

Évolution des sols sous l'effet d'une irradiation gamma

Par Jean BOYER (1), André COMBEAU (2)
André GRAUBY (3), Anne-Marie THOMAS (3)

RÉSUMÉ :

Après irradiation (flux gamma de 4 mégarads) à la pile-piscine Triton de sols de diverses origines, on a constaté une modification de certaines de leurs caractéristiques chimiques, physiques, biologiques et agronomiques.

La microflore est intégralement détruite et la fourniture d'éléments biogéniques aux plantes (cultivées ultérieurement) augmente fortement, au moins dans un premier stade.

Corrélativement, la stabilité structurale des sols irradiés se dégrade, les limites d'Atterberg se déplacent et le pH semble parfois s'abaisser. Mais, surtout, la composition des matières organiques extractibles est profondément modifiée par une élévation spectaculaire du taux de la fraction « acides fulviques ».

SUMMARY:

After the irradiation of soils from different origins in the swimming-pool pile Triton (gamma flux of 4 megarads), changes were observed in some of their chemical, physical, biological and agronomical properties.

The microflora is destroyed completely and the supply of biogenic elements to plants (cultivated later) increases strongly in the first stage at least.

Correlatively a reduction in structural stability was found in the irradiated soils, the Atterberg limits are displaced and the pH sometimes seems to decrease. Above all however the composition of extractable organic substances is greatly modified by a spectacular rise in value of the "fulvic acid" fraction.

Dans le cadre de la protection du milieu naturel, les études et expérimentations concernant le sol se sont jusqu'à présent particulièrement attachées aux problèmes posés par les contaminations accidentelles et les rejets.

Pour compléter ces travaux, nous avons entrepris l'étude des effets sur la couche arable d'une irradiation gamma de longue durée et de forte intensité.

Dans une première étape, nous avons cherché à mettre au point une technique de manipulations, nous limitant sur le plan pédologique à quelques tests bactériens et agronomiques [3].

Ces essais d'irradiation gamma de longue durée, réalisés dès 1951 dans le réacteur-piscine Triton du Centre d'Etudes Nucléaires de Fontenay-aux-Roses, ont été à nouveau repris suivant le même procédé.

(1) Maître de Recherches ORSTOM, Centre de Recherches et d'Expérimentation de Génie Rural, Antony (Hauts de Seine).

(2) Maître de Recherches ORSTOM, Centre Scientifique et Technique, ORSTOM, Bondy (Val de Marne).

(3) Ingénieurs au C.E.A., département de la protection sanitaire, section de Radio-Ecologie.

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

Collection de Référence

n° 10974

28 NOV. 1966

Sur les sols ainsi soumis au rayonnement, il a paru bon, non seulement de renouveler, en étendant leur portée, les tests microbiologiques et agronomiques, mais également d'orienter les études sur les modifications de certaines caractéristiques physiques et chimiques de ces sols à la suite de l'exposition à un flux intense de rayonnement gamma.

La technique utilisée est la même que celle qui fut employée en 1961 par Bovard et Grauby [3]; elle consiste essentiellement à irradier le sol sous forme d'échantillons contenus dans des boîtes d'aluminium étanches (soudées sous argon), elles-mêmes placées dans un « conteneur » en aluminium (fig. 1); le tout est immergé dans la pile-piscine Triton à l'aide d'un long câble (fig. 2). Pour éviter les oscillations du « conteneur », ce dernier se trouvait disposé sur une plaque d'aluminium installée sur le canal d'alimentation de la pile (fig. 3). Grâce à un dispositif mobile, cette plaque pouvait coulisser, permettant ainsi des immersions à des distances variables du cœur, donc des intensités plus ou moins grandes de flux gamma.

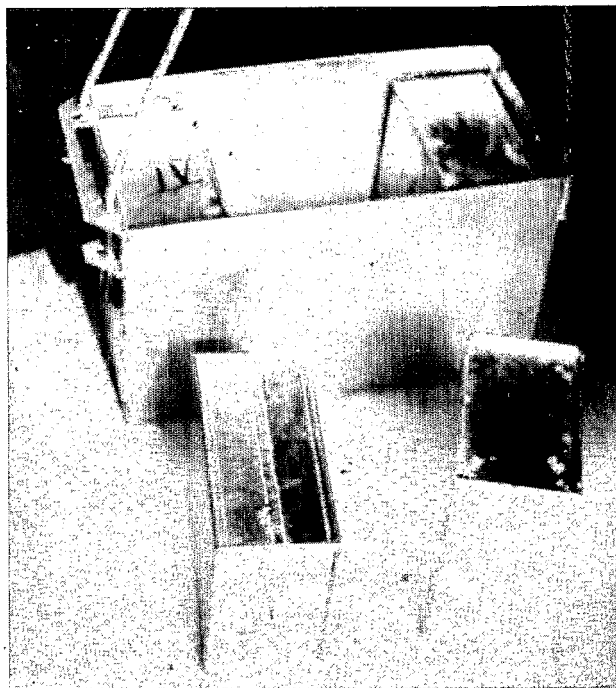


FIG. 1. — Les boîtes d'aluminium contenant les sols, avant leur immersion dans la piscine du réacteur.

