandue, on obtient 200 à 400 Kg. d'humus.

Le coefficient isohumique variant généralement de 0,20 à 0,40 suivant l'état de décomposition de la matière sèche, la main d'oeuvre exigée par l'épandage et l'enfouissement du fumier est considérable, cependant l'agriculteur a la possibilité de faire ces travaux pendant l'hiver, avant les semis de printemps, c'est à dire à une époque où la main d'oeuvre est disponible.

Ajoutons que l'agriculteur peut, à son gré, apporter du fumier peu, moyennement ou très décomposé, qu'il peut en apporter la quantité qu'il désire, selon ses besoins et ses disponibilités évidemment, et aussi fréquemment qu'il le veut.

Nous pourrions essayer d'estimer ici la production annuelle de fumier par catégorie d'animal; cependant, cette production étant fonction de la quantité de paille apportée à la litière et le rendement en humus étant fonction de la teneur en eau du fumier produit, il semble prudent de s'en abstenir.

Nous pouvons par contre estimer la production annuelle de paille, qui est d'environ 4 à 5 tonnes par hectare pour le blé, du moins avec les variétés actuelles courantes telles que Cappelle ou Champlain, les petites variétés telles que Rex ne donnant guère que 3,5 tonnes de paille, qu'elle est légèrement supérieure pour l'avoine : environ 5 à 6 tonnes de MS/ha, légèrement inférieure pour l'orge : de 2 à 4 tonnes de MS/ha, et à peu près du même ordre pour l'escourgeon : 4 à 5 tonnes de MS/ha.

Ces chiffres sont là aussi approximatifs, étant donné qu'ils peuvent varier avec les variétés, comme dans le cas du blé.

Nous allons maintenant récapituler tout ceci dans un tableau.

Rendements en humus des pailles

Nature de l'apport	Coef. isohum.	Faibles Apports		Bons Apports		Apports Moyens	
		tonnes de MS/ha	Kg. humus/ha	tonnes de MS/ha	Kg. humus/ha	tonnes de MS/ha	Kg. humus/ha
<u>Paille brûlée</u>			Faible		Faible		Faible
<u>Paille enfouie</u>							
Blé	0,10	4	400	5	500	4,5	450
Orge	0,10	2	200	4	400	3	300
Avoine	0,10	5	500	6	600	5,5	550
Escourgeon	0,10	4	400	5	500	4,5	450
<u>Apport de fumier</u>							
bien décomposé	0,40	5	400	10	800	8	640
Moyt. décomposé	0,30	5	300	10	600	8	480
<u>tous les 5 ans</u>	0,20	5	200	10	400	8	320

En général, la paille enfouie est celle du champ, donc la masse d'apport est fonction du rendement à l'hectare tandis que, pour le fumier, la masse enfouie est celle que l'exploitant décide d'épandre, en fonction, d'une part, de ses besoins, et d'autre part, de ses disponibilités.

Les chiffres portés ici le sont uniquement pour donner une indication de ce qui est réalisable.

Précisons également qu'il est conseillé d'épandre le fumier sur les têtes d'assolement (betteraves, pommes de terre, maïs...), et que l'épandage peut se renouveler quand l'exploitant le désire, quand il estime que c'est nécessaire. Ainsi, en admettant que l'épandage se renouvelle tous les 5 ans, pour un apport de 8 tonnes/hectare, nous aurons un rendement annuel en humus de 640 Kg. avec un fumier bien décomposé, de 480 Kg. avec un fumier moyennement décomposé, et de 320 Kg. avec un fumier pailleux.

Il s'ensuit que l'agriculteur ayant la possibilité d'épandre du fumier doit penser et établir à l'avance un véritable programme où seront déterminées les dates et les doses des apports. Il semble à priori que la restitution de paille sous forme de fumier, pour les mêmes quantités, fournisse une somme d'humus beaucoup plus avantageuse, compte tenu du rendement humique que la restitution de paille seule; cependant, compte tenu du prix de revient (main d'oeuvre et machines à épandre) et des nombreuses contraintes que l'élevage entraîne, il n'est pas certain, à postériori, que cette solution soit plus avantageuse. En outre, l'enfouissement de paille n'a pas les mêmes conséquences agronomiques que l'enfouissement de fumier, surtout de fumier très décomposé; ce dernier ne donnant pas de produits transitoires dont l'action sur la stabilité structurale, bien que de courte durée, n'en est pas moins spectaculaire.

c- Les engrais verts

Les agriculteurs ont la possibilité, entre la récolte d'une culture et le semis de la culture suivante, de faire un engrais vert, à condition que la récolte de la première culture ne soit pas trop tardive et que le semis de la deuxième culture soit au printemps.

C'est pourquoi on fait généralement un engrais vert entre la récolte d'un blé, ou d'une céréale secondaire et le semis d'une culture de printemps telle que l'orge de printemps ou la betterave sucrière.

Ce sont, en fait, des cultures "installées dans le but de fournir de la matière végétale qui sera enfouie dans le sol" donc destinées principalement à apporter de la matière organique fraîche au sol.

Suivant leur origine - légumineuses, graminées ou crucifères - ces engrais verts présentent des proportions parties aériennes - racines différentes, et un degré de lignification variable au moment de l'enfouissement.

Cependant ce degré de lignification est également fonction du climat et du stade végétatif de l'engrais vert. Aussi l'agriculteur devra-t-il choisir avec soin la date de l'enfouissement.

Voici un tableau établi par M. MONNIER et donnant la masse végétale fournie par divers engrais verts et leur répartition en parties aériennes et souterraines.

Nous avons vu, au cours de notre première partie, que ces engrais verts se décomposent très vite, avec un rendement en humus stable à peu près nul.

Il semble que les coefficients isohumiques de ces engrais verts sont d'autant plus faibles que l'engrais vert est plus jeune, donc moins lignifié, et que la masse de ses racines par rapport à la masse végétale totale est plus faible.

Il faudrait, en fait, qu'un Ray Grass Italien, ou autre culture du même type reste plus de six mois en place pour obtenir un rendement sensible en humus.

Aussi, nous ne chiffrerons pas ici le rendement en humus de ces engrais verts, et estimerons que celui-ci est à peu près nul.

Masse végétale fournie par divers engrais verts.

Espèce	Culture	Parties aériennes (t/ha)	Racines (t/ha)	Total (t/ha)
Graminées	Ray-Grass Italien	2,5	9,5	12
	Vesce	5,3	3,8	9,1
Légumineuses	Trèfle incarnat	6,8	3,5	10,3
	Pois d'hiver	4,5	2,8	7,3
	Siletta	2,95	2,6	5,55
Crucifères	Colza lito (faibles rendements)	4,4	4,2	8,6
	Colza lito (forts rendements)	10,1	4,3	14,4

d- Sources d'humus extérieures de la ferme

Nous ne ferons que les citer, n'ayant pas suffisamment d'informations à ce sujet. Sachons simplement qu'un exploitant a la possibilité de faire des amendements organiques divers soit avec des produits à base de tourbe, soit avec des produits à base d'ordures ménagères fermentées, comparables à des fumiers artificiels.

Ces produits s'achètent dans le commerce, aussi le problème de la rentabilité se pose-t-il à l'exploitant susceptible de les utiliser

Nous avons donc fait le tour des diverses possibilités de restitutions humiques, de "gains", qui devraient combler les pertes.

Les chiffres rapportés sont des chiffres moyens, et il y a bien sûr des possibilités pour l'agriculteur d'augmenter ses rendements en humus en augmentant les rendements de ses récoltes, c'est à dire en intensifiant davantage par l'action des engrais minéraux, par l'utilisation de variétés adaptées, par l'amélioration des techniques culturales et par le choix d'un assolement approprié.

Ce dernier critère nous amène à envisager le problème du bilan humique, dans une optique nouvelle, à long terme.

Nous allons voir comment, par l'organisation d'une rotation de cultures diverses, il est possible de prévoir pour plusieurs années le maintien d'un stock d'humus indispensable

II - Les bilans humiques :

Dans un premier temps, nous ferons le bilan des assolements classiques tels qu'ils se font couramment en Champagne crayeuse, sans prévisions au préalable au niveau humique.

Dans un deuxième temps, nous analyserons le solde de ce bilan et envisagerons les diverses façons possibles de l'interpréter et d'en tirer parti.

Enfin dans un dernier temps, nous verrons comment un agriculteur scrupuleux doit prévoir son assolement en tenant compte du facteur humique, ceci en fonction d'un certain système cultural.

1) - Bilan des assolements courants :

a- assolement à base de betteraves à sucre et de blé.

C'est le cas de l'exploitation intensive, sans bétail, qui possède un certain contingent de betteraves et ne fait pas de pommes de terre.

Assolement à base de betteraves à sucre et de blé

Kg. humus

Betteraves à sucre	750
Blé (pailles enlevées)	450
Blé (pailles enfouies)	900

Engrais vert

Colza	600
Blé (pailles enfouies)	900
Dactyle (graines) 3 ans	1950
Blé (pailles enfouies)	900

Engrais vert

Escourgeon (pailles enfouies)	750
Betteraves	750
Blé (pailles enfouies)	900
Colza	600
Blé (pailles enfouies)	900

Engrais vert

Total pour 14 ans 10350

soit par an = 740 Kg. humus

Ceci avec des rendements moyens. Avec une intensification un peu plus poussée, on peut obtenir = 895 Kg. d'humus/an

b- Assolement à base de céréales et de fourrage.

C'est le cas de l'exploitation traditionnelle de polyculture avec élevage, plus ou moins intensifiée selon le cas.

Assolement à base de céréales et de fourrage

	Rendements moyens	Exploit.+ intensi- vès
Luzerne 2 ans	1400 Kg humus/an	1600 Kg humus/an
Blé (pailles enlevées)	450	600
Avoine (pailles enlevées)	300	450
Betterave	750	900
Blé (pailles enlevées)	450	600
Orge (pailles enlevées)	225	300
Prairie temporaire 3 ans	2250	2700
Blé (pailles enlevées)	450	600
Avoine (pailles enlevées)	300	450
Colza	600	720
Blé (pailles enlevées)	450	600
Orge (pailles enlevées)	225	300
Fumier 24 tonnes	7200	7200
<u>Total pour 15 ans</u>	<u>13040</u>	<u>17070</u> Kg humus/ha
<u>soit pour 1 an =</u>	<u>870</u>	ou <u>1120</u> Kg humus/an

On a supposé une production annuelle de 8 tonnes de fumier par U G B, ce qui entraîne un chargement de 3 U G B pour 15 ha de S A U, soit 1 U G B par ha de S F P.

Sur une exploitation de 30 hectares, il faudrait 6 U G B, sur une exploitation de 60 ha il en faudrait 12, sur une exploitation de 90 ha il en faudrait 18, et sur une exploitation de 120 ha il en faudrait 24, ce qui semble fort réalisable.

c- Assolement type polyculture sans élevage.

C'est le cas de l'exploitation traditionnelle, qui fait un peu de tout, n'a pas un gros contingent en betteraves, et ne fait pas de pommes de terre, ni de graminées fourragères qui sont des cultures un peu spéciales.

