

PREMIER MINISTRE
COMMISSARIAT A
L'ÉNERGIE ATOMIQUE

A

Les cycles biologiques des pollutions radioactives

par

M.-G. MICHON

COMMISSARIAT
A L'ÉNERGIE ATOMIQUE
BIBLIOTHÈQUE

Rapport CEA n° **1273**

ORIGINAL

1959

CENTRE D'ÉTUDES
NUCLÉAIRES DE SACLAY
SERVICE DE DOCUMENTATION
Boîte postale n° 2 - Gif-sur-Yvette (S.-et-O.)

MICHON M. G.

Rapport CEA n° 1273

Les cycles biologiques de pollutions radioactives.

Sommaire. — L'utilisation à des fins pacifiques ou scientifiques conduit au rejet dans le milieu ambiant de radio-éléments artificiels. Ces radio-éléments seront plus ou moins absorbés par les plantes et les animaux. Cette pollution va gagner tous les êtres vivants à travers les chaînes alimentaires. Cependant l'importance relative de ces absorptions varie avec chaque cas particulier.

Par exemple, lors du rejet du radio-élément dans un fleuve ou un étang on constate que tous les êtres vivants dans ce milieu présentent une radioactivité spécifique supérieure à celle du milieu. Ceci n'est pas a priori étonnant puisque tous les êtres vivant en eaux douces sont hypertoniques vis-à-vis du milieu. Les facteurs de concentration varient avec la nourriture et des exemples précis sont fournis.

A l'inverse, lorsqu'il s'agit de la contamination d'un sol, par suite de phénomènes physico-chimiques d'absorption, les plantes ne prélèvent qu'une faible partie des radio-éléments présents. La nourriture étant moins fortement contaminée, les animaux terrestres le sont moins aussi. A chaque stade de la chaîne nutritionnelle, lorsque l'on s'adresse à des êtres plus évolués, la contamination par les radio-éléments décroît.

Si l'homme par le jeu de ces discriminations est assez bien protégé, il n'est pas de même des êtres les plus inférieurs. Ces êtres sont d'autre part beaucoup moins stables du point de vue génétique. Cet aspect du problème est abordé en évoquant quelques conséquences possibles de mutation chez les êtres unicellulaires.

1959

10 pages

MICHON M. G.

Report CEA n° 1273

Biological cycles of radioactive contaminants.

Summary. — Artificial radio-elements (synthesized for scientific or industrial purposes) having been released, may be absorbed by plants or animals, and may eventually involve a catenation of organisms as some feed on the others.

All organisms living in a polluted river become more radioactive than the water, which was to be expected, inasmuch as organisms are hypertonic in respect to sweet water.

Conversely, soil brings into play physico-chemical phenomena (absorption) such that plants can get only a small portion of contaminating radio-elements, land animal feeding on such plants are relatively less exposed to contamination, and carnivorous animals feeding on herbivorous are still less exposed. Man, notably is fairly well protected, whereas lower organisms, notably unicellular organisms may suffer (mutations).

1959

10 pages

M.-G. MICHON

Les Cycles biologiques des pollutions radioactives

Extrait de la *Revue de Pathologie Générale et de Physiologie Clinique*

N° 707, avril 1959, p. 505 à 514

PACOMHY
Editeur, Paris

1959

Les Cycles biologiques des Pollutions radioactives

par

M.G. MICHON

Le cycle d'une journée consacrée aux radio-isotopes ne serait pas complet si vous n'étiez pas aussi avertis des inquiétudes qui peuvent quelque peu ternir notre enthousiasme. Nous ne voulons pas faire le procès de l'énergie atomique, ni dresser ici le catalogue de tous les dangers que la fission de l'atome peut faire encourir à l'humanité. Ces dangers vous les connaissez, des voix très autorisées se sont élevées pour que tous en prennent conscience. Nous ne voulons en exposer qu'un aspect très particulier, celui du cycle biologique des pollutions, très heureux si nous pouvons en faire ressortir l'intérêt et la complexité afin de vous garder des conclusions trop générales. Et pour ce faire, nous voudrions opposer le cycle que l'on peut observer dans une communauté aquatique d'eau douce et celui que l'on rencontre chez les communautés terrestres.

