

Eléments à l'état de trace : quels effets ?

Rencontre du Café des techniques du jeudi 19 février 2004 au musée des Arts et Métiers
A l'initiative de l'AFAS, en collaboration avec l'Association des amis du musée des Arts et Métiers
Avec le soutien de la délégation à la Recherche et à la Technologie d'Ile-de-France

avec la participation de

Guy Chazot, professeur de neurologie, université Claude Bernard de Lyon, directeur de Trace Element Institut pour l'Unesco

Maurice Rabache, chef de projet toxicologie, réseau de compétence pour l'environnement, CNAM

Daniel Tessier, directeur de l'unité de sciences du sol, INRA Versailles, président de l'Association française pour l'étude des sols

Rencontre animée par **Nathalie Milion**, journaliste scientifique

Pourquoi cette rencontre ?

Constituants chimiques très minoritaires dans la matière, les éléments trace n'en font pas moins parler d'eux. Mercure, plomb, cadmium, arsenic... : certains peuvent se révéler être de véritables poisons. D'autres, au contraire, sont indispensables au bon fonctionnement de notre organisme. Iode, zinc, sélénium, cuivre, molybdène, chrome... : s'ils viennent à manquer, de graves troubles apparaissent alors.

Les relations entre doses et effets sont très différentes selon les éléments mais c'est surtout leur forme chimique qui détermine leur impact. Présents dans les sols, l'atmosphère et les êtres vivants, ils circulent selon des mécanismes complexes tout au long de la chaîne alimentaire.

Dans quels troubles et pathologies sont-ils impliqués ? Quels sont les risques potentiels d'intoxication ou de carence ? Dans quelle mesure les activités humaines modifient-elles la dynamique des éléments trace dans un environnement ?

Découvrez au travers d'exemples précis l'importance de ces éléments et leurs implications dans notre vie quotidienne.

M. Crozon :

Je vous souhaite la bienvenue à cette rencontre du Café des techniques organisée conjointement par l'AFAS et le musée des Arts et Métiers. Je me réjouis de vous accueillir aussi nombreux pour le thème d'aujourd'hui car celui-ci n'est, vous le verrez, pas si austère qu'il peut le paraître.

Je laisse à Nathalie Milion le soin d'animer ce débat.

N. Milion :

Ce sujet est effectivement passionnant. Avant de vous expliquer en quelques mots ce que sont les éléments trace, j'aimerais vous rappeler le principe du Café des techniques : c'est vous qui posez les questions ; elles sont toutes bonnes à entendre et nos intervenants se feront un plaisir d'y répondre.

Les éléments trace sont des éléments chimiques présents en très petites quantités dans les sols, le corps humain, les animaux, les plantes. Ces éléments trace peuvent être bénéfiques (sélénium, zinc, par exemple), mais aussi toxiques à certaines concentrations, ou toujours toxiques comme l'arsenic, le mercure, le plomb (dont on a beaucoup parlé avec le risque de saturnisme lié aux canalisations anciennes en plomb), le cadmium...

Pourquoi trouvons-nous ces éléments trace dans les sols ? Ils proviennent de notre héritage et notre culture industriels, mais également de nos apports urbains (boues de stations d'épuration, par exemple), agricoles (lisiers de porc, par exemple). Ils appartiennent aussi à la géologie de notre terre et sont présents dans la croûte terrestre.

Nos trois intervenants vont chacun s'attacher à une branche de cette étude des éléments trace.

Je commencerai par Guy Chazot, professeur de neurologie à l'université Claude-Bernard de Lyon, directeur de Trace Element Institut, créé sous l'égide de l'Unesco et qui s'intéresse à tous les éléments trace. Vous allez nous dire pourquoi ces éléments trace sont si importants au niveau mondial.

Daniel Tessier est directeur de l'unité de sciences du sol à l'INRA de Versailles, et également président de l'Association française pour l'étude des sols. Qu'est-ce qui fait le lien entre l'humain et le sol ? C'est l'assiette !

Maurice Rabache est chef de projet toxicologie, réseau de compétence pour l'environnement au CNAM. Il est également expert auprès de l'Association française de sécurité sanitaire des aliments (AFSSA). Nous verrons, grâce à vous, comment on passe des sols à l'être humain.

Peut-être les termes *élément trace*, *oligoélément*, *métaux lourds* sont-ils un peu vagues pour nous. Je vous propose donc, M. Chazot, pour bien poser le sujet, de définir ces termes.

G. Chazot :

Les organisations internationales, que ce soient la FAO, l'IAEA, l'OMS ou l'Unesco, s'intéressent fortement aux éléments trace, et c'est Federico Mayor, directeur général de l'Unesco, qui a créé, à Lyon, Trace Element Institut pour l'Unesco. Ce centre reçoit toutes les informations sur les éléments trace, grâce à la bibliothèque, et ensuite, par des sites informatiques, les transmet dans tous les pays du monde.

Le point important, pour ces organisations internationales, est que le Tiers-Monde a été le pionnier dans la compréhension des éléments trace : le déficit en zinc a été découvert en Iran et en Egypte, le déficit en cuivre au Pérou, le déficit en chrome en Jordanie, le déficit en sélénium en Chine.

Tous les pays du monde sont impliqués dans les éléments trace, et c'est la raison pour laquelle notre institut a maintenant des centres satellites dans le monde entier : en Afrique, dans les pays de l'Est, en Asie, et bientôt aux Etats-Unis.

Les éléments trace font partie d'un écosystème ; ceux que nous avons dans notre corps proviennent du sol, en passant par les plantes, puis par les animaux et enfin par l'alimentation. Cet écosystème est variable puisqu'il n'est pas le même dans les pays industrialisés et non industrialisés.

Un exemple chez les plantes : avec du zinc, les oignons sont gros et bons, alors que sans zinc, ils sont très petits. Un autre exemple chez les animaux : la couleur du pelage des animaux change en fonction de la carence en cuivre, ou encore la carence en zinc peut entraîner des eczéma chez certains animaux. Enfin, un exemple typique chez l'homme est celui de la carence en iode, cause, autrefois dans les Alpes, de ce qu'on appelait le crétinisme, par hypothyroïdie et non-développement du cerveau. On en trouve encore en Nouvelle Guinée, avec des goitres très importants. Tout cela pour vous montrer que nous sommes passés des plantes aux animaux et enfin aux hommes.

Qu'est-ce qu'un élément trace ou oligoélément ?

Le terme *oligoélément* avait été défini en France par Gabriel Bertrand. Puis le terme *oligo*, rare, est devenu à l'état de *trace*, et comme le terme anglo-saxon est *trace*

element, on parle maintenant d'*élément trace* dans les zones francophones.

L'élément important est la teneur en grammes d'éléments trace par kilogramme de poids corporel. Cela permet de distinguer, dans le corps humain, les éléments majeurs comme le calcium, le phosphore, le potassium, le soufre, des éléments à l'état de trace : fer, fluor, zinc, rubidium, strontium, brome, cuivre, vanadium, sélénium, manganèse, iode, molybdène, nickel, chrome, cobalt, uranium, béryllium. Nous verrons que, dans les pays industrialisés, on se demande maintenant si l'on n'a pas aussi un peu d'aluminium, de plomb, de mercure.

Pour notre organisme, les éléments trace peuvent être essentiels. Selon la définition de l'OMS de 1996, un élément est considéré comme essentiel à l'organisme lorsque sa réduction en-dessous d'une certaine limite altère une fonction physiologiquement importante, ou lorsque l'élément fait partie d'une structure organique ayant une fonction vitale pour l'organisme. C'est ainsi qu'un certain nombre d'éléments tels que le zinc, le cuivre, le sélénium, le manganèse, etc., sont considérés comme des éléments essentiels, sur le plan vital, à notre organisme.