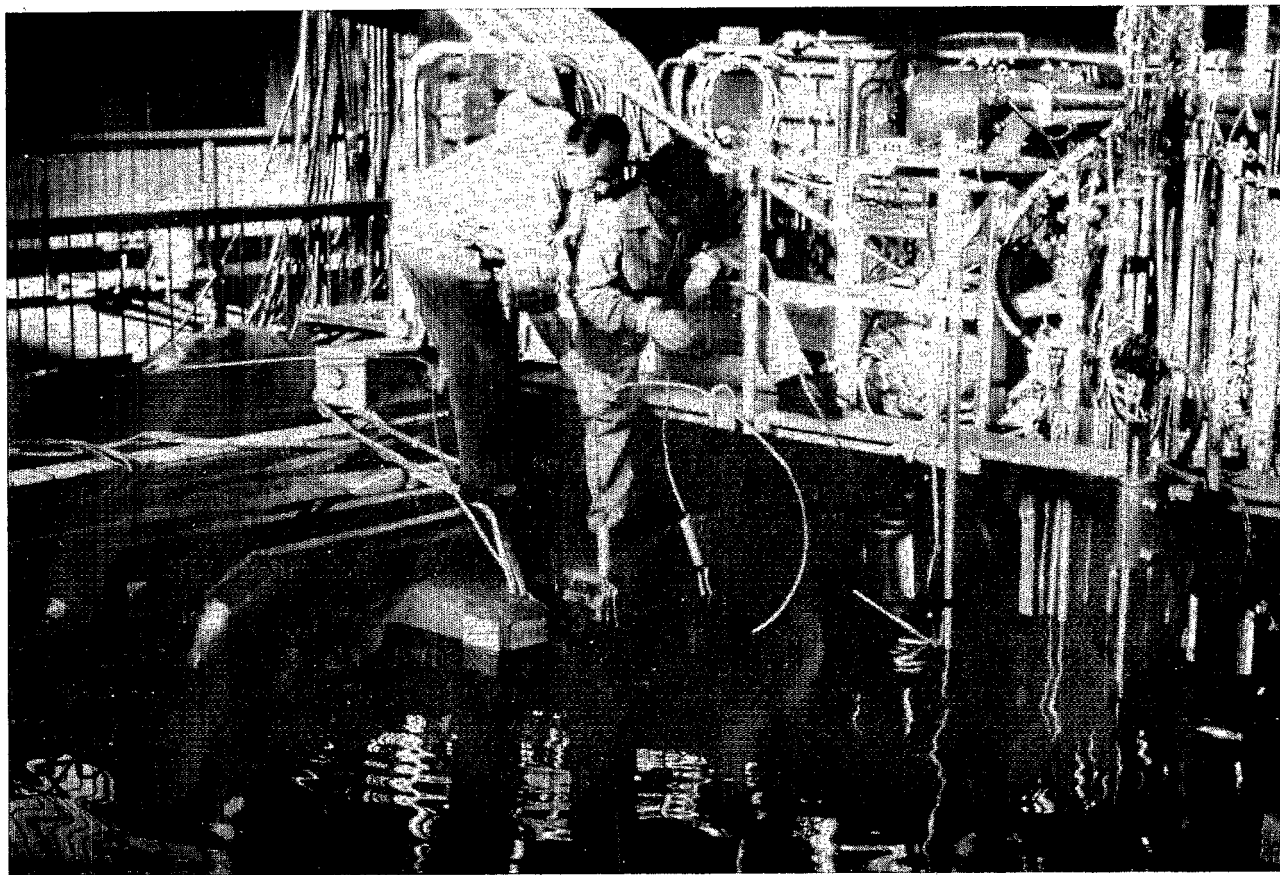


FIG. 2. — Immersion du « conteneur » dans la piscine du réacteur Triton.

D'après l'étude des courbes d'émission du réacteur, l'immersion à 1,5 mètre du cœur et par 10 mètres de fond assure aux échantillons une irradiation d'environ 4.10^{+6} rads, pour une exposition d'une durée de 150 heures (dose vérifiée grâce à l'analyse de verres colorés placés dans les échantillons eux-mêmes).

Le flux de neutrons est faible et sans commune mesure avec le flux précédent ; il est de l'ordre de 1.10^{+4} neutrons par centimètre carré et par seconde et n'entraîne qu'une légère activation des sols.

L'irradiation décrite ci-dessus a concerné les sols dont l'énumération suit.

A l'exception de la rendzine de Montainville, prélevée à trois profondeurs (0-12 cm, 12-25 cm, 25-40 cm), il ne s'agit que des horizons supérieurs, donc les plus riches en humus.

Ces sols couvrent une assez large gamme de sols tempérés et tropicaux, à savoir :

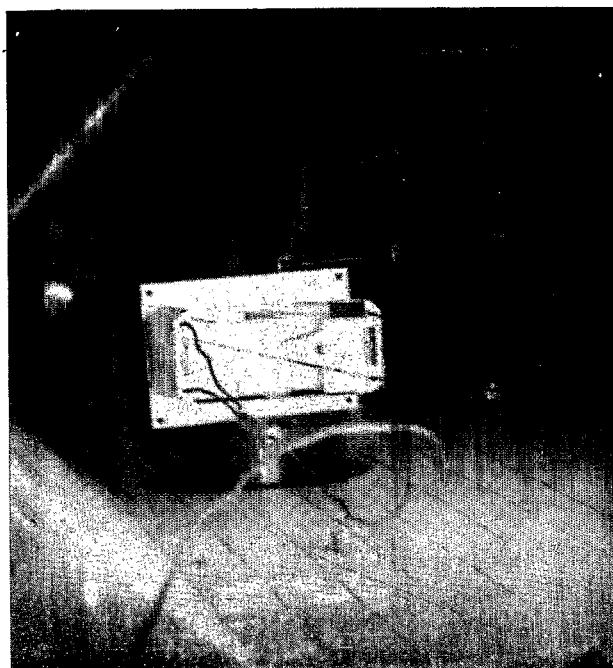


FIG. 3. — Le « conteneur » en position d'irradiation à 1,50 m du cœur.

	<i>Lieu de prélèvements</i>
Sols bruns limoneux, légèrement calcaires, légèrement lessivés de la région parisienne	Bondy (Seine-St-Denis) Antony (Hts-de-Seine)
Sol brun limoneux, lessivé, acide	La Hague (Manche) Plaisir (Yvelines)
Sol brun calcaire	Le Tholonet (B.-du-R.)
Rendzine rouge	Montainville (Yvelines)
Podzol	Landes
Vertisols	Togo
Sols ferrallitiques	Grimari (Centrafrique) Madagascar
Sols ferrugineux tropicaux	Dahomey
Sols hydromorphes	Guédé (Sénégal) Feucherolles (Yvelines)

I. PROPRIÉTÉS BIOLOGIQUES ET AGRONOMIQUES DES SOLS

A) Numération de la microflore.

Les divers tests microbiologiques ont eu surtout pour but de contrôler l'état de survie de la microflore après irradiation gamma (4.10^{+6} rads).

Effectués grâce au concours de Mmes Beck et Dusauçois, du Laboratoire de M. Dommergues (C.N.R.S. Nancy) ; ils ont utilisé les méthodes classiques [11].

C'est ainsi que la microflore totale a été étudiée par ensemencement à la dilution de 10^{-5} sur un milieu de Lockhead (0,2 g de $K_2 H PO_4$, 10 g d'Agar-agar, 1 000 ml d'extrait de sol) avec lecture au 5^e jour et, éventuellement, au 14^e jour pour les actinomycètes ; les champignons sur un milieu Martin (peptone 5 g, glucose 10 g, $K_2 H_2 PO_4$ 1 g, $Mg SO_4 7 H_2O$ 0,5 g, gélose 10 g, solution aqueuse à 1/300 de rose de Bengale 100 ml, eau distillée 300 ml, oligo-éléments en solution 1 ml) et les bactéries ferrugineuses sur milieu Allem 1959 ($SO_4 NH_4$ 2-0,5 g, $K_2 H PO_4$ — 0,5 g, $Mg SO_4 7 H_2O$

— 0,5 g, $Cl_2 Ca$ 0,2 g, citrate ferrique ammoniacal 10 g, eau distillée 1 000 ml).

Quant aux azotobacters, ils furent cultivés sur solution saline standard (50 ml) avec adjonction de 10 g de mannitol, de 0,05 g de $Ca Cl_2$, de 1 ml d'extrait d'oligo-éléments et de 10 ml d'extrait de terre.

Une première numération (tableau I) effectuée sur sol d'Antony et portant sur les azotobacters, les bactéries ferrugineuses, les actinomycètes et les champignons, montre que la destruction est pratiquement totale : seuls certains champignons, en nombre minime, paraissent avoir subsisté. (Ainsi qu'on le verra plus loin, les rhizobiums des nodosités des légumineuses subissent le même sort et sont entièrement détruits).

