

ENSP
ECOLE NATIONALE DE
LA SANTE PUBLIQUE

RENNES

Ingénieur du Génie Sanitaire

Promotion : **2006 - 2007**

Date du Jury : **Septembre 2007**

**Étude de la faisabilité d'une évaluation
des risques sanitaires pour l'enfant exposé
aux matériaux de construction
dans l'environnement intérieur**

Présentation : Myriam SAIHI

Lieu de stage : AFSSET

Référent professionnel :
M. Christophe ROUSSELLE, AFSSET

Référent pédagogique :
M. Bernard JUNOD, ENSP

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier Madame FROMENT-VEDRINE, Directrice Générale de l'AFSSET, ainsi que tout le personnel de l'Agence pour m'avoir permis d'effectuer ce projet.

Un grand merci à Christophe ROUSSELLE d'avoir proposé et encadré ce mémoire durant ces 4 mois. Merci également à David VERNEZ et Valérie PERNELET-JOLY pour avoir suivi ce projet de près et pour leur regard critique, leur soutien et leurs conseils avisés. Que Pierre LECOQ soit aussi remercié pour son aide.

Un grand merci également à Bernard Junod (ENSP) pour ses précieux conseils, sa disponibilité, sa patience et sa persévérance dans toutes les actions qu'il entreprend.

Mes remerciements s'adressent ensuite à d'autres agents de l'AFSSET, avec lesquels j'ai été amenée à travailler et à échanger, de façon professionnelle et conviviale : Nathalie BONVALLOT (merci pour les cours de toxicologie !) et les autres personnes de l'Unité Toxicologie de l'AFSSET : Carole LEROUX, Cécilia SOLAL, Guillaume BOULANGER et Aurélie BALEYDIER.

J'adresse toute ma sympathie à Carole (encore une fois !), Guillaume BOURDEL, Arnaud LAGRIFOULL et Sandrine BARON pour leur soutien, leurs précieux conseils, leur professionnalisme et leur bonne humeur quotidienne !

Mes salutations sont également destinées à Cédric, Mounia, Muriel, Emilie, Matteo, Clara, Olivier MERCKEL, Carole CATASTINI, Ohri, Jérôme, Geoffrey, Yann, Aymeric, Véronique, Agnès, Clarisse et Sophie.

Plusieurs experts du GT COV ont également participé à ce projet par le biais de leurs conseils, l'échange d'informations et leur regard critique, qu'ils en soient remerciés : François MAUPETIT, Séverine KIRCHNER (CSTB), Christophe YRIEIX (CTBA), Jean-Paul MORIN (INSERM), Henri HOELLINGER (INSERM), Bruno COURTOIS (INRS).

Je tiens également à remercier le personnel des laboratoires contactés pour définir et réaliser des essais : Catherine HENNEUSE (CERTECH), Ludovic GUINARD (CTBA), Caroline LAFFARGUES (Eurofins), Patrick SAUVEGRAIN (LNE), Dominique OSTER (LNE) et plus particulièrement Jacques WEBER (LNE).

Ma reconnaissance s'adresse aussi aux différents enseignants chercheurs contactés au cours de ce projet, toujours disponibles pour apporter leur aide dans leur domaine : Luc MALHAUTIER (Ecole Nationale Supérieure des Technologies, de l'Industrie et des Mines d'Alès, ENSTIMA), Valérie DESAUZIERS (ENSTIMA), Jean-Luc JAFFREZO (Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de l'Environnement de l'Université Joseph Fourier de Grenoble), Jean-Luc BESOMBES (Laboratoire de Chimie Moléculaire et Environnement, composante de l'Ecole Supérieure d'Ingénieurs Polytech'Savoie).

Enfin, je tiens à saluer chaleureusement et très sincèrement Marie et Florian, pour leur soutien quotidien (!) et leurs précieux conseils... sans lesquels ce projet ne se serait pas aussi bien déroulé : merci !

Sommaire

1. INTRODUCTION.....	1
1.1. CONTEXTE.....	1
1.2. DEFINITIONS	3
1.3. OBJECTIFS	4
3. ENJEUX SANITAIRES RELATIFS A LA PROBLEMATIQUE	7
4. MATERIAUX DE CONSTRUCTION DANS L'ENVIRONNEMENT INTERIEUR	9
4.1. DETERMINATION DES MATERIAUX ET DE LEUR COMPOSITION GENERIQUE	9
4.1.1. Méthodologie	9
4.1.2. Choix des matériaux	10
4.1.2.1. Liste des matériaux de construction non sélectionnés	10
4.1.2.2. Données concernant le marché des produits de construction.....	10
4.1.3.1. Composition générique des matériaux.....	14
4.1.3.2. Choix de substances d'intérêt.....	15
4.2. PHENOMENE DE MIGRATION.....	19
4.2.1. Définition et principe.....	19
4.2.2. Conséquences pour l'environnement intérieur.....	20
4.2.3. Facteurs influençant la migration.....	21
4.3. PHENOMENE D'ADSORPTION.....	22
4.3.1. Principe et conséquences pour l'environnement intérieur.....	22
4.3.2. Recherches pour une quantification des substances chimiques sur les poussières.....	23
5. EXPOSITION DES ENFANTS AUX MATERIAUX DE CONSTRUCTION.....	26
5.1. CLASSES D'AGE ETUDIEES	26
5.2. SOURCES ET VOIES D'EXPOSITION	28
5.2.1. Exposition des enfants à la surface des matériaux.....	29
5.2.2. Exposition des enfants à la poussière domestique.....	29
5.2.3. Sélection d'une source d'exposition majoritaire.....	30
5.3. QUANTIFICATION DE L'EXPOSITION.....	31
5.3.1. Faisabilité de la quantification	31
5.3.2. Essais de composition.....	34
5.3.3. Essais de migration.....	35

6. DISCUSSION	38
6.1. ETUDE DE LA FAISABILITE D'UNE ERS	38
6.1.1. <i>Rappel de la méthode</i>	38
6.1.2. <i>Scenarii simplifiés d'application</i>	39
6.2. INCERTITUDES LIEES A LA METHODOLOGIE.....	41
6.3. PROPOSITIONS DE COMPLEMENTS DE RECHERCHE ET PERSPECTIVES.....	43
Conclusion.....	47
Bibliographie.....	49
Glossaire	54
Liste des annexes.....	I

Les termes suivis d'un astérisque (*) dans le texte sont définis dans le glossaire.

Liste des sigles utilisés

AFSSET : Agence Française de Sécurité Sanitaire de l'Environnement et du Travail

BBP : Benzyl Butyl Phtalate

BET : Budget Espace Temps

BTX : benzène, Toluène, Xylène

CES : Comité d'Experts Spécialisés

CSHPF : Comité Supérieur d'Hygiène Publique de France

COV : Composés Organiques Volatils

COSV : Composés Organiques Semi-Volatils

CSTB : Centre Scientifique et Technique du Bâtiment

CTBA : Centre Technique du Bois et de l'Ameublement

DEHP : di Ethyl Hexyl Phtalate

DBP : Di Butyl Phtalate

EPA : Environmental Protection Agency

ERS : Evaluation des Risques Sanitaires

FQPA : Food Quality Protection Agency

GSB : Grande Surface de Bricolage

GT-COV : Groupe de travail « COV et produits de construction »

INSEE : Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques

INSERM : Institut national de la santé et de la recherche médicale

LNE : Laboratoire National d'Essais

MRI : Ministère des Relations Internationales

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

PM : Particulate Matter ou matière particulaire

PNSE : Plan National Santé Environnement ¹

POP : Polluants Organiques Persistants

RIVM : Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (National Institute for Public Health and the Environment)

SBS: Sick Building Syndrome

VGAI : Valeur Guide pour la qualité de l'Air Intérieur

VTR : Valeurs toxicologiques de Référence

¹ Disponible en ligne sur : <http://www.sante.gouv.fr/htm/dossiers/pnse/sommaire.htm>

Liste des tableaux et figures

Liste des tableaux

<u>Tableau 1</u> : consommation française de revêtements de sol en 2004.....	11
<u>Tableau 2</u> : critères morphologiques, toxicologiques et comportementaux en fonction des classes d'âges.....	27
<u>Tableau 3</u> : synthèse des sources et voies d'exposition probables.....	30
<u>Tableau 4</u> : protocoles retenus pour les essais de composition des matériaux solides et liquides.....	34
<u>Tableau 5</u> : protocoles retenus pour les essais de migration des matériaux solides et liquides.....	36
<u>Tableau 6</u> : synthèse des paramètres à renseigner pour élaborer un scénario d'exposition.....	40

Liste des figures

<u>Figure 1</u> : schématisation des 4 étapes clef de la méthodologie : composition, migration, adsorption et exposition.....	6
<u>Figure 2</u> : schématisation du phénomène d'adsorption de COV et COSV sur les poussières.....	23
<u>Figure 3</u> : logiciel ConsExpo : choix de scénarii d'exposition par voie d'ingestion.....	37
<u>Figure 4</u> : exemple de paramètres à prendre en compte pour établir un scénario d'exposition.....	40

1. INTRODUCTION

1.1. CONTEXTE

En France, le budget espace-temps de la population générale se répartit de la façon suivante : 10 à 20% en extérieur et 80 à 90 % en environnement clos – habitat, lieu de travail (Beausoleil, 2002). Au sein de cet environnement intérieur, les sources de polluants sont multiples et proviennent principalement de trois sources : les appareils à combustion, les activités humaines et les constituants des bâtiments dont les matériaux de construction et l'ameublement (AFSSET, 2006 ; Gerin, 2005). Ces polluants, de diverses natures (chimiques, biologiques), ont un impact sur la qualité de l'environnement intérieur dans son ensemble et non pas seulement sur la qualité de l'air. En effet, un espace clos est chargé en aérosols* et en poussières, particules susceptibles d'engendrer une exposition par inhalation, ingestion et également par voie cutanée. Les études ayant trait à la qualité de l'environnement intérieur à l'échelle nationale, européenne et internationale, ne doivent pas restreindre l'exposition à la voie aérienne uniquement. Cette étude de faisabilité s'intègre donc dans une démarche complémentaire de qualification de l'environnement intérieur en explorant deux voies d'exposition spécifiques : l'ingestion et le contact cutané.

Pour ces deux voies d'exposition, les individus principalement concernés sont les plus jeunes. En effet, en fonction de leur âge, les enfants évoluent plus ou moins à proximité du sol – lorsqu'ils ne sont pas encore en âge de marcher et qu'ils rampent par exemple – et leurs activités peuvent les conduire à mettre les mains à la bouche après un contact cutané direct avec la surface d'un matériau. En outre, plusieurs critères physiologiques (ratio surface sur poids corporel par exemple) et métaboliques (maturité de certains organes ou enzymes) participent à la vulnérabilité des enfants exposés à des substances allergènes, reprotoxiques*, cancérigènes, etc. Pour ces raisons, les enfants constituent *a priori* la catégorie – parmi la population générale – la plus exposée par voie cutanée et orale en particulier, aux matériaux de construction et seul ce groupe d'exposition sera considéré dans cette étude.

Sur le plan sanitaire, des symptômes spécifiques comme des manifestations allergiques de type dermatite, rhinite, asthme, démangeaisons, etc. sont rapportés dans la littérature (Bornehag, 2004 ; Gerin, 2005). D'autre part, le Sick Building Syndrome (SBS) a été défini en 1983 par un groupe d'experts de l'OMS (OMS, 1983) comme « un groupe de symptômes fréquemment rapportés, incluant des irritations cutanées et sensorielles (nez, œil, gorge), une hypersensibilité non spécifique » chez les occupants d'édifices (logements, bureaux).

L'ensemble de ces symptômes, spécifiques ou non, incite à s'interroger quant à un impact des matériaux sur la santé des enfants, surtout via une exposition par des voies plus rarement mentionnées dans les publications – ingestion, contact cutané. Cependant, depuis 2006, ce syndrome semble discutable selon certains experts (Apte, 1999 ; Fiedler, 2005), pour qui les matériaux de construction ne seraient pas systématiquement responsables des symptômes du SBS. En effet, d'autres éléments comme les conditions d'humidité relative, de température et d'aération du logement interviennent. Malgré cela, la question de l'impact sanitaire des matériaux de construction, particulièrement pour les enfants continue de se poser, dans la mesure où plusieurs publications démontrent une corrélation entre des symptômes plus ou moins spécifiques et une exposition aux matériaux de construction et d'ameublement. Il semble donc pertinent de poursuivre les recherches dans ce domaine, en vue d'apporter des éléments de réponse.

Dans le cadre de l'une des saisines de l'AFSSET (saisine N°2004/011, cf. annexe 1), le Groupe de Travail (GT) « Composés Organiques Volatils* (COV) et produits de construction » a publié ses conclusions, en octobre 2006. Ce projet concernait l'élaboration d'un protocole de qualification des matériaux de construction solides vis-à-vis de leurs émissions en COV et formaldéhyde dans l'air intérieur, sur la base de critères sanitaires. Or, les COV ne constituent pas la seule source de pollution de l'environnement intérieur et dès mars 2002, le Comité Supérieur d'Hygiène Publique de France (CSHPF) suggérait à la fois d'effectuer des travaux sur ce thème (cf. annexe 2) et également de compléter ces travaux en étudiant l'influence de divers paramètres sur la qualité de l'environnement intérieur, comme par exemple :

- d'autres sources d'émissions de COV ;
- d'autres familles de substances chimiques que les COV ;
- d'autres voies d'exposition que l'inhalation.

C'est dans ce contexte que la thématique du mémoire a été définie : elle concerne l'exposition par ingestion et contact cutané à des COV et des Composés Organiques Semi Volatils (COSV), provenant de matériaux de construction.

Il est à noter que d'autres familles de substances auraient pu être sélectionnées, comme les métaux lourds ou les fibres minérales artificielles, par exemple. Toutefois, au vu du temps imparti, il s'est avéré plus judicieux de limiter le nombre de familles de composés chimiques à étudier. En outre, le choix des COV et des COSV permet non seulement d'étudier deux familles majeures de polluants auxquels les enfants sont exposés, mais aussi de compléter les résultats de la saisine "COV et produits de construction" à l'aide de données relatives à l'exposition par ingestion et contact cutané. En fonction des matériaux sélectionnés dans le cadre du mémoire, il pourrait donc être envisagé, par la suite, de constituer une base de données relative à certains matériaux de construction dans l'environnement intérieur (données d'émission de COV déjà obtenues, puis migration et adsorption éventuelle de COV et COSV sur les poussières).