Par exemple, sélénium et cancer : les études épidémiologiques depuis 1970 montrent que le sélénium a un effet protecteur vis-à-vis du cancer. Par exemple, en 1998, une étude sur une cohorte de 9 000 Finlandais, a montré que le risque de cancer du poumon est plus élevé lorsque le taux de sélénium est bas. On s'est également aperçu, en Chine, que l'apport de 15 mg de sélénite de sodium par kg de poids corporel après 6 ans diminue l'incidence de certains cancers hépatiques. Enfin, aux Etats-Unis, on s'est rendu compte qu'avec un apport quotidien de 200 µg de sélénium, on a une diminution de 50 % de la mortalité et une diminution de l'incidence des cancers de la prostate et du poumon.

Un autre exemple, d'actualité, est celui des maladies émergentes. On constate que le sélénium a un rôle par rapport aux virus. Dans une région de Chine où il y a très peu de sélénium dans le sol, sévissait une maladie dite de Keechan (du nom de cette région), mort subite touchant souvent les enfants, cardiomyopathie, et l'on s'est aperçu que si l'on apportait du sélénium dans le sol, cette maladie diminuait et même disparaissait. Comme on pensait qu'il s'agissait d'une maladie dégénérative cardiaque, liée à l'excès de radicaux libres au niveau cellulaire, et qu'il y avait beaucoup plus de morts subites au printemps et en automne, on a fait des prélèvements au niveau du cœur et l'on s'est aperçu qu'il y avait des coxsackie virus non pathogènes qui devenaient pathogènes lorsqu'il y avait une carence en sélénium. Donc une carence en sélénium peut causer une mutation au niveau de l'ADN viral, rendant le virus plus dangereux chez l'homme.

Une carence en sélénium chez l'homme peut rendre le virus de la grippe plus dangereux, et une épidémie de grippe peut être différente selon les pays en fonction du taux de sélénium. Malheureusement, on ne connaît pas

encore très bien les taux de sélénium en Europe ; les pays du Nord présentent une carence en sélénium.

Pour nous le point important est *éléments trace et santé*, et la santé passe par la nutrition. Grâce à un livre de l'INRA, nous connaissons toutes les teneurs en éléments trace de ce que nous mangeons. Nous discuterons peut-être aussi de certains dangers dans l'alimentation liés à des excès d'éléments trace.

Les éléments trace sont utilisés comme médicaments :

- à forte dose : lithium dans la psychose maniaco-dépressive, zinc dans l'acné, ce qui montre que ces éléments trace peuvent avoir un effet même en cas de non carence ;
- à des doses beaucoup plus faibles (oligosols) en médecine fonctionnelle, là où l'on a des symptômes liés à un dérèglement physiologique réversible, qui ne correspondent pas encore à des lésions organiques et qu'on peut ainsi prévenir.

N. Milion :

On voit donc que ces éléments trace - pour le grand public, le terme d'*oligoélément* prime sur le terme d'*élément trace* - ont un effet bénéfique.

Avez-vous des questions à poser ?

Question :

Allons-nous devoir prendre une petite liste qu'on sortira de sa poche à chaque repas en se disant qu'il faut un peu plus de sélénium ou de zinc, ou un peu moins de cuivre, et surtout pas d'uranium parce qu'on n'en connaît pas les effets ?

M. Rabache :

Non, ce n'est pas utile ! Le sélénium vient des sols avant tout, et il faut savoir que s'il y a des régions dont le sol présente un déficit en sélénium, ce n'est pas trop le cas de la France, me semble-t-il. Par conséquent, vous risqueriez de faire de grosses erreurs avec votre petite liste, car la teneur des produits dépend bien évidemment de leur origine : où ils sont cultivés et sur quel sol.

En revanche, il est certain que les légumes sont un des principaux apports de sélénium. Par conséquent si vous avez une alimentation pauvre en légumes, que vous mangez des pâtes tous les jours, vous avez peut-être des risques de carence en sélénium. C'est une des tendances majeures qu'on observe d'aujourd'hui.

Question :

Je suis un peu déçu de la définition qui a été donnée d'*élément trace* ou d'*oligoélément*. Est-ce un problème de quantité, un problème d'effet sur l'homme, un problème d'environnement ? Y a-t-il problème ? J'aimerais relier cela à des grandeurs physiques plus quantifiables.

G. Chazot :

Un nouveau congrès de l'OMS et de l'Unesco va se tenir pour la définition des éléments trace.

Les taux de métaux, métalloïdes qui se trouvent dans l'organisme sont différents selon qu'on est un chien, un chat ou un homme. La définition a été faite chez l'homme ; elle est faite par les vétérinaires pour les animaux ; et elle est faite de façon différente pour les plantes et pour le sol. C'est la raison pour laquelle le terme d'*élément trace* est très général.

N. Milion :

Voici la définition que je trouve sur votre site, trace-element.org : «Les oligoéléments, terme créé par Gabriel Bertrand en 1894, chez l'homme, sont des éléments dont le taux est inférieur à un milligramme par kilogramme de poids corporel.»

G. Chazot :

Exactement, c'est toujours la définition.

Question :

Il y a donc une ambiguïté. On voit bien que c'est autre chose qu'une simple quantité. Il me semble que c'est une forme de produit de convolution entre la quantité et l'effet. C'est le produit des deux qui conduit à la notion d'oligoélément, et non pas la rareté ou le simple effet.

D. Tessier :

Dans les sols, vous pouvez avoir des teneurs en oligoéléments ou en éléments trace extrêmement variables, ce qui ne veut pas dire que ces éléments sont mobiles. Pour qu'un élément passe dans la plante, il faut qu'il passe en solution, et ce passage en solution est une série de mécanismes ou de processus, dont je vais vous citer un certain nombre.

Par exemple, le principal facteur de mobilisation des éléments vers la solution du sol est la dégradation des matières organiques. Si des fumiers, lisiers ou autres, sont apportés au sol, lorsque les bactéries vont dégrader ces matières organiques, les éléments qui étaient dans la matière organique vont passer en solution.

Encore faut-il qu'il y ait de l'eau car, pour qu'un élément passe vers la plante, il faut un fluide transporteur, et ce fluide est l'eau. Il existe aussi d'autres facteurs. Par exemple, quand le sol est à pH relativement basique, les éléments passent très peu en solution parce qu'ils sont retenus très fortement - on dit qu'ils sont complexés - sur les argiles, les matières organiques des sols. Mais quand le pH baisse, les conditions vont être réunies pour qu'ils passent en solution.

Quand une plante assimile du calcium, mécaniquement elle va rejeter des protons, ce qui va changer les propriétés du sol à la surface de ses constituants, c'est-à-dire la matière organique et les argiles. Ce sera donc une condition qui permettra la mobilité d'un élément. Le sol n'est pas seulement quelque chose de minéral, ce sont aussi des bactéries, des micro-organismes, des champignons, de la matière organique, et tout cela est en synergie. Lorsqu'il y a, par exemple, action de l'activité bactérienne, il va y

avoir des changements qui vont permettre à des éléments de passer en solution. En même temps qu'ils passent en solution, ces éléments vont être absorbés par la plante, et en retour, il y aura des rétro-effets. Donc les choses sont un peu compliquées, et il faut bien comprendre ces processus faisant appel à différentes disciplines pour comprendre la mobilité et donc la biodisponibilité des éléments vers la plante.

