

L'Essence avec Plomb

Une Vue d'Ensemble des Impacts sur l'Environnement et la Santé

Introduction

Depuis l'introduction de plomb tetraéthylique comme agent anti-détonnant dans l'essence, le plomb véhiculaire a fait une contribution importante à l'exposition au plomb de la population générale, ce qui, avec d'autres sources d'émissions de plomb, a été associé à des effets négatifs sur la santé humaine. Le plomb est considéré comme un polluant qui persiste dans tous les milieux de l'environnement. Une fois absorbé par le corps humain, il peut résider dans les tissus et les os pendant longtemps. Les législateurs dans de nombreux pays sont à présent conscients des conséquences insidieuses d'une exposition cumulative de bas niveau au plomb, notamment des décrements dans le développement neuro-comportemental des enfants. Pour ces raisons même, beaucoup de pays ont aboli ou abolissent le plomb. Cependant, dans les pays qui n'ont pas encore entamé ce processus d'élimination du plomb en tant qu'agent anti-détonnant, la majorité du plomb présent dans leur environnement émane des émissions de véhicules. Dans ces pays, l'addition de plomb tetraéthylique aux carburants est estimée responsable de 80-90% du plomb dans l'air ambiant. Le degré de pollution dû à cette source diffère d'un pays à l'autre, selon la densité de circulation des véhicules à moteur et selon l'efficacité des efforts à réduire le contenu de plomb dans l'essence.

Cette vue d'ensemble des effets du plomb sur la santé humaine et l'environnement est basée sur des documents préparés par l'Organisation Mondiale de la Santé (WHO 1989 ; 1955, 2000) et des rapports récents de Wadge (1999) et Romieu (1999).

LES NIVEAUX DE PLOMB LIES A LA CIRCULATION

Sources de l'exposition humaine

Des concentrations de 50pg/m³ de plomb dans l'atmosphère ont été constatées dans des endroits isolés. Dans les pays développés, où la plupart de l'essence vendue est sans plomb, les concentrations typiques annuelles moyennes sont entre 0.1 et 0.2µg/m³ dans les zones urbaines et entre 0.01 et 0.05µg/m³ en zone rurale. Des concentrations annuelles moyennes plus élevées sont constatées dans les environs des sites industriels, se situant entre 0.2 et 1 µg/m³. Durant ces 25 dernières années, les niveaux de plomb suspendus dans l'atmosphère ont considérablement baissé suite aux réductions progressives des taux maxima de plomb autorisés dans l'essence et grâce à l'utilisation accrue d'essence sans plomb. Un exemple typique de la réduction en concentration de plomb en zone urbaine est présentée dans la Figure 1.

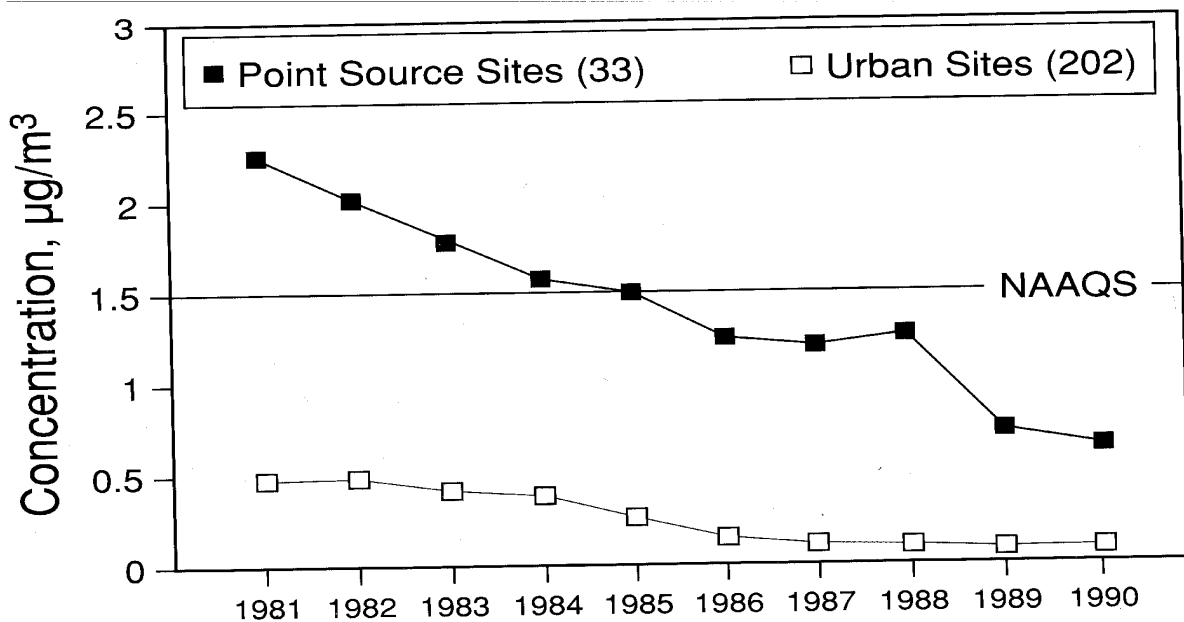


Fig. 3. Comparison of national trend (USA) in the composite average of the maximum quarterly lead concentrations at urban and point source oriented sites, 1981-1990 (NAAQS = National Ambient Air Quality Survey). (From: US EPA, 1991)

Figure 1 : Comparaison de la tendance nationale (Etats-Unis) dans la composition moyenne des concentrations trimestrielles maxima de plomb dans des sites urbains et orientés vers la source.

