

ACADÉMIE D'AGRICULTURE DE FRANCE

Extrait du procès-verbal de la Séance du 29 Juin 1966

pp. 920 à 928

**QUELQUES OBSERVATIONS
SUR LE COMPORTEMENT DE DIFFÉRENTS SOLS
SOUMIS A UNE IRRADIATION GAMMA**

par Jean Boyer (*), André Combeau (**), André Grauby (***)
et Anne-Marie Thomas (****)

(Note présentée par M. Bourrier)

Afin de compléter nos études et expérimentations concernant les contaminations accidentelles et les rejets de produits radioactifs dans le sol, une technique avait été mise au point pour étudier les effets sur la couche arable d'une puissante irradiation gamma.

La série d'expériences relatées ici se présente comme une suite des manipulations antérieures (1), dont les tests bactériens et agronomiques ont été repris, mais où il a paru bon d'orienter les recherches vers les modifications de certaines caractéristiques physiques et chimiques du sol à la suite de cette exposition gamma de forte intensité (4 mégarads) (****).

TECHNIQUE EXPÉRIMENTALE

Comme précédemment, on a plongé des échantillons de terre (enfermés dans des boîtes étanches en aluminium) dans la piscine Triton de Fontenay-aux-Roses à une dizaine de mètres de profondeur et à environ 1,50 m du cœur de la pile.

Le flux reçu comprenait $1 \cdot 10^{+4}$ neutrons par centimètre carré et par seconde (ce qui est faible) et surtout une irradiation de $4 \cdot 10^{+6}$ rads (****), sous forme de rayonnement gamma, pour une durée d'exposition de cent cinquante heures.

Les sols ainsi irradiés couvrent une assez large gamme de sols tempérés et tropicaux comprenant les horizons supérieurs de : podzols (Landes), sols bruns peu lessivés (région parisienne, Bondy et Antony), sols bruns lessivés (Plaisir en Yvelines, La Hague dans le Cotentin), Rendzine (Montainville en Yveline),

(*) Génie rural, C.R.E.G.R., Antony.

(**) O.R.S.T.O.M., Centre Scientifique et Technique, Bondy.

(***) C.E.A., Département de la Protection Sanitaire, Section de Radioécologie.

(****) Le rad correspond à une absorption de 100 ergs par gramme du milieu. Ses multiples sont le kilorad (10^{+3} rads) et le mégarad (10^{+6} rads).

O. R. S. T. O. M.

Collection de Référence

20 DEC. 1966

n° 11066ex1

sol brun calcaire (Le Tholonet, Bouches-du-Rhône), sols hydromorphes (Feucherolles en Yvelines et Guédé, Sénégal), Vertisols du Togo, sols ferrugineux tropicaux du Dahomey, sols ferrallitiques de Madagascar et de Grimari (en République Centrafricaine).

Tout ou partie de ces sols furent soumis à différents tests de comparaison entre échantillons irradiés et échantillons témoins:

- tests bactériens de numération de micro-organismes;
- tests agronomiques de fertilité;
- tests de stabilité structurale;
- tests de rétention d'humidité;
- analyses des fractions humiques:

TESTS DE NUMÉRATION DE LA MICROFLORE

Effectués par M^{mes} Beck et Dusauçois, travaillant au laboratoire de M. Dommergues du C.N.R.S. de Nancy, les numérations de microorganismes font ressortir, pour le sol brun loessique faiblement lessivé d'Antony, une destruction totale des azotobacters, des bactéries ferrugineuses, des actinomycètes et des rhizobiums de légumineuses.

Pour l'ensemble des sols étudiés, le taux de survie de la microflore en général est extrêmement faible par rapport aux témoins : 0 à 43×10^{-3} pour cent.

L'ensemble de ces résultats paraît en accord avec les données de la bibliographie (7) (11), qui chiffrent à 3.10^6 rads la dose létale pour les microorganismes les plus résistants (Rhizobium).

D'autre part, comme les sols étudiés présentent des différences notables quant aux taux d'argile et d'humus, il ne semble pas que ces deux éléments puissent « protéger » en quoi que ce soit la micro-flore, ainsi promise à une destruction totale lorsqu'elle est soumise à une irradiation gamma de 4 mégarads.

TESTS AGRONOMIQUES DE FERTILITÉ

Lors de deux expériences (tabl. I), sol irradié et sol témoin (sol brun loessique faiblement lessivé d'Antony) furent ensemencés par du Ray-grass annuel et du trèfle de prairie (culture en pot avec 1 kg de terre par objet).