N. Milion :

Il n'y a donc pas de rapport entre la concentration et la phytodisponibilité des éléments.

D. Tessier :

Non, il n'y en a pas.

Question :

Quand on fait des évaluations de risques en cas de pollution industrielle, on doit déterminer des seuils de réhabilitation. Par exemple, pour le cas de l'arsenic, on arrive à des concentrations très faibles et parfois inférieures au bruit de fond qu'on peut trouver dans les régions. Y a-t-il des banques de données pour ces bruits de fond ?

D. Tessier :

Oui, il existe des banques de données, et en particulier un service à l'INRA qui s'occupe de ce qu'on appelle le fonds géochimique. On connaît ainsi, pour les grands types de matériaux, la quantité d'éléments trace contenue dans ces matériaux.

Je voudrais attirer votre attention sur le fait que le sol s'est développé sur une roche, laquelle a une certaine composition. Ces sols peuvent être plus ou moins anciens. Par exemple, un tiers des sols de France viennent de l'apport, par le vent, de loess venus du nord de l'Europe au moment des glaciations. Ces loess ont différents âges, et ont donc subi une action biologique plus ou moins ancienne. Selon les sols et selon la composition initiale de la roche, la composition qu'on a aujourd'hui dans les sols est très différente parce qu'il y a eu des migrations et des déplacements qui sont allés jusque vers les nappes. Il y a eu parfois des concentrations, et, aujourd'hui encore, on assiste à des concentrations. Je vous cite l'exemple d'expériences de longue durée à l'INRA où, depuis 75 ans, on cultive la même plante, avec le même apport d'engrais, etc. Quand on recycle les végétaux en surface, ces derniers vont pomper les éléments dans le sol et les ramener en surface. Si l'on ne laboure pas le sol, ces éléments ont tendance à s'accumuler en surface sur 3 à 4 cm, et en dessous, il n'y aura rien. Donc, il est extrêmement difficile de parler de teneur globale, il faut d'abord localiser où sont les éléments, et ensuite, caractériser la mobilité de ces éléments vers la solution.

Question :

On nous dit : «Pour éviter le cancer de la prostate, mangez des légumes !». Or, dans un bon nombre de

magasins, pharmacies, parapharmacies, magasins de diététique, on vend des comprimés de sélénium. L'absorption de sélénium sous forme de comprimés a-t-elle la même action que l'absorption de sélénium dans les légumes ? Le corps est-il capable de le fixer ou faut-il des vitamines à côté, comme pour un certain nombre d'autres éléments ?

M. Rabache :

L'absorption du sélénium pose relativement moins de problèmes que celle du fer, qu'on ne sait pas bien, encore aujourd'hui, rendre biodisponible. Pour ce qui est du sélénium, les conditions nutritives du bol alimentaire peuvent effectivement influencer sur l'absorption du sélénium.

N. Milion :

Quels sont les aliments riches en sélénium ?

M. Rabache :

Ce sont principalement les légumes en général, mais bien sûr à condition que ces légumes aient été cultivés sur des sols riches en sélénium, dont les pH sont adéquats. On ne peut donc pas répondre de manière absolue.

N. Milion :

Qu'est-ce qui fait qu'un légume est riche en sélénium ?

D. Tessier :

En général, la partie foliaire des végétaux contient beaucoup plus d'oligoéléments que les graines - c'est vrai aussi pour le phosphore. Cette particularité est utilisée, par exemple, dans des zones polluées. Si vous cultivez du maïs sur des sols pollués, par exemple sur la plaine d'Achères, les graines de maïs ne contiendront pratiquement pas de métaux lourds, alors que la partie aérienne, en revanche, en contiendra. On a par conséquent abandonné la culture des salades dans la zone d'Achères.

N. Milion :

La laitue semble particulièrement sensible à tout ce qui est métaux lourds.

D. Tessier :

Pas seulement la laitue, mais toutes les parties foliaires.

Question :

Il me semble que votre sujet de ce soir est important, d'autant qu'il est sous-estimé, voire ignoré, quand il n'est pas camouflé. Je voudrais prendre l'exemple des médicaments génériques, pour lesquels il est fait de la publicité, ce qui n'est pas une mauvaise chose, mais on va jusqu'à vous dire que le générique, c'est la même chose que l'original. Or c'est inexact parce que les excipients, c'est-à-dire ce qu'il y a autour de la molécule originale, ne sont pas les mêmes, et que ceux-ci peuvent avoir des effets sur les individus. Je pense donc que cette propagande n'est

pas honnête, et si un débat comme celui-ci pouvait le mettre en évidence, cela me semblerait utile.

N. Milion :

Je vais me tourner vers le médecin, M. Chazot.

G. Chazot :

Je voudrais plutôt revenir à la question de la biodisponibilité : nos cellules, celles de notre cerveau, de notre cœur ou de notre foie, ont besoin d'éléments trace pour certaines enzymes ou pour certaines actions. Entre ce que nous mangeons et ce qui va dans nos cellules, le trajet est complexe, et c'est ce trajet qui correspond à ce qu'on appelle la biodisponibilité, qui peut varier sans que nous le sachions. Ainsi, lorsqu'on prescrit un élément trace, on dit très souvent : «Prenez-le un quart d'heure avant ou après le repas, mais à distance», parce que si, par exemple, vous prenez du zinc et que vous mangez de la salade tout de suite après, les phytates de la salade empêcheront l'absorption du zinc.

Pour aborder une autre question, il existe quelques diurétiques qui contiennent de l'aluminium. On peut se dire que l'aluminium n'est peut-être pas dangereux et est peut-être même un élément essentiel, mais quand on le prend pendant 20 ans pour de l'hypertension, cela n'a-t-il pas des effets pervers ? Ce sont des points sur lesquels on peut s'interroger.

N. Milion :

D'ailleurs l'AFSSA se penche ces derniers temps sur le problème de l'aluminium.

M. Rabache :

Oui, l'AFSSA étudie le problème de l'aluminium sous deux angles.

Celui de l'apport dans les eaux puisqu'une partie des eaux distribuées dans les canalisations est traitée par des hydroxydes d'aluminium, pour aider à la floculation et à la purification de l'eau. Il est évident qu'il reste des traces de cet aluminium dans l'eau que vous consommez. Une enquête épidémiologique faite dans la région bordelaise semblerait montrer une augmentation des cas observés de dégénérescence du système nerveux lorsque les gens consomment des eaux de ce type.

Nous nous sommes également posé la question de l'aluminium dans les aliments, notamment l'aluminium qui est libéré à partir des casseroles - quand elles sont de ce métal -, et qui passe en partie dans les aliments à des doses non négligeables. Or, nous n'avons pas observé d'effets identiques.

Nous sommes donc très dubitatifs sur l'effet réel de l'aluminium, et actuellement nous ne pouvons guère aller plus loin ni dire formellement que l'aluminium intervient dans les phénomènes de neurodégénérescence. Mais il est possible que les modes d'administration jouent : lorsque vous buvez de l'eau vous n'avez pas du tout la même décharge gastrique que lorsque vous consommez un ali-

ment - dans ce cas la décharge gastrique est très importante, notamment en acide chlorhydrique. Le pH dans lequel l'aluminium va arriver peut complètement modifier son absorption et son devenir.

En toxicologie, nous insistons beaucoup sur ce qu'on appelle la spéciation chimique, particulièrement pour les éléments minéraux, avec lesquels tous ces problèmes sont posés.

N. Milion :

Pouvez-vous nous définir le mot *spéciation* ?