Assolement type polyculture sans élevage

Betterave à sucre	750	Kg humus/ha
Blé (pailles enfouies)	900	
Orge (pailles enfouies)	525	
Colza	600	
Blé (pailles enfouies)	900	
Avoine (pailles enfouies)	850	
Maïs (cannes enfouies)	750	
Blé (pailles enfouies)	900	
Escourgeon (pailles enfouies)	750	

Total pour 9 ans 6925 Kg d'humus/ha

soit pour 1 an = 770 Kg d'humus/ha

L'exploitation de faisant pas d'élevage, il n'y a pas de cultures fourragères, la paille n'est généralement pas enlevée, et il n'y a pas d'apports de fumier.

Ce genre d'exploitation, à base de céréales, est généralement moins intensif que dans le premier cas .

Cependant, avec de meilleurs rendements, il serait possible d'obtenir des restitutions en humus de 8220 Kg par hectare pour 9 ans soit = 915 Kg/ha

d- Assolement avec pommes de terre.

Ce genre d'assolement est moins répandu dans la région. On le trouve principalement dans des exploitations intensives, bien mécanisées, qui n'ont pu avoir un gros contingent de betteraves ou qui ont des difficultés d'ordre parasitaire avec leur colza.

Pomme de terre	45	Kg humus/ha
Blé (pailles enfouies)	900	

Engrais vert

Escourgeon (pailles enfouies)	750
Betteraves	750
Blé (pailles enlevées)	450
Blé (pailles enlevées)	900

Engrais vert

Fètuque (graines) 3 ans	1950	
Blé (pailles enfouies)	<u>900</u>	
<u>Total pour 10 ans</u>	6645	Kg humus/ha
<u>soit par an</u> =	665	Kg humus/ha

Ceci avec des rendements moyens.

Cependant, dans une exploitation intensive, les rendements sont généralement plus élevés; aussi avec des rendements plus forts, les restitutions annuelles en humus seront de l'ordre : 800 à 810 Kg / ha

e- Assolement maïs sur maïs.

Dans certaines exploitations, généralement intensives, où les rendements en maïs sont bons dans certaines parcelles, l'agriculteur fait du maïs sur maïs sur ces parcelles pendant autant d'années qu'il le désire, et sans pour cela observer de conséquences néfastes sur la parcelle. On aurait même tendance à enregistrer de meilleurs rendements en seconde année.

Avec un maïs à 50 quintaux, les restitutions seront de l'ordre de 750 Kg d'humus/ha/an.

Avec un maïs à 60 quintaux, les restitutions seront de l'ordre de 900 Kg d'humus/ha/an.

Avec un maïs à 70 quintaux, les restitutions seront de l'ordre de 1050 Kg d'humus/ha/an.

Avec un maïs à 80 quintaux, (en général avec irrigation), les restitutions seront de l'ordre de 1200 Kg d'humus/ha/an.

2) Analyse de ces bilans "humiques" -

Nous venons d'évaluer les restitutions humiques pour 5 types d'assolements. Il existe bien sûr d'autres types d'assolement, mais en fait ils sont moins caractéristiques, et varient parfois à peu de choses près. En fait les 5 assolements choisis sont des assolements typiques, que l'on rencontre fréquemment en Champagne crayeuse. On aurait pu d'ailleurs présenter nos bilans différemment :

- 1 - exploitation intensive sans bétail : Assolements n°1, n°4 et n°5
- 2 - exploitation intensive avec bétail : Assolument n°2 avec bons rendements
- 3 - exploitation traditionnelle de polyculture sans élevage : assolement n°3
- 4 - exploitation traditionnelle de polyculture avec élevage : assolement n°2 avec rendements moyens.

On met ainsi en évidence 4 types d'exploitations courantes, représentatifs de la plupart des exploitations de Champagne crayeuse.

Il est bien évident que ces exploitations ont parfois le même type d'assolement à une ou deux variantes près.

Cependant, où la différence intervient, c'est principalement au niveau des rendements. Une exploitation intensive, pour les mêmes productions données, aura généralement des rendements supérieurs à ceux d'une exploitation traditionnelle, moins bien mécanisée, aux techniques culturales moins bien adaptées.

L'exploitation intensive sera mieux armée pour réussir des productions un peu spéciales telles que les graminées ou les pommes de terre.

a- Exploitation intensive sans bétail.

C'est le cas de la plupart des grosses exploitations, d'une partie des moyennes exploitations et de quelques petites exploitations.

L'assolement le plus fréquent est l'assolement n°1, où le blé est la principale culture, les betteraves à sucre et le colza les principales têtes d'assolement.

Avec de bons rendements, et en enfouissant la presque totalité des pailles, il est possible d'obtenir des restitutions humiques de l'ordre de 850 à 900 Kg d'humus par an, ce qui réduit les pertes annuelles à 200 - 300 Kg/ha dans le cas des terres de défriche récente, et à 100 - 150 Kg/ha dans le cas des terres de vieille culture.

Certaines exploitations font de la pomme de terre au lieu du colza, ce qui entraîne une perte d'humus supplémentaire d'environ 100 Kg/ha/an. Ces exploitations n'ont généralement pas la possibilité d'apporter du fumier. D'autre part, comme elles enfouissent la presque totalité de leurs pailles, sauf dans le cas d'un blé sur blé où l'on craint la propagation du piétin, elles n'ont guère de ressources supplémentaires

pour réduire davantage leurs pertes en humus. Tout au plus peuvent-elles faire un engrais vert de temps à autre dans l'espoir d'obtenir une meilleure décomposition de leurs pailles, et intensifier encore davantage, si c'est possible, par apport d'engrais minéraux plus massifs ou installation d'irrigation, encore faut-il que ces deux solutions soient économiquement rentables.

Dans les parcelles maïs sur maïs, lorsque les rendements sont autour de 70 quintaux, on n'observe généralement pas de pertes importantes au niveau humique .

Avec des rendements de 50 à 60 quintaux, les pertes seront de 2 à 300 Kg/ha/an, c'est à dire du même ordre qu'avec les assolements 2 et 3.

b- Exploitation intensive avec bétail.

C'est la minorité des exploitations intensives. L'assolement le plus fréquent est l'assolement n°2, à base de céréales et de fourrages.

Le système cultural est à peu près le même que dans une exploitation moins intensive, plus traditionnelle, à la grande différence que dans l'exploitation intensive il n'y a généralement qu'un type d'élevage, que la mécanisation y est plus poussée, les façons culturales plus étudiées... Les pailles sont pratiquement toutes ramassées et restituées au sol sous forme de fumier, ce qui est une grosse contrainte pour l'agriculteur. Avec de bons rendements et du fumier, les restitutions humiques annuelles sont d'environ 1100 à 1150 Kg., ce qui compense quasi totalement les pertes. Cependant, sans fumier, les restitutions annuelles seraient inférieures à 700 Kg. Toujours sans fumier, et en enfouissant toutes les pailles, en supposant que celles-ci se décomposeraient correctement, les restitutions annuelles seraient d'environ 900 Kg/ha, c'est à dire à peu près comme dans les exploitations intensives sans bétail.

Nous pouvons donc penser que le fait d'enlever les pailles et de les restituer sous forme de fumier compense les pertes qui subsistent après restitutions dans le cas des fermes sans bétail. Voyons si le phénomène est le même dans le cas d'exploitations moins intensives.

c- Exploitation traditionnelle de polyculture sans élevage.

C'est le cas de quelques grosses exploitations, d'une bonne partie des exploitations moyennes et d'une partie des petites exploitations.

Ces exploitations ont généralement un assolement du type n°3 à base de céréales, les têtes d'assolement sont généralement la betterave, le colza et parfois le maïs. Les graminées fourragères sont assez rares.

Ce sont d'anciennes fermes à élevage qui ont supprimé le bétail du fait des nombreux problèmes, main d'oeuvre et rentabilité entre autres, qui se posaient. Il n'y a donc plus de prairies ou de luzerne, et ces fermes, n'ayant pas de gros contingent de betteraves, ont fondé leur assolement sur les céréales. Les pailles sont généralement enfouies, parfois brûlées, par commodité, parfois ramassées pour être vendues.

La décomposition des pailles n'est pas toujours excellente, les engrais verts ne sont pas fréquents, et les rendements sont généralement moyens. Ceci entraîne des restitutions humiques annuelles de l'ordre de 750 à 800 Kg./ha.

Il en résulte des pertes annuelles de 3 à 500 Kg./ha qui ne sont pas comblées et entraînent souvent une baisse rapide du stock humique dans le sol et parfois des accidents de structure graves dus à une mauvaise stabilité structurale.

d- Exploitation traditionnelle de polyculture avec élevage.

C'est le cas de quelques exploitations moyennes et d'une bonne partie des petites exploitations. L'assolement le plus fréquent est du type n°2, à base essentiellement de céréales et de cultures fourragères.

Les pailles sont pratiquement toutes ramassées et restituées sous forme de fumier. Les rendements y sont généralement moyens. Aussi, avec un apport de fumier de 8 tonnes tous les 5 ans, on évalue les restitutions humiques annuelles à 850 - 900 Kg./ha, ce qui entraîne des pertes annuelles qui ne sont pas comblées de l'ordre de 200 Kg./ha.

Sans apport de fumier, les restitutions seraient de l'ordre de 400 Kg./ha/an. Sans fumier et avec enfouissement des pailles, les restitutions seraient de l'ordre de 620 Kg./ha/an c'est à dire environ 100 Kg. de moins que dans les exploitations traditionnelles sans élevage.

