

Évaluation de l'exposition et valeurs de référence pour les poussières sédimentées dans les environnements intérieurs

Guillaume Perouel^a Marion Keirsbulck^a Thomas Chaigneau^b Matthieu Delannoy^c
Williams Esteve^d Barbara Le Bot^e Yves Noack^f Aurélie Pelfrêne^g Philippe Glorennec^e

- a** : Anses 14, rue Pierre et Marie Curie 94701 Maisons-Alfort Cedex France
b : Université de Lorraine CITHEFOR EA 3452 Pôle BMS Campus Brabois Santé
9, avenue de la Forêt de Haye - BP 20199 54505 Vandœuvre-lès-Nancy Cedex
France
c : Université de Lorraine - INRAe URAFPA TSA 40602 54518 Vandœuvre-lès-
Nancy, France
d : Inrs Rue du Morvan 54519 Vandœuvre-lès-Nancy France
e : Univ Rennes, EHESP, Inserm, Irset (Institut de recherche en santé
environnement et travail) - UMR_S 1085 Avenue du Professeur Léon Bernard
35043 Rennes France
f : Université Aix-Marseille, CNRS, IRD, INRAE, Collège de France, CEREGE
Technopole de l'Environnement Arbois-Méditerranée BP 80 13545 Aix-en-
Provence Cedex 4 France
g : Univ. Lille Institut Mines-Télécom, Univ. Artois, Junia, ULR 4515 – LGCgE,
Laboratoire de Génie Civil et géo-Environnement 48, boulevard Vauban 59014
Lille Cedex France

Published in Environnement, Risques & Santé. Disponible le 04/08/2021:
[10.1684/ers.2021.1569](https://doi.org/10.1684/ers.2021.1569)

Mots Clés

exposition environnementale ; caractéristiques de l'habitat ; poussières

Keywords

environmental exposition; residence characteristics; dust

Résumé

Les évaluations des risques sanitaires des substances chimiques considèrent de plus en plus fréquemment les expositions agrégées et/ou cumulées afin de caractériser de manière la plus réaliste les risques sanitaires pour la population.

L'exposition environnementale aux substances chimiques via la poussière sédimentée sur les surfaces intérieures doit-elle être prise en compte et de quelle manière ?

La population est exposée aux substances chimiques présentes dans la poussière sédimentée par ingestion, inhalation et contact cutané. L'ingestion semble la voie d'exposition la plus importante, et la seule à pouvoir être estimée au vu des connaissances actuelles. Pour la mesure, il est recommandé d'utiliser la technique de prélèvement par aspiration sur une surface déterminée, suivie d'un tamisage à 250 µm (taille maximum des particules adhérant aux mains) afin de documenter les concentrations massique et surfacique. La mesure de la bioaccessibilité orale permettrait de mieux estimer l'exposition mais les méthodes ne sont pas validées à ce jour pour la majorité des composés. Les valeurs guides pour les poussières intérieures (VGPI) sont pertinentes si l'exposition via la poussière est non

négligeable pour une fraction de la population. Elles pourraient être élaborées simplement en allouant à la poussière une fraction de la valeur toxicologique de référence.

Abstract

Exposure assessment and reference values for settled dust in indoor environments

Health risk assessments of chemical substances consider aggregate and/or cumulative exposures in order to characterise population health risks realistically.

Should environmental exposure to chemical substances via indoor settled dust be taken into account and if so, how?

Exposure to the chemicals in settled dust can occur through ingestion, inhalation, and dermal contact. Ingestion appears to be the most important route of exposure, and the only one that can be estimated from current knowledge. The recommended measurement technique is sampling by vacuuming a given surface, then sieving the dust at 250 µm (maximum size of the particles adhering to the hands) to document the mass and surface concentrations. Oral bioaccessibility would provide a better exposure estimate, but its methods have not yet been validated for most compounds. Guideline values for indoor dust are relevant if exposure via dust is non-negligible for a fraction of the population. They could be developed by simply allocating a fraction of the toxicological reference value to dust.

1. Introduction

Dans un contexte de prise en compte croissante de l'exposome, il est nécessaire de caractériser de manière réaliste les risques pour la santé humaine liés à l'exposition aux substances chimiques. En effet, de par sa nature et ses propriétés, une substance peut se retrouver dans différents médias environnementaux (eau, poussière sédimentée, sol, air) ainsi que dans des produits de consommation, y compris les produits alimentaires.