Les concentrations qui dépassent $1\mu\text{g}/\text{m}^3$ sont enregistrées dans les villes de pays en voie de développement qui sont encore de grands utilisateurs d'essence avec plomb.

Les niveaux secondaires de plomb dans le sol varient entre 10 et $70\text{mg}/\text{kg}$ et un niveau réel près des routes de $138\text{mg}/\text{kg}$ a été enregistré. Les niveaux actuels de plomb dans l'eau dépassent rarement quelques microgrammes/litre : la concentration naturelle de plomb dans l'eau de surface est estimée à $0.02\mu\text{g}/\text{litre}$.

Le transport environnemental du plomb, sa distribution et sa transformation

Le plomb suspendu dans l'air peut se déposer sur le sol et dans l'eau, et atteindre ainsi l'être humain par la nourriture et l'eau potable. Le plomb trouvé dans l'atmosphère peut aussi s'avérer une source importante de plomb dans la poussière ménagère.

Le transport et la distribution de plomb à partir de sources fixes, mobiles et naturelles se passent essentiellement par l'air. La plupart des émissions de plomb sont déposées près de la source, bien que quelques particules ($<2\mu\text{m}$ en diamètre) soient transportées sur de longues distances et entraînent la contamination de sites isolés tels que les glaciers

arctiques. Le plomb suspendu dans l'air peut contribuer à l'exposition humaine par la contamination de la nourriture, de l'eau et de la poussière, ainsi que par l'inhalation directe. De grandes quantités de plomb peuvent être déchargées dans le sol et dans l'eau. Cependant, de tels matériaux ont tendance à rester localisés à cause de la solubilité difficile des composés du plomb dans l'eau.

Le plomb déposé dans l'eau, que ce soit par l'air ou par la terre, se met rapidement en particule entre la phase sédimentaire et la phase aqueuse selon le pH, le contenu en sel et la présence d'agents organiques chélatants. Au-dessus du pH 5.4, l'eau calcaire peut contenir environ 30µg de plomb/litre et l'eau douce environ 500 µg de plomb/litre. Très peu du plomb déposé sur le sol est transporté sur les eaux de surface ou en eaux profondes à part par l'érosion ou les éléments climatiques géochimiques ; ce plomb est normalement étroitement lié (chélaté) à la matière organique.

Les niveaux de plomb dans l'environnement et l'exposition humaine

Parmi la population générale non-fumeuse, l'exposition majeure émane de la nourriture, de la poussière et de l'eau comme le démontre la Figure 2.

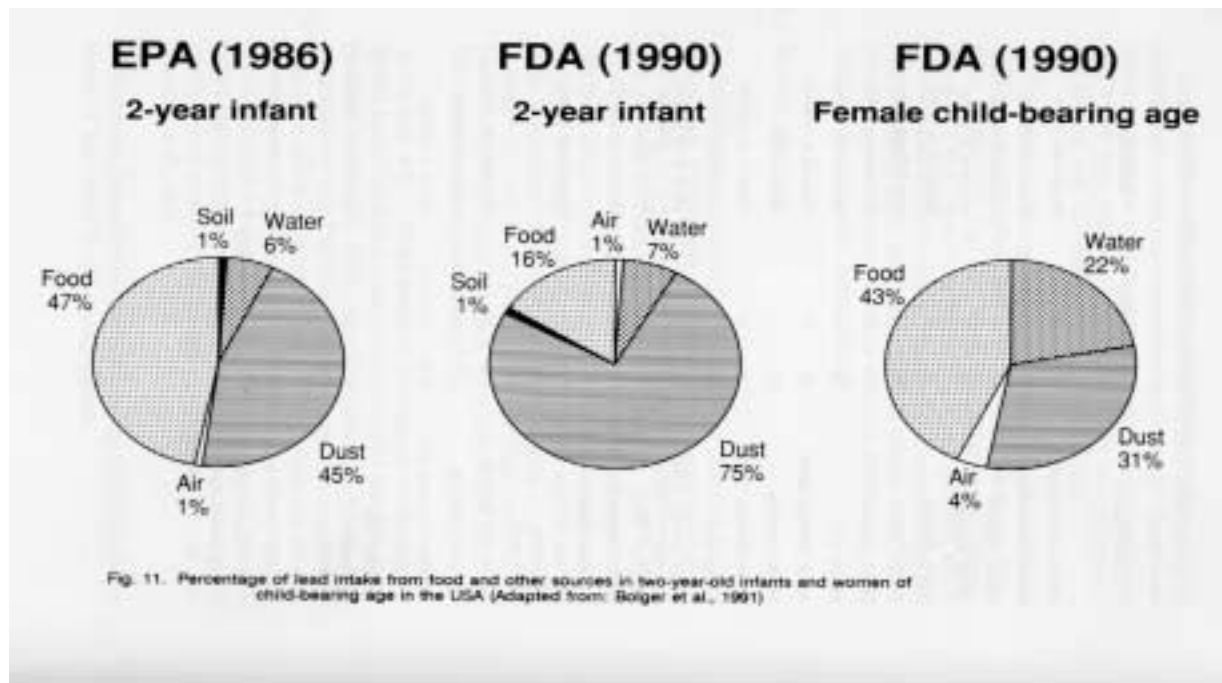


Figure 2 : Pourcentage d'absorption du plomb par la nourriture et par d'autres sources, chez les enfants de 2 ans et chez les femmes en âge de procréer, aux Etats-Unis

