L'impact des installations nucléaires sur l'environnement (*)

Nasser ROUHANIZADEH (**)

(Manuscrit reçu le 23 septembre 1976)

INTRODUCTION

Ces dernières années, dans la plupart des pays du monde, les études relatives à l'environnement se sont multipliées; ceci est la conséquence de la prise de conscience, par l'opinion publique, de l'importance de cet environnement dans notre vie de tous les jours et de l'altération que lui impose le développement de notre civilisation technique. La multiplication des interventions humaines provoque, chaque jour, davantage de perturbations dans les équilibres écologiques. Cependant, il ne saurait être question d'arrêter le développement industriel; il s'agit de concilier les impératifs économiques et la sauvegarde de la vie.

La prospective, en matière de protection de l'environnement, oblige à rappeler que les équilibres écologiques sont le fruit d'ajustements successifs et que leur futur est dicté par des lois naturelles dont le reflet nous est donné par l'histoire.

Quel que soit l'élément perturbateur, le travail d'approche, en matière de protection de l'environnement, nécessite :

- la connaissance de l'histoire de l'écosystème révélée par l'observation et les enquêtes;
- l'estimation de l'influence de cet élément perturbateur à partir des données fournies par les cas antérieurs analogues et l'expérimentation [1].

(*) Cet article a été rédigé à la suite d'un stage en France au Département de Protection du Commissariat à l'énergie atomique, et l'auteur remercie tout particulièrement MM. BRESSON, BITTEL, COULON, GRAUBY, PLANET et UZZAN pour les éléments d'information qu'ils lui ont communiqués.

(**) Institut des sciences et techniques nucléaires, Université de Téhéran, Iran.

L'analogie de la démarche intellectuelle, que l'élément perturbateur soit radioactif ou non, amène à se poser un certain nombre de questions dans le domaine de la pollution non radioactive :

- pourquoi ne pas profiter de l'expérience acquise en radioécologie ?
- les techniques et méthodes utilisées en radioécologie sont-elles transposables ?
- ne serait-il pas profitable d'étendre le champ d'action des équipes de radioécologie ?

La radioécologie, l'une des branches les plus récentes de l'écologie moderne, se préoccupe plus particulièrement des modifications en présence de la radioactivité. La multiplication de l'origine et de la nature de cette radioactivité, la diversité des milieux, rendent complexe le comportement des radioéléments dans la biosphère, chaque écosystème ayant ses particularités. Ayant déterminé les différents maillons de la chaîne, l'originalité de la radioécologie est de réaliser une synthèse qui permette, en conclusion, d'estimer la résultante des transferts de chaque radioélément pour l'unité considérée [2].

LE MILIEU ENVIRONNANT

Le milieu environnant comprend différents compartiments :

- l'atmosphère;
- les eaux;
- les sols;
- les êtres vivants, végétaux et animaux;
- les aliments empruntés aux êtres vivants ou préparés à partir de ceux-ci et les aliments d'origine minérale, généralement utilisés comme condiments;
- les matériels et engins utilisés par l'homme.

L'introduction de la pollution dans l'un de ces milieux peut être :

- soit *directe*, du fait d'une injection à partir d'une source ou d'une production *in situ* ou filiation à partir d'un polluant radioactif ou non;
- soit *indirecte*, à partir d'un autre milieu contaminé [3].

La figure 1 montre une image des divers cheminements de la pollution et de ses voies d'accès à l'homme.

I. — L'ATMOSPHERE

La pollution de l'atmosphère peut se faire par trois types de mécanismes :

- apports directs ou injection à partir des sources;
- production *in situ* (activation des éléments stables de l'atmosphère par les rayonnements ionisants);
- apports indirects, à partir d'autres compartiments du milieu.

Le transfert de l'atmosphère aux autres compartiments s'effectue soit par dépôt d'aérosols secs, soit par voie humide (précipitations).

FIG. 1. — Cheminements de la pollution et voies d'accès à l'homme.