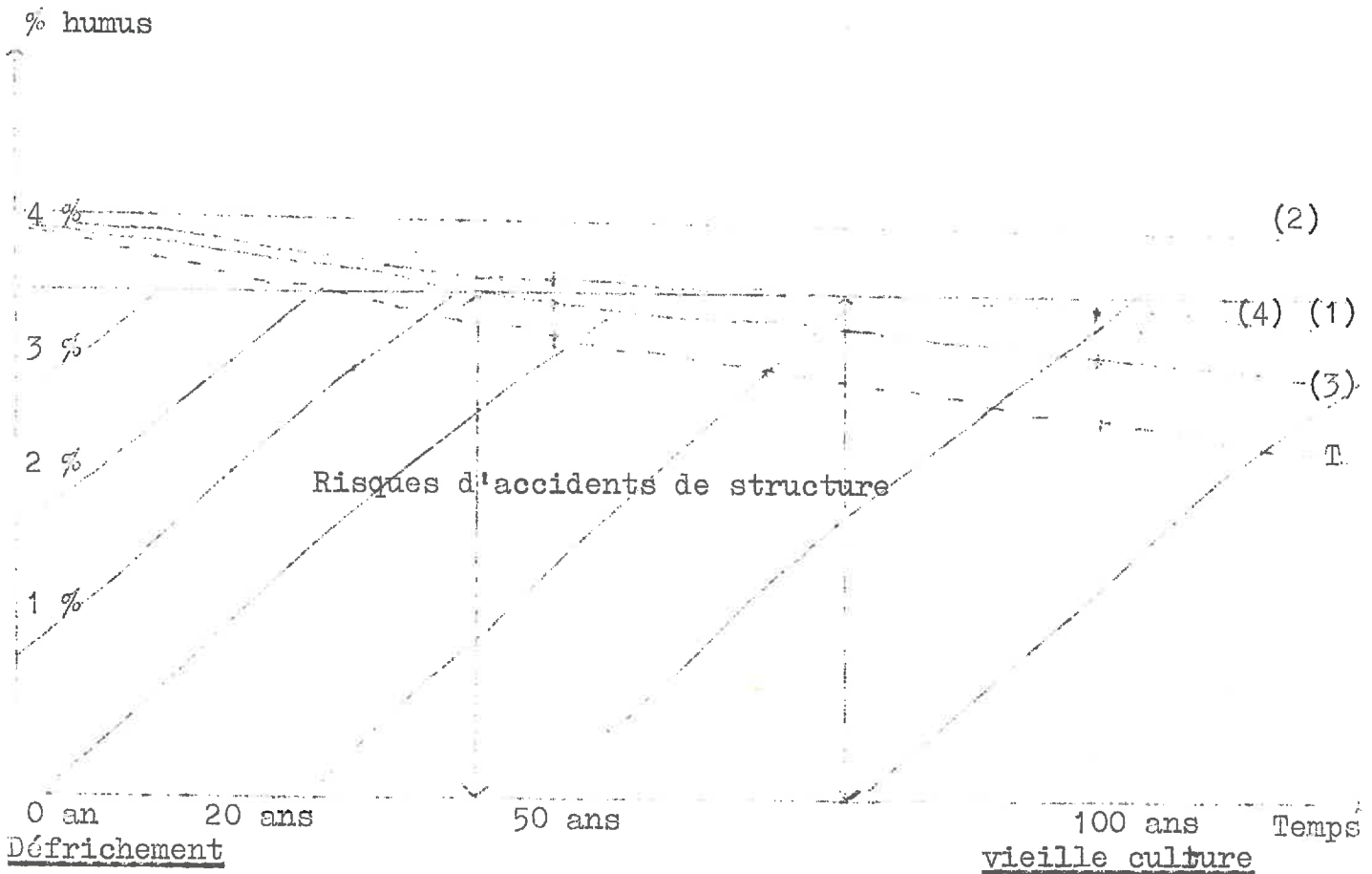
Il faudrait en fait un apport de fumier de l'ordre de 18 à 24 tonnes tous les cinq ans au lieu de 8, soit de 90 à 120 tonnes tous les 15 ans au lieu de 24 tonnes, c'est à dire un apport supplémentaire de fumier de 10 à 16 tonnes tous les 5 ans ou de 65 à 95 tonnes tous les 15 ans afin de combler totalement les pertes annuelles d'humus. Ce qui est en principe irréalisable dans ces exploitations où le bétail n'est pas véritablement important. Aussi, de même que dans les exploitations intensives sans bétail, on enregistre une baisse progressive du niveau humique des sols, moins spectaculaire cependant que dans les exploitations traditionnelles sans élevage.

Nous allons essayer de comparer l'évolution du niveau humique des terres dans le temps, en schématisant, graphiquement, ce qui se passe dans chaque type d'exploitation, ainsi que ce qui se passerait dans une exploitation qui ne recevrait ni fumier ni pailles enfouies.

Nous figurerons également le taux seuil au niveau de 3,5 % de matière organique, taux à ne pas dépasser sous risque d'accidents de structure (voir tableau suivante).

Evolution du taux de matière organique dans le sol
suivant l'assolement pratiqué et le système cultural.

- 53 -



- (1) exploitation intensive sans bétail
- (2) exploitation intensive avec bétail
- (3) exploitation traditionnelle de polyculture sans bétail
- (4) exploitation traditionnelle de polyculture avec bétail
- T: exploitation qui ne recevrait ni fumier ni pailles enfouies.

Conclusion :

De nombreux facteurs influencent les bilans humiques : la nature du sol, le système cultural avec le choix des productions, l'assolement pratique, les façons culturales, la mécanisation..., les rendements et les conditions climatiques sont autant de facteurs qui interviennent à des niveaux différents.

C - 3ème PARTIE - Problèmes liés à la décomposition des pailles.

Introduction :

Nous venons de voir la nécessité, pour l'agriculteur champenois sans bétail, d'enfouir au moins une partie de ses pailles de blé ou d'autres céréales.

Cependant cette technique d'enfouissement présente de telles difficultés que certains agriculteurs préfèrent parfois les brûler.

Il y a tout d'abord le problème de la consommation d'azote minéral par les micro-organismes responsables de la décomposition, qui peut concurrencer la nutrition azotée des cultures. Il y a aussi les risques d'asphyxie des racines de cultures voisines provoqués parfois par des fermentations trop brutales. Il se peut également que les pailles servent d'abri à certaines formes parasitaires susceptibles de contaminer la culture suivante.

Enfin il y a le gros problème lié à la mauvaise décomposition de ces pailles, problème que nous étudierons plus en détail en recherchant les causes de cette mauvaise décomposition et en essayant de donner des solutions valables qui permettraient de remédier sinon totalement, du moins partiellement à ce problème.

I - Les problèmes liés à la décomposition des pailles :

1) Le problème de l'azote

Nous avons vu, au cours de notre première partie (Formation de l'humus = facteur de variation) la nécessité d'un apport supplémentaire d'azote au moment de l'enfouissement des pailles. Cet apport est destiné à l'alimentation des micro-organismes cellulolytiques qui n'auront pas, ainsi, à prélever l'azote destiné aux cultures avoisinantes. On estime en général qu'il peut apporter 6 à 12 unités d'azote par tonne de paille enfouie. En fait 40 à 50 unités d'azote suffiront, d'autant plus qu'après plusieurs enfouissements (5 à 6), la fourniture d'azote se fera naturellement par la destruction des micro-organismes qui auront momentanément fixé cet azote. L'azote n'est donc plus un problème pour l'enfouissement des pailles.

2) Les risques d'accidents dus à une asphyxie du milieu

Dès qu'une matière organique fraîche entre en contact avec le sol, il se produit des fermentations et il y a consommation importante d'oxygène. Si cette consommation est plus forte que la fourniture d'oxygène, le milieu devient vite asphyxiant, ce qui peut entraîner des accidents de dégradation de la structure par dispersion des colloïdes argilo-humiques.

Le phénomène, appelé phénomène de "gley" ou "gleyfication", est en fait un phénomène de réduction et dépend principalement de la profondeur d'enfouissement de la paille, et des conditions d'aération à ce niveau c'est à dire la porosité et l'humidité.

Ceci nous amène à conclure qu'il est préférable de ne pas enfouir la paille trop profondément et encore moins dans une terre mal drainée, ce qui est plus rare en Champagne crayeuse.

3) Les risques de transmission parasitaire

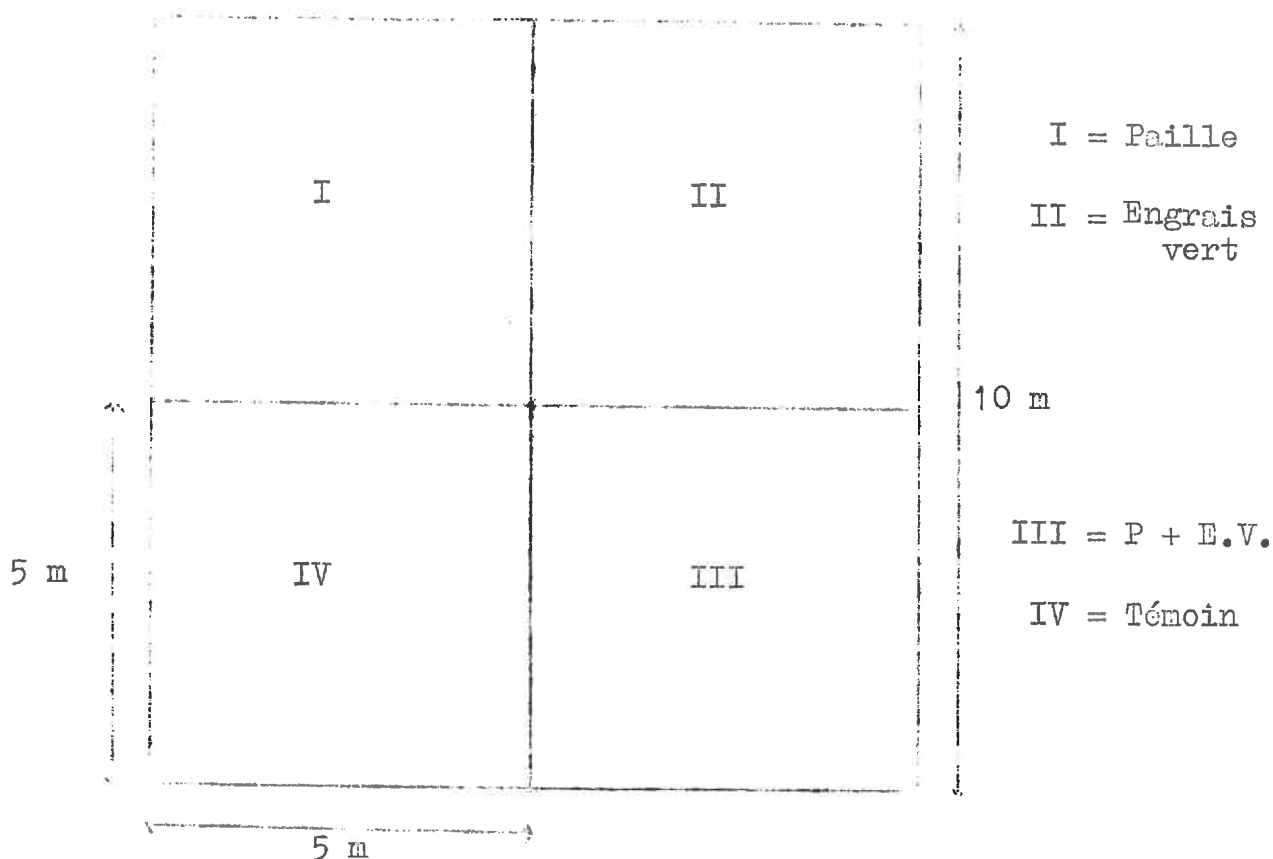
On sait que les pailles abritent très souvent des formes de maintien de certains parasites et des graines de plantes adventices. L'enfouissement de ces pailles risque de les propager sur les cultures suivantes et de les contaminer, notamment dans le cas de cultures céréalières successives. C'est ainsi que, lorsqu'un agriculteur fait un blé sur un autre blé, il y a des risques de contaminations, principalement de piétain, s'il enfouit ses premières pailles.

Aussi est-il conseillé, dans ce cas, de ramasser les pailles ou de les brûler.

