

TOXIQUE
OU PAS
TOXIQUE ?

Pr Alfred Bernard

TOXIQUE OU PAS TOXIQUE ?

**PFAS, MICROPLASTIQUES, CHLORE,
MÉTAUX LOURDS...**

Sommaire

Avant-propos	11
---------------------	----

01. Concepts et principes de base en toxicologie : comprendre pour mieux se protéger	14
Danger et risque	17
Le concept de dose	21
La dose fait-elle le poison ?	26
La mithridatisation, ou quand le corps s'adapte au poison	28
Les différents types d'intoxications	29
Les méthodes d'évaluation de l'exposition	31
L'absorption, la bioaccessibilité et la biodisponibilité	33
Comment le foie élimine et l'intestin recycle les toxiques	35
Les indicateurs d'effets sanitaires	36
Les différents effets toxiques	38
Les interactions entre substances	41
Les perturbateurs endocriniens	43
Les cancérogènes	44
Quand l'environnement transforme nos gènes	47
Les valeurs toxicologiques de référence	48

02. Les polluants de l'air : ce que nous respirons sans le savoir	54
Les matières particulaires	58
L'ozone	67
Le dioxyde d'azote	72
Le benzène	77
Le monoxyde de carbone	83
Le radon	89

03. Les piscines chlorées : un loisir pas si sain	96
--	----

04. L'eau potable : peut-on encore boire de l'eau du robinet ?	116
---	-----

05. Les cosmétiques : entre promesses et dangers	140
---	-----

06. Les métaux lourds : des poisons opportunistes	162
Le plomb	166
Le mercure	176
Le cadmium	187
L'arsenic	198

07. Les dioxines et les polychloro-biphényles : des polluants interdits toujours bien présents	210
---	-----

08. Les PFAS, ou polluants éternels : la face cachée des matériaux révolutionnaires	224
--	-----

09. Les pesticides : des poisons, mais pas que pour les nuisibles	248
--	-----

10. Les plastiques : quand les déchets deviennent invisibles	274
Les bisphénols	284
Les plastifiants	286

11. Les aliments transformés : les conséquences de l'alimentation contemporaine	294
--	-----

Conclusion générale	320
Sigles et abréviations	325
Bibliographie	329
Notes de fin	343

Avant-propos

Chaque jour, sans forcément en avoir conscience, nous sommes exposés à une multitude de substances potentiellement toxiques. Elles se trouvent dans l'air que nous respirons, dans l'eau que nous buvons, dans les aliments que nous consommons, mais aussi dans les produits que nous utilisons au quotidien – cosmétiques, détergents, matériaux, objets courants. Cette réalité peut susciter des inquiétudes légitimes. Dès lors, une question essentielle doit trouver réponse : quels sont les risques réels ? Et surtout, comment s'en protéger de manière efficace, sans céder à la peur ni se perdre dans des informations contradictoires ? C'est précisément à ces questions que j'ai souhaité répondre dans cet ouvrage.

Depuis plusieurs décennies, notre société est hantée par la peur des substances toxiques, alimentée par des alertes et des crises sanitaires récurrentes. J'ai pu constater, au fil de ma carrière, que ces risques sont aussi, à l'occasion, amplifiés par différents acteurs – pour des raisons politiques, idéologiques, commerciales, ou simplement pour capter l'attention médiatique. Or, cette amplification n'est pas sans conséquence. Au-delà du climat anxiogène qu'elle entretient, elle peut détourner notre attention de risques plus discrets mais potentiellement plus importants. Par exemple, nous

nous inquiétons beaucoup de certains contaminants à l'état de traces tout en négligeant parfois des expositions plus significatives, comme celles aux substances cancérogènes qui se forment dans des aliments trop cuits ou ultratransformés. Elle peut aussi amener les autorités à mobiliser d'importantes ressources financières pour des risques dérisoires au détriment de secteurs vitaux, et ce, dans un contexte de précarité et de souffrances sociales croissantes.