Ces phénomènes sont souvent réversibles, une fraction de la contamination déposée ou provisoirement fixée pouvant passer à nouveau dans l'atmosphère. Le polluant déposé peut ensuite atteindre l'homme, notamment par la chaîne alimentaire. Enfin, le polluant disparaît totalement ou partiellement par décroissance radioactive ou se transforme par filiation en un autre polluant.

La dispersion des effluents atmosphériques dépend de trois catégories de paramètres :

1) *Les paramètres propres à l'injection in situ* conditionnent souvent la première phase de la dispersion des polluants; interviennent principalement les caractéristiques de l'émission (volume, débit, durée, périodicité, continuité), celles des installations de rejet (hauteur de la cheminée), et enfin, celles du fluide porteur (composition, température).

2) *Les paramètres intrinsèques* aux divers polluants au moment de leur entrée dans l'atmosphère.

3) *Les paramètres du milieu* proprement dit :

- les paramètres mécaniques définissant les modalités de la dispersion, du dépôt et de la remise en suspension de la pollution;
- les paramètres physiques (température, charge électrique);

- les paramètres physico-chimiques (présence dans l'atmosphère de polluants chimiques);
- les paramètres biologiques (caractéristiques anatomiques des organes aériens des végétaux) [3].

FIG. 2. — Cheminements de la pollution à partir d'une contamination de l'atmosphère.

II. — LES EAUX

Tout comme pour l'atmosphère, la pollution des eaux peut se faire de trois façons différentes : apport — production *in situ* — apport indirect à partir d'autres milieux, par exemple à partir de l'atmosphère.

Le transfert d'une pollution aquatique peut s'envisager comme l'étude de sa répartition entre les trois compartiments suivants :

- eau;
- débit solide en suspension;
- sédiments déposés [4, 6].

Le polluant peut, ici aussi, subir des transformations physiques et physico-chimiques.

Il peut parvenir à l'homme :

- par transfert percutané et par les plaies;
- par ingestion;
- indirectement, en passant par d'autres milieux.

Trois types de paramètres règlent la pollution des eaux :

1) LES PARAMÈTRES LIÉS AUX CONDITIONS DE REJET OU DE PRODUCTION *in situ*

Dans le cas d'une injection dans les eaux interviennent les paramètres dynamiques et cinétiques de l'émission, les paramètres relatifs au fluide porteur (eau) et les paramètres géométriques propres aux installations de rejet.

Dans le cas d'une pollution *in situ* doivent être pris en considération les paramètres propres aux phénomènes de radioactivation et aux circonstances qui leur sont associées, comme les phénomènes mécaniques et physiques accompagnant les explosions nucléaires pour la réalisation de grands travaux.

Enfin, lorsque la pollution provient d'autres milieux — atmosphère, sol, drainage, êtres vivants, matériels — nous envisageons les phénomènes de mobilisation des radioéléments à partir des différents milieux où ils sont déposés.

2) LES PARAMÈTRES LIÉS A LA NATURE DES POLLUANTS parmi lesquels il convient de citer : l'état physique du polluant lors de son émission, en particulier solubilité, état colloïdal, granulométrie des particules, ainsi que son état physico-chimique, lui-même fonction des propriétés générales de l'élément stable et de l'influence de composés non radioactifs accompagnant le polluant dans l'effluent, comme les composés chélatants.

3) LES PARAMÈTRES PROPRES AU MILIEU sont très nombreux; nous les avons rassemblés en quatre groupes distincts :

a) les *phénomènes mécaniques*, tels que vents, courants, diffusion, sédimentation...;

b) les *phénomènes physiques*, comme la température, la lumière;

c) les *phénomènes physico-chimiques*;

d) les *phénomènes biochimiques* qui sont les plus importants et qui conditionnent le comportement des radionucléides dans le milieu aquatique, tels que :

- les actions microbiennes;
- les actions des organismes aquatiques inférieurs tels que les algues;
- les actions des êtres vivants intervenant en fonction de l'importance de leur biomasse sur la chimie et la biochimie des eaux;
- les prélèvements des organismes aquatiques agissant ainsi dans le sens d'une auto-épuration du milieu.

On note donc que le milieu vivant aquatique est le premier maillon biologique concerné par les rejets radioactifs et que toutes nos activités journalières domestiques, agricoles, industrielles sont directement concernées par le cycle de l'eau [3, 6].