Une étude, faite pour l'ensemble des sols testés (tableau II) sur la microflore totale d'une part, et les champignons d'autre part, indique que le taux de survie de ces micro-organismes dans les sols ir-

TABLEAU I

*Numération de la microflore d'un sol brun faiblement lessivé d'Antony
Comparaison sol irradié - Sol témoin*

		Sol irradié à 4.10^6 rads		Sol témoin (non irradié)
		Echantillon 1	Echantillon 2	
Microflore totale (7 jours)		—	50	109.10^5
Azotobacters (6 jours)		—	0	615
Actinomycètes (14 jours)		—	0	770.10^{+4}
BACTÉRIES FERRUGINEUSES	Minéralisation (7 jours)	0	0	73.10^{+4}
	Minéralisation (14 jours)	5	5	357.10^{+4}
	Précipitation (7 jours)	0	0	3780
	Précipitation (14 jours)	0	0	78.10^{+3}
Champignons (7 jours)		—	30	14.10^{+4}

TABLEAU II

Survie de la microflore dans les divers sols après irradiation gamma de quatre mégarads

ECHANTILLONS	Numération sur sol témoin (Nt)		Numération sur sol irradié (Ng)		Taux de survie $\frac{N_g}{N_t} \times 100$	
	Champignons (7 jours)	Microflore Totale (7 j.)	Champignons (7 jours)	Microflore Totale (7 j.)	Champignons (7 jours)	Microflore Totale (7 j.)
I Podzol évolué des Landes (sans nappe phréatique proche) Horizon A 2	4,7.10 ⁺³	4.10 ⁺⁴	1,09	13	4,7.10 ⁻³	32,5.10 ⁻³
II Idem Horizon B 1 (Alios)	0,5.10 ⁺³	0,2.10 ⁺⁴	0	0	0	0
Podzol évolué des Landes (à nappe phréatique) Horizon A 2	88.10 ⁺³	30.10 ⁺⁴	0	0,06	0	0,02.10 ⁻³
Sol brun légèrement lessivé d'Antony Horizon supérieur	6,3.10 ⁺³	150.10 ⁺⁴	2,7	0,4	42,8.10 ⁻³	0,026.10 ⁻³
Montainville Rendzine rouge de Montainville Horizon supérieur	23.10 ⁺³	422.10 ⁺⁴	0,7	0,3	3.10 ⁻³	0,007.10 ⁻³
Sol brun lessivé de Plaisir Horizon A 1	680.10 ⁺³	226.10 ⁺⁴	0	7	0	0,30.10 ⁻³
Sol hydromorphe de Feucherolles 0 - 10 cm 10 - 15 cm	10,6.10 ⁺⁴ 9,4.10 ⁺⁴	81.10 ⁺⁵ 70.10 ⁺⁵	0 50	105 22	0 0,53.10 ⁻³	1,3.10 ⁻³ 0,3.10 ⁻³
Sol faiblement ferrallitique Grimari Rép. Centrafricaine	8,3.10 ⁺⁴	60.10 ⁺⁵	0,6	110	0,7.10 ⁻³	1,8.10 ⁻³
Sol hydromorphe Guède Sénégal	0,3.10 ⁺⁴	49,5.10 ⁺⁴	0	9	0	0,18.10 ⁻³
Sol ferrallitique Madagascar	9,5.10 ⁺⁴	4.10 ⁺⁵	0	74	0	18,5.10 ⁻³
Sol ferrugineux Tropical Dahomey	8,0.10 ⁺⁴	4,8.10 ⁺⁵	0,6	276	0,75.10 ⁻³	57,5.10 ⁻³
Sol ferrugineux Tropical Dahomey	5,0.10 ⁺⁴	45.10 ⁺⁵	0	17	0	0,37.10 ⁻³
Sol ferrugineux Tropical Dahomey	3,9.10 ⁺⁴	21.10 ⁺⁵	0,6	43	1,5.10 ⁻³	2,0.10 ⁻³
Vertisol Togo	4,1.10 ⁺⁴	69,4.10 ⁺⁵	/	0	/	0
Sol brun très calcaire Le Tholonet (Bouches-du-Rhône)	18,4.10 ⁺⁴	63,5.10 ⁺⁵	0	0	0	0

radiés est extrêmement faible : dans les cas les plus favorables, il est de l'ordre de 10^{-3} à 10^{-2} % par rapport aux témoins.

Ces résultats, qui confirment ceux déjà trouvés par l'un d'entre nous [3], sont en accord avec les travaux de divers auteurs [2] [9] [12] [17], qui notent que la micropopulation du sol est entièrement détruite aux doses voisines de 4.10^{+6} rads, les doses léthales étant, par exemple, de 1.10^{+6} rads pour les azotobacters et de 3.10^{+6} rads pour les rhizobiums des légumineuses.

Si l'on examine les sols par catégorie, on s'aperçoit que les sols ferrugineux tropicaux et les sols ferrallitiques présentent relativement la microflore la plus résistante (tout en restant dans les limites précédemment indiquées) tandis que les sols fortement calcaires, rendzine de Montainville et surtout le sol brun calcaire du Tholonet (Bouches-du-Rhône) sont défavorisés (Tableau II).

Les teneurs respectives en argile et en humus ne semblent jouer aucun rôle dans la survie.

B) Essais agronomiques.

Ces essais ont porté comme les précédents [3] sur deux cultures : un ray-grass annuel et un trèfle de prairie cultivés en pots de matière plastique contenant 300 grammes de graviers surmontés par un kilogramme de terre fine (sol brun faiblement lessivé d'Antony) ; chaque pot, ayant une hauteur de 15 cm et une surface de 100 cm^2 , fut ensémençé par 1 gramme de graines (ray-grass ou trèfle suivant le cas).

Par des coupes successives échelonnées dans le temps, on a contrôlé le rendement de chaque objet, qu'il s'agisse des plantes poussant sur sol témoin ou sur sol irradié.

Faire des cultures en laboratoire surtout en plein hiver se révèle toujours une opération délicate ; en particulier, on a essayé de compléter l'ensoleillement déficient de janvier et février par un éclairage d'appoint (4 heures de lumière artificielle par jour).

Malgré cela, lors de la deuxième expérience avec apport d'engrais, le nombre de pots étant considérable, certains ont souffert d'être placés en retrait de la baie vitrée par où pénétrait le soleil. Dans une certaine mesure, on a essayé de pallier ces inconvénients par une distribution au hasard ; toutefois, il a fallu éliminer quelques échantillons, ce qui fait que le nombre des répétitions (en principe 5 pour les sols irradiés, 3 pour les témoins) n'est pas toujours constant en réalité.

Quelques incidents culturaux ont émaillé le déroulement de l'expérience ; en particulier une « fonte » des semis sur le trèfle a affecté certains témoins ; les individus qui ont subsisté ont présenté un développement fort avantageux, permettant ainsi de continuer l'expérience.

C) Résultats expérimentaux.

1. Culture de ray-grass sans apport d'engrais (tableau III).

Un premier semis fait le 8-12-1964 a été suivi d'une deuxième expérience similaire lors du prin-

TABLEAU III
Ray-grass - Comparaison des récoltes sur sol irradié et sur sol témoin
Grammes de matières vertes
et pourcentage d'augmentation par rapport au témoin

Ray-grass	1 ^{re} coupe 30 jours	2 ^e coupe 86 à 89 jours	3 ^e coupe 120 jours	Moyenne des 3 coupes
Semis le 8-12-1964	3,33	2,64	3,37	3,11
Témoin	4,19	4,31	5,23	4,58
Irradié	(+ 25 %)	(+ 63 %)	(+ 55 %)	(+ 46 %)
Semis le 25-4-1965	3,79	4,60	3,77	3,92
Témoin	3,99	8,98	6,82	6,60
Irradié	(+ 5 %)	(+ 95 %)	(+ 80 %)	(+ 68 %)

temps suivant (25-4-1965), expérience menée parallèlement aux cultures avec engrais pour lesquelles elles servaient de témoin.

Très rapidement, le ray-grass poussant sur sol irradié manifeste une supériorité sur celui du sol témoin lors de la première coupe (suppléments respectifs de 25 % et de 5 % de poids frais par rapport aux témoins), supériorité nettement affirmée lors de la deuxième récolte à 86 jours (suppléments de récolte respectifs de 63 % et 95 %), encore nette mais en diminution relative à la troisième coupe le mois suivant (augmentations respectives du poids frais de 55 % et 80 %).