Le plomb suspendu dans l'air peut contribuer de façon significative à l'exposition, en tenant compte des facteurs tels que le tabagisme, le travail, la proximité des voies routières, des fonderies de plomb, etc., et des loisirs (ex. artisanat, entraînement aux armes à feu). La nourriture, l'air, l'eau et la poussière /terre sont les sources principales d'exposition des bébés et enfants en bas âge. Pour les nourrissons de 4 ou 5 mois, le lait maternel, le lait commercial et l'eau sont des sources significatives d'exposition au plomb.

Les niveaux de plomb trouvés dans l'air, la nourriture, l'eau et le sol/terre varient beaucoup dans le monde et dépendent du degré de développement industriel, d'urbanisation et des conditions de vie. On a enregistré des niveaux de plomb l'air ambiant au-dessus de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ dans les zones urbaines proches d'une fonderie, alors que des niveaux en-dessous de $0.2\mu\text{g}/\text{m}^3$ ont été enregistrés dans les villes où l'essence avec plomb n'est plus utilisée. La pénétration du plomb par l'air peut donc varier de moins de $4\mu\text{g}/\text{jour}$ à plus de $200\mu\text{g}/\text{jour}$.

Les niveaux de plomb dans l'eau potable relevés à la source sont normalement en-dessous de $5\mu\text{g}/\text{litre}$. Cependant, l'eau prise au robinet dans les maisons où le plomb est présent dans la plomberie peut contenir des niveaux en excès de $100\mu\text{g}/\text{litre}$, surtout si l'eau est restée stagnante dans la tuyauterie pendant plusieurs heures.

Le niveau de l'exposition alimentaire dépend beaucoup des facteurs liés à la façon de vivre, tels que la nourriture consommée, la technologie de conservation, l'utilisation de plomb de soudure, des niveaux de plomb dans l'eau et de l'utilisation de céramiques vernies au plomb.

Les Effets du Plomb sur la Santé

Chez l'être humain, le plomb peut causer plusieurs effets biologiques selon le niveau et la durée de l'exposition. Des effets au niveau subcellulaire tout comme des effets sur le fonctionnement général du corps ont été remarqués et vont de l'inhibition des enzymes à la production de changements morphologiques importants et à la mort. Ces changements s'étendent sur une gamme étendue de doses, l'être humain en développement est généralement plus sensible à ceux-ci que l'adulte.

Il a été démontré que le plomb affecte beaucoup de processus biochimiques ; en particulier, les effets sur la synthèse du sang (haem) ont été étudiés en profondeur. Des niveaux accrus du sérum erythrocyte protoporphyrin et une activité d'excrétion urinaire plus forte du coproporphyrin et de l'acide σ -aminolaevulinique sont constatés quand les concentrations en PbB sont élevées. L'inhibition des enzymes d'acide σ -aminolaevulinique déshydratasé et de réductase dihydrobiopterine est constatée à des niveaux plus bas.

Les effets du plomb sur le système hémopoïétique causent une synthèse d'hémoglobine réduite et l'anémie a été observée chez les enfants à des concentrations PbB au-dessus de $1.92\mu\text{mol/litre}$ ($40\mu\text{g/dl}$).

Pour des raisons neurologiques, métaboliques et comportementales, les enfants sont plus vulnérables aux effets du plomb que les adultes. Des études épidémiologiques prospectives aussi bien que par échantillons ont été conduites pour évaluer jusqu'à quel point l'exposition au plomb présent dans l'environnement affecte les fonctions psychologiques basées sur le CNS. Il a été démontré que le plomb est lié au fonctionnement neurocomportemental diminué chez l'enfant. Voir les figures 3 et 4 qui illustrent ces découvertes.

La diminution des fonctions psychologiques et neurocomportementales a été constatée après une exposition à long terme au plomb chez des ouvriers. Des paramètres électro physiologiques se montrent être des indicateurs utiles des effets subcliniques dans le CNS.

L'on sait depuis longtemps que la neuropathie périphérique est causée par une exposition à haut niveau et à long terme sur le lieu de travail. Le ralentissement de la vélocité de transmission des nerfs a été constaté à des niveaux plus bas. Il a été découvert que ces effets sont réversibles après que l'exposition cesse, selon l'âge et la durée de celle-ci.



Fig. 15. Estimated mean change in IQ for an increase in blood lead level from 0.48 to $0.96\mu\text{mol/litre}$ (10 to $20\mu\text{g/dl}$) in prospective studies

Figure 3 : Estimation du changement moyen dans le QI pour une augmentation du niveau de plomb dans le sang de 0.48 à $0.96\mu\text{mol/litre}$ (10 à $20\mu\text{g/dl}$) dans les études prospectives.

