

Risques liés à l'alimentation (1)

Les risques toxicologiques

Points à comprendre

► L'essentiel de la réglementation mise en place dans le domaine alimentaire au cours du siècle dernier a cherché à limiter au maximum la présence dans les aliments de contaminants qui pourraient être néfastes pour la santé de l'Homme.

► En dehors d'accidents sanitaires, les niveaux de contamination par des toxiques dans l'alimentation disponible en France sont très faibles : le calcul théorique du nombre de décès (par cancer notamment) ou de malades attribuables à la persistance de ces doses faibles est fondée sur des modèles linéaires simples, alors qu'on ignore encore beaucoup de choses sur les questions de seuil, d'effets cumulatifs, de synergie ou d'antagonismes entre ces composés.

► L'évolution des connaissances sur les modes d'action très divers des toxiques conduit à ne plus restreindre l'étude de leurs effets à la carcinogenèse, mais à l'élargir aux effets sur de nombreux systèmes : hormones et reproduction, immunité, cognition, défense anti-oxydante, système cardio-vasculaire... De ce fait, l'évaluation toxicologique d'une molécule devient de plus en plus difficile, alors même que le nombre de molécules nouvelles présentes dans l'environnement puis dans nos aliments s'accroît.

A savoir absolument

En France, la première loi de sécurité sanitaire concernant les aliments date du 1^{er} août 1905 ; son décret d'application le plus important date de 1912 et crée la notion de liste positive, stipulant que tout ce qui n'est pas explicitement autorisé ne peut pas être ajouté dans les aliments. Par la suite, une grande partie de la réglementation a cherché à réduire au maximum la présence dans les aliments de composés potentiellement néfastes pour la santé. Au fur et à mesure de l'évolution des connaissances et des concepts, et particulièrement après 1945, plusieurs outils ont été développés dans ce but :

- la DJA, ou dose journalière admissible, concerne les molécules ajoutées intentionnellement dans les aliments pour obtenir un effet précis sur la conservation, la texture,

la couleur, le goût... L'évaluation des additifs est un processus long et difficile, se déroulant à l'heure actuelle au niveau européen, requérant un dossier aussi volumineux que celui nécessaire à la délivrance de l'autorisation de mise sur le marché d'un médicament : il faut démontrer aussi bien la nécessité d'utiliser un additif que l'efficacité pour le but recherché et l'absence de risque immédiat ou différé pour la santé. L'autorisation est accordée pour une dose et une catégorie de produits définis. Quelques additifs particulièrement sûrs ont une DJA non spécifiée ; ils sont alors classés sur une liste appelée « inventaire » et leur utilisation dans de nouveaux aliments ne requiert pas d'autorisation particulière. La dose utilisable est dite « quantum satis », dose nécessaire et suffisante pour obtenir l'effet recherché. Les additifs autorisés sont régulièrement réévalués en fonction de l'évolution des connaissances ;

- la DJT, dose journalière tolérable, ou la DHT, dose hebdomadaire tolérable, est utilisée pour les composés dont la présence dans l'alimentation n'est pas souhaitée, mais inévitable, notamment pour des raisons de contamination de l'environnement. Cette dose est extrapolée le plus souvent à partir d'études sur les animaux, quelquefois à partir de données sur l'Homme obtenues lors de catastrophes écologiques. On détermine la dose maximale sans effet (NOAEL, no observable adverse effect level) ou la dose minimale ayant entraîné un effet néfaste (LOAEL, lowest observable adverse effect level). Cette dose est divisée par des facteurs empiriques de sécurité, au minimum de 100 : 10 pour l'extrapolation de l'animal à l'Homme, 10 pour prendre en compte la diversité à l'intérieur de l'espèce humaine et la durée de vie. Des facteurs plus élevés peuvent être utilisés, notamment lorsque les molécules sont mutagènes ou génotoxiques. La détermination de la valeur finale prend en compte le régime alimentaire global, incluant les différentes sources possibles du contaminant, soit par l'utilisation d'un « régime type », soit de façon plus précise par simulation de l'exposition utilisant des données de consommation réelles représentatives de la population française. Ces évaluations sont conduites au niveau international sous l'égide de l'OMS, au niveau européen ou au niveau français (Afssa) ;

- la LMR, ou limite maximale de résidu, concerne la quantité maximale tolérée dans un aliment précis ; elle découle

des évaluations précédentes et dépend en partie du niveau de consommation du produit considéré. C'est la valeur qui est utilisée lors des contrôles, pour rejeter ou non les lots de produits.

Les contrôles sont effectués en France par les services déconcentrés de la Direction générale de l'alimentation (DGA) du ministère de l'Agriculture et de la Pêche sur l'ensemble de la chaîne agroalimentaire, à l'exception des produits finis livrés aux consommateurs, qui sont contrôlés par les services dépendant de la Direction générale de la concurrence, de la consommation et de la répression des fraudes (DGCCRF). Outre des contrôles ponctuels en fonction des problèmes rencontrés, il existe des contrôles systématiques qui revêtent deux formes : les plans de surveillance, effectués par échantillonnage aléatoire, et les plans de contrôle, ciblés sur certaines catégories de produits considérés comme particulièrement à risque. Les résultats de ces plans sont régulièrement publiés par l'administration ; seuls les premiers donnent des résultats pouvant être considérés comme représentatifs de la situation réelle. Des dizaines de milliers d'analyses sont effectuées chaque année. Dans de nombreux cas, les taux de non-conformité (dépassement des LMR) sont inférieurs à 1 %.

Il existe naturellement de nombreux toxiques présents dans les produits animaux ou végétaux ; certains se comportent comme des facteurs anti-nutritionnels (chélateurs de minéraux, inhibiteurs d'enzymes, lectines...). De longue date, les espèces les plus toxiques pour l'Homme ont été éliminées de la consommation humaine, mais il persiste, chez les végétaux notamment, des dizaines de milliers de molécules différentes qui ne sont pas toutes aussi bien évaluées que les contaminants « vrais ».

L'origine des contaminants est extrêmement diverse :

- les contaminants pour lesquels une analyse bénéfice/risque peut être faite regroupent tous les « biocides » (insecticides, herbicides, fongicides, bactéricides...) et les médicaments vétérinaires, utilisés pour accroître la productivité et la qualité sanitaire des produits. Les contrôles à la source sont relativement bien maîtrisés par différents moyens : procédure d'autorisation des produits après évaluation toxicologique et d'efficacité, définition des modalités d'emploi, des délais avant abattage ou récolte, des limites maximales de résidu. Cette optimisation d'emploi fait partie des objectifs de l'agriculture raisonnée et de l'agriculture durable. Des méthodes alternatives à l'emploi de ces substances existent, notamment par l'agriculture biologique. Cette dernière répond à des cahiers des charges précis, en partie harmonisés au niveau européen, imposant une obligation de moyen, contrôlée régulièrement par des organismes agréés. Les pratiques culturales sont responsables de l'excès de nitrates (par les engrais azotés) et conditionnent aussi en partie le développement de champignons parasites responsables de la production de mycotoxines ;

- les contaminants résultant de l'utilisation frauduleuse de produits non autorisés pour des raisons diverses (activateurs de croissance, hormones...);

- les molécules résultant d'une contamination involontaire par le biais de l'environnement, liée la plupart du temps à l'activité humaine, notamment industrielle. La seule solution réside dans la diminution des émissions polluantes à la source. Chacun, par ses actes de consommation (pas seulement alimentaire) et son style de vie, porte une part de responsabilité dans cette pollution. Les composés les plus fréquemment mis en cause concer-

nent les PCB et dioxines, les métaux lourds, les hydrocarbures. On peut rattacher à la pollution de l'écosystème le développement des microalgues produisant des toxines qui seront retrouvées dans les produits de la mer (phycotoxines). L'interférence des données économiques avec les impératifs de santé publique conduit fréquemment à un mode de gestion appelé ALARA (as low as reasonably achievable), visant à réduire au maximum ces contaminants à un coût économiquement acceptable ;

- enfin, il existe des toxiques néoformés, résultant des traitements technologiques appliqués aux aliments. Les plus connus résultent des techniques de cuisson : composés de la réaction de Maillard, peroxydation lipidique, amines hétérocycliques et hydrocarbures aromatiques polycycliques. Les choix alimentaires et culinaires des consommateurs conditionnent en grande partie ce risque.