COMMUNAUTE AQUATIQUE

Nous commencerons par les communautés aquatiques. Cette étude revêt une importance primordiale car les rivières et les fleuves sont constamment utilisés comme émonctoires des centres qui utilisent ou produisent les radio-éléments. Nous nous référons aux données d'une étude très complète effectuée par les biologistes du centre de Hanford aux U.S.A.

Il existe dans ce centre une pile refroidie à l'eau naturelle. L'eau est pompée dans la rivière Columbia, filtrée, envoyée dans le réacteur, puis rejetée en aval du réacteur dans la rivière. Au cours de ce circuit, tous les éléments dissous dans l'eau sont activés et des quantités non négligeables de radio-éléments sont ainsi rejetées. Dans le tableau n° 1 sont rapportées les activités de l'eau de la Columbia 1,6 km plus bas que le lieu du rejet, en un point où l'on estime la dilution complète. Toutes ces activités sont inférieures aux limites maximales admissibles recommandées par la Commission Internationale de Protection Radiologique. Cependant, 35 km plus loin on ne retrouve que 1 % de cette activité. Cette diminution ne peut être expliquée

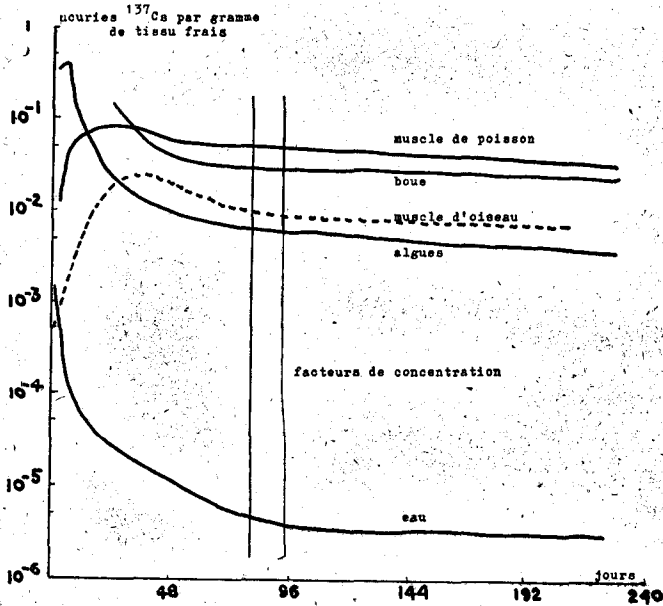
TABLEAU 1
Radio-isotopes dans les organismes vivants dans la Columbia River