4) La mauvaise décomposition des pailles

En terre de craie, il arrive très souvent que l'on retrouve des paquets de paille quasi intacts, à peine décomposés, parfois plusieurs années après l'enfouissement, généralement localisés au fond du labour. Ces paquets de paille peuvent former une véritable couche, qui s'oppose à la pénétration des racines, comme une barrière, et qui peut entraîner des phénomènes de gleyfication. Il semblerait que la paille enfouie se décompose mieux en surface qu'en profondeur, et que la paille bien tronçonnée et broyée se décompose mieux que la paille enfouie sans

Dispositif du chantier



Chaque parcelle a reçu un traitement différent.

Parcelle I : La première a reçu 10 t/ha de paille hachée, broyée, (chaque tronçon ayant environ 5 cm. de long) à raison de 5 t/ha en surface et 5 t/ha enfouie sur 5 à 8 cm.

Parcelle II : La deuxième a reçu : - du colza (à ROMILLY)
- de la moutarde (à VERSAILLES)

destinés à faire un engrais vert.

Parcelle III : La troisième parcelle a reçu de la paille (comme dans la première parcelle) et de l'engrais vert (comme dans la deuxième parcelle)

Parcelle IV : La quatrième parcelle n'a rien reçu; c'est la parcelle témoin.

Au préalable, nous avons brûlé tous les chaumes restant sur chaque parcelle, puis apporté de l'azote à une dose de 40 unités/hectare.

Le chantier de VERSAILLES a été mis en place le 8/8/67

Le chantier de ROMILLY a été mis en place le 17/8/67 soit 10 jours après celui de VERSAILLES.

2) Les prélèvements

Au cours des trois mois qui ont suivi la mise en place de nos deux chantiers, nous avons fait trois séries de prélèvements dans chaque chantier.

a- Mode de prélèvements :

Notre premier objectif était de suivre l'évolution de la paille : Paille de surface d'une part

Paille incorporée d'autre part

La paille incorporée étant mélangée à la terre, nous avons prélevé un mélange "terre + paille" sur une surface déterminée et une profondeur correspondant à celle de l'enfouissement.

Cet échantillon étant séché, nous avons pu extraire, par tamisages successifs puis par fractionnements densimétriques :

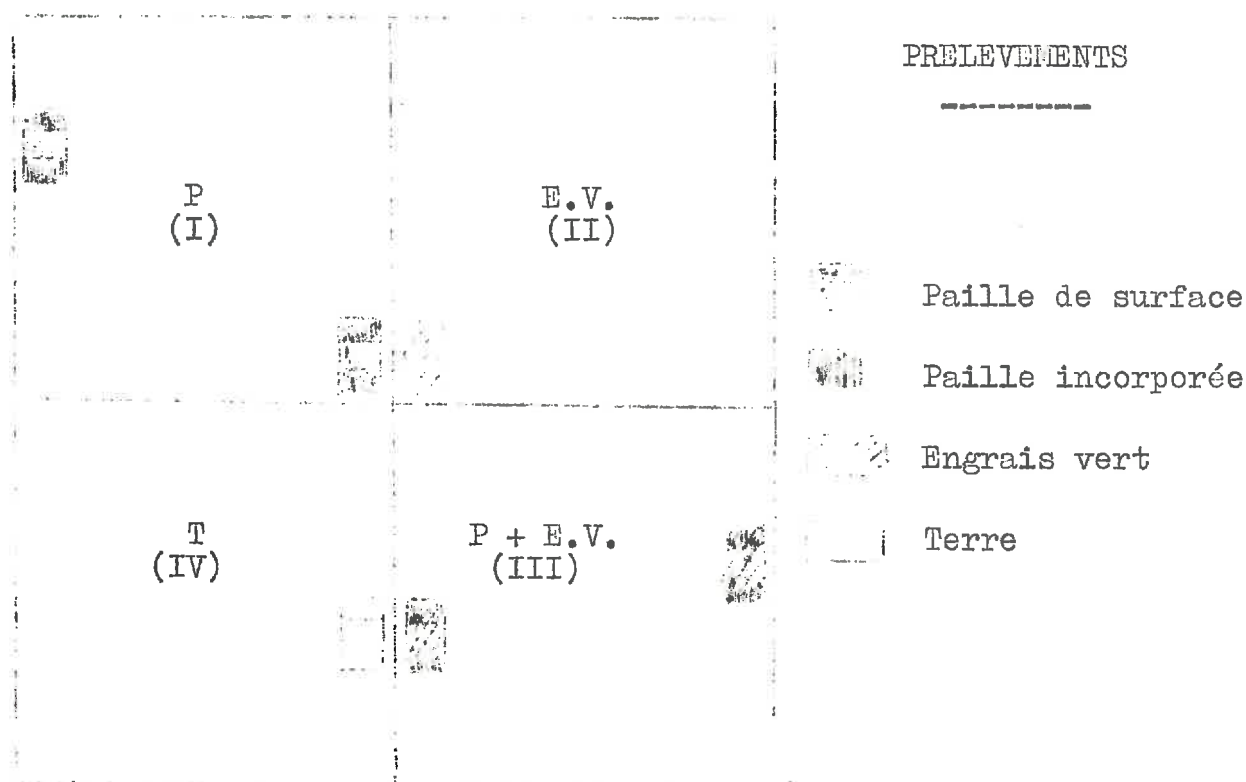
- de la paille grossière (brins > 1 cm)
- de la paille fine (brins compris entre 1 cm et 2 mm)
- de la paille très fine (brins ≤ 2 mm)

Connaissant le tonnage de paille apporté, le tonnage de paille restant : paille de surface + paille incorporée (paille grossière + paille fine + paille très fine), nous pouvons déduire théoriquement, le tonnage de paille disparu, décomposé.

Afin de déceler à un moment donné une différence de végétation entre l'engrais vert de la parcelle II et l'engrais vert de la parcelle III, différence qui pourrait signifier que les micro-organismes cellulolytiques sont entrés en action en prélevant de l'azote à la parcelle III, nous avons prélevé à chaque fois de l'engrais vert dans chacune de ces deux parcelles, sur une surface connue, et nous l'avons pesé, après séchage, afin d'en déduire son tonnage/hectare.

L'humidité étant un facteur favorable à l'action des micro-organismes, nous avons évalué l'humidité de la paille de surface et l'humidité de la couche concernée par l'enfouissement, en pesant des échantillons humides, puis séchés à l'étuve à 105°C, ceci dans chacune des deux parcelles contenant de la paille (parcelle I et parcelle III) afin

de déceler une éventuelle influence de l'engrais vert sur l'humidité du milieu concerné.



b- Problèmes soulevés par ces prélèvements

Le gros problème de ces prélèvements était celui de la représentativité. En effet, les 10 t/ha de paille que nous avons enfouis au début de l'opération n'étaient peut être pas répartis d'une façon très homogène; l'enfouissement sur 5 à 8 cm pouvait ne pas être très régulier; en outre la décomposition des pailles pouvait être plus intense à certains endroits qu'à d'autres; l'idéal aurait été de pouvoir prélever toute la parcelle ! Mais outre le travail quasi impossible que cela aurait entraîné, nous n'aurions pu faire qu'un seul prélèvement. Il fallait cependant que ces prélèvements soient suffisamment grands pour être significatifs. Il fallait également faire au moins deux prélèvements dans chaque parcelle, du moins pour la paille, le chantier ne comportant pas de répétitions. Enfin, il fallait que le travail occasionné par ces prélèvements (tamisages, analyses...) soit réalisable dans des temps corrects.

c- Réalisation de ces prélèvements

Nous avons ainsi effectué trois séries de prélèvements dans chaque chantier.

La 1ère série a été faite environ 15 jours après la mise en place du chantier, la 2ème série a été faite environ un mois après la 1ère série, la 3ème série environ un mois après la 2ème série, après quoi nous avons retourné notre engrais vert.

A VERSAILLES : Mise en place du chantier le 8/8/67 15 jours
1ère série de prélèvements le 23/8/67 5 semaines
2ème série de prélèvements le 29/9/67 5 semaines
3ème série de prélèvements le 3/11/67

A ROMILLY : Mise en place du chantier le 17/8/67 15 jours
1ère série de prélèvements le 31/8/67 6 semaines
2ème série de prélèvements le 12/10/67 5 semaines
3ème série de prélèvements le 20/11/67

Ceci montre que nous ne pouvons considérer les 2 chantiers comme deux répétitions : La nature du sol, calcaire pour l'un, limoneuse pour l'autre, le microclimat et les dates de prélèvements étant beaucoup trop divers.

Signalons en outre un retard de végétation de l'engrais vert à ROMILLY, le colza n'ayant en effet commencé à démarer qu'au moment des premiers prélèvements, tandis que la moutarde de VERSAILLES était déjà haute au moment de ses premiers prélèvements.

3) Les méthodes d'étude :

Les méthodes d'étude consistaient, en fait, à traiter les prélèvements, extraire séparément la paille grossière, la paille fine, et la paille très fine pour évaluer un tonnage hectare approximatif de chaque élément. Il y avait également la détermination du tonnage/hectare d'engrais vert, de l'humidité de la paille (paille de surface et paille incorporée) et des teneurs carbone et azote du témoin.

En fait, notre travail, à ce stade se situait à deux niveaux :

- Les traitements et les analyses d'une part
- Les calculs et la détermination des résultats d'autre part.

roté et daté.

Ensuite, les 200 g. recueillis sont à nouveau homogénéisés de façon à en prélever 20 grammes le plus représentativement possible.

Les 20 grammes de terre prélevés sont encore une fois broyés, puis tamisés à 500 afin de libérer certains débris organiques emprisonnés mécaniquement dans des agglomérats. Sur les 20 g. broyés puis tamisés, on prélève 5 grammes, que l'on soumet au fractionnement densimétrique, au moyen d'une centrifugeuse, selon le principe décrit au début de notre étude.

La fraction légère, recueillie sur le filtre après le fractionnement, puis séchée et posée, constitue, normalement, la matière organique libre de l'échantillon soumis au fractionnement; A partir d'un dosage de carbone organique, nous pourrions évaluer la teneur en matière organique de la fraction, qui constitue la paille très fine.

On peut ensuite caractériser cette fraction libre par l'évaluation de son rapport C/N. On aura ainsi une idée du stade d'évolution de cette fraction libre, le C/N étant aux environs de 50 pour de la paille fraîche, et voisin de 10 pour de la matière organique évoluée type fraction dense.

Teneur carbone - azote du témoin :

Par précaution, et pour avoir une comparaison valable, nous avons effectué quelques dosages du carbone et de l'azote.

Nous ne décrivons pas ici les méthodes d'analyse utilisées car ce sont des méthodes d'analyse classiques, connues.

b- Calculs et détermination des résultats :

Pour chaque série de prélèvements effectués, nous avons établi une fiche de calculs destinée à faire ressortir les chiffres indispensables à la poursuite de notre étude.

C'est ainsi que nous avons été amenés à évaluer.

Pour l'engrais vert : Le poids d'engrais vert prélevé, et, connaissant la surface de prélèvement, son tonnage/hectare.

Pour la terre prélevée avec la paille incorporée : Son poids, sa teneur en humidité, et son tonnage/hectare.

chaque échantillon constitué.

Il reste encore un facteur susceptible d'apporter des erreurs, c'est celui de la propreté des échantillons de paille. En effet, il reste toujours quelques agrégats de terre qui collent à la paille et que nous ne pouvons éliminer complètement.

