

MODELISATION APPLIQUEE A L'ETUDE DU STOCK ORGANIQUE ET DE LA STABILITE STRUCTURALE DE SOLS MEDITERRANEENS.

M.Pansu *

INTRODUCTION

L'activité des microorganismes et la pénétration des racines des plantes sont dépendantes en grande partie de l'aération des sols, de leur capacité de rétention d'eau (RUSSELL, 1973) avec cependant une conductivité hydraulique assez importante pour éviter leur saturation.

Ces paramètres, liés à la porosité des sols, dépendent essentiellement des taux d'agrégats stables de taille supérieure à 200 microns.

Si la stabilité structurale des sols apparait corrélée à de nombreux facteurs, il est généralement admis que les matières organiques exercent un rôle prépondérant (COMBEAU et QUANTIN, 1964) notamment par diminution de la mouillabilité des entités structurales (MONNIER, 1965).

Ces matières organiques n'interviendraient pas seules mais en liaison avec les hydroxydes amorphes de fer et d'aluminium (BARTOLI et al., 1988) et surtout avec le calcium.

De nombreux auteurs ont également noté que la stabilisation de la structure ne dépend pas seulement de la quantité de matières organiques présentes mais aussi de leur qualité :

- CHENU (1985) a insisté sur l'agrégation liée à la biomasse microbienne par l'intermédiaire des mucus bactériens et surtout des filaments mycéliens;
- les polysaccharides sont souvent cités comme agents stabilisants (MONNIER, 1965; BACHELIER, 1966; ELLIOTT et LYNCH, 1984) en particulier dans les sols peu organiques (GUCKERT, 1973; CHESHIRE et al., 1983) même si la stabilisation induite s'avère de courte durée et n'apparait pas en présence de sols rendus mono-ioniques (CHANEY et SWIFT, 1986 I),
- les substances humiques sont également susceptibles de provoquer une stabilisation structurale moins prononcée mais plus persistante (CHANEY et SWIFT, 1986 II) bien mise en évidence dans le cas des sols carbonatés (WALLACE et al., 1986).

De ces considérations, il apparait qu'une bonne gestion des terres doit prendre en compte :

- le suivi et la prévision du statut organique global mais aussi des produits jeunes et de la microflore hétérotrophe d'une part ainsi que des produits humifiés plus stables d'autre part;

* ORSTOM, BP 5045, 2051 Avenue du Val de Montferrand, 34032 MONTPELLIER Cedex 1.

- le suivi et la prévision du statut physique des sols en ce qui concerne surtout la macroporosité et la stabilité structurale.

Par exemple, les sols céréaliers peu organiques de la région de Mateur en Tunisie présentent une structure dégradée et une battance marquée engendrant des baisses importantes de fertilité et des risques d'érosion.

Le faible taux de carbone organique de ces sols est probablement du à la pratique du brûlage des pailles de blé avant les semis. L'enfouissement des résidus de récolte peut donc constituer une solution intéressante pour relever le niveau organique et surtout améliorer la stabilité structurale des sols, même s'il convient toujours de se méfier des risques de phytotoxicité engendrés par cette pratique (LYNCH et ELLIOTT, 1983).

L'apport de gypse a été également préconisé pour améliorer l'aération des sols (JAYAWARDANE et BLACKWELL, 1985; CHARTRES et al., 1985) et réduire leur battance (SO et al., 1978).

Des expériences sur modèles de laboratoire ont été entreprises (SIDI, 1987) afin d'appréhender l'effet d'enfouissements de paille de blé et de gypse sur les caractéristiques des constituants organiques et la stabilité structurale de deux sols méditerranéens.

De telles expériences en conditions bien contrôlées sont mieux à même d'amener une compréhension et une modélisation des phénomènes. Les modèles trouvés devraient ensuite être complétés et validés sur des parcelles expérimentales puis en vraie grandeur.

I. MATERIELS ET METHODES.

A) Matériels utilisés et protocole expérimental :

Les incubations sont réalisées dans des tubes plastiques (fig.1) sur des mélanges de sols et de paille de blé avec ou non apport complémentaire de gypse.