Le Ray-grass poussant sur sol irradié a tout de suite présenté une croissance plus rapide que sur le sol témoin, à tel point que les trois premières coupes, échelonnées sur cent vingt-deux jours,

TABLEAU I

COMPARAISON DES RÉCOLTES SUR SOL IRRADIÉ ET SUR SOL TÉMOIN
 Dates des coupes et durée de végétation après semis
 Poids en grammes des récoltes - Pourcentages de variation par rapport au témoin

CULTURE	1 ^e COUPE		2 ^e COUPE		3 ^e COUPE		MOYENNE DES TROIS COUPES	
	Témoin	Irradié	Témoin	Irradié	Témoin	Irradié	Témoin	Irradié
Ray-Grass (semis le 8 décembre 1964)	7 janvier 1965 30 jours 3,23 4,19 + 25 %		5 mars 1965 87 jours 2,64 4,31 + 63 %		9 avril 1965 122 jours 3,37 5,23 + 55 %		Moyenne 3,11 4,57 + 46 %	
Ray-Grass (Semis le 25 avril 1965)	25 mai 1965 30 jours 3,79 3,29 + 5 %		20 juillet 1965 96 jours 4,61 8,98 + 95 %		26 août 1965 123 jours 3,77 6,82 + 80 %		Moyenne 3,92 6,60 + 68 %	
Trèfle (Semis le 8 décembre 1965)	4 février 1965 58 jours 0,14 (*) 0,35 + 140 %							
Trèfle (Semis le 25 avril 1965)			20 juillet 1965 89 jours 6,15 4,85 - 22 %		26 août 1965 126 jours 7,49 6,34 - 15 %		Moyenne 6,82 5,59 - 18 %	

(*) Chiffre un peu faible dû à une fonte partielle des semis.

ont donné pour les témoins 3,11 g et 3,92 g en moyenne par objet contre respectivement 4,57 g et 6,60 g pour les plantes poussant sur sol irradié, soit encore des suppléments de récoltes de 46 p. 100 et 68 p. 100 par rapport au témoin non soumis au rayonnement gamma.

D'après Bowen et Cawse (2), ce « coup de fouet » serait dû à la mise à la disposition de la plante d'azote ammoniacal libéré à partir des réserves organiques de la terre.

Lors des coupes ultérieures, les récoltes furent uniformément minimes, ce qui enlève beaucoup de valeur aux comparaisons chiffrées. Mais au bout d'une dizaine de mois, il semble que le phénomène soit quelque peu inversé : ce sont alors les Ray-grass sur sol irradié qui paraissent marquer une certaine infériorité sur les témoins.

Pour le trèfle, on constate un processus semblable, mais beaucoup plus accéléré : le démarrage sur échantillon irradiés est nettement plus rapide (à 58 jours, le supplément de récolte est de 140 % sur terre irradiée, pour un poids vert récolté à vrai dire minime), mais il se ralentit très vite au point que la moyenne des deux premières coupes donne à 89 et 126 jours, dans une deuxième expérience, 6,82 g sur le sol témoin et 5,59 g sur la terre irradiée, soit un déficit de 18 p. 100 pour l'échantillon soumis aux rayons gamma.

Cette différence de comportement entre le trèfle et le ray-grass paraît essentiellement liée à l'absence de nodosités (rhizobium) sur les trèfles poussant sur sol soumis à l'irradiation : ceux-ci présentent des racines minces et effilées qui contrastent singulièrement avec celles des témoins plus grosses, plus trapues et portant des nodosités apparentes.

Dans ce cas précis, si l'on reprend l'hypothèse émise plus haut, la fourniture d'azote ammoniacal supplémentaire, après irradiation du sol, ne suffirait pas à compenser le déficit créé par l'absence des rhizobiums.

Dans certains essais ultérieurs, non encore terminés, on a essayé d'apporter des engrais sur les couples « témoins-irradiés » : il semble que l'azote ainsi ajouté ne puisse jouer le même rôle que celui libéré par les radiations.

STABILITÉ STRUCTURALE

Les échantillons de sol irradiés et leurs témoins ont été soumis à des mesures de stabilité structurale suivant la méthode de Hénin (6).

Mais ce n'est que sur les terres ayant de bonnes structures (indices Is d'instabilité de Hénin nettement inférieur à 5) que l'on peut observer des modifications significatives de comportement.

Les pourcentages d'agrégats compris entre 0,2 et 2 millimètres (diminué du pourcentage de sables grossiers correspondants) baissent sensiblement après irradiation; cette diminution de la fraction agrégée stable à l'eau est en moyenne de 30 p. 100 sans prétraitement, de 25 p. 100 dans le cas du prétraitement au benzène, de 20 p. 100 avec prétraitement à l'alcool.