En moyenne, en 122 jours de végétation, les trois récoltes sur sol irradié ont donné pour le ray-grass irradié, un supplément de rendement sous forme de matières vertes de 46 % (première expérience en hiver) et de 68 % (deuxième expérience au printemps), ceci par rapport à leurs témoins respectifs sur sol non irradié.

Les conditions de culture en laboratoire, nous l'avons dit, sont peu favorables à la pousse de l'herbe : aussi les coupes suivantes donnèrent-elles des résultats uniformément minimes, non notés ici.

Toutefois, après 8 à 10 mois, on semble assister à une inversion des résultats : les témoins paraissent alors manifester une certaine supériorité sur les plantes poussant sur sols irradiés.

2. Culture de trèfle sans apport d'engrais.

Lors de la première culture (semis le 4-2-1965), une « fonte » des semis affecta les échantillons témoins : seuls quelques individus subsistèrent, en nombre suffisant toutefois pour que l'expérience put être continuée grâce à leur développement particulièrement vigoureux. Malgré tout, les résultats de la coupe effectuée à 58 jours paraissent quelque peu influencés par cet incident cultural : ainsi le supplément de récolte de 140 % (tableau IV) de l'échantillon irradié par rapport au témoin est de ce fait artificiellement gonflé, bien que le sens de variation par rapport au témoin confirme (en les exagérant) les observations visuelles : en effet les trèfles sur sol irradié ont visiblement un démarrage plus rapide et une pousse plus vigoureuse que les témoins, tout au moins les deux premiers mois.

Sur une deuxième expérience de plus longue durée, 126 jours, avec deux coupes, l'une à 89 jours, l'autre à 126 jours, contrairement aux cultures précédentes (ray-grass et trèfle à 58 jours), on note un déficit moyen des récoltes (en poids frais) de 18 % pour l'échantillon irradié par rapport au témoin.

Sur tous les trèfles cultivés sur terre irradiée, on ne distingue aucune nodosité due aux rhizobiums ; de ce fait, leurs racines sont minces et effilées, contrairement à celles des témoins, grosses, trapues, et bien fournies en nodosités ; les photographies montrent parfaitement cette différence importante (fig. 4 et 5).

TABLEAU IV

Trèfle - Comparaison des récoltes sur sol irradié et sur sol témoin

*Grammes de matières vertes
et pourcentage d'augmentation par rapport au témoin*

TREFLE	Semis le 8-12-1964 Coupe à 58 jours	Semis le 25-4-1965	
		Coupe à 89 jours	Coupe à 126 jours
Témoin	0,14*	6,15	7,49
Irradié	0,35 (+ 140 %)	4,82 (- 22 %)	6,34 (- 15 %)
		Déficit moyen — 18 %	

* Chiffre un peu faible par suite d'une « fonte » partielle des semis.

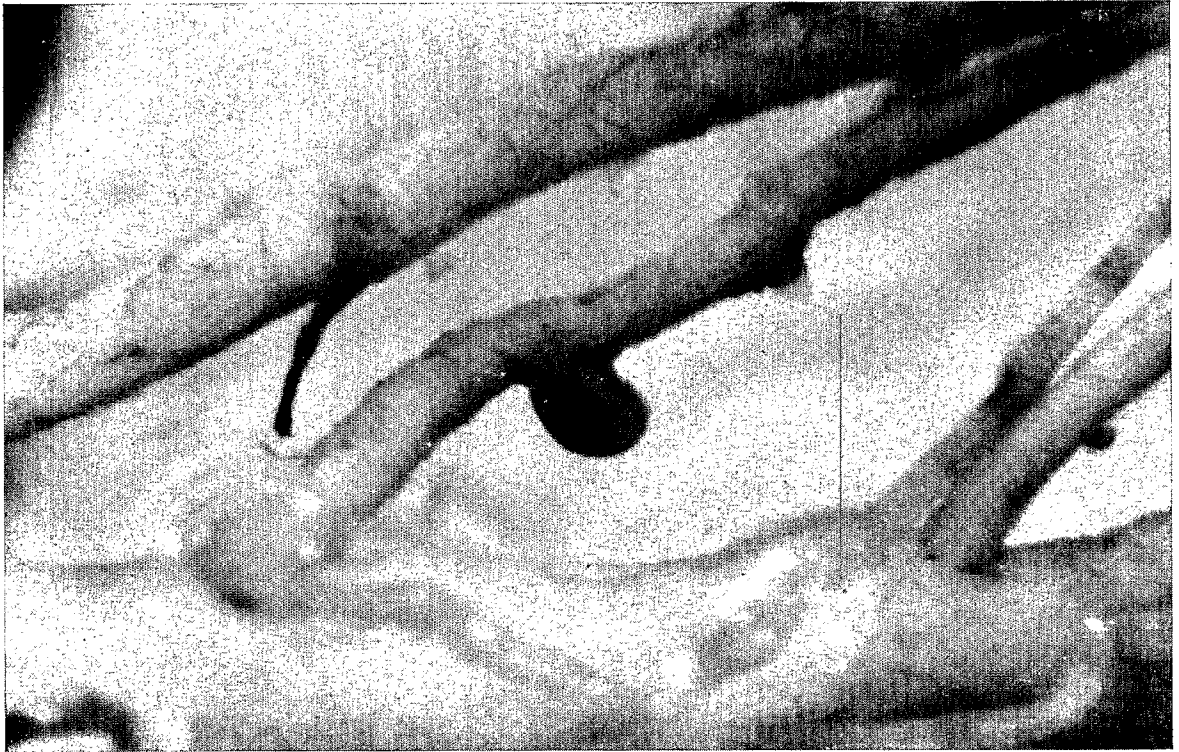


FIG. 4. — *Trèfle sur sol témoin : racines plus grosses avec nodosités.*



FIG. 5. — *Trèfle sur sol irradié (après un an de culture) : racines frêles et sans nodosités.*

3. Culture de ray-grass et de trèfle avec apport d'engrais.

Lors de la levée des semis, on a apporté 10 ml par pot d'une solution à 2 % d'engrais différents sous forme de produits purs pour analyse (tableau V).

Les essais ont porté à la fois sur le ray-grass et sur le trèfle. Cependant, pour le trèfle, il a fallu éliminer totalement les objets comportant des nitrates, du fait d'une mauvaise luminosité.

Certains échantillons mal placés ont donné des résultats nettement inférieurs aux autres : on a donc calculé la moyenne deux fois : une première fois en les excluant (chiffres marqués d'un astérisque) et une deuxième fois en les incorporant dans le calcul (chiffres entre parenthèses qui suivent les précédents).

En consultant le tableau VI, on s'aperçoit que le ray-grass sur sol témoin a partout profité de l'apport d'engrais ; la meilleure réponse (+ 46 %) correspond au nitrate d'ammonium (70 unités de N à l'hectare), puis par ordre décroissant, au phosphate d'ammonium (+ 34 %, avec 47 unités de P et 27 de N à l'hectare), au nitrate de calcium (+ 24 % avec 15 unités de N), et enfin au phosphate bicalcique.

TABLEAU V

Doses d'engrais mises sur les cultures

Engrais	Poids par pot (en gramme)	Dose correspondante à l'hectare
Nitrate d'ammonium NO_3NH_4	0,07 de N (moitié sous forme ammoniacale)	70 unités de N
Nitrate de calcium $(\text{NO}_3)_2\text{Ca}, 4 \text{H}_2\text{O}$	0,015 de N	15 unités de N
Phosphate d'ammonium $\text{PO}_4\text{H}(\text{NH}_4)_2$	0,047 de P 0,027 de N	47 unités de P 27 unités de N
Phosphate bicalcique* $(\text{PO}_4\text{H})_2\text{Ca}_2, 2 \text{HO}$	0,036 de P	36 unités de P

* (Le phosphate bicalcique a été mis en réalité à des doses nettement inférieures aux chiffres indiqués ci-dessus par suite de sa faible solubilité dans l'eau.)

