MINISTERE DE L'AGRICULTURE

DIRECTION GENERALE DU GENIE RURAL
ET DE L'HYDRAULIQUE AGRICOLE

CENTRE DE RECHERCHES ET
D'EXPERIMENTATION DE GENIE RURAL

COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE

SERVICE DE CONTROLE DES RADIATIONS
ET DE GENIE RADIOACTIF

CENTRE D'ETUDES NUCLEAIRES
DE FONTENAY-AUX-ROSES

UNE ANNEE D'OBSERVATIONS SUR LES RETOMBEES RADIOACTIVES AU CENTRE DE RECHERCHES ET D'EXPERIMENTATION DE GENIE RURAL A ANTONY

par J. BOYER

Ingénieur Agronome
Maître de Recherches principal
O.R.S.T.O.M.
Agent à contrat du
C. R. E. G. R.

BULLETIN TECHNIQUE DU GENIE RURAL n° 68

Manuscrit remis le
25 Septembre 1963

Edité par le C.R.E.G.R. et tiré à 600 exemplaires
en AVRIL 1964

Reproduction, même partielle, interdite sans l'autorisation
de l'Administrateur du Centre
sauf spécification contraire nettement explicitée.

O.R.S.T.O.M. Fonds Documentaire
N° : 14497, ex 1
Cote : B

TABLE DES MATIERES

Chapitres			Pages
	—	Note de présentation par J. BOURRIER	I
	—	Sommaires (français)	III
		(anglais)	IV
		(allemand)	V
		(espagnol)	VI
I	—	Radioactivité des précipitations atmosphériques	2
II	—	Le sol - Un matériau pratiquement inactif et un filtre excellent pour les eaux de pluies chargées de retombées radioactives	4
		a) Un matériau pratiquement inactif	4
		b) Un filtre remarquable	5
III	—	Radioactivité de quelques plantes en 1962	7
		a) Végétation spontanée (graminées)	8
		b) Plantes potagères (radis et épinards)	9
IV	—	Conclusion	12
	—	Bibliographie	13

Bibliographie des livres reçus au C. R. E. G. R. à Antony (Seine).

PRESENTATION

Les études de M. BOYER, objet du mémoire : *"Une année d'observations sur les retombées radioactives au Centre de Recherches et d'Expérimentation de Génie Rural à ANTONY"* ont été faites dans le cadre du contrat de collaboration qui lie le C.R.E.G.R. et le Commissariat à l'Energie Atomique (C.E.A.).

Si des études concernant la radioactivité ont été entreprises au C.R.E.G.R., c'est qu'il est nécessaire que le Service du Génie Rural se tienne au courant de l'évolution des sciences et techniques nucléaires, et en plus, y apporte une participation aussi active que possible. La radioactivité introduit constamment de nouvelles méthodes dans tous les domaines, souvent sous des aspects inattendus et toujours d'un caractère élégant et il est nécessaire d'en être informé et d'en tirer parti le cas échéant.

Pour nous en tenir aux attributions du Génie Rural, nous citerons, entre autres, la conservation des denrées alimentaires par l'irradiation, la mesure des débits dans les cours d'eau et l'étude des nappes, la localisation des fuites dans les canalisations enterrées, le contrôle du niveau dans les réservoirs, la mesure de l'humidité du sol en place, la détermination des densités des sols, de l'épaisseur des couches de béton et tous les problèmes d'usure des pièces travaillantes qui interviennent dans les questions de machinisme agricole.

Mais le Génie Rural a, au sein du Ministère de l'Agriculture, une attribution spécifique qui consiste en une mission de surveillance et de protection concernant principalement les eaux (eaux de boisson et surtout eaux d'irrigation) et les sols ; c'est pourquoi un contrat a été conclu entre le Ministère de l'Agriculture et le C.E.A. afin d'étudier les diverses incidences que le développement des sciences et techniques nucléaires pouvait avoir sur les activités relevant des attributions du Génie Rural. L'exécution de ce contrat a été confiée, en collaboration étroite avec le Service de Contrôle des Radiations et du Génie radioactif (C.E.A.), à la Section de l'Hydrodynamique des sols et de la Radioactivité du C.R.E.G.R. car l'étude des risques de contamination radioactive des eaux requiert une connaissance poussée de l'hydrodynamique des sols. Cette section dispose à ANTONY d'un laboratoire équipé avec la collaboration du C.E.A., que dirige M. BOYER et du laboratoire qui avait été antérieurement équipé à

VERGIERE. Les activités portent principalement sur l'étude de la rétention de la radioactivité par les sols, la surveillance de la radioactivité ambiante (Stations d'ANTONY et de VERGIERE incluses dans le réseau de surveillance du C.E.A.), la collaboration à l'étude pédologique des sites atomiques et l'étude critique des appareils de détection en continu des eaux de rivière. Ces études ont fait notamment l'objet des B.T.G.R. nos 48 et 59. Une bibliographie plus complète des publications effectuées à la suite de la collaboration entre le C.E.A. et le Génie Rural sera donnée dans un prochain bulletin consacré à la Méthode "VERGIERE".

En outre le C.R.E.G.R. termine actuellement l'installation d'un banc d'études et d'essais des appareils et des procédés de décontamination des eaux potables, particulièrement intéressante dans le cadre de la Défense Nationale ; ce banc va entrer en fonctionnement très prochainement.

La lecture de l'étude de M. BOYER permet de constater combien les observations relevées au cours de la surveillance systématique des retombées peuvent contribuer à préciser l'évolution de la migration des ions radioactifs dans le sol et dans la plante et se rendre compte de tout le parti qu'on peut tirer de la discussion des résultats obtenus à l'occasion de déterminations qui ne doivent pas être considérées comme de simples travaux de routine.

J. BOURRIER

Ingénieur en Chef du Génie Rural,
Correspondant national
de l'Académie d'Agriculture de France,
Chef de la Section de l'Hydrodynamique des Sols
et de la Radioactivité du C. R. E. G. R.

SOMMAIRE

A la suite d'études effectuées au CENTRE DE RECHERCHES ET D'EXPERIMENTATION DE GENIE RURAL à ANTONY, en vertu d'un contrat de recherches passé avec le COMMISSARIAT A l'ENERGIE ATOMIQUE, on a voulu rassembler en un même texte les mesures de radioactivité sur les eaux météoriques faites en 1962, année de fortes retombées atmosphériques, et diverses observations effectuées la même année ; ces observations concernent les incidences de cette radioactivité ambiante sur le sol, sur le tapis de graminées et sur quelques plantes potagères, à l'occasion desquelles nous avons essayé d'avancer quelques considérations.

J. BOYER

Extrait
dont la reproduction est autorisée
sous réserve d'en publier l'origine.

SUMMARY

After a series of studies carried out at the CENTRE OF RESEARCH AND EXPERIMENTATION IN RURAL ENGINEERING (1) in ANTONY, and according to an agreement concluded with the ATOMIC RESEARCH AUTHORITY (2), measurements of radioactivity of meteorical waters, carried out in 1962, a year of heavy atmospherical fall-outs and various observations executed the same year, have been gathered in a single text. These observations, which deal with the incidences of this embient radioactivity on soil, graminaceous carpet and various vegetables, have allowed us to put forth a few considerations.

J. BOYER

(1) Centre de Recherches et d'Expérimentation de Génie Rural.

(2) Commissariat à l'Energie Atomique.

This abstract may be reprinted with mention of the origin.

