

RECHERCHES EN ECONOMIE ET SOCIOLOGIE RURALES

RISQUE ALIMENTAIRE ET CONSOMMATION DE PRODUITS DE LA MER : ÉVALUATION DE L'EXPOSITION INDIVIDUELLE DE LONG TERME AU MÉTHYLMERCURE EN FRANCE

L'exposition prolongée au méthylmercure, principalement présent dans les produits de la mer (poissons, mollusques et crustacés), provoque des troubles profonds du système nerveux. L'objectif de cette étude est de quantifier ce risque pour la population française à partir de données de consommation et de contamination. Les consommateurs français susceptibles d'être exposés fortement et durablement à ce contaminant sont identifiés en fonction de leur âge, de leur sexe et de leurs caractéristiques socioéconomiques, afin que des recommandations adaptées aux consommateurs à risque puissent être éventuellement émises. Nous estimons pour l'année 2001 que 6% de la classe d'âge des enfants de moins de 3 ans sont des individus à risque. Par ailleurs, aucun enfant vivant dans un ménage à revenu modeste n'est un individu à risque.

Introduction

L'évaluation quantitative de l'exposition des consommateurs à des contaminants ingérés via la consommation d'aliments est une des priorités de la Food and Agricultural Organisation et de la World Health Organisation (FAO/WHO) depuis 1997. L'attention de la FAO/WHO s'est particulièrement portée sur l'exposition des individus au méthylmercure, principalement présent dans les produits de la mer (poissons, mollusques et crustacés) dont la toxicité avérée agit sur le système nerveux. Le comité d'experts sur les contaminants de la FAO/WHO montre que l'exposition prolongée au méthylmercure provoque des pertes de neurones, de l'ataxie, des troubles visuels et auditifs, et dans certains cas la paralysie des membres (FAO/WHO, 2003). Ces risques sont extrêmes pour les systèmes nerveux en développement (foetus, bébés). Une évaluation à l'exposition du méthylmercure est d'autant plus nécessaire que depuis le 10 juin 2003 les experts de la FAO/WHO ont revu à la baisse la dose hebdomadaire tolérable (DHT) au méthylmercure. Ainsi, la DHT pour l'organisme humain est maintenant fixé à 1.6 µg par kilogramme de poids corporel, sachant que la FAO/WHO a mesuré en moyenne une quantité de 1mg de méthylmercure pour un kilogramme de poissons prédateurs (thon, espadon, raie,...) et 0.5 mg de méthylmercure pour un kilogramme pour tous les autres poissons. A titre illustratif et à poids corporel constant, un enfant de 20 kg qui mange chaque semaine plus de 320 grammes de poissons pré-

dateurs et un adulte de 55 kg qui mange chaque semaine plus de 880 grammes de poissons prédateurs sont au dessus de la DHT. Cette dose tolérable est déterminée pour une vie entière ; un individu dont l'exposition au méthylmercure est supérieure à 1.6 µg par kilogramme de poids corporel pour chaque semaine de sa vie est un individu jugé à risque pour la FAO/WHO. Le risque est d'autant plus avéré que l'élimination du méthylmercure dans le corps humain est très lente. La difficulté majeure est alors de quantifier l'exposition sur la vie entière ou bien, en supposant que la contamination des aliments est fixe, de déterminer les habitudes de consommation de produits de la mer des consommateurs.

Généralement, l'évaluation de l'exposition au méthylmercure d'une population repose sur le calcul de la probabilité de dépasser la DHT. Ainsi, les travaux de Tressou et *al.* (2004) et de Bertail et Tressou (2005) comparent des expositions de court terme (une semaine) à des DHT déterminées pour une vie entière. Cette probabilité de dépasser la DHT doit être alors davantage perçue comme un indice de risque que comme une mesure réelle du risque. L'objectif de cette étude est de fournir une mesure réelle du risque de contamination au méthylmercure en évaluant l'exposition de long terme des consommateurs français au méthylmercure et d'identifier les consommateurs français susceptibles d'être fortement et durablement exposés au méthylmercure en fonction de leur âge, leur sexe et de leurs caractéristiques socioéconomiques afin que des recommandations adaptées aux consommateurs à risque puissent être éventuellement émises.