TABLEAU VI

Utilisation des engrais - Comparaison des récoltes de ray-grass sur sol témoin et sur sol irradié (en grammes de matières vertes)

RAY-GRASS ENGRAIS	1 ^{re} coupe	2 ^e coupe	3 ^e coupe	Moyenne	
	30 jours	86-87 jours	123 jours	Poids moyen des 3 coupes	% de variation par rapport au témoin non irradié sans engrais
Sans engrais					
Sol témoin	3,79	4,61	3,37	3,92	0
Sol irradié	3,99	8,98	6,82	6,60	+ 68 %
Avec NO_3NH_4					
Sol témoin	5,00* (3,85)	7,51* (5,75)	4,69* (3,38)	5,73* (4,37)	+46 %* (+10 %)
Sol irradié	4,89	10,60	8,07	7,86	+ 100 %
Avec NO_3Ca					
Sol témoin	4,13	6,39	3,80	4,77	+ 24 %
Sol irradié	4,02	10,17	6,31	6,83	+ 74 %
Avec $\text{PO}_4\text{H}(\text{NH}_4)_2$					
Sol témoin	4,07* (4,31)	7,35* (5,32)	4,18* (2,29)	5,28* (2,29)	+34 %* (+4 %)
Sol irradié	3,76	9,21	6,82	6,60	+ 68 %
Avec phosphate bicalcique					
Sol témoin	4,06	5,36	3,73	4,36	+ 11 %
Sol irradié	3,82	9,51	7,38	6,90	+ 76 %

* Les chiffres marqués d'un astérisque excluent une répétition défavorisée au point de vue exposition à la lumière. Les chiffres qui suivent (entre parenthèses) indiquent la moyenne brute calculée sur toutes les répétitions, sans exception.

Quant aux ray-grass poussant sur sol irradié (dont l'objet sans engrais présente une supériorité manifeste de 68 % sur son homologue à terre non irradiée), la réponse aux engrais est nulle avec le phosphate d'ammonium (47 unités de P, 27 unités de N ammoniacal à l'hectare), peu significative pour le phosphate bicalcique et le nitrate de calcium (15 unités de N nitrique) et nette uniquement pour le nitrate d'ammonium (35 unités de N nitrique et 35 unités de N ammoniacal); pour ce dernier objet, la récolte double par rapport au témoin non irradié (sans engrais) et augmente de 1/6^e par rapport à l'échantillon irradié sans engrais.

Quant au trèfle (tableau VII), on peut constater que tous les échantillons sur sol irradié, y compris ceux qui ont reçu de l'engrais, marquent une infériorité certaine sur le témoin non irradié sans engrais. Les engrais phospho-calciques et phospho-ammoniacaux paraissent mal utilisés; toutefois il semble que le phosphate d'ammonium ait un léger effet améliorateur sur les échantillons qui en ont reçu.

D) Discussion de ces résultats.

Lors d'expériences similaires en 1963, Bovard et Grauby [3] avaient constaté au bout de 9 semaines que le trèfle et le ray-grass poussaient mieux sur sol irradié que sur sol témoin et pensaient que cet effet bénéfique ne serait que de courte durée.

Pour le trèfle sur sol irradié, complètement privé de nodosités par la destruction totale de la flore du sol, cette influence favorable de l'irradiation du sol se manifeste encore à 58 jours, mais non plus à 90 jours et 126 jours; il existe alors, pour ces échantillons, un déficit sensible de récolte par rapport aux témoins non irradiés.

Quant au ray-grass, l'efficacité maximale de l'irradiation du sol se situerait vers 90 jours et diminuerait ensuite légèrement (coupe à 120 jours), tout en restant positive pendant assez longtemps. L'inversion constatée avant 90 jours pour le trèfle ne se produirait pour le ray-grass que vers le huitième mois (constatation uniquement visuelle en raison du mauvais état des cultures à cette époque).

TABLEAU VII

*Utilisation des engrais - Comparaison des récoltes de trèfle sur sol témoin et sur sol irradié
(en grammes de matières vertes)*

	1 ^{re} coupe	2 ^e coupe	Moyenne	
			En gramme (1 ^{re} et 2 ^e coupe)	% de variation par rapport au témoin, sans témoin
Sans engrais				
Sol témoin	6,15	7,49	6,82	0
Sol irradié	4,85	6,35	5,59	- 18 %
Avec PO ₄ H (NH ₄) ₂				
Sol témoin	8,25* (5,49)	7,17* (4,08)	7,71* (4,78)	+ 13 %* (- 30 %)
Sol irradié	6,51* (3,86)	5,95* (3,63)	6,23* (3,74)	- 9 %* (- 46 %)
Avec phosphate bicalcique				
Sol témoin	6,68	4,90	5,79	- 15 %
Sol irradié	5,87	5,20	5,53	- 19 %

* Les chiffres marqués d'un astérisque excluent une répétition défavorable au point de vue exposition à la lumière. Les chiffres qui suivent (entre parenthèses) indiquent la moyenne brute calculée sur toutes les répétitions sans exception.

D'après Bowen et Cawse [4] qui ont expérimenté sur laitue, lin et orge, l'irradiation gamma des sols aurait pour principale conséquence une libération d'azote échangeable sous forme ammoniacale (elle pourrait atteindre 25 fois le taux initial de NH_4), libération qui se continuerait encore 80 jours après l'irradiation (ce que les expériences décrites ici paraissent confirmer).

Cet azote serait responsable de l'amélioration des récoltes poussant sur sols irradiés. Mais s'il est suffisant pour assurer au ray-grass une alimentation nitrée supplémentaire fort appréciable au moins pendant 4 mois, il est par contre incapable après 2 mois, d'assurer la croissance normale des trèfles privés de l'action symbiotique des rhizobiums et, de ce fait, fort à court de ressources azotées.

Ces résultats ont conduit à tenter de comparer l'action de faibles doses d'engrais sur les couples de cultures témoin-irradié. La lecture des tableaux VI et VII montre que si les ray-grass sur sol témoin utilisent relativement bien l'azote nitrique, l'azote ammoniacal et le phosphore, par contre les ray-grass sur sol irradié ne semblent sensibles qu'à l'azote nitrique et encore dans une mesure assez faible ; en particulier l'azote ammoniacal du phosphate ne paraît pas utilisé par la plante.

Quant au ray-grass sur sol témoin, la fourniture de 70 unités d'azote à l'hectare (mi-nitrique, mi-ammoniacal) n'est pas encore suffisante pour « rattraper » les quantités d'azote mises à la disposition de la plante par une irradiation gamma de 4 mégarads.

Les résultats trouvés ici, s'ils confirment des données déjà acquises, permettent de préciser dans le temps l'action favorable de l'irradiation des sols vis-à-vis des plantes qui y poussent.

Par contre, ils posent le problème de l'utilisation de l'azote ammoniacal du sol : en effet celui qui est libéré par le rayonnement gamma selon Bowen et Cawse [4] paraît hautement utilisable par les racines, alors qu'il ne semble pas en être de même pour celui qui est apporté par les engrais.