S'ajoutant à cette diversité des risques toxicologiques, plusieurs facteurs rendent de plus en plus complexes l'évaluation et la gestion de ces risques :

- le nombre de molécules potentiellement toxiques présentes dans l'environnement et susceptibles de se retrouver dans les aliments augmente régulièrement. Il n'est pas possible de tout évaluer *a priori*. Le concept de « seuil de considération toxicologique » (threshold of toxicological concern) se développe actuellement pour mieux maîtriser cette évaluation. Toutes les molécules chimiques se répartissent dans un nombre limité de classes structurales, pour lesquelles des données toxicologiques précises existent pour quelques représentants de ces classes. En fonction de ces données toxicologiques, on définit un seuil d'exposition humaine en dessous duquel le risque est considéré comme négligeable ou nul. Pour de nombreuses classes de composés, les instances internationales admettent qu'une consommation de moins de 1,5 µg par jour pour chaque molécule ne présente pas de risque inacceptable (risque inférieur à 10⁻⁵ : un cancer supplémentaire lié à ce produit pour 100 000 personnes). Cette méthode permet une meilleure gestion des ressources humaines et financières disponibles pour travailler davantage sur les molécules les plus dangereuses pour la santé ;

- le problème de l'effet à long terme sur la santé et au niveau d'une population des très faibles doses actuellement présentes dans les aliments est un problème difficile. En dehors des catastrophes sanitaires ou des intoxications professionnelles ou involontaires, il n'est pas possible d'attribuer spécifiquement à un composé une part de la morbidité ou de la mortalité constatée dans la population. Les chiffres avancés résultent la plupart du temps, sinon toujours, d'une extrapolation linéaire : connaissant la mortalité chez l'animal (ou l'Homme) à une dose donnée, on en déduit la mortalité humaine à une dose plus faible. L'utilisation de ces modèles mathématiques conduit à la notion de dose virtuellement sûre (DVS), différente de la DJA déterminée directement à partir de l'expérimentation. Cependant, cette extrapolation ne prend pas en compte la possibilité d'effets de seuil, liés par exemple aux possibilités de réparation de l'ADN ou aux moyens de défense sophistiqués de l'organisme. Il est encore plus difficile d'évaluer les effets cumulatifs sur les très longues périodes de la vie humaine, les possibilités de synergie ou, au contraire, d'antagonismes entre contaminants. Pour les métaux lourds, un problème analytique supplémentaire difficile s'ajoute, celui de la spéciation des métaux : les effets toxiques peuvent être très variables selon l'espèce chimique consi-

dérée pour ce métal. Le dosage du métal total (déjà difficile en lui-même aux très faibles doses) est alors insuffisant pour évaluer correctement le risque ;

- si l'accent a longtemps été mis sur le développement des cancers, plus facile à étudier, l'évolution des connaissances indiquent que des effets peuvent se produire sur de nombreux autres systèmes, compliquant l'évaluation : système hormonal et reproduction (d'où les études actuelles sur les « perturbateurs endocriniens » (endocrine disruptors) tels que dioxines et PCB, phyto-œstrogènes...); immunité, cognition, maladies cardio-vasculaires... Les doses néfastes d'un composé ne sont pas forcément les mêmes pour tous ces effets ;

- la question des conséquences économiques pour une partie des filières agroalimentaires est un problème socialement délicat à gérer, comme l'attestent les crises sanitaires récentes. Il s'ajoute la question des niveaux de sécurité différents mis en place par les pays, dont l'acuité s'accroît avec la mondialisation. La règle de l'organisation mondiale du commerce (OMC) est qu'on ne peut s'opposer à la libre circulation des produits qu'en prouvant leur danger pour la santé, la charge de la preuve étant pour celui qui s'oppose. Il faut aussi prendre en compte le coût des analyses, parfois hors de proportion avec la valeur marchande des produits ;

- le recul des limites de détection par les moyens analytiques modernes rend encore plus omniprésente la sensation de danger : quand les analyses détectent des teneurs de l'ordre de la picogramme (10^{-12}) ou de la femtogramme (10^{-15}), il est certain qu'on peut retrouver de tout dans tous les aliments. Avec la notion de seuil de considération toxicologique, cette remarque illustre la différence qu'il faut impérativement faire entre danger et risque : le danger étant défini comme ce qui peut, éventuellement, nuire à la santé humaine, les dangers sont omniprésents et innombrables ; mais il n'y a risque réel pour la santé humaine qui si l'exposition à ces dangers dépasse un certain seuil, quant à la dose et/ou au nombre de personnes concernées et/ou à la durée d'exposition. Pour les nutritionnistes, les risques les plus grands pour la santé humaine sont davantage liés aux déséquilibres trop fréquent de l'alimentation globale qu'aux traces infimes des multiples composés que l'on sait maintenant détecter (ce qui ne veut pas dire qu'il ne faut pas faire une analyse soigneuse de ces dangers et des risques éventuels qu'ils présentent !).

Points essentiels à retenir

► Si l'amélioration des connaissances indique que les dangers sont innombrables et omniprésents, les risques réels pour la santé publique et individuelle concernent un nombre relativement restreint de molécule et, globalement, l'alimentation est, sans commune mesure, moins dangereuse que l'utilisation de toxiques socialement acceptés comme le tabac et l'alcool.

► Pour la plupart de ces risques, la gestion est effectuée très en amont et le consommateur n'a pratiquement aucun rôle (d'où l'impression de subir qui participe à la genèse des crises sanitaires). Cependant, l'ensemble de ses choix de vie, individuel et collectif, a un retentissement sur le type de société qu'il désire et les conséquences logiques du type de société choisi.

► Il reste quelques cas où le consommateur peut exercer une gestion directe. Parmi les exemples les plus nets : remplacement des tuyaux de plomb de son logement, diversification des espèces de poissons (mercure), limitation des traitements trop drastiques des aliments (hydrocarbures aromatiques polycycliques), limitation de consommation du foie de cheval (cadmium).

Pour approfondir

Les toxiques naturellement présents dans les aliments

Le fait que certaines plantes ou animaux soient classés comme toxiques et donc non comestibles est connu de longue date. Il arrive toujours cependant des accidents plus ou moins graves par empoisonnement accidentel ou volontaire : les champignons viennent en tête dans nos pays ; ailleurs, il peut s'agir par exemple de neurotoxines de certains poissons ou coquillages tropicaux.

De nombreuses crucifères (chou, navet...) contiennent des thioglycosides qui ont une action goitrigène. Les graines de plusieurs végétaux contiennent des glycosides cyanogénétiques (libérant de l'acide cyanhydrique) : amande, pêche, abricot. Les alcools obtenus à partir de ces fruits peuvent ainsi être riches en acide cyanhydrique.