Face à ces constats, j'ai voulu proposer une autre voie : celle d'une prévention raisonnée des risques toxiques au quotidien. Par « raisonnée », j'entends une approche qui repose sur la compréhension rigoureuse, mais accessible, des risques. Il s'agit de tenir compte à la fois de la dangerosité des substances chimiques, des niveaux d'exposition réels et de leur évolution, de la vulnérabilité des personnes exposées, de la gravité des effets toxiques et aussi des effets protecteurs de certains aliments. Des normes sanitaires, par exemple, sont établies pour prévenir des effets infracliniques¹ réversibles tandis que d'autres visent à éviter des maladies très invalidantes. Une prévention raisonnée permet aussi de se protéger des polluants et des contaminants en l'absence de normes ou lorsque celles-ci ne sont pas respectées. Quant aux aliments protecteurs, il s'agit de poissons, de fruits et de légumes dont les bienfaits l'emportent souvent très largement sur les risques liés aux résidus potentiellement toxiques qui les contaminent.

Je me propose ainsi de vous accompagner pas à pas pour mieux comprendre ces enjeux. Nous explorerons les principales sources d'exposition du quotidien : l'air ambiant, l'eau potable, l'alimentation ainsi que les produits de consommation courante comme les cosmétiques. J'aborderai également

les grandes familles de polluants qui suscitent aujourd'hui de nombreux débats – PFAS, pesticides, microplastiques – en distinguant ce que la science établit solidement de ce qui reste incertain ou surestimé.

Enfin, cet ouvrage se veut résolument pratique. Vous y trouverez des repères concrets pour réduire les expositions évitables, y compris dans des situations où les normes n'existent pas ou ne sont pas appliquées. Mon objectif n'est pas de viser le risque zéro – qui n'existe pas –, mais de vous aider à faire des choix éclairés, proportionnés et compatibles avec la vie quotidienne.

**Une attention particulière est accordée
aux personnes les plus vulnérables, en particulier
les enfants.**

Je précise cependant que cet ouvrage n'aborde pas les assuétudes au tabac, à l'alcool ou aux drogues dont les risques sanitaires sont bien connus et assumés par ceux qui y tombent. Il n'aborde pas non plus les risques professionnels, encore que certaines catégories de travailleurs non assujettis à la médecine du travail pourraient y trouver de précieux conseils. Enfin, il n'aborde pas les risques liés aux organismes venimeux et vénéneux, sujet qui requiert une approche spécialisée.

J'espère que ce livre vous permettra de mieux comprendre un sujet souvent complexe et source d'inquiétude et surtout de retrouver une forme de maîtrise face aux risques toxiques du quotidien. Car mieux comprendre, c'est déjà mieux se protéger – sans céder ni à la peur ni à l'indifférence.

01.

Concepts et principes de base en toxicologie : comprendre pour mieux se protéger

La toxicologie est la science qui étudie les effets délétères des substances chimiques sur les organismes vivants. La discipline tire son nom des mots grecs *toxikon*, « poison pour flèche », et *logos*, « science ». La toxicologie est la science qui permet de se protéger des innombrables poisons de l'environnement. Elle permet d'identifier les risques sanitaires, de définir les seuils d'exposition critiques et de préconiser des mesures de prévention adaptées à la vulnérabilité de chacun.

Si j'ai choisi d'ouvrir cet ouvrage par cette définition, c'est parce que la toxicologie constitue en quelque sorte la clé de lecture de tout ce qui va suivre. C'est elle qui permet de passer de l'inquiétude diffuse – « Sommes-nous entourés de produits dangereux ? » – à une compréhension structurée des risques réels.

Concrètement, la toxicologie permet d'identifier les dangers, d'évaluer les niveaux d'exposition à partir desquels un effet délétère peut apparaître et de définir des seuils destinés à protéger la population. Elle aide également à formuler des recommandations adaptées en tenant compte d'un élément essentiel : nous ne sommes pas tous égaux face aux substances toxiques. L'âge, l'état de santé, les conditions de vie ou encore les habitudes alimentaires influencent fortement notre vulnérabilité.