ZUSAMMENFASSUNG

Auf Grund von Arbeiten, welche in dem CENTRE DE RECHERCHES ET D'EXPERIMENTATION DE GENIE RURAL in ANTONY auf Grund eines vom COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE erteilten Forschungsauftrages durchgeführt worden sind, erschien es zweckmässig in einem Texte die Messungen der Radioaktivität an Meteoritwassern im Jahre 1962, einem Jahr starken atmosphärischen Falles, und verschiedene im gleichen Jahre gemachte Beobachtungen zusammenzufassen : diese Beobachtungen betreffen die Auswirkung dieser Umgebungsradioaktivität auf den Boden, auf die Grasnarbe und auf einige Gemüsepflanzen, wobei versucht worden ist, für diesen letzteren Fall einige Betrachtungen anzustellen.

J. BOYER

Auszug dessen Nachdruck erlaubt wird
unter Vorbehalt der Original Veröffentlichung

SUMARIO

Con motivo de los estudios efectuados por el CENTRO DE INVESTIGACIONES Y EXPERIMENTACION DE INGENIERIA RURAL, (1) en ANTONY, en virtud de un contrato establecido con la JUNTA FRANCESA DE ENERGIA NUCLEAR (2), se ha deseado reunir en un mismo texto las medidas de radiactividad sobre las aguas meteóricas, medidas efectuadas en 1962, año de fuertes precipitaciones atmosféricas, así como distintas observaciones efectuadas ese mismo año. Dichas observaciones se refieren a la incidencias de esta radiactividad ambiente sobre el suelo, sobre el tapiz de gramináceas y sobre algunas plantas de jardín, con motivo de todo lo cual se ha intentado avanzar las consideraciones expuestas.

J. BOYER

(1) Centre de Recherches et d'Expérimentation de Génie Rural.
(2) Commissariat à l'Energie Atomique.

Extracto
cuya reproducción es autorizada
a condición de anunciar su origen.

UNE ANNEE D'OBSERVATIONS SUR LES RETOMBEES RADIOACTIVES AU CENTRE DE RECHERCHES ET D'EXPERIMENTATION DE GENIE RURAL A ANTONY

J. BOYER

Ingénieur Agronome
Maître de Recherches principal
O.R.S.T.O.M.
Agent à contrat du
C. R. E. G. R.

Au Centre de Recherches et d'Expérimentation de Génie rural, à ANTONY, une section du Centre a pour objectif l'étude des incidences du développement et de l'utilisation de l'énergie nucléaire sur le monde rural, en liaison avec le Commissariat à l'Energie Atomique.

A ce titre, l'une des tâches quotidiennes de cette section comprend l'analyse des retombées radioactives entraînées par les précipitations météoriques à la suite des explosions nucléaires expérimentales russes et américaines.

De ce point de vue, le Centre d'ANTONY est intégré au réseau du Commissariat à l'Energie Atomique, dont le Service de Contrôle des Radiations et de Génie Radioactif exploite les données à l'échelon national.

Bien qu'il ne s'agisse que d'un point étroitement localisé, il a paru intéressant, pour ANTONY, de rassembler les résultats des mesures de radioactivité des précipitations atmosphériques en 1962, d'une part, et, d'autre part, de les confronter avec diverses observations qui ont pu être faites au cours de la même année, également à ANTONY, sur l'augmentation de la radioactivité du sol, de la végétation spontanée et de certaines cultures potagères.

– Naturellement, il ne s'agit là que de la radioactivité globale apportée par les retombées et non pas des incidences dues à tel ou tel corps radioactif particulièrement

dangereux comme le strontium 90. Même si quelques préoccupations sanitaires peuvent ressortir du texte, elles se bornent à une référence aux normes de sécurité de l'Euratom, basées sur les recommandations de la Commission Internationale de protection radiologique (6).

— En aucun cas, elles ne veulent préjuger de toute autre conséquence hors de la compétence de l'auteur.

I — RADIOACTIVITE DES PRECIPITATIONS ATMOSPHERIQUES

Les retombées radioactives à longue distance ont pour véhicule principal, dans leur dernier trajet vers le sol, les précipitations atmosphériques, pluie ou neige.

A ANTONY, deux pluviomètres type C.E.A., d'un mètre carré d'ouverture, recueillent les eaux de pluie. Après chaque pluie, le matin à 10 heures, on procède à leur récupération dans chacune des bombonnes des pluviomètres, eaux qui sont traitées de la manière suivante (méthode mise au point par M. FRANCOIS (1) du Centre d'Etudes Nucléaires de FONTENAY-aux-ROSES.) :

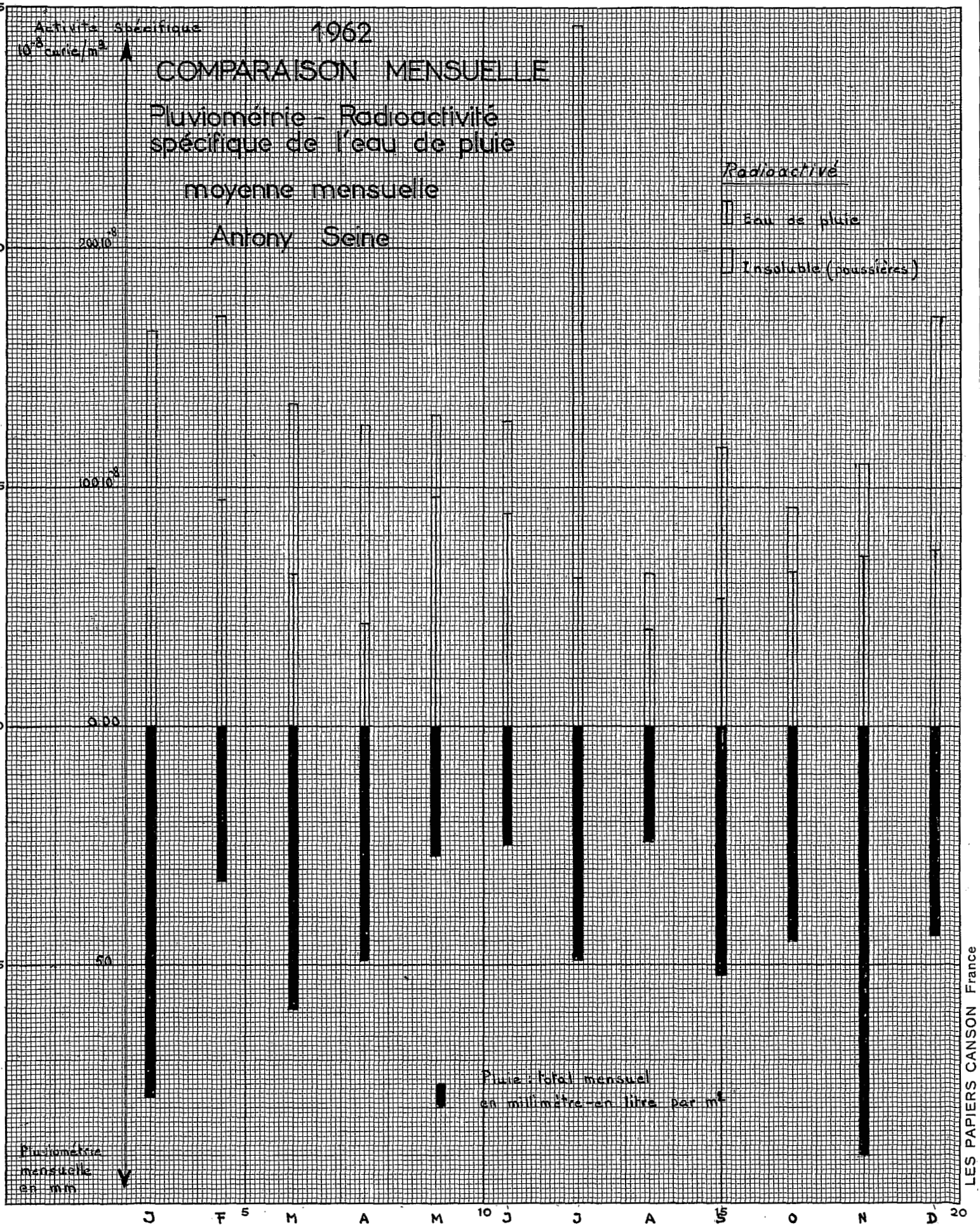
La première opération consiste à séparer, par filtration sur filtre sans cendre, l'eau proprement dite des poussières et débris qui la souillent.