Les amines actives (histamine, tyramine, tryptamine, sérotonine, épinephrine) sont rencontrées dans de nombreux aliments : banane, tomate, choucroute, fromages fermentés, vins, etc. Le système intestinal se défend bien, mais peut être débordé, par excès d'apport, inflammation associée facilitant l'absorption, traitement aux IMAO. Les épices et aromates contiennent de nombreuses substances que seule une faible consommation peut faire considérer comme alimentaires.

Certains composés peuvent avoir des effets défavorables en complexant des éléments utiles (facteurs anti-nutritionnels) : inhibiteurs d'enzymes digestifs (soja, œuf) ; lectines, surtout dans les légumineuses crues, se liant aux chaînes glycaniques des glycoprotéines et pouvant créer des lésions intestinales ; phytates (hexaphosphoinositols) abondant dans les céréales et complexant le fer, le zinc et le calcium, mais ne posant pas de problèmes dans une alimentation suffisamment diversifiée ; antivitaminaires, agissant par complexation (avidine du blanc d'œuf et biotine, antiniacine du maïs) ou par destruction enzymatique (thiaminase de la carpe, des huîtres et des moules ; ascorbate oxydase de nombreux végétaux). Les facteurs antinutritionnels de nature protéique et certains hétérosides sont heureusement le plus souvent inactivés par une cuisson appropriée. Les végétaux synthétisent de très nombreuses molécules, que nous ingérons plus ou moins régulièrement et en quantités plus ou moins grandes, mais dont les effets sont généralement inconnus. Regardées comme inoffensives, certaines de ces molécules révéleraient peut-être des actions surprenantes, favorables ou défavorables, si elles étaient testées comme des additifs alimentaires.

Ainsi, les phyto-œstrogènes sont des isoflavonoïdes dont la structure spatiale positionne deux fonctions hydroxyles dans des positions voisines de celles rencontrées dans l'œstradiol : ils peuvent se fixer aux récepteurs des œstrogènes et présenter des effets œstrogéniques faibles. On attribue à ceux qui sont abondants dans le soja (génistéine, présentant *in vitro* un fort pouvoir inhibiteur de l'angiogenèse tumorale et daïdzéine) des effets protecteurs (maladies cardio-vasculaires, cancer) chez les Asiatiques. Là encore, avant de pousser à la supplémentation, il faudrait en savoir plus : éventuellement utiles chez les femmes ménopausées, les phyto-œstrogènes pourraient se conduire chez les autres groupes de population comme des perturbateurs endocriniens, avec des effets sur la croissance ou la fertilité masculine encore mal évalués. Ils commencent à être contrôlés dans les aliments infantiles.

Les saponines sont présentes dans la plupart des végétaux. Ce sont des hétérosides dont l'aglycone est une molécule triterpénoïde en général, souvent de nature stéroïde. En plus de propriétés détergentes et complexantes du cholestérol, ces dérivés pourraient avoir des propriétés variées encore à expertiser : de type alcaloïde (analogue à la solanine de la pomme de terre), de type cardiotonique (analogue à la digitonine) ou de type œstrogénique.

Enfin, même des composés tout à fait banals pourraient avoir des effets : un certain nombre d'acides aminés courants (aspartate, glutamate) ainsi que certains analogues ou dérivés pourraient se comporter comme des "excito-toxines" et présenter à long terme des effets délétères sur le système nerveux.

Les contaminants naturels : mycotoxines

Les mycotoxines sont sécrétées par des moisissures qui se développent au cours de stockage défectueux de nombreux produits alimentaires, notamment les fruits et les céréales. Elles contamineraient plus du quart de la production végétale mondiale, notamment dans les pays en voie de développement. La plus connue est l'aflatoxine, mise en évidence dans les tourteaux d'arachide destinés à la consommation animale (100 000 dindons tués en Grande-Bretagne en 1960). La contamination humaine est exceptionnelle, car elle est détruite par le raffinage des huiles. Cependant, cet accident a relancé la recherche sur ces toxines, qui sont très nombreuses et se classent du point de vue médical en plusieurs groupes, selon la symptomatologie dominante.

La place réelle de ces toxines est surtout grande en alimentation animale. Mais l'allongement de la chaîne alimentaire, les stockages de plus en plus prolongés (céréales) amènent à surveiller leur présence éventuelle en alimentation humaine. On en a même mis en évidence (à doses non dangereuses) dans les tisanes (des moisissures se développent lors du séchage des plantes).

Outre les contrôles par un plan de surveillance pour éliminer les lots contaminés et la décontamination éventuelle (difficile et non faisable pour l'alimentation humaine), c'est essentiellement la prévention qui devrait être améliorée par des pratiques agricoles, de transport et de stockage de bonne qualité.

Toxines neurotropes

La patuline, sécrétée par des penicillium, a des propriétés antibiotiques, mais elle a été vite abandonnée dans cette indication à cause de sa toxicité. Elle est trouvée dans les céréales, les fromages et les fruits, surtout les pommes, au niveau des zones moisies. Les jus de fruits, souvent réalisés avec des fruits de 2^e choix, peuvent ainsi être contaminés, beaucoup plus que les confitures pour lesquelles la cuisson joue un rôle protecteur. Les concentrations dans les aliments sont en général insuffisantes pour donner des troubles aigus, mais l'intoxication chronique peut associer des troubles nerveux (action anti-acétylcholinestérase), une lymphopénie ; elle est cancérigène chez l'animal. La contamination des jus de pomme conduirait à dépasser la dose journalière tolérable (DJT) chez les enfants : sur ces bases, la dose limite dans les jus a été fixée à 25 µg/l.

Toxines hématotropes

Les trichothécènes sont omniprésentes dans les produits alimentaires, mais en concentrations très faibles. Ce sont des composés de la classe des sesquiterpènes, avec un squelette tétracyclique. Elles donnent parfois des intoxications aiguës dans les troupeaux, mais le plus souvent des intoxications chroniques, avec hémorragies, perte de poids, vomissements. Elles ont également des propriétés mutagènes et cancérigènes ; ayant un rôle aplasiant médullaire, elles se comportent également comme des immunosuppresseurs. Elles sont malheureusement thermostables.

Toxines hépatotropes

Elles sont principalement représentées par les aflatoxines, dont la structure dérive de la coumarine : il existe plusieurs isomères et métabolites toxiques (B1, M...). Responsables de nécroses

hépatiques, elles sont très surveillées dans l'alimentation pour bétail. Un taux de 15 µg/kg de nourriture suffit à induire des hépatocarcinomes chez le rat. Leur caractère hépatotoxique, immunotoxique, tératogène et cancérigène est reconnu chez l'animal ; ce sont les seules mycotoxines reconnues comme cancérigènes chez l'homme par le CIRC (Centre International de Recherches sur le Cancer). Pour l'aflatoxine B1 (AFB1), les doses limites pour l'homme (DJT) sont 0,15 ng/kg/j. Les études d'exposition montrent que ces valeurs sont nettement dépassées en France comme ailleurs. Le blé et le maïs étant à l'origine de 90 % de l'apport, les limites actuellement admises devraient être abaissées à 2 µg/kg de produit (1 µg pour les produits pour enfants) et à 0,05 µg/kg pour la M1 (0,03 pour les produits pour enfants).

Toxines néphrotropes

Elles sont essentiellement représentées par les ochratoxines. Elles ont été rendues responsables de la néphropathie endémique des Balkans, sans doute en association avec d'autres déficits (vitamine C, sélénium). L'exposition de la population en France semble actuellement inférieure aux limites toxicologiques. Sur plusieurs espèces d'animaux de laboratoire, elle a les mêmes effets immunotoxiques, tératogènes et cancérigènes que les aflatoxines.