Enfin, ajoutons que le broyage, avant tamisage, risque de fractionner la paille et de transformer mécaniquement la paille grossière en paille fine, si on ne porte pas une attention extrême à l'opération !

Là encore, autant de difficultés, autant de sources d'erreurs, qui s'ajoutant les unes aux autres, risquent de fausser considérablement les résultats !

III - Expression et interprétation des résultats

Nous ne rapporterons ici que les résultats globaux que nous avons regroupé à partir des fiches individuelles de calcul pour chaque prélèvement.

Ceci nous amènera, d'abord, à présenter ces résultats et à discuter de leurs précision, puis à les exploiter et à analyser les phénomènes enregistrés ; enfin, dans un dernier temps, nous envisagerons les conclusions pratiques qui s'imposent après cette étude, en faisant part de nos incertitudes.

.../...

C'est pourquoi le chiffre indiqué pour la paille totale, obtenu par addition des chiffres indiqués pour chaque catégorie de paille, est parfois d'une précision fort douteuse : c'est ainsi que nous devons considérer le chiffre 9,64 indiqué pour le 3ème prélèvement de paille totale dans l'essai VERSAILLES, en terre nue, et le chiffre 9,28 indiqué pour le 2ème prélèvement de paille totale dans l'essai VERSAILLES, avec engrais vert.

Ces deux chiffres sont absurdes, car ils signifient en fait que la quantité de paille restituée au sol a augmenté au lieu de diminuer. Cela peut s'expliquer également par le fait d'une mauvaise répartition de la paille enfouie, et d'un prélèvement effectué dans une zone où la paille serait accumulée en assez forte quantité. Ceci nous amène à penser que les autres prélèvements ont pu être effectués dans des zones insuffisamment pourvues en paille, ce qui entraînerait une sous-estimation du chiffre indiqué pour la paille totale.

Ceci est particulièrement vrai pour l'essai de VERSAILLES, où la paille a été enfouie au rotovator sur plus de 10 centimètres, tandis qu'à ROMILLY elle a été enfouie au motoculteur sur à peine plus de 5 centimètres. En outre, nous avons fait des contrôles sur la répartition de la paille à ROMILLY, mais non à VERSAILLES. C'est pourquoi les chiffres obtenus à ROMILLY nous sembleraient plus sérieux et plus significatifs : c'est donc ceux-là qu'il nous faudra étudier avec plus d'attention.

2) Exploitation de ces résultats

A partir du tableau de la page précédente, nous avons dressé un certain nombre de courbes qui vont nous permettre de comparer l'évolution de la paille à ROMILLY et à VERSAILLES, avec engrais vert et sans engrais vert.

a - Evolution comparée de la paille totale :

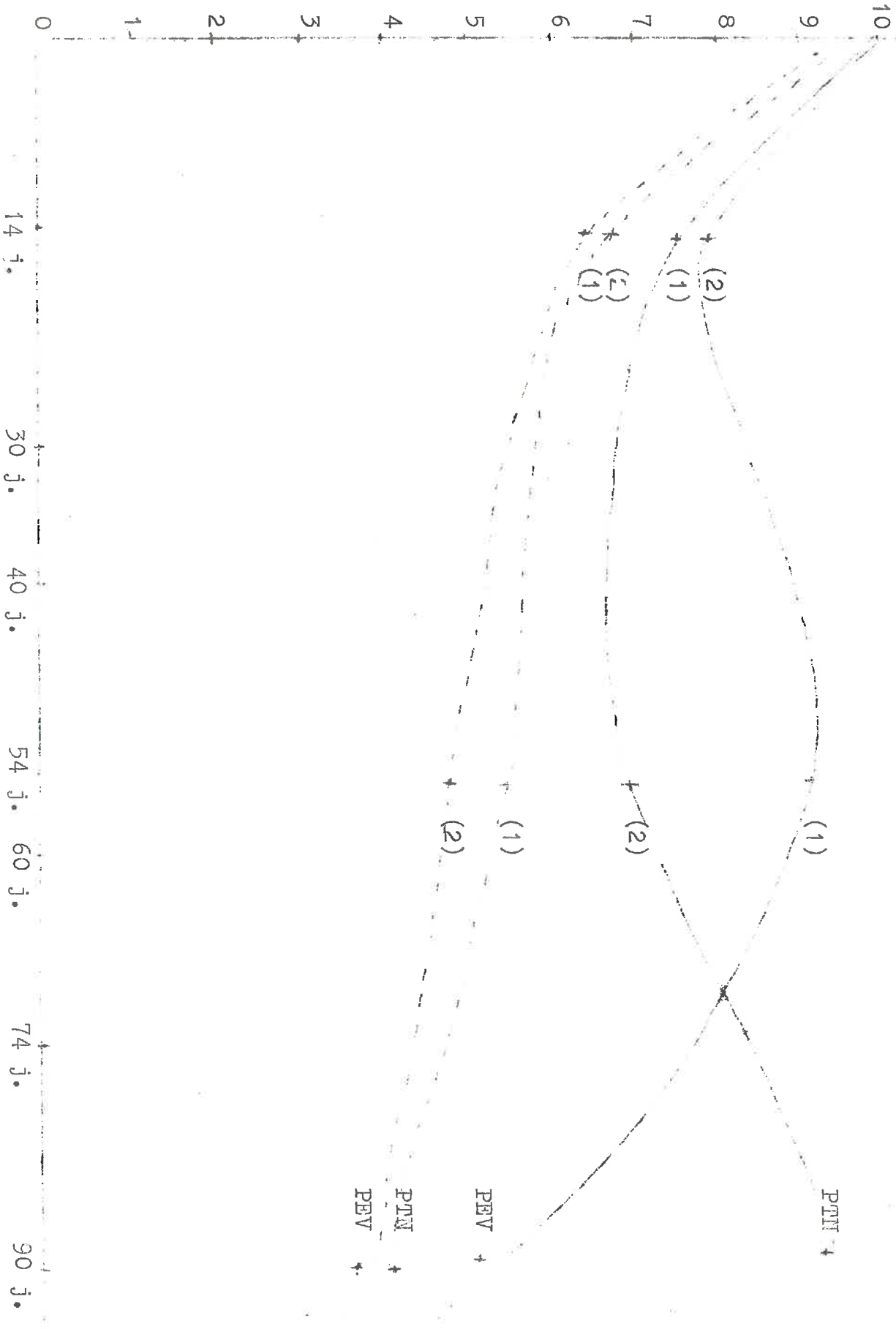
Examinons le graphique n°1, page suivante, où nous avons schématisé l'évolution de la paille totale à VERSAILLES et à ROMILLY par des courbes. Nous avons vu précédemment que les résultats obtenus à VERSAILLES ne pouvaient rien nous indiquer de valable. Cependant, nous observons malgré tout une différence considérable entre les résultats obtenus globalement à VERSAILLES et ceux obtenus à ROMILLY : en effet, il semblerait que la paille enfouie à ROMILLY, sans ou sous engrais vert, se décompose

t/ha

GRAPHIQUE No 1

EVOLUTION COMPAREE DE LA PAILLIE TOTALE

--- RONILLY (1) Paille seule
--- VERSAILLES (2) Paille sous B.V.



PTN +
PEV +
PTN +
PEV +

plus rapidement qu'à VERSAILLES. Pour un apport de paille identique et des prélèvements effectués dans des laps de temps égaux, nous trouvons toujours des résidus de pailles en quantité inférieure à ROMILLY qu'à VERSAILLES; une des explications de ce phénomène pourrait être le fait que la paille a été enfouie moins profondément à ROMILLY qu'à VERSAILLES et les micro organismes, nous l'avons vu, ne prolifèrent que dans une certaine couche de terre arable.

Par contre, en ce qui concerne les résultats obtenus seulement à ROMILLY, nous n'observons guère de différence entre la paille seule et la paille sous engrais vert.

Cependant, il ne faut pas en conclure forcément que l'engrais vert ne joue pas de rôle efficace : en effet, ces résultats concernent la paille totale, c'est à dire l'ensemble de la paille, qu'elle soit en surface, enfouie, en fractions grossières, fines ou très fines, et il peut très bien y avoir une différence importante, en qualité sinon en quantité, entre les résidus de paille sous engrais vert et les résidus de paille seule.

Les résidus restant dans une parcelle peuvent être sous forme de fractions grossières, les résidus d'une autre parcelle peuvent être sous forme de fractions très fines. L'examen de l'évolution de la paille par catégorie de fractions pourrait nous permettre de préciser ce problème.

b - Evolution comparée de la paille de surface.

Examinons le graphique n°2, page suivante. Là encore, on observe une nette différence entre l'évolution de la paille à ROMILLY et à VERSAILLES. Dans les deux cas, nous avons apporté 5 t/ha de paille grossière en surface. Au bout de trois mois, nous ne trouvons plus que 0,5 à 1 t/ha de paille grossière à ROMILLY, tandis que nous en trouvons 1,5 à 2 t/ha à VERSAILLES, soit au moins 1 tonne de différence. Nous trouvons déjà cette même différence au bout de 2 mois et même de 1 mois, ce qui nous amène à penser que cette différence a pu se produire au cours du premier mois après la mise en route du chantier.

Nous pensons que les résultats obtenus ici, aussi bien à VERSAILLES qu'à ROMILLY, peuvent être considérés comme sérieux car la répartition de la paille de surface, contrairement à la paille enfouie