Ceux-ci sont ensuite calcinés au four à 500°/600°, ce qui a l'avantage de faire disparaître filtre et débris végétaux, mais élimine également certains corps volatils comme l'iode 131 et le Ruthénium 103. L'activité du résidu (poids très variable, mais généralement inférieur à 100 mg) est alors mesurée au compteur à scintillations par comparaison avec un étalon de Strontium 90 + Yttrium 90 ; on obtient ainsi la fraction dite insoluble de la radioactivité contenue dans les précipitations atmosphériques.

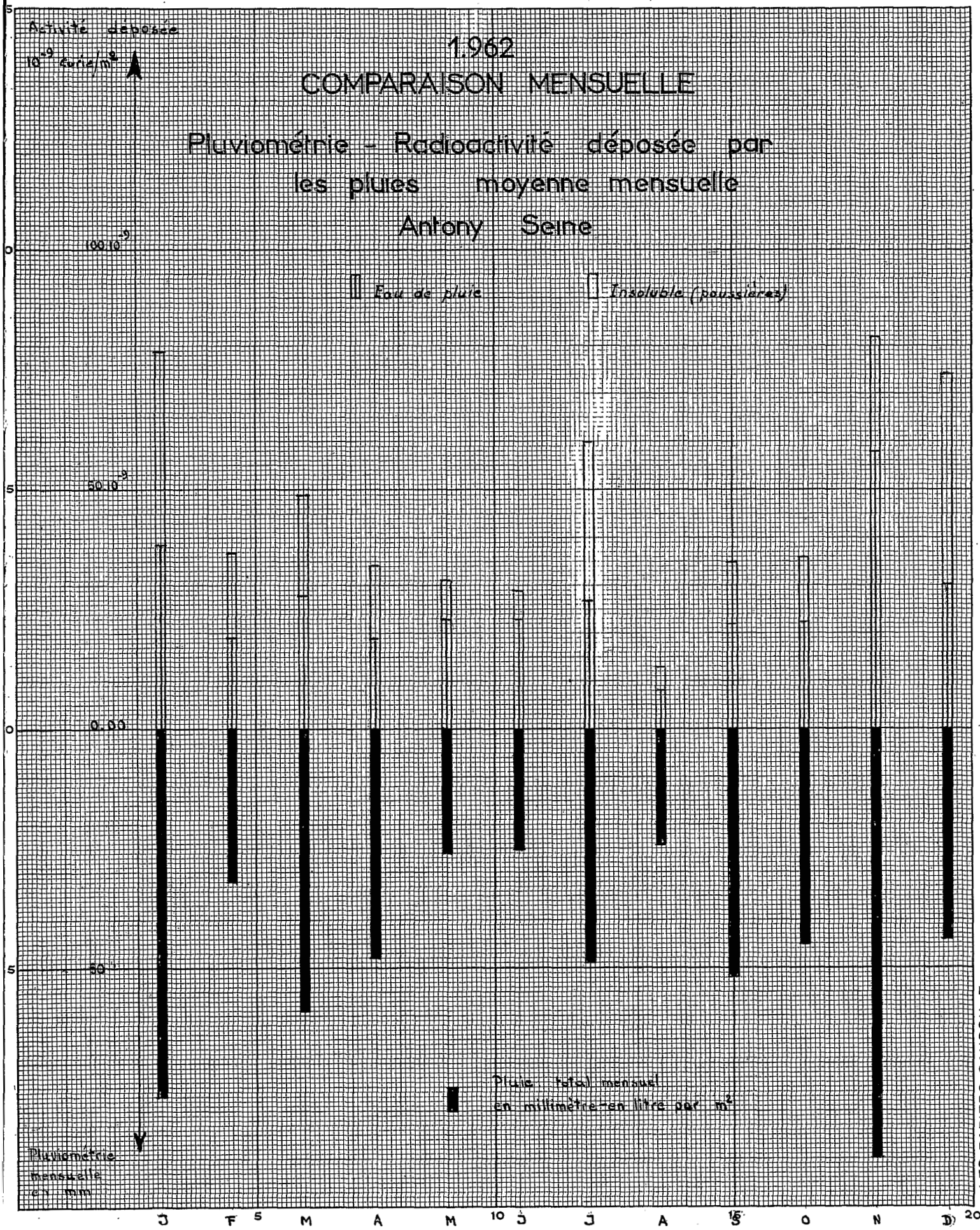
Quant à l'eau de pluie débarrassée de ses poussières, on en prélève deux échantillons, l'un de 100 cm^3, l'autre de 200 cm^3, que l'on acidifie à pH = 1 par quelques gouttes d'acide nitrique pur ; puis on fait évaporer sur plaque chauffante ces deux échantillons mis dans deux cristallisoirs différents. Deux rinçages à pH = 1, avec respectivement 100 et 200 cm^3 d'eau distillée, suivis d'évaporation dans les mêmes cristallisoirs, complètent l'opération.

A chacune des trois manipulations, on fait passer les derniers centimètres cubes de liquide dans une capsule de comptage de 3 cm de diamètre où l'évaporation se termine (la capsule de comptage recueille ainsi la radioactivité de l'eau dépoussiérée).

Au bout d'une dizaine de jours, temps nécessaire pour éliminer l'activité due au radon et au thoron atmosphériques, on mesure au compteur à scintillation l'activité de cette fraction soluble des retombées.



LES PAPIERS CANSON France


1.962
COMPARAISON MENSUELLE
Pluviométrie - Radioactivité déposée par les plues moyenne mensuelle
Antony Seine
Activité déposée
10⁻⁹ curie/m²
100.10⁻⁹
50.10⁻⁹
0.00
50.10⁻⁹
Eau de pluie
Insoluble (poussières)
Pluie total mensuel en millimètre-en litre par m²
Pluviométrie mensuelle en mm
J F M A M J J A S O N D
5 10 15 20
LES PAPIERS CANSON France

Finalement chaque pluie donne lieu aux calculs de l'activité déposée au mètre carré par chaque pluie et de l'activité spécifique par mètre cube pour chacune des fractions, soluble et insoluble, de l'eau de pluie.

Deux graphiques indiquent, mois par mois, l'un la radioactivité spécifique moyenne des eaux météoriques et l'autre la radioactivité totale déposée au cours de chaque mois. Les zones ombrées à la partie inférieure du graphique représentent la tranche d'eau de pluie correspondante.

Ces graphiques permettent de se rendre compte qu'au cours de l'année 1962, à la suite des explosions expérimentales tant russes qu'américaines, cette radioactivité s'est constamment maintenue à un niveau élevé : de l'ordre de 10^{-6} curies par mètre cube d'eau de pluie pour l'activité spécifique avec même une pointe à 10^{-5} (pluie du 3 juillet 1962) et de l'ordre de 3.10^{-8} curies au mètre carré pour l'activité déposée.

Une bonne part de cette radioactivité provient des poussières – ou fraction insoluble – contenues dans l'eau de pluie : cette part est généralement un peu inférieure à la moitié de la radioactivité totale, mais peut atteindre exceptionnellement les trois quarts de ce total.