II. PROPRIÉTÉS PHYSIQUES ET CHIMIQUES DES SOLS

A) Stabilité structurale.

Les échantillons et les témoins ont été soumis à des tests de stabilité structurale suivant la méthode de Hénin [8]. Rappelons qu'il s'agit d'un ensemble de tests destinés à définir le comportement des agrégats de sol en présence d'eau. Ces tests consistent en des tamisages sous l'eau d'un poids de terre connu, soumis ou non à des prétraitements rendant compte de la cohésion (prétraitement à l'alcool) et de la mouillabilité (prétraitement au benzène) de l'échantillon ; ils sont complétés par un test de dispersibilité. On combine ensuite les résultats de ces tests pour obtenir un indice d'instabilité structurale I_s , dont la valeur est d'autant plus élevée que la stabilité est plus faible, donc que la terre est plus sensible aux phénomènes d'éclatement et de dispersion.

L'indice I_s de Hénin, se présente donc sous forme d'un rapport.

$$I_s = \frac{\text{dispersion}}{\text{somme des fractions agrégées}}$$

soit encore :

$$I_s = \frac{(A + L) \max \%}{\frac{\text{AG alc} + \text{AG benz} + \text{AG eau}}{3}} - 0,9 \text{ S.G.}$$

ou $(A + L) \max \%$ représente la fraction inférieure à 20 microns (argile et limon) obtenue par le traitement le plus dispersant, AG alcool + AG benzène + AG eau, les pourcentages d'agrégats obtenus à chaque prétraitement, et S.G. le pourcentage des sables grossiers correspondants.

La comparaison entre échantillons irradiés et échantillons témoins n'indique aucune différence lorsque l'indice d'instabilité structurale est supérieur à 5 (terre à mauvaise structure) ou au contraire pratiquement nul (terres fortement sableuses sans cohésion et à variation de dispersion infime).

Par contre, pour les terres à bonne structure étudiées ici (I_s nettement inférieur à 5), on observe des modifications significatives de comportement entre sols témoins et sols irradiés (tableau VIII).

TABLEAU VIII. — *Stabilité structurale*

	Echantillons	Indice d'instabilité I_s	
		Témoin	Irradié
Sol sans cohésion	Podzol	0,03	0,04
$I_s > 5$	Guedé	7,10	6,65
$I_s < 5$	Le Tholonet	0,10	0,14
	Montainville 0-12 cm	0,12	0,20
	Montainville 12-25 cm	0,18	0,27
	Montainville 25-40 cm	0,80	1,32
	La Hague	0,21	0,38
	Grimari	0,24	0,77
	Bondy	0,74	1,20
	Antony	2,01	3,20
	Antony + Glucose	1,59	5,42
	Togo	3,30	3,65

1. Comportement des agrégats.

Les pourcentages des agrégats stables à l'eau compris entre 0,2 et 2 mm (diminué des pourcentages des sables grossiers correspondants) baissent sensiblement après irradiation.

C'est ainsi qu'après prétraitement à l'alcool, la diminution de la fraction agrégée stable à l'eau est en moyenne de 20 % de la valeur d'origine ; elle atteint 30 % sans prétraitement et 25 % dans le cas du prétraitement au benzène (un seul échantillon faisant exception pour ce dernier prétraitement).

Un échantillon d'Antony avait été soumis à une contradiction avec une observation de Bovard et addition de 5 % de glucose à partir d'une solution à 200 grammes par litre ; or cet échantillon a été le plus affecté par l'irradiation : les pourcentages énumérés plus haut sont alors respectivement de 60, 80 et 90 %. Or l'addition de glucose à un sol,

ou de n'importe quelle autre matière hautement fermentescible [10], a pour effet d'améliorer la stabilité du sol (ce qui se constate pour les témoins Antony et Antony + glucose) ; la dégradation due à l'irradiation n'en est que plus brutale.

2. La dispersion.

Lorsque l'on examine les valeurs de la fraction fine (argile et limon), on s'aperçoit que les échantillons irradiés présentent, par rapport à leurs témoins, une nette augmentation du taux de dispersion de cette fraction (0 à 20 microns). Suivant les sols et les traitements, les différences vont de 24 % à 120 % de la valeur d'origine.

Il résulte de toutes ces observations que l'indice d'instabilité I_s de Hénin augmente sensiblement après une irradiation gamma de 4 mégarads ; cette irradiation a donc pour conséquence pratique de diminuer de façon appréciable la résistance des unités structurales à l'action de l'eau.

Cette constatation semble à première vue en contradiction avec ce que Grauby qui, dans une expérience similaire [3] avaient noté une augmentation de la perméabilité dans les sols irradiés par rapport à leurs témoins respectifs ; il est vrai que l'exposition au rayonnement gamma avait été nettement moins intense (environ 1 mégarad).

Cette divergence apparente des résultats pose tout le problème des effets respectifs de doses d'irradiation très différenciées.

B) Limites mécaniques.

Après passage à la pile, il est apparu que les échantillons irradiés présentaient plus rapidement que les témoins un aspect pâteux et brillant lorsqu'ils étaient réhumectés à des teneurs croissantes en eau.

D'où l'idée de soumettre plusieurs couples d'échantillons, irradiés et témoins (Antony, La Hague, Bondy) aux tests de détermination des limites d'Atterberg [1] [15].

Dans tous les cas, on constate que la limite de liquidité correspond à un taux d'humidité plus faible pour les sols irradiés. La différence est d'autant plus nette que la limite de liquidité est plus

élevée : c'est ainsi qu'elle atteint deux à trois points d'humidité pour Antony et Bondy (limite de liquidité des témoins de l'ordre de 30 % d'humidité) et un point pour La Hague (limite de liquidité du témoin 25 %) (tableau IX).

TABLEAU IX

*Limites mécaniques d'Atterberg
en % d'humidité*

Sol	Antony	La Hague	Bondy
	Limite de liquidité		
Témoin	33,9	25,5	32,2
Irradié	31,4	24,2	30,1
	Point d'adhésivité		
Témoin	25,0	23,5	23,5
Irradié	24,0	21,6	22,5
	Limite de plasticité		
Témoin	17,9		15,6
Irradié	16,8	**	15,5*

* Différence non significative.

** Echantillon trop sableux pour un test correct.

Quant à la limite de plasticité et au point d'adhésivité (tableau IX), le phénomène reste identique, mais les différences sont beaucoup plus faibles, sinon peu significatives (limites de plasticité en particulier).

C) Rétention de l'eau à différents potentiels de flétrissement (pF).

La méthode employée pour ces déterminations est celle de Richards [14] qui utilise l'air comprimé à l'intérieur d'une enceinte étanche pour chasser l'eau d'échantillons préalablement humidifiés à refus, ces échantillons étant posés sur une plaque poreuse dont la face inférieure est en communication avec l'atmosphère.

Après avoir appliqué une certaine pression pendant 10 heures, on mesure l'humidité résiduelle du sol. Les pressions manométriques appliquées 1 kg, 640 g, 320 g, 80 g correspondent respectivement à pF 3,0, pF 2,8, pF 2,5 et pF 1,9. A noter que la teneur en eau à pF = 3 représente sensiblement

l'humidité équivalente telle qu'elle est définie à la centrifugeuse (force centrifuge de 1 000 g, g étant l'accélération de la pesanteur).

Les sols testés (une vingtaine) couvrent à peu près toute la gamme des sols étudiés, à savoir : Podzol (Landes), sols bruns légèrement lessivés de la région parisienne (Antony, Bondy), sols bruns calcaires (Le Tholonet), rendzine rouge (Montainville), vertisols (Togo), sols ferrallitiques (Grimari et Madagascar), sols ferrugineux tropicaux (Dahomey) et sol hydromorphe (Sénégal).