Isotopes	Période	μcurie/g de tissu frais						
		Eau	Algue verte	Eponge	Larve de trichoptère	Escargot	Ecrevisse	Vairon
²⁴ Na	15 h	8,6 10 ⁻⁴	5,74 10 ⁻⁴	7,28 10 ⁻⁴	7,09 10 ⁻⁴	1,77 10 ⁻³	1,95 10 ⁻³	1,13 10 ⁻³
³² P	14,2 j	2,4 10 ⁻⁷	6,60 10 ⁻²	4,46 10 ⁻³	2,43 10 ⁻²	1,44 10 ⁻²	3,04 10 ⁻³	2,40 10 ⁻²
⁴⁶ Sc	85 j		1,73 10 ⁻³	9,47 10 ⁻⁵	7,06 10 ⁻⁵	2,88 10 ⁻⁵		7,06 10 ⁻⁷
⁵¹ Cr	27,8 j	2,0 10 ⁻⁶	7,90 10 ⁻³	4,58 10 ⁻³	6,00 10 ⁻³	5,07 10 ⁻³	4,82 10 ⁻⁴	3,72 10 ⁻⁴
⁵⁴ Mn	310 j		1,03 10 ⁻³		7,91 10 ⁻⁵			
⁵⁶ Mn	2,6 h	7,4 10 ⁻⁶	8,22 10 ⁻²	2,38 10 ⁻²				1,87 10 ⁻⁴
⁵⁹ Fe	45 j		1,64 10 ⁻³					
⁶⁰ Co	5,3 a		1,55 10 ⁻⁴	1,16 10 ⁻⁵	1,72 10 ⁻⁶	1,77 10 ⁻⁵		
⁶⁴ Cu	12,8 h	1,7 10 ⁻⁵	1,13 10 ⁻¹	1,66 10 ⁻¹	7,10 10 ⁻³	9,60 10 ⁻³	5,14 10 ⁻⁴	1,56 10 ⁻⁴
⁶⁵ Zn	245 j	8,9 10 ⁻⁸	1,23 10 ⁻²	1,46 10 ⁻³	1,98 10 ⁻³	1,53 10 ⁻³	3,65 10 ⁻⁴	7,62 10 ⁻⁴
⁷⁶ As	26,8 h	1,9 10 ⁻⁶	6,85 10 ⁻³	6,32 10 ⁻³	5,17 10 ⁻⁴	1,00 10 ⁻⁴	6,48 10 ⁻⁵	1,73 10 ⁻⁴
⁹⁵ Zr- ⁹⁵ Nb	65,3 h		1,79 10 ⁻³		6,63 10 ⁻⁵			
¹⁰³ Ru	39,8 j		1,22 10 ⁻³		1,06 10 ⁻⁴			
¹⁴⁰ Ba	12,8 j		9,01 10 ⁻⁴		4,22 10 ⁻⁵	2,90 10 ⁻⁵	1,88 10 ⁻⁵	
¹⁴⁰ La	40 h		3,27 10 ⁻³	1,23 10 ⁻³	3,47 10 ⁻⁴			

(d'après J.J. Davis et coll.)

par la décroissance radioactive. En fait, les radio-éléments ne sont pas entraînés vers la mer, ils se fixent soit sur les sédiments, soit sur les espèces biologiques vivant dans la rivière. Les colonnes suivantes de ce tableau vous montrent les activités spécifiques que l'on retrouve chez les différentes espèces. Un examen rapide montre que les activités spécifiques relevées sont toujours supérieures à celle de l'eau. Il y a concentration des radio-éléments par les êtres vivants. Cette concentration est surtout très importante pour les êtres inférieurs, ici les algues. Le rapport des activités peut atteindre 10^5 et peut-être plus puisque l'on peut mesurer les activités de certains éléments qui échappent à l'analyse de l'eau. Lorsque l'on s'adresse à des êtres beaucoup plus organisés, dans la majorité des cas, les facteurs de concentration sont beaucoup plus faibles. Ceci s'explique en partie par le mode alimentaire. Cependant, pour les éléments alcalins ce facteur a tendance à croître.

La figure 1 représente l'évolution au cours du temps de la



ACCUMULATION BIOLOGIQUE DU ^{137}Cs DANS UNE COMMUNAUTE AQUATIQUE
(d'après R.C. Pendleton et W.C. Hanson)

FIG. 1

contamination de différentes espèces vivant dans un étang où fut déversé du ^{137}Cs . On voit la décroissance très rapide de la

concentration en Cs de l'eau. Par contre, très rapidement, les algues fixent ce radio-élément, puis les jours passant, la contamination gagne d'autres espèces. Après stabilisation, au bout de trois mois, on peut mesurer les facteurs de concentration que l'on peut lire sur la figure n° 2. Les flèches indiquent les rap-

