

[Télécharger le PDF](#)[Télécharger ePub ↓](#)[Recherche](#)[Menu](#)

# Santé environnementale

[Maison](#) [À Propos](#) [Des Articles](#) [Directives De Soumission](#)[Télécharger le PDF](#)[Télécharger ePub ↓](#)[Recherche](#) | [Libre accès](#) | [Publié :27 février 2023](#)

## Exposition prénatale et infantile au chlordécone, capacités cognitives et comportements problématiques chez les enfants de 7 ans : la cohorte mère-enfant TIMOUN en Guadeloupe

[Youssef Oulhote](#) ,[Florence Rouget](#) ,[Léah Michineau](#) ,[Christine Montfort](#) ,[Mireille Desrochers-Couture](#) ,[Jean-Pierre Thomé](#) ,[Philippe Kadel](#) ,[Luc Multigner](#) ,[Sylvain Cordier](#) ✉ & [Gina Muckle](#) ✉

[Santé environnementale](#) **22** , Numéro d'article : 21 ( 2023 )

**463** accès | **38** Altmétrie | [Métrique](#)

### Abstrait

#### Arrière-plan

Le chlordécone est un insecticide organochloré très persistant qui a été utilisé intensivement dans les bananeraies des Antilles françaises, entraînant une contamination généralisée. La neurotoxicité des expositions aiguës chez les adultes est bien reconnue et

[Télécharger le PDF](#)[Télécharger ePub](#)

grande sensibilité chez les garçons.

## Objectif

Évaluer les associations entre les expositions prénatales et postnatales au chlordécone et les fonctions cognitives et comportementales chez les enfants d'âge scolaire de Guadeloupe.

## Méthodes

Nous avons examiné 576 enfants de la cohorte mère-enfant TIMOUN en Guadeloupe âgés de 7 ans. Les concentrations de chlordécone et d'autres contaminants environnementaux ont été mesurées dans le sang de cordon ombilical et d'enfants à l'âge de 7 ans. Les capacités cognitives des enfants ont été évaluées avec l'échelle d'intelligence de Wechsler pour les enfants-IV (WISC-IV), et les comportements problématiques d'extériorisation et d'intériorisation documentés avec le questionnaire sur les forces et les difficultés (SDQ) rempli par la mère de l'enfant. Nous avons estimé les associations ajustées aux covariables entre les concentrations de chlordécone dans le cordon et à 7 ans et les résultats chez l'enfant à l'aide d'une modélisation par équations structurelles, et nous avons testé la modification des effets selon le sexe.

## Résultats

Les moyennes géométriques des concentrations sanguines de chlordécone étaient de 0,13 µg/L dans le sang de cordon et de 0,06 µg/L dans le sang des enfants à l'âge de 7 ans. Une double augmentation des concentrations dans le sang de cordon était associée à

[Télécharger le PDF](#)[Télécharger ePub](#)

chlordécone sur 7 ans étaient associées à des scores de QI à pleine échelle inférieurs (FSIQ) et de plus grands scores de problèmes de comportement externalisés. Une multiplication par deux des concentrations de chlordécone sur 7 ans était associée à une diminution de 0,67 point (IC à 95 % : -1,13, -0,22) sur le FSIQ et à une augmentation de 0,04 ET (IC à 95 % : 0,0, 0,07) sur les problèmes d'extériorisation. Ces associations avec les capacités cognitives étaient motivées par une diminution du raisonnement perceptif, de la mémoire de travail et de la compréhension verbale. Associations entre exposition de 7 ans et raisonnement perceptif,

## conclusion

Ces résultats suggèrent que les capacités cognitives et les problèmes de comportement d'extériorisation à l'âge scolaire sont altérés par l'exposition au chlordécone pendant l'enfance, mais pas in utero, et que l'exposition prénatale est liée à des problèmes de comportement d'intériorisation plus importants.

 [Rapports d'examen par les pairs](#)

## Arrière-plan

Le chlordécone (Kepone<sup>TM</sup>) est un insecticide organochloré principalement utilisé pour lutter contre le foreur des racines du bananier en Amérique centrale et du Sud et dans les Caraïbes, y compris à Porto Rico. Ce produit chimique a été initialement fabriqué aux États-Unis de 1951 à 1976, date à laquelle la production et l'utilisation ont été interdites. Néanmoins, le chlordécone

[Télécharger le PDF](#)[Télécharger ePub](#)

ou abiotique significative dans l'environnement [ 2 ]. Il a été estimé que la durée de la pollution des sols par le chlordécone dans les îles FWI durera des décennies à des siècles [ 6]. Bien que le chlordécone ne soit plus utilisé depuis 1993, il persiste dans le sol des bananeraies actuelles et anciennes où il s'est répandu. Le chlordécone dans le sol est lentement drainé par les précipitations vers les eaux superficielles, les eaux souterraines et les eaux marines côtières et contamine les écosystèmes terrestres et aquatiques, y compris les cultures, le bétail et les produits de la pêche [ 25 ]. Par conséquent, l'exposition à des niveaux environnementaux de chlordécone a été documentée dans les populations FWI, y compris les femmes enceintes, par la consommation d'aliments contaminés [ 15 , 24 ].

Le chlordécone est un toxique reconnu pour la reproduction et le développement, neurotoxique et cancérigène chez les rongeurs [ 2 ]. Des études chez l'homme avec une forte exposition professionnelle au chlordécone démontrent des effets toxiques sur le système nerveux, le foie et le système reproducteur. Le chlordécone est un perturbateur endocrinien (EDC) avec des propriétés oestrogéniques bien reconnues à la fois in vitro et in vivo [ 16 , 23 ]. Par conséquent, il peut perturber les systèmes hormonaux et interférer avec le développement normal pendant les périodes sensibles de la conception à l'enfance. À partir de notre cohorte prospective mère-enfant Timoun en Guadeloupe, nous avons précédemment rapporté plusieurs résultats de grossesse liés à l'exposition maternelle, y compris des effets hypotenseurs [ 34], une diminution de la durée de la gestation et un risque accru d'accouchement prématuré

[Télécharger le PDF](#)[Télécharger ePub](#)

excessive avant la naissance [ [18](#) ], mais aucun risque de malformations globales chez les nouveau-nés n'a été signalé [ [31](#) ]. Chez les nourrissons de cette cohorte à l'âge de 3 mois, l'exposition prénatale au chlordécone était associée à une augmentation des taux de thyroïdostimuline (TSH) chez les garçons uniquement [ [7](#) ]. À l'âge de 7 mois, les nourrissons présentaient une mémoire de reconnaissance visuelle plus faible ou une préférence pour la nouveauté en relation avec les expositions prénatales et postnatales au chlordécone. L'exposition prénatale au chlordécone était également liée à une vitesse de traitement visuel plus lente [ [9](#) ]. Nous avons également rapporté des associations entre l'exposition prénatale et un mauvais développement de la motricité fine à 7 mois [ [9](#) ] et à 18 mois, mais uniquement chez les garçons [ [5](#) ].

Notre groupe a récemment publié les premiers résultats du suivi de l'étude Timoun à l'âge de 7 ans, montrant que l'exposition in utero et pendant l'enfance altère la sensibilité au contraste visuel chez les garçons [ [33](#) ], alors qu'aucune association n'a été trouvée avec la préférence pour les jouets [sexotypés](#) . temps de jeu [ [8](#) ]. Dans cette étude, nous avons cherché à savoir si les expositions prénatales et infantiles au chlordécone sont associées aux capacités cognitives et aux problèmes de comportement chez les enfants d'âge scolaire à 7 ans.

## Méthodes

---

### Population étudiée

La cohorte de naissance TIMOUN comprenait 1068 femmes enceintes en visite prénatale du deuxième ou du

[Télécharger le PDF](#)[Télécharger ePub](#)

résident en Guadeloupe depuis plus de 3 ans. Environ 7% ont refusé de participer principalement à cause du refus du conjoint, ne souhaitant pas participer au suivi, et ne souhaitant pas fournir d'échantillons biologiques [ 20]. Les mères ont répondu à un questionnaire standardisé lors d'un entretien en face à face à l'inscription. Ce questionnaire comprenait des caractéristiques sociodémographiques, des informations professionnelles, médicales et obstétricales. L'âge gestationnel (en semaines d'aménorrhée) a été estimé par les obstétriciens en charge du suivi de la grossesse. À l'accouchement, les habitudes alimentaires et la consommation d'alcool pendant la grossesse et les données de santé du nouveau-né (y compris le poids à la naissance) ont été recueillies et un échantillon de sang de cordon a été obtenu pour documenter l'exposition prénatale au chlordécone et à d'autres contaminants environnementaux. À 7 ans, toute la cohorte d'enfants célibataires nés vivants (  $N = 1033$ ) ont été invités à participer à un examen clinique, 444 familles n'ont pas pu être contactées, ont refusé de participer ou ont été exclues pour d'autres raisons (Matériel supplémentaire ; Figure S 1 ). À 7 ans, 576 des enfants participants ont subi une évaluation neuropsychologique. Un entretien avec la mère a fourni des informations sur la santé actuelle et les antécédents médicaux, le mode de vie, la durée de l'allaitement, le comportement de l'enfant et d'autres caractéristiques. Des échantillons de sang d'enfants ont également été prélevés à l'âge de 7 ans. L'étude a été approuvée par le comité d'éthique compétent pour les études impliquant des sujets humains (Comité de Protection des Personnes Sud-Ouest et Outremer III ; n° 2011-AOSSI-40). Chaque parent a fourni un consentement éclairé écrit.