À l'interface entre le monde inerte représenté par les poisons et le monde vivant des organismes exposés, la toxicologie emprunte les connaissances et les méthodes de nombreuses disciplines comme la chimie, la biochimie, la physiologie, la physique, l'épidémiologie et les statistiques. Selon les organes cibles des toxiques, elle emprunte aussi les tests diagnostiques des différentes spécialités médicales (pneumologie, néphrologie, immunologie, neurologie...).

La toxicologie se divise elle-même en sous-disciplines spécialisées : toxicologie médicolégale, toxicologie clinique, toxicologie industrielle, toxicologie vétérinaire, toxicologie environnementale, écotoxicologie et toxicovigilance. Elle requiert donc une bonne formation en sciences médicales ; les toxicologues sont souvent des médecins ou des pharmaciens. Comme la médecine, il s'agit à la fois d'une science et d'un art et seule une longue pratique permet d'en maîtriser tous les aspects.

Pionnier de la toxicologie moderne, le professeur américain Irving Sunshine (1913-2003) a parfaitement résumé l'exigence de cette discipline :

**« Apprendre la toxicologie est facile.
Il suffit de deux leçons pour devenir un expert.
Chaque leçon dure dix ans. »**

Derrière l'humour, une réalité : comprendre les mécanismes est une chose, les interpréter correctement dans des situations concrètes en est une autre.

Ce chapitre introductif a donc pour objectif de vous donner les bases indispensables pour aborder la suite de cet ouvrage. Vous y découvrirez les concepts fondamentaux

qui permettent d'évaluer un risque toxique, de comprendre les normes sanitaires et, surtout, de porter un regard éclairé sur les nombreuses informations – parfois contradictoires – auxquelles nous sommes exposés. Car, pour se protéger efficacement, il faut d'abord comprendre.

Danger et risque

Avant d'aller plus loin, il est essentiel de clarifier deux notions fondamentales, souvent confondues dans les médias comme dans le débat public : le danger et le risque. Selon mon expérience, cette confusion est à l'origine de nombreuses incompréhensions – et parfois de peurs injustifiées.

► Le **danger** désigne le potentiel d'un agent chimique ou d'un mélange de substances chimiques à provoquer des effets délétères dans des conditions d'exposition bien définies chez l'homme ou chez l'animal. Autrement dit, il s'agit de ce que la substance *est capable de faire*, indépendamment de la manière dont nous y sommes réellement exposés. Le danger se distingue du risque en ce sens qu'il fait abstraction des niveaux et souvent aussi des voies d'exposition. Le danger est défini de la même façon, que l'exposition soit à de faibles doses ou à des doses massives comme celles qui prévalaient autrefois dans l'industrie. Nos charcuteries par exemple ont été classées par le CIRC² dans le groupe 1 des cancérogènes avérés pour l'homme, tout comme l'arsenic ou la fumée de cigarette, alors que les niveaux de risque de ces agents cancérogènes sont sans commune mesure. À titre de comparaison, fumer un paquet de cigarettes par jour multiplie par 10 à

20 (augmentation de 900 à 1 900 %) le risque de cancer du poumon tandis que consommer 50 grammes de charcuteries par jour augmente le risque de cancer colorectal de 18 %.

Le danger se définit au moyen d'adjectifs tels qu'« irritant », « allergisant », « cancérogène », « mutagène », « reprotoxique » ou « perturbateur endocrinien ». Il est symbolisé par des pictogrammes de danger qui servent à alerter les utilisateurs sur les risques liés à la manipulation des produits chimiques concernés. Il s'agit d'une notion qualitative intimement liée aux propriétés physicochimiques de la substance qui déterminent son métabolisme (toxicocinétique³) et son action toxique (toxicodynamique⁴). Ces symboles jouent donc un rôle utile : ils alertent sur les propriétés intrinsèques des substances. Mais ils ne suffisent pas, à eux seuls, à évaluer le risque réel dans une situation donnée.