Autres toxines

Les fumonisines sont produites par des champignons de type *Fusaria* se développant sur de nombreuses céréales. Les fumonisines de différents types provoquent des troubles très variés chez les animaux. A fortes concentrations, elles ont conduit chez l'homme (en Inde) à des diarrhées et vomissements. Ce risque est tout à fait improbable en France. Cependant, leur implication dans les cancers de l'œsophage et du foie conduit à les surveiller, d'autant plus que l'exposition en France est supérieure à la DJT. La limite pourrait être fixée à 3 mg/kg de produit, avec un objectif, à terme, de 1 mg/kg.

La zéaralénone, ou toxine F2, a un effet œstrogénique puissant et est génotoxique. Produite également par le genre *Fusarium*, elle aurait provoqué des « épidémies » de puberté précoce et de gynécomastie à Porto-Rico. L'association avec le cancer de l'œsophage en Chine et en Afrique du Sud a également été proposée. Les valeurs d'exposition en France, bien que peu fournies, semblent inférieures à la dose virtuellement sûre calculée à partir des effets sur la reproduction chez le singe.

Les phycotoxines

Les organismes marins et notamment les mollusques et coquillages se nourrissent de planctons et micro-algues et peuvent concentrer les toxiques produits par ces micro-organismes : toxine paralysante (PSP, limite à 80 µg/100 g de chair) ; toxine diarrhéique (DSP ; doit être absente) ; toxine amnésiante (ASP ou acide domoïque, limite à 20 µg/g de chair). La prolifération de ces micro-organismes, dans certaines conditions climatiques ou de pollution (marées vertes, rouges...) peut accroître considérablement ces risques.

Nitrites et nitrates

L'acide nitrique E250 et son dérivé le plus utilisé, le nitrite de sodium (sous forme de sel nitrité à 0,6 % pour éviter les erreurs de dosage) est autorisé en charcuterie. A l'étranger, on l'utilise pour prévenir la formation des grosses bulles dans les fromages à pâte cuite (tels que par exemple le fromage de Hollande). Comme additifs, les nitrites présentent un triple intérêt, actuellement irremplaçable :

- action anti-microbienne, particulièrement sur le *clostridium botulinum* et les staphylocoques toxigènes ;
- action sur la saveur : les nitrites exaltent l'arôme des produits charcutiers ; mais le maximum de cet effet est atteint pour des doses trois fois inférieures aux doses actuellement autorisées et qui vont sans doute être réduites (150 mg/kg de produit fini, ou 50 mg/kg pour les produits destinés à l'enfant) ;

- action sur la couleur : par combinaison avec la myoglobine, ils forment des produits stables, rose-rouge. Ils s'opposent donc au brunissement non enzymatique des viandes.

Les nitrates, moins utilisés comme additifs, sont facilement réduits en nitrites par de nombreux micro-organismes (par exemple de la salive et du tube digestif). Le problème de ces dérivés azotés est en fait très général et complexe :

- certains végétaux, notamment les légumes, accumulent spontanément les nitrates (dans l'ordre décroissant : betteraves rouges, bettes, céleri, radis, laitues), de telle sorte qu'une alimentation riche en légumes peut être responsable de 80 % des nitrates absorbés, allant même jusqu'à un dépassement net des DJA chez les végétariens. Mais tous les végétaux qui ne peuvent fixer directement l'azote atmosphérique ont besoin de nitrates pour leur croissance ;

- une autre source de nitrate est l'eau : si 80 % de la population consomme une eau dont la teneur en nitrate est inférieure à la moitié de la dose maximale admise, 2 % de la population ingère une quantité supérieure à cette dose (50 mg/l). La teneur en nitrate augmente régulièrement, et le problème s'aggrave lors des sécheresses. Ceci s'explique en grande partie par des pratiques agricoles (engrais azotés).

Les deux ions, nitrite et nitrate, sont facilement absorbés par le tube digestif et très rapidement excrétés dans les urines, si bien que les taux sanguins sont très faibles ; ils ne passent pas dans le lait, mais traversent le placenta. En dehors de la méthémoglobiniémie, la toxicité des nitrates est considérée à l'heure actuelle comme pratiquement nulle pour l'homme par les différents comités scientifiques internationaux et européens. Cependant, la question de leur contribution aux déséquilibres des écosystèmes aquatiques demeure et il paraît utile de conserver la norme actuelle pour l'eau, comme indicateur simple de pollution.

L'ion nitrite peut se comporter comme un oxydant ou un réducteur. Dans la méthémoglobiniémie, surtout grave chez le nourrisson, le nitrite se réduit en faisant passer l'hémoglobine de l'état Fe⁺⁺ à l'état Fe⁺⁺⁺ incapable de fixer l'oxygène. La formation des nitrites à partir des nitrates est favorisée chez le nourrisson par le pH de l'estomac, l'immaturation de la méthémoglobine réductase ou une infection entérale intercurrente. Si 20 % de l'hémoglobine est touchée, on observe cyanose, anoxie, asthénie, tachycardie, céphalées. Le traitement fait appel à la vitamine C à haute dose ou à l'oxygène hyperbare. En fait, ce syndrome semble apparaître surtout quand une petite prolifération bactérienne a eu le temps de se développer dans la préparation lactée et a permis de transformer les nitrates en nitrites avant l'ingestion même.

Les autres actions, à plus long terme, sont plus diffuses, davantage soupçonnées par extrapolation de situations expérimentales que réellement démontrées : effet anti-thyroïdien, effet sur le comportement, la reproduction, troubles vasomoteurs, hypertension (corrélation épidémiologique), diminution de la mise en réserve hépatique de la vitamine A, destruction possible des vitamines B1 et E, responsabilité dans les allergies alimentaires (par altération de la perméabilité intestinale aux trophallergènes ?).

Les nitrites peuvent se transformer en nitrosamines par combinaison avec des amines (acides aminés, par exemple). Ces nitrosamines sont, pour la plupart d'entre elles, cancérigènes chez le rat : se comportant comme des agents alkylants, elles sont utilisées dans les modèles expérimentaux de carcinogénèse. Les hautes doses de nitrosamines contenues dans la nourriture, stockée dans des conditions défectueuses chez certaines populations bien particulières, ont effectivement été corrélées avec un risque plus élevé de cancer. Cependant, le risque réel chez l'homme n'est pas démontré dans les conditions alimentaires et sanitaires occidentales normales et n'est plus admis à l'heure actuelle.

Les métaux lourds

Le mercure

Le mercure est très toxique par inhalation ou ingestion. Dans la nature, il se transforme en dérivés méthyl-mercuriels (méthyl-mercure et surtout diméthyl mercure, encore plus toxique) : le

thon blanc peut concentrer jusqu'à 10 000 fois le mercure de l'eau environnante sous cette forme sans être incommode. La norme OMS est de 0,03 à 0,1 ppm (partie par millions, soit µg/g) selon les aliments, mais en pratique pour le poisson, les chiffres retenus sont de 0,5 ppm, sous peine de ne plus manger de poissons. La consommation de mercure en France, estimée par le croisement des fréquences de consommation des aliments et du contenu de ceux-ci en mercure, serait de l'ordre de 100 µg/semaine et serait en augmentation de 45 % depuis 1975 : cela est dû au suivi des conseils des nutritionnistes..., puisque 30 % de cette exposition provient des produits de la mer, juste au-dessus des fruits et légumes. Cependant, la dose hebdomadaire tolérable, DHT, a été fixée par l'OMS à 300 µg/semaine de mercure total (dont au maximum 200 de mercure méthylé).