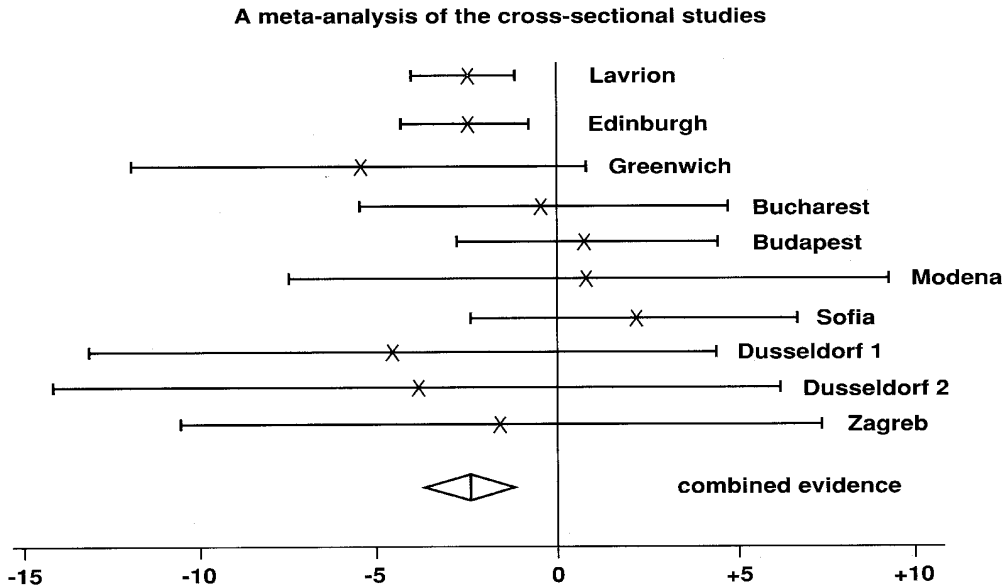


Fig. 17. Estimated mean change in IQ for an increase in blood lead level from 0.48 to 0.96 $\mu\text{mol/litre}$ (10 to 20 $\mu\text{g/dl}$) in cross-sectional studies

Figure 4 : Estimation du changement moyen du QI pour une augmentation du niveau de plomb dans le sang de 0.48 à 0.96 $\mu\text{mol/litre}$ (10 à 20 $\mu\text{g/dl}$) dans les études par échantillon.

L'effet du plomb sur le cœur est indirect et passe à travers le système nerveux autonome; il n'y a pas d'effet direct sur le myocarde. Les résultats collectifs retenus des études de population chez les adultes indiquent de très faibles associations entre la concentration de PbB et la tension artérielle systolique ou diastolique. Etant données les difficultés qui se présentent si l'on veut tenir en compte des facteurs contradictoires appropriés, des rapports causals ne peuvent être déterminés à partir de ces études. Aucune évidence ne ressort qui suggère qu'une association entre la concentration de PbB et la tension artérielle soit d'importance majeure pour la santé.

L'on sait que le plomb provoque des dégâts rénaux tubulaires proches, qui se caractérisent par une aminoacidurie généralisée, une hypophosphatémie avec une hypophosphaturie relative et une glycosurie accompagnée de corps d'inclusion nucléaire, de changements mitochondriaux et une cytomégalie des cellules épithéliales tubulaires proches. Les effets tubulaires sont constatés après des temps d'exposition relativement courts et sont normalement réversibles, alors que les changements sclérotiques et les fibroses interstitielles provoquant une diminution du fonctionnement rénal et éventuellement une défaillance de ce fonctionnement, nécessitent une exposition chronique à des niveaux élevés de plomb. De tels effets rénaux ont été constatés récemment dans la population générale lorsque des indicateurs plus sensibles de fonctionnement ont été mesurés.

Les effets du plomb sur le système reproductif mâle sont limités à la morphologie et au compte du sperme. Chez la femme, des fausses couches ont été attribuées au plomb.

Le plomb ne semble pas avoir d'effet nuisible sur la peau, les muscles ou le système immunitaire. A part chez le rat, le plomb ne semble pas avoir de rapport avec le développement de tumeurs.

L'Évaluation des risques de santé chez les humains

Le plomb affecte négativement divers organes et leurs systèmes ; les changements subcellulaires et les effets neurodéveloppementaux sont les plus sensibles. Une association entre le niveau PbB et l'hypertension artérielle a été constatée. Le plomb produit maints effets sur la réserve de sang (haem) dans le corps et en affecte la synthèse. Cependant, quelques-uns parmi ces effets ne sont pas considérés comme étant négatifs. L'homéostasie de calcium est affectée, et provoque donc une interférence avec d'autres processus cellulaires.