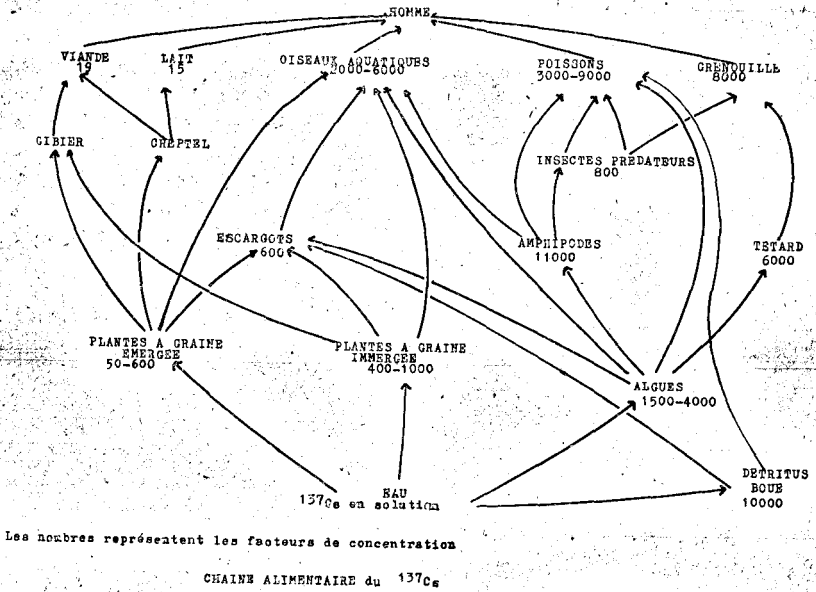


FIG. 2

ports alimentaires qui existent entre ces différentes espèces. Vous pouvez constater les facteurs importants de concentration qui existent pour les vertébrés. Cet aspect n'a pas été suffisamment pris en considération dans la détermination de la L.M.A. pour le ¹³⁷Cs dans l'eau de boisson. Ce cliché montre encore que la contamination ne se limite pas aux êtres vivant dans le milieu contaminé, mais à tous les commensaux de l'étang, tous ceux qui y puisent tout ou partie de leur nourriture, les oiseaux, le gibier, les bovins, et, au dernier échelon alimentaire, l'homme. D'autres faits peuvent modifier les facteurs de concentration, tout particulièrement la carence en un élément indispensable. Ce cas se présente justement dans le bassin de la Columbia River qui est pauvre en phosphore. Le tableau n° 2 montre les facteurs de concentration très importants retrouvés dans différentes espèces d'oiseaux de la région. Remarquez ce facteur de 1.500.000

TABLEAU 2

Rapports entre les teneurs en ³²P des oiseaux adultes, des œufs et des jeunes oiseaux et celles de l'eau et de la nourriture

Type	Oiseau/eau	Nourriture habituelle	Oiseau/nourriture
<i>Hirondelle</i> adulte	75.000	Insectes	0,5
jeune	500.000	»	3,5
<i>Canard plongeur</i> adulte.....	50.000	Insectes Végétaux	0,5
<i>Canard et oie de rivière</i>			
adulte	7.500	Insectes Végétaux	0,1
jeune	40.000	et	0,5
jaune d'œuf	1.500.000	Crustacés	
<i>Goeland</i> adulte	5.000	Poissons Crustacés	0,1
		Végétaux	
<i>Canard piscivore</i> adulte	2.500	Poissons Crustacés	0,05
jeune	15.000	»	0,25

(d'après W.C. Hanson et H.A. Kornberg)

pour le jaune d'œuf. Cette étude montre aussi l'importance du mode d'alimentation. Les oiseaux insectivores sont plus contaminés que les piscivores et les rapports d'utilisation du phosphore alimentaire diminuent quand l'organisation de l'aliment croît. Chez les insectivores, on a pu montrer que les oiseaux qui consomment des larves sont plus contaminés que ceux qui consomment des insectes adultes. Chez les piscivores, les espèces qui affectionnent les petits poissons sont plus contaminées que celles qui préfèrent les grosses espèces. Notez aussi la différence qui existe entre les jeunes et les adultes, les jeunes dont les besoins sont proportionnellement plus grands, utilisent mieux la nourriture qu'ils ingèrent.

De cette étude il ressort que dans un milieu aquatique les individus concentrent la radioactivité. Ceci *a priori* n'est pas étonnant, depuis longtemps on sait que les espèces d'eau douce sont hypertoniques par rapport à leur milieu ; la radioactivité n'est pas susceptible de modifier ce phénomène.

COMMUNAUTE TERRESTRE

Si maintenant, nous abordons le problème terrestre nous nous trouvons en présence de circonstances totalement différentes.