[Télécharger le PDF](#)[Télécharger ePub](#)

l'échelle d'intelligence de Wechsler pour les enfants, quatrième édition (WISC-IV) [ 39 ]. Les huit sous-tests de base requis pour calculer le score de QI à pleine échelle (FSIQ) ont été effectués. L'administration de ces sous-tests de base fournit des scores échelonnés standardisés pour l'âge, qui sont combinés pour obtenir quatre scores composites dans les domaines de la compréhension verbale (similitudes et vocabulaire), de la vitesse de traitement (codage et symboles), de la mémoire de travail (séquençage des lettres et des chiffres et durée des chiffres). ), et le raisonnement perceptif (Block Design et Matrix Reasoning). La somme des 8 scores à l'échelle fournit le score FSIQ, une mesure du fonctionnement intellectuel global, qui était notre principal résultat des capacités cognitives.

### Évaluation du comportement

Les problèmes de comportement de l'enfant ont été documentés à l'aide de la version française du Strengths and Difficulties Questionnaire (SDQ), un questionnaire de dépistage de 25 items rempli par le parent de l'enfant. Les éléments représentent des attributs, certains positifs et d'autres négatifs, notés sur une échelle de Likert à 3 points : 0 (« pas vrai »), 1 (« quelque peu vrai ») et 2 (« certainement vrai »), documentant les symptômes émotionnels, la conduite problèmes, hyperactivité/inattention, problèmes de relations avec les pairs et comportement prosocial. Il existe de solides bases théoriques et empiriques pour classer les problèmes de comportement selon les types de problèmes d'intériorisation et d'extériorisation. Les sous-échelles des symptômes émotionnels (5 items) et des

[Télécharger le PDF](#)[Télécharger ePub](#)

indiquent des difficultés plus élevées. Le SDQ est adapté à de nombreuses cultures et langues différentes et a démontré d'excellentes propriétés psychométriques (<http://www.sdqinfo.com/>).

### **Biomarqueurs d'exposition au chlordécone et autres contaminants**

Des échantillons de sang du cordon ombilical et de l'enfant à la visite de 7 ans ont été prélevés dans des tubes EDTA pour documenter respectivement l'exposition prénatale et infantile au chlordécone et à d'autres contaminants environnementaux. Les échantillons de plasma ont été stockés à -30 °C dans des tubes en polypropylène Nunc® après centrifugation. Le chlordécone, le polychlorobiphényle congénère 153 (PCB-153), le dichlorodiphényl dichloroéthène (DDE) et les lipides ont été mesurés dans le plasma. Le mercure total (Hg), le plomb (Pb) et le cadmium (Cd) ont été quantifiés dans le sang total à l'aide de la spectrométrie de masse à plasma à couplage inductif. La détermination des concentrations de chlordécone et de PCB-153 a été effectuée par le Centre de technologie analytique et de recherche de l'Université de Liège (Belgique). Les concentrations de contaminants ont été analysées par chromatographie en phase gazeuse à haute résolution (Thermo Quest Trace 2000, Milan, Italie) équipé d'une détection par capture d'électrons Ni63. La préparation des échantillons et la méthode de quantification ont été décrites précédemment [24]. La limite de détection (LOD) était de 0,06 µg/L pour le chlordécone, le PCB-153 et le DDE dans le sang de cordon, et de 0,02 µg/L pour le chlordécone, le PCB-153 et le DDE chez l'enfant. Le cholestérol total et les triglycérides dans le plasma ont

[Télécharger le PDF](#)[Télécharger ePub](#)

été calculées comme décrit par Bernert et al. [ 4]. Les concentrations sanguines de Hg, Pb et Cd ont été mesurées par spectrométrie de masse à plasma à couplage inductif (ICP-MS) au laboratoire du Centre de toxicologie du Québec. Les LOD pour Hg, Pb et Cd étaient de 0,4 µg/L, 2 µg/L et 0,1 µg/L respectivement, et chaque série d'échantillons comprenait un standard. La courbe d'étalonnage linéaire (5 à 120 pg/µl) a été établie avec une solution de chlordécone certifiée (Riedel-de Haën, Seelze, Allemagne) et une bonne corrélation ( $r > 0,99$ ) a été obtenue. Un blanc de procédure, composé de 2 ml de sérum humain (Cambrex Bio Science, Walkersville, MD), a été exécuté avec chaque série de 10 échantillons, pour contrôler la procédure de nettoyage. Le contrôle qualité (CQ) a été effectué par des analyses régulières des blancs de procédure, par l'injection de blancs standard et de n-hexane. Le CQ était du sérum humain enrichi avec des concentrations définies de chlordécone.[24](#) ].

### Covariables et facteurs de confusion potentiels

Nous avons collecté les facteurs socio-démographiques et de style de vie et les antécédents médicaux à l'inscription, après l'accouchement et lors des suivis ultérieurs via des questionnaires administrés. Nous avons utilisé des graphes acycliques dirigés (Matériel supplémentaire ; Figure S [2](#)) pour identifier un ensemble de covariables à inclure dans les modèles à partir des covariables potentielles suivantes : âge de l'enfant au moment du test (en mois), sexe (masculin ; féminin), poids à la naissance (grammes), âge de la mère à la grossesse, parité (nullipare ; primipare et multipare),

[Télécharger le PDF](#)[Télécharger ePub](#)

famille), statut socio-économique (SSE) indicateurs pendant la grossesse basés sur l'éducation maternelle (aucune ou quelques études primaires ; quelques études secondaires ; diplôme d'études secondaires ; études collégiales/universitaires) et le revenu mensuel du ménage ( $\leq 800$  euros ;  $800 - 2\,300$  euros ;  $> 2\,300$  euros), les capacités cognitives non verbales de la mère (score de Raven) évalué avec les matrices progressives de Raven [ [29](#) ], la consommation maternelle d'alcool (non ; oui) et le tabagisme pendant la grossesse (non ; oui). Nous avons inclus dans les modèles multivariés, l'âge et le sexe de l'enfant, l'âge de la mère, la parité, le score de Raven, l'éducation, l'état matrimonial, le revenu mensuel du ménage et l'alcool et le tabagisme pendant la grossesse.

### analyses statistiques

Les concentrations de chlordécone et d'autres produits chimiques ont été transformées en log (base 2) pour corriger l'asymétrie et limiter l'influence des valeurs aberrantes. Les valeurs inférieures à la limite de détection ont été remplacées par  $LOD/\sqrt{2}$  [ [17](#) ]. Les analyses exploratoires initiales comprenaient des statistiques descriptives et des associations univariées entre les expositions et les résultats mesurés, et les covariables potentielles d'intérêt. Nous avons également étudié les corrélations entre les concentrations transformées en log des expositions environnementales à l'aide des corrélations de Pearson.

Tout d'abord, nous avons utilisé la modélisation par équations structurelles (SEM) en ajustant le même ensemble de covariables pour étudier simultanément les

[Télécharger le PDF](#)[Télécharger ePub](#)