De tout ceci une conséquence pratique se dégage : en veillant au bon fonctionnement des filtres d'entrée des citernes qui recueillent l'eau de pluie, on peut diminuer, de façon appréciable, la pollution de ces eaux. Signalons que ce problème des eaux de citerne paraît être pris très au sérieux en Allemagne Occidentale où les autorités locales du Schleswig-Helstein envisageraient de décontaminer systématiquement l'eau des 8 000 citernes de cet Etat (2).

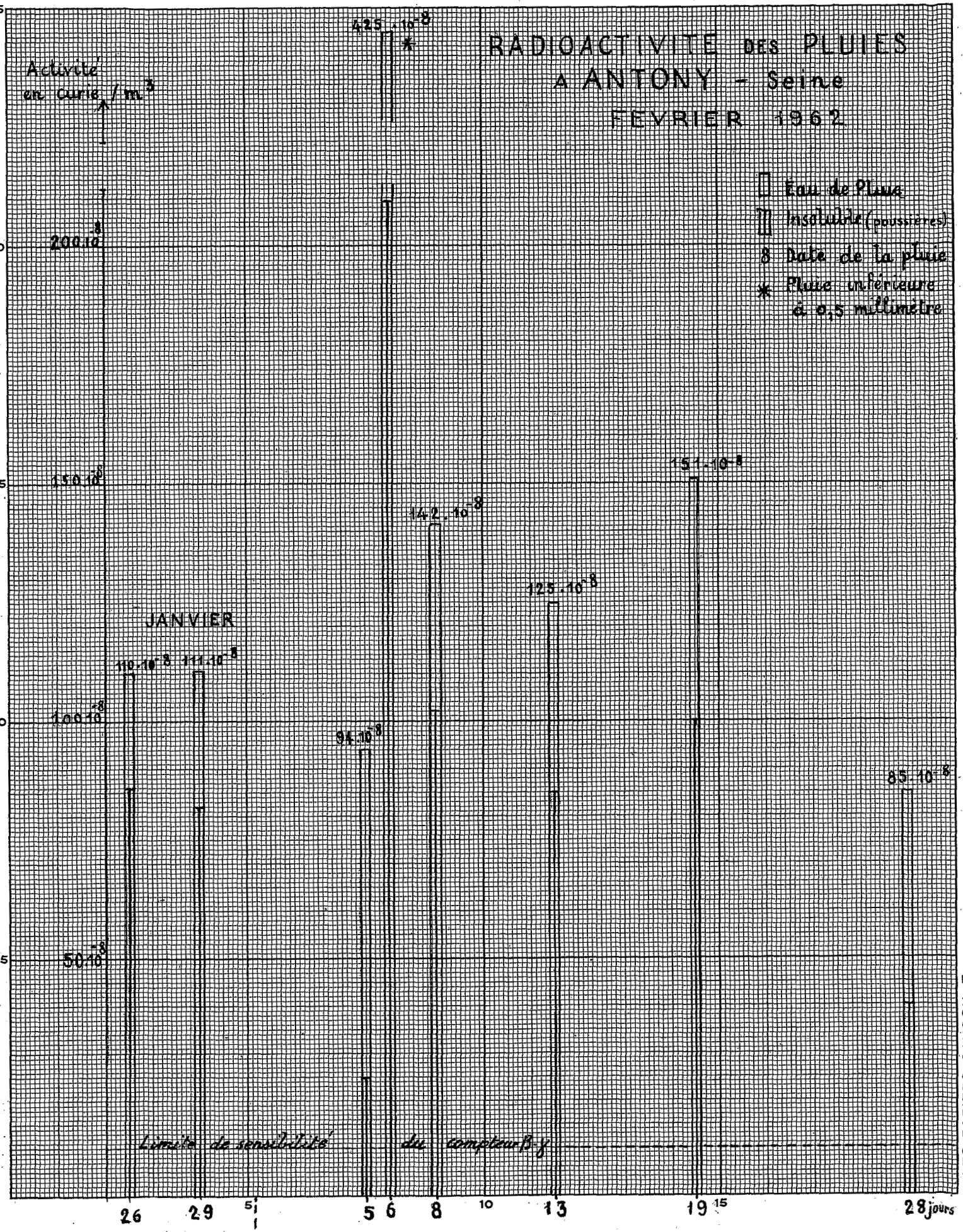
Naturellement la radioactivité apportée par chaque pluie présente un caractère particulier comme on pourra s'en rendre compte en consultant les relevés des deux mois de l'année 1962 placés ici à titre d'exemple.

Les très faibles pluies (moins de 1 mm de hauteur d'eau) ont souvent une très forte activité spécifique, dont est souvent responsable la fraction insoluble.

Lorsque la tranche d'eau tombée au sol devient importante, la part de radioactivité due à cette fraction insoluble (poussières) tend à diminuer. Les périodes de pluies continues voient le plus souvent décroître la radioactivité spécifique (voir sur le graphique de septembre, les pluies des 4, 5, 6 et 7 septembre).

Quant à la radioactivité déposée sur le sol – exprimée ici en curies par mètre carré – elle paraît directement proportionnelle à la hauteur d'eau tombée, du moins pendant une période assez courte (par exemple pendant un mois).

Enfin, les précipitations sous forme de neige apportent une radioactivité nettement plus importante que la pluie, tant au mètre carré qu'au mètre cube.