La teneur du tissu nerveux central est assez parallèle à celle qu'on peut mesurer dans les cheveux. Une glycoprotéine de forte affinité pour le mercure a récemment été purifiée dans le tissu nerveux. A la longue, comme l'a montré l'exemple de Minamata au Japon, le mercure entraîne cécité, surdité, mouvements désordonnés, troubles mentaux, pouvant aboutir à la mort du sujet. Il traverse le placenta. D'un point de vue biochimique, il a une action sur le matériel génétique de la cellule et sur les enzymes ou molécules possédant des thiols dans leur site actif. Le fœtus et l'enfant sont beaucoup plus sensibles au mercure, qui pourrait conduire à des anomalies de développement neurologique : des retards psychomoteurs pourraient apparaître dès le seuil de 10 mg/g mesuré dans les cheveux maternels.

Les gros consommateurs de poisson des régions côtières françaises peuvent dépasser les DHT. Les poissons étant très divers dans leur capacité de stockage du mercure, il est conseillé de varier les espèces consommées.

Le plomb

Le plomb est normalement peu abondant dans les aliments, sauf en cas de tuyauteries en plomb ou de matériels de cuisine particuliers, ainsi qu'en atmosphère très polluée. Les rejets de plomb dans l'atmosphère ont été estimés pour le monde entier à 450 000 tonnes par an en 1990, mais l'exposition au plomb a diminué notablement au cours de la dernière décennie. Le plomb tétraéthyl utilisé comme antidétonant dans l'essence n'est retrouvé qu'à l'état de trace dans les aliments (ng/kg). Par contre, on retrouve du plomb complexé à des polyosides (en même temps que le baryum ou le strontium), qui présente une faible biodisponibilité et donc une faible toxicité. Cette forme est également retrouvée dans les vins.

Le Français absorbe en moyenne 470 µg/semaine, pour une DHT de 1 500 µg/semaine. La plus grande partie de ce plomb est apportée par les légumes et les fruits (50 %), le vin, le pain et les pommes de terre ; les teneurs les plus fortes sont trouvées dans le champignon de Paris et le céleri. Le plomb est responsable de coliques, de polynévrites, d'encéphalopathies avec délire et convulsions pouvant aboutir à la mort. La plombémie est normalement inférieure à 0,4 ppm, la plomburie à 0,08 ppm. L'augmentation de l'acide delta amino-lévalinique ou ALA (précurseur de la biosynthèse de l'hème) est un indicateur précoce d'exposition au plomb, de même que l'activité érythrocytaire de l'ALA-déshydratase. L'enfant est particulièrement sensible au plomb, qui pourrait être responsable de retards de développements de l'intelligence. Les intoxications professionnelles au plomb sont faciles à retrouver et sont d'ailleurs surveillées et prévenues. Les intoxications non professionnelles exigent au contraire des enquêtes très minutieuses. Les dosages évoqués ci-dessus ont alors une grande valeur d'orientation. La limite tolérée actuellement (25 µg/l dans le sang du cordon) pourrait être supérieure en fait à celle qui donne des retards intellectuels.

Le cadmium et l'arsenic

Le rein constitue l'une des cibles principales du cadmium qui donne une néphropathie irréversible avec insuffisance rénale, parfois accompagnée d'ostéomalacie et ostéoporose. Il aug-

mente la pression artérielle. Aucun lien formel avec la survenue de cancer n'a pu être mis en évidence. Le cadmium entre en compétition avec le zinc, dont un apport suffisant peut limiter la toxicité du cadmium. L'apport hebdomadaire moyen serait de l'ordre de 30 µg/j pour une DJT de 1 µg/kg/j (fixée en 1972 et qui pourrait être abaissée), laissant une marge de sécurité très étroite. L'aliment le plus riche en cadmium est le foie de cheval, mais la spéciation et donc la toxicité réelle commence juste à faire l'objet d'études.

L'arsenic, dont la toxicité est bien connue, est abondant dans certains produits de la mer, mais il est présent sous forme d'arsénobétaïne inoffensive (analogue structural de la choline où l'arsenic remplace l'atome d'azote), alors que les oxydes présents dans certaines eaux contaminées sont très toxiques.

L'aluminium

L'aluminium se trouve à raison de 10 à 100 mg dans la ration alimentaire quotidienne. La survenue d'encéphalopathies rapportées à ce métal chez les dialysés, la corrélation (ténue) entre Alzheimer et teneur de l'eau en aluminium en Angleterre, la diffusion considérable des emballages en aluminium : tout ceci amène à réévaluer ce métal. Dans l'hippocampe de sujets atteints de maladie d'Alzheimer, on a trouvé une augmentation de la quantité d'aluminium et de silice et une diminution de la quantité de zinc et de sélénium. Ce remplacement de métaux par d'autres pourrait être en partie responsable des troubles de mémoire observés dans la maladie. Cette suspicion sur l'aluminium a conduit récemment le CSHPF à proposer des études sur les consommateurs réguliers de pansements gastriques à base d'hydroxyde d'aluminium.

Les polychlorobiphényles (PCB) et les dioxines

Les PCB ont été très utilisés dans les industries électriques, les peintures et les encres. De par leurs propriétés physiques (fluides isolants), des mélanges de PCB, connus sous le nom de pyralènes, étaient largement utilisés dans les transformateurs électriques ou les condensateurs. Interdits dans les solvants et les enduits, ils gardaient quelques applications privilégiées dans certaines installations en systèmes clos à cause de leur faible inflammabilité. Ils sont maintenant totalement interdits depuis le début des années 80, mais il persiste de nombreux appareils en contenant et des stocks coûteux à détruire.

Les PCB représentent une famille de molécules (congénères) possédant deux cycles aromatiques liés entre eux et des atomes de chlore en position et en nombre variable. Selon la position des atomes de chlore, les deux cycles peuvent se trouver dans un même plan (PCB coplanaires) ; les composés di-orthosubstitués par du chlore ne peuvent pas adopter une structure plane (PCB non coplanaires). Leur action propre est mal connue mais certaine (cancérogénèse, action sur la peau, les yeux, le foie). Les PCB coplanaires ont des propriétés biochimiques et toxicologiques voisines de celles des dioxines. Les PCB non coplanaires, selon des études récentes, pourraient avoir des actions néfastes sur le métabolisme des hormones thyroïdiennes et des œstrogènes ainsi que sur le système nerveux. La dose journalière tolérable est actuellement fixée à 5 µg/kg/j, mais pourrait être revue à la baisse en fonction des données scientifiques nouvelles.