- a) L'évidence la plus substantielle tirée des études prospectives et transversales chez les populations ayant un niveau PbB généralement en dessous de $1.2\mu\text{mol/litre}$ ($25\mu\text{g/dl}$) se réfère aux décrets dans le quota d'intelligence (IQ). Il est à noter que de telles études d'observation ne peuvent fournir de preuve définitive de l'existence d'un rapport de cause à effet avec l'exposition au plomb. Cependant, la taille de l'effet IQ apparent, comme elle a été évaluée chez les enfants de 4 ans et plus, présente un déficit de 0 à 5 points (sur une échelle avec une déviation standard de 15) pour chaque incrément dans le niveau de PbB de $0.48\mu\text{mol/litre}$ ($10\mu\text{g/dl}$), avec un effet probable de taille d'entre 1 et 3 points. Aux niveaux de PbB se situant au-dessus de $1.2\mu\text{mol/litre}$ ($25\mu\text{g/dl}$), les rapports entre la PbB et le IQ peuvent différer. Les évaluations de la taille des effets sont des moyennes de groupe et s'appliquent seulement à l'enfant individuel de manière probabilisable.

Les études épidémiologiques existantes ne fournissent pas d'évidence définitive d'un seuil. En-dessous de la gamme PbB de $0.48\text{-}0.72\mu\text{mol/litre}$ ($10\text{-}15\mu\text{g/dl}$), les effets des variables confondantes et des limites de précision dans les mesures analytiques et psychométriques augmentent l'incertitude qui accompagne toute estimation des effets. Il existe, cependant, des évidences d'association en-dessous de cette gamme.

- b) Les études chez les animaux soutiennent l'idée d'un rapport de cause à effet entre le plomb et les conséquences sur le système nerveux, constatant des déficits dans les fonctions cognitives à des niveaux de PbB aussi bas que $0.53\text{-}0.72\mu\text{mol/litre}$ ($11\text{-}15\mu\text{g/dl}$) qui peuvent persister bien au-delà de la cessation de l'exposition au plomb.
- c) Une diminution dans la vitesse de transmission des nerfs périphériques peut se produire avec des niveaux de PbB aussi bas que $1.44\mu\text{mol/litre}$ ($30\mu\text{g/dl}$). De plus, la fonction motrice sensorielle peut être affaiblie avec des niveaux de PbB aussi bas qu'environ $1.92\mu\text{mol/litre}$ ($40\mu\text{g/dl}$) et le système nerveux autonome (électrocardiographique R-R intervalle variable) peut être affecté avec un niveau moyen de PbB d'environ $1.68\mu\text{mol/litre}$ ($35\mu\text{g/dl}$). Le risque d'une néphropathie liée au plomb est augmenté chez les ouvriers dont les niveaux de PbB se situent au-dessus

de 2.88 μ mol/litre (60 μ g/dl). Cependant, des études plus récentes utilisant des indicateurs plus sensibles du fonctionnement rénal suggèrent que des conséquences sur ce dernier à des niveaux plus bas d'exposition au plomb.

- d) L'exposition au plomb est associée à une petite augmentation de la tension artérielle. L'ordre probable de magnitude est que pour toute augmentation doublée du niveau de PbB (ex. de 0.8 à 1.6 μ mol/litre, soit de 16.6 μ g/dl à 33.3 μ g/dl), il y a une augmentation réelle de 1mmHg dans la tension artérielle systolique. L'association avec la tension artérielle diastolique est similaire mais moindre. On doute cependant que ces associations statistiques soient réellement dûes aux effets de l'exposition au plomb ou à des facteurs confondants.
- e) Certaines études épidémiologiques montrent l'existence d'une relation qui repose sur la dose de plomb absorbée, entre les accouchements prématurés et quelques indices de croissance et de maturation foetales à des niveaux de PbB de 0.72 μ mol/litre (15 μ g/dl) ou plus.
- f) L'évidence de la carcinogenèse du plomb et de divers composants inorganiques du plomb chez les humains est insuffisante.
- g) Les effets du plomb sur un nombre de systèmes enzymatiques et de paramètres biochimiques ont été prouvés. Les niveaux de PbB, au-dessus desquels leurs effets peuvent être démontrés en utilisant des techniques actuelles pour les paramètres ayant une signification clinique, se situent tous au-dessus de 0.96 μ mol/litre (20 μ g/dl). Des effets sur les enzymes peuvent être trouvés à des niveaux de PbB plus bas, mais la signification clinique est incertaine.
- h) Des études de population menées chez les enfants et chez les adultes qui ne sont pas exposés au plomb du fait de leur profession, indiquent un rapport entre 1 et 3 μ g PbB/dl pour 1 μ g/m³ de plomb dans l'air. Les évaluations des rapports entre le plomb suspendu dans l'air et la plombémie, qui comprennent la contribution totale de l'air par la consommation indirecte de poussière et de terre ainsi que l'inhalation directe, suggèrent une valeur entre 3 et 5 μ g PbB pour μ g/m³. Les rapports représentatifs du niveau moyen de plombémie suite à l'absorption de plomb par diverses voies dans la population générale sont montrés dans le tableau 1.