M. Rabache :

Spéciation veut dire qu'on va au-delà de l'élément en tant que tel, et c'est l'espèce chimique dans laquelle il se trouve qui va avoir un effet. Si je prends par exemple, le problème du mercure : le mercure Hg⁰ ou le mercure sous forme mercurieux ou mercurique, ce n'est pas du tout la même chose en termes de toxicologie, d'effets biologiques. C'est la raison pour laquelle nous faisons un appel à tous les laboratoires pour que, dans l'avenir, ils parviennent non pas à doser l'élément total, qui pour nous ne veut rien dire, mais l'espèce chimique précise. Le sélénium n'est pas seulement le sélénium de l'air, Se⁰.

N. Milion :

Nous pouvons donc continuer à faire des papillotes de poisson dans du papier aluminium ? L'AFSSA ne dit rien sur ce sujet.

M. Rabache :

Pour le moment, nous ne disposons pas de résultats suffisamment formels qui montreraient les effets qu'on a observés chez les consommateurs d'eau dans laquelle on a des molécules d'aluminium résultant des traitements préalables.

D. Tessier :

L'aluminium dans les sols est la première cause de baisse de fertilité des sols dans le monde. Dès que vous avez des sols avec un pH aux alentours de 5 ou 5,5, l'aluminium libéré dans l'eau devient phytotoxique. Cela concerne toutes les régions tropicales, mais aussi nos régions du nord de l'Europe, où la pluviométrie dépasse l'évapotranspiration. Pour faire face à cette toxicité aluminique, depuis l'Antiquité, on chaulait, c'est-à-dire qu'on remonte le pH et l'on n'a alors plus de problème avec l'aluminium.

Le problème est que le prix des céréales a été divisé par deux, parfois par trois, en dix ans, et les agriculteurs, chez nous, n'ont plus tout à fait les moyens de chauler. Avec les pratiques nouvelles, qui sont en fait des pratiques de non-travail du sol, où l'on apporte tout en surface, on est en train de changer le milieu écologique, c'est-à-dire qu'on arrive à avoir, à la surface du sol, des pH de 4,5 à 5. Cette pratique qui consiste à désintensifier l'agriculture n'est pas sans danger. L'agriculture intensive, il est

vrai, a conduit à des excès, mais les pratiques de désintensification, notamment au travers de la toxicité de l'aluminium, mais aussi de la mobilité des métaux lourds en trop grandes quantités, posent problème.

Question :

Il paraît qu'on a trouvé dans le cerveau des malades atteints d'Alzheimer, une quantité importante d'aluminium, et que ce serait un élément qui favoriserait cette maladie.

N. Milion :

M. Chazot, le neurologue que vous êtes peut-il répondre ?

G. Chazot :

Des travaux sont en cours actuellement sur ce sujet. Nous n'avons pas de preuve. Il s'agit probablement d'un élément parmi d'autres. La maladie d'Alzheimer, la dégénérescence de nos cellules, de notre cortex, dépendent de plusieurs facteurs, et plusieurs éléments sont impliqués soit pour retarder, soit pour aggraver cette dégénérescence cellulaire. Il est probable que, dans un certain nombre de cas, l'aluminium puisse être toxique et entraîner une dégénérescence de ces cellules, mais ce n'est pas, dans tous les cas actuels de maladie d'Alzheimer, la cause de la maladie.

Pour poursuivre avec l'aluminium, je citerai l'exemple des dialyses pour insuffisance rénale. Quand on a commencé les dialyses, on a remarqué qu'un certain nombre de malades dialysés développaient ensuite des démences et des neuropathies périphériques. On a fait des dosages et trouvé trop d'aluminium. Donc effectivement, à des taux trop élevés, l'aluminium peut entraîner des démences ou des neuropathies. On a cru que c'était la perfusion qui apportait trop d'aluminium, or c'était simplement le fait que lorsqu'on a une insuffisance rénale et qu'on a une hypercalcémie, cette hypercalcémie fait qu'on absorbe l'aluminium présent dans l'alimentation.

Nous mangeons tous de l'aluminium, mais en principe, nous ne l'absorbons pas, nous l'éliminons. Cependant, dans un certain nombre de cas, malheureusement, nous l'absorbons quand même. Nous, médecins et neurologues, pensons qu'il serait souvent utile de faire un dosage d'aluminium, comme d'ailleurs de sélénium, de zinc, de cuivre... Certes, ces dosages ne sont actuellement pas pris en charge par la sécurité sociale parce que cela reviendrait trop cher, mais nous espérons que nous pourrions en faire davantage car c'est le seul moyen de savoir si nous avons des taux trop élevés ou trop bas.

Question :

Je souhaiterais revenir sur le rôle du sélénium dans les cancers puisque, apparemment, il semble être un des éléments les plus importants pour prévenir les cancers. Je voudrais revenir au mécanisme de base afin de bien comprendre. En cas de carence, une enzyme, la glutathion

peroxydase, a une activité pour produire un excès de radicaux libres. Qu'appelle-t-on les radicaux libres et quel est leur rôle ? Dans le processus, ces radicaux libres semblent agir sur l'ADN viral, pourriez-vous un peu mieux expliquer le mécanisme d'ensemble ?

M. Rabache :

On appelle effectivement cette enzyme la glutathion peroxydase séléno-dépendante parce qu'elle ne fonctionne que s'il y a du sélénium.

Le sélénium et les métaux, d'une manière générale, jouent un rôle dans le système de protection contre ce que nous appelons l'agression oxydante. Qu'est ce que l'agression oxydante ? Vous partez de l'oxygène de l'air que vous respirez, qui subit un processus d'activation et devient un ion superoxyde, qui va subir divers sorts. Il va être pris en charge par de la sulfoxyde dismutase, enzyme également médiée par des éléments métalliques (zinc, cuivre), ensuite par de la superoxyde dismutase à manganèse qui va transformer cet ion superoxyde en eau oxygénée. L'eau oxygénée va être prise en charge par une catalase à fer, qui va décomposer cette eau oxygénée en eau et restituer l'oxygène. C'est tout un mécanisme de défense contre la production de radicaux, à partir de l'espèce réactive de l'oxygène puisqu'il a perdu un électron et qu'il est sous la forme O_2° .

Dans la décomposition d' H_2O_2 , interviennent le fer ferreux et le fer ferrique qui, eux, vont transformer une partie de cette eau oxygénée en OH° (radical hydroxyle), qui est probablement l'élément le plus toxique qu'on connaisse, et qui va agresser l'ensemble des cellules, des membranes cellulaires avec risque d'altération des acides gras poly-insaturés, etc. Donc cet élément hydroxyle OH° est un élément extrêmement oxydant qui, en principe, doit être totalement minimisé dans la cellule, ce qui se fait grâce à tous les systèmes de défense métallo-dépendants qui empêchent sa formation (cuivre, zinc, manganèse, fer, et sélénium au travers de cette glutathion peroxydase séléno-dépendante qui va contribuer à transformer l' H_2O_2 en eau et en oxygène).

On observe, dans toutes les grandes pathologies, dont les cancers, une augmentation de production de ces radicaux hydroxyle. C'est la raison pour laquelle on pense que le sélénium est un très bon facteur de prévention de la formation des cancers.