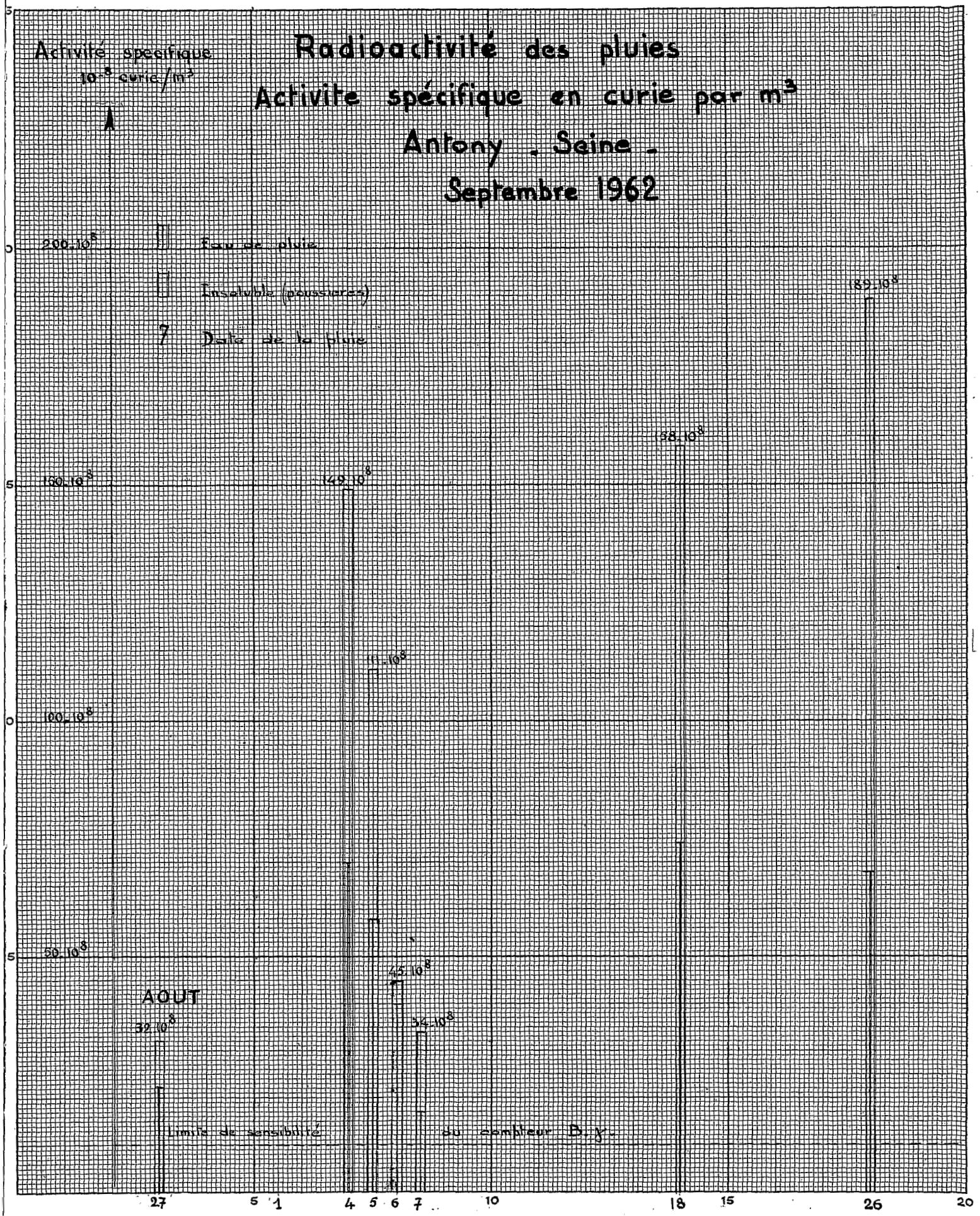
LES PAPIERS CANSON France

Radioactivité des pluies

Activité spécifique en curie par m³

Antony . Seine .

Septembre 1962



DECROISSANCE RADIOACTIVE DES PRECIPITATIONS ATMOSPHERIQUES

Activité Spécifique
curie/m³

150.10^{-8}

100.10^{-8}

50.10^{-8}

Pluie du 12-XI-62

Pluie du 15-XI-62

total

eau

total

eau

insoluble

soluble

1-XII-62

15-XII-62

1-I-63

15-I-63

31-I-63

Fort heureusement cette radioactivité ne reste pas constante : elle subit une décroissance dans le temps ; on sait en effet qu'un élément radioactif voit son activité décroître de moitié pendant un certain laps de temps appelé période ou demi-vie. Cette période, spécifique de chaque corps radioactif, a une durée essentiellement variable : elle peut se mesurer, suivant l'élément considéré, en secondes (Rhodium 106), en jours (Iode 131, 8 jours), en années (Strontium 90, 28 ans) et même en millénaires (Potassium 40)

Parmi les éléments chimiques qui composent l'essentiel des retombées, le Strontium 90 et le Cesium 137 ont les périodes de beaucoup les plus longues, les autres ayant des périodes s'échelonnant de quelques secondes à un an (Ruthénium 106).

On a mesuré, au cours de l'année 1962, cette décroissance sur deux pluies : celles du 12 et du 15 novembre 1962. Comme les précipitations atmosphériques entraînent avec elles un mélange de produits de fission de périodes différentes, la résultante devrait être une période complexe.

En fait, l'eau de pluie (sans les poussières) voit son activité décroître de moitié en 40 à 50 jours, ce qui correspond approximativement à la période du Ruthénium 103 (période 41 jours), tandis que les poussières qui, rappelons-le, subissent au four une calcination à 500° au cours de laquelle le Ruthénium, s'il en existe, disparait en grande partie, ont une période, 64 à 65 jours, donc proche de celle du Zirconium - Niobium 95 (période 63,3 jours). Il est donc probable que ces deux corps Ru^{103} et Nb^{95} forment l'essentiel des retombées mesurées à ANTONY, au moins dans les deux pluies étudiées ici.

II — LE SOL :
UN MATERIAU PRATIQUEMENT INACTIF ET UN FILTRE EXCELLENT POUR LES EAUX DE PLUIES CHARGEES DE RETOMBEES RADIOACTIVES.

Où vont ces pluies chargées de corps radioactifs ? Aux rivières et à la mer ? Bien sûr ! mais surtout elles s'infiltrent dans le sol et en premier lieu dans la couche arable.

a) Un matériau pratiquement inactif

Le sol possède une certaine radioactivité propre habituellement si faible, qu'elle est à peine décelée par les appareils détecteurs habituels : évidemment, en terrain granitique surtout, des traces de minéraux radioactifs ou des infiltrations d'eaux thermales chargées de sels de ces minéraux peuvent l'augmenter dans des proportions considérables, mais il s'agit là de phénomènes purement locaux et assez exceptionnels.

Pour fixer les idées, cette terre "brute" possède à ANTONY une activité généralement inférieure à 5.10^{-8} curies par kilogramme de terre sèche ; quant aux bases échangeables contenues dans le sol, leur activité ramenée au kilogramme de terre sèche est comprise habituellement entre $0,1 . 10^{-8}$ et $0,3 . 10^{-8}$ curies, quand elle n'est pas inférieure à ces chiffres. (Toutes ces mesures sont délicates par suite du manque de sensibilité des détecteurs à ces faibles niveaux d'activité et aussi par l'importance de l'auto-absorbtion à l'intérieur de l'échantillon.)

Sur le sol nu, après de fortes chutes de pluie, l'augmentation d'activité n'intéresse guère que le premier centimètre ; et cette augmentation est si faible et si localisée en surface que le moindre sarclage ne permet plus de la déceler.

Lorsque le sol est couvert de végétation (végétation que les pluies imprègnent de radioactivité comme nous le verrons plus loin), il semble que les racines et débris végétaux, en se décomposant, puissent localement augmenter la teneur en éléments radioactifs, mais toujours dans une proportion très faible.

Bien entendu la décroissance radioactive est la même dans la terre que dans l'eau de pluie conservée brute ; tant que les apports n'arrivent pas à contrebalancer décroissance et infiltration en profondeur, la radioactivité du sol n'augmentera pas.

Certains indices, comme l'augmentation du pourcentage des "comptages significatifs" (c'est-à-dire supérieurs à la sensibilité des appareils de mesure) semblent indiquer que ce "seuil", occasionnellement atteint auparavant, était sur le point d'être franchi de façon plus durable en décembre 1962.

En conclusion, malgré les nombreuses explosions expérimentales suivies de retombées, on peut considérer qu'au cours de l'année 1962 la radioactivité des dix centimètres superficiels de la couche arable n'avait que fort peu augmenté à ANTONY.

b) Un filtre remarquable

Mais surtout le sol a de remarquables propriétés pour décontaminer les eaux chargées en produits radioactifs cationiques, qu'elles soient météoriques ou non.

C'est un fait bien connu, mais qu'il a paru bon de préciser ici.

A cet effet, au laboratoire du C.R.E.G.R., on a recueilli la pluie du 22 janvier 1962 soit environ 5 litres. Puis on a fait percoler cette eau sur trois corps filtrants A, B, C, disposés dans trois entonnoirs de laboratoire de 7 cm de diamètre garnis d'un filtre en papier :

A 100 g. de limon de surface de la région parisienne prélevé à ANTONY.
B 50 g. de limon d'ANTONY mélangé à 50 g. de quartz pur en grains.
C un volume égal de coton hydrophile.

Chacun de ces 3 objets a reçu un litre d'eau de pluie versé par petites fractions ; afin d'obtenir une eau de mêmes caractéristiques sur les trois objets, on ne s'est pas contenté de secouer énergiquement la bombonne de cinq litres, mais on a, en plus, rempli les trois éprouvettes de 1 litre, destinées à chacun de ces objets, en versant successivement dans chacune d'elles une petite quantité de liquide, à partir de la bombonne, jusqu'au remplissage total des trois éprouvettes.