Tableau 1. Rapports représentatifs entre le niveau moyen de plombémie et le moyen d'absorption du plomb dans la population globale.³

Moyen d'Absorption	Population	
	Enfants	Adultes
Air ^b	0.09 $\mu\text{mol Pb/litre}$ pour $\mu\text{g Pb/m}^3$ (1.92 $\mu\text{g Pb/dl}$)	0.079 $\mu\text{mol Pb/litre}$ pour $\mu\text{g Pb/m}^3$ ^c (1.64 $\mu\text{g Pb/dl}$)
Eau		0.003 $\mu\text{mol Pb/litre}$ pour $\mu\text{g Pb/litre}$ (0.06 $\mu\text{g Pb/dl}$)
Nourriture	0.01 $\mu\text{mol Pb/litre}$ pour $\mu\text{g Pb/jour}$ (0.16 $\mu\text{g Pb/dl}$)	0.002-0.003 $\mu\text{mol Pb/litre}$ pour $\mu\text{g Pb/jour}$ (0.04-0.06 $\mu\text{g Pb/dl}$)
Poussière ^b	0.09 $\mu\text{mol Pb/litre}$ pour 1000 $\mu\text{g Pb/g}$ (1.8 $\mu\text{g Pb/dl}$)	
Terre ^b	0.11 $\mu\text{mol Pb/litre}$ pour 1000 $\mu\text{g Pb/g}$ (2.2 $\mu\text{g Pb/dl}$)	

^a Ces données ne sont offertes que dans le but d'illustrer notre propos, et reconnaissent que les rapports sont de nature curvilinéaires et ne sont que des indications qui ne s'appliqueront pas à des niveaux plus bas ou plus élevés d'exposition.

^b Une valeur se situant entre 0.144 et 0.24 $\mu\text{mol Pb/litre}$ ou 3-5 $\mu\text{g Pb/dl}$ pour $\mu\text{g/m}^3$ est obtenue lorsque l'on prend en considération les apports indirects par la terre/poussière.

^c Le rapport entre l'air ambiant sur les lieux de travail et la plombémie est le mieux décrit par un graphe curvilinéaire montrant des courbes entre 0.02 et 0.08 $\mu\text{g/m}^3$ d'air. La courbe est variable mais plus basse que celle concernant la population globale dans l'environnement global, qui est, quant à elle, entre 1.6 et 1.9 $\mu\text{g/m}^3$.

LES EFFETS DU PLOMB SUR L'ENVIRONNEMENT

Généralité

Dans les écosystèmes aquatiques, aquatiques/terrestriels, le rapport entre les producteurs principaux et les consommateurs principaux semble être déterminé par la biodisponibilité du plomb. La biodisponibilité est généralement moindre lorsque des matériaux organiques, du sédiment ou des particules minérales (ex. argile) sont présents. Dans beaucoup d'organismes, il n'est pas clair si le plomb est absorbé sur l'organisme (absorption sur la couche externe) ou par lui (absorption interne). Les consommateurs absorbent le plomb à travers leur nourriture contaminée, souvent à des concentrations importantes mais sans biomagnification.

En général, les composés inorganiques du plomb sont moins toxiques envers les microorganismes que les composés trialkyl- ou le plomb tétraalkyl. Le plomb tétraalkyl devient toxique par la décomposition en plomb trialkyl ionique. Un des facteurs importants qui influence la toxicité aquatique du plomb est la concentration libre ionique, qui affecte la disponibilité du plomb pour les organismes. La toxicité des sels de plomb inorganiques dépend fortement des conditions environnementales telles que la calinité de l'eau, son pH, et sa salinité. Il y a des preuves de l'existence de variétés tolérantes de microorganismes et que cette tolérance peut se développer ailleurs.

L'absorption par- et toxicité aux- organismes aquatiques

L'absorption et l'accumulation du plomb présent dans l'eau et les sédiments par les organismes aquatiques sont influencées par divers facteurs environnementaux tels que la température, la salinité et le pH, ainsi que le contenu (en acide) humique et en acide alginique. Dans les systèmes aquatiques contaminés, quasiment tout le plomb est étroitement lié au sédiment. Seule une fraction minime est dissoute dans l'eau, même dans l'eau interstitielle. L'absorption du plomb par les poissons atteint un équilibre seulement après quelques semaines d'exposition. Le plomb s'accumule principalement dans les ouïes, le foie, les reins et les arêtes. Les œufs de poisson montrent des niveaux de plomb croissants avec une concentration d'exposition accrue, et l'on sait que le plomb est présent sur la surface de l'œuf et éliminé rapidement dans l'embryon. Au contraire des composés de plomb inorganique, le plomb tétraalkyl est absorbé rapidement par le poisson et éliminé rapidement à la fin de l'exposition.

Il existe peu de preuves des effets du plomb sur les plantes aquatiques à des concentrations se situant en-dessous de 1 à 15mg/litre. Beaucoup d'études faites sur les plantes aquatiques ont été menées dans des systèmes sans sédiment. Cependant, l'addition de sédiment non contaminé diminue la toxicité du plomb sur les plantes aquatiques par réduction de la disponibilité de ce dernier.

Les résultats d'expériences sur la toxicité des sels de plomb sur les invertébrés aquatiques sont difficiles à interpréter étant données les variations dans les conditions

expérimentales et le manque de méthodes standardisées pour déterminer les concentrations de plomb dans l'eau. Dans la plupart des études, les concentrations de plomb dans l'eau sont nominales; la contribution à la toxicité de facteurs tels que le pH, la calinité de l'eau, les anions, et autres agents complexes ne peut être pleinement évaluée. Dans certaines communautés, des populations d'organismes sont plus sensibles que d'autres, et la structure de la communauté peut être affectée négativement par la contamination du plomb. Cependant, des populations de zones polluées peuvent afficher plus de tolérance au plomb que celles de zones non polluées. Dans d'autres organismes, l'adaptation aux conditions hypoxiques peut être gênée par des teneurs élevées en plomb.