Déjà décrites précédemment (SIDI, 1987; PANSU et SIDI, 1987), les principales caractéristiques des deux sols utilisés sont rappelées dans le tableau I. La paille de blé, découpée et calibrée entre 0,2 et 2 mm, a été mélangée à des doses correspondant à 0 (témoin), 2,7 et 8,1 pour mille de carbone organique dans le sol sec avec un sous-traitement à 1% de gypse pour l'expérience SA. Nous avons donc simultanément les trois expériences suivantes :

VE : sol peu évolué d'apport à tendance vertique;

SA : sol salé carbonaté à hydromorphie de profondeur;

SG : sol SA amendé à 1 % de gypse.

Les conditions d'incubation en laboratoire (SID1, 1987) ont été choisies pour optimiser les cinétiques d'humification et de minéralisation : ajout d'ammonium en début d'expérience pour amener à 15 le rapport C/N de l'amendement, température constante de 28 °C, alternances humectation-dessiccation. Les prélèvements ont été effectués à 0, 15, 30, 90, 180 et 270 jours d'incubation.

B). Les méthodes analytiques :

Les teneurs en carbone organique ont été mesurées selon la méthode WALKLEY et BLACK. Les teneurs en carbone des échantillons provenant du sol non carbonaté ont été vérifiées par combustion sous oxygène à 1200°C et dosage du CO₂ dégagé par coulométrie.

Le fractionnement des matières humiques a été réalisé selon la méthode de DABIN (1976). Le carbone des matières organiques légères et du culot d'humine a été dosé par combustion et coulométrie du CO₂. Le carbone des extraits humiques et fulviques, a été mesuré après séchage par oxydation sulfochromique et dosage en retour au sel de MOHR.

Les polysaccharides ont été dosés par hydrolyse sulfurique et colorimétrie à l'anthrone (GUCKERT, 1973).

Les mesures des taux d'agrégats stables à l'eau ont été réalisées, avec les différents prétraitements préconisés par HENIN et MONNIER (1956). Nous avons ainsi mesuré : les agrégats sans prétraitement, après prétraitement à l'alcool, après prétraitement au benzène et le taux de fractions fines (argiles et limons) dispersées lors de ce dernier. Nous avons également mesuré l'humidité au point de flétrissement.

C) Le traitement des données :

- modélisation de la cinétique des compartiments organiques :

Elle a surtout impliqué une réflexion par rapport aux propositions de la littérature pour situer les modèles que nous avons finalement été amenés à proposer.

Les outils informatiques utilisés fonctionnaient tous sur micro-ordinateurs compatibles IBM. Ils comprenaient :

- le logiciel statistique STATGRAPHICS (société UNIWARE);
- le logiciel OPTIM (CHEVILLOTTE et TOUMA, ORSTOM, com. pers.) plus spécialisé dans les ajustements non linéaires;
- le langage de programmation TURBO-PASCAL;

- la bibliothèque scientifique TURBO-PASCAL TOOLBOX pour la simulation numérique avec les équations différentielles du modèle;
- un autre programme d'intégration numérique par la méthode de RUNGE_KUTTA (G.PICHON, ORSTOM, Com. pers.).
- Relations matières organiques et stabilité structurale.

La technique d'analyse discriminante (MASSART et KAUFMAN, 1983) de classification ascendante hiérarchique nous a permis de regrouper les échantillons de propriétés physiques et de statut organique voisins.

Nous avons du, au préalable, nous affranchir des facteurs d'échelle, résultant de la dispersion plus ou moins importante des résultats selon les techniques analytiques, en remplaçant chaque tableau de mesures initiales par un tableau de mesures centrées réduites.

Afin de sélectionner les mesures les plus discriminantes, nous avons effectué également une analyse en composantes principales qui permet comme ci-dessus, de s'affranchir des facteurs d'échelle. Les variables sélectionnées ont pu ensuite être étudiées plus précisément en fonction des conditions expérimentales.

Enfin, nous avons comparé l'évolution de l'agrégation avec celle des compartiments organiques simulés par le modèle .

Les analyses de données ont été effectuées à l'aide du logiciel NDMS (NOIROT et al., 1989), la simulation numérique du modèle à l'aide de la bibliothèque scientifique TURBO PASCAL TOOLBOX.

II. RESULTATS ET DISCUSSIONS.

A) Modèles d'évolution des matières organiques.

Les modèles que nous avons proposés (PANSU et SIDI, 1987) se situent dans les modèles écologiques à compartiments (PANSU, 1988 I) entre le modèle de HENIN et al.(1959) et celui de JENKINSON et RAYNER (1977) comme le montre la représentation de la figure 2.