En vue de compléter les données actuellement disponibles relatives à l'impact sanitaire des matériaux de construction, il convient de s'intéresser aux méthodes pour pouvoir déterminer l'existence ou l'absence de risques sanitaires pour les enfants qui y sont exposés. Pour ce faire, il est envisagé une méthode d'évaluation de risques sanitaires (ERS) semble adaptée. Cependant, avant toute application de la démarche d'ERS, il convient d'en déterminer la pertinence et d'identifier les conditions de faisabilité. L'objet de ce mémoire sera donc d'établir les conditions pour lesquelles l'ERS est réalisable et, si nécessaire, de proposer des pistes de recherche qui permettraient de combler les lacunes actuelles.

Pour répondre à cette problématique de faisabilité d'une ERS, il convient tout d'abord de définir les différents termes de l'étude (§ 1.2), les objectifs (§ 1.3) ainsi que la méthodologie suivie (§ 2). En second lieu, les arguments sanitaires à l'origine de ce mémoire seront explicités (§3), avant d'identifier les matériaux potentiellement dangereux et les sources de contamination qu'ils peuvent constituer par le biais de phénomènes physicochimiques (migration de substances chimiques en surface des matériaux et adsorption de ces composés sur des poussières, cf. § 4).

Ensuite, l'exposition des enfants à ces sources sera analysée en fonction de classes d'âge (§ 5), avant d'envisager divers scénarii d'exposition à partir des informations recueillies (§ 6). Enfin, une discussion sera engagée, notamment sur les incertitudes liées à la méthodologie de l'ERS dans le cadre de ce mémoire et des propositions de compléments de recherche seront effectuées avant de préciser les perspectives de ce projet à plus ou moins long terme.

1.2. DEFINITIONS

Tout d'abord le terme « enfant » est généralement défini par une limite d'âge. D'un point de vue médical, l'âge démarquant les enfants des adolescents se situe entre 10 et 12 ans (Zwart, 2004), intervalle qui correspondait à celui sélectionné au commencement de ce mémoire. Cependant, afin de mieux cibler la recherche bibliographique et d'anticiper l'application éventuelle d'une démarche d'ERS, il s'est avéré nécessaire de subdiviser cette population en plusieurs classes d'âge et ce, en fonction de différents critères physiologiques : la morphologie, la susceptibilité à des substances toxiques et le comportement. Les deux classes d'âge retenues dans le cadre de l'étude de la faisabilité de l'ERS sont : 6 à 12 mois et 1 à 3 ans (cf. § 5.1.1 et tableau 2). En fonction de l'âge, le type d'exposition sera différent : contrairement aux enfants entre 1 et 3 ans, les enfants de 6 à 12 mois, sont encore en phase d'apprentissage de la marche. Dans les premiers mois, ils auront tendance à ramper sur la surface du sol (contact cutané et plus grande proximité entre la bouche et le sol), puis ils parviendront à marcher après une phase intermédiaire consistant à rechercher des appuis sur les murs et les meubles par exemple (contamination possible de la surface des mains avant d'être portées à la bouche). Les enfants peuvent donc être en contact direct ou indirect avec un panel de matériaux de construction : le sol (moquette, parquet, peintures, etc.), les murs (papier peint, tapisseries, peintures, etc.) et les meubles (bois traités ou non, plastiques, etc.).

La directive 89/106/CEE² définit les matériaux de construction comme « tout produit fabriqué en vue d'être incorporé de façon durable dans les ouvrages de construction (bâtiments et ouvrages de génie civil) ». La gamme de matériaux de construction concernée est vaste mais peut être classée en trois catégories :

- les matériaux solides, tels le bois, le ciment, le plâtre, le béton, le verre, la céramique, les matières plastiques, etc. ;
- les matériaux liquides, tels les vernis, les peintures, mastics, enduits intérieurs et également les produits d'entretien, etc. ;
- les matériaux d'ameublement et décoration, tels les textiles (tapis, moquettes, etc.), les meubles, etc.

Les substances chimiques contenues dans ces matériaux de construction peuvent être classées par famille, comme cela a été réalisé par des groupes de travail dans le cadre de saisines de l'AFSSET. La priorisation de ces substances est complexe et ne fera pas l'objet de l'élaboration d'une nouvelle méthode dans le cadre de ce mémoire. En revanche, une identification de substances potentiellement dangereuses sera effectuée (cf. § 4.1.3) en fonction de différents paramètres relatifs aux matériaux de construction et aux caractéristiques d'exposition. Un comparatif ultérieur pourra être effectué par rapport à la liste de polluants prioritaires établie par l'AFSSET dans le cadre des saisines « COV et produits de construction » ainsi que « Valeur Guide pour la qualité de l'Air Intérieur (VGAI) ».

Enfin, dans le cadre de ce mémoire, l'environnement intérieur concernera l'ensemble des lieux clos où les enfants sont susceptibles d'évoluer : domicile, crèche et école (pour les enfants de 1 à 3 ans uniquement). La distinction de l'exposition au sein des différents lieux ne sera effectuée que lors de l'élaboration de scénarii éventuels d'exposition.

2 Directive relative aux produits de construction.

1.3. OBJECTIFS

Cette étude de faisabilité a pour vocation de déterminer l'intérêt et les conditions de réussite d'une évaluation des risques sanitaires pour l'enfant exposé aux matériaux de construction dans l'environnement intérieur. Elle a également pour objet d'identifier des pistes de recherche à explorer et/ou à approfondir, afin de pouvoir appliquer éventuellement une démarche d'ERS pour l'enfant dans son environnement intérieur et/ou affiner les données nécessaires pour y parvenir. Le choix d'un ou plusieurs scénarii d'exposition est un objectif intermédiaire qui sert cette finalité. En effet, ce projet intervient dans un contexte exploratoire : la définition d'un scénario d'exposition doit donc permettre de répondre aux interrogations initiales ou, à défaut, de s'interroger sur la pertinence du choix des différents paramètres envisagés, comme le choix des classes d'âge et les voies d'exposition. Pour y parvenir, plusieurs étapes sont nécessaires, chacune correspondant à un objectif spécifique.

L'objectif stratégique consiste en un examen de la faisabilité de la démarche d'évaluation de risques à l'aide d'un exemple (scénario d'exposition). Trois objectifs opérationnels se distinguent alors :

- le recueil et la synthèse des informations relatives aux différentes substances chimiques présentes, aux phénomènes physicochimiques et à l'exposition des enfants ;
- l'étude des conditions nécessaires à l'élaboration d'un scénario d'exposition pour l'enfant ;
- la conclusion quant à la faisabilité de l'ERS à partir de ces éléments et la discussion sur l'application de la méthodologie dans ce cas concret ou, le cas échéant, les perspectives de recherche en vue d'obtenir les informations nécessaires pour mener à terme une ERS.

Ces objectifs opérationnels peuvent se décliner en actions :

- recenser les familles de substances présentes et susceptibles de migrer à la surface des matériaux de construction ;
- identifier, parmi ces substances, celles qui sont les plus dangereuses ;
- recouper ces informations avec la fréquence d'utilisation des matériaux (données de l'industrie des matériaux de construction) ;
- choisir, selon ces différents aspects, des substances pour lesquelles une démarche d'ERS pourrait être appliquée ;
- mettre en évidence les substances (semi-)volatiles susceptibles de se fixer sur la poussière présente dans l'air intérieur (phénomène d'adsorption) et / ou susceptibles de migrer à la surface des matériaux ;
- quantifier, dans la mesure du possible, l'exposition via la recherche bibliographique et la réalisation éventuelle d'essais (migration par exemple) ;
- qualifier les sources et les modes d'exposition des enfants aux matériaux de construction ;
- déterminer les conditions nécessaires à l'élaboration d'un scénario d'exposition ;
- élaborer, si cela s'avère réalisable, le scénario d'exposition, à l'aide des données recueillies dans le cadre de ce mémoire.

Ces objectifs doivent s'articuler selon une méthodologie déterminée, car cette étude exploratoire recoupe de multiples thématiques et disciplines. Ceci nécessite un cadrage précis ainsi que l'identification d'étapes clés, afin de limiter les risques de dépassement du cadre du sujet et d'absence de réponse à la problématique.

2. METHODOLOGIE

Pour être en mesure de répondre à la problématique, il convient de déterminer toutes les étapes utiles à la compréhension des mécanismes physicochimiques générant une contamination de l'environnement intérieur après la mise en place de matériaux de construction et / ou de meubles.

Une première investigation a mis en évidence quatre points clés, selon lesquels la méthodologie va s'articuler :

- 1) la composition générique³ des matériaux ;
- 2) les phénomènes de migration de composés chimiques depuis le cœur jusqu'à la surface des matériaux ;
- 3) les phénomènes d'adsorption de substances chimiques sur les poussières ;
- 4) l'exposition des enfants.

Les parties 1) à 3) participent à la compréhension des phénomènes physicochimiques relatifs aux substances identifiées. Parmi les deux phénomènes libérant des composés chimiques dans l'environnement intérieur – migration et adsorption – il est important d'identifier si l'un ou l'autre est prépondérant. Si tel est le cas, les recherches correspondant au phénomène physique majoritaire seront approfondies. En revanche, si aucune distinction ne peut être effectuée en première approche, alors la méthode d'ERS sera appliquée dans les deux cas.

Le point 4) quant à lui, concerne l'exposition et le comportement des enfants. La recherche documentaire permettra de synthétiser des informations indispensables à l'application d'une méthodologie d'ERS.

Pour réussir une approche globale de ces différents éléments, il est nécessaire d'en considérer les différentes phases, comme le type de matériaux mis en place, la migration potentielle de COV et COSV en surface des matériaux, l'adsorption d'une proportion de ces substances sur les poussières ainsi que les voies possibles d'exposition pour les enfants. Ces étapes peuvent être schématisées (cf. figure 1) en mettant en évidence les quatre points clé précédents.

³ La composition est dite « générique » car elle correspond à un recensement des composés utilisés pour la fabrication des matériaux, sans en connaître la formulation exacte (informations confidentielles détenues par les industriels).

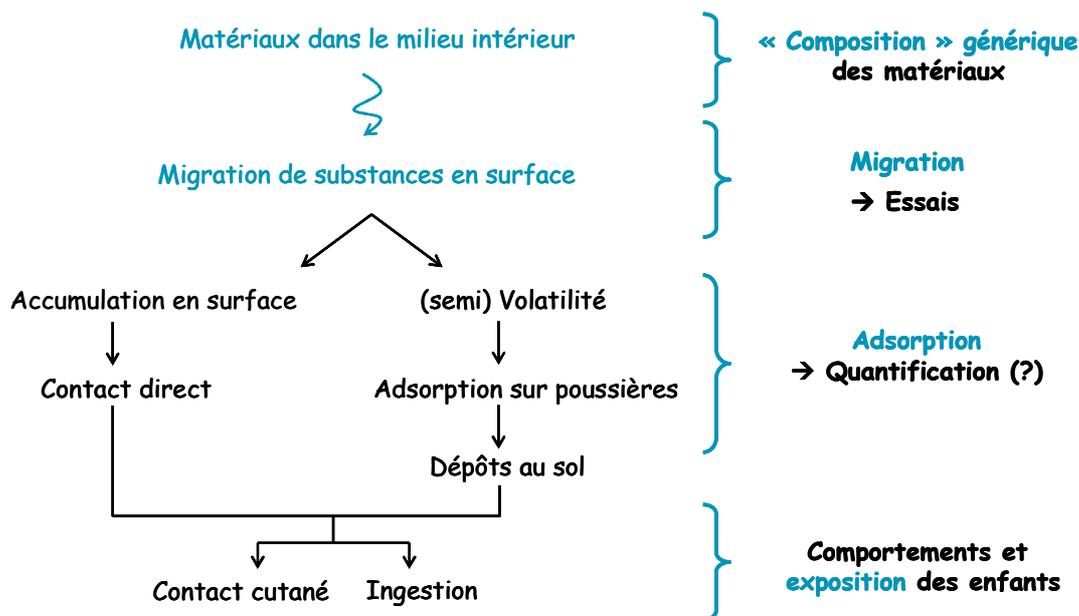


Figure 1 : schématisation des 4 étapes clef de la méthodologie : composition, migration, adsorption et exposition.

Concrètement, plusieurs sources d'informations et outils ont été utilisés pour effectuer les recherches documentaires et des contacts avec divers acteurs des domaines concernés ont été établis, par exemple :

- des agents de l'AFSSET participant au GT « COV et produits de construction » ainsi que des agents en charge de la méthodologie d'évaluation de l'exposition pour la population générale et les enfants ;
- des organismes de métrologie, publics (CTBA, LNE) et privés (Eurofins, Certech), pour déterminer les conditions de faisabilité et des protocoles adaptés pour des essais de migration ;
- des enseignants-chercheurs et chargés de recherche (en complément de la recherche bibliographique) pour un état des lieux des méthodes utilisées pour l'identification de la composition chimique des poussières dans l'environnement intérieur ;
- différents experts rencontrés lors des GT au sein de l'AFSSET ou lors du Comité d'Experts Spécialisés (CES) « Air » du 01/06/2007.

La recherche bibliographique ainsi que ces contacts ont permis d'étudier la faisabilité d'une ERS pour les enfants exposés aux matériaux de construction dans leur environnement intérieur. Il est important de préciser que cette étude intervient dans une volonté d'exploration de ce champ de recherches. Il ne s'agit donc pas de mener une ERS dans un contexte déjà établi avec une parfaite connaissance des informations nécessaires à l'application de la démarche.

Ce mémoire intervenant dans une phase exploratoire, il s'est avéré d'autant plus important de respecter les deux principes de l'ERS : la transparence et la cohérence. La méthodologie suivie devrait permettre une exploitation des résultats pour des travaux ultérieurs dans le cadre de cette thématique.

3. ENJEUX SANITAIRES RELATIFS A LA PROBLEMATIQUE

De plus en plus de résultats d'études relatives à la salubrité de l'environnement intérieur des enfants sont publiés. Deux principales raisons le justifient :

- les enfants constituent une population vulnérable sur le plan sanitaire ;
- l'environnement intérieur est une source d'exposition à de multiples polluants.