Lors de la synthèse des PCB, des dioxines sont obligatoirement formées, dont le taux est augmenté au cours de l'utilisation de ces produits. La combustion des PCB entraîne la formation de PCDF (polychlorodibenzofuranes). Des produits de ce type sont également produits lors de l'incinération des déchets urbains. Les laits les plus contaminés proviennent d'élevages proches d'incinérateurs urbains. Les conséquences en termes de santé publique des contaminations trouvées (2 à 3 pg TEQ/l au maximum) sont inconnues, d'où des mesures de précaution. Les dioxines présentent plus de deux cents isomères (75 PCDD (polychlorodibenzo-dioxines) et 135 PCDF (polychlorodibenzofuranes)) et sont très difficiles à analyser et à doser. Cette variété de structures de toxicité différente explique l'expression en équivalents toxiques (TEQ), obtenus en dosant l'ensemble des

principaux isomères et en appliquant à chacun un facteur de toxicité (TEF, toxic equivalent factor) par rapport au plus dangereux, le 2,3,7,8 TCDD (tétrachloro-dibenzodioxine ou dioxine de Seveso). Ces facteurs sont difficiles à établir dans la mesure où la sensibilité des différentes espèces de laboratoire à ces différents produits varie de 1 à 200. La norme retenue par l'OMS est de 1 à 4 pg TEQ/kg de poids corporel et par jour. Les résultats des plans de surveillance dans les aliments réalisés en France en 1997 et 1998 ont permis de calculer, à partir des consommations alimentaires des Français, une exposition moyenne et au 95^e percentile de 1,3 et 2,8 pg TEQ/kg/j (ne prenant pas en compte, faute de données, les PCB dioxine-like). Alors que les PCB peuvent être métabolisés dans l'organisme s'ils ont moins de 4 chlores, les dioxines ne sont pas métabolisées par l'organisme. Les valeurs actuellement trouvées dans les aliments pour tous ces produits de structure voisine sont généralement inférieures aux normes tolérées par l'OMS ou l'Afssa, mais ils s'accumulent dans l'organisme (8 mg/kg de tissu adipeux en France contre 1 au Canada). Les PCB ont donné lieu à une vaste intoxication collective au Japon en 68 (15 000 sujets atteints) : pigmentation de la peau et des ongles, acné sévère, larmolement, etc. 15 ans après, on retrouve un excès de morbidité dans cette population exposée par rapport à une population témoin appariée.

En France, la crise dioxine de juin 99 semblerait être liée à la contamination accidentelle par une trentaine de kg de pyralène d'un lot de 56 tonnes de graisses recyclées par un fabricant hollandais d'ingrédients pour aliments pour animaux. Cet accident, qui a eu des répercussions médiatiques et économiques, mais pas de répercussions sur la santé publique, a reposé avec acuité le problème de l'alimentation animale, ainsi que la sécurité des circuits de recyclage et de valorisation de nombreux sous ou coproduits. La course aux prix les plus bas ne peut que favoriser ce genre de dérive : la sécurité alimentaire a forcément un coût.

Les biocides

Les biocides ont beaucoup contribué aux augmentations de la productivité agricole ; mais les inconvénients sont graves :

- du point de vue agricole : l'apparition de résistances entraîne une augmentation des doses sans augmentation parallèle de la productivité ;
- du point de vue sanitaire : ces produits présentent souvent une importante rémanence dans le sol ; ils s'accumulent dans les graisses et se concentrent dans les organismes au fur et à mesure qu'on remonte dans la chaîne des espèces. De plus, certains pesticides se lient de manière très forte à des protéines, par exemple dans le lait, et deviennent difficilement détectables aux méthodes classiques de dosage tout en gardant leur toxicité.

Les organo-chlorés (HCH, DDT) et les organo-phosphorés (parathion, malathion) sont parmi les produits les plus controversés. Ces deux classes sont responsables de troubles neurologiques (polynévrites et troubles centraux) ainsi que de troubles hémato-poiétiques. Le syndrome aigu, souvent de type cholinergique (action anti-acétylcholinestérase) peut être contré par atropine ou des restaurateurs de l'activité de l'enzyme (pralidoxime ou diazepam). Les intoxications les plus graves se voient chez les utilisateurs professionnels et sont du ressort de la médecine du travail. Cette utilisation pourrait en outre expliquer une surmortalité de la population agricole pour certains cancers (vessie, pancréas, rein, cerveau) alors qu'il existe une sous-mortalité par rapport aux citadins pour de nombreux autres cancers.

Les rapports alarmants de l'agence américaine de la protection de l'environnement (EPA, mai 87, janvier 89) estiment qu'au cours des 70 prochaines années, plus d'un million d'Américains mourront du fait de la présence de 28 pesticides cancérigènes dans l'alimentation, l'eau et les brouillards. 12 pesticides sur les 28 seraient responsables de 98 % des risques : manèbe, benomyl, folpel, captafol, captane, zinèbe, chlordimeform, linuron, permethrine. Cependant, la teneur en pesticide de nos aliments a considérablement chuté au cours de la dernière décennie, jusqu'à être indétectable dans de nombreux cas, y compris

dans les produits issus de l'agriculture traditionnelle. Comme le suggère l'expérimentation animale, il n'est pas du tout certains que ces taux résiduels, y compris des biocides en mélange, aient un quelconque effet sur la santé : pour les nutritionnistes américains, en tout cas, c'est un problème mineur par rapport aux 50 % d'obèses de la population américaine... !

Les résidus médicamenteux

Tout additif à l'alimentation animale est réglementé, comme dans le cas de l'alimentation humaine. Le médicament vétérinaire est géré par l'Agence Nationale du Médicament vétérinaire, intégrée au sein de l'AFSSA. A la différence du médicament humain, se pose le problème des résidus présents dans les viandes, pour lesquels des délais d'abattage sont prévus et des limites maximales fixées. L'intervention thérapeutique classique laisse plus de résidus dans les aliments que les additifs alimentaires médicamenteux apportés par l'alimentation animale. Deux classes de molécules posent des problèmes, les antibiotiques (autorisés) et les hormones et anabolisants (interdits).

Antibiotiques

Il existe trois utilisations des antibiotiques en élevage : comme traitement classique des infections, sous responsabilité des vétérinaires, comme aliments médicamenteux et comme facteurs de croissance à faibles doses. Les quantités utilisées à l'heure actuelle dans ces trois cas ne sont pas connues.

L'utilisation des antibiotiques à faible dose a effectivement un effet sur la croissance, avec un gain de productivité de l'ordre de 5 %, mais également un effet sur la santé des animaux : les infections seraient moins nombreuses et moins graves dans les pays utilisant ces pratiques que dans les pays où elles sont interdites, tels que la Suède et le Danemark. Il s'ensuit une moindre utilisation d'antibiotiques médicamenteux. Sous la pression des pays nordiques, une tendance européenne à l'interdiction des antibiotiques se dessine, avec pour conséquences de nouveaux problèmes sanitaires. Le problème principal soulevé par cette pratique est qu'elle place dans des conditions théoriques idéales pour sélectionner des souches résistantes voire multirésistantes aux antibiotiques (certains plasmides de multirésistance ont été retrouvés dans des souches de listeria sur des croûtes de fromage), ce qui pourrait à terme poser des problèmes de santé publique. Mais la situation n'est pas simple : ces mécanismes de résistance ne sont pas toujours les mêmes que ceux qu'on rencontre dans les bactéries pathogènes humaines et on ignore tout des possibilités éventuelles de transmission de ces résistances des bactéries animales vers les bactéries pathogènes humaines. En fait, la cause majeure des résistances aux antibiotiques en pathologie humaine paraît plutôt à rechercher du côté d'un mauvais emploi des antibiotiques en thérapeutique humaine. Des efforts urgents sont à réaliser en ce domaine où aucune classe nouvelle d'antibiotique n'a été découverte depuis 20 ans...

Hormones

Les œstrogènes et les anabolisants constituent un problème complexe où les intérêts des consommateurs et des producteurs s'opposent, aussi bien en ce qui concerne la qualité de la viande qu'au point de vue de la santé. Cependant, pour le veau, il a été calculé qu'il faudrait ingérer plusieurs centaines de kilos de viande pour absorber l'équivalent d'un comprimé contraceptif. Le problème est en outre compliqué par les difficultés d'analyse de substances très voisines des substances naturellement présentes.