L'opération de filtration proprement dite n'a pas présenté de difficulté spéciale.

Pour le coton hydrophile, elle n'a demandé qu'une demi-heure. Pour la terre, on a pris la précaution de verser l'eau toujours au centre de l'entonnoir dans le trou qui s'est graduellement formé du fait de la chute du liquide, tout en prenant bien garde à ce que la filtration ait lieu à travers la terre et non sur les bords du papier filtre.

De telles précautions obligent évidemment l'expérimentateur à opérer la filtration par très petites quantités de liquide - ce fait, joint à une perméabilité assez faible de ce sol riche en éléments fins (argile 18 °/₀, limon 42 °/₀, sable fin 27 °/₀, sable grossier 6 °/₀, T = 17 méq/100 g), a considérablement allongé la durée de l'expérience qui a duré près de deux jours. -

Les trois filtrats furent alors traités suivant les méthodes mêmes qui sont décrites plus haut pour mesurer la radioactivité des eaux de pluies.

A une différence près toutefois : le liquide parfaitement limpide n'a pas nécessité de séparation de la fraction insoluble (poussières), inexistante ici parce que retenue par les filtres (coton ou sol arable).

Les mesures de radioactivité sur les trois filtrats : A, B, C, ont donné les résultats suivants qu'il est intéressant de comparer aux mesures d'activité de l'eau de pluie récoltée le même jour et analysée suivant les méthodes habituelles.

Pluie du 22 janvier 1962	Activité en curies par mètre cube
Eau de pluie	
Eau dépoussiérée (fraction soluble)	$25{,}2 \cdot 10^{-8}$
Poussières (fraction insoluble)	$29{,}6 \cdot 10^{-8}$
Total pour la pluie du 22.1.1962	$55{,}2 \cdot 10^{-8}$
Eau de pluie après filtration	
Filtrat A (terre)	$< 9{,}4 \cdot 10^{-8}$
Filtrat B (terre + quartz)	$< 9{,}4 \cdot 10^{-8}$
Filtrat C (coton)	$26{,}3 \cdot 10^{-8}$

Les filtrats A et B ne présentent plus aucune activité ou du moins cette activité est inférieure à la limite de sensibilité du détecteur (compteur à scintillations).

Seul le filtrat C recèle une certaine radioactivité qui correspond exactement à celle de la fraction soluble de l'eau de pluie. Le coton n'a donc eu qu'une action mécanique en retenant les impuretés en suspension.

Par contre, la terre - même mélangée à 50 % de quartz - a retenu par effet de filtre et par absorption la totalité de la radioactivité, fraction soluble et fraction insoluble.

Ainsi 100 g de terre suffisent amplement dans ce cas à décontaminer complètement un litre d'eau de pluie d'activité moyenne.

Pour un sol en place (3) (5), et non pas rendu homogène par tamisage comme dans le cas précédent, un certain nombre d'éléments (fentes, fissures, racines, trous de vers de terre) introduisent toujours une certaine hétérogénéité dans la structure ; d'où une pénétration plus irrégulière et souvent plus rapide des eaux de pluie, eaux qui ne sont pas forcément filtrées et décontaminées dès les premiers centimètres.

Toutefois, à moins qu'il n'y ait communication directe entre les eaux météoriques et la nappe phréatique (ce qui peut se produire dans certains terrains largement fissurés), on peut considérer que toute eau qui, avant d'atteindre cette nappe, a traversé plusieurs dizaines de centimètres de terre et "à fortiori" plusieurs mètres, est parfaitement débarrassée de la radioactivité des retombées. C'est le cas de la quasi totalité des sources.

Même dans le cas d'une guerre nucléaire ou d'un accident grave (à une pile par exemple) où la radioactivité ambiante serait infiniment plus importante qu'à la suite des retombées actuelles, le sol peut encore fournir un filtre très efficace pour l'eau de boisson ; MM. BOURRIER, BOVARD et GRAUBY, ont mis au point une méthode de décontamination de l'eau (4), que sa simplicité met à la portée de tout utilisateur un peu averti : il suffit de remplir de terre un seau dont le fond recouvert d'une toile a été percé de quelques trous ; l'ensemble fait office de filtre et peut fournir une eau très assainie à partir d'une eau fortement polluée par des produits de fission.

III — RADIOACTIVITE DE QUELQUES PLANTES EN 1962

Avant de gagner le sol, l'eau de pluie ruisselle sur la végétation qu'elle imprègne de radioactivité : feuilles et tiges absorbent dans leur parenchyme folliaire ces éléments radioactifs au moins en partie et les transportent par la sève jusque dans les organes souterrains. A ce propos, il faut noter que les plantes, comme tout organisme vivant, possèdent une certaine radioactivité propre - due en particulier au potassium 40 - qui, suivant l'âge ou l'organe, peut varier de $10 \cdot 10^{-8}$ à $35 \cdot 10^{-8}$ curies environ par kilogramme de cendres pour les plantes annuelles étudiées ici.

RADIOACTIVITE DE LA VEGETATION SPONTANEE

Antony – Seine

Activité en curie par kg de cendres

——— graminées tiges et feuilles

– – – – graminées racines

200.10^{-8}

150.10^{-8}

100.10^{-8}

50.10^{-8}

Mois J F M A M J J A S O N D

LES PAPIERS CANSON France

a) Végétation spontanée (graminées)

Une première série d'expériences a porté sur la végétation spontanée composée en quasi totalité de graminées.

Tous les mois on a prélevé, dans un endroit couvert d'herbes, sur un carré de 20 cm de côté, les feuilles, tiges et racines (les racines sont soigneusement lavées à l'eau courante) ; les parties aériennes et les racines sont ensuite calcinées séparément au four à 500° ; on mesure enfin l'activité de leurs cendres au compteur béta sur un échantillon de 450 mg par comparaison avec un étalon de $Sr^{90} + Y^{90}$.

Le graphique ci-joint indique mois par mois les résultats de ces mesures.

Tout d'abord on peut constater que les retombées s'accumulent surtout sur les feuilles et ne passent que faiblement dans les racines dont la radioactivité demeure faible et proche du minimum.

La similitude d'allure des deux courbes (bien qu'à des niveaux d'activité fort différents) suggère qu'une petite partie des éléments radioactifs absorbés par les parties aériennes migre dans les racines.

On doit noter toutefois une exception en juin et juillet, exception que l'on peut expliquer par la physiologie particulière des graminées qui forment ici l'essentiel du tapis végétal.

On sait en effet que ces plantes présentent deux périodes de repos, l'un hivernal, pendant l'époque la plus froide, l'autre estival, juin et début juillet (et qui peut se prolonger en août et même septembre si l'été est très sec), au cours duquel la plante accumule des réserves dans le collet (juin) et se débarrasse de ses racines qui pourrissent ; à la première pluie, elle reforme un nouveau système radiculaire à partir de ces réserves. Or juin (le prélèvement a eu lieu entre le 15 et le 20) correspond à une pointe de radioactivité des racines et juillet à une baisse profonde. Ces résultats paraissent logiques si l'on considère qu'au cours du mois de juin, les graminées ont mis en réserve dans le collet (inclus dans le prélèvement des racines) une certaine quantité de matériaux en provenance des feuilles, et ceci a comme corollaire une augmentation de l'activité spécifique, tandis qu'en juillet, mois pluvieux en 1962, les plantes ont émis un nouveau réseau radiculaire à partir de ces mêmes réserves, d'où une baisse de la radioactivité des cendres par unité de poids.