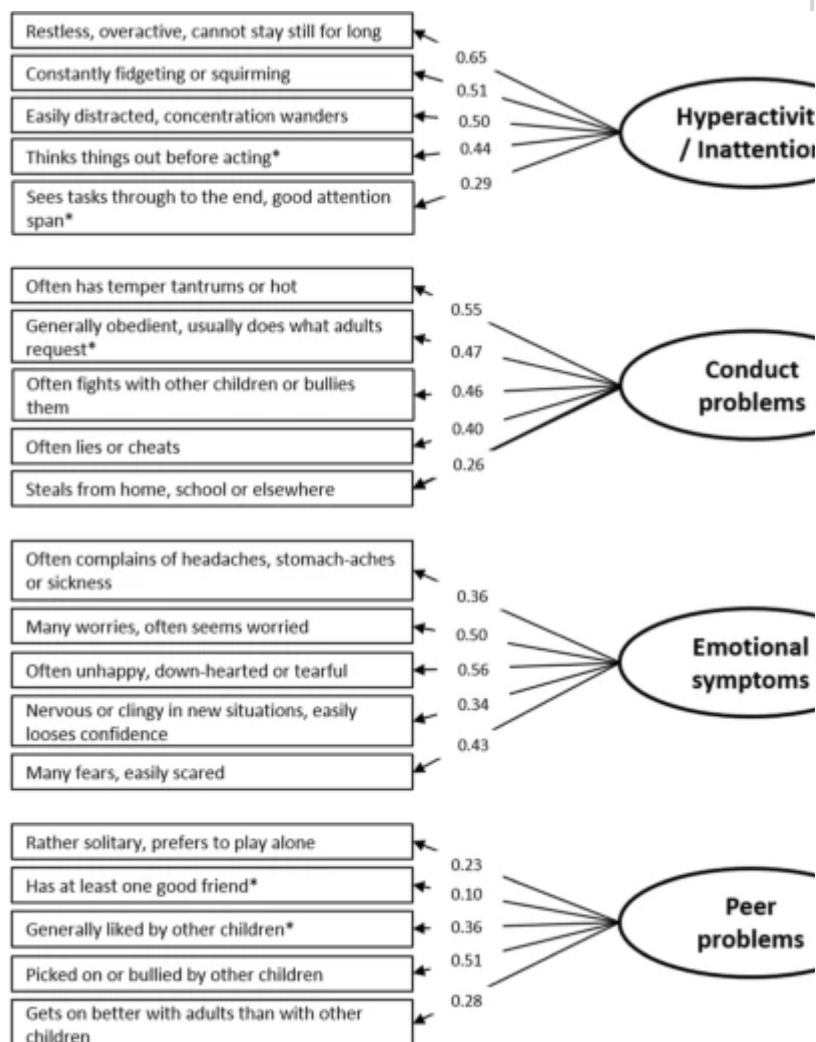
comportementales. Pour les scores WISC-IV, nous avons utilisé une analyse de chemin simple pour incorporer tous les résultats dans un seul modèle. Les résultats sont présentés comme le changement absolu du score au test associé à une multiplication par deux des concentrations de chlordécone. Pour le test SDQ, nous avons utilisé un modèle d'analyse factorielle confirmatoire (CFA) en deux étapes avec des fonctions latentes de premier ordre de problèmes de conduite, d'hyperactivité/inattention, de symptômes émotionnels et de problèmes de pairs indiqués par leurs scores d'item SDQ mesurés ultérieurement (Fig. 1). Nous avons ajouté deux fonctions latentes de second ordre pour les problèmes d'extériorisation (indiqués par les problèmes de conduite et les fonctions latentes de premier ordre d'hyperactivité/inattention) et les problèmes d'intériorisation (indiqués par les symptômes émotionnels et les fonctions latentes de premier ordre des problèmes de pairs) (Fig. 1). Nous avons adopté ce modèle CFA en deux étapes car il a déjà été constaté qu'il présentait des ajustements de modèle supérieurs et parce qu'il était considéré comme théoriquement significatif [26]. Tous les indicateurs observés ont montré des corrélations significatives avec leurs fonctions latentes (Fig. 1) et les modèles ont montré un excellent ajustement aux données (indice d'ajustement comparatif = 0,92, erreur quadratique moyenne d'approximation = 0,04, résidu quadratique moyen standardisé = 0,035, et  $\chi^2$  p-valeur : 0,06). Pour le modèle SDQ SEM, les résultats des fonctions comportementales sont présentés sous la forme d'un changement d'écart type (SD) dans les fonctions latentes

Télécharger le PDF

Télécharger ePub

mesure. Étant donné qu'il manquait des données pour certaines covariables et expositions prénatales au chlordécone, nous avons utilisé l'estimation de la probabilité maximale d'information complète, qui utilise toutes les informations disponibles et évite la suppression par liste en raison de données manquantes.

Fig. 1



Conceptual diagram of the confirmatory factor analysis for the behavioral domain. Numbers in the arrows indicate the percent variance in the scores explained by the higher order latent functions, whereas numbers in double-headed arrows indicate covariances (All factor loadings were significant at  $p < 0.001$ ). Items with an asterisk (\*) were scored reversely

[Télécharger le PDF](#)[Télécharger ePub](#)

using multi-group SEM analyses. In these analyses, we constrained the loadings, variances, co-variances, and intercepts of the latent variables to be equal across the two groups of females and males. Differences in the associations in the two exposure groups were tested by comparing the value of  $d/SE_d$  to the standard normal distribution, where  $d$  is the difference between the two estimates, and  $SE_d = \sqrt{SE_1^2 + SE_2^2}$  is the standard error of the difference [1, 28].

In additional analyses, we conducted multivariable linear regression analyses to investigate the associations between cord- and 7-years chlordecone concentrations in relation to the WISC-IV (FSIQ and four composite scores). The results are presented as the adjusted mean difference (aMD) in scores with 95% confidence interval (95% CI) for a two-fold increase in chlordecone concentrations. For the SDQ internalizing and externalizing measured scores, and because scores on these tests exhibit an over-dispersed distribution, we used negative binomial regressions. Negative binomial regressions model the ratio of the mean SDQ scores among exposed and non-exposed. The results are presented as adjusted mean ratios (aMR) of the SDQ externalizing and internalizing problems with corresponding 95% CIs. In all these models, the exposure estimate was reported for a two-fold increase in chlordecone concentrations—for example, an aMR of 1.1 for a two-fold increase in chlordecone suggests that the mean SDQ subscale score was 10% higher for each doubling of the chlordecone concentrations. We also examined sex-specific associations by including a

[Télécharger le PDF](#)[Télécharger ePub](#)

Nous avons enfin exploré les relations non linéaires potentielles des concentrations de chlordécone (transformées en  $\log_2$ ) avec les scores WISC-IV et SDQ à l'aide de modèles additifs généralisés (GAM) avec des splines de régression de lissage pénalisées [ 40 ] [et](#) des tracés inspectés visuellement des données lissées. Pour la fonction comportementale (problèmes d'extériorisation et problèmes d'internalisation), nous avons extrait les scores de la fonction latente de la composante analytique factorielle du SEM et les avons utilisés comme variables de résultat, en ajustant les covariables [27 ] . Les concentrations de chlordécone dans le sang ombilical et chez l'enfant de 7 ans ont été introduites sous forme de fonctions splines. Nous avons évalué l'écart de linéarité (à  $p < 0,1$ ) en comparant le modèle avec des concentrations de chlordécone introduites sous forme de fonction spline avec des concentrations de chlordécone introduites sous forme de terme linéaire. Aucune des relations dose-réponse ne s'écartait significativement de la linéarité, toutes à un  $p > 0,2$  (matériel supplémentaire ; figures S [3](#) et S [4](#) ).

Dans les analyses de sensibilité, nous avons ajusté simultanément les expositions supplémentaires mesurées dans le sang ombilical qui se sont avérées exercer des effets neurotoxiques, à savoir les concentrations sanguines de Pb, Cd et Hg, et les concentrations de PCB-153 et de pp' -DDE normalisées pour les lipides .

Tous les tests de signification étaient bilatéraux et le niveau de signification a été fixé à une valeur  $p < 0,05$  pour les estimations principales et les interactions. Cependant, nous fournissons toutes les estimations et

[Télécharger le PDF](#)[Télécharger ePub](#)

ont été effectuées à l'aide de R version 4.0.3 [ [38](#) ].

## Résultats

The characteristics of the study population are presented in Table [1](#). Outcome scores and 7-years chlordecone concentrations were available for 446 children whereas only 371 children had information on both outcome scores and cord chlordecone concentrations. About half were boys (49%) and mean age at examination was 7.6 years. Mean maternal age at delivery was 32 years, most of the mothers were born in the French West Indies and more than a half achieved a high school diploma or college/university studies. About 34% of mothers were nulliparous, and 40% of children were breastfed for more than 6 months. Overall, children included in the prenatal and 7-years analyses did not differ with the sample of children followed up at the 7-year examination (Table [1](#)).

### **Table 1 Description of important characteristics of the study population**

Table [2](#) shows the distribution of environmental chemicals in cord and child samples. Chlordecone was detected in 88% and 83% of cord and child blood samples, respectively. The median chlordecone concentration in cord blood (0.21 µg/L) was higher than the one observed in child blood samples (0.05 µg/L). The percentage of detected values for prenatal and postnatal exposure to other chemicals were all greater than 80% except for cord PCB-153 and cord Cd where 70% and

[Télécharger le PDF](#)[Télécharger ePub](#)

between cord and child chlordecone concentrations was very low ( $r = 0.02$ ), as are the correlation coefficients between cord chlordecone and other contaminants assessed in cord blood ( $r$ 's range from  $-0.14$  to  $0.13$ ), and between child chlordecone and other child chemicals ( $r$ 's range from  $-0.17$  to  $0.30$ ). The correlations between and within other chemicals at different time points were weak to moderate, with the highest correlations observed between cord and 7-years pp'-DDE ( $r = 0.34$ ).

### **Table 2 Distribution of environmental contaminants in the study population ( $\mu\text{g/L}$ )**

Table [S1](#) shows the univariate associations of our primary measured outcomes (FSIQ, SDQ internalizing and externalizing problems scores) with important characteristics of the study population. FSIQ scores were associated with child sex, birth weight, maternal age, parity, marital status, education, household income, breastfeeding duration, and maternal Raven scores. SDQ internalizing problems scores were higher in children from mothers that are younger, single, that have a lower education, household income, and Raven score. Lower birth weight was also associated with higher internalizing problems scores. SDQ externalizing problems scores were associated with the same characteristics in addition to child sex with higher scores in boys.