III. — LES SOLS

Le sol est un récepteur actif en contact, à la fois, avec la nappe phréatique et avec les plantes auxquelles il fournit les éléments de base pour la nutrition.

L'introduction de la pollution dans le sol peut intervenir *par les retombées, par l'irrigation ou par le cycle biologique* (litières en décomposition); en conséquence, le sol doit être étudié dans son ensemble avec tous ses constituants et en tenant compte de son évolution.

Le sol est capable de fixer les radionucléides sur les argiles et la matière organique et sous l'effet de certains facteurs évolutifs rassemblés sous le nom de *pédogénèse*, il est à même de faire évoluer soit la forme chimique du radioélément, soit sa position dans le profil [4].

A ce titre, la matière organique, la microflore, les facteurs climatiques jouent un rôle considérable.

L'étude de la migration des éléments radioactifs dans les sols repose à la fois sur la connaissance des facteurs internes et externes qui influencent la *mobilité des radionucléides*, sur la *nature des vecteurs* et enfin sur l'*estimation de l'importance du cycle biologique*.

Le polluant peut subir des transformations en fonction de ses propriétés intrinsèques, des conditions de milieu et des actions de l'homme. Il peut enfin disparaître par décroissance radioactive ou se transformer en un autre polluant par filiation.

A partir du sol, la pollution peut parvenir à l'homme :

a) soit par des voies directes, par exemple pour les travailleurs agricoles, par voie cutanée par les plaies ou par inhalation de poussières,

b) soit par des voies indirectes, par transfert aux matières premières végétales et animales des aliments de l'homme.

Paramètres liés au comportement de la pollution au sol

On peut les classer en trois séries :

1) les phénomènes liés à la nature intrinsèque du polluant au moment de son apport au sol : par exemple, sa tendance à l'hydrolyse, à l'insolubilisation ou à la complexation, son caractère ionique, sa solubilité ...;

2) les phénomènes liés aux modalités des apports au sol et à leur nature;

3) les phénomènes liés aux caractéristiques du sol, eux-mêmes subdivisables en trois groupes :

a) paramètres propres au sol, paramètres pédochimiques relatifs aux

constituants du sol (eau, argiles, matières organiques, minéraux non argileux) et à leurs rapports, paramètres biochimiques relatifs à l'action des êtres vivants dans le sol et des racines,

b) paramètres relatifs aux effets des actions extérieures au sol, qu'il s'agisse de conditions météorologiques ou de la mise en valeur agricole des sols,

c) paramètres relatifs au sol considéré comme milieu alimentaire pour les végétaux supérieurs et, en particulier, pour les végétaux cultivés.

En conclusion, il importe de définir, principalement, pour un type de sol et un type de polluant, la capacité de rétention du sol et de prévoir son évolution en fonction du facteur du milieu le plus important et en fonction de son mode de liaison avec le sol.

IV. — LES VÉGÉTAUX

Les végétaux, notamment les cultures, sont directement concernés à cause de leur biomasse, de leur place dans la chaîne alimentaire et de leur capacité de fixation. La contamination des végétaux présente un risque très important.

Les végétaux peuvent être contaminés par voie directe (dépôt sur les feuilles), ou indirecte (*via* l'appareil racinaire).

On distingue, en général, trois processus :

- l'absorption proprement dite;
- le transfert des radioéléments et leur distribution dans la plante suivant le mode de contamination et l'élément radioactif;
- le lessivage de ces éléments par les eaux de pluies.

Nous étudierons ces trois processus dans le cadre de trois différents points de contamination directe : le feuillage, les fleurs, le collet.

1. CONTAMINATION DU FEUILLAGE

Le rôle de l'action d'absorption dans la contamination du feuillage des végétaux dépend de plusieurs facteurs [9] :

— *la température*, par exemple l'absorption des phosphates par la plante est sous sa dépendance [7, 8];

— *l'humidité*, elle augmente l'absorption foliaire [10, 11];

— *la lumière*, elle n'augmente que très faiblement l'absorption du radiophosphore et du radorubidium;

— *la durée du contact*, l'absorption est d'autant plus grande que la durée du contact solution-feuille est elle-même plus grande;

— *la compétition entre les ions, la concentration de la solution polluante et l'action du pH* sont les facteurs qui ont une influence sur l'absorption des pollutions sur les feuilles des plantes [12].

