



Discussion 6

Les dioxines (PCDD) et les furanes (PCDF) regroupés sous le terme "dioxines" appartiennent à la famille chimique des hydrocarbures aromatiques polycycliques chlorés (HAPC). Ce sont des polluants ubiquitaires très stables. On les étudie généralement grâce à un indice qui résume en une seule valeur (TEQ : équivalent toxique en anglais) la contamination du milieu par un mélange de 17 congénères auxquels s'ajoutent depuis peu les PCB. Le potentiel cancérigène et la bioaccumulation de ces substances dans les organismes vivants, ainsi que des accidents tels que Sévésco, ont conduit à ce que cette famille chimique fasse l'objet d'un intérêt croissant auprès de la population, des politiques et des scientifiques. A la demande du Ministère chargé de la Santé et de l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie, cette étude a été confiée à l'Institut de Veille sanitaire (InVS) et au Centre Rhône-Alpes d'Epidémiologie et de Prévention Sanitaire (CAREPS) afin de préciser la situation française des "dioxines" dans le contexte européen et d'identifier les facteurs expliquant les variations des teneurs dans la population.

Cette étude apporte les premiers résultats en France sur les concentrations d'HAPC permettant une comparaison avec ceux de nos voisins européens. En effet, les dosages ont été réalisés auprès d'un nombre de femmes important (n=244) par rapport à ce qui a été réalisé jusqu'à lors en France et à l'étranger. Contrairement à ce qui a été réalisé dans certains pays, nous n'avons pas utilisé la technique des échantillons poolés (i.e. le dosage n'a pas été réalisé sur un échantillon de lait provenant de plusieurs mères). Cette étude a porté sur des dosages individuels, ce qui a ainsi permis d'étudier des facteurs individuels liés à l'urbanisation et l'alimentation. Par ailleurs, les mères réparties sur l'ensemble du territoire ont été incluses selon des critères analogues à ceux de l'enquête européenne de l'OMS menée auprès de 19 pays, notamment auprès de mères primipares de moins de 35 ans allaitant entre la 4^e et la 8^e semaine après l'accouchement.

Concentrations observées de dioxines et furanes

Les teneurs en PCDD/PCDF retrouvées dans le lait maternel sont en moyenne égales à 16,5 pg I-TEQ_{OTAN}/g M.G. et varient de 6,5 à 34,3.

La moyenne est comparable, voire inférieure, à celles de deux études françaises menées sur de petits échantillons composés de femmes ayant des caractéristiques très hétérogènes. Une étude exploratoire menée en 1990 sur 15 échantillons de lait de mères de la région parisienne indiquait une valeur moyenne de contamination égale à 20,1 pg I-TEQ_{OTAN} /g M.G (Gonzales et coll., 1996). L'autre étude française a été réalisée en 1998 par l'Union Fédérale des Consommateurs (publiée dans le magazine "Que Choisir ?") sur le lait de 15 femmes habitant 9 départements et dont sept d'entre elles étaient primipares (Sokolsky, 1998). On ne dispose pas d'informations sur l'âge, la corpulence, le moment de recueil de l'échantillon. Les teneurs de PCDD/F dans le lait variaient de 14,6 à 35,2 pg I-TEQ/g M.G.

Par ailleurs, nos résultats sont similaires, voire un peu inférieurs à ceux rapportés dans les années 1990 en Belgique, en Espagne, en Allemagne ou aux Pays-Bas (WHO 1993). Selon une étude japonaise auprès de 415 femmes ayant accouché en 1998 et dont les premiers résultats sont parus dans la presse (AFP du 3 août 1999), le lait maternel testé contenait en moyenne 22,2 pg de dioxines/g de graisse. On ne dispose pas de plus d'informations sur cette étude.

Néanmoins, il faut souligner qu'en Europe, les concentrations de dioxines dans le lait maternel ont baissé d'environ 30 à 50 % au cours de la période 1988 à 1993.

Cette réduction résulte vraisemblablement des mesures prises pour réduire l'exposition de l'homme aux dioxines en limitant et contrôlant les rejets dans l'environnement (mesures qui se répercutent le long de la chaîne alimentaire), et en établissant des concentrations limites dans les aliments. Une série de mesures réalisées dans la région industrielle de nord Westphalie en Allemagne montre une diminution des concentrations dans le lait d'environ 41 % de 1992 à 1997 (10 % par an ; EU. Task 5, 1999). Les résultats attendus (1998-1999) de l'enquête OMS sur les dioxines menée dans divers pays européens seront donc nécessaires pour réellement situer les niveaux français dans le contexte international.

Par ailleurs, il est à préciser que les données de l'OMS obtenues en 1993 sont assez peu explicites quant aux conditions d'échantillonnage, ce qui limite la comparaison. De plus, les échantillons sont généralement poolés et portent sur de petits effectifs. Les caractéristiques des sujets inclus sont rarement décrites, notamment l'âge, qui nous le verrons, est un facteur qui influence nettement les concentrations de PCDD/F.

En 1997, l'OMS a réévalué les facteurs d'équivalent toxique (TEF) concernant les PCDD et les PCDF, compte tenu de la disponibilité d'informations toxicologiques plus précises. On dispose donc désormais des indices de l'OTAN (NATO) publiés en 1988 qui permettent la comparaison entre les données fournies jusqu'à présent dans les différents pays en raison de leur large utilisation, et des indices de l'OMS 1997. Par souci de comparaison avec les données déjà publiées en Europe, les résultats ont été présentés avec la nomenclature de l'OTAN. Cependant, la conversion avec les indices de l'OMS de 1997 est aisée. L'utilisation des nouveaux TEF relatifs aux PCDD/F augmente d'environ 10 % à 20 % les calculs de TEQ basés sur l'OTAN et ne repose que sur la modification des TEF pour la 1,2,3,7,8 PeCDD et les OCDD et OCDF.

Dans notre étude, les résultats selon les deux nomenclatures étaient respectivement de 16,5 pg I-TEQ_{OTAN} et 19,6 pg I-TEQ_{OMS97} par gramme de matière grasse.

Les congénères les plus toxiques (selon leur TEF) sont la 2,3,7,8 TCDD, la 1,2,3,7,8 PeCDD et le 2,3,4,7,8 PeCDF. La prise en compte simultanée du TEF et de la concentration du congénère dans le lait, indique que dans cette étude, ceux qui contribuent le plus à l'exposition (exprimée par la valeur de l'équivalent toxique total (I-TEQ)) sont le 2,3,4,7,8 PeCDF, suivi par la 1,2,3,7,8 PeCDD, la 1,2,3,6,7,8 HCDD et la 2,3,7,8 TCDD. Cette dernière, définie comme la molécule la plus toxique, ne représente qu'environ 10 % de l'exposition exprimée par les TEQ PCDD/F, ce qui est généralement observé.