### **Associations between cord and 7-years chlordecone concentrations and scores of cognitive abilities**

[Télécharger le PDF](#)[Télécharger ePub](#)

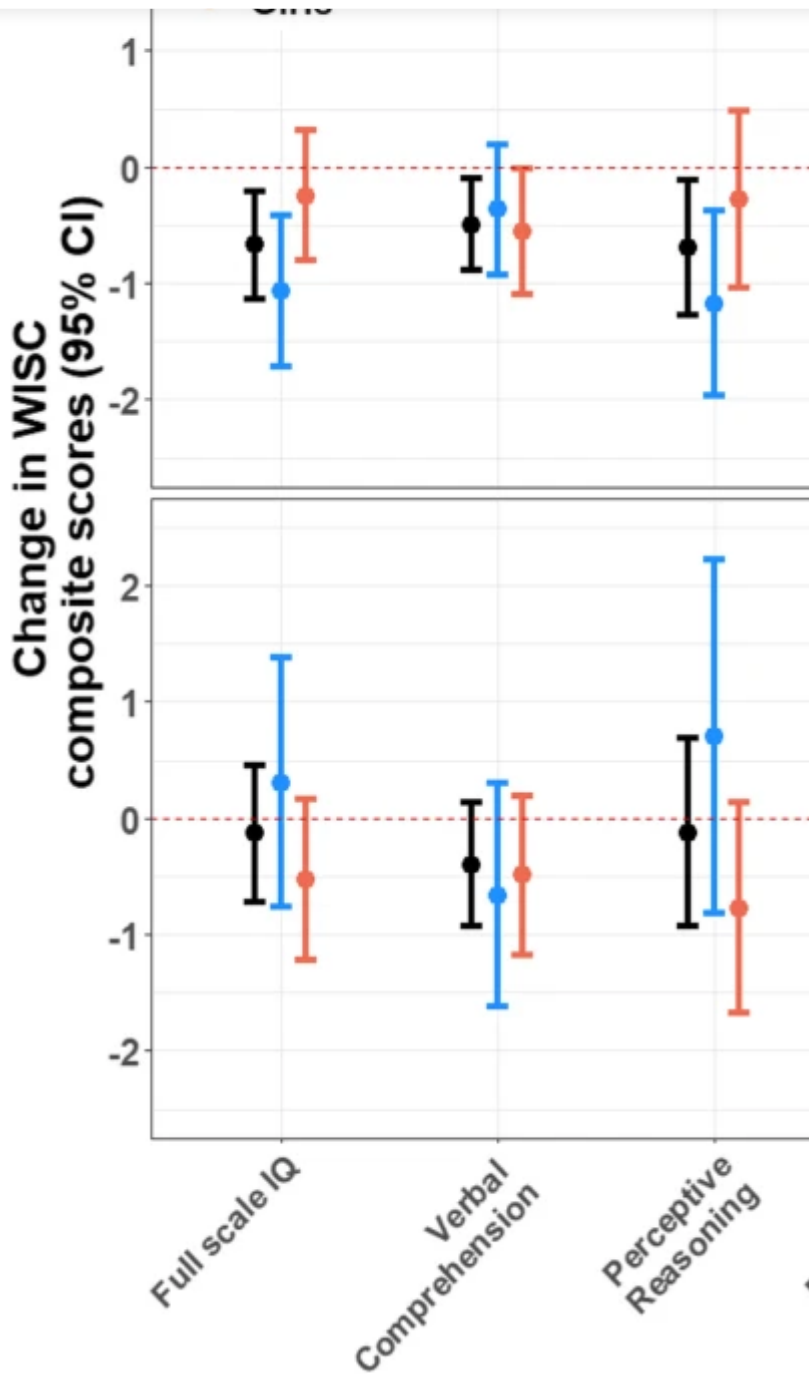
0.67 (95% CI: -1.13, -0.22) lower FSIQ scores. This association was driven by 7-years chlordecone associations with working memory ( $\beta = -0.69$ ; 95% CI: -1.18, -0.19), verbal comprehension ( $\beta = -0.50$ ; 95% CI: -0.89, -0.10), and perceptive reasoning composite scores ( $\beta = -0.69$ ; 95% CI: -1.27, -0.11). No association was observed with processing speed ( $\beta = -0.17$ ; 95% CI: -0.61, 0.28). In multiple-group SEM sex-stratified analyses, a few associations showed effect modification by sex at p-effect modification (p-EM) < 0.05.

Associations between 7-year chlordecone concentrations and some WISC-IV composite scores were stronger in boys (Fig. 2). For instance, a twofold increase in 7-years chlordecone concentrations was associated with 1.07 (95% CI: -1.72, -0.42) and 1.36 (95% CI: -2.04, -0.69) lower FSIQ and working memory scores in boys whereas the association was weaker or null in girls ( $\beta = -0.25$ ; 95% CI: -0.81, 0.31 and  $\beta = 0.10$ ; 95% CI: -0.54, 0.75 for FSIQ and working memory, respectively; p-EM = 0.06 and 0.002, respectively). Additionally, cord blood chlordecone concentrations were associated with 0.84 (95% CI: 0.08, 1.60) higher processing speed scores in boys whereas the association was negative in girls ( $\beta = -0.48$ ; 95% CI: -1.26, 0.29; p-EM = 0.02). No effect modification by sex was observed for other scores of cognitive abilities.

**Fig. 2**

Télécharger le PDF

Télécharger ePub



Associations entre les concentrations de sang de cordon et de chlordécone sur 7 ans et les scores composites WISC-IV obtenus à partir de l'analyse de chemin SEM, stratifiés par sexe. Les modèles ont été ajustés en fonction de l'âge et du sexe de l'enfant, de l'âge de la mère, de la parité, du score de Raven, de l'éducation, de l'état matrimonial, du revenu mensuel du ménage et de l'alcool et du tabagisme pendant la grossesse.

[Télécharger le PDF](#)[Télécharger ePub](#)

Les résultats de ces analyses sont présentés dans la Fig.

[3](#) et le matériel supplémentaire, Tableau S [2](#).

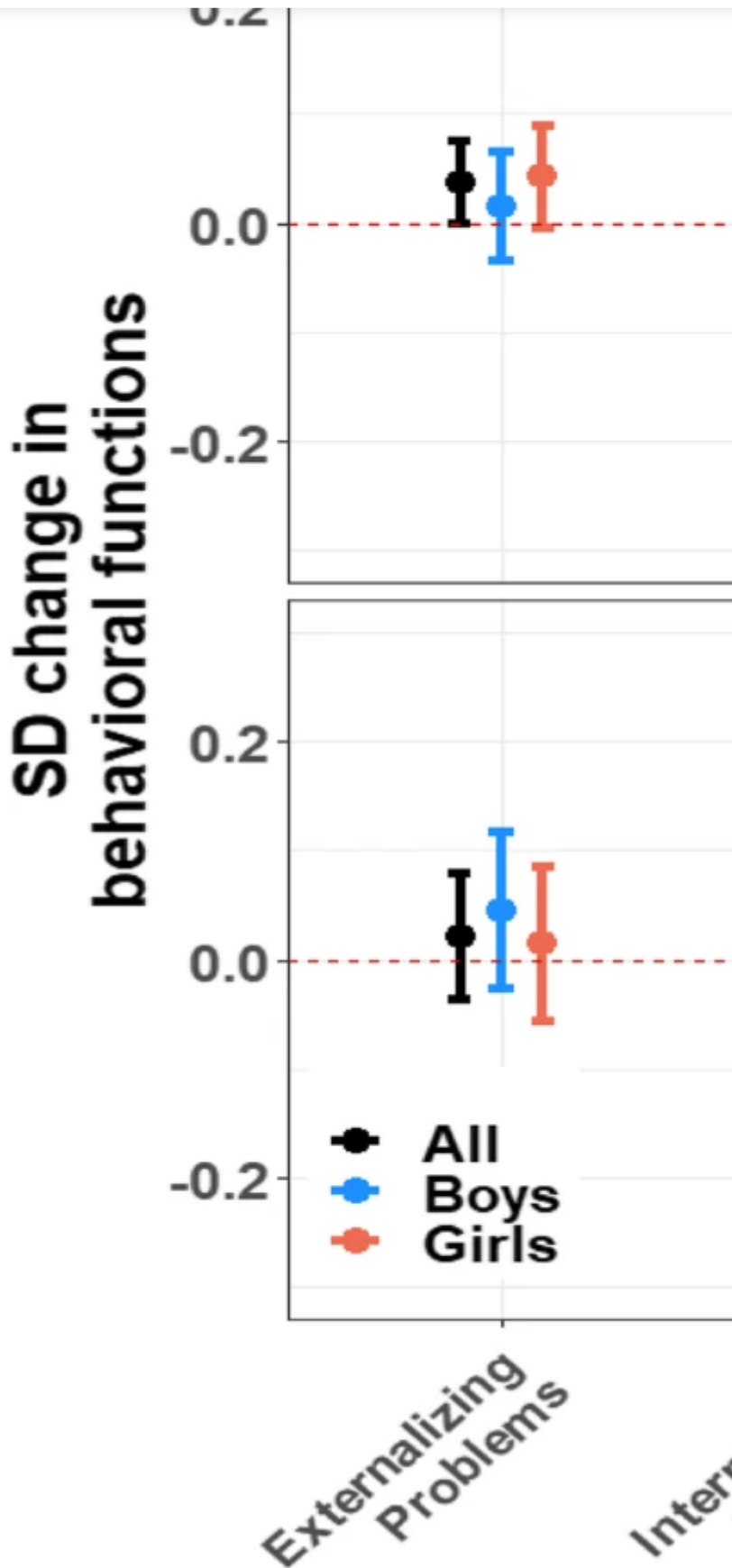
L'exposition prénatale au chlordécone n'était pas associée à des problèmes d'extériorisation ( $B = 0,02$  ET ; IC à 95 % :  $-0,04, 0,08$ ) ou d'intériorisation ( $B = 0,04$  ET ; IC à 95 % :  $-0,02, 0,10$ ). Une multiplication par deux des concentrations de chlordécone sur 7 ans était associée à des scores de problèmes d'extériorisation de  $0,04$  ET (IC à 95 % :  $0,0, 0,08$ ) plus élevés (pires).