Parallèlement, le taux de dispersion de la fraction fine (0-20 microns) augmente de 24 p. 100 à 120 p. 100.

Il en résulte (tabl. II) que l'indice d'instabilité de Hénin, Is, augmente sensiblement après irradiation, donc que la résistance des unités structurales à l'action de l'eau diminue de façon appréciable.

TABLEAU II

ÉCHANTILLON	INDICE D'INSTABILITÉ IS DE HÉNIN	
	Sol témoin	Sol irradié
Antony	2,01	3,20
La Hague	0,21	0,38
Montainville	0,18	0,27
Le Tholonet	0,10	0,14
Bondy	0,74	1,20
Grimari	0,24	0,77

LIMITES MÉCANIQUES

Soumis aux tests de détermination des limites d'Atterberg, les sols irradiés (Antony, La Hague, Bondy) ont présenté une limite de liquidité qui correspond à un taux d'humidité inférieur à celui des sols témoins. Cette diminution atteint deux points d'humidité pour Antony et Bondy, un point pour La Hague.

On observe un phénomène comparable, quoique moins net, pour la limite de plasticité et le point d'adhésivité.

RÉTENTION D'EAU A DIFFÉRENTS pF

Testés sur une gamme de pF allant de pF 1,9 à pF 3,0 par la méthode de Richards (9), l'ensemble des sols étudiés n'a montré aucune différence significative entre sols témoins et sols irradiés à la sortie de la pile.

Après réhumectation à l'humidité équivalente (assimilée à l'humidité à pF = 3), et séjour d'un mois à l'étuve bactériologique à 30°, le comportement des couples de sols (témoin et irradié) reste identique.

MATIÈRES HUMIQUES

A la suite des observations précédentes, il a paru bon d'effectuer un certain nombre de dosages d'humus sur cinq échantillons (Le Tholonet, Antony, Bondy, Grimari, La Hague); il en ressort que si les teneurs en carbone total (Méthode Anne) ne paraissent pas affectées par l'irradiation, par contre les taux en matières humiques totales, déterminées après extraction au pyrophosphate de sodium à pH 10 (3) (10), sont sensiblement accrus. Cet accroissement intéresse inégalement les diverses fractions humiques; en effet les acides humiques ne subissent qu'une faible augmentation (2 à 10 %), mais par contre la fraction « acides fulviques » s'accroît de 50 p. 100 pour un seul échantillon, et d'environ 100 p. 100 pour tous les autres.

Or les diagrammes d'électrophorèse (5) ne font pas apparaître de différences nettes dans la répartition relative des acides humiques bruns et gris, ce qui corrobore la remarque faite plus haut, selon laquelle la fraction « acides humiques » varierait peu après irradiation à 4.10^{+6} rads.

ESSAI D'INTERPRÉTATION DES MODIFICATIONS DES PROPRIÉTÉS PHYSIQUES ET CHIMIQUES DES SOLS SOUMIS A L'IRRADIATION

Ainsi, l'exposition d'un sol à un rayonnement gamma intense (4.10^{+6} rads) a pour effets, et une diminution de la stabilité structurale, et une altération de la fraction humifiée mesurée au laboratoire (essentiellement une augmentation du taux d'acides fulviques).

Des études sur les macro-molécules (8) ont fait apparaître que

l'irradiation peut briser les longues chaînes des corps fortement polymérisés; ce pourrait être le cas, ici, pour les matériaux organiques (au sens large) humifiés ou en voie d'humification présents dans le sol.

D'autre part, Combeau et Quantin (4) ont montré que, dans plusieurs types de sol, la stabilité structurale variait dans le même sens que la quantité de matière organique totale (dosée après extraction à SO_4H_2 , Méthode Anne), mais en sens inverse de la proportion d'acides fulviques, ce qui correspond aux résultats observés ici.

En outre, Ch. Thomann (10) a également montré que la teneur en eau du sol à une valeur déterminée de pF était directement liée à la teneur de l'échantillon en acides humiques et indépendante du taux d'acides fulviques (tout au moins pour les pF bas). Encore une fois ces résultats sont en accord avec nos observations.

Quant au processus de modification des matières organiques (au sens large) sous l'influence de l'irradiation, on peut formuler deux hypothèses en première approche :

— soit une transformation de certains matériaux organiques humifiés ou en voie d'humification (qui ne sont pas nécessairement ceux que l'on extrait au laboratoire) directement en acides fulviques;

— soit une transformation double : d'une part, matériaux organiques en acides humiques, d'autre part, acides humiques en acides fulviques, avec, comme corollaire, un taux constant de la fraction « acides humiques ».