Validité des dosages

Pour s'assurer de la qualité des dosages, il s'avérait nécessaire de procéder à une intercomparaison entre laboratoires. Elle a été réalisée auprès de trois laboratoires, deux français, celui de l'étude, CARSO et le laboratoire municipal de la ville de Rouen, le troisième étant le laboratoire du RIVM situé aux Pays-Bas, coordinateur de l'enquête OMS de 1993.

Le terme de "dioxines" désigne un groupe de substances aromatiques polychlorées ayant des structures, des propriétés physiques et chimiques similaires. Les dioxines dosées dans cette étude sont les plus étudiées car les plus toxiques ; elles sont constituées de 17 congénères avec des atomes de chlore en position 2,3,7,8 (7 dibenzodioxines, PCDD et 10 dibenzofuranes, PCDF), dont le plus toxique et le plus connu est la 2,3,7,8 TCDD.

En raison de la forte toxicité et des faibles concentrations de dioxines dans les échantillons biologiques (fourchette étroite en pg/g M.G.), il est indispensable de disposer de méthodes d'analyses fiables, spécifiques et sensibles, capables de déterminer les différents congénères. Leurs dosages nécessitent dans un premier temps l'obtention d'extraits suffisamment concentrés et purifiés. La seule technique appropriée actuellement pour bien doser dans un second temps les dioxines est la chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse haute résolution (CG/SMHR). C'est une technique difficile, coûteuse et pratiquée par peu de laboratoires.

L'intercomparaison effectuée sur 20 échantillons de lait a montré une bonne qualité des dosages obtenus par le laboratoire de l'étude. Elle s'appuie sur l'observation de dispersion analogue et d'une bonne corrélation des valeurs entre les laboratoires français et hollandais. On observe cependant un petit décalage systématique d'un picogramme vers les valeurs les plus élevées pour les laboratoires français vis à vis du laboratoire référent de l'OMS, indiquant probablement une petite différence de calibration. Ces résultats montrent aussi une faible variabilité entre les divers laboratoires (de l'ordre de 10%), conforme à ce qu'on observe habituellement et qu'il faut garder à l'esprit pour comparer les données entre pays et dans le temps.

Participation

En raison du manque d'acceptabilité des prélèvements de sang ou de tissu graisseux, la plupart des dosages de PCDD/F sont basés sur l'analyse d'échantillons de lait maternel (qui de plus concentre davantage les dioxines que le plasma sanguin, en raison de sa forte teneur en lipides) recueillis grâce à la collaboration de maternités. Ce dernier constitue un bon indicateur de la contamination, évite tout geste invasif et favorise ainsi la participation des personnes à l'enquête. C'est une des raisons pour lesquelles il est le plus utilisé actuellement pour l'étude des organochlorés, mais il a l'inconvénient de ne concerner qu'une partie restreinte de la population.

Cette étude, réalisée durant les années 1998 et 1999, a été facilitée par l'existence en France d'un réseau de lactariums qui a permis d'inclure des mères provenant de l'ensemble des régions. Néanmoins, elle ne permet d'obtenir qu'un reflet partiel de l'exposition dans la population française car elle ne concerne que les femmes allaitantes qui ont une démarche volontaire auprès du réseau de lactarium, même si par ailleurs le taux de refus de participation était assez faible (rapporté par les lactariums comme étant globalement inférieur à 10 %). En outre, par comparaison aux statistiques nationales, ces femmes appartiennent à des catégories socioprofessionnelles plus élevées et sont plus nombreuses à vivre en secteur rural.

Il est donc difficile d'estimer si ces femmes ont des teneurs en dioxines plus élevées ou plus basses que celles du reste de la population française féminine. Cependant, il en est de même dans les autres pays européens car le coût des analyses est très élevé. Ainsi ce coût ne permet pas d'inclure un nombre suffisant de personnes, nécessaire pour obtenir une bonne représentativité de la population générale, même avec une stratégie utilisant un échantillonnage aléatoire

Lait et santé du nourrisson

Les effets des résidus alimentaires dans le lait constituent une préoccupation majeure des acteurs de santé publique dans la mesure où la protection du jeune enfant est en cause. En l'état actuel des connaissances scientifiques, le seul élément quantifiable concerne l'évaluation de l'exposition des enfants nourris au sein. En se fondant sur les résultats obtenus dans cette étude, l'apport journalier pour un nourrisson de 5 kg consommant quotidiennement 700 ml de lait contenant 3 % de graisse est de 69,3 pg I-TEQ/kg de poids corporel, et ne concerne qu'une brève période de la vie. Si cette dose quotidienne est absorbée pendant une période d'allaitement de 6 mois, elle représente moins de 4 % de la dose totale absorbée au cours d'une vie, le reste du temps, l'exposition quotidienne dans les pays industrialisés se situant entre 1 et 3 pg I-TEQ/ kg de poids corporel. Cette dernière valeur est comparable à la dose journalière admissible (DJA) de 1 à 4 pg I-TEQ/ kg de poids corporel recommandée par l'OMS pour assurer une protection à long terme de la santé des personnes. Il convient de souligner que cette valeur limite est calculée pour une exposition chronique vie entière d'un adulte pesant 70 kg et que par construction elle comporte une marge de sécurité vis à vis des risques sanitaires. Ainsi, un dépassement de cette valeur n'implique pas nécessairement des effets sanitaires chez le nourrisson, effets de surcroît difficilement quantifiables en l'état actuel des connaissances. De ce fait, des recherches complémentaires doivent être développées.

De plus, il faut rappeler les effets bénéfiques de l'allaitement, en particulier sur le risque infectieux et le développement cognitif de l'enfant, qui ont été observés dans de nombreuses études. L'OMS en 1998 soulignait qu'en dépit de la contamination du lait maternel, les études montraient que l'allaitement maternel continuait d'être associé à des effets bénéfiques et recommandait : "En dépit de la présence de PCB, PCDD et PCDF dans le lait maternel, il conviendrait d'encourager et de faciliter l'allaitement maternel au vu des avantages évidents du lait maternel pour la santé en général et pour la croissance du nourrisson" et concluait que l'état des connaissances actuelles ne justifiait pas de limiter l'allaitement maternel, ni de supprimer certains aliments particuliers de l'alimentation. L'OMS signalait également que les effets légers observés dans certaines études étaient plutôt associés à l'exposition transplacentaire qu'à l'allaitement maternel. Actuellement, une expertise collective de l'INSERM sur les dioxines est en cours et devrait permettre d'obtenir des données plus récentes sur la question.