L'exposition des enfants peut effectivement différer par rapport à celle des adultes (budget espace temps (BET) et activités), leur organisme n'ayant pas encore atteint le stade définitif de maturité. Le Dr. Damstra, chef de l'unité de recherche interrégionale "International Programme on Chemical Safety" de l'Organisation Mondiale pour la Santé (OMS), précisait sur ce plan que les enfants ne doivent pas être considérés comme « de petits adultes » (OMS, 2006).

Concernant le deuxième argument, les matériaux de construction notamment ont été identifiés comme étant une source d'émission de divers polluants, tels les métaux lourds (plomb surtout), les COV, les phtalates, etc. De plus, plusieurs études publiées sur le thème de l'exposition des enfants à certains polluants de l'environnement intérieur font référence au plomb, aux Polluants Organiques Persistants (POP) ainsi qu'à certains phtalates (Fenske, 2005 ; INSERM, 1999 ; Needham, 2000 ; US-EPA, 1995 ; Wilson, 2007) – essentiellement par ingestion de nourriture ou mise à la bouche de jouets et d'articles de puériculture (tétine par exemple). Certaines études mentionnent également l'exposition des enfants aux COV, mais majoritairement par voie d'inhalation (Adgate, 2004). Or, il existe d'autres sources et voies d'exposition à ces composés par contact cutané et ingestion : le contact main-bouche et le comportement de pica* par exemple.

Des études épidémiologiques permettent également de renforcer ces deux arguments. Ce type d'étude permet de quantifier l'exposition des enfants aux poussières par exemple, en calculant des valeurs statistiques de quantité de poussières ingérées par jour (mg / jour). Deux méthodes d'analyse sont souvent associées : les questionnaires de suivi et des enregistrements vidéo du comportement d'enfants (volontariat des parents) (Auyeung, 2006 ; Needham, 2000). Toutes ces publications, revues et études constituent des sources d'information importantes pour qualifier et quantifier, dans la mesure du possible, l'exposition des enfants à divers polluants.

Parallèlement à ces résultats, des publications (Dourson, 2002 ; Van Engelen, 2004 ; Woltering, 2007 ; Zwart, 2004) et bases de données (CIBLEX, ConsExpo) synthétisent des informations physiologiques spécifiques aux enfants, en fonction du sexe et des classes d'âges (poids corporel, surface des différentes parties du corps : mains, tronc, jambes, etc.). Ces informations permettent de disposer de renseignements quantitatifs utiles pour l'application d'une démarche d'ERS.

Il reste encore à déterminer s'il existe un risque sanitaire pour les enfants, du moins, pour les classes d'âges incluses dans cette étude (de 6 mois à 3 ans), d'autant plus qu'il existe des situations concrètes d'exposition. Par exemple, lors de la rénovation, la réhabilitation ou de travaux ponctuels dans l'habitat, les sources d'émissions de poussières, de COV et de COSV sont maximales et constituent une source d'exposition aiguë. De tels travaux peuvent être engagés peu de temps avant la naissance d'un

enfant. Dans ce cas, le nouveau-né intégrera un environnement intérieur contenant davantage de COV et COSV qu'un logement non nouvellement équipé. Ceci tend à accroître les concentrations en substances chimiques auxquelles peuvent être exposés les nourrissons et jeunes enfants, surtout que les matériaux de construction sont davantage émissifs durant les premières semaines suivant leur intégration dans le logement.

Face à cela, la population n'est pas systématiquement avertie, par manque de disponibilité de l'information ou encore par absence d'intérêt de la part des consommateurs vis-à-vis de cette thématique. Pourtant, l'enjeu sanitaire majeur consiste en la réduction des situations d'exposition de l'enfant, grâce à l'identification des matériaux et des situations à risque et à la diffusion de ces informations au public.

C'est dans ce cadre que le PNSE recommande, que soit mis en place un « étiquetage des caractéristiques sanitaires et environnementales des produits et matériaux de construction » à l'horizon 2010 (action prioritaire N°15). Sur ce plan, la publication récente du rapport d'évaluation à mi-parcours du PNSE 2004-2008 ([AFSSET, 2007](#)) stipule que l'action 15 présente un « léger retard » vis-à-vis des objectifs.

Ce système d'étiquetage aurait deux conséquences :

- l'information de la population – sous réserve que l'étiquetage soit suffisamment explicite ;
- l'investissement des industriels pour développer et commercialiser des matériaux moins dangereux pour la santé de la population, tout en conservant une place concurrentielle sur le marché national, européen, voire international.

Sur ce plan, plusieurs pays européens ont instauré des protocoles de qualification et des labels informant la population sur la qualité des matériaux de construction. Ces procédures ont pour vocation de diminuer l'exposition de la population aux familles de composés chimiques (COV et COSV notamment) provenant des matériaux de construction et ainsi d'en réduire les impacts potentiels sur la santé grâce à une information accessible, en incitant la population à choisir des matériaux moins émissifs par exemple.

Un protocole AFSSET ([AFSSET, 2006](#)) a récemment été établi, en vue d'identifier et de promouvoir les produits de construction à faibles émissions chimiques auprès des consommateurs. Toutefois ce protocole n'est pas encore appliqué au niveau national (contrairement à certains pays scandinaves, à l'Allemagne et au Portugal), puisque cela nécessite d'établir au préalable des mesures de gestion spécifiques dans un cadre réglementaire éventuel. Un échancier s'avère également indispensable et doit être défini en concertation avec les différents acteurs (ministères, industriels, etc.). Les industriels sont donc également concernés et doivent veiller à limiter l'impact potentiel de leurs activités dans un cadre législatif national, européen et international (ICPE, REACH, etc.). L'AFSSET a d'ailleurs un rôle de coordination scientifique entre ces multiples acteurs et décideurs dans un objectif commun de sécurité sanitaire de la population – générale et professionnelle.

Pour l'ensemble de ces raisons, la poursuite de recherches dans ces domaines présente un intérêt certain et pourrait aussi permettre d'engager des partenariats et / ou programmes de recherche à plus long terme.

4. MATERIAUX DE CONSTRUCTION DANS L'ENVIRONNEMENT INTERIEUR

En vue de déterminer l'impact des matériaux de construction sur la qualité de l'environnement intérieur, il est nécessaire de procéder par étapes. Tout d'abord, les catégories de matériaux de construction seront rappelées avant d'en sélectionner un nombre plus restreint pour l'étude. Puis les composés chimiques susceptibles d'entrer dans leur formulation seront identifiés, ainsi que certaines de leurs propriétés physico-chimiques, afin d'appréhender leur comportement dans l'environnement intérieur.

La fréquence des substances présentes dans les matériaux sera alors déterminée, permettant ainsi de disposer d'un premier critère de sélection. Une fois les matériaux et composés les plus fréquents choisis, d'autres arguments seront utiles pour compléter ces informations, comme par exemple la compréhension de l'évolution des matériaux dans leur environnement intérieur. Pour y parvenir, des phénomènes physicochimiques spécifiques devront être pris en considération. En effet, certains composés vont migrer – plus ou moins aisément – à la surface des matériaux et pourront ensuite se déposer en surface ou encore s'adsorber partiellement sur des poussières de l'air intérieur.

4.1. DETERMINATION DES MATERIAUX ET DE LEUR COMPOSITION GNERIQUE

La méthode (cf. § 4.1.1) se scinde en deux étapes principales, l'une permettant de sélectionner des matériaux de construction (cf. § 4.1.2) en vue de déterminer leur composition générique et la seconde, d'identifier les composés chimiques présents (cf. § 4.1.3) et potentiellement dangereux en cas d'exposition.

4.1.1. Méthodologie

La première étape a consisté à déterminer une composition « générique » des matériaux de construction. Il ne s'agissait pas d'établir les formulations exactes dans la mesure où ce sont des renseignements confidentiels détenus par les industriels, mais de répertorier les familles de substances présentes dans les matériaux de construction.

Il est important de noter qu'il s'agit de données essentiellement qualitatives, puisque les proportions (concentrations massiques par exemple) de ces substances relèvent également de la formulation propre des matériaux et peuvent varier d'un fabricant à un autre, pour une même gamme de produit. Quelques intervalles de concentrations massiques peuvent toutefois être connus, indiquant dans ce cas une notion semi-quantitative sur l'exposition potentielle (pour les bétons et les matériaux plastiques par exemple).

Une fois cette synthèse réalisée, une hiérarchisation a été effectuée, selon la fréquence relative des substances dans les matériaux. Parallèlement, des données toxicologiques pour ces composés chimiques ont été recueillies.

Le recoupement de ces deux séries de données permet de déterminer les substances potentiellement dangereuses pour la santé humaine.

Toutefois, il serait intéressant d'apporter des compléments sur le plan de la représentativité des résultats à l'échelle nationale, ou du moins dans le cadre du choix ultérieur de scénarii d'exposition en tenant compte de données concernant le secteur de marché. En effet, il s'avère essentiel de vérifier – préalablement à l'étude de faisabilité de l'ERS et l'application éventuelle de scénarii – que les matériaux et substances chimiques sélectionnés dans le cadre d'essais de migration, pourront être considérés comme

statistiquement significatifs d'une utilisation nationale courante. Pour ce faire, il semble important de déterminer quels types de matériaux sont les plus fréquemment employés dans l'habitat individuel et collectif. Ces renseignements compléteront les données relatives à la présence des composés chimiques au sein des matériaux de construction.

4.1.2. Choix des matériaux

4.1.2.1. Liste des matériaux de construction non sélectionnés

Parmi les catégories de matériaux – solides, liquides et d'ameublement (cf. § 1.2) – certains ont été exclus dès le début de l'étude :

- le verre, car il est considéré comme inerte du point de vue de la migration et de l'émission de COV et COSV ;
- la céramique, car il s'agit d'un matériau coûteux et très rarement utilisé en dehors d'applications industrielles ou d'applications très localisées (isolation des fours, etc.) et non considérées comme source d'exposition pour la population générale [réf. Rapport FMA] ;
- le ciment en tant que matériau brut, étant donné qu'il sera rencontré dans les habitations uniquement comme composé principal du béton (le béton, étant conservé dans le cadre de l'étude) ;
- les mastics, car ils sont fréquemment localisés dans les pièces d'eau (salle de bain, cuisine), qui ne constituent pas les lieux les plus fréquentés par des enfants de 0 à 3 ans – environ un huitième de leur BET quotidien.

Parmi les matériaux encore retenus à ce stade, il a été nécessaire d'affiner la sélection, afin de respecter les délais impartis pour cette étude. Un des critères est relatif au secteur de marché des produits de construction. Une distinction a été effectuée selon la nature des matériaux : liquides ou solides et plus particulièrement les revêtements de sol et enfin les meubles.

4.1.2.2. Données concernant le marché des produits de construction

Cette synthèse a pour objectif de compléter les éléments nécessaires à la justification du choix des matériaux retenus dans le cadre de ce projet en tenant compte du secteur de marché des matériaux de construction, afin de dégager une tendance sur les ventes passées et actuelles. Identifier une tendance à venir – à partir des données du secteur les plus récentes – permettrait d'anticiper les situations futures d'exposition potentiellement à risque pour les enfants. Cette dimension est prise en compte dans le cadre de cette étude, car la démarche est à visée prospective. Par exemple, le scénario d'exposition éventuel pourrait concerner une chambre d'enfant nouvellement équipée. Les informations sectorielles moins récentes, quant à elles, apportent une indication sur les installations actuellement en place chez les particuliers.

Il est à noter que l'ERS ne pourra apporter de résultats statistiquement significatifs pour l'ensemble de la population, de par la diversité des matériaux et des marques utilisés – la formulation variant d'une gamme à l'autre et pour une même gamme, d'un fabricant à un autre. Toutefois, il est essentiel d'étudier le contexte national et notamment les

différents types de matériaux de construction utilisés dans l'habitat français, afin de privilégier autant que possible les usages les plus répandus en termes de revêtements de sol, de revêtements liquides et d'ameublement.

↳ Revêtements de sol

Afin d'identifier la nature des revêtements de sol les plus fréquemment commercialisés au niveau national, deux approches ont été retenues, en complément de la recherche bibliographique. La première consiste en une analyse succincte du marché français et la seconde en un sondage des Grandes Surfaces de Bricolage (GSB).

Concernant l'analyse de ce secteur de marché, une recherche préliminaire a permis de déterminer la répartition relative de la consommation française des différents types de revêtements de sol commercialisés dans les magasins destinés aux particuliers (cf. tableau 1).

Type de revêtement de sol	Consommation française en millions de m ² (**)	Pourcentage relatif (%)
Textiles	78,2	31.9
Carrelage	70	28.5
PVC	55	22.4
Stratifiés	29	11.8
Parquets (bois naturel)	13	5.3

(**) Production nationale et incidence du commerce extérieur.

[Tableau 1](#) : consommation française de revêtements de sol en 2004. Source : MRI, 2003.

Les moquettes et tapis étaient majoritaires sur le secteur des revêtements de sol en 2004. Toutefois, depuis 2003, le marché des revêtements de sol textiles est en régression au profit des revêtements de sols en PVC.

Pour confirmer cette tendance et éventuellement identifier des produits "phare" pour chacun de ces matériaux de construction, un sondage des GSB a été effectué selon un questionnaire élaboré par mes soins (cf. annexe 3). Il faut préciser que ce questionnaire n'avait pas pour but d'être statistiquement significatif, dans la mesure où seule la confirmation d'une tendance était recherchée. C'est pourquoi un nombre restreint de GSB a été sondé (huit au total). En revanche, ces GSB ont été sélectionnées parmi les quatre groupes leaders sur le marché, à savoir Leroy-Merlin, Castorama, Bricomarché et Mr. Bricolage (EUROSTAF, 2003 ; MRI, 2003). Un taux de réponse de 50% (sondage par téléphone et déplacements en GSB).

Malgré une présentation systématique du contexte et des objectifs de cette étude avant de débiter le questionnaire, peu d'informations ont pu être recueillies par rapport aux questions posées. Ceci peut s'expliquer par le fait que ces données restent stratégiques sur le plan commercial et les GSB ainsi que les industriels doivent rester prudents quant à la diffusion de ces informations.