De l'exposition totale du ménage à l'exposition individuelle estimée

Pour évaluer l'exposition de long terme des consommateurs français au méthylmercure (MeHg), il est nécessaire d'avoir recours à une base de données fournissant des quantités consommées par individu de produits de la mer sur une période de temps assez longue et des données de contamination pour chaque produit de la mer. Le niveau d'exposition à un contaminant est alors la somme des consommations de chaque aliment contaminé pondérées par leur niveau moyen de contamination (encadré 1) à ce contaminant. Malheureusement, en France, aucune base de données n'enregistre les quantités consommées de produits de la mer par individu sur une longue période de temps. La base de données SECODIP (Boizot, 2005, pour une présentation de ces données), par son caractère longitudinal, permet de suivre l'évolution dans le temps des comportements de consommation ; chaque ménage est suivi en moyenne pendant quatre ans. Cependant, son utilisation dans le cadre de l'évaluation de l'exposition à un risque alimentaire est problématique :

- i) il s'agit d'achats de ménage, les quantités achetées ne peuvent donc pas être affectées à des individus. Le calcul du niveau d'exposition au MeHg ne peut donc être réalisé qu'au niveau du ménage,
- ii) il s'agit d'achats, ils ne fournissent donc aucune information sur les quantités consommées hors domicile,
- iii) le montant acheté d'un bien n'est pas la quantité effectivement consommée par le consommateur,
- iv) les données d'achat SECODIP ne comportent pas (jusqu'en 2001 inclus) d'informations concernant le poids corporel des individus, information nécessaire pour la comparaison à la DHT.

Pour résoudre le problème (i), une méthode statistique permettant d'estimer les quantités individuelles est développée dans Allais et Tressou (2005), lorsque la composition des ménages et les quantités agrégées au niveau des ménages sont observées. Ainsi, SECODIP enregistre pour l'année 2001 les achats de produits de la mer de 3214 ménages, soit au total 9261 individus. A partir de ces achats, les expositions au MeHg de chacun de ces ménages sont déduites. Puis, les niveaux d'exposition individuelle au MeHg des 9261 individus sont estimés par cette méthode, en introduisant 4 variables socioéconomiques :

- . la classe de revenu numérotée de 1 (les plus aisés) à 4 (les plus modestes),
- . la région de résidence faisant une place particulière aux départements côtiers,
- . le diplôme du chef de ménage,
- . la CSP du chef de ménage.

Le problème (ii) est caractéristique des données d'achats des ménages, cependant ces dernières sont reconnues comme de bons estimateurs de la consommation totale des ménages. Néanmoins, les données d'achats pourraient être multipliées par un facteur correcteur pour prendre en compte les consommations hors domicile. Ce facteur pourrait être estimé à partir des consommations hors domicile de poissons et de produits de la mer enregistrées dans l'enquête INCA (CREDOC AFSSA-DGAL, 1999). Cependant, les consommations des enfants de moins de trois ans ne sont pas collectées dans l'enquête, alors même que ces derniers sont potentiellement les plus exposés à ce risque de contamination.

Encadré 1 : Calcul de l'exposition au MeHg

L'exposition au MeHg, notée D , est déduite de l'équation

$$D = \sum_{p=1}^2 \bar{q}_p c_p \quad (1)$$

où C_p désigne la quantité consommée du produit de la mer p exprimée en kilogramme et Q_p le niveau moyen de concentration de MeHg contenu dans le produit de la mer p . Ce niveau moyen est fixé à 0.147 mg/kg de poissons consommés ($p=1$) et à 0.014 mg/kg de mollusques et crustacés consommés ($p=2$). Les contaminations en MeHg des produits de la mer sont estimées par la moyenne des analyses disponibles effectuées par différentes administrations françaises (MAAPAR, 1998-2002 ; IFREMER, 1994-1998).

Compte tenu de ce manque d'information, nous n'avons pas voulu appliquer un coefficient correcteur arbitraire aux consommations à domicile de poissons et de produits de la mer. L'évaluation de l'exposition au MeHg dans cette étude se concentre donc sur les consommations de poissons et de produits de la mer à domicile. Le problème (iii) est, quant à lui, un problème caractéristique des données de consommation. Ainsi, une part non négligeable d'un poisson ou d'un produit de la mer n'est pas comestible. A partir du "répertoire général des aliments" du CIQUAL (1995), la proportion de la partie comestible moyenne, calculée sur les 25 poissons les plus consommés en France, est évaluée à 61% du poids brut du poisson frais ou surgelé. La correction de ce problème conduirait à diminuer la part consommée de poissons et de produits de la mer, et donc à baisser l'exposition des consommateurs au MeHg, déjà sous-évaluée du fait de la non prise en compte des consommations hors domicile. Par ailleurs, SECODIP ne précise pas si la quantité de poisson achetée, en frais ou en surgelé, est sous une forme prête à être consommée (en filet) ou sous la forme d'un poisson entier. Compte tenu de ce manque d'information sur la préparation du poisson frais ou surgelé, aucun facteur de proportion comestible n'est introduit dans cette étude.