Quant aux parties aériennes des graminées, dont le niveau d'activité reste élevé ($100 . 10^{-8}$ curies par kilogramme de cendres), on peut remarquer deux importantes baisses de radioactivité, en avril d'abord, puis en octobre-novembre, mois qui correspondent à la pousse de printemps, et de façon moins nette à celle d'automne.

Inversement on constate deux "pics" de radioactivité en février-mars, puis en septembre : or février et mars furent en 1962 des mois froids dont la température ne permit pas à la végétation de "partir", août fut relativement sec, et si septembre a enregistré

52 mm d'eau, une seule pluie intervient pour 35 mm dans ce chiffre ; au total, conditions médiocres pour la pousse de l'herbe.

Dans ces deux cas (février-mars et septembre) il y eut accumulation des retombées sur une surface folliaire pratiquement inchangée, donc une augmentation de radioactivité des plantes.

Cette étude sur la radioactivité des graminées sous l'influence des retombées conduit donc à deux conclusions, que le bon sens pouvait peut-être prévoir, mais qu'il est intéressant de confirmer expérimentalement :

Tout d'abord la radioactivité par unité de poids des parties aériennes (mesurée sur les cendres) décroît lorsque la plante pousse vigoureusement.

Enfin cette radioactivité migre dans les racines en proportion faible, et ceci surtout au moment où celles-ci emmagasinent des réserves.

En corollaire on peut dire que toute mesure de radioactivité des graminées doit tenir compte de la physiologie de la plante et non pas seulement de l'intensité des retombées.

b) **Plantes potagères** : radis et épinards.

Des mesures de radioactivité effectuées sur radis et épinards en 1960, année sans retombées notables, avaient donné les résultats ci-dessous.

On peut donc considérer que ces chiffres représentent principalement la radioactivité propre de ces végétaux (chaque chiffre est la moyenne d'une vingtaine de mesures).

Végétaux	Radioactivité en 1960 en Curies par kg de cendres
EPINARDS (7 mois de végétation)	
- Feuilles au stade comestible ..... 14 avril 1960	$30{,}8 \cdot 10^{-8}$
- Feuilles et tiges lors de la mise à fleur 20 mai 1960	$18{,}5 \cdot 10^{-8}$
- Fleurs 20 mai 1960	$29{,}8 \cdot 10^{-8}$
RADIS (juin 1960) Stade comestible, après 45 jours de végétation environ.	
- Feuilles	$13{,}1 \cdot 10^{-8}$
- Bulbes et racines	$34{,}2 \cdot 10^{-8}$

En 1962, on a recommencé les mêmes cultures de radis et d'épinards au Centre d'ANTONY.

Des épinards semés fin août 1961 furent récoltés en mai 1962, soit après 7 mois de végétation (donc d'exposition aux retombées) ; un deuxième semis fin août 1962 permit une récolte le 10 octobre suivant, soit 40 jours après la levée, grâce au temps exceptionnellement beau et chaud.

Quant aux radis, des semis échelonnés ont donné des récoltes en juin, août et septembre après respectivement 45, 35 et 40 jours de végétation. Naturellement chaque récolte fut l'occasion de multiples prises d'échantillons, au moins un par planche de 2 m^2 en essayant de répartir les prises sur toute la surface cultivée.

On sépare ensuite au laboratoire feuilles et racines d'un même échantillon (opération non effectuée sur les épinards dont on ne prélève que les feuilles) : alors que les feuilles ne subissent qu'un léger essuyage au papier de soie pour les débarrasser des projections de terre, les racines sont lavées et parfois légèrement grattées.

Puis tous ces échantillons sont séchés à l'étuve à 110° et réduits en cendres au four à 600°.

On mesure enfin la radioactivité de ces cendres sur un échantillon de 450 mg par comparaison avec un étalon de $Sr^{90} + Y^{90}$.

RADIOACTIVITE DES CENDRES D'EPINARDS ET DE RADIS EN 1962

Date des prélèvements	Durée approximative de végétation	Radioactivité des cendres en curies par kg	% d'augmentation par rapport à 1960
	Feuilles d'épinards réduites en cendres		
23.5.62	8 mois	$141,1 . 10^{-8}$	370 %
10.9.62	40 jours	$49,3 . 10^{-8}$	66 %
	Feuilles de radis réduites en cendres		
18.6.62	45 jours	$51,6 . 10^{-8}$	300 %
13.8.62	35 jours	$37,4 . 10^{-8}$	187 %
4.9.62	40 jours	$45,3 . 10^{-8}$	248 %
	Bulbes de radis réduits en cendres		
18.6.62	45 jours	$51,1 . 10^{-8}$	50 %
13.8.62	35 jours	$52,0 . 10^{-8}$	50 %
4.9.62	40 jours	$42,9 . 10^{-8}$	26 %

En comparant les tableaux de radioactivité des années 1960 et 1962, on constate une augmentation générale en 1962, incontestablement due aux retombées.

Pour les épinards, de 30.10^{-8} curies en 1960, elle passe en 1962 à 49.10^{-8} curies après 40 jours de végétation et à 141.10^{-8} curies après 8 mois de végétation.

Les feuilles de radis (durée de végétation 45 jours maximum) passent de 13.10^{-8} à 44.10^{-8} curies (chiffre moyen).

Quant aux bulbes de radis, leur activité, déjà forte en 1960 : $34{,}2.10^{-8}$ curies par kg de cendres, augmente de 40 °/o seulement en moyenne. (Tous ces chiffres se rapportent à des cendres. Pour passer du poids de cendres au poids frais, il faut multiplier en gros par un facteur 100, ce qui diminue d'autant les chiffres de radioactivité par unité de poids, mais évidemment ne modifie en rien les pourcentages d'augmentation.)

Ceci permet de mettre en évidence une constatation importante: à savoir la liaison entre le temps de végétation et la radioactivité de la plante, fait particulièrement évident pour les épinards après 40 jours et après 8 mois de végétation, la radioactivité passe de 50.10^{-8} curies pour les premiers à 140.10^{-8} curies pour les seconds. Poussant très vite, les radis sont faiblement radioactifs (en gros le même niveau d'activité que les épinards de même durée de végétation). On rejoint ici ce qui avait été constaté pour les graminées, à savoir que la radioactivité des cendres est minimale lors des périodes de pousse intense.

On pourrait supposer que les retombées se déposant sur les parties aériennes des plantes peuvent être facilement éliminées par un lavage énergique.