L'utilisation des hormones en élevage est interdite dans l'Union européenne, ce qui est à l'origine d'un important contentieux devant l'OMC avec les Américains qui les utilisent. Il est demandé aux Européens de prouver scientifiquement qu'il y a un risque pour la santé humaine à utiliser ces hormones (ce qui est loin d'être évident) alors que les Américains n'ont pas à apporter de justification scientifique à leur utilisation (il n'y en a pas d'ailleurs, en dehors de la rentabilité économique...). Ce débat est davantage un problème de choc de cultures différentes

qu'un problème de santé publique, mais les enjeux économiques à l'arrière-plan sont considérables : en attendant une meilleure définition de l'utilisation de la science dans les négociations internationales (discussion en cours au Codex Alimentarius), tous les moyens sont bons dans cette « guerre » économique...

Les composés toxiques néoformés

Si les traitements culinaires, surtout la cuisson, présentent des effets bénéfiques, tant au point de vue nutritionnel (augmentation de la digestibilité de l'amidon et des protéines) qu'au point de vue toxicologique (destruction des germes et de nombreux facteurs anti-nutritionnels), ils ont également des conséquences défavorables à ces deux points de vue. Au point de vue nutritionnel, ils peuvent éliminer (lessivage des vitamines hydrosolubles dans l'eau de cuisson) ou détruire des éléments indispensables. Au point de vue toxicologique, ils peuvent faire apparaître des composés nouveaux dont la toxicité à long terme chez l'homme est mal évaluée, même si elle est parfois démontrée chez l'animal. Paradoxalement, selon certains auteurs, les traitements industriels des aliments seraient meilleurs que les traitements domestiques, car plus judicieux et mieux contrôlés. Ceci est vrai pour les techniques les plus anciennes ("thermiques") et le devient pour les techniques plus récentes, développées en partie pour diminuer ces risques et améliorer la qualité des aliments. Certaines des réactions décrites n'ont pu l'être que par l'étude de systèmes modèles simplifiés. La chimie réelle créée par le traitement des aliments complexes est donc loin d'être entièrement connue. Pour simplifier encore, on peut ajouter que la flore intestinale intervient encore sur ces mélanges et qu'on ignore beaucoup de choses sur les résultats terminaux.

Protéines

Les réactions de Maillard sont très anciennement connues (1912). Elles conduisent au brunissement non enzymatique (caramélisation, formation de mélanoidines). Ce sont des réactions complexes, ayant lieu spontanément à froid lors de l'entreposage, mais qui sont accélérées par la chaleur. Les sulfites s'opposent à ce brunissement. Ces réactions ont lieu entre un sucre réducteur et une amine d'un acide aminé, souvent la lysine ; par une suite de réarrangements, de condensations, de polymérisations, de scissions, on obtient de très nombreux composés : des polymères bruns, responsables de colorations (croûte du pain, biscuits...); des produits de scission, volatils et odorants. Les effets sont favorables sur la couleur et l'arôme, défavorables pour la disponibilité en lysine (acide aminé souvent limitant de la qualité nutritionnelle des protéines), l'apparition possible d'arômes indésirables et l'apparition de produits éventuellement toxiques à long terme, mais mal évalués.

Le chauffage à feu vif (grillade) des protéines ou des acides nucléiques conduit à la formation de nombreux produits de pyrolyse, notamment des amines hétérocycliques très variées. Parmi celles-ci, les carbolines, dérivées du tryptophane, sont actuellement très étudiées ; en dehors de ces conditions drastiques, le tryptophane est un acide aminé relativement stable. Les carbolines ont également une origine naturelle (bananes et reines-claudes en sont très riches) ou apparaissent lors des processus fermentaires ou technologiques, notamment la cuisson et la carbonisation des viandes, le grillage des pains, la torréfaction du café (le robusta est plus riche en carbolines que l'arabica). Le risque toxique est mal apprécié ; on a décrit à doses élevées des actions sur les transports ioniques, sur les récepteurs cellulaires (benzodiazépines, dopamine ou adrénaline), la cancérogénèse. Elles pourraient aussi avoir un rôle d'inhibition enzymatique, de photosensibilisation, des propriétés hallucinogènes, etc.

Certains hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) mutagènes et cancérogènes sont très utilisés dans les modèles animaux de cancérogénèse, tels le benzo(a)pyrène. Ils sont formés lors de la cuisson des viandes ou les procédures de fumage du poisson. Mais ils existent à l'état naturel dans les légumes, les

fruits, les céréales, les huiles, parfois à des concentrations plus élevées que dans les viandes traitées (0,1 à 200 µg/kg). Ils peuvent être présents dans des produits marins à la suite d'accidents de pollution (marée noire de l'*Erika* fin 1999).

De nombreux autres produits peuvent apparaître : complexation des protéines avec les lipides peroxydés, oxydation des méthionine, racémisation des acides aminés. Parmi les plus étudiés se trouvent les ponts isopeptidiques, réalisant des liaisons covalentes entre deux protéines et diminuant la disponibilité des acides aminés : la lysino-alanine par exemple est toxique pour le rat (mais pas pour d'autres espèces animales) et peut complexer des oligo-éléments.

Lipides

Le chauffage excessif des graisses les rend non consommables par formation d'acroléine et de produits toxiques divers obtenus par coupure, polymérisation ou cyclisation des acides gras. En dehors de ces cas extrêmes spontanément non consommés à cause de l'odeur désagréable, les traitements thermiques et technologiques "normaux" conduisent à des modifications chimiques dont les conséquences à long terme sont là encore mal appréciées.

L'élaidisation est la formation d'acides gras trans dont les propriétés physiques se rapprochent de celles des acides gras saturés et dont le métabolisme est plus lent : leur passage dans la voie de β -oxydation doit faire intervenir des migrations et isomérisations de doubles liaisons. L'hydrogénation partielle utilisée dans la préparation des margarines produit de tels acides gras. Ces acides semblent encore plus néfastes que les acides gras saturés : un taux élevé d'acides gras trans augmente le cholestérol-LDL comme les saturés, mais en plus diminue le cholestérol-HDL. Les préparations actuelles des margarines de table par trans-estérification donne très peu de trans. L'utilisation abusive ou incontrôlée d'acides gras polyinsaturés pourrait avoir des effets pervers : l'élaidisation d'une seule double liaison du DHA (C22:6 n-3) peut conduire à un produit activateur des plaquettes sanguines.

La peroxydation, favorisée notamment par la chaleur et la présence de métaux, aboutit à des molécules très variées (époxydes, glycols, diacides, aldéhyde-acides, diènes conjugués, hydrocarbures) dont certaines auraient des propriétés biologiques et physiologiques.

Les techniques nouvelles

De nombreux traitements nouveaux de cuisson, stérilisation ou traitement des aliments sont apparues, essayant d'être plus « respectueux » des aliments et de concilier sécurité sanitaire, respect des propriétés nutritionnelles et organoleptiques, absence de formation de composés potentiellement néfastes : micro-ondes, hautes pressions, irradiations, champs électriques pulsés... Par rapport aux traitements thermiques traditionnels, il est beaucoup plus difficile effectivement de trouver à la suite de ces traitements des composés chimiques spécifiques qui permettraient de retrouver le traitement subi.

Les risques « volontaires » : les additifs alimentaires

Les additifs sont définis réglementairement comme des substances normalement non consommées en tant que denrées et non utilisées comme ingrédients majeurs d'une préparation, pouvant avoir ou non une valeur nutritive, se retrouvant dans le produit final consommé et pouvant être introduites à n'importe quel stade (production, fabrication, emballage, transport, stockage).