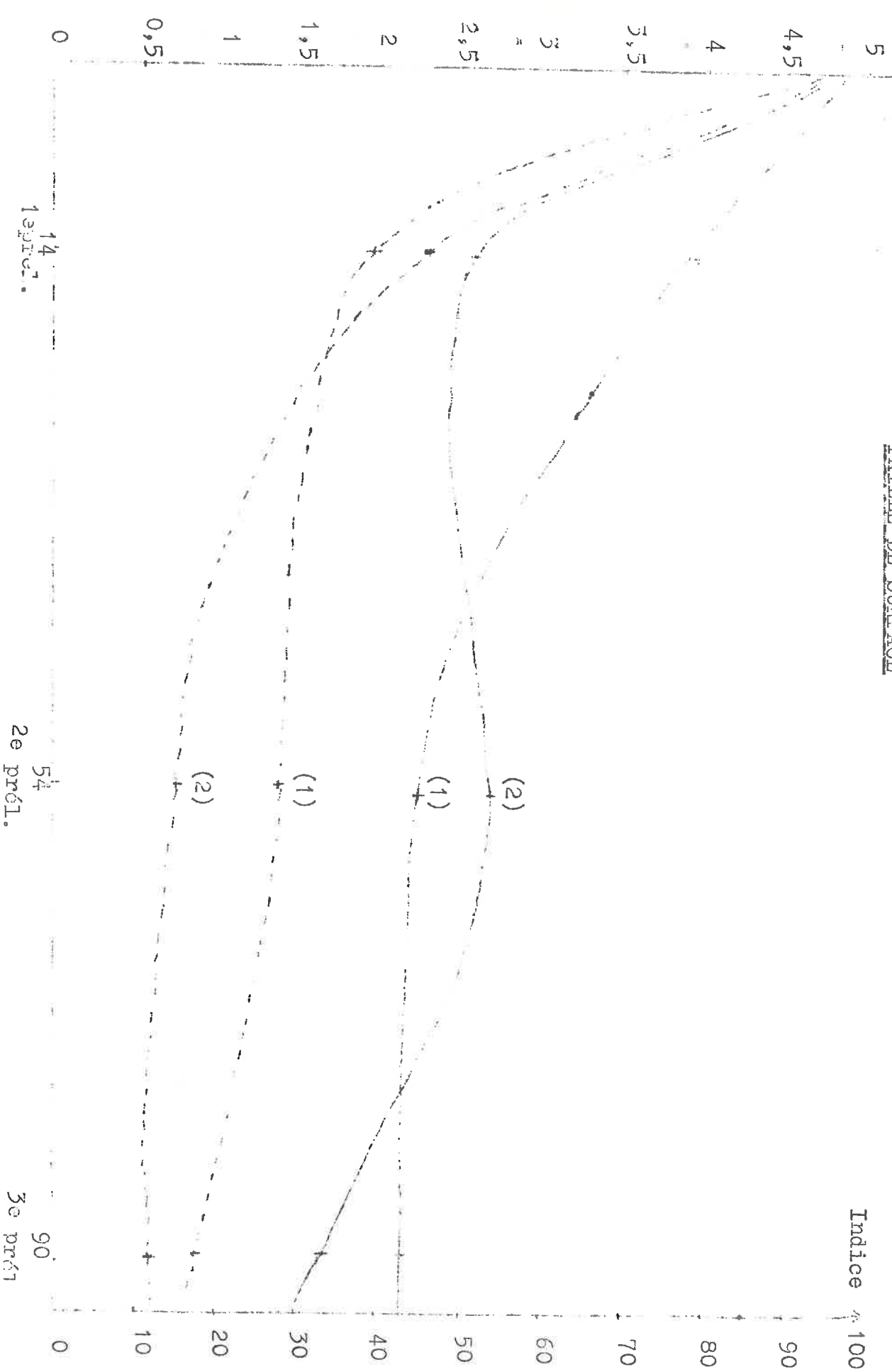
GRAPHE N°2

t/ha

PAILLE DE SURFACE

--- ROUILLY (1) Paille seule
--- VERSAILLES (2) Paille sous E.V.

Indice 100



14 1er prél.

54 2e prél.

90 3e prél.

mécaniquement, s'est faite à peu près régulièrement.

À VERSAILLES, on note une évolution de la paille de surface beaucoup plus rapide sous engrais vert, ceci au cours du premier mois, cette différence s'atténuant par la suite.

A ROMILLY, on observe le même phénomène, mais seulement au bout de trois semaines, cette différence semblant s'atténuer au bout de trois mois.

Au cours des trois premières semaines, on ne note pas de différence sensible entre la paille de surface sous engrais vert et sans engrais vert.

Il semble que ce retard, entre ROMILLY ET VERSAILLES, soit dû à un retard de végétation de l'engrais vert à ROMILLY, celui-ci n'ayant vraiment démarré que trois semaines environ après la mise en place du chantier.

Par contre, il semble difficile d'expliquer la différence survenue entre VERSAILLES et ROMILLY au cours du premier mois : peut être la tonne de différence est-elle due à une erreur; peut être s'est-elle tout simplement mélangée légèrement à la terre, par gravité, se transformant ainsi en paille enfouie. Il semble en tous cas difficile d'imputer cette différence à une décomposition plus active à ROMILLY qu'à VERSAILLES, car, précisons le, il n'a pas plu à ROMILLY au cours des trois premières semaines.

c - Evolution comparée de la paille enfouie.

Nous nous bornerons à étudier l'évolution de la paille enfouie à ROMILLY, l'enfouissement à VERSAILLES, ayant été réalisé dans des conditions assez incertaines.

Examinons, page suivante, le graphique n°3, qui schématise l'évolution de la paille enfouie totale sous engrais vert et sans engrais vert. Apparemment, à ROMILLY, on ne discerne pas de différence très nette.

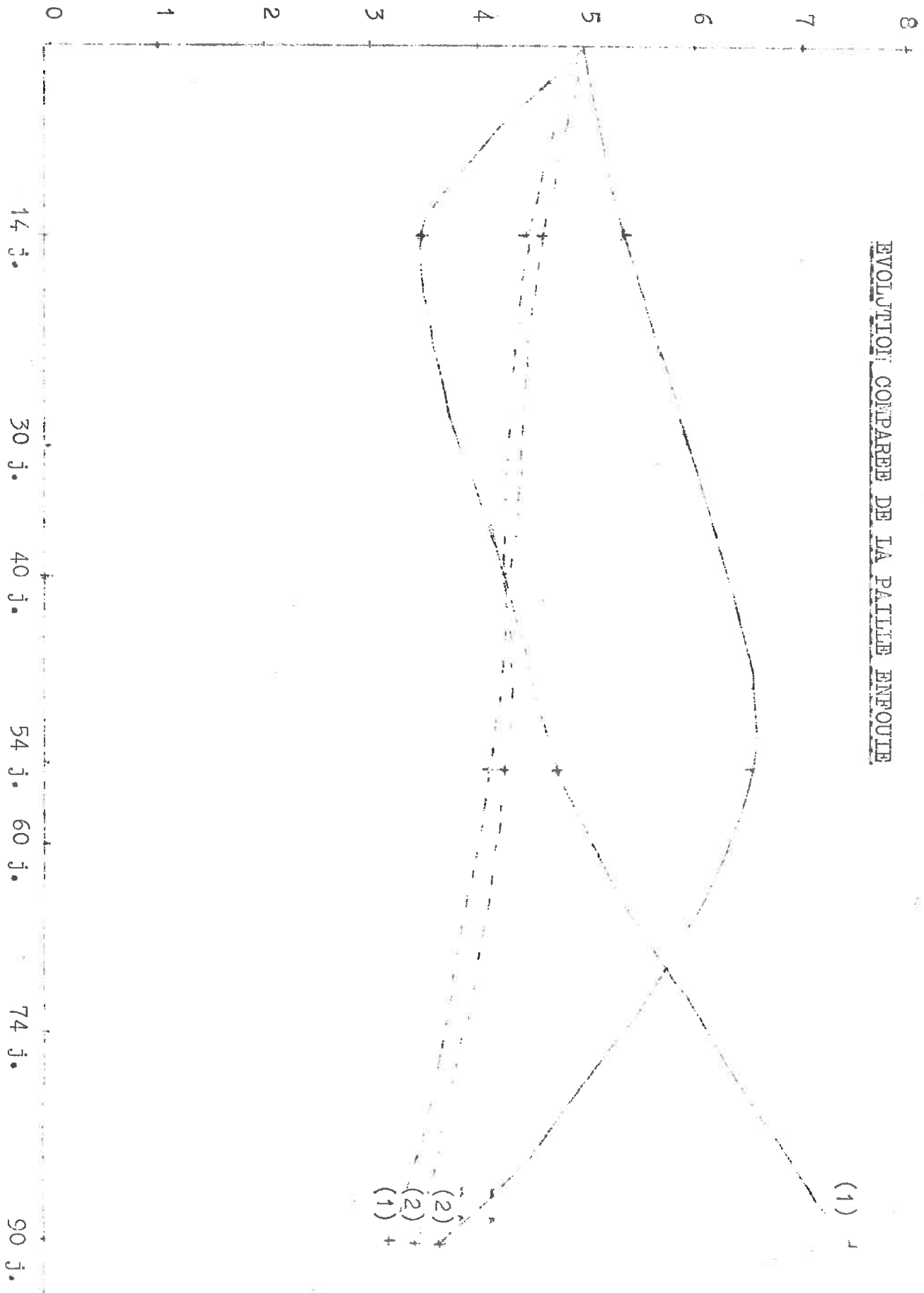
Précisons également que la diminution de la quantité de paille enfouie est assez faible, puisqu'après trois mois nous avons toujours plus de 3 t/ha de paille. Cependant, il peut y avoir eu disparition de paille enfouie et passage de la paille de surface en paille incorporée. En outre, une non-disparition de la paille enfouie ne signifierait pas forcément une non-évolution, car la paille incorporée peut fort bien

t/m

GRAPHIQUE No 3

EVOLUTION COMPAREE DE LA PATILLE ENFOUTE

--- ROMILLY (1) Paille seule
 - - - VERSAILLES (2) Paille sous E.V.



avoir évolué de fractions grossières en fractions fines ou très fines.

Examinons successivement les graphiques n°4 n°5 et n°6, qui représentent l'évolution de la paille incorporée grossière, fine et très fine.

- Paille grossière incorporée : (voir graphique n° 4 page 75)

Nous avons enfoui au départ 5 t/ha de paille grossière. Au bout de trois mois, nous en trouvons 1 à 2,5 t/ha, à ROMILLY comme à VERSAILLES. Plus de la moitié de la paille apportée se serait donc décomposée ou tout au moins transformée en fractions plus fines.

A ROMILLY, on n'observe pas de différence au départ entre la parcelle "paille seule" et la parcelle "paille plus engrais vert".

C'est seulement au bout de 18 à 20 jours que l'on commence à entrevoir une légère différence, la paille sous engrais vert semblant évoluer plus vite que la paille seule dès l'instant où l'engrais vert démarre.

Cependant au bout de deux mois, tandis que la paille grossière sans engrais vert continue d'évoluer, la quantité de paille grossière sous engrais vert augmente, ce qui semble aberrant et ne pourrait s'expliquer que par une erreur ou bien par la transformation de paille en surface en paille grossière enfouie.

- Paille fine incorporée : (voir graphique n° 5 page 76)

Au départ, nous n'avions pas de paille fine incorporée. Après trois semaines, nous avons de 0,5 à 1 t/ha de paille fine incorporée, ce qui n'explique que partiellement la disparition, à ce moment là, de 2 à 3 t/ha de paille grossière enfouie.