Facteurs influençant les niveaux d'HAPC

Caractéristiques de la mère et du lait

La toxicocinétique de l'indicateur HAPC dans le lait nous a conduit à étudier diverses caractéristiques liées aux modalités de son recueil et à la mère, et pouvant se répercuter sur les dosages observés. Ainsi, cette étude montre que des caractéristiques liées à la mère (âge, corpulence, consommation tabagique) ou au prélèvement (teneur lipidique du lait) influencent de façon notable les niveaux d'HAPC du lait, et leur non prise en compte dans l'analyse et l'interprétation des résultats peut conduire à des conclusions erronées.

Le lait est élaboré par la mère à partir de matériaux qu'elle synthétise ou qu'elle prélève dans diverses réserves corporelles. L'étape clé est la phase d'exportation de ces matériaux, qui peuvent comprendre des substances étrangères non nutritionnelles (xénobiotiques) comme les HAPC. Ce passage est fonction de diverses propriétés physicochimiques des xénobiotiques, en particulier le poids moléculaire, le degré d'ionisation, la polarité, l'affinité pour les protéines et leur caractère lipophile. Parmi les 17 congénères dosés, on peut s'attendre à ce que les comportements lors du transfert des graisses vers le lait soient assez différents.

De plus, le lait est un liquide biologique complexe qui évolue au cours du temps. La distribution et l'exportation des résidus alimentaires dans le lait sont en relation avec le stade de la lactation, l'état nutritionnel de la mère, le moment de la journée, voire le début ou la fin d'un même allaitement (Martinet 1993). La teneur en protéines et en lipides du lait varie en sens inverse au cours de la lactation, le colostrum (premier lait) étant plus riche en protéines mais plus pauvre en lipides que le lait mature.

Malgré ces possibles variations, les HAPC dans le lait restent de bons indicateurs d'exposition aux "dioxines" à condition de tenir compte des facteurs qui peuvent les influencer (Sim 1992).

• L'âge maternel

L'âge maternel a été retrouvé comme étant le facteur le plus déterminant des niveaux d'HAPC dans le lait ; les niveaux les plus élevés étant observés chez les femmes de plus de 30 ans. Ainsi, dans notre étude, pour un écart d'âge de 5 ans, les teneurs de PCDD/F sont supérieures en moyenne de 24 %, ce qui est tout à fait cohérent avec les travaux d'Albers (1996) qui, selon les substances organochlorées, observe des variations de 13 à 38 %. Ces substances très lipophiles et peu biodégradables, en raison d'une lente métabolisation et élimination, s'accumulent au cours du temps dans les graisses animales (demi-vie dans l'organisme d'environ 7 ans). Elles se retrouvent dans les tissus humains et les liquides biologiques tels que le lait, milieu riche en lipides, qui constitue la voie majeure d'excrétion et peut par conséquent être utilisé comme un indicateur biologique de la charge corporelle, c'est à dire d'une accumulation au cours de plusieurs années. Cette relation avec l'âge est un fait désormais bien établi (Dewailly 1996, Cuijpers 1997).

• La corpulence

L'association négative observée entre la corpulence exprimée par l'indice de Quetelet et les concentrations d'HAPC dans le lait a été signalée dans la plupart des études (Jensen 1991, Dewailly 1996, Albers 1996, Cuijpers 1997). Elle est, comme nous l'avons également constaté, plus marquée avec la corpulence après la grossesse. Ce résultat est en accord avec la théorie de Vollebregt (1990) qui prétend qu'une forte corpulence facilite la dilution de ces substances toxiques dans le tissu adipeux.

• Lipides du lait maternel

De façon analogue, plus le pourcentage de lipides dans le lait est élevé, plus le niveau d'HAPC est bas. Les HAPC sont dosés dans la fraction lipidique du lait, et on assiste donc également à un effet de dilution. On constate que ce facteur est important, dans la mesure où, dans notre étude, les échantillons présentant les dosages les plus élevés renfermaient les teneurs en lipides parmi les plus faibles. C'est donc un paramètre dont il faut tenir compte dans l'analyse même si cela n'a pas toujours été le cas dans de nombreuses études étrangères.

Les lipides représentent en moyenne 3,01 % de la quantité de lait dans les échantillons de l'étude (prélevés essentiellement entre la 4^e et la 8^e semaine après la naissance), ce qui est similaire aux résultats observés aux Pays-Bas (2,97 %, Tuinstra 1994) mais un peu plus faible qu'en Finlande (3,58 % et 3,30 %, Vartiainen 1997).

Selon Jensen (1992), les lipides du lait maternel sont susceptibles d'être influencés par divers facteurs tels que la période d'allaitement et l'alimentation entre autres.

Ainsi, la quantité de lipides augmenterait durant l'allaitement. Elle passerait de 3,98 % à 12 semaines à 5,50 % à 16 semaines. La quantité de graisse et le taux de sécrétion (g/jour) augmenteraient durant la lactogénèse (1 à 8 jours) et diminueraient au moment du sevrage. En fait, les résultats observés dans les diverses études sont contradictoires. Nous n'avons pas observé de relation significative et monotone avec la période de collecte, sans doute liée au fait que celle-ci s'étendait sur une période relativement courte.

En général, les quantités de lipides, protéines et de lactose sont peu modifiées par des variations alimentaires. Ainsi, Nommsen (1991) n'observe aucune relation entre la consommation et le pourcentage de lipides du lait, alors qu'Hachey (1989) observe 2,5 % de lipides dans le lait de 5 femmes ayant une alimentation pauvre en graisse (5%), contre 3,3 % chez de fortes consommatrices (40 % de graisses). Dans notre étude, nous n'avons pas retrouvé d'association entre les quantités consommées et le pourcentage de lipides du lait, à l'exception du poisson. En effet, plus les quantités consommées étaient importantes, plus le pourcentage de lipide était faible.

Par ailleurs, si une association positive a parfois été rapportée entre la corpulence, en particulier la masse adipeuse, et les concentrations lipidiques du lait, nous ne l'avons pas retrouvée dans cette étude.