L'emploi des additifs est justifié par différentes raisons, économiques, technologiques, organoleptiques, diététiques. Il existe également des motivations explicites de rejet, lorsque l'emploi va à l'encontre de l'intérêt du consommateur, s'il a pour objet de masquer les effets de techniques défectueuses de fabrication, s'il a pour objet d'induire en erreur le consommateur, s'il en résulte une diminution sensible de la valeur nutritionnelle de l'aliment ou lorsque l'effet désiré peut être obtenu par des

méthodes de fabrication différentes, techniquement et économiquement satisfaisantes. L'évaluation est faite au niveau européen, avec consultation des Etats membres. Les additifs sont repérés par un code à trois chiffres précédé de la lettre E. Du fait des procédures d'autorisation, seuls quelques additifs posent réellement des problèmes.

En France, 46 agents conservateurs sont utilisés, la numérotation CEE allant de E200 à E290. Beaucoup de ces composés sont "physiologiques"; par contre, d'autres posent problèmes, mais leur substitution par des composés moins "toxiques" n'est pas évidente, notamment sulfites et nitrites.

L'acide ou anhydride sulfureux SO_2 et ses sels, les sulfites, sont des agents conservateurs présentant en outre des propriétés réductrices et anti-oxydantes. Bien que d'utilisation très ancienne dans l'industrie du vin, ces molécules sont de plus en plus suspectes. Chez le rat, les sulfites pourraient entraîner des troubles de l'absorption de thiamine ; dans l'aliment même, ils pourraient être responsables de la destruction de la thiamine, voire de la genèse d'anti-thiamine. Enfin des doses excessives pourraient entraîner des dérèglements intestinaux et des pertes de calcium. Leurs effets par voie digestive sont en fait moins bien connus que leurs effets par voie aérienne. Le SO_2 est un gaz fréquent en atmosphère polluée, mais le risque d'inhalation est mieux contrôlé que celui d'ingestion : un repas bien arrosé apporte autant ou plus de sulfites qu'un mois d'inhalation. On a décrit récemment des asthmes véritables aux métabisulfites, dérivés des sulfites. La sensibilité individuelle pourrait dépendre d'un déficit en sulfite oxydase, dont la vitamine B12 est un activateur. L'association avec une candidose profonde aggrave le tableau clinique, car le candida peut réduire les sulfates en sulfites et inonder l'organisme de sulfites. Tous les asthmatiques présentent une certaine sensibilité bronchique au SO_2 . Des bandelettes de détection sont proposées aux malades sensibles aux sulfites. Correctes pour les aliments non colorés, elles sont moins bonnes pour les aliments colorés (technique indirecte moins sensible).

Les antioxydants ou antioxygènes sont des produits utilisés pour empêcher ou au moins ralentir les altérations produites par l'oxygène : brunissement des fruits et légumes (par oxydation des polyphénols ou de la vitamine C), rancissement des graisses. La liste CEE admet 31 composés (à partir de E300), qui peuvent être classés en primaires (anti-oxygènes purs) et secondaires (ayant une autre action principale). En dehors de l'acide ascorbique hydrophile (E300 et ses dérivés, plus connu sous le nom de vitamine C) et des tocophérols naturels (E306 ou vitamine E), on utilise les gallates (E310, rendus responsables de sensibilisation cutanée et de la muqueuse buccale), le BHA (E320 : butylhydroxyanisole) et le BHT (E321 : butylhydroxytoluène). Le BHT pourrait être hypercholestérolémiant, promoteur de cancérogénèse et diminuerait l'appétit. Le problème est cependant complexe, et aux doses habituellement utilisées, ces molécules ont des avantages qui compensent largement leurs inconvénients. Ces produits sont stockés en partie dans les graisses de l'organisme.

Les agents de texture forment une classe hétérogène (formée souvent de polymères d'origine biologique) dont le rôle principal concerne la texture, la consistance, la structure ou la présentation des aliments. Ils sont de plus en plus utilisés avec le développement des plats cuisinés, des desserts industriels, des édulcorants (il faut remplacer la masse apportée par le saccharose) ou des plats allégés (il faut remplacer la masse grasse). Les épaississants et gélifiants confèrent aux produits une consistance voisine d'un gel (velouté, flan...). Outre les dérivés du glucose (cellulose, dextrane), on trouve l'acide alginique E 400 et ses dérivés les alginates, l'agar E406. Les carraghénanes E407 sont des polysides de galactane-sulfate, extraits d'algues rouges. Un hydrolysat de carraghénates utilisé comme topique digestif il y a quelques années avait été rendu responsable d'ulcérations coliques et était soupçonné d'avoir un rôle immunosuppresseur. Mais pour les carraghénates natifs, il ne semble pas y avoir d'effet toxique ni cancérogène. Les DJA sont donc assez élevées (30 g/j). Tous ces polysides ne sont pas digérés dans l'intestin, mais leur fermentation dans le côlon conduit à la pro-

duction d'acides gras volatils (acétique, propionique ou butyrique) apportant une certaine énergie (la moitié de ce qu'apporterait un amidon de même taille).

Les Cal-O-fats ou pseudo-graisses ou graisses zéro calorie (cal-O-fat) sont non attaquées par les enzymes digestifs : polyesters de saccharose, polyglycérides (E475), polydextroses (ayant aussi un rôle édulcorant), esters diacyde de tapioca. Utilisés en grande quantité, elles peuvent avoir des effets laxatifs (analogues à ceux de l'huile de paraffine) et gêner l'absorption des vitamines ou des médicaments liposolubles comme celle du cholestérol.

Les matériaux au contact des aliments

L'allongement de la chaîne alimentaire fait que les aliments restent beaucoup plus longtemps que par le passé avec les matériaux d'emballage. La sécurité de ces matériaux est un point capital qui est évalué *a priori* par les instances scientifiques (Afssa en France). Toutes les molécules entrant dans la composition des matériaux (plastique et plastifiants, vernis, colorants), ou susceptibles d'entrer en contact avec les aliments (colles, encres...) sont examinées du point de vue toxicologique permettant la fixation d'une DJA. Ensuite, des mesures de migration dans différents types d'aliment permettent de déterminer le niveau d'exposition théorique (NET) et comparé à la DJA. Si le NET est supérieur à la DJA, la molécule n'est pas autorisée. Diverses molécules ont fait ou font l'objet de réévaluations : phtalates (assouplissant des plastiques alimentaires), BADGE (composé entrant dans la composition du vernis intérieur des boîtes de conserve), aluminium. Cette réévaluation permanente

permet d'améliorer la sécurité : l'interdiction des soudures au plomb dans les boîtes de conserve au début des années 80 a participé à la diminution générale de l'exposition au plomb des Français. L'évaluation prend aussi en compte l'aspect environnemental des emballages après usage (composés formés lors de l'incinération éventuelle, recyclage...).

Par ailleurs, d'importantes recherches sont conduites pour concevoir des emballages « actifs » améliorant la sécurité sanitaire globale et la conservation des qualités des aliments (atmosphères modifiées par des gaz alimentaires ; matériaux antimicrobiens...). Ces nouveaux emballages sont évidemment évalués avant autorisation.

Pour en savoir plus

Conseil supérieur d'Hygiène publique de France. Les mycotoxines dans l'alimentation ; évaluation et gestion du risque. Tec et Doc Lavoisier, Paris, 1999; 478 p.

Conseil supérieur d'Hygiène publique de France. Plomb, cadmium et mercure dans l'alimentation : évaluation et gestion du risque. Tec et Doc Lavoisier, Paris, 1996; 237 p.

La recherche, numéro spécial sur Le risque alimentaire. n° 339, février 2001.

Martin A. - Les risques alimentaires. Dossiers d'enseignement. Cah. Nutr. Diét., 2001.