► Le **risque** est la probabilité que des effets délétères surviennent dans des conditions d'exposition particulières. Il dépend donc à la fois du danger et de l'exposition. Une manière simple de le comprendre est de considérer que le risque résulte de la combinaison de ces deux éléments. Contrairement au danger, le risque se quantifie. Il s'exprime en termes de probabilité, de fréquence ou encore de dépassement de seuils définis pour protéger la santé. Et surtout, c'est une notion sur laquelle il est possible d'agir par des mesures collectives ou individuelles qui permettent d'éviter le contact avec la substance ou de maintenir l'exposition sous les seuils de toxicité avec une marge de sécurité importante.

Pour illustrer la différence entre danger et risque, prenons l'exemple de l'eau de Javel (hypochlorite de sodium). L'eau

de Javel est par nature dangereuse. Elle est corrosive et peut provoquer de graves brûlures des yeux et de la peau. Mais correctement diluée et manipulée avec des gants et des lunettes de protection dans un local bien ventilé, elle est sans risque.

Pour bien comprendre cette notion de risque, il faut aussi prendre en compte les nombreux facteurs qui peuvent le moduler. Le facteur de loin le plus déterminant est l'âge, ou le moment d'exposition dans la vie. Nous ne sommes pas sensibles aux substances toxiques de la même manière à tous les âges. Les périodes de développement – en particulier la vie fœtale et l'enfance – sont des phases de grande vulnérabilité. Certains toxiques, comme les solvants, la nicotine, le méthylmercure ou le plomb, peuvent franchir la barrière placentaire et affecter le développement cérébral du fœtus. Ensuite, la durée de la période de vulnérabilité varie selon les organes cibles. Depuis la vie fœtale, elle s'étend environ jusqu'à l'âge de 10 ans pour le système immunitaire et l'arbre respiratoire⁵, jusqu'à la fin de la puberté pour le système reproducteur et jusqu'à l'âge de 20 ans pour le système nerveux central. À l'autre extrémité de la vie, les personnes âgées constituent également un groupe plus vulnérable en raison de la diminution fonctionnelle des organes cibles ou des organes chargés de détoxifier (foie) et d'éliminer les toxiques (reins).

La **voie** d'exposition aux substances est également déterminante. L'inhalation est souvent la voie d'exposition la plus dommageable pour la santé en raison de la fragilité et de l'importante capacité d'absorption des poumons. L'inhalation et la voie cutanée sont des voies d'exposition particulièrement dangereuses, car elles court-circuitent le

passage par le foie. Les substances absorbées par la peau et les poumons échappent largement aux processus de biotransformation du foie qui réduisent leur toxicité et/ou facilitent leur élimination.

L'**intensité** (la dose) et la **durée** d'exposition sont également déterminantes. Elles permettent de distinguer des expositions aiguës, de courte durée, de celles qui sont chroniques et s'étendent sur des années, voire toute une vie.

Enfin, d'**autres facteurs** entrent encore en jeu. L'état de santé, par exemple : une personne souffrant déjà d'une maladie affectant un organe cible sera plus sensible à certains toxiques. Ainsi, les épisodes de pollution atmosphérique affectent particulièrement les personnes atteintes de maladies cardiorespiratoires chroniques. Il existe également des susceptibilités individuelles d'origine génétique. Certaines personnes disposent de capacités moindres pour détoxifier les substances ou réparer les dommages qu'elles causent, ce qui peut augmenter leur vulnérabilité. Enfin, dans la vie réelle, nous ne sommes presque jamais exposés à une substance isolée. Les interactions entre différentes substances – ce que l'on appelle parfois l'« effet cocktail » – peuvent amplifier ou, au contraire, atténuer les effets toxiques.