Aucune association n'a été observée entre les concentrations de chlordécone sur 7 ans et les problèmes d'intériorisation ( $B = 0,01$  ET ; IC à 95 % :  $-0,05, 0,06$ ).

Nous n'avons pas non plus observé de modification d'effet selon le sexe dans les analyses SEM à plusieurs groupes (toutes à  $p\text{-EM} > 0,10$ ).

### Figure 3



[Télécharger le PDF](#)[Télécharger ePub](#)

Associations entre les concentrations de sang de cordon et de chlordécone sur 7 ans et les fonctions comportementales standardisées obtenues à l'aide d'analyses SEM, stratifiées

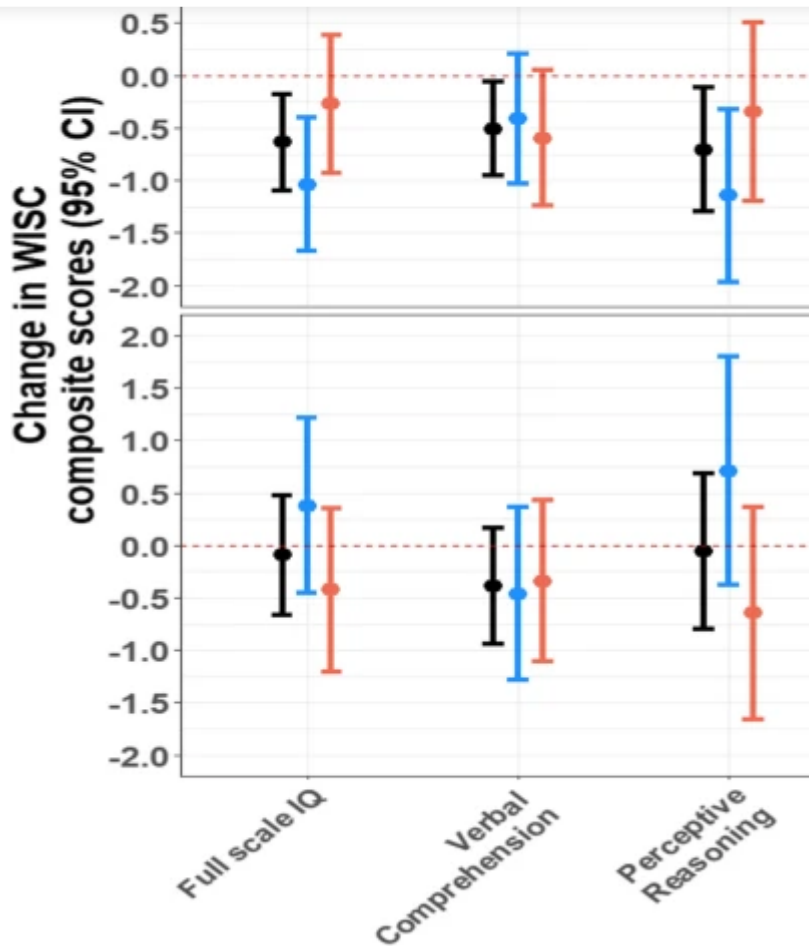
[Télécharger le PDF](#)[Télécharger ePub](#)

mensuel du ménage, de l'alcool et du tabagisme pendant la grossesse.

## Analyses complémentaires

Dans des analyses supplémentaires utilisant des régressions multivariées traditionnelles, nous avons observé des schémas similaires : les analyses ont montré des résultats concordants pour les scores cognitifs utilisant des modèles linéaires (Fig. 4) et les scores comportementaux utilisant des modèles binomiaux négatifs (Fig. 5). Par exemple, une double augmentation des concentrations de chlordécone sur 7 ans était associée à des scores FSIQ inférieurs de 0,64 (IC à 95 % : -1,09, -0,18). Des résultats similaires ont été observés pour les scores de raisonnement perceptif, de compréhension verbale et de mémoire de travail. Nous avons également observé des associations plus fortes chez les garçons que chez les filles pour la mémoire de travail, comme indiqué dans les analyses SEM.

### Figure 4

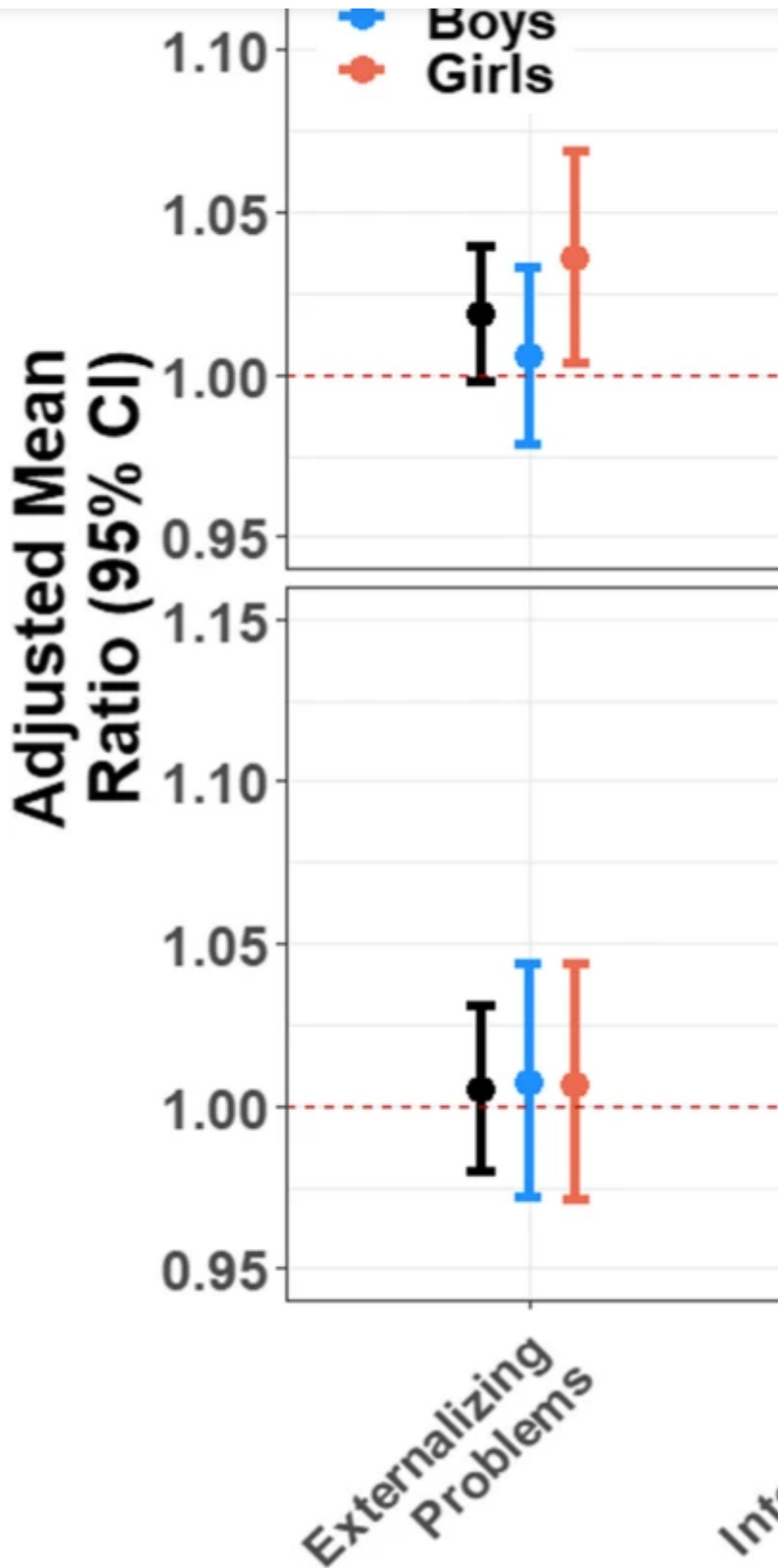
[Télécharger le PDF](#)[Télécharger ePub](#)

Associations between cord-blood and 7-years chlordecone concentrations and WISC-IV composite scores using multivariable linear analyses, stratified by sex. Models were adjusted for child's age and sex, maternal age, parity, Raven score, education, marital status, monthly household income, and alcohol and smoking during pregnancy

**Fig. 5**

Télécharger le PDF

Télécharger ePub



Associations between cord-blood and 7-years chlordecone concentrations and measured SDQ scores using multivariable negative binomial models, stratified by sex. Models were adjusted for child's age and sex, maternal age, parity, Raven score, education, marital status, monthly

[Télécharger le PDF](#)[Télécharger ePub](#)

For the SDQ scores, a twofold increase in cord-blood chlordecone concentrations was associated with 3% higher internalizing problems scores (aMR = 1.03; 95% CI: 1.00, 1.06), with an effect modification by sex where associations were stronger in girls (aMR = 1.07; 95% CI: 1.03, 1.12) than in boys (aMR = 0.99; 95% CI: 0.95, 1.04). A twofold increase in 7-years chlordecone concentrations was also associated with 2% higher externalizing problems scores (aMR = 1.02; 95% CI: 1.00, 1.04; Fig. 5).