Notre modèle à deux compartiments (PS II, Fig.2) prend en compte des connaissances qui n'étaient pas d'actualité en 1959 (PANSU, 1988 II) lors de la proposition de HENIN et al. :

- la possibilité d'incorporation des apports végétaux pour partie dans chacun des compartiments labile et stable,
- le renouvellement permanent des matières dans l'un et l'autre des compartiments.

Un tel modèle regroupe toutes les fractions labiles dans un compartiment identifié selon une demi-vie moyenne exprimée en semaines. Il pourra s'agir de fractions végétales de résidus de récoltes mais aussi de stockage carboné par les filaments mycéliens ou les mucus bactériens, d'exsudats racinaires, de polysaccharides végétaux ou microbiens, etc.. D'un autre côté, le compartiment stable comprend les produits bien humifiés de durée de vie de plusieurs dizaines d'années. Le modèle s'est avéré satisfaisant pour prévoir l'évolution simultanée de ces deux compartiments et du carbone total.

Il ne donne pourtant pas d'information sur la nature des fractions labiles. C'est pourquoi, nous avons cherché à prendre en compte un troisième compartiment représentant les débris végétaux non décomposés dans les sols. Des séparations densimétriques ont conduit à identifier des cinétiques d'ordre 2 ou 1 correspondant à des demi-vies plus longues de ces matériaux par rapport aux autres constituants du compartiment A. Ceci correspond à une réalité souvent observée et peut permettre d'éliminer de ce compartiment A des matériaux qui ne sont pas cités comme les autres constituants pour leur rôle important sur la stabilité structurale.

B) Matières organiques et stabilité structurale.

L'analyse en composantes principales ne permet pas de déceler de corrélation très significative entre les taux d'agrégats stables et les différentes fractions organiques mesurées. Peut-être n'avons-nous pas mesuré les bonnes fractions ? Mais le fractionnement chimique constitue-t-il la bonne approche ?

La classification ascendante hiérarchique (PANSU et SIDI, 1989), en prenant en compte l'ensemble des données, permet tout de même de bien distinguer l'effet des traitements expérimentaux et par suite de préconiser des traitements à tester à plus grande échelle :

- pour le sol à tendance vertique, une amélioration de la stabilité structurale demanderait si cela s'avérait techniquement possible, des apports organiques même faibles mais très fréquents. On pourrait peut-être simuler de tels apports par les exsudats racinaires résultant d'une mise en prairie ou en jachère;
- le cas du sol salé carbonaté semble très différent. Nous préconisons plutôt un fort apport annuel de paille couplé avec un apport de gypse.

L'application du modèle à trois compartiments défini ci-dessus pour les matières organiques conduit aux mêmes conclusions au moins dans le cas du sol vertique. Le contenu du compartiment labile A passe par un maximum bien corrélé avec le maximum observé pour les taux d'agrégats stables après prétraitement au benzène en début d'incubation (fig.3). Cette observation apparaît en très bon accord avec les connaissances actuelles citées en introduction sur les différents constituants de faible durée de vie ayant un effet sur la structure des sols : polysaccharides, filaments mycéliens, mucus bactériens, etc.

Notre modèle, en rassemblant dans des compartiments ces divers constituants de durée de vie analogue, constitue donc une voie plus simple et plus efficace que les fractionnements chimiques pour les études de stabilité structurale sous l'effet d'amendements organiques.

Dans le cas du sol salé carbonaté, l'imprécision des mesures ne nous a pas permis des conclusions aussi affirmatives que dans le sol à tendance vertique. Il reste donc à valider ces observations avec des expériences complémentaires comportant des mesures de carbone total, de carbone à l'état végétal et de taux d'agrégats stables plus précises que celles effectuées ici.

CONCLUSION

D'un point de vue théorique, un des gros atouts des modèles que nous avons proposés pour décrire la cinétique d'humification et de minéralisation dans les sols réside dans leur relative simplicité par rapport à des propositions antérieures comme celle de JENKINSON et RAYNER. Cette qualité devrait faciliter leur utilisation plus large dans des expériences sur modèles de laboratoire et leur transposition vers des études de terrain.

Par exemple, l'application montrée ici d'utilisation à des études prévisionnelles d'amélioration de la stabilité structurale paraît plus riche de promesses que l'approche plus classique des fractionnements chimiques.