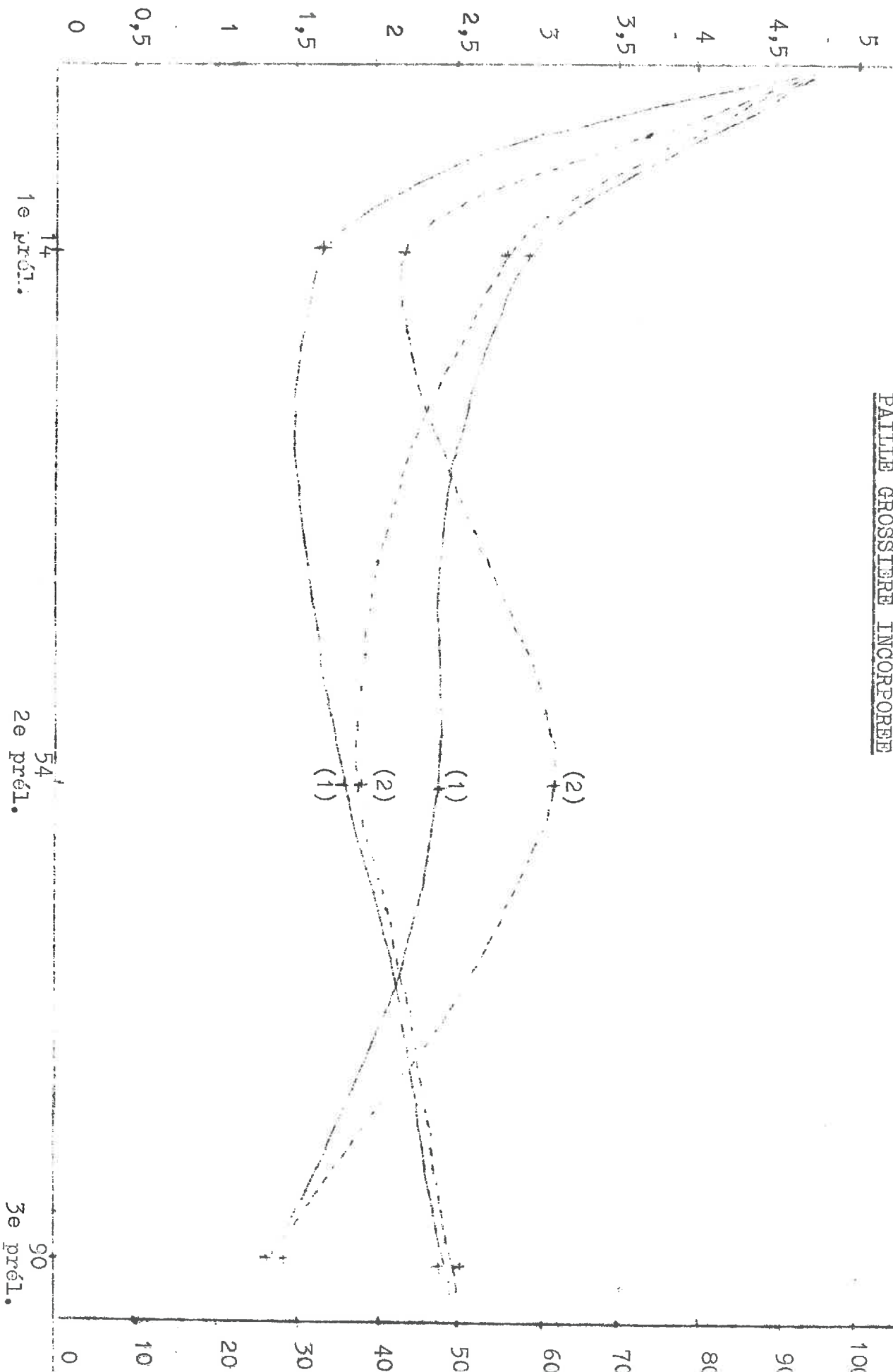
Cette quantité de paille fine augmente encore légèrement, puis diminue peu à peu. Si nous écartons la possibilité d'une erreur, ceci voudrait dire qu'après trois semaines, la paille grossière disparue se retrouverait pour moitié sous forme de paille fine, et que cette paille fine évoluerait à son tour en même temps que la paille grossière continuerait d'évoluer sous forme de paille fine.

Il serait intéressant de savoir si l'autre moitié de paille grossière disparue au bout de trois semaines a complètement disparu ou se retrouve sous forme de paille très fine.

GRAPHIQUE N°4

PAILLE GROSSIERE INCORPORÉE

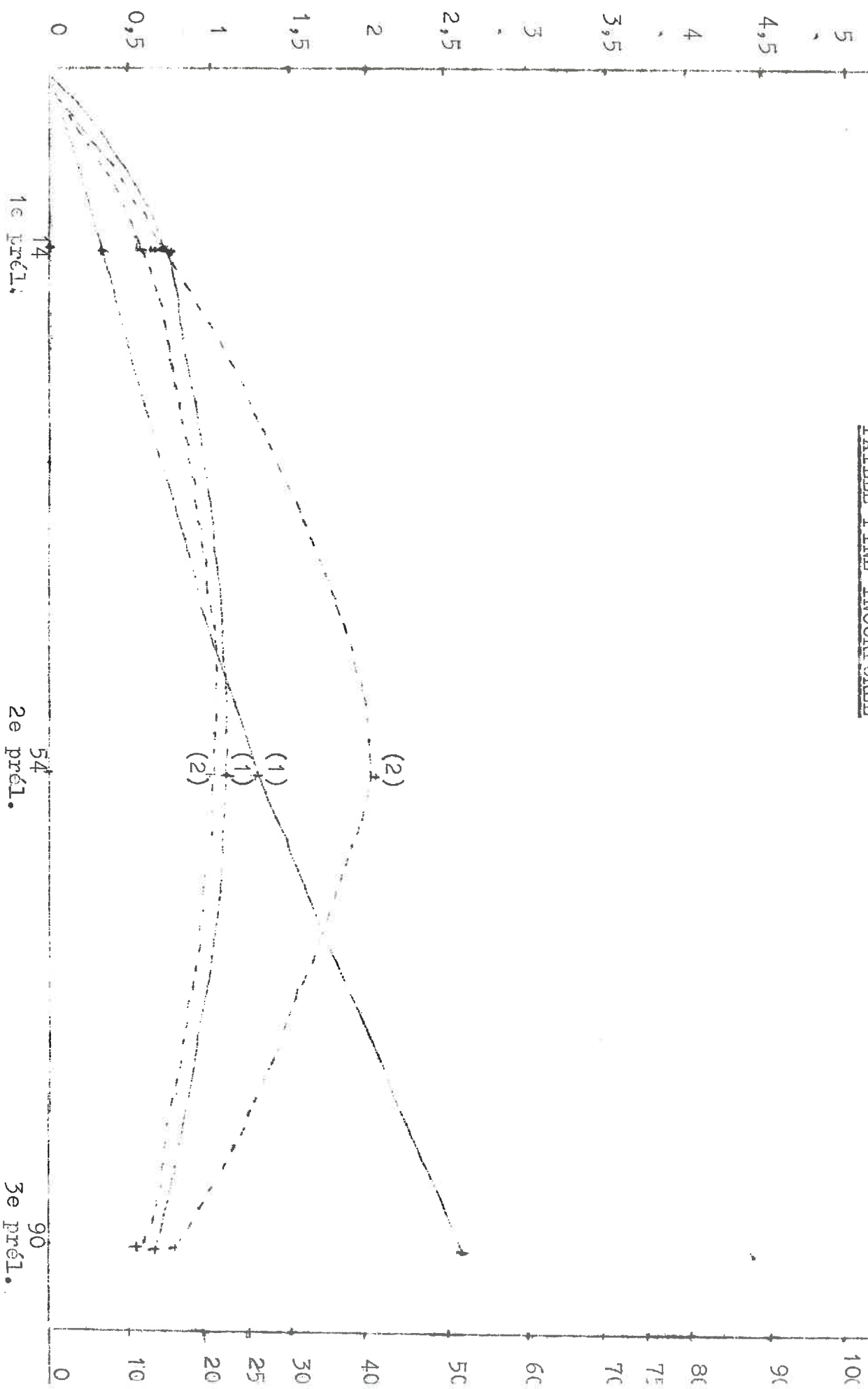
--- NOILLY (1) Paille seule
 --- VERSAILLES (2) Paille sous E.V. Indice

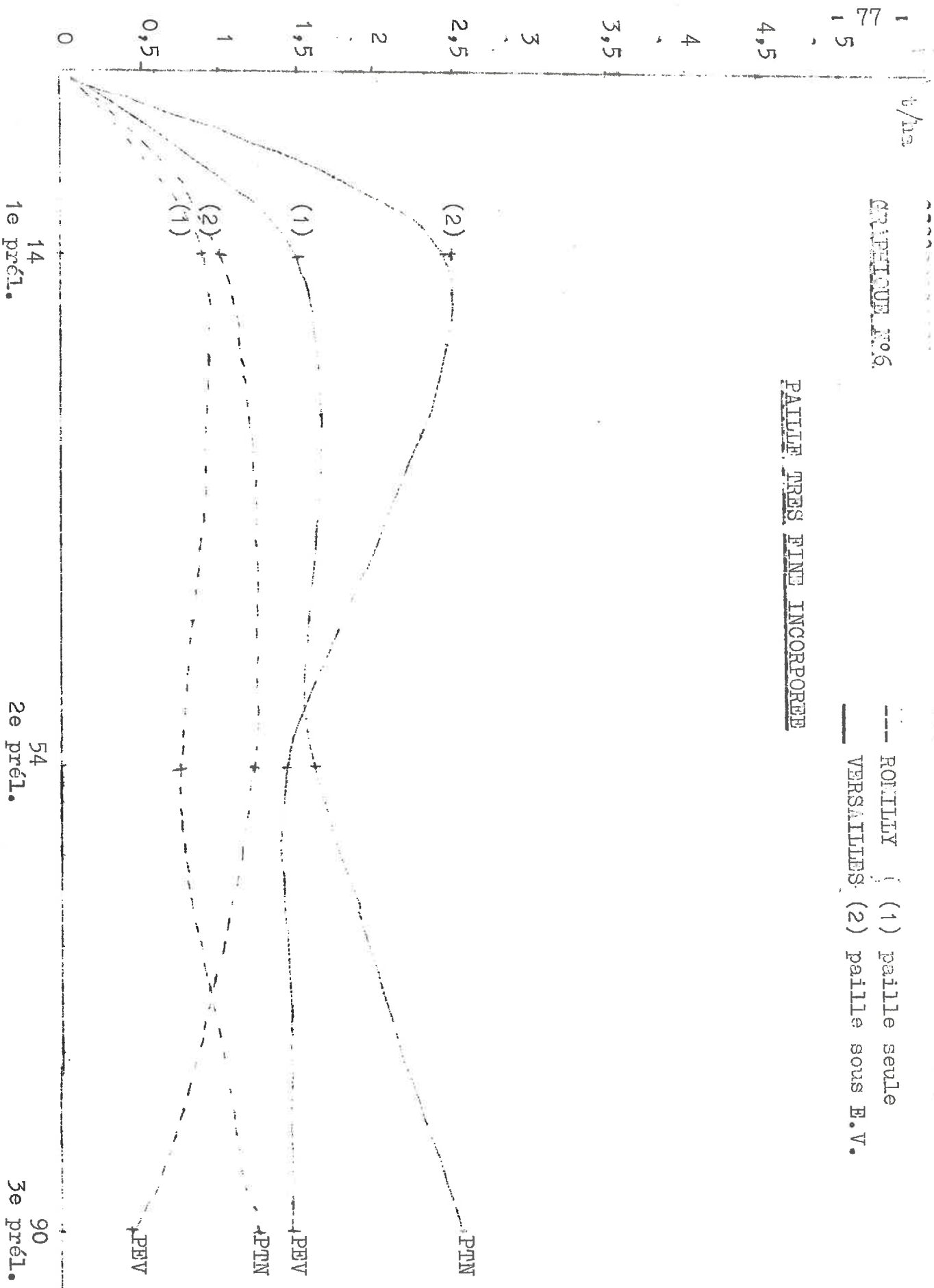


GRAPHIQUE N°5

PAILLE FINE INCORPORÉE

--- ROUILLY (1) Paille seule
 --- VERSAILLES (2) Paille sous E.V. Indice





GRAPHIQUE No 6

PAILLE TRÈS FINE INCORPORÉE

--- RONILLY (1) paille seule
 - - - VERSAILLES (2) paille sous E.V.