Un autre aspect qui nous intéresse tous est celui du vieillissement cellulaire. Au cours du vieillissement, ces enzymes perdent un peu de leur activité et nos systèmes de défense face à la production spontanée des OH° faiblissent au cours du temps. C'est tout le mécanisme de l'agression oxydante qui est en partie responsable de ce vieillissement, d'où le rôle fondamental du sélénium. Tant qu'il y a équilibre entre les systèmes de défense et la production d'espèces réactives de l'oxygène, il n'y a pas d'agression oxydante. On parle d'agression oxydante quand apparaît un déséquilibre, ce qui se produit lorsque ces systèmes de défense ne vont plus fonctionner comme il faut, lorsqu'il

y a une intoxication ou une absorption de métaux lourds, qui ont une affinité totalement exagérée pour les composés thiol (-SH), dont le groupement glutathion ; il s'agit en premier lieu du plomb, du mercure, du cadmium, qui sont trois éléments qui vont entraîner une déplétion de l'organisme en glutathion peroxydase et donc attaquer les défenses et permettre la production de peroxydes, qui vont altérer l'organisme de diverses façons.

N. Milion :

J'en reviens à ce qui a été dit tout à l'heure. Doit-on se jeter sur des comprimés et prendre préventivement du sélénium, du fer, du cuivre, du zinc ?

M. Rabache :

Je n'ai pas une grande expérience de ce qui se passe lors des traitements des personnes qui pourraient peut-être avoir des déficiences en sélénium. Néanmoins, j'attire votre attention sur le fait que, si le sélénium est un élément extrêmement important dans ces équilibres que je viens de décrire, son excès, même faible, devient très vite toxique. Il faut donc être extrêmement prudent avec ces éléments indispensables à la vie à faible dose, mais qui, si l'on provoque un déséquilibre dans leurs apports, peuvent inverser complètement la situation.

Je sais très bien qu'à l'heure actuelle, et compte tenu de ce qui a été dit précédemment, on observe plutôt des problèmes de carence ou des problèmes d'insuffisance en sélénium, mais les excès et les intoxications nous guettent. Tous ces éléments doivent rester sous un contrôle quantitatif très strict.

N. Milion :

D'où l'utilité des dosages.

G. Chazot :

Dans le cas des maladies dégénératives, nous avons fait, à Lyon, un dosage de sélénium chez 80 malades atteints de maladie de Parkinson : 60 % d'entre eux présentaient un taux inférieur à 60 µg/l, ce qui est le taux normal minimum en France. Aux États-Unis, ce taux dit normal est de 95 µg/l, ce qui veut dire que, pour que cette glutathion peroxydase agisse au maximum, qu'elle nous protège, il faut un taux de 95 µg/l de sélénium.

C'est la raison pour laquelle, en thérapeutique, on prescrit du sélénium en oligosol pour compenser le faible taux de sélénium des malades. Toutefois, on ne peut pas en prendre indéfiniment sans surveillance et il convient de refaire un dosage au bout de deux ou trois mois pour savoir si le taux nécessaire n'a pas été dépassé.

N. Milion :

Nous avons beaucoup évoqué les éléments trace bénéfiques à notre métabolisme, mais j'aimerais que nous nous intéressions maintenant aux éléments trace toxiques. Le XX^e siècle a-t-il été le siècle de la pollution des sols ou

peut-on remonter plus loin historiquement et se dire que ces pollutions ont toujours été présentes ?

D. Tessier :

Nous pouvons dire que les pollutions ont toujours été présentes. En fait, le cuivre que nous avons accumulé dans les sols il y a 2 000 ou 3 000 ans s'y retrouve aujourd'hui. La grande différence entre les métaux lourds et, par exemple, les nitrates, réside dans le fait que les nitrates polluent les eaux - c'est le résultat d'une activité biologique annuelle -, mais les métaux lourds restent retenus par les sols pendant une période extrêmement longue, plusieurs milliers d'années, c'est certain.

La question est de savoir si ces éléments sont mobiles ou non. Ils peuvent être présents en quantités très importantes et n'être pas pour autant mobiles. Donc ce qui compte n'est pas tant la teneur globale, mais leurs conditions actuelles de mobilité. S'ils ne sont pas assez mobiles il y a aura carence, même dans des sols où il y a en a beaucoup ; s'ils sont trop mobiles, il y aura toxicité.

N. Milion :

Etes-vous partisan de cette théorie qui revient dans tous les articles que j'ai pu feuilleter, la *chemical time bomb*, bombe à retardement chimique, qui veut qu'à la fin du XXI^e siècle, cette présence d'éléments trace dans les sols va devenir de plus en plus importante et finir par être problématique ?

D. Tessier :

Je pense que cela dépend des situations.

Dans les sols agricoles relevant de l'agriculture intensive, il n'y a pas eu tellement de pollution par les métaux. On y a certes apporté des phosphates, du cadmium, on y a chassé et apporté du plomb via les plombs de chasse.

Les choses sont plus inquiétantes là où l'on apporte des lisiers parce que, dans l'alimentation du porc, on ajoute du zinc et du cuivre. Dans les régions d'agriculture hors sol, les quantités de matières organiques contenant du zinc et du cuivre sont importantes. En fait, c'est aussi là où les sols ont un pouvoir tampon faible, c'est-à-dire qu'il ne faut pas grand chose pour que les éléments deviennent mobiles. Là est peut-être la bombe à retardement. Je dirais, par exemple, que la zone d'épandage de Pierrelaye auprès de la ville de Paris, est dans ce cas.

N. Milion :

Pourtant, j'ai lu un article de Dominique Voynet, en date du 5 juillet 2000, qui disait : «L'épandage agricole des boues d'épuration est économique et environnementalement pertinent.»

D. Tessier :

Je pense qu'elle a raison quelque part. Depuis quelques années, les améliorations dans la qualité des boues

sont extraordinaires. La qualité des boues de stations d'épuration des villes est bien meilleure qu'elle n'était il y a 20 ans, où l'on y trouvait pas mal de cadmium et de mercure des piles. Donc la situation s'est bien améliorée.

La question est de savoir si les agriculteurs sont prêts à accepter des boues. Or ils sont extrêmement réticents, en particulier parce que les industriels des légumes sont très vigilants sur le fait qu'il n'y ait pas de métaux dans les sols et donc pas de contamination des produits végétaux. Mais l'utilisation de ces boues pourrait se justifier.

N. Milion :

Y a-t-il d'autres solutions ?

D. Tessier :

Le problème existe là où il y a une forte concentration. Si l'on arrive à un système d'agriculture qui permette de redistribuer les effluents sur l'ensemble du territoire, ce sera certainement mieux. Mais ce qui est fait est fait...

M. Rabache :

Je voudrais apporter une nuance à ce que vous venez de dire en ce qui concerne l'utilisation des boues, puisque j'ai eu à intervenir directement sur ces sujets dans la région marseillaise, où ces questions d'incinérateurs, d'épandages, etc., se sont posées. Personnellement, je serais plus réservé. Je pense qu'avant de prendre la décision d'épandre ou non des boues quelque part, il est souhaitable que les stations d'épuration connaissent leurs produits en termes de contenu. C'est intéressant pour les communes en cause parce que cela permet quelquefois d'identifier des contaminations non soupçonnées : l'analyse peut révéler la présence de produits régulièrement utilisés, par exemple, dans une tannerie artisanale, avec des conséquences sur la qualité des boues. Je suis donc réservé sur l'épandage. J'ai travaillé sur Achères et sur Colombes et le contenu des boues d'épuration n'étaient pas les mêmes en termes de résidus, notamment en produits organiques biopersistants - les hydrocarbures aromatiques polycycliques étaient en quantité beaucoup plus importante sur Achères que sur Colombes. Ces différences viennent simplement des bassins de collectage des eaux résiduelles. Tout cela est donc à prendre avec prudence et il faut éviter de se lancer trop vite dans une solution qu'on risque de regretter.