Toutefois, une des informations utile réside dans la confirmation de la tendance actuelle à une diminution de l'usage des moquettes au profit des revêtements en PVC. La politique de développement durable semble avoir également provoqué une relance de la consommation de revêtement de sol de type parquet et plus particulièrement ceux en bois massif.

Concernant la bibliographie, deux rapports d'essais d'émission ont été fournis par le CSTB (CSTB, 2005) et le CTBA (CTBA, 2006), dans le cadre de la saisine AFSSET n°2004 / 011 (cf. annexe 1). Douze revêtements de sol ont été testés et les choix sont justifiés de la façon suivante :

1) le CSTB a sélectionné les matériaux notamment grâce aux connaissances des produits, des fabricants et à la volonté de sélectionner des matériaux d'émissivités différentes. Une fois ces catégories répertoriées, le choix s'est effectué en GSB en fonction des disponibilités des matériaux de construction ;

2) le CTBA, a procédé de la même façon – connaissances du secteur de marché et des industriels – pour identifier les matériaux d'intérêts pour l'étude ; en précisant dans son rapport que les échantillons « ont été prélevés de façon purement aléatoire, en fonction des disponibilités dans la grande surface de bricolage ».

Grâce à ces différentes sources d'information, le choix des revêtements de sol pris en compte dans ce projet, a pu être effectué. Un revêtement de sol, type dalle de PVC, a été sélectionné pour deux raisons principales :

- l'augmentation de la fréquence d'utilisation chez les particuliers durant ces dernières années ;
- la présence de plusieurs phtalates dans leur composition – de 30 à 50 % en masse du matériau.

La famille des phtalates est soumise à une réglementation spécifique, notamment pour les jouets et articles de puériculture (Norme EN 71 par exemple), ainsi que pour les matériaux en contact avec les denrées alimentaires. En effet, des dangers potentiels ont été identifiés par des études toxicologiques, suite à une exposition par ingestion (Bornehag, 2005 ; Swedish Chemical Inspectorate, 2006 ; Lovekamp-Swan, 2003). En outre, le taux de migration de composés chimiques augmente avec la concentration au sein du produit (Messadi 1997 ; Mézières, 2006) et les phtalates peuvent atteindre des niveaux de concentration élevés dans les matériaux plastiques.

En complément de ce revêtement de sol, une moquette a également été sélectionnée pour prendre en compte un matériau encore très répandu dans l'habitat et qui de plus, est susceptible de contenir des phtalates (les tissus employés sont très souvent des matériaux polymères).

Ces informations apportent une vision certes partielle, mais sont néanmoins indicatives d'une tendance passée et actuelle des utilisations de revêtements de sol par les particuliers.

D'autres types de matériaux doivent être considérer dans le cadre de ce projet, à savoir les matériaux liquides ainsi que les meubles.

↳ Revêtements liquides

Aucun revêtement liquide de type vernis ou peinture n'a été analysé dans les deux rapports précités du CTBA et du CSTB, puisque ces matériaux n'entraient pas dans le champ de la saisine. Dans cette étude exploratoire, en revanche, les matériaux liquides sont à prendre en compte. Un choix a dû être effectué en vue de sélectionner l'un ou l'autre des produits de construction majoritaires : les vernis ou les peintures. Le sondage

en GSB n'a pas permis de conclure sur ce point. En revanche, l'un des critères a été de considérer la surface recouverte par l'un ou l'autre des produits, la peinture étant *a priori* le produit pour lequel les surfaces recouvertes sont les plus élevées dans une habitation.

Concernant la quantité de produits déposée sur les surfaces à enduire – valeur dont dépend la quantité de substances capable de migrer en surface – elle varie selon l'utilisateur et il n'est pas envisageable, à l'échelle de l'étude, de conclure quant à ce paramètre.

Le choix s'est donc porté sur les peintures et de nombreuses gammes sont disponibles en GSB : peintures à l'eau ou solvant, pour le sol ou les murs, etc. Lors d'un déplacement en GSB, une marque s'est distinguée car elle fait certifier certaines de ses peintures par un laboratoire accrédité Cofrac et appose, sur l'emballage, l'intitulé : « respect des normes d'hygiène et santé : norme Jouets EN 71-3, relative à la protection de l'enfant ». Cette phrase concernant le respect de la norme Jouet EN 71-3 ne figure que sur ce produit (peinture pour sol) ainsi que sur un vernis couleur – du même fabricant. La société, contactée par téléphone, précise qu'il s'agit d'une démarche volontaire.

La comparaison de cet article à un produit équivalent ne possédant pas cette certification constituerait une information intéressante à recueillir. Elle permettrait de déceler éventuellement des différences dans la composition et la migration des substances chimiques jusqu'à la surface de ces revêtements. Il pourrait être envisagé à plus long terme et si des différences notables existent entre les deux types de produits, d'inciter les industriels à certifier leurs produits selon cette norme. Ceci permettrait d'en faire évoluer la composition en vue d'une diminution des risques sanitaires potentiels dus à la formulation de ces matériaux. Le choix de la seconde peinture pour sol, s'effectuera en fonction de la disponibilité en magasin d'un produit équivalent (peinture à l'eau destinée à une application sur sol) ne disposant pas de cette certification.

↳ Ameublement

Comme pour les murs, le contact cutané direct par les mains ou le corps des enfants avec les meubles demeure plus rare qu'un contact avec le sol. Les enfants de 6 mois à 3 ans risquent donc d'y être moins exposés quotidiennement durant leurs budgets espace-temps. En effet, pour les meubles (et les murs), l'origine d'un contact cutané direct correspond essentiellement à la prise d'appuis via les mains – aide à l'apprentissage de la marche par exemple.

Pour l'ameublement, la source d'exposition prépondérante sera donc indirecte, via le phénomène d'adsorption de composés chimiques sur des poussières, après migration depuis le cœur du matériau. Le contact direct apparaît limité, les possibilités d'exposition sont donc réduites. Or, dans un premier temps, dans le cadre de cette étude exploratoire, il semble plus approprié de favoriser la sélection de matériaux engendrant à la fois des sources directe et indirecte, maximalisant ainsi l'exposition.

Si la méthodologie s'avère applicable pour des matériaux, l'extension du projet à d'autres types de produits pourra être envisagée par la suite, à plus ou moins long terme.

Ainsi, dans le cadre d'une première approche, seuls des matériaux utilisés pour les revêtements de sol seront pris en compte, dans la mesure où ils constituent la source principale d'exposition directe et indirecte par ingestion et contact cutané.

→ **Quatre matériaux** de construction ont finalement été retenus selon divers critères, deux matériaux **solides** et deux matériaux **liquides** (pas de meubles) :

- une dalle de PVC
- une moquette
- une peinture aqueuse pour sol certifiée NF EN 71-3
- une peinture aqueuse équivalente non certifiée

Une fois la sélection des matériaux effectuée, il convient de déterminer quelles substances chimiques constitutives de leur composition sont le plus fréquemment rencontrées.

4.1.3. Choix des substances chimiques

Les matériaux de construction, de par leur variété d'applications et de composition, contiennent de multiples substances chimiques. Il est cependant nécessaire de sélectionner un nombre restreint de composés chimiques d'intérêt afin de délimiter le cadre de l'étude.

En première approche et au vu des délais impartis, une limite a été fixée : la sélection d'un seul composé chimique pour chacune des deux familles (COV et COSV), soit deux substances d'intérêt au total.

Ce choix n'exclut pas l'élaboration d'une liste plus exhaustive de substances (cf. annexe 4), pour lesquelles il serait pertinent de réaliser une ERS complémentaire dans le même contexte d'exposition.

4.1.3.1. Composition générique des matériaux

Il est essentiel de rappeler que la formulation exacte des matériaux de construction reste confidentielle. En outre, il existe une variabilité en fonction des fabricants et de la gamme du produit, sans toutefois que cette variation constitue une limite significative pour cette étape du mémoire.

La difficulté majeure a été de pouvoir disposer de ces données en vue d'identifier les familles de composés chimiques présentes dans les matériaux de construction. Pour ce faire, il a été nécessaire d'utiliser différentes sources d'information : des contacts avec des industriels du secteur des matériaux de construction, des membres du personnel du CSTB et du CTBA ainsi que des enseignants-chercheurs d'Écoles et d'Universités dispensant des formations en science des matériaux (École des Mines d'Alès, Université Joseph Fourier à Grenoble, etc.).

Le tableau de l'annexe 5 synthétise l'ensemble des substances identifiées dans la composition générique des matériaux de construction suivants : béton, bois, plâtre, vernis, peintures, colles et produits d'entretien.

En complément de la liste élaborée, des résultats d'essais d'émission effectués par le CSTB (CSTB, 2005) dans le cadre de la saisine « formaldéhyde » pour des produits d'entretien y ont été ajoutés. Sachant que certains des composés émis peuvent l'être suite à une réaction physicochimique avec l'atmosphère – comme par exemple l'émission secondaire de formaldéhyde suite à des réactions physico-chimiques avec l'ozone – tous

ne sont donc pas présents dans la formulation initiale et c'est pourquoi il est nécessaire de rester prudent quant à l'exploitation de ces informations. Ces données n'ont été récoltées que pour une seule catégorie de matériaux parmi les sept citées ci-dessus, mais elles constituent tout de même un complément d'information.

Une fois les compositions génériques déterminées et cette liste de composés chimiques élaborée, plusieurs critères de choix ont été utilisés en vue de sélectionner deux groupes de substances d'intérêt.

4.1.3.2. Choix de substances d'intérêt

Le but est d'identifier idéalement un COV et un COSV qui constitueront les deux substances d'intérêt de l'étude. Pour y parvenir deux critères principaux ont été retenus : la fréquence de ces composés dans les matériaux sélectionnés et leur toxicité.

La notion de concentration de la substance chimique dans le matériau n'a pas été retenue, dans la mesure où il est rare de pouvoir disposer de cette information. D'autres critères pourront ponctuellement compléter les deux cités précédemment.

↳ COV

La famille des COV est omniprésente dans l'ensemble des matériaux de construction sélectionnés. De multiples composés chimiques de cette famille apparaissent régulièrement dans les compositions génériques. Toutefois, se distingue la catégorie des BTX, c'est-à-dire : le Benzène, le Toluène et les Xylènes. Ces composés ubiquitaires constituent la base de nombreux matériaux, puisqu'ils sont utilisés majoritairement comme solvants (peintures, vernis, béton en tant qu'adjuvants, etc.). Ils ont également l'avantage d'être sensibles aux différentes méthodes d'analyse et de détection dans des échantillons quels qu'ils soient.

L'usage du benzène, classé cancérigène de catégorie 1 par l'Union Européenne, est strictement réglementé (exemple : directive 89-677⁴) et les solvants contenant plus de 0.1% de benzène ne sont pas autorisés à la vente. Les industriels se sont engagés pour respecter ces dispositions réglementaires et par conséquent, le benzène se retrouve dans la plupart des cas à l'état de traces, lorsqu'il n'est pas totalement absent de la composition. Pour cette raison, seuls les xylènes et le toluène seront considérés comme des substances d'intérêt pour le reste du projet. Toutefois, lors des essais de composition, une simple vérification de la présence de benzène en deçà du seuil réglementaire pourra être effectuée. En effet, l'étude du CSTB sur l'émission en COV et formaldéhyde des matériaux de construction (CSTB, 2005) a permis de détecter la présence de benzène au sein des échantillons, mais ces cas demeurent rares. Actuellement, le toluène est utilisé comme substituant du benzène, ce qui augmente encore la fréquence de présence du toluène dans divers produits de consommation.

⁴ Directive relative à la limitation de mise sur le marché et de l'emploi de certaines substances et préparations dangereuses.

Les études toxicologiques pour ces deux composés d'intérêt éventuels – toluène et xylène – portent majoritairement sur les expositions par inhalation, plus fréquentes, notamment dans le cadre d'une exposition professionnelle. Toutefois, des effets toxiques sont connus par ingestion et par contact cutané. En effet, toluène et xylènes sont entièrement absorbés par l'organisme, après ingestion. Ils sont irritants pour la peau et les muqueuses (oculaire notamment), en raison de leurs propriétés de solvant des lipides cutanés, provoquant ainsi des dermatoses. De plus, lors de l'absorption à partir des voies gastro-intestinales – plus lente que lors d'une exposition par inhalation – le toluène se répartit dans les tissus hautement vascularisés et riches en lipides comme le cerveau, les reins et le foie, mais il s'accumule principalement dans les tissus adipeux (Reichl, 2004).

De façon générale, le toluène est éliminé à hauteur de 70 à 80 % environ douze heures après une exposition aiguë. Suite à une telle exposition, une intoxication, des tremblements, des effets neurologiques ont été constatés chez l'homme et l'animal. Après une exposition chronique, une accumulation et plusieurs phénomènes toxiques peuvent survenir : diminution du nombre de neurotransmetteurs, augmentation du poids de plusieurs organes ainsi qu'une neurotoxicité et des troubles auditifs (INERIS, 2005 ; INRS, 2004 ; RIVM, 2001).

Ces critères toxicologiques confirment l'intérêt de choisir le toluène comme substance chimique d'intérêt pour le projet. En termes de fréquence, c'est d'ailleurs le toluène qui a été identifié le plus souvent dans la composition générique des matériaux (cf. annexe 5). Il peut donc être envisagé de le sélectionner comme composé d'intérêt pour la famille des COV.

Au final, les BTX sont retenus comme groupe d'intérêt et le toluène sera plus particulièrement recherché pour une quantification de l'exposition via des essais de composition et de migration prévus dans le cadre de cette étude.

Il reste à appliquer la même démarche de sélection pour les COSV, en vue d'identifier un second groupe de substances chimiques d'intérêt pour la problématique de l'étude.

↳ COSV

Plusieurs familles de COSV ont été identifiées : éthers de glycol, composés halogénés (retardateurs de flamme par exemple), etc. L'une d'entre elles, les phtalates, se distingue plus particulièrement par sa fréquence de présence dans les matériaux. Outre leur fréquence, ces composés sont utilisés en fortes concentrations, favorisant ainsi les possibilités de migration jusqu'en surface des matériaux par exemple.