La toxicité de l'eau contaminée par le plomb sur les poissons varie considérablement selon la disponibilité et l'absorption des ions de plomb. Les facteurs qui affectent cette disponibilité sont la calinité de l'eau (prévalence d'anions divalents), son pH, sa salinité et la matière organique. L'absorption est affectée par la présence d'autres cations et par le contenu en oxygène de l'eau. Le plomb organique est absorbé plus facilement que le plomb inorganique. La 96-h LC50 (concentration fatale qui tue plus de 50% de la population) pour le plomb inorganique dans des espèces sensibles peut être aussi bas que 1mg de plomb dissout par litre; les concentrations nominales sont jusqu'à 10 et 100 fois plus hautes que pour le plomb non organique. L'exposition à long terme des poissons adultes au plomb inorganique provoque des effets sub fatals sur la morphologie, l'acide amino levulinique déshydraté (delta-ALAD) et autres activités enzymatiques, et un comportement d'évitement à des concentrations de plomb disponible de 10 à 100 mg/litre. Les stades juvéniles sont généralement plus sensibles que les stades adultes, mais les œufs sont souvent moins sensibles parce que le plomb est absorbé sur la surface de l'œuf et exclu de l'embryon.

Il a été prouvé que les oeufs de grenouilles et de crapeaux sont sensibles aux concentrations nominales de plomb : de moins de 1 mg/litre dans l'eau stagnante et 0.04mg/litre dans l'eau courante ; on a aussi constaté un arrêt de croissance du développement et une pondaison tardive. Pour les grenouilles adultes, il n'y a pas d'effets significatifs en-dessous de 5mg/litre dans les solutions aqueuses, mais le plomb dans l'alimentation à 10mg/kg de nourriture a eu quelques effets biochimiques.

L'absorption par- et la toxicité aux- organismes terrestres

Dans les bactéries, la majorité du plomb présent se trouve dans le tissu cellulaire. Un phénomène similaire est aussi observé dans les plantes supérieures. Du plomb qui passe dans les cellules de la racine de la plante peut se combiner avec les nouvelles cellules du tissu cellulaire et par conséquent être déplacées du cytoplasme au tissu cellulaire. On trouve peu de preuve d'un éventuel déplacement du plomb subsistant dans la cellule de base vers d'autres parties de la plante, parce que la concentration de plomb dans le bourgeon ou dans le tissu de la feuille est généralement plus basse que dans la racine. Il arrive que le feuillage absorbe du plomb, mais seulement dans une mesure très restreinte. Chez les animaux, il y a définitivement une corrélation entre les concentrations de plomb dans la nourriture et le tissu cellulaire, quoique les concentrations dans les tissus soient

toujours plus basses. La distribution du plomb chez les animaux est étroitement associée avec le métabolisme du calcium. La forme organique tétravalente du plomb est en général plus toxique que la forme inorganique divalente, et sa distribution dans les organismes peut ne pas spécifiquement suivre le métabolisme du calcium.

La tendance du plomb inorganique à former des sels hautement insolubles et des composés avec divers anions, sans oublier son lien étroit avec les différents terrains, réduit dramatiquement sa disponibilité pour les plantes terrestres via les racines de ces dernières. Dans les plantes, le déplacement du ion est limité et la plupart du plomb lié aux sols demeure à la racine ou à la surface de la feuille. Il en résulte que, dans la plupart des études expérimentales sur la toxicité du plomb, de hautes teneurs en plomb de l'ordre de 100 à 1000mg/kg de terre sont requises pour causer des dommages toxiques visibles sur la photosynthèse, la croissance et autres paramètres. Ainsi, le plomb n'affectera seulement que les plantes poussant à des endroits connaissant de très hautes teneurs en plomb dans l'environnement.

L'ingestion de bactéries et de champignons (fungi), contaminés par le plomb, par les nematodes, a pour conséquence une reproduction affaiblie. Les cloportes tolèrent d'une façon inhabituelle le plomb, dans la mesure où une exposition prolongée à de la terre ou à de l'herbe contenant des sels de plomb rajoutés en surface n'a eu aucun effet. Des millepattes maintenus sur un régime alimentaire contenant des sels de plomb ont manifesté des symptômes de toxicité ayant pour conséquence une croissance et une reproduction diminuées. L'information est trop mince pour quantifier les risques encourus par les invertébrés pendant la décomposition de terreau (fumier) contaminé par le plomb.

Les sels de plomb sont toxiques pour les oiseaux s'ils contiennent une forte dose (100mg/kg ou plus). Tous les travaux expérimentaux ont été faits sur des poulets et autres gallinacées. L'exposition des cailles, de l'éclosion jusqu'à l'âge adulte, a produit des conséquences sur la production d'œufs à des niveaux d'absorption du plomb par les voies alimentaires de 10mg/kg. Quoiqu'un certain nombre d'effets, ayant lieu après absorption de très fortes doses de plomb, ont pu être constatés, la plupart peuvent être expliqués comme une conséquence principale de la consommation de nourriture. La diarrhée et le manque d'appétit, conduisant à l'anorexie et à la perte de poids, sont les effets principaux produits par les sels de plomb. Etant donné que l'on ne peut trouver les mêmes résultats sur d'autres variétés d'oiseaux, on ne peut que supposer une similaire sensibilité. Si l'on se fonde sur cette supposition, il est hautement improbable qu'une exposition à un environnement global contenant du plomb ait un effet négatif sur les oiseaux. Il y a peu d'information concernant les conséquences des composés organiques du plomb. Les composés de plomb trialkyl ont eu des conséquences sur des étourneaux ayant absorbé des doses de 0.2mg/jour ; 2mg/jour se sont avérés invariablement fatals.