• Tabagisme

Un résultat un peu surprenant est celui des niveaux élevés de plusieurs congénères (tendance avec les PCDD/F) chez les non fumeuses en comparaison à celui observé chez les fumeuses et ex-fumeuses, pourtant susceptibles d'inhaler des HAPC. En fait, cette observation a déjà été rapportée par Fürst (1992) et Cuijpers (1997). L'explication actuelle repose sur la théorie selon laquelle le tabagisme favoriserait un métabolisme particulier des congénères et donc leur excrétion.

La prise en compte des facteurs identifiés ci-dessus comme étant liés aux niveaux de "dioxines" a permis d'étudier le rôle propre de l'alimentation, de l'urbanisation et de l'industrialisation.

Alimentation, urbanisation, industrialisation

La plupart des dioxines pénètrent dans l'environnement par émission dans l'atmosphère, suivie par une redéposition à la fois à proximité et loin de la source. Le dernier rapport de l'Union Européenne (1999) indique également l'influence des sites d'enfouissement de déchets. Ces substances résistent aux processus de transformation chimique et biologique, et donc, persistent dans l'environnement et s'accumulent dans la chaîne alimentaire. Le temps de rétention dans l'environnement est ainsi vraisemblablement de plusieurs années.

Comme pour l'ensemble des résidus alimentaires, il convient de considérer divers facteurs de contamination (Bories 1993) :

- le régime alimentaire de l'individu, lié aux différences culturelles et de classes sociales ;
- la localisation géographique du consommateur humain et, si possible, des végétaux cultivés et paturés, des animaux, en relation avec le degré de pollution de l'environnement ;
- la superposition des contaminations d'origine non alimentaire, notamment celles liées aux occupations professionnelles ou à une exposition particulière de type industriel.

Ainsi, l'étude de ces divers facteurs tend à montrer la nette influence de l'alimentation et le rôle modéré de l'urbanisation et celui de l'industrialisation.

• Alimentation

Hormis les caractéristiques liées aux modalités de recueil du lait et à la mère, l'alimentation constitue le facteur prédominant de contamination du lait maternel par les HAPC. En effet, cette voie d'exposition aux dioxines, la plus importante pour l'homme, contribue pour environ 90 % de l'exposition totale. La principale exposition de la population est reliée à une forte consommation de graisses animales.

Cette étude montre l'influence de divers groupes d'aliments d'origine animale : les produits de la pêche, le porc, les oeufs et les volailles.

Les données de consommation n'ont pas été obtenues par un entretien diététique mais par questionnaire. Celui-ci, plus précis que celui de l'enquête OMS, a permis de quantifier l'alimentation d'origine animale de manière semi-quantitative par le recueil de la taille des portions des différents aliments (en trois classes) et les fréquences de consommation mensuelle.

Ces données sont assez conformes à celles de la consommation nationale obtenues par l'enquête ASPCC réalisée en 1994 et traitée par le CREDOC. Elles ont été complétées par une transposition en apport de lipides et de dioxines par aliment ou groupe d'aliments (concentrations dioxiniques moyennes françaises fournies par le panier de la ménagère réalisée par la DGAL). Les quantités d'aliments exprimées en grammes sont les seules à avoir été présentées, par souci de simplification et d'homogénéité de présentation des résultats. De plus, la présentation de données brutes (en grammes) est plus facile à appréhender que le pourcentage de tel ou tel aliment dans l'alimentation globale. Cependant, il est important de souligner que ces relations présentées sont non seulement robustes, mais sont également cohérentes avec celles observées avec les autres variables pour un même type d'aliment.

La contamination des aliments par les dioxines et les furanes provient essentiellement des dépôts d'origines diverses sur les terres agricoles. Parmi les autres sources, on peut citer les aliments contaminés destinés à l'alimentation des vaches, volailles et poissons d'élevage, l'épandage des boues d'épuration, l'inondation des pâturages, les effluents, la transformation des produits alimentaires et le contact avec des matériaux d'emballage blanchis au chlore.

Bien que la provenance de la contamination environnementale puisse être variée, on retrouve ces contaminants simultanément dans divers échantillons biologiques et finalement dans l'organisme par l'ingestion d'aliments qui sont pratiquement tous plus ou moins contaminés, dont le poisson, la viande et les produits laitiers.

Les concentrations de dioxines mesurées dans les aliments d'origine animale de plusieurs pays se situent entre 0,7 et 2,5 pg I-TEQ/g de matière grasse dans les produits laitiers (lait, beurre, fromage) et entre 0,4 et 1,8 pg I-TEQ/g de matière grasse dans le boeuf, le porc et la viande de volaille. Dans les poissons, on a constaté des concentrations élevées par rapport à d'autres produits d'origine animale. Selon les produits, les concentrations se situent entre 0,5 et 5 pg I-TEQ/g de poisson. Quant aux coquillages, les concentrations sont encore bien plus élevées. L'exposition par l'environnement à des congénères moins toxiques de dioxines (TEF faible) se produit souvent à des concentrations plus fortes.

Les produits de la pêche

Les poissons, les coquillages et les crustacés ont largement été utilisés comme indicateurs de l'environnement aquatique car ils accumulent de façon importante les "dioxines". Leurs concentrations sont généralement supérieures à celles observées chez les animaux terrestres et se distinguent aussi entre poissons gras ou maigres, et entre poissons de mer ou de rivière.

La consommation moyenne de poisson de l'étude (20g/j) est comparable aux données françaises du CREDOC (24g/j). Par contre, il semble que celle concernant les coquillages et les crustacés ait été un peu sous estimée. Une autre validation de nos données par le CREDOC concerne la consommation régionale de poisson qui a été effectivement retrouvée comme étant plus importante dans l'Ouest et en Ile-de-France.

Dans notre étude, la consommation des produits de la pêche est surtout associée à l'augmentation de certains furanes, en particulier le 2,3,7,8 TCDF, ainsi que le 1,2,3,7,8 PeCDF, le 2,3,4,6,7,8 HCDF, le 1,2,3,4,7,8,9 HpCDF et l'OCDF. Ce résultat se traduit par une augmentation de ces congénères de l'ordre de 5 à 6 % avec une hausse de la consommation mensuelle d'environ 300 grammes (soit de 10 g/j), une des plus importantes en comparaison avec les autres aliments.