Le transfert

Lorsque des polluants atteignent les feuilles, ils peuvent soit demeurer provisoirement sur place, soit se fixer sur l'organe, soit migrer vers d'autres parties de la plante. Nous pouvons citer deux voies de transfert dans le cas de contamination :

- du bas vers le haut de la plante = basifuge;
- du haut vers le bas de la plante = basipète;

par exemple, le strontium et le césium arrivant sur les feuilles se comportent différemment. Le césium peut être facilement transporté de la feuille vers les organes souterrains par transport *basipète*, comme dans la pomme de terre, la betterave, ou vers les organes aériens. Le strontium, atteignant la plante par contamination directe, se fixe sur place et ne migre que faiblement vers les autres organes.

Lessivage des végétaux

Dans le cas d'une contamination de la plante par les radioéléments, il serait intéressant de savoir dans quelle mesure la pluie, ou l'utilisation d'un arrosage avec de l'eau non contaminée, pourrait réduire la contamination du végétal.

Du point de vue pratique, le lessivage est à envisager sous trois aspects :

- lessivage naturel par les eaux de pluie;
- lessivage par les eaux d'irrigation;
- lessivage des végétaux au moment de l'utilisation culinaire.

2. CONTAMINATION FLORALE

Les polluants peuvent se déposer sur les fleurs ou sur les fruits et contaminer ainsi directement l'organe végétal consommé par l'homme (céréales, fruits, pois, haricots, etc.).

D'après ICHIKAWA [13], la plus grande partie de l'absorption florale est due aux fines particules du sol soulevées par le vent et adhérent aux épis, le strontium 90 pouvant être absorbé directement par le grain à partir de ces particules.

3. CONTAMINATION PAR LA BASE DE LA PLANTE

Les polluants, apportés par les eaux de pluie ou par les eaux d'irrigation qui tombent sur le sol, se fixent normalement dans la couche superficielle et sont en contact avec les racines de surface, avec les parties de la base de la plante, capables de les absorber. Cet ensemble est appelé par les Anglo-Saxons le *mat horizon*, étudié surtout pour les prairies naturelles où l'on distingue une couche organique superficielle formée par l'accumulation de produits de dégradation de l'herbe. Cette couche très humifère fixe les radioéléments et constitue ainsi un

écran qui les empêche de migrer vers le sol sous-jacent. De plus, en raison de la faible teneur en calcium, le strontium arrivant dans cette zone est peu dilué par le calcium du sol et est utilisable par les végétaux [14].

Rapports entre la contamination directe et indirecte des végétaux

Il est très difficile de séparer les deux modes de contamination puisque, lors de l'aspersion, une grande partie de l'eau parvient au sol. On peut prévoir que l'importance relative de la contamination directe sera plus grande pour les végétaux cultivés sur des sols capables de stocker la contamination, sans la céder (sol à forte capacité d'échange, sol calcaire, sol à pH élevé), que pour les végétaux cultivés sur les sols cédant bien leur contamination (sols légers, sols acides).

D'autre part, l'existence d'une compétition d'ordre physiologique entre les contaminations directe et indirecte, ne doit pas être exclue.

En conclusion :

1) Les légumes feuilles peuvent être toujours considérés comme les produits présentant le plus de risques pour le consommateur, quelle que soit l'origine du rejet.

2) Les végétaux cultivés, irrigués par aspersion, sont des sources importantes de contamination pour l'alimentation humaine; dans le cas d'aspersion, la contamination peut se faire à la fois par voie indirecte et par voie directe; plusieurs radioéléments peuvent être en cause, en particulier ^{90}Sr et ^{137}Cs .