Des travaux d'expertise de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses) sur l'exposition de la population générale au bisphénol A, au plomb ou encore à des pyréthrinoïdes ont intégré l'ingestion de poussières sédimentées sur les surfaces intérieures. Ils ont notamment mis en évidence la part non négligeable de cette voie d'exposition en particulier pour certaines populations comme les jeunes enfants qui, de par des contacts mains-bouche plus fréquents, peuvent être plus exposés que les autres tranches

d'âge de la population. L'ingestion de poussière, encore peu prise en compte à l'heure actuelle, suscite des interrogations quant aux modalités de son évaluation.

De plus, l'environnement intérieur constitue un environnement particulièrement d'intérêt en termes d'exposition puisque la part du temps passé en milieu intérieur est de l'ordre de 90 %, dont 70 % dans les logements pour la population générale [1]. Certaines substances, et plus particulièrement les composés organiques semi-volatils (COSV) et les métaux, sont susceptibles d'exposer la population générale à la fois par l'air et les poussières intérieures. L'Anses s'est autosaisie pour estimer la pertinence de la prise en compte de la poussière sédimentée dans l'évaluation globale de l'exposition de la population, et la proposition de valeurs guides pour la poussière, à l'instar de celles existantes pour l'air intérieur [2].

2. Matériels et Méthodes

Une expertise collective a été conduite à l'Anses avec l'appui d'un groupe de travail (GT) *ad hoc*, constitué en 2018 après un appel à candidature public, et du comité d'experts spécialisé (CES) « Évaluation des risques liés aux milieux aériens » [3]. Elle visait à mieux appréhender l'exposition de la population générale dans les environnements intérieurs à la poussière sédimentée contaminée par des substances chimiques. Pour cela, une revue des méthodes et outils destinés à évaluer

l'exposition de la population aux poussières sédimentées dans les environnements intérieurs a été réalisée, accompagnée d'une réflexion sur la faisabilité et les méthodes visant à élaborer des valeurs de référence pour les substances présentes dans la poussière sédimentée.

Les travaux se sont appuyés sur une synthèse et une analyse critique de la littérature scientifique disponible et des rapports institutionnels. Une

recherche bibliographique a été réalisée à partir de requêtes reposant sur sept groupes de mots clés et lancées en décembre 2018 dans les bases de données Scopus® et Pubmed® pour documenter : les caractéristiques de la poussière, les méthodes de mesures des polluants, la caractérisation de la bioaccessibilité des polluants et la modélisation de l'exposition.

Deux ateliers ont été organisés en septembre et octobre 2019 sur l'intérêt et la faisabilité d'élaborer des valeurs guides pour les poussières intérieures

(VGPI) afin de recueillir, d'une part, l'avis de la communauté scientifique puis, d'autre part, celui d'autres acteurs tels que les gestionnaires de risque. Le premier atelier a regroupé, autour des membres du GT ou du CES, cinq experts internationaux. Lors du second atelier, une synthèse des échanges tenus avec les experts scientifiques a été présentée à six représentants de parties prenantes (gestionnaires, potentiels utilisateurs de ces valeurs guides au sein d'organismes de santé publique) afin qu'ils expriment leurs attentes et besoins éventuels par rapport à l'élaboration de VGPI.

3. Résultats

Sur les 255 publications identifiées, 53 références ont été retenues après analyse des titres et résumés, pour documenter les caractéristiques de la poussière, l'exposition dans la population générale, les méthodes de prélèvement et d'analyse de la poussière existantes, l'estimation de la bioaccessibilité des polluants, et enfin la modélisation de la dose d'exposition par ingestion. Concernant une VGPI, une seule publication est ressortie de la recherche bibliographique justifiant ainsi le fait de s'appuyer sur les ateliers organisés par l'Anses.

L'exposition humaine à la poussière sédimentée peut résulter de trois voies d'exposition : ingestion notamment par contact mains-bouche, inhalation de la fraction remise en suspension, et contact cutané avec de la poussière déposée sur des surfaces [4] (*figure 1*). La voie d'exposition la plus étudiée est l'ingestion *via* le contact mains-surface puis mains-bouche, mais sa contribution à l'exposition totale varie selon les composés chimiques. Pour les retardateurs de flammes bromés, certains phtalates, quelques hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et le plomb, elle est majoritaire par rapport aux deux autres voies [5, 6]. Les études prenant en compte l'inhalation et surtout le contact cutané restent peu nombreuses et ne permettent pas d'estimer l'exposition *via* ces voies. En conséquence, seule l'ingestion de poussière est traitée dans la suite des travaux pour l'estimation de l'exposition.