Analyses investigating non-linear significant dose–response relationships showed no significant departure from linearity for any of the investigated associations (Supplemental Material; Figures S4 and S5). Additional sensitivity analyses adjusting for other co-exposures showed similar findings (Supplemental material; Figures S6 and S7).

## Discussion

We previously reported effects in domains of cognitive and fine motor functions of pre- and postnatal exposures to chlordecone in 7- and 18-months old children from the TIMOUN cohort. However, there is currently no empirical data to determine the degree to which prenatal and postnatal chlordecone exposures are associated with effects in school-aged children. In the present study, we investigated both pre- and postnatal exposures to chlordecone in relation to cognitive abilities and problem behaviors at age 7 years. Our findings point to a potential detrimental effect of 7-years chlordecone concentrations,

[Télécharger le PDF](#)[Télécharger ePub](#)

but also in specific nonverbal domains of perceptive reasoning and working memory, and verbal comprehension. Regarding behavioral problems, higher chlordecone exposure at 7 years of age was associated with higher scores of externalizing problems, while prenatal chlordecone exposure was related to higher internalizing problems scores, with stronger associations among girls. Patterns of results are very robust, with significant associations consistently repeated when outcome scores are obtained from structural equations modeling or analyzed traditionally using multivariable regressions.

When aged 7-months old, infants from this cohort exhibited poorer visual recognition memory or novelty preference in relation with pre- and postnatal chlordecone exposure. Prenatal exposure was also associated with slower visual processing speed and poorer fine motor development at 7-months [9] and at 18-months in boys only [5]. In a recent investigation from the same cohort, we also reported that 7-years chlordecone concentrations were associated with poorer visual processing when copying geometric figures using the Stanford Binet copying test, while no association was observed with cord chlordecone concentrations [11].

In animal studies, chlordecone was shown to alter catecholamine activity—including dopamine—by decreasing their synaptic binding and uptake [10]. Additionally, male rats exposed to chlordecone were found to be hypersensitive to the motility increasing effects of apomorphine, a dopamine receptor agonist [37]. Chlordecone has also been shown to possess

[Télécharger le PDF](#)[Télécharger ePub](#)

explain some sex-specific associations observed in this study. For instance, chlordecone exposure during the critical period for sexual differentiation of the brain has been shown to alter sex-dependent behaviors in adult rats [22].

Our results point to potential sexually dimorphic effects of chlordecone on both cognitive and behavioral functions. Prenatal chlordecone exposure was related to higher internalizing problems scores, with stronger associations in girls, whereas postnatal exposures exhibited stronger effects in boys, especially for working memory. In a previous investigation from this cohort, higher cord chlordecone concentrations were associated with an increase in thyroid stimulating hormone in 3-month boys, whereas postnatal exposure concentrations in breastmilk were associated with a decrease in free triiodothyronine overall, and in free thyroxine among girls [7]. Similar sexually dimorphic associations were observed in this cohort with fine motor skills at 18 months [5] and visual contrast sensitivity at 7-years [33].

Several other organochlorine insecticides have been found to have sex-specific associations, both in animal studies and in human studies [21]. For instance, perinatal exposure of mice during gestation and lactation to dieldrin altered dopaminergic neurochemistry and had greater adverse effects in the male offspring than the female [30]. Other organochlorine insecticides showed opposite effects with stronger effects on girls. For instance, prenatal exposure to *pp'*-DDE showed stronger associations with behavioral problems at age 7–8 years

[Télécharger le PDF](#)[Télécharger ePub](#)

speed at 7-years of age, with *pp'*-DDE associations exhibiting stronger estimates in girls [12]. The current levels of chlordecone measured in this cohort show a significant decrease from a geometric mean of 0.13 µg/L in cord blood to 0.06 µg/L at 7-year-old children with no differences by child sex.

Despite the low levels observed in this cohort, especially at 7 years, we were still able to detect associations with specific domains of development. Interestingly, prenatal Hg was also associated with poorer performance in same domains of cognitive function, including both perceptual reasoning and verbal comprehension in Faroese children [14] as in Inuit children from Northern Canada where both cohorts were exposed through maternal consumption of contaminated fish and mammals [19]. Similar domains have also been shown to be vulnerable to other neurotoxicants (Reviewed in [35] and these specific domains of cognitive function might be more sensitive to neurotoxic chemicals. Similar to other investigations, the observed effect sizes in this study are relatively modest and subtle. However, given the widespread and ubiquitous exposure to chlordecone in this population, these small effect sizes could had a considerable impact at the population level [3].

Cette étude présente plusieurs points forts notables. Nous utilisons une cohorte longitudinale prospective, avec inscription des mères pendant leur grossesse, collecte d'échantillons biologiques pour l'évaluation des expositions multiples à différents moments, entretiens multiples avec les mères pour documenter les covariables et suivi à long terme d'un grand nombre

[Télécharger le PDF](#)[Télécharger ePub](#)

prénatales et postnatales grâce à des analyses de laboratoire de pointe, parallèlement à l'évaluation d'autres produits chimiques reconnus ou à l'étude pour leur neurotoxicité tels que Pb, Cd, Hg, PCB-153 et pp'-DDE. Nous avons également pu documenter et mesurer des covariables importantes qui nous ont permis d'évaluer en profondeur les facteurs de confusion potentiels, y compris plusieurs indicateurs de statut socio-économique, ainsi que les capacités cognitives non verbales maternelles. Les associations significatives signalées entre le QI à grande échelle de l'enfant et des variables telles que l'allaitement, le revenu familial, l'état matrimonial de la mère, l'éducation et les scores de Raven confirment le rôle essentiel du SSE et de l'environnement familial dans la promotion du développement de l'enfant. De plus, l'obtention de ces associations significatives avec des variables systématiquement liées aux compétences cognitives et au comportement de l'enfant dans des études menées dans plusieurs populations fournit une validation convergente pour l'utilisation du WISC-IV et du SDQ chez les enfants guadeloupéens. Enfin, nous avons utilisé une approche SEM, abordant ainsi les problèmes découlant des tests multiples et des données manquantes qui peuvent ne pas être correctement pris en compte par les analyses de régression standard. La comparaison des résultats du SEM avec les approches traditionnelles analysant chaque score de test séparément a donné des résultats comparables.

Il y a plusieurs limites à cette étude. Les associations signalées pourraient être attribuables à des facteurs de confusion non mesurés, et bien que nous ne puissions pas

[Télécharger le PDF](#)[Télécharger ePub](#)

plusieurs indicateurs de SSE, c'est-à-dire l'état matrimonial, le revenu et l'éducation de la mère, même s'ils reposent sur une voie causale commune, réduisant ainsi le potentiel de confusion résiduelle. Il est également peu probable que nos résultats soient attribuables à d'autres contaminants puisque nous avons ajusté plusieurs neurotoxiques dans l'analyse de sensibilité même si leurs corrélations avec les concentrations de chlordécone étaient faibles ou nulles. Les associations transversales significatives à 7 ans limitent la capacité de tirer des inférences causales fortes, bien que la causalité inverse soit improbable car on ne s'attend pas à ce que les fonctions cognitives et comportementales de l'enfant influencent ses comportements alimentaires, principale source d'exposition de la population générale en Guadeloupe. En effet, les choix alimentaires à cet âge sont principalement dirigés par le parent.

Malgré l'interdiction du chlordécone depuis les années 90, il persiste dans les sols pendant des décennies voire des siècles, constituant une source d'exposition durable pour les générations futures. Il a également été montré récemment que les flux de chlordécone dans les sols ont considérablement augmenté lorsque l'utilisation du glyphosate a commencé, entraînant une contamination généralisée de l'écosystème [ 32 ]. L'utilisation du glyphosate en Guadeloupe peut donc entraîner une augmentation de l'érosion des sols et un relargage du chlordécone stable stocké dans les sols des champs pollués.

## Conclusion

[Télécharger le PDF](#)[Télécharger ePub](#)

comportementales chez les enfants d'âge scolaire. Les résultats de cette étude suggèrent que les expositions simultanées au chlordécone peuvent être associées au développement de l'enfant dans des domaines spécifiques de la cognition, en particulier chez les garçons, alors que les expositions prénatales peuvent être associées à la fonction comportementale chez les filles. Cette étude fournit de nouvelles informations sur la neurotoxicité potentielle du chlordécone, qui persiste dans la population FWI des décennies après son interdiction.

## Disponibilité des données et des matériaux

---

Les analyses de cette étude ont été effectuées à l'Université du Massachusetts Amherst et à l'Université Laval. Les ensembles de données utilisés dans cette étude ne sont pas accessibles au public en raison de la confidentialité des participants, mais sont disponibles auprès de l'auteur correspondant sur demande raisonnable après une formation appropriée des sujets humains et l'approbation de l'IRB.