3) Le transfert foliaire et racinaire ne renverse pas l'ordre des risques, au contraire il le confirme; il semble donc normal, dans le cas d'un accident, lorsqu'il y a interdiction de consommation du lait, d'envisager simultanément l'interdiction de consommation des légumes feuilles. Par contre, les recommandations seront moins strictes en ce qui concerne les fruits;

4) L'absorption directe et indirecte des pollutions par les végétaux dépend des facteurs physiques, physicochimiques et physiologiques de même ordre.

4. CONTAMINATION DES ANIMAUX

La contamination interne et externe des animaux nous intéresse, notamment en ce qui concerne les recherches sur le métabolisme des toxiques. L'expérimentation sur les animaux a un double but : d'une part, apporter des informations sanitaires et physiologiques qui peuvent être transposées à l'homme, d'autre part, obtenir des données sur la radiocontamination de produits alimentaires, comme la viande et le lait. Comme chez l'homme, la pollution peut pénétrer par trois voies : la voie respiratoire, la voie digestive et la voie transcutanée. Il faut noter ici, le rôle important de l'âge de l'individu; ainsi les cinétiques métaboliques sont beaucoup plus actives chez les jeunes.

Sort de la contamination parvenue aux animaux

Les trois radionucléides les plus importants sur le plan sanitaire sont deux produits de fission, ^{131}I et ^{137}Cs , et un radioélément, ^{226}Ra [15].

Prenons d'abord le cas d'une administration unique de ^{131}I ; l'observation de la cinétique de fixation de l'iode dans la glande thyroïde et de la décharge de cette glande permet l'évaluation des périodes biologiques et effectives de l'iode, et, par voie de conséquence, permet de calculer les doses de rayonnements intégrées par les animaux et le tissu thyroïdien. On a observé que le transit de ^{131}I chez les femelles lactantes est très facile et rapide : en quelques minutes, on peut noter la présence de ^{131}I dans le sang, dans le lait, dans l'urine et même, au bout de 1 heure, dans les fèces, ce qui montre le passage par voie extradiigestive. L'élimination de ^{131}I emprunte trois voies principales : le lait, l'urine et les fèces. Chez les femelles lactantes, l'élimination par le lait est quantitativement équivalente à l'élimination urinaire, soit 35 à 40 p. cent de la quantité ingérée. En conséquence, dans le cas d'une radiocontamination, l'homme est toujours en danger de contamination par une consommation de lait.

En ce qui concerne ^{137}Cs déposé sur les feuilles des plantes, il joue un rôle contaminant majeur et le métabolisme minéral des végétaux n'intervient pas dans le transfert de ^{137}Cs à l'organisme animal. En ce qui concerne l'excrétion du césium par les différentes voies, il faut noter que 80 p. cent, en moyenne, de la quantité ingérée est éliminée par les fèces, 15 p. cent par l'urine et 5 p. cent seulement par le lait.

Le radium 226 est un radioélément naturel, sous-produit du traitement des minerais uranifères. Le radium est très radiotoxique et les doses expérimentales sont proches des doses toxiques à long terme, pour les animaux.

5. LES ALIMENTS

En ce qui concerne les produits d'origine végétale, il est important de bien distinguer les deux processus de contamination, car la quantité absorbée à partir du sol est déterminée par la quantité de radionucléides accumulés dans le sol au cours des années, tandis que la contamination directe est liée seulement au dépôt atmosphérique récent pendant la période de végétation. Il est actuellement admis que la contamination d'un produit quelconque peut s'exprimer par la formule suivante [21, 22] :

$$c = \text{PdFd} + \text{PrFr},$$

c , concentration du radionucléide dans le produit alimentaire;

Fr , dépôt cumulatif par unité de surface du sol;

Fd , intensité du dépôt direct sur les végétaux par unité de temps;

Pd , coefficient d'absorption;

Pr , coefficient d'intensité.

En résumé, les études générales permettent de mettre en évidence :

- l'importance relative des différents produits alimentaires pour l'étude de la contamination humaine et les radionucléides à prendre en considération pour chacun de ces produits;
- l'influence des processus technologiques lors de la transformation des produits bruts.