De telles recherches ne nécessitent pas un investissement financier très lourd surtout avec les baisses de prix de la micro-informatique. La rubrique I. MATERIELS et METHODES de cet article donne idée des besoins nécessaires dans l'immédiat en matériels de laboratoire et logiciels. Ces recherches peuvent donc fort bien être entreprises par des pays en voie de développement surtout s'ils possèdent une structure d'enseignement supérieur et de recherche comme l'Algérie.

D'un point de vue plus strictement orienté vers le développement, nos premières conclusions concernant l'amélioration de la stabilité structurale de sols céréaliers méditerranéens de la région de MATEUR en Tunisie méritent des essais de validation à l'échelle de la parcelle expérimentale.

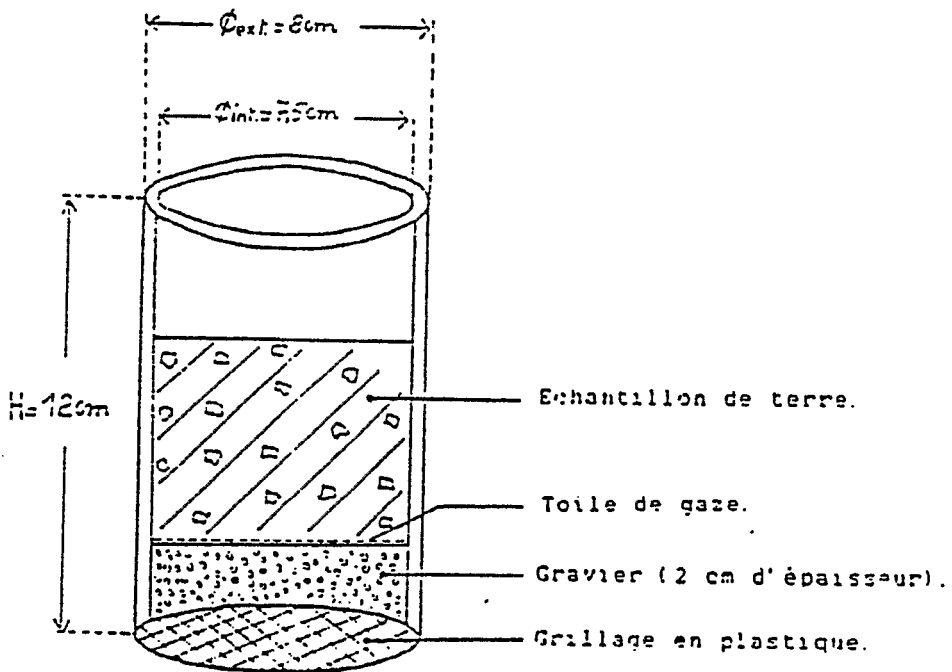
Des protocoles analytiques du type de celui décrit ici peuvent également être transposés à des études au laboratoire sur d'autres sols céréaliers Algériens.

Ces recherches seraient favorisées par un renforcement de la coopération entre des instituts algériens tel l'INES agro-vétérinaire de TIARET et des instituts français et européens tel l'ORSTOM.

Remerciements : en regrettant de ne pas avoir été encore en mesure de le rencontrer, je remercie le Dr ABDEL KADER DELLAL pour son aimable invitation aux séminaires qu'il organise à TIARET sur les sols céréaliers. Je salue également mon collègue le Dr HACHEMI SIDI avec qui nous avons mené ces travaux de laboratoire et je n'oublie pas le Dr S. HENIN, initiateur avec MM DUPUIS, MONNIER et TURC de la modélisation des matières organiques dès 1945, qui a su si bien nous encourager à approfondir cet aspect de ses travaux.

BIBLIOGRAPHIE :