Question :

Les agriculteurs du Haut-Rhin ont formé deux sociétés de compostage de boues de stations d'épuration, c'est-à-dire qu'ils transforment 5 000 tonnes de boues en provenance de stations d'épuration intercommunales en 3 000 tonnes de compost en les mélangeant avec des rebuts de criblage de déchets verts, et ils utilisent ce compost en épandage agricole. Ce procédé semble séduisant mais, en qui concerne les éléments trace métalliques, qu'en pensez-vous ? Les métaux demeurent, même en les mélangeant avec des déchets verts !

D. Tessier :

Si ces déchets verts proviennent du bord de routes qui ont reçu pendant des années du plomb provenant des tuyaux d'échappement des voitures, ils seront pollués au plomb.

Par ailleurs, les eaux provenant des villes peuvent aussi poser problème. Par exemple les gouttières en zinc des toits parisiens contiennent du cadmium. Et, il y a quelques années, les vis cadmiées étaient ce qu'on faisait de mieux pour éviter l'oxydation. Tout cela se retrouve un peu partout sur nos clôtures, sur nos toits, etc., et à un moment ou à un autre, cela arrive dans les stations d'épuration.

Il est exact que le compostage permet de diminuer les quantités présentes. Mais, par exemple, à quelques centaines de mètres d'un élevage de porcs, on trouve des quantités très importantes d'ammoniac qui sont dégagées. L'ammoniac se décompose du fait de l'activité biologique, et l'on a une très forte acidification des sols au voisinage de ces élevages. Donc, quelque chose qui n'est pas normalement mobile dans un environnement global, au voisinage de l'élevage, parce qu'on a une acidification des sols, devient beaucoup plus mobile. En concentrant les choses, on a tendance à accumuler - c'est le cas dans les composts -, mais c'est vraiment la qualité des produits de départ qui reste importante. Et il faut faire une analyse complète et pas seulement celle du compost.

N. Milion :

Et pourtant, c'est bien la concentration dans les boues qui est retenue comme critère aujourd'hui.

D. Tessier :

Non, ce n'est pas seulement la concentration, mais c'est la biodégradation potentielle de ses produits.

N. Milion :

C'est ce que le scientifique que vous êtes retient, mais pas la loi.

D. Tessier :

Effectivement.

Question :

Une étude de l'Office parlementaire des choix scientifiques et technologiques a porté sur les teneurs en métaux lourds (plomb, cadmium et méthylmercure) des poissons de l'hémisphère Nord. Avez-vous connaissance d'une étude similaire sur les poissons de l'hémisphère Sud ?

M. Rabache :

Je ne peux pas répondre précisément à cette question. On sait que dans l'hémisphère Nord, on trouve des bassins qui sont plus fortement contaminés que d'autres. On sait que les poissons de la Méditerranée, notamment le thon rouge, sont très en cause encore à l'heure actuelle ; pour les gros consommateurs de thon rouge de Méditerranée,

on atteint des taux qui, sur le plan de la toxicose, posent problème. Le Département fédéral suisse estime qu'on devrait limiter en France la consommation de thon rouge venant de la Méditerranée à une fois par mois au plus. Le même thon rouge des océans de l'hémisphère Nord n'a pas du tout le même taux de contamination. La mer Méditerranée a un niveau d'échange avec son environnement plus réduit du fait de la structure même de la mer, et donc probablement une contamination plus stagnante.

Nous rencontrons le même problème dans la Baltique, où les poissons sont très fortement contaminés en dioxine ; on prévoit qu'il faudra une décontamination d'un siècle et demi pour avoir des poissons qu'on pourra consommer de nombreuses fois sans problème.

N. Milion :

Pourquoi l'ACIA, Agence canadienne d'inspection des aliments, la «sœur» de l'AFSSA, conseille-t-elle de limiter à une fois par semaine la consommation d'espadon, de requin et de thon frais et congelés, et à une fois par mois chez les jeunes enfants et les femmes en âge de procréer ? Pour quelle raison n'avons-nous pas ces recommandations en France ? Question de commerce ?

M. Rabache :

Oui bien sûr, cet aspect est important. Ce sont des bassins de production et donc des emplois sous-jacents, et il est donc évident qu'il existe des considérations diverses. Je crois néanmoins que l'AFSSA n'entre pas dans ces considérations quand elle prend des décisions. Le problème de l'AFSSA, comme de beaucoup de nos organismes, est qu'on a actuellement en France un nombre extrêmement limité d'experts, voire un défaut d'experts, ce qui est catastrophique. Il y a beaucoup de commissions internationales dans lesquelles nous n'avons plus de représentant français en toxicologie. J'ai démissionné de l'AFSSA en juillet et je n'ai pas été remplacé dans le cadre des commissions européennes auxquelles je participais, pour la simple raison qu'il n'y a plus d'experts en toxicologie. Nous allons donc payer très lourdement les défauts que nous avons connus dans nos formations passées.

Question :

Quand on entend tout cela, comment devrait-on vivre, comment ramener les choses à un juste équilibre afin que nous puissions vivre comme dans le temps où l'on ne se souciait pas de tout cela ? Mais comme nous sommes de plus en plus nombreux, il en faut de plus en plus, et c'est donc un cercle vicieux. Comment peut-on arriver à revivre normalement ?

M. Rabache :

J'ai toujours regret de parler du «dans le temps» parce que cela ne veut pas dire grand chose. Il existe aujourd'hui un certain nombre de problèmes qui apparaissent et qu'on identifie, dont certains existaient avant et étaient peut-être pires, mais qu'on ne soupçonnait pas.

Des avancées importantes ont été faites dans le domaine de la sécurité des aliments, et ce n'est pas parce qu'on soulève des problèmes aujourd'hui que ces problèmes n'existaient pas auparavant, mais cela signifie que nous n'acceptons plus un certain nombre de situations.

Il faut avoir conscience que la période n'est pas la même ; on va beaucoup plus loin en termes d'analyse, de connaissance de nos produits, et l'on a aussi une exigence beaucoup plus forte en termes de sécurité.

J'ai vécu à la campagne quand j'étais jeune et les porcs y étaient élevés en liberté. Je ne vous dis pas ce que ces porcs pouvaient consommer, mais aujourd'hui nous ne l'accepterions pas car l'exigence hygiénique des élevages est beaucoup plus élevée qu'auparavant.

En revanche, nous rencontrons des problèmes de dérives sur le plan de l'alimentation, et sur des questions que nous ne maîtrisons pas toujours bien. L'objectif pour demain est de parvenir, quand on prend connaissance des problèmes, à les résoudre. Le problème du thon de Méditerranée n'est pas un problème nouveau. Il s'est posé depuis très longtemps puisque les rejets dans les mers se sont succédé depuis des années.

Un autre problème étudié par l'AFSSA est celui de la contamination des huîtres du bassin d'Oléron par le cadmium. Le cadmium provient des bassins de Decazeville, c'est-à-dire des terrils qui ont été élevés au début du XIX^e siècle - lorsqu'on extrayait l'étain, on laissait le cadmium dans le sol. Les pluies provoquent une libération progressive du cadmium, qui circule dans la Garonne et vient contaminer tout le bassin d'Oléron. Les niveaux de cadmium résultant de cette contamination sont un peu plus élevés que ceux des élevages d'huîtres d'autres régions. Mais même des taux encore plus élevés de cadmium dans les huîtres ne posent pas de problèmes de santé publique, sans quoi l'AFSSA aurait été amenée, comme le Conseil supérieur d'hygiène publique avant l'AFSSA, à fermer les bassins de production, avec tous les problèmes économiques que cela aurait posé. On ne l'a pas fait parce qu'objectivement, ces niveaux de cadmium ne causent pas de problèmes de santé, même s'il est souhaitable de les ramener à des niveaux plus bas. Pour le moment, nous sommes absolument inopérants, sauf à déplacer les anciens terrils ; et l'on sait qu'il faudra un siècle et demi avant que tout ait été véritablement «nettoyé».