Comprendre la différence entre danger et risque, ainsi que les facteurs qui modulent ce risque, est une étape essentielle. C'est ce qui permet de passer d'une perception souvent confuse et anxiogène des substances toxiques à une approche plus rationnelle, plus nuancée – et, au final, plus efficace pour se protéger.

Figure 1.

Équation reliant les notions de risque et de danger et les principaux facteurs qui la modulent

$$\text{RISQUE} = \text{DANGER} \times \text{EXPOSITION}$$

Principaux facteurs déterminant le risque :

1. Âge (fœtus, nourrissons, enfants, adolescents, adultes, seniors)
2. Voie d'exposition (orale, respiratoire, cutanée)
3. Intensité d'exposition (dose journalière, dose hebdomadaire)
4. Durée d'exposition (heures, jours, mois, années)
5. État de santé (insuffisance rénale, hépatique ou respiratoire)
6. Facteurs génétiques (déficiences métaboliques)
7. Co-exposition (effets additifs, synergiques ou antagonistes)

Le concept de dose

S'il y a un concept absolument central en toxicologie, c'est bien celui de la dose. On pourrait même dire qu'il en constitue le socle. Sans lui, il est tout simplement impossible de comprendre pourquoi une substance peut être inoffensive dans certaines situations et dangereuse dans d'autres.

Ce principe fondamental a été introduit par Paracelse, un médecin de la Renaissance considéré comme le père de la toxicologie. Celui-ci a formulé au XVI^e siècle une idée d'une étonnante modernité et qu'on peut traduire comme suit : « Quelle substance n'est pas poison ? Tout est poison et rien n'est pas poison. Seule la dose détermine si une chose est un poison. » En d'autres termes, on peut dire que c'est la dose qui fait le poison.

Cette idée simple en apparence est en réalité d'une grande puissance explicative. Elle signifie qu'aucune substance n'est intrinsèquement « bonne » ou « mauvaise » en toute circonstance. Tout dépend de la quantité à laquelle nous sommes exposés. Même des substances indispensables à la vie peuvent devenir toxiques à forte dose, tandis que des substances potentiellement dangereuses peuvent être sans effet aux niveaux d'exposition habituels.

Ce concept conduit à une autre notion essentielle : celle de seuil. En toxicologie, on cherche notamment à identifier une dose en dessous de laquelle aucun effet délétère observable n'apparaît. C'est ce que l'on appelle la « dose sans effet nocif observé », ou NOAEL (de l'anglais « *no observed adverse effect level* »). En posant l'existence de tels seuils, Paracelse a, sans le formuler en ces termes, jeté les bases de la relation entre danger et risque que nous avons évoquée précédemment.

Un exemple très concret permet d'illustrer ce principe. L'acide acétique, que nous connaissons tous sous la forme du vinaigre, n'a pas du tout les mêmes effets selon sa concentration. À faible concentration, autour de 5 à 6 %, comme dans le vinaigre de table, il est sans risque dans les conditions normales d'usage. À des concentrations plus élevées, comme dans certains vinaigres ménagers, il devient irritant pour la peau et les yeux, ce qui justifie la prise de précautions simples, comme le port de gants et de lunettes de sécurité. À des concentrations encore supérieures (20-30 %), utilisées par exemple en horticulture, il devient corrosif. Et à très forte concentration (au-delà de 90 %), il peut provoquer des lésions graves et irréversibles (cutanées, oculaires ou respiratoires), nécessitant des conditions de manipulation

strictement contrôlées (manipulation sous hotte, port de gants et de lunettes de sécurité). La substance est la même ; seules la concentration et donc la dose changent – et, avec elles, le risque.

Pour aller plus loin, il faut comprendre que la notion de dose elle-même recouvre plusieurs réalités, que je vais essayer de clarifier simplement.