Ces observations sont en partie corroborées par des analyses réalisées en Allemagne dans les poissons. Non seulement elles indiquent que les profils de congénères sont différents de ceux des animaux terrestres, mais également que dans la plupart des échantillons prédominent les PCDF et notamment le 2,3,7,8 TCDF et le 2,3,4,7,8 PeCDF (EU - Task 4, 1999). De même, dans un fjord contaminé de Norvège, une augmentation significative a été observée entre les niveaux sanguins de PCDD/F d'hommes âgés de 40 à 54 ans et leur consommation de crabe et ceci de façon plus marquée avec les PCDF (Johansen 1996).

Des études étrangères ont montré l'importance de la consommation de poisson sur la contamination humaine en dioxines et notamment de poisson gras, comme cela a également été constaté dans notre étude (Dewailly 1991, Cuijpers 1997, Albers 1996). Cette relation a généralement été observée en utilisant la fréquence de consommation de poisson. Dans la présente étude, elle a aussi été retrouvée avec la quantité mensuelle consommée en grammes ou en grammes de lipides ainsi qu'avec le pourcentage de lipides apportés par le poisson.

Cependant, la consommation des produits de la pêche n'est pas nécessairement celle qui contribue le plus à la contamination, car il faut tenir compte également des autres aliments. En France, elle est similaire (37 g/j), voire un peu inférieure à celle de nos voisins européens (Danemark : 24 g/j ; Finlande 39,4 g/j ; Suède : 34,1 à 124 g/j selon la population ; Espagne : 72 g/j).

Selon les pays, l'apport de dioxines par le poisson, comparé à celui apporté par la viande, est très différent. Il peut lui être inférieur comme en Allemagne (10 % par le poisson contre 28,5 % par la viande), en Hollande (4 % contre 18 %) ou en Grande Bretagne (4 % contre 12 %) ; équivalent comme en Espagne (9,9 % contre 14,5 %) ou bien supérieur comme en Suède (38 % contre 9 %) ou en Finlande (63 % contre 11 %). En France, l'estimation réalisée par l'AFSSA en juin 1999 indique une contribution à l'exposition de 26 % pour les produits de la mer et de 15 % pour les produits carnés dont environ 1 % pour la viande de porc.

Le porc

Sa contribution à l'exposition du consommateur français semble peu importante. Elle est similaire à celle de la Finlande, mais beaucoup plus faible qu'en Allemagne où l'apport en dioxines par la consommation de viande de porc est estimé à 12 %. Les données d'alimentation disponibles actuellement ne permettent pas toujours de préciser si les Français sont de plus forts consommateurs de porc que leurs voisins européens. Cela est peu probable, excepté en Finlande où la consommation de porc est particulièrement faible puisqu'estimée à 7,3 grammes par jour en comparaison au 26 g/j de notre étude.

Au vu des analyses réalisées en Europe, la viande de porc est un aliment dont les concentrations de "dioxines" sont relativement faibles, probablement du fait de sa forte teneur lipidique responsable d'une dilution des HAPC.

C'est pourquoi, il est un peu surprenant de constater à quel point cet aliment a été retrouvé associé à l'augmentation globale de PCDD/F et de nombreux congénères. Plus précisément, il influençait d'une part, les concentrations de dioxines et en particulier de 1,2,3,7,8 PeCDD et 1,2,3,6,7,8 HCDD et d'autre part, celles de furanes, dont les 2,3,4,7,8 PeCDF, 1,2,3,4,7,8 HCDF, 1,2,3,6,7,8 HCDF et 1,2,3,4,6,7,8 HpCDF. Une augmentation de la consommation mensuelle de 300 grammes s'accompagnerait d'une hausse de l'ordre de 2 à 3% de ces congénères (4 % pour 1,2,3,4,6,7,8 HpCDF).

Selon le laboratoire CARSO, les congénères 1,2,3,7,8 PeCDD, 1,2,3,6,7,8 HCDD et 2,3,4,7,8 PeCDF sont effectivement des contaminants que l'on retrouve fréquemment dans l'alimentation.

Par ailleurs, les ajustements effectués sont censés éliminer l'influence des autres aliments et de la zone de résidence vis à vis des associations étudiées. Cependant, il est à noter que d'une part, les consommatrices de porc résidaient plus fréquemment en zone rurale où les concentrations de 1,2,3,7,8 PeCDD et 1,2,3,6,7,8 HCDD étaient plus élevées et que d'autre part, la consommation de porc était associée positivement à celle de lait et à la consommation totale de produits d'origine animale.

Les données disponibles dans la littérature scientifique internationale concernant les associations entre l'alimentation et notamment la viande et les dioxines sont encore peu nombreuses. Généralement, la viande est citée comme appartenant au groupe d'aliments contribuant le plus à la contamination, avec le poisson, le lait et les produits laitiers.

Ainsi, en Hollande, Cuijpers (1997) a observé une relation positive entre le boeuf, les produits carnés et les PCBs, mais pas avec les PCDD/F. Cependant, cet auteur signale une relation négative avec le porc, similaire à celle décrite par son collègue Albers (1996) avec l'alimentation traditionnelle omnivore. Ce résultat un peu troublant reflète peut-être le fait que les fortes consommatrices de porc étaient de faibles consommatrices de poisson.

Les volailles et les œufs

Dans notre étude, divers congénères de furanes augmentent avec la consommation d'œufs ou de volaille, mais pas avec celle de bœuf.

Les mères participantes ont une consommation d'œufs similaire à celle du niveau national (œufs : 21 g/j contre 22 g/j). Par contre, la consommation de volaille semble un peu plus faible (volaille_{étude} : 24 g/j contre volaille et gibier_{ASPPC} : 31 g/j).

Le niveau habituel de contamination des œufs en PCDD/F est un peu supérieur à celui de la viande ; il se situe entre 1 et 2 pg TEQ/g de M.G et varie selon le type d'élevage et d'alimentation des volailles (batterie, au grain, en liberté). En Finlande, la contamination peut parfois être particulièrement élevée en raison d'une alimentation partielle des poules par des aliments à base de poisson.

Leur contribution dans l'apport alimentaire total de dioxines ne dépasse pas généralement 5 % (Espagne : 1,7 % ; Grande Bretagne : 4 % ; Suède : 2 % ; Finlande : 3 % ; Danemark : 1,8 % ; France : environ 3 % et 6 % avec les produits dérivés ; Allemagne : 7 %).

En France, l'apport dioxinique par les volailles et gibiers est estimé à environ 2 %, ce qui est comparable à celui de l'Allemagne (1,8 %) et du Danemark (3,5 %).

Indépendamment des particularités alimentaires de chaque pays, ces estimations (E-U Task 4 1999) sont évidemment sujettes à des modalités de calculs différentes.