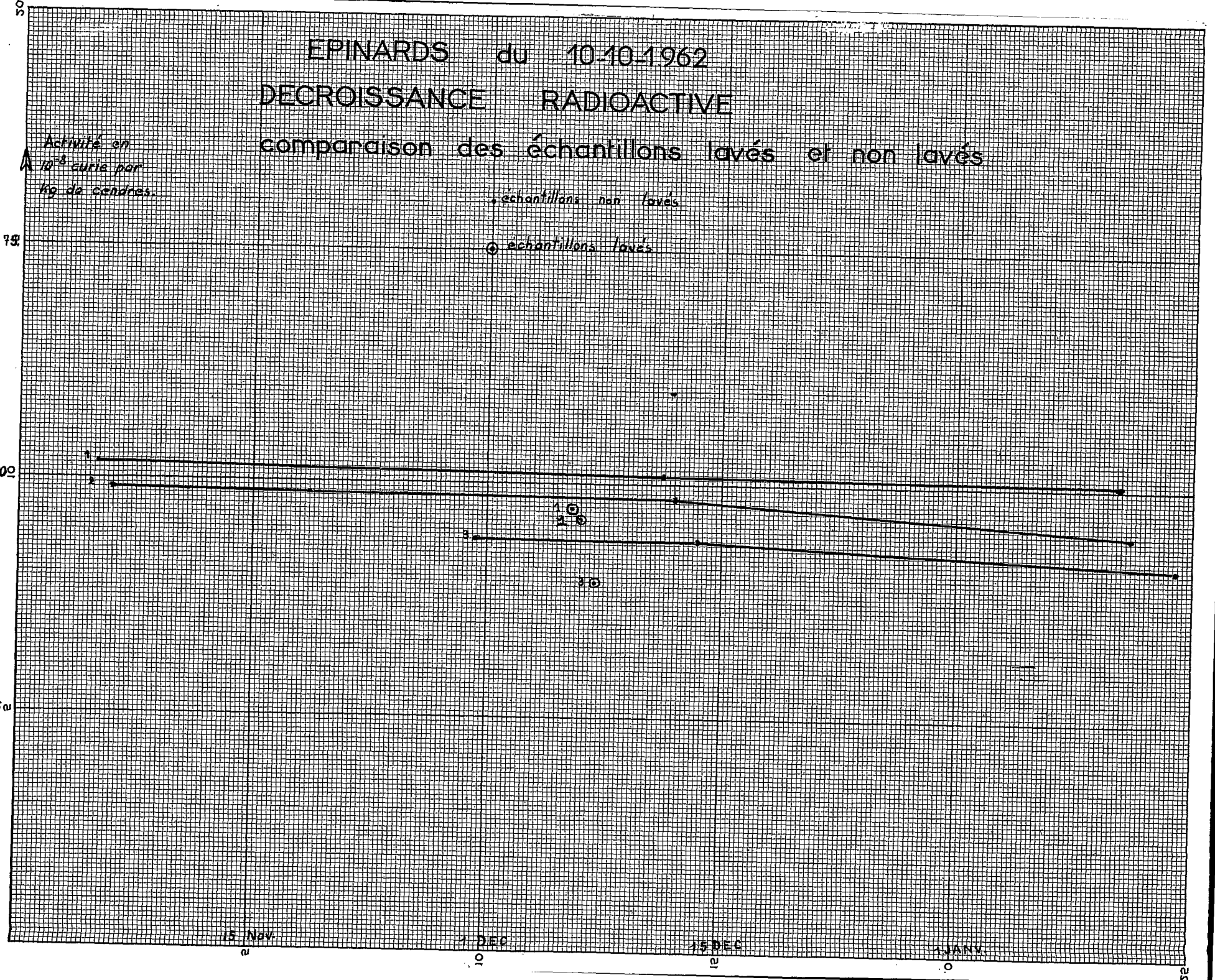
En fait, il semble qu'il n'en soit rien ! Un lavage à l'eau courante, comme le ferait une ménagère préparant un repas, n'a provoqué sur les feuilles d'épinards qu'une diminution d'activité de 4 à 10 °/o, donc très faible.

Sur les feuilles de radis, velues et rugueuses, le lavage ne donne pratiquement rien.

Les éléments apportés par les retombées semblent donc absorbés en grande partie à l'intérieur du parenchyme folliaire et ne peuvent pas, en tout cas, être retirés par un traitement externe.

Tout comme dans l'eau de pluie, ces matériaux radioactifs subissent une certaine diminution d'activité dans le temps. Le graphique sur la décroissance de la radioactivité des cendres d'épinards est net à cet égard.

On peut constater que cette décroissance est faible sur les trois lots considérés ; cela tient sans doute au faible apport de la radioactivité des retombées par rapport au niveau de base naturel, principalement dû au potassium 40, corps de période extrêmement longue (10^9 années).


EPINARDS du 10-10-1962
DECROISSANCE RADIOACTIVE
comparaison des échantillons lavés et non lavés
Activité en 10^{-3} curie par kg de cendres.
échantillons non lavés
échantillons lavés
750
500
250
1
2
3
15 Nov.
1 DEC
15 DEC
1 JANV.

IV — CONCLUSION

Lorsqu'il s'agit des retombées radioactives, une année d'observations représente bien peu de choses ; en outre la localisation étroite de ces observations est un handicap certain pour une vision tant soit peu générale du phénomène et de ses conséquences, d'autant plus qu'à ANTONY il n'est point fait de mesures sur la radioactivité de l'air.

Toutefois un fait indiscutable se dégage : l'abondance des retombées radioactives, le "fall out" des anglo-saxons, pendant toute l'année 1962, à la suite de la série d'explosions expérimentales inaugurée par les russes en août 1961 et close par les russes également dans les derniers jours de 1962.

Le niveau de radioactivité des précipitations météoriques s'est maintenu à peu près constant pendant toute l'année 1962 et n'a manifesté aucune tendance à décroître, sauf peut-être au cours de l'été. D'où un degré de pollution de l'eau de pluie ou de la neige bien supérieur aux niveaux de radioactivité constatés pendant le premier semestre 1961 ou l'année 1960.

Sur la tranche superficielle du sol, qui est aussi le sol arable, la projection de ces matériaux radioactifs ne semble pas pour l'instant avoir de sonséquences quantitatives bien nettes : les mesures de l'activité du sol donnent toujours une forte proportion de comptages non significatifs (donc au-dessous de la sensibilité des appareils de détection utilisés à ANTONY ; toutefois le nombre de comptages "significatifs", c'est-à-dire supérieurs à la sensibilité de l'appareil, aurait une légère tendance à croître.

Par contre, les incidences sur les végétaux tant spontanés que cultivés sont nettes : la radioactivité de leurs cendres est en forte augmentation, surtout s'il s'agit de plantes dont la durée de végétation s'étale sur plusieurs mois.

Même pour ces végétaux, il faut faire une distinction entre les parties aériennes (feuilles et tiges) où la radioactivité atteint le maximum, et les organes souterrains (racines, bulbes) pour lesquels elle demeure à un niveau beaucoup plus faible.

BIBLIOGRAPHIE

(1) M. FRANCOIS - Y. MOSER - M.C. VETTIER.
Etude de la mesure de la radioactivité globale de solutions très diluées de Nitrate de Strontium 90 par la méthode d'évaporation.
Document ronéotypé du Commissariat à l'Energie Atomique.

(2) ANONYME.
Le problème de la décontamination de l'eau.
Protection civile et industrielle – n° 92 – février 1962.

(3) MM. BOVARD, BOYER, GRAUBY.
Localisation dans la sol de Radioéléments par percolation.
Symposium International sur les Applications des Sciences Nucléaires à la Pédologie. – Gand 1961.
Numéro de "Pédologie" consacré au Symposium de Gand - 1961 - pp. 28-45.

(4) MM. BOURRIER, BOVARD, GRAUBY.
Essais de décontamination de l'eau dans les cas d'urgence.
Protection civile et industrielle – avril 1961.

(5) MM. BOURRIER, BOVARD, GRAUBY.
Mesure de la vocation des sols à la rétention de radioéléments.
Compte rendu des séances de l'Académie d'Agriculture de France (Séance du 16 mars 1960).

(6) Journal Officiel des Communautés Européennes du 9 juillet 1962.

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE

DIRECTION GÉNÉRALE DU GÉNIE RURAL
ET DE L'HYDRAULIQUE AGRICOLE

BULLETIN TECHNIQUE DU GÉNIE RURAL

N° 68

ÉDITÉ PAR LE CENTRE DE RECHERCHES ET D'EXPÉRIMENTATION DE GÉNIE RURAL
Parc de Tourvoie - ANTONY (Seine) - Tél. : BERny 07-94

B 14497