Les sols fixent les radio-éléments par suite de phénomènes d'échange d'ions, c'est-à-dire qu'il s'établit un équilibre entre

la quantité qui est fixée sur les particules qui constituent le sol et celle qui reste libre dans l'eau interstitielle. Cette dernière ne représente qu'un faible pourcentage de la radioactivité et les plantes ne peuvent puiser que dans cette quantité, tant et si bien qu'une seule récolte ne peut emporter qu'une faible fraction de la radioactivité qui contamine la terre sur laquelle elle fut cultivée (en général 1 %). Les phénomènes d'échange d'ions dépendant de la qualité du sol, ce sont essentiellement les argiles qui sont douées de propriétés adsorbantes, mais de plus, alors que ce phénomène intervient très peu dans un milieu aqueux, les radio-éléments se trouvent dilués dans une quantité importante du même élément stable ou d'un élément susceptible d'entrer en compétition avec eux.

Nous prendrons comme exemple le Sr qui est particulièrement bien étudié en raison du danger qu'il comporte. Les auteurs suédois ont publié les résultats qu'ils ont obtenus pour 19 espèces botaniques cultivées sur 9 types de sol. Pour toutes les espèces la contamination des plantes diminue quand la teneur du sol en Ca échangeable augmente. En conséquence, les sols acides des régions granitiques, pauvres en Ca, favorisent l'absorption du Sr. Cependant, si l'on étudie le rapport des rapports Sr/Ca dans la plante et dans le sol, on constate qu'il reste compris entre 0,7 et 0,8, tant que la teneur en Ca échangeable n'excède pas la capacité d'échange du sol. Un excès de chaulage du sol est par conséquent à déconseiller. L'étude du rapport est particulièrement intéressante car elle montre que les plantes effectuent une discrimination en faveur du Ca. On observe des phénomènes semblables pour le Cs vis-à-vis du K, la seule différence vient du fait que le Cs est beaucoup plus fortement fixé par les sols. Un autre mode de la contamination des plantes est intéressant : celui de l'absorption foliaire. Les plantes peuvent fixer et métaboliser des radio-éléments présents dans l'air ou dans la pluie directement par leurs feuilles. Ceci a été démontré en particulier pour l'iode et le Sr.

Etudions enfin la répartition des radio-éléments dans la plante. On constate que les feuilles et les tiges sont en général beaucoup plus contaminées parce que plus minéralisées que les graines ou les fruits. Ce phénomène est primordial dans l'aspect alimentaire de la question. En effet, les animaux qui consomment ces plantes seront contaminés, mais plus ou moins suivant qu'ils seront herbivores ou granivores. Un exemple illustre ce principe : aux environs de Hanford on a pu mesurer la concentration en ^{131}I de la thyroïde des animaux sauvages. Les concentrations relatives suivantes ont été observées :

Lapins 100, rongeurs 90, gallinacées 50, rapaces et coyottes 20, reptiles 10, végétation 0,2.

L'influence du régime est manifeste : dans l'ordre décroissant nous trouvons les herbivores, les granivores, les carnivores. Ces derniers sont particulièrement protégés car ils bénéficient de tous les facteurs de discrimination des espèces qui les ont précédés aux différents stades des chaînes alimentaires. L'homme, au sommet de ces chaînes alimentaires, consommateur essentiel des graines, fruits et de viande est bien protégé, d'autant mieux en ce qui concerne son alimentation carnée que la plupart des éléments dangereux se déposent dans des glandes ou le squelette qui échappent à sa consommation habituelle.

Cependant cette protection n'est pas suffisante pour qu'il échappe complètement à ce mode de contamination. Le tableau n° 3 montre les teneurs en Sr pour l'année 1956 à différents sta-

TABLEAU 3

Teneurs de certains produits biologiques, en ⁹⁰Sr (1)

Nature	Nombre d'échantillons	⁹⁰ Sr en pourcentage/g de Ca		
		Maximum	Minimum	Moyenne
<i>Herbe</i> sols acides	9	2100	91	130
sols normaux.....	61	77	11	37
<i>Os de moutons</i> sols acides ..	6	170	24	57
sols normaux.....	7	15,6	7,8	13,7
<i>Lait</i> Somerset	13	5,7	2,9	4,4
autres régions	10	10,3	3,9	6,7
<i>Os humains</i> (fémur et tibia)				
0-5 ans	25	1,55	0,15	0,70
5-25 ans	10	0,38	0,15	0,26
plus âgés	2	0,13	0,06	

(1) Pour l'année 1956.