Dans notre étude, la consommation d'œufs des mères fait augmenter les concentrations de PCDF dans le lait, en particulier celles de 1,2,3,6,7,8 HCDF, 2,3,4,6,7,8 HCDF et dans une moindre mesure de 2,3,4,7,8 PeCDF. La consommation de volaille est surtout associée à une élévation de 1,2,3,4,7,8,9 HpCDF et d'OCDF et un peu moins à celle de 1,2,3,7,8,9 HCDF et de 1,2,3,4,6,7,8 HpCDF. Les congénères impliqués ne sont donc pas les mêmes pour les œufs et les volailles. Ceci s'explique peut-être par le type de lipides en cause ou par leur provenance qui n'est pas nécessairement la même et donc par le fait que ces deux groupes d'aliments ont pu subir des contaminations différentes.

Les produits laitiers

Si le lait et ses dérivés sont généralement incriminés comme le groupe d'aliment majeur de la contamination par les dioxines, aucune association significative n'a pu être observée avec eux. Pourtant une telle association a été signalée par l'équipe de Cuijpers et Albers en Hollande.

Dans notre étude, le questionnaire alimentaire moins précis et complet qu'un entretien diététique n'a peut-être pas permis d'appréhender l'alimentation lactée avec suffisamment de finesse. Par ailleurs, la consommation déclarée par les mères est supérieure à la consommation nationale (382 g/j contre 280 g/j). On peut s'interroger si cette consommation avant la grossesse n'a pas été surestimée du fait qu'elle était déclarée par ces femmes au moment de l'allaitement et qu'elles consommaient vraisemblablement plus de laitages depuis le début de leur grossesse.

En France, les produits laitiers sont censés apporter 39 % de l'exposition par l'alimentation (38 % en Allemagne et 16 % en Espagne). C'est d'ailleurs une des raisons pour lesquelles la Direction Générale de l'Alimentation développe des plans de surveillance de cet aliment sur le territoire français depuis quelques années.

Les données récentes semblent indiquer qu'au cours des deux dernières décennies, l'exposition alimentaire moyenne en Europe a diminué d'environ 10% par an. Cette situation serait due à des changements alimentaires d'une part, et à une baisse des niveaux de dioxines dans l'alimentation d'autre part.

Cependant, le niveau d'exposition aux dioxines de la population générale des pays industrialisés d'Europe atteint encore des niveaux élevés. L'apport alimentaire quotidien moyen en Europe de PCDD/F est estimé entre 50 et 200 pg I-TEQ/personne, c'est à dire entre 0,9 et 3 pg I-TEQ/kg de poids corporel pour un homme de 70 kg. Or, l'OMS recommande une dose journalière admissible (DJA) de 1 à 4 pg I-TEQ/kg et incluant depuis peu les PCBs "dioxin-like", ces derniers contribuant autant que les dioxines à l'apport alimentaire. Ainsi, il est possible qu'une fraction de la population excède la valeur limite recommandée, mais ceci ne signifie pas que des effets sanitaires puissent apparaître, compte tenu de la marge de sécurité qui est incluse dans le calcul de la DJA.

Certains individus ou sous-groupes de population peuvent donc être considérés comme plus exposés aux dioxines du fait de leurs apports alimentaires en dioxines plus importants que la moyenne. Ce sont généralement de forts consommateurs de graisses et, notamment, de produits de la pêche et de poissons gras, mais aussi de viande et de produits laitiers.

Selon Di Domenico (1990), les fruits et les légumes contribueraient de façon non négligeable à l'exposition de la population (9 % pour les fruits et légumes en France selon l'AFSSA). Ils n'ont pas été retenus dans cette étude. Toutefois, la teneur en matières grasses des végétaux étant généralement faible, leurs concentrations en dioxines sont proches de la limite de détection actuelle. Si l'étude avait porté sur une population résidant autour d'un site émetteur de dioxines, il eut été important d'en tenir compte en raison des phénomènes d'autoproduction et d'autoconsommation.

L'alimentation constitue un des derniers maillons de la contamination humaine. Elle est révélatrice notamment d'une pollution de fond provenant d'industries et de sources plus diffuses. C'est pourquoi, divers facteurs de contamination ont également été étudiés, tels que la localisation géographique du consommateur en relation avec le degré de pollution de l'environnement et la superposition des contaminations d'origine non alimentaire, en particulier celles liées à une exposition de type industriel.

• Urbanisation

Si, en ville, on a noté une augmentation dans le lait des concentrations de 2,3,7,8 TCDF et de la 2,3,7,8 TCDD, il semble qu'à la campagne ce soit la 1,2,3,7,8 PeCDD et la 1,2,3,6,7,8 HCDD et donc également les PCDD qui soient concernées, et ceci même après la prise en compte de l'alimentation.

Il est souvent difficile de déceler l'origine d'une contamination et de l'attribuer à une source unique bien identifiée. Le rapport de l'Union Européenne sur les dioxines, bien que prudent quant à de possibles différences entre les zones rurales et urbaines - car les données étaient agrégées (laits poolés) - présentait des taux croissants dans le lait entre les zones rurales, urbaines et industrielles. Les zones rurales éloignées des centres urbains et industriels sont généralement moins polluées, notamment par les contaminants industriels. En effet, l'atmosphère en milieu urbain et industriel contiendrait des valeurs de PCDD/F de l'ordre de 5 à 10 fois plus élevées qu'en région rurale (étude en Suède, Vainio, 1989). D'ailleurs Vartianen en Finlande (1997) a observé une contamination du lait par les PCDD/F plus importante en zone urbaine qu'en zone rurale.

Cependant, la contamination par les produits agrochimiques est plus importante dans les zones d'agriculture intensive. On peut donc s'interroger sur la présence de 1,2,3,7,8 PeCDD et la 1,2,3,6,7,8 HCDD en quantité plus importante dans les laits de mères de zone rurale (15 à 20 % pour 5 ans de résidence). Cette situation pourrait être le reflet de diverses sources telles que l'utilisation dans le passé de produits agrochimiques contaminés ou d'opérations de brûlage de produits divers dont la combustion aboutit à la formation d'HAPC, à moins que ces associations ne soient un reflet de l'alimentation insuffisamment prise en compte dans l'analyse (cf. alimentation ci-dessus).