A la sortie de la pile, la comparaison des humidités résiduelles obtenues sur échantillons témoins et sur échantillons irradiés ne fait ressortir aucune différence significative : à pF 3 les écarts sont en gros de 1 point d'humidité, mais indifféremment dans un sens ou dans l'autre.

Aux pF inférieurs, l'écart s'accroît, mais le sens de variation n'est pas constant. Il est donc impossible d'en tirer la moindre conclusion, sinon que l'irradiation à 4.10¹⁶ rads ne semble pas modifier les valeurs de l'humidité résiduelle aux bas pF.

Tous ces échantillons furent réhumectés avec de l'eau distillée stérile sensiblement à l'humidité correspondant à pF 3 (méthode de Richards) et mis à l'étuve bactériologique pendant 20 jours à 30° C.

Au bout de ce laps de temps, une abondante prolifération mycélienne avait envahi les échantillons témoins, alors que les échantillons irradiés étaient pratiquement indemmes.

On a pu constater visuellement que les structures des sols irradiés d'Antony, de Madagascar, de Grimari et du Tholonet s'étaient manifestement dégradées par rapport à leurs témoins, ce qui corrobore, si besoin était, les conclusions du paragraphe consacré à la stabilité structurale.

Ces mêmes échantillons avaient également tendance à sécher plus vite que les témoins, remarque qui confirme celle de Bowen et Cawse [4].

Par contre, les mesures d'humidité résiduelles aux pF précédemment utilisées n'indiquent, une fois de plus, aucune différence significative entre sols irradiés et sols témoins après réhumectation et passage à l'étuve bactériologique.

D) Matières humiques.

Les modifications constatées après irradiation sur les caractéristiques physiques du sol ont conduit à observer ce qui se passe pour les matières organiques, car il est bien connu que celles-ci jouent un grand rôle, en particulier dans la stabilité structurale.

De fait, les dosages d'humus ont mis en évidence certaines transformations.

Si le taux en carbone total, mesuré par la méthode Walkley et Black [18], ne semble pas affecté, par contre les teneurs en matières humiques totales, déterminées après extraction au pyrophosphate de sodium à pH 10 [5] [16], sont sensiblement accrues après irradiation ; mais cet accroissement intéresse très inégalement les diverses fractions humiques : les acides humiques proprement dits ne subissent qu'une faible augmentation qui

va, suivant les sols, de 2 à 15 % (une exception : La Hague avec 19 %). De plus, l'examen des diagrammes d'électrophorèse [7] ne fait apparaître entre échantillons irradiés et témoins aucune différence bien nette dans la répartition relative des acides humiques bruns, gris et intermédiaires ; il n'y a donc pratiquement pas de modifications dues à l'irradiation dans la fraction « acides humiques ».

Par contre, la fraction « acides fulviques » s'accroît de façon extrêmement sensible dans tous les échantillons passés à la pile : cet accroissement est de 40 % pour le sol de La Hague, de l'ordre de 100 % pour tous les autres et il dépasse 200 % pour la terre d'Antony enrichie en glucose.

Ainsi l'exposition au rayonnement gamma a pour effet de modifier la composition de la fraction humifiée de la matière organique, modification qui porte essentiellement sur les acides fulviques dont le taux augmente dans des proportions considérables.

TABLEAU X

Influence de l'irradiation sur les matières organiques

		Acides Humiques C %	Acides Fulviques C %	Matières Humiques totales C %	Ac. Humi. Irradiés	Ac. Fulv. Irradiés	Ac. Fulviques	Mat. Humi. Tot. Irradiés	Ac. Fulv. Irradiés
					Ac. Humi. Témoins	Ac. Fulv. Témoins	Ac. Humiques	Mat. Humi. Tot. Témoins	Ac. Humi. Témoins
Le Tholonet	Témoin	2,00	1,70	3,70	1,15	2,12	0,85	1,59	1,84
	Irradié	2,29	3,60	5,89			1,57		
La Hague	Témoin	0,90	1,69	2,59	1,19	1,41	1,88	1,33	1,18
	Irradié	1,07	2,38	3,45			2,22		
Montainville	Témoin	0,97	1,77	2,73	1,13	2,32	1,82	1,91	2,05
	Irradié	1,10	4,11	5,21			3,74		
Antony	Témoin	0,65	0,87	1,53	1,02	2,40	1,34	1,80	2,36
	Irradié	0,66	2,09	2,75			3,16		
Antony + Glucose	Témoin	0,69	2,01	2,70	1,04	3,30	2,91	2,73	3,17
	Irradié	0,72	6,64	7,36			9,22		
Bondy	Témoin	1,14	1,08	2,22	1,04	1,96	0,95	1,50	1,87
	Irradié	1,19	2,12	3,32			1,78		
Grimari	Témoin	2,13	0,92	3,05	1,11	2,67	0,43	1,58	2,41
	Irradié	2,37	2,46	4,83			1,04		

E) Variations du pH.

Les mesures ont porté sur 5 couples d'échantillons appartenant à des sols différents (Le Tholonet, Antony, Bondy, Grimari, La Hague).

Dans tous les cas, la comparaison des pH (KCl) ne montre aucune variation. Par contre certains pH (à l'eau distillée), mesurés sur les sols irradiés, semblent subir par rapport à leurs témoins une baisse de 2 à 5 dixièmes d'unité pH, mais ceci n'intéresse que 3 échantillons sur 5 (Le Tholonet, Bondy, Grimari), les deux autres (Antony, La Hague) ne présentant aucune modification (tableau XI).

Or ces trois sols dont le pH varie après passage à la pile, sont précisément ceux qui sont les plus riches en carbone organique, ainsi qu'on peut le déduire des teneurs en acides humiques du tableau XI.

Une fois de plus, on retrouve la liaison entre matières organiques et propriétés du sol.

F) Discussion des résultats.

L'étude précédente sur les variations de quelques propriétés chimiques et physiques des sols soumis à l'irradiation gamma (4.10^{+6} rads) possède un certain nombre de limites dont la plus importante est peut-être la dose uniforme de rayonnement qu'ils ont reçue, les conditions d'exploitation d'une pile interdisant de multiplier les expériences.

Bien qu'à ce stade de l'expérimentation il ne soit pas possible de tirer des conclusions de caractère général, le nombre d'échantillons étudiés, leur localisation dans des régions variées, leur type pé-

dologique souvent très différent, permettent malgré tout de rapprocher les résultats obtenus de ceux de certains travaux antérieurs.

Tout d'abord, il semble que le phénomène essentiel engendré dans les sols par un rayonnement gamma de 4 mégarads porte sur l'altération de la fraction humifiée, telle qu'on peut la mesurer au laboratoire ; et en ce domaine il s'agit surtout de l'augmentation spectaculaire du taux d'acides fulviques.

Etudiant le comportement des macromolécules organiques soumises à l'irradiation, Puig [13] définit deux mécanismes d'action des rayonnements ionisants sur un certain nombre de corps tous fortement polymérisés ; suivant le cas, il s'agit, soit d'une réticulation qui interconnecte les chaînes moléculaires, soit d'une dégradation qui se traduit par une rupture des liaisons avec pour corollaire la formation de valences libres au point brisé. Les celluloses et leurs dérivés entreraient dans cette deuxième catégorie.