(d'après F.J. Bryant et coll.)

des de la chaîne alimentaire. Nous retrouvons dans ce tableau tout ce que nous avons évoqué, influence des sols acides, facteur de discrimination quand on change de niveau dans la chaîne alimentaire, la teneur en Sr rapporté au Ca diminue sans cesse. La discrimination au niveau de la mamelle est très importante à souligner, cependant l'enfant reste plus exposé, malgré cette protection, à la contamination par le Sr.

En résumé, d'une manière générale, nous pouvons dire que les espèces terrestres sont moins exposées aux contaminations que les espèces aquatiques.

Pour terminer nous voudrions évoquer quelques conséquences possibles de ces contaminations. Beaucoup vous sont familières : tous les dangers résultant pour l'homme d'une irradiation intempestive. Cependant, les espèces animales moins évoluées que l'homme, les espèces végétales sont beaucoup plus résistantes aux rayonnements et ce n'est pas par l'intermédiaire d'une action directe des rayonnements que l'on risque de constater des modifications. Beaucoup plus insidieux sont les risques de rupture des équilibres biologiques ; ces équilibres écologiques sont généralement beaucoup plus instables que les individus. Une modification bénigne peut avoir des répercussions très graves. Supposez qu'une espèce soit devenue plus indifférente à la fuite, en quelques générations elle disparaîtra et l'espèce prédatrice pulvérisera mais sera ensuite réduite à la famine ou s'attaquera à une autre espèce et ainsi de suite.

Les êtres unicellulaires, nous l'avons vu, concentrent à des taux considérables la radioactivité et d'autre part, sont très malléables du point de vue génétique. Il n'est ni impossible, ni improbable que des mutations apparaissent du fait de ces concentrations. Ces mutations peuvent être catastrophiques, imaginez une diminution du rendement photosynthétique du plancton, imaginez l'apparition d'une souche bactérienne hautement pathogène pour une espèce domestique ou sauvage. Nous ne pouvons les négliger car elles sont beaucoup plus probables que des mutations chez les espèces supérieures, problème sur lequel on se penche pourtant avec beaucoup d'attention.

En un mot, cette présence de radio-éléments artificiels, qui est susceptible de modifier le milieu dans ses caractéristiques physiques peut avoir une influence sur la sélection naturelle. Ces actions ne s'établissent que lentement et pour l'instant, personne n'a décelé d'action de ce genre, spécifiquement nucléaire. Mais il existe quelques précédents du même type. Je voudrais vous rappeler celui des papillons que l'on nomme Boarmia. Il y a un siècle les populations de Boarmia étaient essentiellement composées d'individus de couleur claire, avec un faible pourcentage d'individus foncés. Cette variété mélanique résulte d'une mutation qui confère aux individus une meilleure résistance. Malgré cet avantage, le pourcentage des individus mélaniques restait stable, car pense-t-on ils échappent moins facilement aux oiseaux prédateurs. Cependant, depuis le début de ce siècle, dans les régions très industrialisées, les individus clairs disparaissent

sent, ils ne résistent pas à la pollution du milieu, tandis que les individus foncés croissent et se multiplient. Pourquoi penser que la radioactivité n'est pas susceptible des mêmes actions que les fumées industrielles.

Notre attitude doit-elle être pessimiste devant de telles éventualités ? Nous ne le pensons pas, car contrairement aux industries classiques, l'énergie atomique développe corrélativement les recherches écologiques et industrielles. Toutes les incidences possibles sont recherchées. D'autre part, depuis la formation du monde, les rayonnements existent. C'est en eux que certaines hypothèses voient l'origine de la vie ; tout le monde, au moins, s'accorde à dire que de leur action résultent les espèces actuelles, par suite du jeu des mutations naturelles. Or l'intensité des irradiations à la surface de notre planète est très variable d'une région à une autre, le rayonnement cosmique varie avec l'altitude, les teneurs des sols en radio-éléments naturels varient dans des proportions plus grandes encore et pourtant aucune de ces régions n'est désertique du fait des rayonnements. Si l'augmentation de la radioactivité n'est pas brutale, la matière vivante peut-être évoluera, mais certainement demeurera.