Pour mesurer la concentration en substances chimiques dans la poussière, trois techniques de prélèvement actif ont été identifiées : le balayage, l'aspiration [7] et l'essuyage [8], la première ne faisant pas l'objet de normes. Les résultats obtenus par balayage et par aspiration peuvent être exprimés en concentrations surfaciques (mg de substance chimique par mètre carré de surface prélevée, mg.m⁻²) et massique (en mg de substance chimique par gramme de poussières

prélevées, mg.g⁻¹) alors que l'essuyage seul ne fournit qu'une concentration surfacique. Il existe également des techniques de prélèvement passif [9], mais elles ne considèrent que les dépôts atmosphériques.

Après prélèvement par balayage ou par aspiration, une étape de traitement correspondant à un tamisage sans broyage préalable est réalisée afin d'éliminer les particules grossières telles que des fibres textiles, squames, poils, boutons, pièces plastiques, phanères, etc. La fraction granulométrique retenue varie de 60 mm à 2 mm avec une majorité de valeurs entre 63 mm et 250 mm représentative des fractions adhérant aux mains lors du contact avec une surface [10]. La méthode d'analyse est spécifique aux substances chimiques ciblées.

Le choix de la méthode de prélèvement dépend des objectifs à atteindre et de la méthode d'analyse disponible ou prévue qui peut nécessiter une quantité de matière suffisante pour une étude analytique complète.

Cette expertise recommande d'utiliser la technique de prélèvement par aspiration et de préférence avec un aspirateur dédié et adapté, en mesurant la superficie aspirée, suivie d'un tamisage à 250 mm (tailles des particules adhérant aux mains) afin de documenter à la fois les concentrations massique et surfacique. Cette recommandation ne s'applique pas au dispositif réglementaire existant de lutte contre les expositions au plomb pour lequel un prélèvement par lingette est normalisé [8]. Les conditions de réalisation du prélèvement doivent être représentatives de l'utilisation et de l'entretien des lieux et des surfaces où la population est le plus en contact avec la poussière.

Pour mieux caractériser l'exposition *via* la quantité de certaines substances chimiques présentes dans le corps humain, les notions de

biodisponibilité et bioaccessibilité sont évaluées expérimentalement. La biodisponibilité orale est la fraction de composés ingérée qui est absorbée et atteint la circulation systémique [11]. La bioaccessibilité orale est la fraction de composés qui est extraite (mise en solution) par les fluides digestifs au niveau du système salivaire et du tractus gastro-intestinal [12].

La biodisponibilité, estimée *in vivo*, est le paramètre le plus pertinent pour affiner la dose d'exposition. Mais pour des raisons éthiques, techniques et de coût, des tests *in vitro* de bioaccessibilité ont été développés afin de fournir un substitut de la biodisponibilité. La bioaccessibilité varie selon la substance étudiée, la composition de la poussière (fraction organique et inorganique) et le test utilisé. Pour les contaminants métalliques, six tests (PBET, IVG, DIN, UBM, IVD [RIVM] et RBALP, *tableau 1*) ont été validés au regard des protocoles (faisabilité technique, représentativité physiologique), des résultats (corrélation des résultats *in vitro* et *in vivo*), et des critères de répétabilité et de reproductibilité. Pour les composés organiques, cinq tests *in vitro* actuellement utilisés (PBET, SHIME, FOREhST, IVG et DIN, *tableau 1*) sont en cours de développement et ne sont pas validés par des modèles *in vivo*. Il est recommandé une approche itérative en considérant dans un premier temps une valeur protectrice de 100 % pour la biodisponibilité. S'il est nécessaire d'affiner l'évaluation de l'exposition, il est possible pour les métaux d'utiliser un test validé et standardisé pour estimer la bioaccessibilité. Pour les composés organiques, il est nécessaire de mettre au point et valider un test de bioaccessibilité.

En évaluation des risques, les modèles d'exposition fournissent une dose externe, le plus souvent exprimée

à partir de concentrations massiques, pouvant être ajustée par la biodisponibilité ou bioaccessibilité, et de quantité de poussière ingérée (en milligramme de poussières ingérées par jour, mg.j⁻¹). Pour documenter ce dernier paramètre, les données les plus utilisées sont celles proposées par l'Agence américaine de protection de l'environnement (US EPA) [13], fondées sur une revue de la littérature et régulièrement actualisées par un processus d'expertise collective indépendante. S'il existe un modèle spécifique qui relie les concentrations dans la poussière à l'exposition, il est recommandé d'étudier la pertinence de ce modèle. Le cas échéant, les recommandations pour le calcul de la dose d'exposition reposent sur l'utilisation des recommandations de l'US EPA (2017) pour la quantité de poussière ingérée et les concentrations massiques ; modèle le plus utilisé dans l'attente de données plus robustes sur l'empoussièrément et les taux de poussière ingérée adaptés à la population française.