Le problème (iv) est résolu en utilisant les poids corporels moyens par âge et par sexe calculés à partir de l'enquête INCA pour les adultes et les courbes usuelles de poids moyens (carnet de santé) pour les consommateurs de moins de 18 ans. Dans le cadre de l'évaluation de l'exposition au MeHg, la base de données SECODIP pose deux problèmes supplémentaires. SECODIP n'enregistre pas les espèces de poisson frais achetées, alors que les concentrations de MeHg contenues dans les poissons en bout de chaîne alimentaire sont beaucoup plus élevées que celles contenues dans les poissons de début de chaîne alimentaire. Le calcul de l'exposition au MeHg est alors réalisé à partir du niveau moyen de concentration de MeHg contenu dans un poisson (cf encadré 1). Ce problème existe également pour les mollusques et crustacés, mais est quantitativement négligeable, étant donnée la faible concentration de MeHg contenue dans ces derniers. L'objectif de cette analyse est de déterminer l'exposition individuelle de long terme qui est évaluée par la somme cumulée des expositions individuelles d'au moins 36 semaines consécutives, en tenant compte de la très lente dégradation du MeHg dans le corps humain. Le calcul de l'exposition individuelle cumulée au cours des semaines est présenté dans l'encadré 2.

Résultats

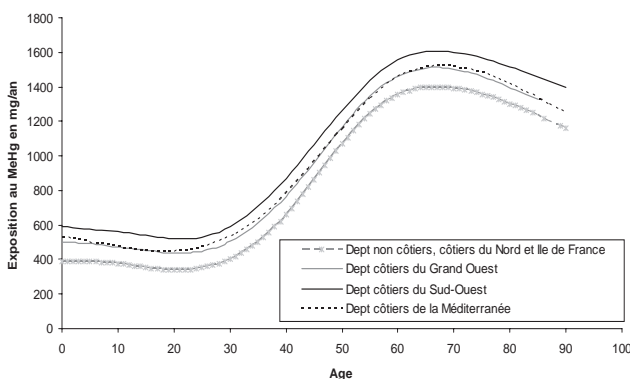
Estimation de l'exposition individuelle annuelle au MeHg

Dans un premier temps, nous estimons les niveaux d'exposition annuelle au MeHg des 9 261 individus à partir des expositions annuelles totales au MeHg, calculées à partir de la somme des quantités achetées de produits de la mer au cours de l'année 2001. Ces estimations d'expositions individuelles nous permettront de définir les variables socioéconomiques pertinentes pour évaluer l'exposition individuelle de long terme au MeHg. L'étude de la significativité des variables socioéconomiques montre que le diplôme et la CSP du chef de ménage n'expliquent pas l'exposition individuelle annuelle et que les modalités de région de résidence "départements côtiers du nord", "Ile de France" et "départements non côtiers" peuvent être regroupées. La variable région de résidence est donc maintenant composée de 4 modalités : la nouvelle modalité, départements côtiers du grand Ouest ; départements côtiers du sud-ouest ; départements de la côte méditerranéenne (respectivement "région 1" à "région 4"). Les indicatrices de la classe de revenu sont fortement significatives.

Dans un deuxième temps, les hypothèses de dépendance des expositions individuelles au sein du ménage et de fonctions d'exposition individuelle identiques selon les sexes sont testées par des tests du rapport de vraisemblances (LR). L'hypothèse d'indépendance des expositions individuelles au sein du ménage est fortement rejetée. Allais et Tressou (2005) montrent qu'accepter à tort l'hypothèse d'indépendance des expositions individuelles au sein du ménage conduit à sous-estimer l'exposition au MeHg pour les enfants de 0 à 20 ans et les personnes âgées de 70 à 90 ans. En revanche, pour les autres tranches d'âge, l'exposition au MeHg est surestimée relativement au cas où les consommations individuelles sont corrélées au sein du ménage. Par ailleurs, les fonctions d'exposition individuelle sont significativement différentes selon les sexes. Le modèle dans lequel les variables socioéconomiques sont les indicatrices de la classe de revenu (4 modalités) et de la région de résidence (4 modalités) et dans lequel les expositions individuelles au sein du ménage sont corrélées et où les fonctions d'exposition individuelle sont différentes selon les sexes est donc retenu.