RESUME

L'utilisation à des fins industrielles ou scientifiques conduit au rejet dans le milieu ambiant de radio-éléments artificiels. Ces radio-éléments seront plus ou moins absorbés par les plantes et les animaux. Cette pollution va gagner tous les êtres vivants à travers les chaînes alimentaires. Cependant l'importance relative de ces absorptions varie avec chaque cas particulier.

Par exemple lors du rejet du radio-élément dans un fleuve ou un étang on constate que tous les êtres vivant dans ce milieu présentent une radioactivité spécifique supérieure à celle du milieu. Ceci n'est pas *a priori* étonnant puisque tous les êtres vivant en eaux douces sont hypertoniques vis-à-vis du milieu. Les facteurs de concentration varient avec la nourriture et des exemples précis sont fournis.

A l'inverse, lorsqu'il s'agit de la contamination d'un sol, par suite de phénomènes physico-chimiques d'absorption, les plantes ne prélèvent qu'une faible partie des radio-éléments présents. La nourriture étant moins fortement contaminée, les animaux terrestres le sont moins aussi. A chaque stade de la chaîne nutritionnelle, lorsque l'on s'adresse à des êtres plus évolués, la contamination par les radio-éléments décroît.

Si l'homme par le jeu de ces discriminations est assez bien protégé, il n'en est pas de même des êtres les plus inférieurs. Ces êtres sont d'autre part beaucoup moins stables du point de vue génétique. Cet aspect du problème est abordé en évoquant quelques conséquences possibles de mutation chez les êtres unicellulaires.

SUMMARY

Biological cycles of radioactive contaminants.

Artificial radio-elements (synthesized for scientific or industrial purposes) having been released, may be absorbed by plants or animals, and may eventually involve a catenation of organisms as some feed on the others.

All organisms living in a polluted river become more radioactive than the water, which was to be expected, inasmuch as organisms are hypertonic in respect to sweet water.

Conversely, soil brings into play physico-chemical phenomena (absorption...) such that plants can get only a small portion of contaminating radio-elements, land animal feeding on such plants are relatively less exposed to contamination, and carnivorous animals feeding on herbivorous are still less exposed. Man, notably is fairly well protected, whereas lower organisms, notably unicellular organisms may suffer (mutations...).

RESUMEN

La utilización con fines industriales o científicos conduce al rechazo en el medio ambiente de radioelementos artificiales. Dichos radioelementos los absorberán más o menos las plantas y los animales. Esa polución tiende a tocar todos los seres vivientes a través de las cadenas alimenticias. Sin embargo la importancia relativa de esas absorciones varían con cada caso particular.

Por ejemplo, cuando el rechazo del radioelemento en un río o un estanque se constata que todos los seres vivientes en este medio presentan una radioactividad específica superior a la del medio. *A priori*, ello no es de extrañar, ya que todos los seres viviendo en aguas dulces son hipertónicos en relación con el medio. Los factores de concentración varían con la alimentación y se dan ejemplos precisos.

Inversamente, cuando se trata de la contaminación de un suelo, y como fenómeno físicoquímico de absorción, las plantas no prelevan sino una leve parte de los radioelementos presentes. La alimentación siendo fuertemente contaminada, los animales terrestres lo son también menos.

En cada eslabón de la cadena nutricional, cuando se estudian seres más evolucionados, la contaminación por radioelementos decrece.

Si el hombre, merced a esas discriminaciones es bastante bien protegido, no es el caso de los seres más inferiores. Dichos seres son, por otra parte, mucho menos estable desde el punto de vista genético. Se aborda este aspecto del problema al evocar algunas consecuencias posibles de mutación en los seres unicelulares.