De multiples recherches effectuées, notamment en épidémiologie et en toxicologie (Riechl FX, 2004 ; RIVM, 2001 ; Saillenfait AM, 2004 et 2005), ont permis de mettre en évidence des risques sanitaires pour les populations professionnelle et générale. Une série de réglementations à l'échelle européenne a d'ailleurs été instaurée depuis les années 1990.

Plus récemment, six phtalates⁵ ont été identifiés comme potentiellement dangereux en cas d'ingestion suite à la mise à la bouche régulière de jouets. Ces composés sont systématiquement recherchés dans les jouets, suite à l'application au 16 janvier 2007 du

⁵ le di(2-éthylhexyl) phtalate (DEHP), le dibutyl phtalate (DBP), le butyl benzyl phtalate (BBP), le di-isononyl phtalate (DINP), le di-isodécyl phtalate (DIDP) et le di-n-octyl phtalate (DNOP).

décret européen n° 2006-1361 (du 09/11/2006), relatif à la limitation de l'emploi de certains phtalates dans les jouets et les articles de puériculture.

Les matériaux de construction ne sont pas soumis à ce décret. Pourtant, plusieurs de ces phtalates sont utilisés en tant que plastifiants, c'est-à-dire en tant qu'additif qui assoupli des matières plastiques initialement rigides ou semi-rigides.

La diffusion de ces composés chimiques (cf. § 4.2.1) s'avère possible, voire favorisée, par la structure physico-chimique des matériaux plastiques et par le fait que les plastifiants ne soient intégrés au matériau qu'après la polymérisation de celui-ci (Chaumon P, 2005 ; Reichl FX, 2004). L'exemple le plus courant dans ce domaine reste le Poly Chlorure de Vinyl (PVC) – matériau retenu dans le cadre du projet (dalle de revêtement en PVC). Les phtalates y sont introduits à hauteur de 30 à 50 % en masse.

Parmi les phtalates les plus répandus, le DEHP et le DINP semblent se distinguer plus particulièrement (INRS, 2004 ; Swedish Chemical Inspectorate, 2006). Ces deux composés appartiennent à la liste des six phtalates systématiquement dosés dans les jouets, articles de puéricultures et matériaux en contact avec les denrées alimentaires. Le DEHP possède la particularité d'être légiféré également dans le domaine de la cosmétique, puisque son utilisation est interdite depuis 2003.

Dans le secteur des matériaux, le DEHP est introduit en tant qu'additif dans les peintures, à hauteur de 5% (concentration). Dans les matériaux plastiques, il peut être introduit entre 30 et 50% (en masse), ce qui reste très important, d'autant plus que la capacité migratoire d'une substance chimique augmente avec sa concentration dans le matériau.

La tension de vapeur du DEHP est de $1,3 \cdot 10^{-5}$ Pa⁶ à 25°C, soit 6 fois moins que le DINP ou 100 fois moins que le DBP. Or, plus la tension de vapeur d'un composé est faible, plus sa concentration sur les poussières sera élevée au détriment de sa concentration sous phase gazeuse. Par conséquent, la majeure partie de la fraction de DEHP se trouve en phase condensée, c'est-à-dire, associée aux aérosols* et à la poussière. Des publications confirment ce phénomène en constatant que le DEHP est le phtalate le plus fréquemment détecté ainsi que celui dont la concentration moyenne est la plus élevée parmi plusieurs centaines d'échantillons de poussière prélevés dans des habitations (Bornehag, 2005 ; Clausen, 2003). Le DEHP sera donc présent dans les poussières ainsi qu'en surface des matériaux et appartient à la catégorie des composés chimiques présents dans les deux sources d'exposition possibles pour les enfants (cf. § 5.2).

Ces critères incitent à sélectionner le DEHP comme composé d'intérêt pour la famille des COSV. D'un point de vue toxicologique, il correspond également à l'un des phtalates identifiés comme potentiellement dangereux. En effet, contrairement au DINP et DIDP, le DEHP est classé toxique et reprotoxique* de catégorie 2 depuis 2001. Par rapport au DBP et BBP également classés dans ces catégories, le DEHP est quantitativement et plus fréquemment présent dans l'environnement intérieur (Reichl FX, 2004 ; Saillenfait AM, 2004 et 2005).

⁶ Pa : Pascal, unité caractérisant une pression.

Il est à noter que le DEHP tend à être substitué depuis 2003 par d'autres substances comme le DINP et le DIDP (le BBP et le DIBP ne sont plus utilisés depuis 2004). Cette information a été obtenue auprès d'un industriel spécialiste de la formulation et production de revêtements PVC. Il s'agit certes d'une unique source d'information, néanmoins, les procédés industriels demeurent sensiblement identiques d'un fabricant à un autre.

Malgré cela, l'équipement en revêtements de sol PVC, chez les particuliers, comporte encore très fréquemment du DEHP, dans la mesure où un tel revêtement possède une durée de vie d'au moins 10 à 15 ans. Le DEHP est donc proposé comme composé chimique d'intérêt pour l'étude. Dans le cadre de la quantification de l'exposition, plusieurs phtalates seront recherchés dans les échantillons, notamment pour palier à l'éventuelle absence – ou très faible concentration – du DEHP. Si ce dernier s'avère en quantité suffisante pour appliquer la méthode d'ERS, alors, le DEHP sera retenu en priorité, dans un objectif d'évaluation quantitative du risque.

Finalement, il est important de préciser également que le DEHP et le toluène, sélectionnés selon les critères cités précédemment, font partie intégrante des polluants de l'environnement intérieur classés par l'AFSSET dans le cadre de l'auto-saisine 2003/AS03. Les 50 premières substances hiérarchisées ont été publiées en avril 2007 dans le rapport Valeurs Toxicologiques de Référence* (VTR) pour les substances reprotoxiques (AFSSET, 2007). Le DEHP et le toluène se situent parmi les dix premières (respectivement en première et septième position). D'autres phtalates – DBP, BBP – figurent également parmi cette liste, ainsi que le benzène.

La recherche bibliographique a également confirmé ce choix. Par exemple, un GT de l'US Green Building Council, a également identifié le toluène et le DEHP comme composés présents dans les revêtements de sol et devant faire l'objet d'une évaluation des risques pour la santé humaine.

→ Les **substances chimiques d'intérêt** retenues dans le cadre du projet, sont :

- les **phtalates**, et plus particulièrement le **DEHP** ;
- les **BTX**, et plus particulièrement le **toluène**.

4.2. PHENOMENE DE MIGRATION

4.2.1. Définition et principe

La migration est un phénomène de transport et correspond plus particulièrement à un transport de matière par diffusion. Cette diffusion s'opère selon la loi de Fick (équation ci-après) et varie en fonction du gradient* de concentration d'une substance chimique dans l'épaisseur du matériau. Ce gradient, tend à ramener le système dans un état d'équilibre des concentrations, selon l'équation :

$$J = -D \cdot \frac{\partial C}{\partial x}$$

- J représente un flux de particules.
- (x) est la direction selon laquelle le composé migre⁷ ;
- D – sous l'hypothèse de sa constance selon la direction (x) – est le coefficient de diffusion (en $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$) ;
- C correspond à la concentration molaire de la substance considérée (en $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$) ;

La migration correspond donc à un déplacement de molécules, ou plus exactement, à un flux de particules (J), dans l'épaisseur du matériau depuis les zones les plus concentrées vers les moins concentrées. Dans le cadre d'un matériau en contact avec l'air intérieur dans l'habitat, la migration a donc lieu depuis le cœur du matériau jusqu'à sa surface en vue d'atteindre un état d'équilibre des concentrations en espèces chimiques. Par conséquent, les composés présents dans le matériau seront susceptibles, après transport, de former une couche surfacique (Mézière, 2005) ou d'en être éliminés (nettoyage, volatilisation, etc.).

Il est à noter que cette diffusion du cœur vers la surface du matériau ne constitue pas l'unique phénomène possible. En effet, en fonction de la nature de l'interface entre le matériau de construction et son environnement direct (liquide, air ou autre solide), une migration dans la direction opposée peut s'opérer. La diffusion peut intervenir dans le cas d'un contact entre le matériau et un liquide par exemple. En fonction des affinités chimiques, le liquide peut être absorbé dans l'épaisseur du matériau, en même temps que s'opère une perte de certaines substances chimiques dans le liquide.

Cette précision est utile dans la mesure où la migration bidirectionnelle est prise en compte dans les normes, même si dans le cadre d'un scénario d'exposition dans une habitation ce phénomène n'intervient pas pour une surface en contact avec l'air ambiant. Les normes faisant mention de la migration bidirectionnelle sont plus particulièrement celles relatives aux matériaux en contact avec des denrées alimentaires ou encore les jouets et articles de puéricultures.

⁷ La direction (x) ne correspond pas à une valeur numérique, mais à une direction, au sens vectoriel du terme.

Par exemple, la norme 1186-1⁸ distingue deux types de phénomènes migratoires et les définit comme suit :

- la migration globale, qui correspond à un transfert de masse de matériau vers le milieu d'essai (ou simulant) et qui tient compte de l'ensemble des substances susceptibles de migrer ;
- la migration spécifique, qui correspond au même principe physique mais en ne considérant qu'un seul composé chimique à la fois.

Dans le cadre de ce projet, la migration spécifique (substance par substance) doit être privilégiée par rapport à la migration globale (ensemble des substances) dans le cadre de réalisation d'essais, car elle permet d'obtenir une quantification plus fiable et précise pour chacune des substances analysées.

4.2.2. Conséquences pour l'environnement intérieur

Après la migration de composés chimiques en surface des matériaux, des interactions sont susceptibles de se produire avec l'environnement intérieur et d'en influencer sa qualité par le biais de différents phénomènes. Pour qu'une quantité de substances chimiques perdure en surface d'un matériau, deux conditions s'avèrent nécessaires :

- l'absence de facteur modifiant ce film surfacique (vitesse d'air au contact, nettoyage de surface à l'aide de produits d'entretien, etc.) ;
- la mise à disposition permanente de composés, ce qui sous entend que les substances présentes au cœur du matériau soient impliquées dans le processus de diffusion vers l'interface (cf. § 4.2.1).

Ainsi, tout mécanisme de migration d'une molécule au sein d'un matériau peut se décomposer en deux étapes :

- 1) la diffusion vers l'interface,
- 2) le franchissement de l'interface et la libération des composés dans l'environnement intérieur.

Une fois la seconde étape aboutie, plusieurs cas de figure sont possibles : soit la substance est éliminée lors d'un nettoyage de la surface – auquel cas il n'y a pas d'exposition possible, soit la substance s'accumule en surface. Suite à cette accumulation, la substance est susceptible de se volatiliser avant d'être partiellement adsorbées sur des poussières. Moins le composé est volatil – les COSV plutôt que les COV par exemple – plus il aura tendance à s'adsorber sur les poussières et particules présentes dans l'air intérieur, tandis que les composés volatils resteront majoritairement sous forme gazeuse. Ainsi, même si la volatilité des COV est plus élevée que celle des COSV, les composés semi-volatils se retrouveront en concentration plus élevée sur les poussières que les COV ([Feigenbrugel, 2005](#)).

Ces poussières, une fois chargées en substances chimiques se déposeront sur le sol plus ou moins rapidement, en fonction de leur taille. En effet, plus les particules auront

⁸ Norme NF EN 1186 : « Matériaux au contact des denrées alimentaires – matière plastique ».

une masse globale et un diamètre aérodynamique élevés, plus elles se déposeront rapidement sur le sol, engendrant ainsi une exposition par voie cutanée et par ingestion. Ce sont notamment pour ces raisons que le phénomène de migration influe sur la qualité de l'environnement intérieur.

Au-delà de l'identification des sources d'exposition aux matériaux de construction, il est essentiel de pouvoir les quantifier. Pour ce faire, il a été nécessaire d'effectuer des recherches quant aux panels de protocoles normalisés existants dans ce domaine et de déterminer le ou les plus pertinents pour le projet (cf. § 5.3.). La finalité de ces recherches est de déterminer la quantité de substances chimiques d'intérêt présentes en surface des matériaux afin d'évaluer s'il existe des risques sanitaires pour les enfants qui y sont exposés (cf. § 5.2.). Les résultats quantitatifs obtenus grâce à des essais de migration ne doivent pas être exploités sans avoir déterminé au préalable un contexte précis d'exposition, ou scénario (cf. § 6.2). Ce dernier devrait prendre en compte idéalement les paramètres qui influencent la cinétique de migration. Pour cela, il est essentiel d'identifier ces facteurs ainsi que leurs rôles dans le processus de diffusion des composés chimiques d'intérêt.

4.2.3. Facteurs influençant la migration

Le phénomène de migration – et les phénomènes de transport en général – dépendent d'autres facteurs que ceux cités précédemment (concentration des composés chimiques, etc.). En effet, l'environnement dans lequel les matériaux sont mis en place ne demeure pas stable dans le temps. Des paramètres varient constamment et de manière plus ou moins cyclique, comme par exemple la température, l'humidité relative, etc. Concernant la température, il est à noter que le coefficient de diffusion « D » de la loi de Fick varie en fonction de la température (selon la loi d'Arrhenius, la variation est exponentielle en $1/T$, où T est la température). Ainsi, la migration d'espèces chimiques augmente avec la température.

Les caractéristiques physico-chimiques du composé migrant, comme sa masse molaire, sa solubilité dans un milieu donné, ou encore, son encombrement stérique constituent des facteurs d'influence du phénomène de migration. La concentration de la substance est également un facteur clé, dans la mesure où la migration est favorisée par une concentration (en masse, par exemple) importante dans le matériau. Ceci se traduit également dans l'équation de Fick, car la diffusion augmente avec la concentration de la substance d'intérêt dans le matériau.

Les conditions à l'interface du matériau, comme le nettoyage, la pression de vapeur saturante, la vitesse de l'air en surface, etc. constituent également des paramètres de variation de la volatilité des substances, de leur migration et surtout de leur capacité à former un film surfacique.