Si les matériaux organiques, présents dans le sol, suivent le sort des celluloses, il serait possible d'interpréter de cette façon l'apparition d'acides fulviques en plus grand nombre, de même que la présence de radicaux libres au bout des chaînes brisées peut expliquer les faibles baisses de pH constatées sur les sols les plus riches en matières organiques.

D'autre part, Combeau et Quantin [6] ont montré que, dans plusieurs types de sols, la stabilité structurale variait dans le même sens que la quantité de matières organiques, dosée par la méthode Walkly et Slack [18], mais en sens inverse de la proportion d'acides fulviques ; or, dans les sols irradiés ici, l'augmentation du taux d'acides fulviques est parallèle à la dégradation de la stabilité structurale.

TABLEAU XI
Matières organiques et pH

SOLS	Acides humiques en C%		pH Eau distillée		pH KCl	
	Témoin	Irradié	Témoin	Irradié	Témoin	Irradié
Le Tholonet	2,00	2,29	7,85	7,25	7,25	7,05
Bondy	1,14	1,19	7,65	7,35	7,00	6,90
Grimari	2,13	2,37	6,60	6,35	5,90	5,90
Antony	0,65	0,66	7,75	7,75	7,15	7,15
La Hague	0,90	1,07	5,40	5,40	4,80	4,90

De la même façon, Ch. Thomann [16] a précisé qu'à pF 4,2 les acides humiques surtout et, dans une moindre mesure, fulviques, avaient une influence nette sur la rétention d'eau par le sol, alors que pour pF 3 et pH 2,5 seuls les acides humiques donnent des coefficients de corrélation très hautement significatifs, les acides fulviques n'intervenant pratiquement pas.

Tout ceci paraît en accord avec nos observations, car l'exposition au rayonnement gamma (4.10^{+6} rads) n'apporte aucun changement dans les humidités résiduelles mesurées aux pF 3, — 2,8, — 2,5 et 1,9 tandis que la fraction « acides humiques » reste à peu près constante.

Il n'est d'ailleurs pas exclu que les transformations enregistrées dans la composition organique des sols soient également en relation avec la diminution nette de certaines limites mécaniques.

Quel peut être ce processus d'altération des matières organiques étant entendu qu'il ne s'agit pas uniquement de celles qui peuvent être extraites au laboratoire par les méthodes classiques ?

Il n'entre pas dans le cadre de cette étude, principalement expérimentale, de tenter de la préciser.

Toutefois, il semble qu'en première approche, on peut formuler l'hypothèse d'une transformation accélérée en acides fulviques, sous l'influence des rayons ionisants, de certains matériaux organiques humifiés ou en voie d'humification, dont quelques-uns certainement auraient donné naissance à ces corps, mais sans doute plus tardivement et de façon plus échelonnée.

III. CONCLUSION

Est-il possible de faire un bilan résumé de l'action de l'irradiation gamma à la dose de 4 mégarads sur la couche arable du sol ?

En premier lieu, on peut dire qu'elle a mis en relief un certain nombre de modifications importantes des caractéristiques physiques, chimiques, agronomiques et biologiques de ces sols, tout au moins dans les aspects qui ont été étudiés ici.

Certaines conclusions, comme par exemple la destruction de la microflore, étaient prévisibles et les expériences n'ont apporté que des confirmations aux travaux d'autres auteurs.

Mais il en est qui ont présenté un caractère beaucoup plus inattendu, comme l'altération de la structure, les modifications des valeurs du pH et des limites mécaniques, l'augmentation du taux de la fraction « acides fulviques » de l'humus extractible et le supplément d'éléments biogéniques fournis aux plantes mises en cultures sur les sols irradiés.

En cherchant à relier ces constatations aux études antérieures sur les mêmes sujets, il semblerait que la plupart d'entre elles (et peut-être toutes) sont en relation avec les transformations enregistrées sur la matière organique, transformations qui apparaissent ainsi comme le phénomène essentiel mis en relief dans cette expérimentation.

Alors que ces travaux étaient, et restent, orientés vers l'étude des incidences des radiations ionisantes sur la nature, dans un but scientifique, évidemment, mais aussi et surtout dans une optique de protection, il semble qu'ils débouchent actuellement dans une voie où les développements ultérieurs peuvent s'avérer féconds.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] L.D. BAVER. — The Atterberg Consistency constants: factors affecting their values and a new concept of their significance. *J. Amer. SOC. Agro. Geneva, N.Y.*, 1930, p. 935-948.
- [2] BERNARD et GILLER. — Effects of Gamma Rays on some groups of the Soil Microflora. *Agrobiologica*, 1962, 4, 610-616 in *Soils Fertilizers*, Décembre 1962, 25, 6, p. 457.
- [3] P. BOVARD, A. GRAUBY. — Essais d'irradiation de sols dans le réacteur-piscine Triton. *Energie Nucléaire*, Paris 1963, Vol. 5, N° 3, p. 149-153.
- [4] H. BOWEN, P.A. CAWSE. — Effects of Ionizing Radiations on Soils and Subsequent Crop Growths. *Soil Science*, Avril 1964, n° 4, p. 252-259.
- [5] BREMNER et LEES. — Etude 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.
- [6] A. COMBEAU, P. QUANTIN. — Observations sur les relations entre stabilité structurale et matières organiques dans quelques sols d'Afrique Centrale. *Cahiers Orstom, Pédologie*, 1964, II-1.
- [7] P. DUCHAUFOUR, J. JACQUIN. — Recherche d'une méthode d'extraction et de fractionnement des composés humiques contrôlée par l'électrophorèse. *Annales Agronomiques*, 1963, Vol. 14, n° 6, p. 885-918.
- [8] S. HÉNIN et ALT. — Méthode pour l'étude de la Stabilité Structurale des sols. *Annales Agronomiques*, 1958, I, p. 71-90.
- [9] L.F. JOHNSON et T.S. OSHORNE. — Survival of Fungi in Soil exposed to gamma Radiation. *Can. J. Bot.*, 1964, 42, p. 105-113.
- [10] G. MONNLER. — Action des matières organiques sur la stabilité structurale des sols. *Annales Agronomiques*, 1965, 16, (4) p. 327-400.
- [11] J. POCHON. — Précis de microbiologie du sol, Masson et Cie, Editeurs, Paris.
- [12] POPENHOE et ENO. — The effect of Gamma Radiation on the Microbial Population of the Soil. *Soil Science Society of America Proceedings*, 1962, 26, 2, p. 164-167.
- [13] J.R. PUIG. — Emploi des plastomères et élastomères en Génie Atomique. *Bulletin d'Informations Scientifiques et Techniques, Commissariat à l'Energie Atomique*, Paris 1965, n° 98, p. 53-67.
- [14] RICHARDS. — Porous Plate Apparatus for measuring Moisture Retention and Transmission by Soils. *Soil Science* 1948, N° 66, p. 105-110.
- [15] J.C. RUSSEL et F.M. WEHR. — The Atterberg consistency constants. *J. Amer. Soc. Agron.* (Geneva, N.Y.), 1928, 20, p. 354-372.
- [16] Ch. THOMANN. — Quelques observations sur l'extraction de l'humus dans les sols : méthode au pyrophosphate de sodium. *Cahiers Orstom, Pédologie*, 1963, n° 3.
- [17] G.R. VELA. — Radiation Resistance of soil Bacteria in their natural state. *Diss. Abstr.* 1964, 25, 35.
- [18] A. WALKLEY et I.A. BLACK. — An examination of the Degtjareff Method for determination of Soil Organic Matter and a proposed Modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 1934, 37, p. 29-38.