ACADÉMIE d'AGRICULTURE de FRANCE

Encyclopédie : *Question sur*

Les erreurs passent, il n'y a que le vrai qui reste (Diderot)

La radioactivité naturelle des sols

Fiche *QUESTIONS SUR…* n° 07.05.Q11 **2022, révisée en novembre 2025**

Guilhem BOURRIÉ, membre de l'Académie d'Agriculture de France

Mots clés : radioactivité, sols, potassium, uranium, thorium, radon

La radioactivité est un paramètre physique de l'environnement, surtout mesuré à l'occasion de rejets dans le milieu naturel en liaison avec la production d'énergie nucléaire, ou les utilisations thérapeutiques des rayonnements ionisants. Le niveau de base de la radioactivité n'est pourtant pas nul.

Cette fiche fait le point sur la radioactivité naturelle des sols. Il apparaît, paradoxalement, qu'elle n'est pas due aux actinides, uranium et thorium, mais à un élément auquel on pense peu, indispensable à la vie : le potassium, un des trois éléments cardinaux de la fertilisation.

Les sources de radioactivité naturelle terrestres

Lors de la formation de la Terre, il y a 4,6 milliards d'années, des éléments radioactifs ont été incorporés. Les éléments à courte demi-vie ont totalement disparu, aussi ce sont les isotopes-fils, stables, que l'on trouve aujourd'hui. C'est le cas par exemple de l'aluminium 26, dont la demi-vie est de 707 100 ans, qui a donné naissance au magnésium 26, stable. La radioactivité de tous les éléments dont la demi-vie est inférieure à 500 millions d'années est considérée comme éteinte. Il faut aussi considérer l'abondance de l'élément.

Il existe également des isotopes radioactifs formés naturellement par interaction des rayons cosmiques avec l'atmosphère ou la surface terrestre, comme le carbone 14, le béryllium 10 ou l'aluminium 27, dits isotopes cosmogéniques, mais leur contribution à la radioactivité des sols est négligeable.

Le potassium 40

L'isotope stable est le potassium 39 (93,26 %), mais il existe un autre isotope stable, le potassium 41 (6,73 %) et un isotope radioactif, le potassium 40 (0,01167 %). Ce dernier peut se désintégrer de deux façons :

- en calcium 40, avec émission d'un électron ;
- en argon 40, par capture d'un électron de la couche électronique la plus interne.

Dans le premier cas, un neutron se transforme en proton, dans le second cas, un proton se transforme en neutron. Cette dernière désintégration est responsable de l'excès d'argon 40 dans l'atmosphère terrestre, et est aussi à la base de la méthode de datation potassium/argon. La demi-vie du potassium 40 est de 1,248 (± 0,003) milliards d'années. Les deux isotopes-fils – le calcium 40 et l'argon 40 – sont stables, les noyaux étant généralement plus stables quand les nombres de neutrons et de protons sont tous les deux pairs : 20 protons et 20 neutrons pour le calcium 40, 18 protons et 22 neutrons pour l'argon 40.

L'uranium 238, le radium 226 et le plomb 210

Ces trois radioéléments appartiennent à la même famille, l'isotope-fils final, stable, étant le plomb 206. Les chaînes de désintégration comprennent 14 désintégrations successives, avec des émissions de particules alpha (noyaux d'hélium) et d'électrons (rayonnement beta). Les demi-vies sont respectivement de 4,49 milliards d'années, 1 600 ans et 22,3 ans. Comme il s'agit de réactions en série, c'est la réaction la plus lente qui détermine la vitesse globale du processus, donc l'isotope de demi-vie la plus longue.

Le thorium 232

Le thorium 232 se désintègre par une suite de 10 réactions, parfois branchées, en l'isotope stable plomb 208, avec des émissions alpha et beta. Sa demi-vie est de 14,1 milliards d'années.

Reproduction autorisée sous réserve d'en citer la provenance

L'exemple des sols limoneux sur granite de Vire, à Fougères

Le contexte de l'étude

En 1986, le ministère de l'Environnement lança des études méthodologiques sur l'échantillonnage des sols, qui devaient aboutir à la création du réseau de mesure de la qualité des sols (RMQS) et du groupement d'intérêt public (GIP) Sols.

Le site des sols brun acides (Alocrisols) sous chênaie – ou hêtraie atlantique à Fougères – a été choisi comme site peu anthropisé. Les sols y sont développés dans des limons résultant de l'altération directe du granite *in situ*, avec une contribution de lœss éoliens. L'horizon échantillonné est l'horizon A[1] (15-55 cm) sous-jacent aux horizons organo-minéraux, constitués d'un humus de type moder[2], et en dehors des zones affectées par l'hydromorphie, c'est-à-dire l'horizon structural aluminique au sens du référentiel pédologique.

Le plan d'échantillonnage a été conçu en février-mars et les échantillons (65, sur 1 hectare) ont été prélevés à 25 cm de profondeur en mai. Entre temps, l'accident de Tchernobyl ayant eu lieu le 26 avril 1986, il a été décidé d'analyser la radioactivité dans 14 des 65 échantillons. L'étude principale, portant sur la variabilité spatiale des caractéristiques physicochimiques et des teneurs en métaux lourds, montre que la parcelle se révèle très homogène, sans variation spatialement ordonnée des teneurs en argile et carbone organique, *a priori* dominants en termes de fixation d'éléments mobiles[3].