Enfin, un dernier paramètre peut intervenir : le vieillissement des matériaux. En effet, selon la nature du matériau, son comportement au cours du vieillissement – physique, chimique et photochimique – varie. De façon globale, les liaisons intermoléculaires tendent à s'affaiblir, favorisant ainsi le processus de diffusion de composés chimiques. Toutefois, il faut pondérer cette remarque puisque la migration de composés semble atteindre une asymptote au bout d'un temps variable en fonction du type de matériau et de la nature du contact avec son environnement. D'après la recherche bibliographique effectuée et les contacts obtenus, une durée minimale de 10 jours a été identifiée comme

l'atteinte d'un régime permanent pour les réactions de migration des matériaux en contact avec les denrées alimentaires. Concernant les autres types de matériaux, aucune valeur stricte n'a été identifiée. Toutefois, ce facteur a volontairement été pris en compte lors de l'élaboration des protocoles d'essais de migration. En effet, deux prélèvements ont été prévus en vue de tenir compte de la cinétique de réaction de migration : l'un en période maximale d'émission et le second au bout de plusieurs jours, correspondant à un transport proche de celui s'opérant en régime permanent.

L'ensemble de ces paramètres peuvent donc influencer plus ou moins favorablement la migration qui s'opère au sein des matériaux de construction. Ils devront être intégrés, dans la mesure du possible, au scénario d'exposition ou, à défaut, constituer un point sur lequel une discussion s'avèrera nécessaire.

4.3. PHENOMENE D'ADSORPTION

4.3.1. Principe et conséquences pour l'environnement intérieur

L'adsorption est un phénomène physique par lequel un solide ou une matière particulaire⁹ fixe des molécules à sa surface (Smeets, 2002), dont divers composés chimiques. Dans le cadre de ce projet, les COV et les COSV sont plus particulièrement concernés.

L'adsorption de ces composés ne peut intervenir que suite à leur volatilisation depuis la surface des matériaux où les substances chimiques peuvent s'accumuler. Suite à cela, une fraction de ces composés restera en phase gazeuse, tandis que l'autre sera adsorbée sur la phase particulaire ou encore appelée phase aérosol* (cf. figure 2).

Il est à noter que les COV sont plus volatils que les COSV, c'est pourquoi les COV seront majoritairement en phase gazeuse, au détriment de la phase aérosol – de 10 à 100 fois plus dans la phase gazeuse que particulaire. Ainsi, les COSV – dont les phtalates – seront plus susceptibles que les COV de se trouver dans les poussières auxquelles les enfants seront exposés lors de leur évolution dans l'environnement intérieur.

La capacité d'adsorption des COV et des COSV varie en fonction de multiples paramètres, comme : leurs propriétés physico-chimiques, la température et l'humidité relative de l'air intérieur. Par exemple, plus la température ambiante augmente, plus l'adsorption diminue, tout paramètre restant égal par ailleurs. L'humidité relative engendre le même type de variations au niveau de l'adsorption des COV et COSV sur les poussières. Une compétition s'opère entre ces composés chimiques et la vapeur d'eau. Ainsi, plus l'humidité relative de l'air intérieur augmente, plus l'adsorption de composés chimiques en surface des PM sera faible, tandis que leur proportion dans la phase gazeuse sera plus élevée (exposition par inhalation majoritaire).

⁹ Particulate Matter, ou PM en anglais.

Emission de substances chimiques, suite à leur migration et accumulation en surface du matériau

Mécanismes d'adsorption de COV et COSV sur les particules

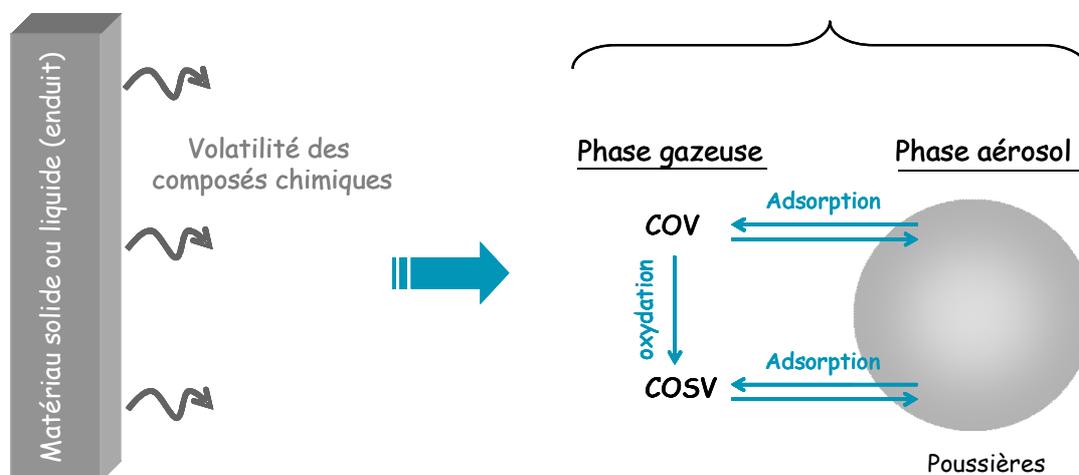


Figure 2 : schématisation du phénomène d'adsorption de COV et COSV sur les poussières.

Après adsorption de divers composés en surface des poussières, celles-ci vont sédimenter jusqu'au sol, surtout les matières particulaires de diamètre aérodynamique¹⁰ le plus élevé. Suite à ce dépôt, les enfants seront susceptibles d'être exposés aux COV et COSV par voie d'ingestion et / ou de contact cutané.

Il est important de pouvoir quantifier le plus précisément possible la concentration en diverses substances chimiques, dont celles sélectionnées dans le cadre de ce projet. Pour ce faire, deux méthodes sont envisageables : l'une directe et l'autre indirecte. Pour chacune d'entre elle, les avantages et inconvénients devront être identifiés, en vue de déterminer quelle méthode s'avèrerait pertinente dans le cadre de ce projet.

4.3.2. Recherches pour une quantification des substances chimiques sur les poussières

Le but est de déterminer s'il est possible de quantifier les composés d'intérêt sur les poussières de l'environnement intérieur et si oui, par quelle méthode. Pour ce faire, l'un des volets de la recherche bibliographique portait sur cette thématique. De plus, des enseignants chercheurs et maître de conférences ont été contactés dans différents laboratoires (Université Joseph Fourier de Grenoble, Laboratoire du Génie de l'Environnement Industriel et des risques naturels d'Alès, etc.), en vue de mettre à jour les informations recueillies et vérifier la pertinence et les possibilités de cette quantification.

De multiples paramètres sont à prendre en compte lors de la modélisation des phénomènes d'adsorption : le taux de renouvellement d'air, le pourcentage d'humidité

¹⁰ Le diamètre aérodynamique correspond par définition au diamètre d'une sphère de masse spécifique de 10^3 kg.m^{-3} , de même vitesse limite de chute que la particule considérée.

relative, la température, la taille des particules, les propriétés physicochimiques des composés – la volatilité notamment, etc. L'ensemble de ces paramètres complexifie l'appréhension de ce phénomène d'adsorption. De plus, la complexité des interactions chimiques – oxydation par l'ozone, par exemple – et d'autres paramètres encore, engendrent des difficultés pour modéliser ce phénomène d'adsorption. Toutefois, deux approches sont possibles en vue d'approcher une quantification :

- 1) par mesure dans l'environnement intérieur ;
- 2) par modélisation (estimation).

Pour les deux méthodes, une distinction doit être faite entre le milieu rural et le milieu urbain. En effet, la taille et la composition des PM diffèrent selon l'environnement extérieur et ceci constitue un des facteurs de variation de la capacité des composés à s'adsorber sur les poussières. Face à cela et aux autres paramètres, il est important de conserver un regard critique sur chacune des étapes de la quantification, quelque soit la méthode employée.

La première possibilité tient compte de l'ensemble des sources d'émissions de composés chimiques, aussi bien provenant de l'environnement intérieur, que de l'air extérieur qui pénètre dans l'habitat lors de son aération. De ce fait, la quantification sera globale et il ne sera pas possible de distinguer l'apport des matériaux de construction de celui des autres sources. En outre, bien que les méthodes de mesures existent, elles possèdent quelques limites sur le plan métrologique, sans oublier la question de la significativité statistique des résultats à partir d'un plan d'échantillonnage qui peut être discutable.

Pour ces raisons, la méthode 1) ne semble pas la plus pertinente dans le cadre de ce projet. La proposition 2) a l'avantage d'isoler les concentrations en COV et COSV provenant uniquement de l'émission de ces composés par les matériaux. Toutefois, il semble difficile de recouper les informations obtenues par cette méthode avec une solution purement analytique, sauf en effectuant des essais d'émissions de composés en intégrant les résultats dans un modèle mathématique. Le CSTB et le CTBA ont déjà effectué une campagne d'essais de ce type dans le cadre d'une saisine de l'AFSSET. D'ailleurs, deux des matériaux retenus dans le cadre du projet ont été soumis à ces tests, permettant ainsi de disposer de données quantitatives d'émissions de certains COV. Concernant les COSV, d'autres essais pourraient être envisageables en vue de pouvoir appliquer une démarche d'ERS.

Sur le plan de la modélisation, il est possible de prendre en compte des phénomènes d'adsorption à partir de sources identifiées au préalable, avec, par exemple, la définition d'un scénario pour le nombre de sources à prendre en compte. Plusieurs publications proposent des modèles mathématiques plus ou moins complexes (résolution simplement analytique ou numérique) ([Jorgensens, 2000](#) ; [Moore, 1999](#)).

D'un point de vue mathématique, il est également possible d'estimer la répartition gaz/particule à l'aide d'un coefficient, K_p , qui traduit l'équilibre d'un composé chimique entre ces deux phases :

$$K_p = \frac{[P]}{[G] * [TSP]}$$

K_p ($m^3 \cdot mg^{-1}$) : coefficient de partition gaz / particules à l'équilibre ;

[G] ($mg \cdot m^3$) : concentration du composé en phase gazeuse ;

[P] ($mg \cdot m^3$) : concentration du composé en phase particulaire ;

[TSP] ($mg \cdot m^3$) : concentration totale de particules en suspension.

Il existe plusieurs façons de déterminer la distribution des composés chimiques entre gaz et poussières. Par exemple, un modèle théorique a été proposé à la fin des années 1970 et est toujours utilisé actuellement (Junge, 1977 ; Feigenbrugel, 2005). Ce modèle considère que l'équilibre de sorption entre la phase gazeuse et les particules est rapidement atteint dans l'air. Son modèle a l'avantage de dépendre de la pression de vapeur saturante des composés chimiques et de la surface des particules. Pour ce dernier paramètre, des publications proposent des distributions de la taille et de la surface des particules, permettant ainsi de privilégier une approche stochastique de l'ERS (Bell, 2007 ; Morawska, 2006).

D'après ce modèle, pour un composé dont la pression de vapeur saturante (à 20°C) est supérieure à $2 \cdot 10^{-4}$ Pa, plus de 90% de la substance est en phase gazeuse ; ce qui est le cas pour les BTX¹¹. En revanche, pour les pressions de vapeur inférieure à $2 \cdot 10^{-6}$ Pa, 90% de la substance est adsorbé sur les particules en suspension dans l'air, comme par exemple pour certains phtalates.

Il apparaît donc possible, grâce à différents modèles mathématiques simplifiés d'estimer la proportion approximative de COV et COSV sur les poussières. En exploitant les données des concentrations initiales en surface des matériaux – résultats prévus en septembre – une estimation de l'exposition peut être effectué, tant pour la migration que pour l'adsorption. Ces informations et calculs sont à intégrer dans un contexte spécifique aux enfants. Pour respecter la méthodologie d'ERS (cf. § 6.1.1), il convient de distinguer différentes classes d'âge afin d'adapter les différents critères aux caractéristiques physiologiques des enfants.

¹¹ Pression de vapeur saturante à 20°C pour le benzène : $1 \cdot 10^4$ Pa ; pour le xylène : $0,8 \cdot 10^3$ Pa ; et pour le toluène : $3 \cdot 10^3$ Pa.

5. EXPOSITION DES ENFANTS AUX MATERIAUX DE CONSTRUCTION

5.1. CLASSES D'AGE ETUDIEES

Cette étude exploratoire concerne la santé des « enfants », terme qu'il est possible de définir en fonction de différents critères : âge, physiologie, etc. Au commencement de ce projet, le terme d'enfant renvoyait aux individus de 0 à 10 ans. Toutefois, pour être en mesure d'appliquer une démarche d'ERS, il convient de décliner cet intervalle en classes d'âges plus précises, correspondant à des phases de développement ou de comportement spécifiques.

Dans la littérature, plusieurs classifications sont présentées et diffèrent plus ou moins en fonction du contexte des études. Par exemple, l'Index Medicus distingue les 3 catégories suivantes [A éventuellement, sinon RAS] :

- < 1 mois : les nouveau-nés ;
- 1 à 23 mois : les nourrissons ;
- 2 à 12 ans : les enfants.

Cette classification n'a pas été effectuée dans un objectif d'ERS. En revanche, la recherche bibliographique a permis de déterminer les classes d'âge les plus souvent utilisées dans le cadre d'une démarche d'évaluation de risques en santé environnementale (OMS 2006 ; Van Engelen (RIVM) 2004 ; US-EPA, 2002).

L'intervalle initial de 0 à 10 ans a été subdivisé en quatre classes d'âges : 0 à 6 mois, 6 à 12 mois, 12 mois à 3 ans et 3 à 10 ans.

L'exposition aux matériaux de construction de la dernière classe d'âge peut être considérée comme négligeable par rapport aux trois autres, dans la mesure où le développement physiologique des enfants est quasiment mature, le rapport surface-poids corporel est plus proche de celui des adultes. Pour ces différents critères, la classe 3 à 10 ans est exclue du champ de l'étude.

Concernant les trois autres classes d'âges, leur sélection est justifiée tant du point de vue de la morphologie et de la susceptibilité aux substances toxiques, que d'un point de vue du comportement des nourrissons et des jeunes enfants (cf. tableau 2). Ces classes d'âges peuvent être présentées sous forme d'intervalles :

- [0-6[mois : les nourrissons de 0 à 6 mois inclus ;
- [6-12[mois : les jeunes enfants de 6 à 12 mois inclus ;
- [12-35[mois : les enfants d'un an à trois ans inclus.