La figure (1) représente les expositions individuelles moyennes au MeHg en mg/an, en fonction de l'âge et de

Figure 1 - Expositions annuelles moyennes au MeHg pour les hommes en fonction de la région de résidence



Encadré 2

L'exposition cumulée au MeHg d'un individu i du ménage h pour la semaine t , notée $S_{i,h,t}$, est

$$S_{i,h,t} = \exp(-\eta)S_{i,h,t-1} + D_{i,h,t} \quad (4)$$

où $D_{i,h,t}$ est l'exposition estimée de l'individu i du ménage h de la semaine t et η le taux d'élimination du MeHg dans le corps humain, fixé à $-\ln(0.5)/6$. Smith et Farris (1996) évaluent qu'il faut 6 semaines pour qu'une quantité de MeHg réduise de moitié dans le corps humain. Ainsi, si un individu a un niveau d'exposition D_0 à la semaine 0 et qu'il ne mange plus de produits de la mer au cours de 6 semaines qui suivent, son exposition cumulée à la semaine 6 vérifie l'égalité $S_6 = \exp(-6 \cdot \eta)S_0 = 0.5S_0$. La valeur initiale de cette suite pour un individu i est égale à la moyenne de ses expositions $D_{i,h,t}$ sur l'ensemble des semaines de la période de temps étudiée.

la région de résidence, estimées pour les hommes. Les expositions individuelles moyennes sont quasiment identiques pour les départements côtiers du grand ouest et les départements de la côte méditerranéenne quel que soit le sexe. En outre, les départements côtiers du sud ouest présentent les plus fortes expositions moyennes et les individus habitant en Ile de France, dans des départements côtiers du nord et non côtiers sont les moins exposés au MeHg. Les profils des courbes d'exposition individuelle moyenne pour les femmes sont très proches de ceux des hommes. Cependant le pic de contamination est atteint à l'âge de 70 ans pour les femmes, contre 66 ans pour les hommes.

Dans la figure (2) sont représentées les expositions individuelles moyennes au MeHg, en fonction de l'âge et de la classe de revenu, estimées pour les hommes. L'exposition individuelle au MeHg est d'autant plus forte que la classe de revenu du ménage est élevée. Ce dernier résultat est également vérifié pour les femmes, dont les profils des courbes d'exposition individuelle moyenne en fonction du revenu sont très proches de ceux des hommes.

Estimation de l'exposition individuelle de long terme au MeHg

Dans cette section, nous estimons les expositions individuelles cumulées au cours de chaque semaine de l'année 2001 des consommateurs français au MeHg. Dans un premier temps, les expositions individuelles hebdo-

Figure 2 - Expositions annuelles moyennes au MeHg pour les hommes en fonction de la classe de revenu

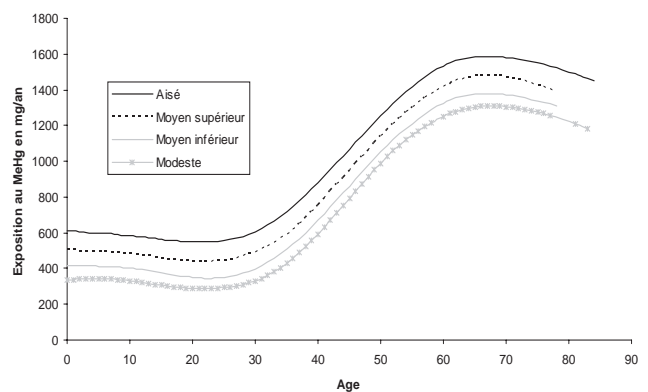
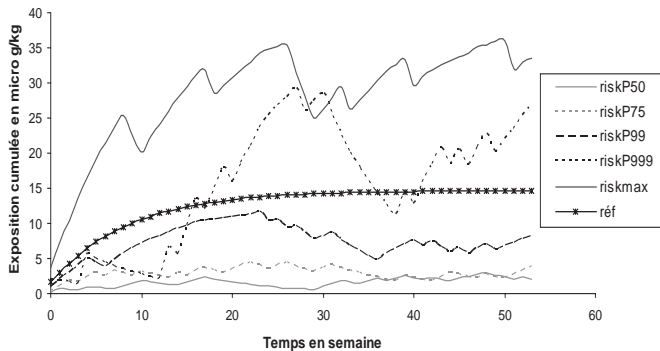