Les propositions formulées à l'occasion de l'atelier scientifique [14] ont permis de conclure à la pertinence d'élaboration de VGPI dès lors que l'ingestion de poussière contribue de manière notable à l'exposition totale. Par exemple, l'exposition *via* l'ingestion de poussière devrait contribuer à 30-50 % de l'exposition totale. Une méthode de construction simple et compréhensible tenant compte des autres sources d'exposition a été privilégiée. Elle repose sur un facteur d'allocation pour la contribution de l'exposition *via* l'ingestion de poussière, correspondant à un pourcentage de la valeur toxicologique de référence (VTR) alloué à l'exposition par ingestion de poussière. Cette approche est déjà utilisée pour l'élaboration de valeurs guides dans le domaine de l'eau de boisson par l'Organisation mondiale de la santé (OMS) [15].

4. Conclusion

Il est important de considérer la poussière sédimentée dans les environnements intérieurs dans l'évaluation de l'exposition globale de la population aux substances chimiques non volatiles et semi-volatiles. Les recommandations opérationnelles formulées dans le cadre de cette expertise visent à prendre en compte l'ingestion de poussière sédimentée dès à présent. Pour les expositions par voies cutanée et inhalée, les données actuelles ne sont pas encore suffisantes et nécessitent une veille scientifique.

Sur la base de ces recommandations, l'Anses a encouragé la conduite d'études en France afin de disposer d'estimations robustes et représentatives en particulier sur l'empoussièrément dans les environnements intérieurs. L'Agence poursuit ces travaux d'expertise concernant l'élaboration de VGPI relatives à des substances pour lesquelles l'ingestion de poussière peut être non négligeable pour une partie de la population, dans le cadre de sa mission pérenne sur l'élaboration de valeurs guides de qualité d'air intérieur (VQAI). Le plomb et les phtalates ont été identifiés comme substances prioritaires à investiguer dans ce cadre

Tableau 1. Résumé des principaux tests de bioaccessibilité.**Table 1. Summary of main bioaccessibility tests.**

Méthode	Type d'essais	Compartiments digestifs	Conditions sans/avec nourriture	pH	Ratio L/S	Temps de résidence	Éléments testés	Références
PBET	Statique	Estomac Intestin grêle	Sans	2,5 7,0	100/1 100/1	1 h 3 h	As, Pb, HAP, PCB, phtalates	Ruby <i>et al.</i> , 1993, 1996 ; Wang <i>et al.</i> , 2013
RBALP (ou SBET)	Statique	Estomac	Sans	1,5	100/1	1 h	As, Cd, Pb	Medlin <i>et al.</i> , 1997 ; Drexler <i>et al.</i> , 1999
IVG	Statique	Estomac Intestin grêle	Avec	1,8 5,5	150/1 150/1	1 h 1 h	As, HAP	Rodriguez et Basta, 1999 [9] ; James <i>et al.</i> 2011
DIN	Statique	Cavité orale Estomac Intestin grêle	Avec	nd 2,0 7,5	15/1 50/1 100/1	0,5 h 2 h 6 h	As, Cd, Pb, Cr, Hg et contaminants organiques	Norme DIN 19738
RIVM	Statique	Cavité orale Estomac Intestin grêle	Sans	6,5 1,2 > 5,5	15/1 37,5/1 97,5/1	5 min 2 h 2 h	As, Cd, Pb	Sips <i>et al.</i> , 1998 ; Oomen <i>et al.</i> , 2000, 2002
UBM	Statique	Cavité orale Estomac Intestin grêle	Sans	6,5 1,2 5,8-6,8	15/1 37,5/1 97,5/1	10 sec 1 h 4 h	As, Cd, Pb	Norme ISO DIS 17924
FOREhS T	Statique	Cavité orale Estomac Intestin grêle	Avec	6,5 1,6 6,0	15/1 45/1 90/1	5 min 2 h 2 h	HAP, retardateurs de flamme phosphatés	Cave <i>et al.</i> , 2010 ; Quintana <i>et al.</i> , 2016
SHIME	Statique	Estomac Intestin grêle	Avec	2,0 à jeun et 4,0 avec nourriture 6,5	40/1 60/1	3 h 5 h	As, Cd, Pb	Molly <i>et al.</i> , 1998 ; Laird <i>et al.</i> , 2007
TIM	Dynamique	Cavité orale Estomac Intestin grêle	Avec	5,0 5,0 à 3,0 6,5-6,8- 7,2	5/1 9,5/1 45,5/1	5 min 2 h 2 h	As, Cd, Pb	Minekus <i>et al.</i> , 1995, 2014
US P	Statique	Estomac	Sans	1,0	1000/ 1	2 h	Pb, Cr, As, Cd, Ni	Hamel <i>et al.</i> , 1998
MB&SR	Statique	Cavité orale Estomac Intestin grêle	Sans	6,4 1,4 6,5	160/1 2160/ 1 4160/	5 sec 2 h 4 h	Pb, Cr, As, Cd	Hamel <i>et al.</i> , 1999 ; Ellickson <i>et al.</i> , 2001