Question :

Pourriez-vous en dire plus sur les relations entre l'acidité du sol et la mobilité des oligoéléments ? Cela joue-t-il à la fois pour les bons oligoéléments et pour les mauvais ? Quelle est la cause du changement de l'acidité du sol ? Sont-ce les pluies acides ? Y a-t-il un rapport entre l'argile et ces questions ?

D. Tessier :

L'origine de l'acidification est multiple. D'abord, dans tous les pays du monde où la pluviométrie est supérieure

à l'évapotranspiration, les sols s'acidifient progressivement parce que l'eau est chargée en gaz carbonique ; il y a une dissolution des carbonates dans les sols et ensuite un lessivage c'est-à-dire le départ des cations majeurs (calcium, magnésium et potassium), et à la fin, il ne reste plus grand chose et c'est l'aluminium qui devient mobile.

Une autre raison qui provoque l'acidification - c'est d'ailleurs la principale raison -, est l'activité biologique. Je vous donnerai l'exemple d'une expérience réalisée à l'INRA Versailles, où, depuis 75 ans, on apporte chaque année, sur des parcelles, un engrais ou un amendement. En apportant des engrais du type nitrate d'ammonium à des doses qui sont celles que l'agriculteur utilise, on est passé d'un pH 7 à un pH d'environ 3,5. Il a fallu environ 10 ans pour arriver à ce pH, et c'est à peu près ce que nous trouvons dans les forêts françaises, là où l'on n'a jamais amendé ni fertilisé.

Les rejets par les racines des plantes peuvent être aussi en cause : quand une plante « pond » un cation, elle rejette un proton, ce qui est une source d'acidification.

Je serais tenté de dire que le sol fonctionne en milieu oxydant et que tout va vers l'acidification ; plus on le fait fonctionner vite, plus il tend à devenir acide.

Quelle est la relation avec la mobilité des éléments ? Si l'on prend les cations majeurs (calcium, magnésium, potassium), ils sont toujours reliés aux argiles et aux matières organiques par des liaisons électrostatiques, c'est-à-dire qu'ils sont toujours très mobiles. Avec les métaux lourds, ce n'est pas la même chose parce qu'ils sont retenus par les sols principalement par des liaisons covalentes. En fait, c'est quand le pH du sol est abaissé que l'état chimique du métal change et que l'élément est rendu mobile.

Chaque élément a des caractéristiques différentes, c'est-à-dire que le domaine de mobilité ne correspond pas au même pH suivant qu'on a affaire à du zinc, du plomb ou du cuivre ; bien entendu cela n'est pas lié aux mêmes constituants c'est-à-dire, par exemple, à la matière organique, aux oxydes ou aux argiles.

N. Million :

J'aimerais que vous nous racontiez brièvement l'histoire que vous m'avez narrée en préparant ce débat : comment un sol inoffensif peut devenir tout d'un coup un sol toxique, ou l'histoire des moutons qui paissent sur un terrain où il y avait des vignes.

D. Tessier :

Depuis les années soixante/soixante-dix, on a donné, dans des zones où les terroirs n'étaient pas excellents, des primes à l'arrachage. Vous savez que pour traiter la vigne contre le mildiou, on apporte du sulfate de cuivre - de la « bouillie bordelaise ». Les terrains où pousse la vigne sont en général des terrains de mauvaise qualité, car, en gros, le vin est d'autant meilleur que la vigne souffre !

On avait donc remplacé la vigne, quelque part en Bourgogne, par une prairie de mauvaise qualité, où l'on avait mis des moutons à paître. Tout s'est bien passé pen-

dant une vingtaine d'années, et un beau jour, après un été chaud, est arrivé un automne chaud et humide, conditions dans lesquelles l'activité de biodégradation des matières organiques se trouve accélérée. Le résultat est que beaucoup de cuivre est passé dans l'eau du sol, puis dans les racines de l'herbe que les moutons mangeaient. Sur un troupeau de 400 moutons, 40 sont morts. Personne, y compris le vétérinaire, ne parvenait à comprendre ce qui avait pu se passer, jusqu'au jour où l'on s'est rendu compte que ces décès étaient dus au cuivre, qui est éminemment toxique pour les moutons alors qu'il ne l'est pas pour le porc.

Question :

Deux commentaires.

S'agissant du cadmium, je ne suis pas persuadé que le cadmium qu'on trouve dans les huîtres d'Oléron vienne de la région de Decazeville ; je pense plutôt qu'il vient de la Montagne Noire et des mines de Saint-Salvi, qui étaient les principales mines productrices de zinc, germanium et cadmium, et qui ont été exploitées pendant plus d'un siècle.

Il existe aujourd'hui des moyens de recyclage de sols et de friches industrielles. Des travaux très pertinents sont menés par le CREGU (Centre de recherches sur la géologie des matières premières minérales et énergétiques) et le CNRS-CRPG (Centre de recherches pétrographiques et géochimiques) de Nancy, où l'on parvient à éliminer la totalité des métaux résiduels de friches industrielles, minières, en une dizaine d'années, en faisant pousser certains types de plantes. On peut donc arriver à recycler entièrement des sols de façon efficace.

M. Rabache :

Je ne localise pas exactement et précisément l'origine du cadmium, mais c'est celle qui a été évoquée dans des études faites à l'époque sur le relargage du cadmium de ces terroirs de Decazeville. Nous subissons encore aujourd'hui ces problèmes d'arrivées de cadmium de ces anciennes mines d'exploitation, quelles qu'elles soient. Ce que je voulais souligner, c'est qu'auparavant, on ne se préoccupait pas de ces problèmes, qui, aujourd'hui, arrivent sur le devant de la scène, d'où l'importance de bien évaluer une mesure avant de la mettre en œuvre puisqu'elle pourrait peut-être nous entraîner dans des situations plus catastrophiques.

D. Tessier :

La seconde partie de la question est de savoir si la phytoremédiation est opérationnelle. A ma connaissance, non. Il y a un certain nombre de plantes qui accumulent des métaux et qui se sont adaptées sur des terroirs extrêmement anciens - je pense à des terroirs datant de plusieurs milliers d'années en Espagne. Mais le problème est aussi de savoir ce qu'on va faire de ces résidus végétaux après avoir accumulé les métaux. Par ailleurs, les quantités prélevées sont quand même très faibles chaque année, com-

parées aux stocks. A ma connaissance, on n'a pas encore trouvé la solution qui permette d'éliminer les métaux sur des sites fortement pollués.

N. Milion :

J'ai eu également connaissance de ces travaux à Nancy ; des tests sont faits en grandeur réelle et cela semble fonctionner. En l'espace d'une dizaine d'années, on parvient à éliminer la totalité de certains métaux de zones données.

Question :

«De notre temps», en France, nous étions 42 millions d'habitants ; aujourd'hui, on nous annonce 60 millions mais ce sont certainement 65 millions. La planète comptait alors 2 à 3 milliards d'habitants ; on nous dit que, dans 10 ans, nous serons 20 milliards. Qu'allons-nous devenir ? Nous sommes obligés d'intensifier les cultures, de mettre en batteries, pour nourrir tout ce monde. Le commandant Cousteau a passé sa vie à faire des conférences autour du monde pour dire que la démographie était le principal fléau de la planète, mais personne ne le suit.