- BACHELIER G., 1966. - Les sucres dans les sols et leur dosage global. *Cah. ORSTOM Ser. pédol.*, IV, 9-23.
- BARTOLI F., PHILIPPY R. & BURTIN G., 1988. - Aggregation in soils with small amounts of swelling clays. I. Aggregate stability. *Journal of Soil Sci.* 39, 593-616.
- CHANEY K. & SWIFT R.S., 1986. - Studies on aggregate stability. I. Re-formation of soil aggregates. *Journal of Soil Sci.* 37, 329-335.
- CHANEY K. & SWIFT R.S., 1986. - Studies on aggregate stability. II. The effect of humic substances on the stability of the re-formed soil aggregates. *Journal of Soil Sci.* 37, 337-343.
- CHARTRES C.J., GREENE R.S., FORD G.W. & RENGASAMY P., 1985. - The effects of gypsum on macroporosity and crusting of two red duplex soils. *Aust. J. Soil Res.* 23, 467-479.
- CHENU C., 1985. - étude expérimentale des interactions argiles-polysaccharides neutres. Contribution à la connaissance des phénomènes d'agrégation d'origine biologique dans les sols. *Thèse Doct. 3^e cycle, Univ. Paris VII.*
- CHESHIRE M.V., SPARLIG G.P. & MUNDIE C.M., 1983. - Effect of periodate treatment of soil on carbohydrates constituents and soil aggregation. *Journal of Soil Sci.* 34, 105-112.
- COMBEAU A. & QUANTIN P., 1964. - Observations sur les relations entre stabilité structurale et matière organique dans quelques sols d'Afrique Centrale. *Cah. ORSTOM ser. pédol.* II, 3-11.
- DABIN B., 1976. - Méthode d'extraction et de fractionnement des matières humiques du sol. Application à quelques études pédologiques et agronomiques dans les sols tropicaux. *Cah. ORSTOM Sér. Pédol.* 14, 287-297.
- ELLIOTT et LYNCH, 1984, The effect of available carbon and nitrogen in straw on soil and ash aggregation and acetic acid production, *Plant and Soil*, 78, 335-343.
- GUCKERT A., 1973. - Contribution à l'étude des polysaccharides dans les sols et de leur rôle dans les mécanismes d'agrégation. *Thèse d'état, Univ. Nancy I.*
- HENIN S. & MONNIER G., 1956. - Evaluation de la stabilité de la structure du sol, *C.R. VI^e congrès AISS-Paris vol. B*, 49-52.
- JAYAWARDANE N.S. & BLACKWELL J., 1985. - The effects of gypsum-enriched slots on moisture movement and aeration in an irrigated swelling clay, *Aust. J. Soil Res.* 23, 481-492.
- LYNCH J.M. et ELLIOTT L.F., 1983, minimizing the potential and phytotoxicity of wheat straw by microbial degradation. *Soil Biol. Biochem.*, 15, 221-222.
- MASSART D.L., KAUFMAN L., 1983. - Hierarchical clustering methods. In: "The interpretation of analytical chemical data by the use of cluster analysis", *J. Wiley & Sons*, 75-99.
- MONNIER G., 1965. - Action des matières organiques sur la stabilité structurale des sols, *Thèse Paris, Ann. Agron.* 16, 327-400 471-534.
- NOIROT M., DEJARDIN J., MULLON C., SAVY C., 1989. - Logiciel NDMS, *ORSTOM*, à paraître.
- PANSU M., 1988 a. - Cinétique chimique et modèles compartimentaux : application à l'étude de l'évolution du stock organique des sols, Actes séminaire SEMINFOR II "la modélisation : aspects pratiques et méthodologie", *ORSTOM*, 63-78.
- PANSU M., 1988 b. - Proposition de modèles descriptifs de la dynamique des matières organiques des sols, C.R. journées de pédologie ORSTOM sept 1988, *Cah. ORSTOM Ser. Pedol.*, sous presse.
- PANSU M. & SIDI H., 1987. - Cinétique d'humification et de minéralisation de mélanges sols-résidus végétaux. *Sci. du Sol* 25, 247-265.
- RUSSELL E.W., 1973. - Soil conditions and plant growth. *Longman, London*, 10th ed.
- SIDI H., 1987. - Effet de l'apport de matière organique et de gypse sur la stabilité structurale de sols de région méditerranéenne (Mateur-Tunisie). *Thèse Doct. Ing., I.N.A. Paris Grignon.*
- SO H.B., TAYLER D.W., YATES W.J. & MCGARITY J.W., 1978. - Amelioration of structurally unstable grey and brown clays. In: "Modification of soil structure", *Emerson W.W. Ed. J. Wiley Chichester.*
- WALLACE A., WALLACE G.A. & CHA J.W., 1986. - Mechanisms involved in soil conditioning by polymers. *Soil Sci.* 114, 381-386.



Surface = 41.15 cm^2 Volume = 529.8 cm^3

\varnothing_{ext} = Diamètre extérieur.
 \varnothing_{int} = Diamètre intérieur.
 H. = Hauteur du tube.