PBET =physiologically based extraction test ; RBALP =relative bioaccessibility leaching procedure ; SBET = simplified bioaccessibility extraction test ;IVG = in vitro gastrointestinal ;DIN = Deutsches Institut für Normung ; RIVM =National Institute for Public Health and the Environment in the Netherlands ; UBM =Unified BARGE (Bioaccessibility Research Group of Europe) method ; FOREhST =Fed Organic Estimation human Simulation Test ; SHIME = Simulator of the human intestinal microbial ecosystem ;TIM = TNO gastrointestinal model ;USP = US Pharmacopoeia method ; MB&SR =Mass balance & soil recapture method.

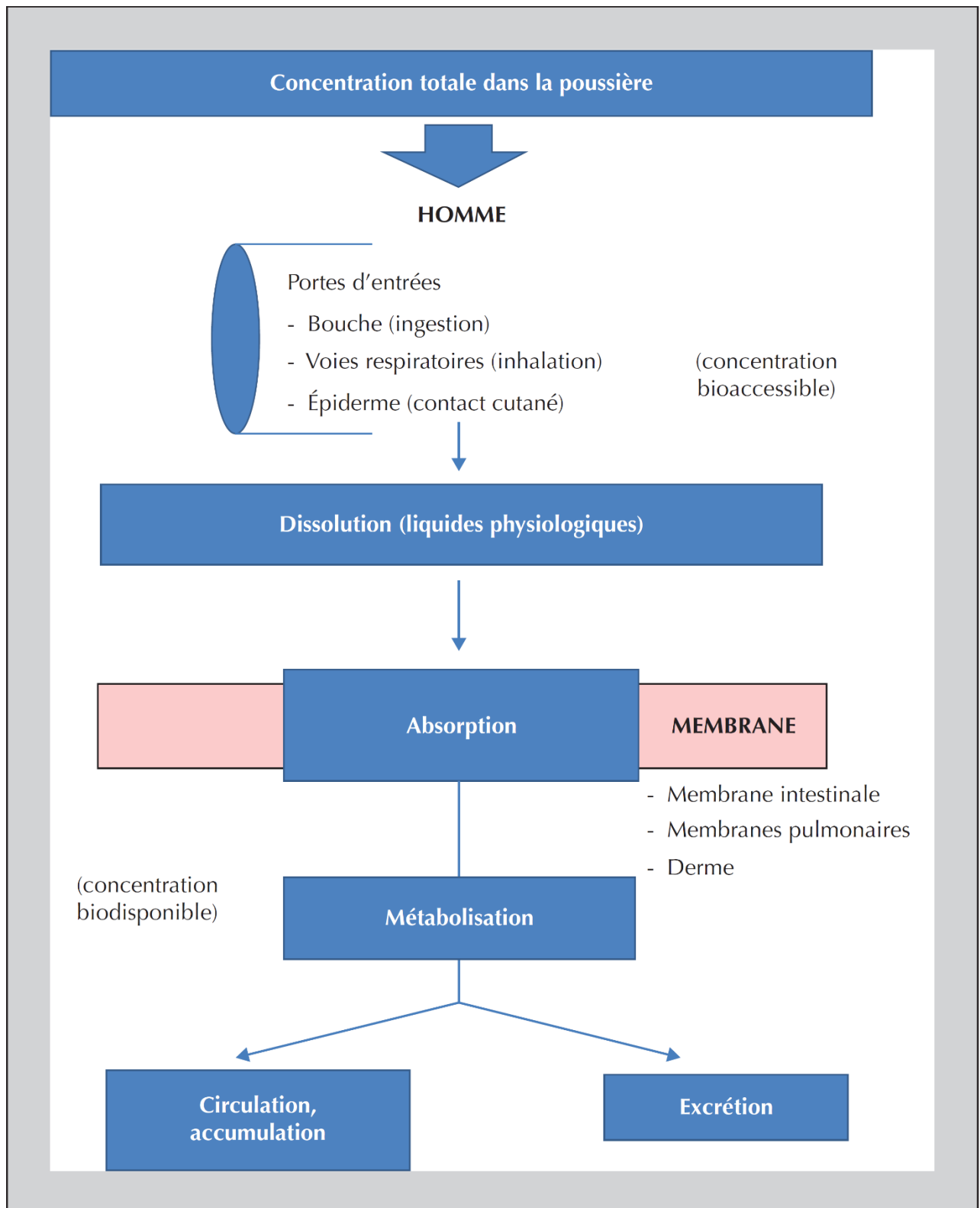


Figure 1. Représentation du chemin d'exposition à la poussière intérieure (modifiée d'après [11])

Figure 1. Pathways of indoor settled dust exposure

5. Références

1. Zeghnoun A, Dor F. *Description du budget espace-temps et estimation de l'exposition de la population française dans son logement*. Saint-Maurice (France) :Institut de veille sanitaire, 2010.
2. Anses. *Proposition de valeurs guides de qualité d'air intérieur – Méthode d'élaboration de valeurs guides de qualité d'air intérieur. Rapport d'expertise collective*. Maisons-Alfort :Anses, 2016.
3. Anses. *Évaluation de l'exposition et valeurs de référence pour les poussières sédimentées dans les environnements intérieurs. Rapport d'expertise collective*. Maisons-Alfort :Anses, 2019.
4. Morawska L, Salthammer T. *Indoor environment: airborne particles and settled dust*. Weinheim : Wiley-VCH, 2006.
5. Larsson K, Berglund M. *Children's exposure to chemicals in indoor environments – a literature survey of chemicals in dust*. Solnavägen : Karolinska Institutet, 2018.
6. Glorennec P, Lucas J-P, Mercat A-C, Rouot A-C, Le Bot B. Environmental and dietary exposure of young children to inorganic trace elements. *Environ Int* 2016 ; 97:28-36.