Nourrissons [0 - 6[mois	Jeunes enfants [6 - 12[mois	Enfants [12 - 35[mois
MORPHOLOGIE et SUSCEPTIBILITE AUX SUBSTANCES TOXIQUES		
<p>L'absorption dermique chez les enfants est d'environ 40 à 50 % supérieure à celle des adultes, car la peau des enfants est davantage perméable, la couche cornée étant plus fine (Cohen, 2000 ; Zwart, 2004). De plus, le rapport entre la surface de la peau et le poids corporel est plus élevé chez les enfants que chez les adultes. Ces critères sont d'autant plus marqués chez les nourrissons, qui sont de ce fait, les plus exposés aux composantes toxiques présentes dans l'environnement intérieur.</p>		
<p>L'immaturation de plusieurs enzymes ainsi qu'une capacité métabolique plus faible, augmente le danger lié aux effets toxiques des xénobiotiques qui peuvent être absorbés par ingestion ou par contact cutané (Cohen, 2000).</p> <p>Le foie et les reins sont également immatures jusqu'à l'âge de 6 mois environ, voire jusqu'à l'âge d'un an. Ces organes sont constitutifs du système d'élimination des toxiques : leur immaturité accentue l'exposition après pénétration dans l'organisme.</p>	<p>La quasi-totalité des organes participant à la biotransformation et à l'élimination des toxiques ont atteint leur stade adulte. L'écart entre les ratios surface de la peau sur poids corporel des enfants par rapport à celui des adultes, tend à diminuer.</p>	
COMPORTEMENTS		
<p>La tendance à porter les objets à la bouche est très fréquente, le goût constituant l'un des sens le plus développé durant cette période.</p> <p>Des poussières chargées en diverses substances chimiques peuvent se déposer sur ces objets ainsi que sur le corps avant d'être ensuite ingérées par le nourrisson.</p>	<p>Durant cette période, les jeunes enfants commencent à ramper : la proximité avec le sol est importante, d'autant plus qu'ils séjournent dans une même pièce la majeure partie de leur budget-temps quotidien. L'appréhension des objets par mise à la bouche se poursuit.</p> <p>Vers 11 ou 12 mois les premiers essais de marche ont lieu. Les jeunes enfants s'aident pour leur apprentissage en prenant appui sur de nombreuses surfaces (murs, meubles). Ceci constitue une source d'exposition via les mains (éventuellement mis à la bouche par la suite) aux poussières et surface de matériaux de construction.</p>	<p>La capacité à se déplacer (ramper, marcher) leur permet d'explorer l'environnement intérieur sur un périmètre plus étendu. Le comportement « main-bouche » continue d'engendrer des expositions aux substances présentes en surface des matériaux et/ou sur les poussières. Les jeux au sol sont responsables d'une exposition cutanée directe aux matériaux de construction (parquet, moquette, etc.).</p>

Tableau 2 : critères morphologiques, toxicologiques et comportementaux en fonction des classes d'âges.

Généralement, lors de l'exposition à des composés chimiques, les risques qu'encourent les enfants par rapport à ceux des adultes peuvent différer selon les facteurs suivants :

- le comportement des substances chez les adultes et les enfants, implique des différences au niveau de la nature et du degré de sévérité des effets ;
- la cinétique des composés chimiques (exposition interne) est souvent méconnue pour les enfants ;
- l'exposition externe diffère selon les stades de développement et selon des facteurs environnementaux quotidiens : la consommation d'oxygène, de nourriture (quantité et type d'alimentation), les activités, etc.

Au delà de l'âge de 6 mois, la majorité des paramètres bio-cinétiques sont comparables voire même plus rapides que ceux des adultes (Ginsberg, 2002 ; Zwart, 2004).

Finalement, la classe [0-6[mois ne sera pas retenue dans le cadre de cette étude de faisabilité, dans la mesure où les situations d'exposition par contact avec le mur ou le sol peuvent être considérées comme négligeables puisque les nourrissons ne sont que très rarement déposés à même le sol. Concernant les meubles, le berceau peut constituer une source d'exposition pour le nourrisson. Toutefois, les données d'exposition correspondantes sont rares pour cette classe d'âge et ne seront donc pas considérées ici.

Les **deux classes d'âge retenues** pour étudier la faisabilité de l'ERS, sont :

- **[6-12[** : les enfants entre 6 et 12 mois ;
- **[12-35[** : les enfants entre 1 et 3 ans.

Pour ces classes d'âge, les sources et voies d'exposition doivent être déterminées avant de pouvoir établir un scénario d'exposition.

5.2. SOURCES ET VOIES D'EXPOSITION

Pour chaque source de pollution due aux matériaux de construction, les deux voies – ingestion et contact cutané – étaient *a priori* envisagées au commencement de l'étude. De plus, de façon générale lors d'une ERS appliquée pour l'exposition des enfants, l'EPA américain recommande de prendre systématiquement en considération l'exposition par ingestion de sol et de poussières . En revanche, pour les voies d'inhalation et de contact cutané, le choix s'effectue au cas par cas (OMS, 1995), comme cela doit être effectué dans le cadre de ce projet.

Pour ce faire, les sources d'exposition des enfants ont été identifiées, puis il a fallu déterminer si l'une d'entre elles est prépondérante par rapport à une autre ; et de la même façon pour les voies d'exposition. Cela permettrait d'orienter les recherches vers les sources et voies d'exposition les plus pertinentes, c'est-à-dire, celles pour lesquelles l'exposition sera maximale. Le cas échéant, les deux voies seront traitées dans le cadre du mémoire, pour chacune des sources d'exposition.

Au préalable, il convient d'identifier les principales sources d'exposition des enfants aux matériaux de construction dans l'environnement intérieur. Deux sources principales sont identifiées :

- la surface des matériaux car les composés chimiques migrent et peuvent s'accumuler sous forme d'une couche surfacique mince ;
- les poussières présentes dans l'air intérieur sur lesquelles peuvent s'adsorber plus ou moins aisément des composés chimiques.

Pour chacune d'entre elle, les voies probables d'exposition doivent être identifiées, afin de déterminer une éventuelle source responsable d'une exposition quantitativement plus importante qu'une autre et ainsi focaliser l'étude exploratoire.

5.2.1. Exposition des enfants à la surface des matériaux

Suite aux phénomènes de migration (cf. § 4.2), différents composés chimiques peuvent être présents en surface de matériaux de construction. La fraction volatile de ces substances ainsi qu'une proportion de composés semi-volatils, pourront directement être émises dans l'air intérieur, tandis que les molécules possédant des groupements d'encombrement stérique* plus élevé, resteront en surface durant une période indéterminée. Une accumulation de substances chimiques peut alors se produire si la surface n'est pas régulièrement nettoyée par exemple.

Ce sont ces composés accumulés en surface qui constituent une source d'exposition pour les enfants. Ces derniers pourront entrer en contact cutané direct via les mains, s'ils jouent ou prennent appui directement sur la surface ou encore, via le reste du corps, s'ils rampent sur le sol. Le dernier cas concerne plus spécifiquement une exposition par voie cutanée, tandis que l'exposition par les mains, concerne, en plus, la voie d'ingestion après un contact main-bouche par exemple.

La couche surfacique de composés chimiques accumulés sur les matériaux de construction peut donc être source d'exposition par voie cutanée et ingestion pour les enfants. Il reste à savoir si la seconde source d'exposition identifiée – les poussières domestiques – est également responsable d'une exposition par ces deux voies.

5.2.2. Exposition des enfants à la poussière domestique

Est qualifiée de « poussière domestique » tout dépôt de matière particulaire à la surface du sol (parquets, tapis, moquettes, etc.) et/ou sur les meubles d'une habitation [J]. Le terme de « poussière » sera utilisé par la suite.

Les polluants chimiques, contenus dans la poussière, peuvent provenir d'activités effectuées au sein de l'habitation ou encore, peuvent être apportés jusqu'au domicile depuis l'extérieur (poussières provenant du site professionnel, des voies de circulation, etc.). De multiples éléments composent les poussières : de l'argile, du sable, des microorganismes – bactéries, virus, parasites – des produits de combustion incomplète, des métaux lourds, des pesticides, des solvants, des plastifiants, des retardateurs de flamme, etc. (OMS, 1996 ; Morawska, 2006 ; Robert & Dickey, 1995 ; Bell *et al*, 2007).

Après un temps de séjour dans l'air, ces poussières tendent à se déposer au niveau du sol, où les enfants exercent la majeure partie de leurs activités (action de ramper, apprentissage de la marche, jeux, etc.) et seront susceptibles de les ingérer. En effet, l'ingestion intentionnelle de poussières, particulièrement chez les enfants, peut contribuer

de façon significative à l'exposition à diverses substances potentiellement dangereuses. Cette voie d'exposition concerne plus spécifiquement les enfants, dans la mesure où ils passent davantage de temps en contact avec le sol que les adultes et, dans l'éventualité d'une exposition similaire, les enfants seraient exposés à une dose plus importante que les adultes notamment à cause du ratio surface sur poids corporel. Pour les adultes, l'apport est essentiellement dû au régime alimentaire. En revanche, pour les enfants, les contacts main-bouche, objets-bouche ou encore le comportement de pica*, constituent les principales sources d'ingestion de poussières, outre l'alimentation.

Donc, dans le contexte spécifique de cette étude de faisabilité d'ERS, la voie d'ingestion sera considérée comme prépondérante pour l'exposition des enfants aux poussières dans l'air intérieur.

5.2.3. Sélection d'une source d'exposition majoritaire

La surface des matériaux de construction peut interagir par voie cutanée (contact de la peau sur la surface des matériaux puis pénétration transcutanée des substances) et par ingestion, suite à un contact cutané puis mise à la bouche de la surface de peau contaminée. La poussière, quant à elle, intervient majoritairement par ingestion puisqu'adultes et enfants en ingèrent quotidiennement.

Une autre source peut également être envisagée : l'ingestion de fragment de matériaux (écaillés de peintures, fragment de moquette, par exemple), mais elle peut être considérée comme accidentelle et ne sera donc pas prise en compte en première approche.

Au final, les combinaisons relatives aux voies et sources d'exposition peuvent être synthétisées (cf. tableau 3).

Sources \ Voies	Ingestion	Contact cutané
Surface des matériaux	++	++
Poussières	++	+

Tableau 3 : synthèse des sources et voies d'exposition probables.

L'impact sur la santé de l'exposition par les poussières devrait a priori être moindre que celui engendré par la surface des matériaux, puisque cette dernière concerne les deux voies d'exposition (ingestion et contact) et non une seule. En effet, la source d'exposition commune aux deux voies est la surface des matériaux, là où la concentration en substances sera maximale. La composition chimique en surface des poussières ne correspond qu'à une fraction de la concentration initiale en surface des matériaux, ce qui amoindrit l'exposition.

De plus, en cas de contact cutané, les poussières ne pourront être absorbées directement via les pores cutanés (Lioy PJ, 2002). Malgré cela, il est possible qu'une fraction des composés chimiques adsorbés en surface des PM franchisse la barrière cutanée, mais peu d'informations ont été recueillies sur ce plan, tant d'un point de vue qualitatif que quantitatif. Ce point ne sera pas retenu à ce stade de l'étude, mais il peut faire l'objet d'une discussion (cf. § 6.2).

La surface des matériaux semble donc constituer une source plus dangereuse pour les enfants, dans la mesure où les contacts directs sont favorisés pour les deux voies d'exposition. De plus, c'est en surface des matériaux que la concentration en substances chimiques sera maximale. Après des phases partielles de désorption (depuis la surface) et d'adsorption (sur les poussières), cette concentration initiale sera amoindrie.

La **source d'exposition** retenue pour le scénario d'exposition, car elle est considérée comme **prépondérante** pour les voies d'**ingestion** et de **contact cutané** est :

- **la surface des matériaux de construction**, après migration et accumulation de composés chimiques.

Les matériaux, composés chimiques, voies et sources d'exposition sont identifiés dans le contexte de cette étude exploratoire. A présent, il reste à étudier la faisabilité de l'ERS ainsi que les moyens nécessaires pour une quantification plus précise de l'exposition des enfants. Dans ce but, des essais de composition et de migration au sein des matériaux de construction sélectionnés seront proposés.

5.3. QUANTIFICATION DE L'EXPOSITION

Cette quantification a pour finalité d'évaluer les risques sanitaires pour les enfants exposés à la surface de matériaux par ingestion et contact cutané. Plusieurs étapes sont nécessaires pour y parvenir : l'identification d'une méthode de quantification, puis la recherche des différents paramètres nécessaires pour adapter un protocole au scénario d'exposition. Cette dernière étape permet d'assurer une adéquation entre la méthode, l'exploitabilité des résultats et les données nécessaires pour l'application d'un scénario d'exposition dans le cadre du projet.

Comme explicité précédemment (cf. § 4.2.), la quantification devra porter sur le phénomène de migration, qui peut engendrer une accumulation de composés chimiques en surface des matériaux. Au préalable, une recherche bibliographique, notamment, a permis de déterminer si ce phénomène est quantifiable et si oui, sous quelles conditions.

5.3.1. Faisabilité de la quantification

Afin d'identifier les possibilités de quantification des substances chimiques à la surface d'un matériau donné, une recherche bibliographique a été effectuée dans différents domaines d'activités.

Par exemple, les protocoles d'essais de migration permettent de quantifier une concentration – massique ou autre – par unité de surface et, par la suite, permettent de l'associer à la proportion susceptible de pénétrer par voie cutanée ou d'être ingérée. Plusieurs protocoles normalisés existent pour quantifier le phénomène de migration, selon la nature du matériau (solide, liquide) ou encore le type de composé chimique à analyser (COV ou COSV, par exemple). De ce fait, il a été nécessaire d'affiner les recherches en s'appuyant sur plusieurs laboratoires de métrologie – publics ou privés – en vue d'identifier les possibilités d'exploitation des résultats dans le cadre de cette étude de

faisabilité et ainsi, de confirmer la pertinence d'essais à l'aide des protocoles identifiés comme pertinents pour le projet.

Quatre laboratoires ont été identifiés, à savoir : le Centre Technique du Bois et de l'Ameublement (CTBA), le Laboratoire National d'Essais (LNE), le Centre de Ressources Technologiques en Chimie (CERTECH) et le groupe Eurofins Scientifique. Après plusieurs échanges et une présentation systématique du contexte et de la finalité du projet (sujet non soumis à la confidentialité), différents protocoles d'essais de migration ont été envisagés pour répondre aux objectifs de l'étude. Seuls seront présentés et justifiés les protocoles sélectionnés (cf. § 5.3.2.).