## Les références

---

1. Altman DG, Bland JM. Interaction revisitée : la différence entre deux estimations. *BMJ* (ed. recherche clinique). 2003;326:219.
2. ATSDR. Profil toxicologique du mirex et du chlordécone. Atlanta : Département américain de la santé et des services sociaux ; 2020.
3. DC Bellinger. Interprétation des petites tailles d'effet

[Télécharger le PDF](#)[Télécharger ePub](#)

- 
4. Bernert JT, Turner WE, Patterson DG Jr, Needham LL. Calcul des concentrations sériques totales de lipides pour l'ajustement des mesures de substances toxiques organohalogénées persistantes dans un échantillon humain. *Chimiosphère*. 2007;68:824–31.

---

  5. Boucher O, Simard MN, Muckle G, Rouget F, Kadhel P, Bataille H, et al. Exposition à un pesticide organochloré (chlordécone) et développement du nourrisson de 18 mois. *Neurotoxicologie*. 2013;35:162–8.

---

  6. Cabidoche YM, Achard R, Cattan P, Clermont-Dauphin C, Massat F, Sansoulet J. Pollution à long terme par le chlordécone des sols volcaniques tropicaux des Antilles françaises : un modèle de lessivage simple tient compte des résidus actuels. *Environ Pollut (Barking, Essex : 1987)*. 2009;157:1697–705.

---

  7. Cordier S, Bouquet E, Warembourg C, Massart C, Rouget F, Kadhel P, et al. Exposition périnatale au chlordécone, statut hormonal thyroïdien et développement neurologique du nourrisson : étude de cohorte timoun en guadeloupe. *Environ Rés*. 2015;138:271–8.

---

  8. Cordier S, Forget-Dubois N, Desrochers-Couture M, Rouget F, Michineau L, Monfort C, Thome JP,

[Télécharger le PDF](#)[Télécharger ePub](#)

guadeloupéens. *Environ Sci Pollut Res Int.* 2020;27(33):40971–9.

---

9. Dallaire R, Muckle G, Rouget F, Kadhel P, Bataille H, Guldner L, et al. Développement cognitif, visuel et moteur de nourrissons guadeloupéens de 7 mois exposés au chlordécone. *Environ Rés.* 2012;118:79–85.

---

10. Desaiah D. Interaction du chlordécone avec la liaison et l'absorption des catécholamines dans les synaptosomes du cerveau de rat. *Neurotoxicologie.* 1985;6(1):159–65.

---

11. Desrochers-Couture M, Cordier S, Rouget F, Michineau L, Monfort C, Thomé JP, et al. Traitement visuo-spatial et motricité fine chez des enfants guadeloupéens de 7 ans, exposés avant et après la naissance au pesticide organochloré chlordécone. *Neurotoxicologie.* 2022;88:208–15.

---

12. Gaspar FW, Harley KG, Kogut K, Chevrier J, Mora AM, Sjödin A, Eskenazi B. Exposition prénatale au DDT et au DDE et QI des enfants dans la cohorte CHAMACOS. *Environ Int.* 2015;85:206–12.

---

13. Goodman A, Lamping DL, Ploubidis GB. Quand utiliser des sous-échelles d'intériorisation et d'externalisation plus larges au lieu des cinq sous-échelles hypothétiques du questionnaire sur les

[Télécharger le PDF](#)[Télécharger ePub](#)

---

14. Grandjean P, Weihe P, White RF, Debes F, Araki S, Yokoyama K, et al. Déficit cognitif chez des enfants de 7 ans ayant subi une exposition prénatale au méthylmercure. *Neurotoxicol Tératol.* 1997;19:417–28.

---

15. Guldner L, Multigner L, Héraud F, Monfort C, Thomé JP, Giusti A, Kadhel P, Cordier S. Exposition aux pesticides des femmes enceintes en Guadeloupe : capacité d'un questionnaire de fréquence alimentaire à estimer la concentration sanguine de chlordécone. *Environ Rés.* 2010;110(2):146–51.

---

16. Hammond B, Katzenellenbogen BS, Krauthammer N, McConnell J. Activité œstrogénique de l'insecticide chlordécone (Kepone) et interaction avec les récepteurs utérins des œstrogènes. *Proc Natl Acad Sci US A.* 1979;76(12):6641–5.

---

17. Helsel DR, Hirsch RM 1991. Méthodes statistiques des ressources en eau. Dans: *Techniques of Water-Resources, Livre 4.* Reston, VA:US Geological Survey. Disponible : <http://water.usgs.gov/pubs/twri/twri4a3/>

---

18. Hervé D, Costet N, Kadhel P, Rouget F, Monfort C, Thomé JP, et al. Exposition prénatale au chlordécone, gain de poids gestationnel et poids de

[Télécharger le PDF](#)[Télécharger ePub](#)

- 
19. Jacobson JL, Muckle G, Ayotte P, Dewailly É, Jacobson SW. Relation entre l'exposition prénatale au méthylmercure provenant de sources environnementales et le QI de l'enfance. *Perspective de santé environ.* 2015;123(8):827–33.
- 
20. Kadhel P, Monfort C, Costet N, Rouget F, Thomé JP, Multigner L, et al. Exposition au chlordécone, durée de gestation et risque d'accouchement prématuré. *Suis J Epidemiol.* 2014;179:536–44.
- 
21. Kern JK, Geier DA, Homme KG, King PG, Bjørklund G, Chirumbolo S, Geier MR. Neurotoxiques développementaux et cerveau masculin vulnérable : une revue systématique des neurotoxiques suspectés qui affectent de manière disproportionnée les hommes. *Acta Neurobiol Exp.* 2017;77(4):269–96.
- 
22. Laessig SA, Auger AP, McCarthy MM, Silbergeld EK. Effets du chlordécone prénatal sur le comportement sexuellement différencié chez les rats adultes. *Neurotoxicol Tératol.* 2007;29(2):255–63.
- 
23. Lemaire G, Mnif W, Mauvais P, Balaguer P, Rahmani R. Activation des récepteurs alpha et bêta des œstrogènes par les pesticides persistants dans les lignées cellulaires rapporteurs. *Vie Sci.* 2006;79(12):1160–9.
-

[Télécharger le PDF](#)[Télécharger ePub](#)

Clin Oncol : Officiel J American Soc Clin Oncol.  
2010;28:3457–62.

---

25. Multigner L, Kadhel P, Rouget F, Blanchet P, Cordier S. Exposition au chlordécone et effets indésirables dans les populations des Antilles françaises. Environ Sci Pollut Res Int. 2016;23:3–8.

---

26. Niclasen J, Skovgaard AM, Andersen AM, Sømhøvd MJ, Obel C. Une approche confirmatoire pour examiner la structure factorielle du questionnaire sur les forces et les difficultés (SDQ): une étude de cohorte à grande échelle. J Abnorm Child Psychol. 2013;41(3):355–65.

---

27. Oulhote Y, Mergler D, Barbeau B, Bellinger DC, Bouffard T, Brodeur ME, et al. Fonction neurocomportementale chez les enfants d'âge scolaire exposés au manganèse dans l'eau potable. Perspective de santé environ. 2014;122:1343–50.

---

28. Oulhote Y, Debes F, Vestergaard S, Weihe P, Grandjean P. Scores de capacité aérobie et de fonction neurocognitive chez les jeunes adultes féroïens et modification potentielle par l'exposition prénatale au méthylmercure. Perspective de santé environ. 2017;125:677–83.

---

29. Corbeau JC, Cour JH, Corbeau JC. Les matrices progressives et les échelles de vocabulaire de

[Télécharger le PDF](#)[Télécharger ePub](#)

---

30. Richardson JR, Caudle WM, Wang M, Dean ED, Pennell KD, Miller GW. L'exposition développementale au pesticide dieldrine modifie le système dopaminergique et augmente la neurotoxicité dans un modèle animal de la maladie de Parkinson. *FASEB J.* 2006;20:1695–7.

---

31. Rouget F, Kadhel P, Monfort C, Viel JF, Thome JP, Cordier S, et al. Exposition au chlordécone et risque d'anomalies congénitales : étude de cohorte mère-enfant timoun en guadeloupe. *Environ Sci Pollut Res.* 2020;27:40992–8.

---

32. Sabatier P, Mottes C, Cottin N, Evrard O, Comte I, Piot C, Gay B, Arnaud F, Lefevre I, Develle AL, Deffontaines L, Plet J, Lesueur-Jannoyer M, Poulenard J. Preuve de la résurrection du chlordécone par le glyphosate aux Antilles françaises. *Environ Sci Technol.* 2021;55(4):2296–306.

---

33. Saint-Amour D, Muckle G, Gagnon-Chauvin A, Rouget F, Monfort C, Michineau L, et al. Sensibilité au contraste visuel chez des enfants guadeloupéens d'âge scolaire exposés au chlordécone. *Neurotoxicologie.* 2020;78:195–201.