7. ASTM 5438. *Standard practice for collection of floor dust for chemical analysis*. Conshohocken :ASTM International, 2017.
8. AFNOR. *NF X 46-032. Diagnostic plomb – Méthodologie de mesure du plomb dans les poussières au sol (indice de classement X46-032)*. La Plaine Saint-Denis :AFNOR, 2008.
9. Rodriguez RR, Basta NT. An *in vitro* gastrointestinal method to estimate bioavailable arsenic in contaminated soils and solid media. *Environ Sci Technol* 1999 ; 33:642-9.
10. Mercier F, Glorennec P, Thomas O, Bot BL. Organic contamination of settled house dust, a review for exposure assessment purposes. *Environ Sci Technol* 2011 ; 45:6716-27.
11. AFNOR. *NF EN ISO 17402. Qualité du sol – Lignes directrices pour la sélection et l'application des méthodes d'évaluation de la biodisponibilité des contaminants dans le sol et les matériaux du sol (indice de classement X31-622)*. La Plaine Saint-Denis : AFNOR, 2011.
12. Rostami I, Juhasz A. Assessment of persistent organic pollutant (POP) bioavailability and bioaccessibility for human health exposure assessment: a critical review. *Crit Rev Environ Sci Technol* 2011 ; 41:623-56.
13. Office of Research Development. *US EPA Update for Chapter 5 of the Exposure Factors Handbook -Soil and Dust Ingestion*. Washington, DC :Office of Research and Development, 2017.
14. Glorennec P, Shendell DG, Rasmussen PE, *et al*. Toward setting public health guidelines for chemicals in indoor settled dust? *Indoor Air* 2021 ; 31:112-5.
15. WHO. *Guidelines for drinking-water quality, 4th edition, incorporating the 1st addendum*. Geneva : World Health Organization, 2017.

Financement : travaux d'expertise de l'Anses ;
liens d'intérêts : les auteurs déclarent ne pas avoir de lien d'intérêt.