Figure n°3 : Modèle de tube utilisé pour l'expérimentation.

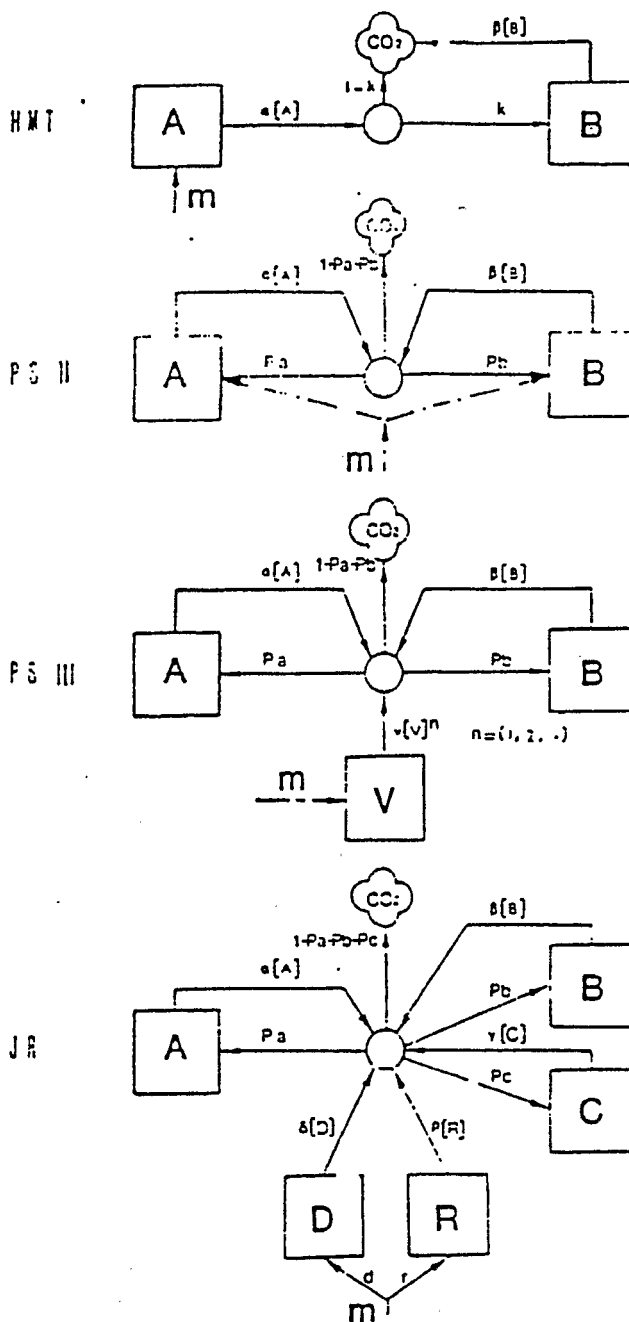


Figure 2:

Diagrammes relationnels comparatifs de modèles compartimentaux : HMT (HENIN, MONNIER et TURC, 1959), PS II et PS III (PANSU et SIDI, 1987), JR (JENKINSON et RAYNER (1977).

- m = apport végétal.
- A = matière organique labile (HMT, PS II).
métabolites végétaux labiles + biomasse microbienne (PS III)
(microbial) biomass (JR)
- B = matière organique stable (HMT) (PS).
physically stabilised organic matter (JR).
- V = compartiment végétal non remanié (PS III).
- D = decomposable plant material (JR).
- R = resistant plant material (JR).
- C = chemically stabilised organic matter (JR).
- $\alpha, \beta, \nu, \gamma, \delta, \rho$ = coefficients de décroissance respectifs des compartiments A.B.V.C.D.R.
- k = coefficient isohumique (HMT).
- P_a, P_b, P_c = proportion de renouvellement dans les compartiments A.B.C.
- d, r = proportion d'entrée dans les compartiments D et R (JR).
- n = ordre de la décroissance du compartiment V (PS III).