Accumulation et conséquences dans l'environnement

On a trouvé des organismes incorporant le plomb trouvé dans l'environnement global, généralement en proportion relative avec le degré de contamination. Les dépôts de plomb

dans une région dépendent de ses concentrations dans l'air ; celles-ci décroissent en s'éloignant de la source d'émission. Dans les coquillages, les concentrations de plomb sont plus fortes dans les coquilles riches en calcium que dans les tissus mous. Elles sont fonction de la teneur en sédiment. Les teneurs en plomb dans les poissons d'eau de mer sont plus élevées dans les branchies et sur la peau que dans les autres tissus, mais cela est peut être largement dû à l'absorption. Les niveaux de plomb dans le foie augmentent de façon significative avec l'âge. Chez les dauphins, le plomb passe de la mère à ses rejetons pendant le développement fœtal et la lactation. Ceci peut être lié au métabolisme du calcium.

Dans les zones d'autoroutes et les zones urbaines, les teneurs en plomb sont le plus importantes dans les sols et organismes proches des routes où la circulation est dense. Le plomb ainsi mesuré est de nature inorganique et provient presque exclusivement de composés du plomb alkyl ajoutés au pétrole. Le plomb présent dans le sol et dans la végétation décroît exponentiellement avec l'éloignement de la source (route). On peut aussi trouver des concentrations de plomb dans les sédiments des ruisseaux proches des autoroutes. La contamination en plomb augmente la teneur en plomb des plantes et des animaux dans les endroits proches des routes. Ces niveaux sont définitivement en relation avec le volume de la circulation et la proximité des routes. La plupart des dépôts de plomb se trouvent dans un rayon de 500m de la route et sur les quelques centimètres de terre de surface. On peut supposer que les teneurs en plomb du sol et de « biota » ne sont pas influencées par la circulation sur des routes plus distantes.

Il n'a pas été trouvé d'effets sur la reproduction des oiseaux ayant des nids près des routes à grande circulation. Des conséquences toxiques ont été observées chez les pigeons des zones urbaines ; leurs reins sont les organes le plus fréquemment affectés. Des incidents à répétition de morts massives d'oiseaux, dans les estuaires proches de plants industriels fabriquant des composés anti-détonnants à base de plomb, ont été observés. La teneur totale en plomb de leurs foies était suffisamment haute pour entraîner la mort : le plomb était principalement présent sous sa forme alkyl.

CONCLUSIONS

Les effets du plomb sur la santé de la population globale ont été l'objet de débats et de controverses considérables. Le souci le plus important est celui rapporté par les études des populations concernées par l'absorption de plomb et concernant les rapports entre le plomb et la mesure de l'intelligence chez les enfants. Chez les adultes il y a peu de matériau attestant d'un lien de cause à effet certain entre le plomb et la tension artérielle. Quoiqu'un tel lien ne puisse être observé sans réserve, les découvertes des études épidémiologiques attestent avec une grande consistance et une non moins grande cohérence de la toxicologie du plomb sur les animaux de laboratoire et suggèrent un certain effet négatif à la fois sur les QI des enfants et sur la tension artérielle des adultes. En raison de cela, il a été recommandé par l'OMS d'éliminer toutes les utilisations encore existantes du plomb et de ses composés dans les combustibles des moteurs et de réduire l'exposition au plomb due à d'autres sources (OMS 1995). Les indications de l'OMS en matière de qualité de l'air et concernant la présence de plomb dans ce dernier sont de 0.5

$\mu\text{g}/\text{m}^3$; en raison même des autres moyens d'exposition au plomb, les indications relatives à la qualité de l'air en relation avec la présence de plomb devrait être accompagnées de mesures préventives additionnelles (OMS 2000). Afin de prévenir une croissance plus grande de la teneur en plomb des sols et des sédiments et une exposition croissante des générations futures, les niveaux de plomb dans l'air devraient être maintenus le plus bas possible.

REFERENCES

Romieu I 1999 Epidemiological Studies of Health Effects. In : Urban Traffic Pollution, Eds D. Schwela, O. Zali, E & Spon, Cambridge.

Wadge A 1999 Lead. In : Air Pollution and Health. Eds. S.T. Holgate, J.M. Samet, H.S.Koren, R-L. Maynard, Academic Press, New York.

OMS 1989 Plomb – Aspects Environnementaux. Environmental Health Criteria 1985. OMS, Genève.

OMS 1995 Plomb inorganique. Environmental Health Criteria 165. OMS, Genève.

OMS 2000 Indications pour la Qualité de l'Air. OMS, Genève . Adresse internet : <http://www.who.int/peh/>.