La première est la **dose externe**. Il s'agit de la quantité de substance à laquelle nous sommes exposés, que ce soit par ingestion, par inhalation ou par contact avec la peau. C'est, en quelque sorte, la dose « à l'entrée » de l'organisme. Prenons le cas des résidus de pesticides présents sur les fruits et les légumes. La dose externe dépend de la concentration du pesticide sur l'aliment et de la quantité que l'on en consomme. C'est sur cette base que sont établies les limites maximales de résidus dans les denrées alimentaires. Par inhalation ou ingestion, la dose externe s'exprime habituellement en mg, μg^6 ou ng^7 par kilo de poids corporel et par jour. Appliquée sur la peau, on l'exprime en mg, μg ou ng par cm^2 de peau et par jour. La dose externe est celle qui va déterminer les effets locaux et dans une certaine mesure les effets systémiques⁸, ces derniers dépendant de plusieurs facteurs, dont l'absorption de la substance et sa répartition entre les organes. La dose externe d'un contaminant ou polluant est calculée à partir des concentrations dans les vecteurs qui peuvent être les aliments, l'eau potable, l'air inhalé ou toute matière en contact avec la peau. Les doses journalières tolérables ou acceptables établies pour les contaminants des aliments ou de l'eau potable sont des doses externes. Le tableau 1 donne, à titre d'exemple, les doses

externes léthales de quelques substances sur une échelle qui comporte onze ordres de grandeur. La dose externe donne une première indication du risque, mais elle ne suffit pas à elle seule à prédire les effets sur l'organisme. Car toute la substance à laquelle nous sommes exposés ne pénètre pas nécessairement dans le corps.

Tableau 1.

Dose létale approximative pour l'homme de quelques substances (mg par kilo de poids corporel)

Eau	100 000
Alcool éthylique	10 000
Chlorure de sodium (NaCl)	4 000
Dichlorodiphényltrichloroéthane (DDT)	500
Nicotine	10
Cyanure de potassium (KCN)	5
Strychnine	5
Arsenic (As ₂ O ₃)	2
Térodotoxine	1
Sarin	0,1
Dioxine de Seveso (TCDD)*	0,001
Toxine du tétanos	0,000002
Toxine botulique	0,000001

C'est là qu'intervient la notion de **dose interne**. Elle correspond à la fraction de la substance effectivement absorbée et qui se retrouve dans la circulation sanguine. Par exemple, deux personnes ingérant la même quantité d'un contaminant par kg de poids corporel peuvent présenter des

* Chez le rat.

doses internes très différentes, en fonction de l'absorption intestinale de ces deux métaux qui varie avec l'âge, le sexe et les besoins ou carences en éléments essentiels (calcium, fer, zinc). La dose interne correspond donc à la dose externe multipliée par le % d'absorption au niveau du tube digestif, de l'arbre respiratoire ou de la peau. La dose interne est également appelée « dose systémique », car elle détermine les effets qui surviennent dans des organes éloignés du point de contact initial, donc après absorption et passage de la substance dans la circulation sanguine. Elle s'exprime également en mg, µg ou ng par kilo de poids corporel et par jour.

Enfin, dans certains cas, on s'intéresse à une troisième notion, encore plus précise : la **dose cible**. Il s'agit de la quantité de substance qui atteint effectivement les structures biologiques sur lesquelles elle agit – les molécules ou les cellules cibles. Un exemple classique est celui du monoxyde de carbone. Ce gaz toxique agit en se fixant sur l'hémoglobine du sang, empêchant le transport de l'oxygène. On peut alors mesurer directement la proportion d'hémoglobine « neutralisée », ce qui donne une indication très concrète de l'effet toxique en cours.

Ces différentes façons de définir la dose peuvent sembler techniques, mais elles traduisent une réalité simple : entre l'exposition à une substance et ses effets sur la santé, il existe plusieurs étapes, chacune influençant le risque final.

Comprendre le rôle de la dose permet de dépasser une vision binaire – « toxique » ou « non toxique » – pour entrer dans une approche plus nuancée, plus fidèle à la réalité. Et surtout, cela donne un outil précieux pour raisonner, comparer les risques et, au final, mieux se protéger.