---

34. Saunders L, Kadhel P, Costet N, Rouget F, Monfort C, Thomé JP, et al. Troubles hypertensifs de la grossesse et diabète gestationnel chez des femmes

[Télécharger le PDF](#)[Télécharger ePub](#)

- 
35. Schantz SL, Eskenazi B, Buckley JP, Braun JM, Sprowles JN, Bennett DH, Cordero J, Frazier JA, Lewis J, Hertz-Picciotto I, Lyall K, Nozadi SS, Sagiv S, Stroustrup A, Volk HE, Watkins DJ, collaborateurs du programme pour les influences environnementales sur les résultats de santé de l'enfant. Un cadre pour évaluer l'impact des expositions chimiques sur le développement neurologique dans ECHO : opportunités et défis. *Environ Rés.* 2020;188:109709.
- 
36. Sioen I, Den Hond E, Nelen V, Van de Mieroop E, Croes K, Van Larebeke N, Nawrot TS, Schoeters G. Exposition prénatale aux contaminants environnementaux et problèmes de comportement à l'âge de 7 à 8 ans. *Environ Int.* 2013;59:225–31.
- 
37. Squibb RE, Tilson HA. Effets de l'exposition gestationnelle et périnatale au chlordécone (Kepone) sur le développement neurocomportemental des rats Fischer-344. *Neurotoxicologie.* 1982;3(2):17–26.
- 
38. L'équipe RC. 2020. R : Un langage et un environnement pour le calcul statistique. . R Foundation for Statistical Computing, Vienne, Autriche <https://www.R-project.org/> .
- 
39. Échelle d'intelligence de Wechsler D. Wechsler pour les enfants - quatrième édition (WISC-IV). San Antonio : La Société Psychologique ; 2003.

[Télécharger le PDF](#)[Télécharger ePub](#)

de variables continues et de la vraisemblance marginale de modèles linéaires généralisés semi-paramétriques. *J Royal Statistic Soc : Série B (Méthodologie statistique)*. 2011 ;73 : 3–36.

## Financement

Ce travail a été soutenu par des subventions de la Direction Générale de la Santé (DGS RMC11129NNA & R17142NN), et de la Fondation de France (N° 69263). Ces sources de financement n'ont joué aucun rôle dans la conception de cette étude et n'auront aucun rôle lors de son exécution, de ses analyses, de l'interprétation des données ou de la décision de soumettre les résultats.

## Informations sur l'auteur

Gina Muckle et Sylvaine Cordier sont coauteures principales.

### Auteurs et affiliations

**Département de biostatistique et d'épidémiologie,  
École de santé publique et des sciences de la santé,  
Université du Massachusetts, Amherst, MA, 01003,  
États-Unis**

Youssef Oulhote

**CHU De Rennes, Univ Rennes, Inserm, EHESP, Irset  
(Institut De Recherche En Santé, Environnement Et  
Travail) - UMR\_S 1085, Rennes, France**

Florence Rouget

**Univ Rennes, Inserm, EHESP, Irset (Institut De  
Recherche En Santé, Environnement Et Travail) -**

[Télécharger le PDF](#)[Télécharger ePub](#)

**Unité de recherche en santé des populations et pratiques optimales de santé, Centre de recherche du CHU de Québec; École de Psychologie, Université Laval, Pavillon Félix-Antoine-Savard, 2325 Rue Des Bibliothèques, Québec, Québec, G1V 0A6, Canada**  
Mireille Desrochers-Couture & Gina Muckle

**LEAE-CART (Laboratoire d'Ecologie Animale Et d'Ecotoxicologie-Centre De Recherche Analytique Et Technologique), Université De Liège, B-4000, Liège, Belgique**  
Jean-Pierre Thomé

**CHU De La Guadeloupe, Univ Antilles, Univ Rennes, Inserm, EHESP, Irset (Institut De Recherche En Santé, Environnement Et Travail) - UMR\_S 1085, Pointe-À-Pitre, France**  
Philippe Kadel

### Contributions

YO a effectué l'analyse et l'interprétation des données, développé la méthodologie et rédigé la première ébauche du manuscrit ; SC, GM, PK, FR et LMu ont co-conçu l'étude, obtenu un financement, collaboré à la rédaction d'un projet, supervisé des analyses de données et édité/révisé le manuscrit. J-PT a effectué l'analyse chimique et édité/révisé le manuscrit. LMi et CM ont participé à la collecte de données, à la conservation des données et à l'administration du projet. Le MDC a participé à la conservation des données et a édité/révisé le manuscrit. Tous les auteurs ont examiné et validé le manuscrit.

[Télécharger le PDF](#)[Télécharger ePub](#)

---

## Déclarations éthiques

### Approbation éthique et consentement à participer

L'étude a été approuvée par le comité d'éthique compétent pour les études impliquant des sujets humains (Comité de Protection des Personnes Sud-Ouest et Outremer III ; n° 2011-AOOSI-40).

### Intérêts concurrents

Les auteurs ne déclarent aucun intérêt concurrent.

---

## Informations Complémentaires

### Note de l'éditeur

Springer Nature reste neutre en ce qui concerne les revendications juridictionnelles dans les cartes publiées et les affiliations institutionnelles.

---

## Information supplémentaire

### Fichier supplémentaire 1 :

**Figure S1.** Organigramme de l'étude Timoun (Neurodéveloppement à sept ans). **Figure S2.** Graphique acyclique dirigé conceptuel représentant les associations entre l'exposition au chlordécone, le FSIQ et les facteurs de confusion potentiels. **Figure S3.** Diagramme de corrélation des expositions de la mère et de 7 ans. **Tableau S1.** Associations univariées entre les critères de jugement principaux et les caractéristiques de la population étudiée. **Tableau S2.** Associations entre les

[Télécharger le PDF](#)[Télécharger ePub](#)

sexe. **Figure S4.** Relation dose-réponse entre les concentrations de chlordécone dans le sang du cordon ombilical et à 7 ans et les scores WISC-IV. **Figure S5.** Relation dose-réponse entre les concentrations de chlordécone dans le sang du cordon ombilical et à 7 ans et les fonctions comportementales latentes. **Figure S6.** Associations entre les concentrations de chlordécone dans le sang de cordon et sur 7 ans et les scores composites WISC-IV obtenus à partir de l'analyse de chemin SEM avec un ajustement supplémentaire pour les co-expositions, stratifiées par sexe. **Figure S7.** Associations entre les concentrations de chlordécone dans le sang de cordon et sur 7 ans et les fonctions comportementales standardisées obtenues à l'aide d'analyses SEM avec ajustement supplémentaire pour les co-expositions, stratifiées par sexe.

## Droits et autorisations

---

**Libre accès** Cet article est sous licence Creative Commons Attribution 4.0 International, qui permet l'utilisation, le partage, l'adaptation, la distribution et la reproduction sur n'importe quel support ou format, à condition que vous accordiez le crédit approprié à l'auteur ou aux auteurs originaux et à la source, fournir un lien vers la licence Creative Commons et indiquer si des modifications ont été apportées. Les images ou tout autre matériel de tiers dans cet article sont inclus dans la licence Creative Commons de l'article, sauf indication contraire dans une ligne de crédit au matériel. Si le matériel n'est pas inclus dans la licence Creative Commons de l'article et que votre utilisation prévue n'est pas autorisée par la réglementation légale ou dépasse

[Télécharger le PDF](#)[Télécharger ePub](#)

visitez <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/> . La renonciation Creative Commons Public Domain Dedication (<http://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0/> ) s'applique aux données mises à disposition dans cet article, sauf indication contraire dans une ligne de crédit aux données.

[Réimpressions et autorisations](#)

## À propos de cet article

### Citer cet article

Oulhote, Y., Rouget, F., Michineau, L. *et al.* Exposition prénatale et infantile au chlordécone, capacités cognitives et comportements problématiques chez les enfants de 7 ans : la cohorte mère-enfant TIMOUN en Guadeloupe. *Environ Health* **22**, 21 (2023).

<https://doi.org/10.1186/s12940-023-00970-3>

Reçu	Accepté	Publié
16 septembre 2022	09 février 2023	27 février 2023

### EST CE QUE JE

<https://doi.org/10.1186/s12940-023-00970-3>

### Partagez cet article

Toute personne avec qui vous partagez le lien suivant pourra lire ce contenu :

[Obtenir un lien partageable](#)

Fourni par l'initiative de partage de contenu Springer Nature SharedIt

### Mots clés

**Chlordécone**    **Pesticides organochlorés**

[Télécharger le PDF](#)[Télécharger ePub](#)**En France** **Guadeloupe** **Santé environnementale**

ISSN : 1476-069X

**Contactez-nous**Demandes de soumission : [joliedianne.leobrero@springernature.com](mailto:joliedianne.leobrero@springernature.com)Renseignements généraux : [info@biomedcentral.com](mailto:info@biomedcentral.com)[En savoir plus sur nos blogs](#)[Stratégies](#)[Assistance et contacts](#)[Recevoir les newsletters BMC](#)[Accessibilité](#)[Laisser les commentaires](#)[Gérer les alertes d'articles](#)[centre de presse](#)[Carrières](#)[Rédaction linguistique pour les auteurs](#)[Rédaction scientifique pour les auteurs](#)

Suivre BMC



En utilisant ce site Web, vous acceptez nos [conditions générales](#) , [notre déclaration de confidentialité en Californie](#) , [notre déclaration de confidentialité](#) et notre politique [en matière de cookies](#) . [Gérer les cookies/Ne pas vendre mes données](#) que nous utilisons dans le centre de préférences.

**SPRINGER NATURE**© 2023 BioMed Central Ltd sauf indication contraire. Fait partie de [Springer Nature](#) .