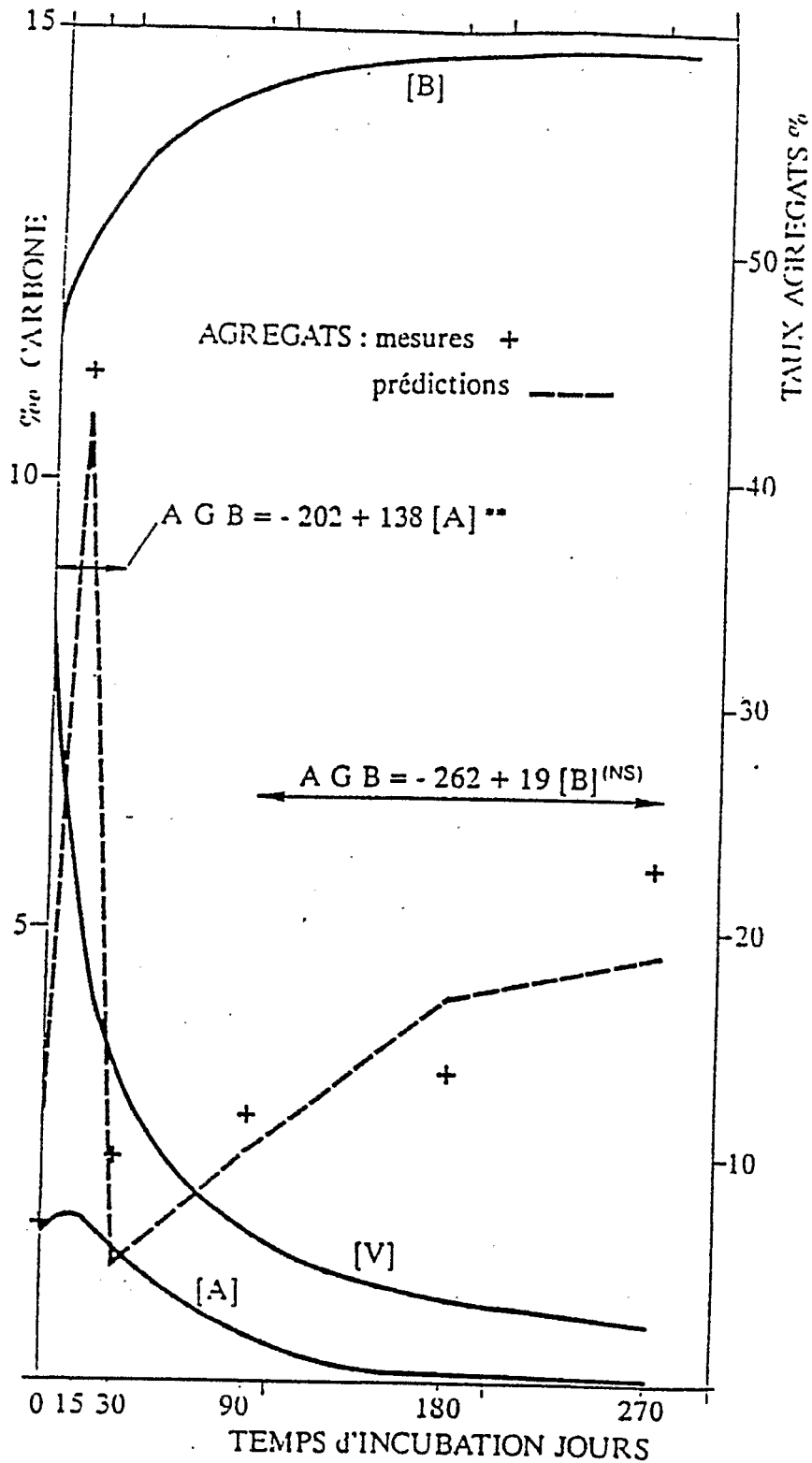


Fig.3 : Simulations de l'évolution simultanée des trois compartiments du modèle pour l'expérience VE : V = matières végétales, A = matières organiques labiles, B = matières humifiées stables. Valeurs expérimentales des taux d'agregats avec prétraitements au benzène (AGB) et valeurs calculées correspondantes par ajustements sur le compartiment A durant le premier mois d'incubation, sur le compartiment B à partir de trois mois d'incubation.

ASSOCIATION CULTURELLE DE L'I.M.E.S.

AGRO-VETERINAIRE DE TIARET.

COMPTES RENDUS DU

SEMINAIRE SUR

LES SOLS CEREALIERES.

TIARET, LES 3, 4 ET 5 OCTOBRE 1989.

M. PANSU

16 SEPT. 1994

Avec la participation de la WILAYA de TIARET.

M. P. a 10

O.R.S.T.O.M. Fonds Docum

N° : 42 532 ex

Date : B