Figure 3 - Evolution hebdomadaire de l'exposition individuelle cumulée



madaires sont estimées à partir de l'exposition hebdomadaire des ménages et de la composition de chaque ménage pour l'année 2001. Comme précédemment, les expositions individuelles au sein du ménage sont supposées corrélées, les fonctions d'exposition individuelle sont supposées différentes selon les sexes. Dans un deuxième temps, les expositions individuelles cumulées au cours de chaque semaine de l'année 2001 ou de long terme sont déduites (cf encadré 2), en tenant compte de la très lente élimination du MeHg dans le corps humain.

Dans la figure (3) sont représentées les évolutions des expositions individuelles cumulées au MeHg au cours des 52 semaines de l'année 2001 de certains individus, exprimées en μg par kilogramme de poids corporel, en ne distinguant pas la partie comestible et non comestible des poissons achetés. Ces individus ont été choisis selon leur niveau d'exposition individuelle moyenne sur l'année : nous avons retenu certains quantiles de la distribution des expositions individuelles moyennes non nulles (P50, P75, P95, P99, P99.9, max). Ainsi, la courbe portant la légende P50 représente l'évolution de l'exposition individuelle cumulée au MeHg de l'individu médian de

la distribution des expositions moyennes non nulles de l'année. Ces niveaux hebdomadaires d'expositions individuelles cumulées sont comparés à ceux d'un individu de référence dont l'exposition au MeHg serait égale, chaque semaine, à la DHT définie par la FAO/WHO (courbe pleine avec des étoiles).

La figure (3) montre que l'exposition individuelle de long terme est atteinte à partir de la 22^{ème} semaine pour 75% des individus et à partir de la 32^{ème} semaine pour 99% des individus. Une très faible partie des personnes se situe au dessus de cette courbe de référence. Nous estimons que 2.2 individus sur 1 000 individus sont des individus à risque et ces personnes sont toutes des enfants âgés de moins de 3 ans, lorsqu'on ne tient pas compte de la partie non consommée des poissons frais; soit 6% de la classe d'âge des enfants de moins de 3 ans sont touchés par le risque de contamination au MeHg. Par ailleurs, les enfants de moins de un an représentent 72% de ces enfants à risque. Ainsi, dans la figure (3), l'individu au quantile 99.9 de la distribution des expositions moyennes est une fille de moins de un an vivant dans un ménage à classe de revenu supérieure à la moyenne (classe 2) et dont le lieu de résidence est la région sud ouest. Nous estimons en outre que les individus de classe de revenu inférieure n'atteignent jamais des niveaux d'exposition cumulée supérieurs à ceux de l'exposition cumulée de référence. Nous estimons enfin que 59% des enfants dont le niveau d'exposition est supérieur à celui de l'exposition cumulée de référence sont des enfants vivant dans des départements non côtiers, départements côtiers du nord ou en Ile de France.

La FAO/WHO estime que le risque de contamination au MeHg est extrême pour les systèmes nerveux en développement (foetus, bébés). Il apparaîtrait donc souhaitable de sensibiliser les parents d'enfants de moins de trois ans à ce risque de contamination.

Olivier Allais, INRA - SAE2/CORELA Ivry
Jessica Tressou, INRA - MET@RISK
 allais@ivry.inra.fr - tressou@inapg.fr

Pour en savoir plus

- Allais, O. ; Tressou, J. (2005).** *Risque alimentaire et consommation de produits de la mer : évaluation de l'exposition individuelle de long terme au méthylmercure en France.* Mimeo CORELA.
- Bertail, P. ; Tressou, J. (2005).** Incomplete generalized U-Statistics for food risk assessment. *Biometrics*, à paraître.
- Boizot, C. (2005).** *Présentation des données SECODIP.* Document de travail INRA-CORELA.
- FAO/WHO (2004).** *Safety evaluation of certain food additives and contaminants.* Sixty-first meeting of the Joint FAO/WHO Expert committee on food additives, WHO Food Additives Series, n° 52, 671 p.
- Smith, J.C. ; Farris F.F. (1996).** Methyl mercury pharmacokinetics in man: a reevaluation. *Toxicology and Applied Pharmacology*, n° 137, pp. 245-252.