Ma seconde question concerne les déchetteries, avec les rejets toxiques qui retombent sur les champs.

D. Tessier :

La densité de population en France est relativement faible (à peu près à 100 habitants/km²) et bien inférieure à celle de tous les pays voisins. Nous avons de l'espace comparativement à beaucoup de pays, et n'oubliez pas non plus que nous possédons, dans l'Europe des quinze, 40 % de la surface agricole. Donc, il ne faut pas dire que la France manque de territoire. C'est tout autre chose en Asie.

Maintenant, tout dépend de ce qu'on mange. Par exemple, pour produire 1 g de blé, il faut à peu près 500 g d'eau. Ce qui signifie que lorsque vous achetez 1 kg de pain chez le boulanger, il a fallu 500 l d'eau pour le produire. Supposons que, du jour au lendemain, tout le monde se mette, non plus à manger des céréales, mais à manger de la viande. Pour produire 1 kg de viande, il faut à peu près 4 kg de céréales, c'est-à-dire que lorsque vous achetez 1 kg de viande, il a fallu 2 m³ d'eau.

Donc notre société se trouve face à des défis. Si les Chinois se mettent à manger beaucoup plus de poulet, il va falloir multiplier la production de céréales. Donc il ne faut pas considérer uniquement la population, mais aussi la façon dont cette population va se nourrir.

Question :

Je regrette que M. Rabache soit parti parce qu'il avait soulevé la question des spécialistes et des personnes capables de connaître et de faire progresser nos connaissances, et éventuellement d'avoir un avis et de devenir experts dans ce domaine. Dans notre petit pays ou à l'échelle de l'Europe, y a-t-il actuellement assez de ressources intel-

lectuelles mises en œuvre pour étudier toutes ces questions, ou bien avez-vous l'impression que nous sommes à la traîne et que nous ne faisons pas notre travail ?

G. Chazot :

Il y a de plus en plus de personnes qui travaillent dans ce domaine des éléments trace, en chimie, pharmacologie, épidémiologie ou agriculture. C'est donc un domaine qui se développe de plus en plus parce qu'on commence à se rendre compte qu'il a beaucoup plus d'importance qu'on ne pensait. Je crois que nous sommes donc dans une phase de développement, qui permettra de prendre des mesures de protection.

Pour en revenir aux risques liés à la consommation de certains poissons, l'AFSSA, depuis un an, conseille aux femmes enceintes de limiter leur consommation de poisson afin de protéger leur bébé d'une exposition au mercure. Des recommandations sont faites régulièrement, mais il faut travailler toujours plus.

Question :

Vous avez parlé de l'acidification des sols. Après la guerre, le remembrement s'est traduit par la suppression de tous les arbres ou presque pour faire de la culture ; mais si les plantes acidifient le sol, bientôt on ne pourra plus cultiver parce les sols seront trop acides - c'est surtout dans l'argilo-calcaire que la culture est faite. Et l'on replante maintenant des arbres.

D. Tessier :

Ce ne sont pas les sols agricoles qui sont en danger, mais les sols forestiers car c'est là que vous avez l'acidification, en France. Je vous donne l'exemple des Vosges, où mes collègues de Nancy ont fait des études sur les eaux issues des sols. Dans certaines rivières des Vosges, il n'y a plus de poissons, non pas en raison de l'activité industrielle, mais simplement parce que les sols sont si acides, sur des grès, et contiennent tellement d'aluminium, que cela devient toxique pour les poissons. Donc une question importante se pose : doit-on chauler les forêts ?

L'intervenante :

Les forêts donnent pourtant de l'oxygène.

D. Tessier :

Il n'existe pas en France de forêt naturelle. Nous avons des forêts plantées, essentiellement les forêts domaniales dans le nord de la France, et, dans le sud de la France, des forêts qui proviennent de l'exode rural et de l'abandon des sols par l'agriculture - c'est là que se produisent les feux de forêts parce que c'est une forêt qui n'est pas gérée.

En fonction du type d'agriculture qu'il y a eu il y a 2000, 500 ou 200 ans sur les forêts plantées, on observe que les phénomènes de toxicité aluminique ne sont pas du tout les mêmes. Ce qu'on voit aujourd'hui est le résultat de pratiques qui se sont succédé au cours de l'histoire.

N. Milion :

Vous avez dit qu'il fallait que les femmes enceintes limitent leur consommation de poisson.

Certains vins contiennent des niveaux de plomb qui seraient nocifs dans l'eau, mais le métal se combinant au tanin, il n'est pas métabolisé. Donc buvons du vin plutôt que de l'eau !

Question :

Quelle importance donnez-vous aux connaissances des homéopathes sur la toxicité et les faibles doses, sur les dilutions et les dynamisations ?

G. Chazot :

Je ne connais pas de toxicité aux médicaments homéopathiques. En connaissez-vous ?

L'intervenante :

Il s'agit de l'élimination des métaux toxiques par des produits homéopathiques par exemple, ou de connaître les différents effets par l'observation des doses homéopathiques qui donnent des renseignements sur la façon dont les individus réagissent. Ce n'est pas suffisamment connu dans le milieu scientifique. Je suis physicienne et je cherche à établir ce lien, c'est la raison pour laquelle je vous pose cette question. A Bordeaux par exemple, des recherches sont faites sur l'élimination de métaux toxiques, cadmium par exemple. Il y a eu également des recherches sur l'arsenic, qui peut être éliminé par certains produits homéopathiques comme le phosphore.

G. Chazot :

Je ne sais pas vous répondre.

Question :

Je voudrais faire d'abord un commentaire sur les remarques de la personne qui faisait référence au passé en suggérant que c'était alors beaucoup mieux. Il faut constater que la mortalité, dans les pays riches en tout

cas, a singulièrement diminué ; on vit de plus en plus vieux, donc les choses ne se passent pas si mal. On nous rebat les oreilles avec le plomb, le mercure, etc., mais finalement la population se porte bien et la raison en est que des personnes comme vous qui venez présenter des exposés aujourd'hui ont la possibilité de regarder les choses d'une manière un peu plus technologique et technique qu'il y a 50 ans.

Quand on a une carence en oligoéléments, très souvent les homéopathes vous prescrivent des petits granules qui représentent des traces de traces. Et vous nous avez indiqué qu'il y avait un rapport massique entre l'oligo-élément et la masse corporelle. Je voudrais avoir votre avis sur les traces de traces de l'homéopathie et du bien-fondé de cette thérapeutique, qui est un sujet de controverse et de polémique par ailleurs.

G. Chazot :

L'homéopathie ne donne pas d'oligoéléments ou éléments trace à titre homéopathique. Les éléments trace sont utilisés en allopathie car on en donne une certaine quantité. Mais, en pratique courante, un médecin homéopathe prescrit à la fois de l'homéopathie et des oligosols. Ce sont donc deux points différents, et ce n'est pas l'homéopathie qui apporte des oligoéléments. Je n'ai jamais vu d'éléments trace sous forme homéopathique.

L'intervenant :

Pourtant lorsque l'homéopathe me prescrit ces petits granules, il est inscrit en toutes lettres sur le tube : Zn ou Cu, et j'absorbe donc bel et bien du zinc ou du cuivre.

G. Chazot :

Il ne s'agit pas de granules homéopathiques mais de granions d'oligothérapie, qui relève de l'allopathie.

N. Milion :

Merci beaucoup pour ce débat passionnant. Merci, mesdames et messieurs, pour votre intérêt.