Les teneurs de 2,3,7,8 TCDF dans le lait ont été retrouvées associées à l'urbanisation et à la densité d'industrialisation. En fait, les mères qui demeuraient surtout en centre ville (résidence et profession) ou dans les communes les plus industrialisées présentaient une augmentation de 2,3,7,8 TCDF. Par ailleurs, nous avons noté une tendance à l'augmentation des concentrations de 2,3,7,8 TCDD dans les villes de plus de 100 000 habitants.

Bien sûr, l'urbanisation et l'industrialisation sont deux facteurs largement imbriqués. Il est vrai aussi que la densité d'industrialisation n'est pas un indicateur très spécifique, puisqu'il ne discrimine pas les divers types d'industrie, notamment, celles émettrices de dioxines et parmi ces dernières, celles qui sont particulièrement polluantes. Si les incinérateurs de déchets sont souvent considérés comme une source importante de dispersion atmosphérique de

“dioxines” et focalisent à ce titre l'attention, d'autres sources industrielles sont vraisemblablement aussi très importantes, comme l'industrie métallurgique. Par ailleurs, il est encore difficile d'évaluer l'influence de sources plus diffuses. On sait que les dioxines peuvent être produites par des opérations de brûlage ou des feux de forêt, elles peuvent l'être aussi par le trafic routier. Toutefois, celui-ci semble contribuer assez modestement aux rejets de PCDD/F. En Suède, les émissions dues au trafic en équivalent TCDD ont été estimées annuellement entre 5 et 15 g. Les sites d'enfouissement de déchets semblent constituer également des réservoirs importants de dioxines (E.U. Task 3, 1999). Une bonne connaissance des profils de congénères présents dans les zones urbaines ou industrialisées permettrait de vérifier si l'influence particulière des deux molécules ci-dessus est pertinente.

• Influence de sources proches émettrices d'HAPC

Si l'industrialisation a été étudiée de façon globale via la densité d'industries au km², cette étude a exploré également l'impact d'industries plus spécifiques, c'est à dire susceptibles d'émettre des dioxines telles que les industries métallurgiques, de pâte à papier, de pesticides, textiles, pétrolières ou d'incinération.

Les dioxines ne sont pas produites commercialement et n'ont aucune application. Elles se forment au cours des processus de combustion, comme dans les incinérateurs de déchets, ou sont des sous-produits indésirables de processus industriels lors de la production de substances chimiques organochlorées. On les retrouve dans la fabrication de produits de préservation des bois à base de chlorophénol, de fabriques d'agglomérés, de défoliants, d'herbicides, le blanchiment de la pâte à papier à l'aide de chlore. Une des sources importantes de pollution à la dioxine est l'incinération des déchets dont les rejets se déposent sur le sol et l'herbe, entrant ainsi dans la chaîne alimentaire via l'alimentation animale.

Cet aspect spécifique de l'industrie émettrice de dioxines a pu être abordé par une double approche : d'une part, le questionnaire où les mères précisaient la présence ou non d'une industrie à risque de dioxines dans les 5 km autour de l'habitat actuel et d'autre part, le recoupement avec des données du ministère de l'environnement qui indiquaient l'implantation ou non d'une usine d'incinération d'ordures ménagères (UIOM) ou d'une usine métallurgique dans la commune de résidence. Ces deux sources d'information ne se recoupaient pas totalement, si bien que le nombre de femmes susceptibles d'être exposées différait (le plus élevé correspondant à la réponse au questionnaire), mais demeurait toutefois assez restreint.

L'implantation d'une UIOM ou d'une industrie métallurgique dans la commune au cours des dix dernières années (exprimée par le nombre d'années d'exposition cumulées) ne semblait pas influencer les niveaux d'organochlorés du lait maternel, cependant le résultat était plus nuancé pour le lieu d'habitation actuel.

En effet, l'implantation de telles usines dans la commune de résidence, limitée aux 3 dernières années, semblait liée à une augmentation de 2,3,4,6,7,8 HCDF et de 1,2,3,7,8,9 HCDF. Ces relations étaient le fait de 2 ou 3 sujets qui présentaient des valeurs élevées pour une exposition de 3 ans. Avant de conclure si ces observations sont le fruit du hasard, il apparaît nécessaire de vérifier cette relation sur un échantillon plus important de personnes pouvant présenter une telle exposition.

Pour les mères déclarant résider actuellement dans un rayon de 5 km d'une industrie susceptible d'émettre des dioxines, les niveaux de 2,3,4,7,8 PeCDF retrouvés plus élevés dans un premier temps, ne l'étaient plus après la prise en compte des autres facteurs tels que l'alimentation.

On constate donc que les congénères impliqués n'étaient pas les mêmes selon l'approche utilisée. Néanmoins, au Japon, Watanabe (1999) a signalé une augmentation des niveaux sanguins de 2,3,4,7,8 PeCDF et de 2,3,4,6,7,8 HCDF chez des travailleurs exposés de façon chronique aux émissions polluantes d'un incinérateur d'ordures ménagères.

Même s'il est difficile de conclure définitivement, les observations de cette étude sont assez peu favorables à une relation forte avec la proximité d'industries émettrices. En effet, on peut s'interroger sur l'impact réel de l'exposition récente à une industrie émettrice de dioxines sur les concentrations de quelques congénères du lait maternel devant (i) le manque de cohérence entre les résultats des deux approches, (ii) l'absence d'effet d'une exposition prolongée, (iii) et la relation due essentiellement à quelques sujets. Par ailleurs, l'alimentation et les autres paramètres d'urbanisation ne sont pris en compte que de façon grossière.

De plus, des erreurs de classification de la variable “exposition à une UIOM” sont possibles. En effet, aucune différenciation n'a pu être effectuée entre une UIOM peu ou très polluante (émissions de PCDD/F excédant ou non la valeur de 0,1 ng/m³). De plus, une UIOM proche de l'habitat mais implantée dans la commune voisine n'était pas considérée comme exposition potentielle, contrairement à une UIOM dans la commune mais éloignée du lieu d'habitation. Or, selon les études de modélisation (Deister and Pommer 1991), l'impact maximum des PCDD/F se situe dans un périmètre de 500 à 750 m de la cheminée. Les mères de l'étude en étaient-elles suffisamment proches ? Par ailleurs, l'impact d'une telle source d'exposition ne peut se faire que par deux voies: 1) l'inhalation, voie

d'exposition qui contribue très peu en comparaison à l'alimentation, et 2) l'alimentation à partir de produits locaux exposés sous le panache de telles industries.