Plus simple, la première hypothèse semblerait, de ce fait, la plus probable.

CONCLUSION

Primitivement orientés vers des questions de protection de la nature vis-à-vis des radiations, ces travaux ont mis en relief un certain nombre de modifications sensibles des caractéristiques physiques, chimiques et biologiques des sols lorsqu'ils sont soumis à une forte irradiation gamma.

Les plus inattendues concernent l'altération de la structure, l'augmentation du taux de la fraction « acides fulviques » de l'humus extractible et l'augmentation de la fourniture d'éléments biogéniques aux plantes.

Indépendamment de tout intérêt scientifique, est-il prématuré de penser que la poursuite de telles études puisse déboucher un jour sur des applications plus spécialement agronomiques ?

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- (1) BOVARD (P.), GRAUBY (A.). — « Essais d'irradiation de sols dans le réacteur-piscine Triton ». *Énergie nucléaire*, 1963, 5, n° 3, 149-153.
- (2) BOWEN (H.), CAWSE (P. A.). — « Effects of Ionising Radiations on Soils and subsequent crop growths ». *Soil Science*, avril 1964, n° 4, 252-259.
- (3) BREMMER et LEES. — « Étude sur la matière organique du sol : 2^e partie, Extraction de la matière organique par des réactifs neutres ». *Journal of Agricultural Science*, 1949, n° 39.
- (4) COMBEAU (A.), QUANTIN (P.). — « Observation sur les relations entre stabilité structurale et matières organiques dans les sols d'Afrique centrale ». *Cahiers ORSTOM-Pédologie*, 1964, 11, 1.
- (5) DUCHAUFOUR (P.), JACQUIN (J.). — « Recherche d'une méthode d'extraction et de fractionnement des composés humiques contrôlée par électrophorèse ». *Annales Agronomiques*, 1963, 16, n° 6.
- (6) HENIN (S.) et AL. — « Méthode pour l'étude de la stabilité structurale des sols ». *Annales Agronomiques*, 1958, 1, 71-90.
- (7) POPENHOE et EMO. — « The effect of gamma radiations on the microbial population of the soil ». *Soil Science Society of America Proceeding*, 1926, 26, (2), 164-167.
- (8) PUIG (J. R.). — « Emploi des plastomères et élastomères en génie atomique ». *Bulletin d'informations scientifiques et techniques, Commissariat à l'Énergie atomique*, 1965, n° 98, 53-67.
- (9) RICHARDS. — « Porous Plate Apparatus for measuring Moisture Retention and Transmission by Soils ». *Soil Science*, 1948, n° 66, 105-110.
- (10) THOMANN, (Ch.). — « Quelques observations sur l'extraction de l'humus dans les sols : méthode au pyrophosphate de sodium ». *Cahiers ORSTOM-Pédologie*, 1963, n° 3.
- (11) VELA (G. R.). — « Radiation Resistance of Soil Bacterias in their Natural State ». *Diss. Abstr.*, 1964, 25, 35.

M. Dufrenoy. — Est-ce que, dans les sols étudiés, il y a des sols argileux ?

M. Boyer. — (*L'un des auteurs de la note*). Les sols étudiés ici sont des sols qui, normalement, peuvent être mis en culture; leurs teneurs en argile, mesurée par analyse granulométrique à la pipette Robinson, s'étagent entre 10 p. 100 et environ 30 p. 100 sauf pour les podzols (il s'agit de la fraction inférieure à 2 microns).

M. Dufrenoy. — De quelle argile s'agit-il ?

M. Boyer. — Pour autant qu'elles soient cristallisées, ces argiles sont des kaolinites dans les sols tropicaux.

Par contre, sur les sols de la région parisienne, nous avons le mélange classique de kaolinite de montmorillonite et d'illite, mélange que l'on retrouve également dans la plupart des sols tempérés.

M. Aubert. — Je voudrais souligner seulement à quel point cette communication est intéressante et importante. Ce n'est

pas le lieu ici de rappeler, surtout en présence de notre confrère le P^r Dhar, que nous avons la grande chance d'avoir parmi nous, que, comme il l'a si bien démontré, l'évolution des matières organiques n'est pas toujours et uniquement due à l'action de micro-organismes mais peut se développer sous l'influence de certaines radiations.

Il est intéressant de voir que, sous l'influence de ce rayonnement très violent dont l'effet vient de nous être exposé si clairement, la matière organique peut évoluer. Dans les sols ainsi traités, les micro-organismes disparaissent; ils sont tués; malgré tout la matière organique est fortement transformée et toutes les autres observations faites en sont la conséquence.

Il y a là une voie de recherche qui me paraît devoir être extrêmement fructueuse.