14
1e prél.

54
2e prél.

90
3e prél.

- Paille très fine incorporée : (voir graphique n° 6 page précédente)

L'examen du dernier graphique nous montre que la moitié de la paille grossière disparue se retrouve presque totalement sous forme de paille très fine, ce qui prouve que, si la quantité totale de paille enfouie n'a guère diminué, la paille, par contre a évolué, car elle s'est transformée, pour la moitié de sa quantité, en paille fine et paille très fine. Par contre, cette évolution de la paille grossière en paille fine et très fine semble s'être produite essentiellement au cours du premier mois. Notons aussi que, de même que pour la paille grossière incorporée et la paille de surface, on entrevoit une légère différence entre paille seule et paille sous engrais vert, à ROMILLY, après deux à trois semaines, date du démarrage de l'engrais vert, la quantité de paille très fine, sous engrais vert semblant augmenter, dès cet instant, plus que la paille très fine sans engrais vert.

Ceci nous explique pourquoi, au niveau de la paille totale enfouie, nous n'observons pas de différence. En fait, dès le démarrage de l'engrais vert, la paille grossière incorporée sous engrais vert évolue plus vite que la paille sans engrais vert, et la différence enregistrée se retrouve au niveau de la paille très fine, ceci, du moins, au cours des deux premiers mois.

Conclusion sur la dernière partie :

Il semble, après réflexion, que nous pourrions tirer trois conclusions pratiques de cette expérimentation :

1 - Tout d'abord, la paille de surface semble se décomposer plus vite que la paille enfouie, et la paille enfouie à ROMILLY semble évoluer plus régulièrement que la paille enfouie à VERSAILLES.

Ceci nous amène à penser que l'agriculteur, désireux d'obtenir une bonne décomposition de ses pailles, aurait intérêt à bien mélanger de la paille grossière avec peu de terre, c'est à dire le plus en surface possible.

2 - On a enregistré une action favorable de la couverture d'engrais vert, celle-ci semblant aider l'évolution de la paille grossière en fractions plus fines.

Ceci est très perceptible à ROMILLY, où l'engrais vert a démarré avec trois semaines de retard, ce qui a permis de déceler l'impor-

tance de son action à ce moment là.

3 - Une dernière conclusion pratique s'impose, qui réunit les deux premières conclusions : l'action de l'engrais vert est particulièrement marquante sur la paille de surface, ce qui renforce la théorie de nos deux premières conclusions.

Pour obtenir une bonne évolution de la paille dans le sol, il serait donc utile, d'une part, d'enfouir peu profondément la paille, et, d'autre part, de semer un engrais vert.

Ceci permettrait en outre à l'agriculteur de cumuler les deux effets favorables de l'engrais vert et de la paille, l'un à court terme mais d'une importance non négligeable, l'autre à long terme mais également nécessaire; ce qui ferait de l'apport organique "paille plus engrais vert" un apport organique comparable à celui des graminées fourragères ou de luzerne, à part le fait que les deux derniers seront toujours préférables car leur action joue sur une plus grande épaisseur de couche arable.

Il reste un dernier point à éclaircir : nous avons pu observer que l'évolution de la paille était particulièrement importante dans les trois ou quatre premières semaines après la mise en route du chantier, la courbe d'évolution étant plus régulière par la suite. Il serait intéressant de poursuivre les essais dans ce sens afin de mieux comprendre ce phénomène et d'en tirer une norme pour une utilisation optimum de l'engrais vert.

Il serait bon également de faire des essais de longue durée, et voir ce que devient cette paille après un an et même deux ans d'enfouissement. Cependant, il faudrait effectuer ces essais avec une précision considérable, c'est à dire avec répétitions, contrôles et les plus grandes précautions dans le choix de l'échantillon, car, nous venons de le voir, le risque d'erreurs est énorme, et c'est pourquoi il nous faut examiner avec la plus grande prudence les résultats obtenus au cours de notre expérimentation et rapportés ici.

CONCLUSION GENERALE :

Nous voici maintenant au terme de notre étude. Quelles sont les conclusions que nous pourrions en tirer ? Nous savons combien ces divers problèmes de matière organique sont complexes et souvent trop mal connus.

Combien d'agriculteurs connaissent réellement la nature et les propriétés de la terre qu'ils cultivent et qui est en fait leur principal facteur de production ? Si la technique des apports d'engrais minéraux est maintenant presque universellement connue et pratiquée, en est-il de même avec les apports de matière organique ?

L'agriculteur qui apporte chaque année un peu de fumier au sol sait-il pourquoi il le fait ? L'agriculteur qui songe à supprimer son bétail envisage-t-il toujours les conséquences agronomiques d'une telle décision ? Et celui qui brûle ses pailles pour économiser de la main d'oeuvre a-t-il réellement mesuré tous les risques qu'il prend ?

Un bon agriculteur devrait ainsi envisager les divers problèmes de matière organique sous deux aspects :

- sous un aspect agronomique d'une part, c'est à dire bien connaître la terre qu'il cultive, ses besoins en matière organique, et les incidences possibles de telle ou telle technique, ce qui n'est certes pas facile car, d'une part, les techniques évoluent constamment, et, d'autre part, de nombreuses imprécisions et incertitudes demeurent encore.

- sous un aspect économique d'autre part, car il est bien évident que le but recherché par tout agriculteur est de tirer un profit maximum de son exploitation; or si deux techniques ont, sur le plan agronomique, la même incidence, il n'est pas certain que leur prix de revient est le même; en outre, certaines techniques, apparemment très avantageuses sur le plan "matière organique" seul, peuvent avoir un coût trop élevé que ne compensent pas les avantages entraînés.

Ce sont donc ces deux aspects essentiels qui doivent guider l'agriculteur dans le choix des décisions liées aux problèmes de matière organique.

On pourrait ainsi distinguer deux attitudes, deux "politiques" selon que l'agriculteur est fermier ou propriétaire : dans le premier cas, l'agriculteur louant les terres qu'il cultive, essaiera d'en tirer le revenu maximum en restituant au sol la seule quantité de matière organique nécessaire pour lui garantir de bons rendements devant l'exploitation de son bail; il visera ainsi une politique à court terme, tirant le parti maximum des produits transitoires, mais ne se souciant guère des effets à long terme tandis que, dans le second cas, l'agriculteur, possédant les terres qu'il cultive, s'efforcera de maintenir le même niveau de fertilité susceptible de lui assurer de bons rendements, conjugant les effets à courts termes avec les effets à longs termes des apports de matière organique.

Ainsi, le propriétaire, louant ses terres à un fermier, devrait veiller au maintien d'une bonne fertilité par des apports de matière organique suffisants, s'il ne veut pas, au bout de X années, reprendre des terres quasi épuisées, en bien plus mauvais état qu'avant la location.

Ceci montre bien l'importance et la gravité du problème.

Cependant, de nombreuses imprécisions demeurent. On manque de preuves pour garantir la certitude de toutes les idées émises ici.

Nous avons vu combien les essais, au niveau de la recherche, étaient difficiles, ingrats, à la merci de nombreux facteurs de variation incontrôlables.

D'autre part, les techniques culturales, évoluant sans cesse avec les nouveaux matériels, peuvent entraîner des modifications importantes au niveau des matières organiques : c'est le cas, assez fréquent, des nouvelles variétés qui, modifiant les rendements, modifient la quantité des restitutions; c'est aussi le cas d'un nouveau matériel de récolte, comme l'effeuilleuse de betteraves, qui modifie la quantité des restitutions, c'est également le cas d'un nouveau matériel d'enfouissement, ou de broyage, susceptible d'améliorer la décomposition des matières organiques. Enfin, cela peut être le cas, beaucoup plus grave, de cultures avec suppression de labours.

Notre étude n'est absolument pas dogmatique : elle n'est là que pour éclairer les agriculteurs désireux de mieux connaître ces problèmes obscurs. Nous espérons avoir suffisamment montré leur importance avec leurs conséquences éventuelles, et suggéré quelques solutions possibles qui, bien sûr, évolueront dans l'avenir.

BIBLIOGRAPHIE

- S. HENIN "Le profil cultural" S.E.I.A.
A. Féodoroff (Société d'Édition des
R. Gras Ingénieurs Agricoles)
G. Monnier
- J. POCHON "Traité de microbiologie Dunod
et H. DE BARJAC des sols"
- A. DEMOLON "Principes d'Agronomie" Dunod
(Tome I : "Dynamique des sols")
- Jacques DUCHE "La biologie des sols" Presses Universitaires
de France
- G. MONNIER " La structure du sol" Techniques Agricoles
- G. MONNIER "Action des matières organiques Institut de la
sur la stabilité structurale des sols" Recherche
(Thèse de Docteur-Ingénieur) Agronomique
- G. MONNIER "Structure et stabilité structurale S.E.I.A.
des sols"
- G. MONNIER "Une méthode de fractionnement Annales
L. Turc densimétrique par centrifugation Agronomiques
et C. Jeanson-Luusinang des matières organiques 1965. 16 (5)
du sol" 553 - 577
- A. COMBEAU "Méthode d'Étude de la Stabilité Sols Africains
et G. MONNIER Structurale. Application aux Vol. VI, n°1
sols tropicaux"

- P. BOISCHOT "Bulletin de l'A.F.E.S." Bulletin n°2
Février 1966
- G. MONNIER "Action d'une culture d'engrais vert Annales
et R. GRAS sur les propriétés physiques d'un sol Agronomiques
de verger" 1965. 16 (5)
- G. MONNIER "Les restitutions organiques Etude F.N.C.E.T.A.
leur action sur le sol" Février 1966
- E. RADET "Propriétés agricoles Extrait d'un
des sols de craie bulletin de l'A.F.E.S.
de la Champagne"
- S. HENIN "Problèmes posés par l'enfouissement Etude
des matières organiques" F.N.C.E.T.A.
n° 452
- J. COCHET "Les techniques de broyage Etude F.N.C.E.T.A.
des pailles et des éteules" n° 153
- A. LEGENDRE "Evolution dans le travail Entreprise Agricole
du sol" juin - juillet 1969
Etude F.N.C.E.T.A. n° 1581
- J. DEFALQUE "Vers une simplification Etude F.N.C.E.T.A.
des façons culturales" n° 1382
- E. DALLEINNE "La simplification du travail
du sol"
- A. RECAMIER "Les herbicides et les possibilités C.O.L.U.M.A.
de suppression du labour" 1969
Colloque "Herbicides et Techniques de culture"

Divers bulletins de C.E.T.A. : C.E.T.A. de ROMILLY (Aube)
C.E.T.A. du MARLOIS (Aisne)