L'UTILISATION DES TECHNIQUES RADIOÉCOLOGIQUES DANS LA LUTTE CONTRE LES POLLUTIONS INDUSTRIELLES, URBAINES ET AGRICOLES

En dehors du domaine nucléaire, la protection du milieu a été plus diffuse et moins intégrée. Ainsi, les techniques de radioprotection de l'environnement paraissent nettement plus élaborées quand on les compare aux techniques de lutte contre les pollutions d'origine industrielle, urbaine et agricole [1, 23].

Le *know-how* important, fruit des études réalisées sur l'environnement autour des installations nucléaires, est actuellement transféré dans le domaine des pollutions conventionnelles. Les possibilités offertes par le transfert des techniques radioécologiques sont immenses.

A titre d'exemple, on peut citer les études déjà réalisées dans certains laboratoires, avec des méthodes nouvelles directement issues des recherches radioécologiques :

a) l'étude de la nuisance des produits pétroliers [18] dont le but est d'établir, en fonction des types d'hydrocarbure (produit brut, raffiné, au niveau de chaque atelier de raffinage) quelles sont les concentrations maximales admissibles de ces produits, pour éviter un effet létal ou simplement une dégradation gustative des poissons;

b) l'effet toxique du SO_2 et des oxydes d'azote émis, soit par les raffineries, soit par les centrales thermiques, sur les cultures et la végétation en général;

c) la mise au point de tests de toxicité : le test *Daphnie*, mis au point en France, est facilement réalisable dans un laboratoire radioécologique et remplace, pour le contrôle de l'environnement, des analyses chimiques nombreuses et coûteuses;

d) la qualité des eaux d'irrigation : les études sur le transfert des radionucléides par les eaux d'irrigation sont extrapolables à d'autres composantes de la qualité de l'eau comme l'effet de la charge saline (l'utilisation des eaux salées est un problème mondial), la présence de toxiques métalliques;

e) la méthodologie des rejets industriels et urbains (exploitation des modèles et méthodes exploratrices de la radioécologie);

f) les études de sites préalables à une implantation industrielle [20].

CONCLUSION

Ce document constitue une introduction de caractère exhaustif à une étude dont l'objet essentiel a été de faire l'inventaire des paramètres de milieu, notamment de ceux relatifs aux transferts de la contamination depuis les sources de pollution jusqu'à l'homme. Nous avons essayé de montrer que cette étude était conçue de manière à servir de base à des travaux utilisables dans le domaine des pollutions tant radioactives que chimiques, qu'il s'agisse de la santé de l'homme ou du maintien des équilibres écologiques.

En ce qui concerne le problème de la protection de l'environnement pour un pays comme l'Iran, il est nécessaire de considérer tout particulièrement les plans de développement nationaux et locaux. On tiendra compte des lois sur la protection de la santé et de la sécurité publique, la conservation des ressources naturelles et la protection des sites naturels et des industries nationales comme l'agriculture et la pêche. Des études devront porter nécessairement sur les risques que comporte le travail de routine, sur ceux qui peuvent être provoqués au cours de certains incidents et enfin sur ceux qui peuvent surgir du fait d'un accident majeur. C'est donc dans ces conditions que l'expansion harmonieuse et sûre des applications de l'énergie nucléaire pourra se faire au bénéfice du progrès et du bien-être de l'humanité.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] BOVARD P. Perspectives offertes à la radioécologie dans le domaine de l'environnement. In : *La radioécologie appliquée à la protection de l'homme et de son environnement*, Rome, 7-10 septembre 1971 (EUR-4800). Luxembourg, Communautés européennes, 1972, **1**, 639-650.
- [2] BRESSON G. Énergie nucléaire et environnement. *Agriculture*, 1973, **366**, 160-161.
- [3] BRESSON G., BITTEL R., GRAUBY A., PLANET J., UZZAN G. Transfert de la pollution à l'homme. *Nuisances et Environnement*, 1971, **6**, 33-40.
- [4] GRAUBY A. Comportement de la radioactivité dans le milieu terrestre. In : *Disposal of radioactive waste. Évacuation des déchets radioactifs*, Réunion d'information organisé par l'O.C.D.E., Paris, 12-14 avril 1972, 51-69.
- [5] PICAT P., MORISSET P. Étude de la pollution du lit des cours d'eau. *B.I.S.T.*, 1970, **151**, 39-41.
- [6] DELMAS J., GRAUBY A., DISDIER R. Transfert des radionucléides aux végétaux par l'eau d'irrigation. *B.I.S.T.*, 1970, **151**, 63-70.
- [7] LONG W. G., SWEET D. V., TUKEY H. B. The loss of nutrients from plant foliage by leaching as indicated by radioisotopes. *Science*, 1956, **123**, 1039-1040.
- [8] LONG W. G., TEUBNER F. G., WITTWER, LINDSTROM R. S. The effects of internal and external factors upon foliar absorption and distribution of radiophosphorus, potassium and rubidium in plants. *Plant Physiol.*, (Abstract suppl.), 1955, 18-30.
- [9] BITTEL R., CLEMENT J. L., Contamination directe des végétaux et irrigation par aspersion. Rapport CEA-BIB-53, 1965.
- [10] THORN G. N. Factors affecting uptake of radioactive phosphorus by leaves and its translocation to the other parts of the plant. *Ann. Bot.*, 1958, **22**, 381-398.