Il est vrai qu'à partir des différentes études disponibles (Schechter 1991 ; Enquête OMS), une grande variation géographique des niveaux de PCDD/F est retrouvée chez l'homme, avec des niveaux relativement élevés dans les pays industrialisés. Ainsi, l'étude de l'OMS menée en 1989 montrait des niveaux qui variaient de 3 pg I-TEQ/g en Thaïlande et au Cambodge, à 20 pg/g aux E-U et à 26-27 pg/g au Canada et en Allemagne.

Rappelons néanmoins que cette étude n'est pas construite spécifiquement pour étudier l'impact de sources émettrices d'HAPC et qu'elle ne concerne que peu de sujets susceptibles d'être exposés. La prudence s'impose donc vis à vis des résultats observés dans cette étude et des investigations complémentaires spécifiques seront nécessaires pour confirmer ou infirmer nos observations.

• Exposition professionnelle

Aucune relation n'a été observée entre des occupations professionnelles particulières susceptibles d'entraîner une exposition aux dioxines et la contamination du lait.

Cette absence de relation résulte peut-être du faible nombre de femmes ayant exercé une activité à risque de "dioxines" (c'est à dire dans une industrie métallurgique, de pâte à papier, pétrolière, textile, de pesticides ou d'incinération). De nombreuses études ont en effet montré des niveaux plus élevés chez le personnel d'usines de production de trichlorophénols, chez des vétérans du Vietnam exposés à l'agent orange, chez des horticulteurs et autres personnes exposées aux pesticides contaminés par la TCDD, ou intervenant dans la préparation des transformateurs et condensateurs ou pendant la manutention de déchets toxiques.

• Régions

A l'intérieur d'un même pays, les régions se caractérisent par une urbanisation et une industrialisation particulières, mais également par des habitudes alimentaires différentes.

Le recrutement dans l'enquête a été effectué par grande région afin que l'inclusion des mères soit la plus large possible sur tout le territoire, l'objectif n'étant pas d'estimer des valeurs au niveau régional, ce qui aurait nécessité un échantillonnage assurant une bonne représentativité. Les résultats présentés au niveau régional, le sont donc à titre indicatif et permettent seulement de donner quelques tendances.

Ainsi, les mères des deux grandes régions Nord et Sud-Ouest présentent des niveaux particulièrement élevés de certains congénères dans leur lait. Par ailleurs, ceux observés chez les mères résidant dans l'Ouest de la France n'en étaient pas très éloignés. De plus, les femmes avec les concentrations de PCDD/F les plus élevées de l'étude appartenaient en majorité à ces trois régions.

La région "Nord" regroupait en fait le Nord-Pas de Calais, la Picardie, la Champagne-Ardennes, la Haute Normandie et l'Alsace. Les mères de cette région se distinguaient par une concentration moyenne bien plus importante de 2,3,4,7,8 PeCDF ainsi que de 1,2,3,6,7,8 HCDF (et par conséquent de PCDF). Le 2,3,4,7,8 PeCDF a été retrouvé également associé à la consommation de porc (notamment), et dans une moindre mesure à la présence d'une industrie émettrice de dioxines dans les 5 km. Les niveaux plus élevés de 2,3,7,8 TCDD observés dans la région "Nord" semblent indépendants de l'urbanisation, puisque cette association demeure en tenant compte de ce facteur. On sait que la région du Nord est une région à forte industrialisation, avec notamment des industries métallurgiques et une implantation importante d'incinérateurs.

La région "Sud-Ouest" comprenait l'Aquitaine, Midi-Pyrénées et le Poitou-Charentes. Les mères qui y résidaient présentaient les niveaux moyens les plus élevés de 1,2,3,7,8 PeCDD et de 1,2,3,6,7,8 HCDD, même après prise en compte de l'alimentation et de l'urbanisation du lieu de résidence (ces deux substances étaient augmentées lors de consommation de porc et chez les mères résidant en zone rurale). C'est une région qui consomme traditionnellement plus de volailles, poissons, crustacés et mollusques (CREDOC). Sachant que ces deux congénères sont fréquemment associés aux aliments, on peut se demander si l'alimentation a été suffisamment prise en compte au travers de l'ajustement. Par ailleurs, est également soulevée la possibilité d'une contamination par d'anciens produits agrochimiques, d'opérations de brûlage comme évoquée précédemment ou de sources plus diffuses. Néanmoins, la méconnaissance de la provenance de ces congénères rend toute interprétation hasardeuse et difficile.

Les concentrations moyennes de divers congénères observées parmi les femmes de la région "Ouest" (Bretagne, Basse-Normandie et Pays de Loire) sont restées relativement élevées même après la prise en compte de l'alimentation (notamment de poisson et de porc, connue pour être assez importante dans cette région). Des études ont indiqué la possibilité d'observer des concentrations plus élevées dans le lait de mères des régions côtières comme la Bretagne en raison de l'alimentation riche en produits de la mer. Ce résultat peut donc traduire comme ci-dessus une prise en compte insuffisante (sous-ajustement) de l'alimentation ou refléter une autre source d'exposition.

De façon un peu inattendue, en région Ile de France, fortement industrialisée et urbanisée et où la consommation de poissons est parmi les plus élevées, les femmes ne présentent pas les teneurs moyennes de congénères les plus élevées. La proximité de zone urbanisée et industrialisée ne représenterait donc pas des facteurs si importants vis à vis de l'exposition aux "dioxines" et cela confirme indirectement l'importance de la contamination d'origine alimentaire.

Commentaires sur la méthode

L'influence sur les HAPC de divers facteurs a pu être étudiée grâce à l'analyse multivariée. Celle-ci a nécessité l'obtention de données individuelles relativement fines qui ont pu être recueillies par le questionnaire. Les résultats présentés prennent ainsi en compte divers facteurs pouvant masquer la véritable association par les techniques d'ajustement. Afin d'étudier au mieux les différentes relations, nous avons privilégié l'ajustement avec des relations non linéaires.

Néanmoins, dans un souci de comparaison de nos résultats avec ceux d'auteurs comme Albers ou Cuijpers, nous avons également étudié les relations par des modèles de régression linéaire multiple. Ces derniers ont permis d'expliquer un peu plus de 50 % de la variance (R^2), résultat analogue à celui d'Albers (1996).

Enfin, les comparaisons multiples effectuées augmentent le risque d'observer une relation alors qu'en fait celle-ci n'existe pas réellement (risque α supérieur à 5 %). C'est pourquoi, la cohérence des résultats pour un même groupe d'aliments (i.e même association avec différents types de variables) a été étudiée et que nous avons procédé à des analyses de sensibilité.