Méthodologie

Les échantillons proviennent de la partie supérieure de l'horizon microagrégé entre 20 et 25 cm. Les radioéléments analysés sont les émetteurs gamma, mesurables par spectrométrie germanium directe : uranium 238, radium 226, plomb 210, thorium 232, et potassium 40.

Résultats

Les résultats complets ont fait l'objet d'un rapport au ministère de l'Environnement[4], et les principales conclusions sont les suivantes :

• La radioactivité globale est de 650 Becquerel/kg (Bq/kg).

• La radioactivité dominante est due au potassium 40 : près de 500 Bq/kg (de 481 à 489 Bq/kg).

• La radioactivité des autres radionucléides naturels totalise 155 Bq/kg et elle est pratiquement répartie à égalité entre eux, de 35 à 45 Bq/kg chacun.

• Trois des radioéléments mesurés – l'uranium 238, le radium 226 et le plomb 210 – appartiennent à la même famille, via cependant le radon 226 qui, étant gazeux, peut s'échapper en partie du système ; il pourrait donc exister un déséquilibre radioactif en cas de fuite de radon. On constate que les activités de ces trois radioéléments ne sont pas significativement différentes, et que ces trois éléments sont donc en équilibre radioactif, ce qui implique qu'il n'y a pas de fuite significative de radon de l'horizon structural aluminique soit vers l'atmosphère, soit en solution vers les nappes ; le système est donc en état stationnaire et c'est la demi-vie de l'uranium 238 qui règle l'activité (nombre de désintégrations par seconde) de cette série, soit au total 113 Bq/kg.

• Les concentrations des éléments intermédiaires – radium 226 et plomb 210 – restent donc constantes ; et bien que la demi-vie de ce dernier soit courte (22,3 ans), il serait erroné de corriger sa concentration par application de la loi de décroissance exponentielle : la décroissance est exactement compensée par la production.

• La concentration en potassium est plus faible dans le sol (1,8 % en oxyde de potassium) que dans l'arène granitique (4,8 %). La couverture limoneuse, du fait du départ de potassium en solution par altération, et du fait de l'apport de lœss, surtout constitués de quartz et de carbonates, dilue les éléments radioactifs, et absorbe les rayonnements.

---

[1] Horizon organo-minéral situé en dessous des horizons organiques

[2] Humus à deux couches, litière et couche de fermentation, indiquant une activité biologique modérée, fongique et bactérienne

[3] Wopereis et al., 1988

[4] Bourrié, 1993

 Fiche consultable sur le site internet www.academie-agriculture.fr onglet "***Publications***" puis "***Table des matières des documents de l'Encyclopédie***".
Reproduction autorisée sous réserve d'en citer la provenance

Conséquences générales

La radioactivité globale des sols dépend essentiellement de leur teneur en potassium. Celle-ci est plus élevée dans les granites que dans les basaltes, car lors de la fusion partielle du manteau, le potassium passe préférentiellement dans le liquide magmatique qui donnera naissance aux granites, alors que le magnésium reste dans le solide résiduel.

L'abondance isotopique du potassium 40 est faible (0,01167 %), mais les teneurs en potassium total dans les granites sont de l'ordre de quelques pourcents, alors que les teneurs en uranium et thorium sont de l'ordre du ppm, soit dix mille fois plus faibles.

Les abondances en uranium et en thorium sont corrélées positivement entre elles et avec la teneur en potassium.

Lors de l'altération des granites et de la formation des sols, le potassium des micas noirs passe préférentiellement en solution par rapport au potassium des minéraux blancs (mica blanc et orthose), qui subsistent plus longtemps dans la fraction détritique et qui sont protégés par l'altération des micas noirs. Une partie du potassium reste fixée dans les argiles (illites, vermiculites et smectites).

Bien sûr, la fertilisation apporte du potassium, et également de l'uranium et du thorium, ceux-ci accompagnant aussi le phosphore puisque les phosphates ont de fortes affinités pour les actinides.

La vie, évidemment, s'est développée en présence de potassium, qu'elle a sélectionné pour ses propriétés biochimiques et en particulier pour le rôle de la pompe à potassium dans la circulation de l'influx nerveux et les équilibres osmotiques. Elle s'est donc adaptée depuis des centaines de millions d'années à ces niveaux de radioactivité.

Ce qu'il faut retenir :

La radioactivité naturelle des sols est essentiellement due au potassium, plus abondant dans les granites et micaschistes que dans les basaltes ou les calcaires.

Les sols jouent le rôle d'écran et absorbent l'essentiel des rayonnements émis.

Pour en savoir plus :

- BOURRIÉ Guilhem : *Observatoire de la qualité des sols, parcelle de Fougères (Ille et Vilaine, Région Bretagne)* , Rapport sur les teneurs en radioéléments, 1986, Étude réalisée à la demande du ministère de l'environnement, Direction de la prévention des pollutions, mars 1993, 28 p., annexes.
- WOPEREIS Marko, GASCUEL-ODOUX Chantal, BOURRIÉ Guilhem et SOIGNET Gustave : *Spatial variability of heavy metals in soil on a one hectare scale*. Soil Science, 146, 2, p. 113-118, 1988

Reproduction autorisée sous réserve d'en citer la provenance