- [11] FISHER E. G., WALKER D. R. The apparent absorption of phosphorus and magnesium from sprays applied to the lower surface of McIntosh apple leaves. *Proc. Am. Soc. Hort. Sci.*, 1955, **65**, 17-24.
- [12] KOONTZ H., BIDDULPH O. Factor affecting absorption and translocation of foliar applied phosphorus. *Plant Physiol.*, 1957, **10**, 732-740.
- [13] ICHIKAWA R., ABE M., ETO M. Evolution of origins of contamination in wheat plant. *Science*, 1961, **133**, 2017-2018.
- [14] RUSSELL R. S. Deposition of ^{89}Sr and its content in vegetation and human diet. *Nature*, 1958, **182**, 834-839.
- [15] NIZZA P., DABURON F. Radiocontamination de la chaîne alimentaire de l'homme. *Agriculture*, 1973, **366**, 170-174.
- [16] JAMMET H. P. Étude sur la contamination radioactive de la population humaine. Rome, 1965. *XIth International congress of radiology*, Amsterdam, Excerpta medica, 1967, **2**, 1514-1521.
- [17] FOULQUIER L., REYNIER B., GRAUBY A., BOVARD P. Toxicité du lindane sur l'Anguille (*Anguilla anguilla* L.). *C. R. Acad. Agric. France*, 1971, **57**, 1060-1068.
- [18] DESCAMPS P., FOULQUIER L., AGUESSE P., GRAUBY A. Données expérimentales sur la contamination d'*Anguilla anguilla* (L.) par le chrome 51 et son excrétion. *C. R. Acad. Sc. Paris*, 1973, **276**, série D, 1193-1196.
- [19] FABRIES M., GRAUBY M. Study of a mediterranean type phytocenose subjected to chronic gamma radiation. *Rad. Botany*, 1972, **12**, 125-135.
- [20] BOVARD P., GRAUBY A., FOULQUIER L., PICAT Ph. Étude radioécologique sur le comportement dans l'environnement. In : *Environmental behaviour of radionuclides released in the nuclear industry*, Aix-en-Provence, May 14-18.1973. Vienne. A.I.E.A., 1973, 507-522.
- [21] BOVARD P., DELMAS J., DISDIER R., GRAUBY A. Estimation de la contamination de la ration alimentaire. In : *Environmental contamination by radioactive materials*, Vienna, March 24-28, 1969. Vienne, A.I.E.A., 1969, 113-124.
- [22] DELMAS J., DISDIER R., GRAUBY A., BOVARD P. Étude expérimentale de la contamination du maïs par le radiostrontium et le radiocésium apportés par l'eau d'arrosage. *Radio-protection*, 1971, **6**, 269-277.
- [23] BOVARD P. Applications des techniques radioécologiques aux études de pollution non radioactive, Application à un cas particulier. In : *Comparative studies of food and environmental contamination*, Otaniemi, August 27-31, 1973. Vienne, A.I.E.A., 1974, 123-134.