Au travers des différents échanges avec les laboratoires ainsi que les recherches menées en parallèle, il s'est avéré essentiel de ne pas se contenter des seuls essais de migration. En effet, l'exploitation des résultats de ces tests ne permet pas de conclure avec certitude quant à la capacité migratoire des composés chimiques sélectionnés. Par exemple, si l'un des résultats de l'essai de migration est inférieur aux limites de détection de la méthode, deux interprétations seraient possibles :

- soit, le composé est absent de la formulation du matériau ;
- soit, le composé ne migre pas ou très peu jusqu'en surface du matériau.

En vue de limiter ce biais d'interprétation des résultats, il est important de quantifier préalablement la concentration en substances chimiques d'intérêt dans l'échantillon de matériau, avant de procéder à l'essai de migration. C'est pourquoi, des essais de composition ont été envisagés pour chacun des échantillons de matériaux. Ces tests quantifient la concentration initiale d'une substance dans le matériau, au commencement de l'essai. Cette dernière remarque souligne l'importance du conditionnement des échantillons entre la date d'achat et la date d'essais. Une fraction des composés pourrait migrer préalablement à la campagne d'essais et ce paramètre ne doit pas être négligé dans les résultats afin de pouvoir le mettre en relation avec une situation d'exposition concrète ou un scénario d'exposition.

Finalement, la sélection d'un des quatre laboratoires a été effectuée, notamment en tenant compte de l'adéquation des protocoles avec l'exploitation possible des résultats dans le cadre d'un scénario d'exposition. Par exemple, en vue d'exploiter les résultats pour une exposition par contact cutané, il est fondamental de déterminer certains paramètres comme le ratio entre le poids corporel et surface du corps en contact avec une substance. En effet, sans cette valeur, les résultats bruts après essais ne sauraient être exploitables, car ils n'auraient pas de représentativité physique propre. Plusieurs paramètres d'essais ont ainsi dus être sélectionnés au préalable. Il est également essentiel de choisir ces conditions d'essais selon un scénario spécifique : soit réaliste, soit pessimiste (« worst case » ou « pire-cas »).

Sur ce point, un scénario de type pire-cas est privilégié. En effet, si la démarche d'ERS est appliquée avec des conditions qui maximalisent l'exposition et que le risque sanitaire pour les enfants demeure acceptable, alors, ceci constituera un élément de réponse à la problématique de cette étude. Si, en revanche les risques dépassent le seuil d'acceptabilité, il sera envisageable de faire varier les paramètres d'essais pour affiner le scénario d'exposition.

Cette façon de procéder permet de conserver des degrés de liberté dans la poursuite de l'étude si le risque sanitaire s'avère « acceptable » :

- affiner le scénario d'exposition ;
- poursuivre les essais avec d'autres types de matériaux et de substances d'intérêt.

Les protocoles sélectionnés avec les différents laboratoires ont tenu compte de ces paramètres, ainsi que de la volonté commune de favoriser le choix de protocoles normalisés ou adaptés de normes. Sur ce plan, deux des quatre laboratoires mentionnés précédemment ont été présélectionnés selon divers critères, comme par exemple :

↳ **Pour les aspects techniques :**

- les efforts d'argumentation de la méthode d'essai proposée ;
- la fiabilité des protocoles techniques proposés (normes de référence)

↳ **Pour les aspects commerciaux :**

- le coût des essais ;
- les délais de réalisation de ces essais.

Par ailleurs, pour des raisons pratiques, il a été convenu de réaliser tous les essais (COV et phtalates, matériaux liquides et solides) dans un seul et même laboratoire. Cela permet de garantir :

- des conditions identiques de mise en œuvre des produits lors des essais ;
- une certaine comparabilité des résultats ;
- un gain de temps et une facilité de gestion dans l'envoi des échantillons.

L'un des autres objectifs de cette recherche bibliographique, était de déterminer d'autres paramètres indispensables, comme le taux de transfert transcutané, la surface et le poids corporels, etc. L'ensemble de ces informations est en effet nécessaire pour parvenir à quantifier l'exposition d'un enfant dans les conditions prévues dans le cadre de ce projet (type de matériau, voies et sources d'exposition, etc.). Pour ces divers paramètres quantitatifs ou qualitatifs liés à l'exposition, le recueil a été effectué d'après plusieurs sources d'informations : publications, base de données (CIBLEX), synthèses de divers organismes internationaux – OMS, RIVM, par exemple, etc. Les données recueillies concernent par exemple, des paramètres morpho-physiologiques, la fréquence de mise à la bouche des mains ou d'objets chez les enfants (Auyeung, 2006 ; Glorennec, 2005 ; Wilson, 2007), des conditions du milieu ambiant (humidité relative par exemple).

Les possibilités d'essais de migration ainsi que les autres paramètres quantitatifs ou qualitatifs recueillis et comparés aux données nécessaires à la réalisation d'une ERS, participent aux arguments en faveur de la faisabilité de l'ERS ou du moins, à la faisabilité de quantification de l'exposition dans ce contexte précis. De plus, puisqu'il existe des modèles partiellement renseignés à l'aide de données d'exposition, comme ConsEXpo par exemple, ce type de modélisation permet de réaliser une première approche d'ERS, avant de pouvoir affiner certains paramètres (cf. § 5.3.3).

Ainsi, cette étape de quantification de l'exposition ne semble pas constituer à ce stade un frein pour la faisabilité de l'ERS et il convient d'en présenter plus précisément les possibilités, au travers des protocoles d'essais envisagés dans le cadre de ce projet.

5.3.2. Essais de composition

Les essais de composition permettent de disposer d'un « témoin » de concentration, auquel il sera possible de faire référence pour exploiter les résultats de migration avec plus de pertinence et limiter le biais d'interprétation mentionné précédemment.

De plus, effectuer des essais de composition préalablement à ceux de migration, possède d'autres avantages, malgré l'inconvénient d'adjoindre un délai supplémentaire pour la réalisation des essais et l'obtention des résultats. Par exemple, il sera possible d'optimiser la durée des essais en étudiant la migration uniquement si cela s'avère pertinent. En effet, dans l'éventualité de l'absence d'un composé ou de sa présence à l'état de traces, les essais de migration ne seront pas réalisés.

Pour sélectionner des protocoles d'essais adaptés, il a été nécessaire faire une distinction selon les paramètres suivants :

- la nature du matériau (liquide ou solide) ;
- le type de composé chimique (volatil ou non, etc.).

Deux des quatre laboratoires ont été présélectionnés pour cette série d'essais : le LNE et le CERTECH. L'avantage du CERTECH était de se fonder uniquement sur des protocoles normalisés, en tenant compte des différents paramètres mentionnés précédemment. Toutefois, pour des raisons de coûts et de délais, ce laboratoire n'a pas été retenu par l'AFSSET. Le LNE a l'avantage de proposer des protocoles fondés sur certaines des normes proposées par le CERTECH ou sur des protocoles analytiques éprouvés par le LNE. Les protocoles retenus sont présentés dans le tableau 4.

	Matériaux solides	Matériaux liquides
COV	Headspace analyse GC / MS	ISO 11890-2 analyse GC / MS
Phtalates	Extraction Soxhlet analyse GC / MS (Protocole analytique LNE)	Extraction Soxhlet analyse GC / MS (Protocole analytique LNE)

[Tableau 4](#) : protocoles retenus pour les essais de composition des matériaux solides et liquides.

Pour les essais de composition, la séparation des composés chimiques à partir de l'échantillon peut s'effectuer selon différentes méthodes, comme par exemple, la chromatographie en phase gazeuse (GC). Cette méthode d'extraction doit être associée à un protocole analytique en vue d'identifier les composés présents. Ces substances peuvent être détectées par conductivité thermique, ou par ionisation à la flamme, offrant ainsi des limites de détection sensibles (de 2 à 4pg au lieu de 1 à 10 ng). Le jumelage de la spectrométrie de masse (MS) à la GC permet une identification structurale précise des substances, constituant un avantage notable dans la phase d'identification de la composition des échantillons. C'est pourquoi la méthode de détection GC / MS a été retenue par le LNE.

Ces protocoles ne constituent qu'une partie des essais nécessaires à la quantification de l'exposition des enfants aux matériaux de construction. Pour y parvenir, il est également nécessaire d'effectuer des essais de migration.

5.3.3. Essais de migration

Trois champs principaux de normes ont été explorés en vue d'identifier des protocoles adaptés : celui relatif aux vernis et peintures, aux matériaux en contact avec les denrées alimentaires et enfin, aux jouets et articles de puéricultures. Parmi ces protocoles normalisés, certains étaient adaptés à des familles de composés chimiques spécifiques. Par exemple, la norme EN 71¹², dénommée norme « jouets », concerne tous les COV, tandis qu'elle exclue les phtalates. De même, certains protocoles sont destinés à des natures particulières de matériaux (liquides ou au contraire solides).

De façon générale, les résultats des essais de migration s'expriment en quantité de matière (en µg, par exemple) par litre de simulant et par unité de surface de matériau. En vue d'exploiter ces résultats, dans le cadre d'un scénario d'exposition, il convient de fixer dans un premier temps, plusieurs paramètres :

- le simulant* ;
- la température ;
- la durée de l'essai.

Pour le choix du simulant, par exemple : les solvants favoriseront la migration des phtalates, contrairement à l'eau, car les phtalates sont lipophiles. Ce choix correspondrait à un scénario d'exposition de type « worst case ». En revanche, opter pour un simulant comme l'eau ou pour un mélange eau-éthanol correspondra à une situation d'exposition plus réaliste, mais la quantité de DEHP susceptible de migrer sera minimale, voire en deçà du seuil de détection de la méthode sélectionnée, ne permettant pas de quantifier l'exposition par cette méthode.

Concernant la durée des essais, il est possible d'intégrer une notion de cinétique de migration à la condition d'effectuer des prélèvements à des temps différents pour un même essai. Il sera alors possible d'identifier une éventuelle phase maximale de concentration en surface des matériaux, mettant ainsi en évidence des périodes d'exposition plus dangereuses pour l'enfant.

Les protocoles utilisés pour les essais – résultats prévus pour la mi-septembre – font également une distinction selon la nature des échantillons de matériaux (cf. tableau 5).

Cette série d'essai – en cours de réalisation – va donc permettre d'apporter des données quantitatives, utiles pour être en mesure d'appliquer une démarche d'ERS dans son intégralité.

¹² Norme élaborée dans le cadre d'une directive Européenne concernant le rapprochement des législations des états membres relatives à la sécurité des jouets (DI 88/378 du 01/05/1988).

	Matériaux solides	Matériaux liquides
COV (Toluène si présent dans le matériau)	Protocole fondé sur la norme NF EN 71-10, -11 analyse GC / MS	Protocole fondé sur la norme NF EN 71-10, -11 analyse GC / MS
Phtalates (DEHP si présent dans le matériau)	Protocole fondé sur la norme NF EN 13130-1 ¹³	Protocole fondé sur la norme NF EN 13130-1

[Tableau 5](#) : protocoles retenus pour les essais de migration des matériaux solides et liquides.

En attendant ces résultats et en considérant toujours que ce projet s'effectue dans le cadre d'une première approche, il est également possible d'utiliser des logiciels de modélisation dans un objectif d'estimation de l'exposition des enfants aux matériaux de construction.

5.3.4. Modélisation

Il existe divers logiciels permettant de quantifier une exposition à des substances chimiques présentes dans l'environnement en tenant compte de divers paramètres.

Stella est un logiciel généraliste, permettant de créer une infinité de modèles, dans des champs de recherche variés. Cet outil peut être utilisé dès que les équations du modèle ont été identifiées. Dans le cadre de ce projet, il s'agirait par exemple d'une équation de Fick – une des équations de la diffusion. Cette équation simulerait le phénomène de migration jusqu'en surface des matériaux. Les conditions aux limites de ce modèle – concentration en surface du matériau au temps initial, ainsi que celle après un délai fixé par exemple – correspondent à des données nécessaires pour être en mesure d'utiliser un tel outil. La recherche bibliographique et des contacts avec des organismes de recherche révèlent que le modèle fickien de diffusion semble être nécessaire mais insuffisant pour retranscrire mathématiquement et intégralement le modèle d'exposition dans ce contexte (Moore, 1999 ; Jorgensens, 2000). Ainsi, Stella, ne constituerait pas un logiciel de modélisation adapté dans l'état actuel des connaissances.

Dans le cadre de cette étude, un second logiciel a été identifié en tant qu'aide possible pour une première approche d'ERS. Ce logiciel développé par le RIVM, ConsExpo, permet de qualifier et/ou quantifier l'exposition à des substances chimiques présentes dans les produits de consommation non alimentaires.

Ce logiciel permet d'exploiter une base de données de produits de consommation potentiellement dangereux pour l'homme. Des paramètres comme la voie et la durée d'exposition, le poids et la surface corporelle peuvent être renseignés en vue d'affiner le scénario d'exposition souhaité. Mais ces produits et leurs utilisations étant très variés, il

¹³ NF EN 13130-1 : norme relative aux « matériaux et objets en contact avec les denrées alimentaires - Substances dans les matières plastiques sujettes à des restrictions ». Partie 1 : guide des méthodes d'essai pour la migration spécifique de substances contenues dans les matières plastiques, détermination des substances dans les matières plastiques.

n'existe pas systématiquement de données chiffrées pour l'ensemble des paramètres. Pour palier à cela, ConsExpo (actuellement la version 4.1, 2006) permet d'intégrer aux scénarii prédéfinis divers paramètres, comme : la concentration des substances, certaines caractéristiques physico-chimiques spécifiques, etc. Il est également possible de détailler la voie d'exposition considérée.

Dans le cas de l'ingestion par exemple (cf. figure 3), 3 scénarii sont envisagés : la prise directe, l'ingestion à taux constant, durant un laps de temps qu'il est possible de fixer et enfin, la migration après mise à la bouche du produit de consommation. Pour ce dernier mode, plusieurs paramètres peuvent être renseignés : le temps d'exposition, la quantité de produit ingérée, la surface de contact et le taux de migration de la substance. Les résultats des essais de composition et migration pourraient également être exploités grâce à ce logiciel.

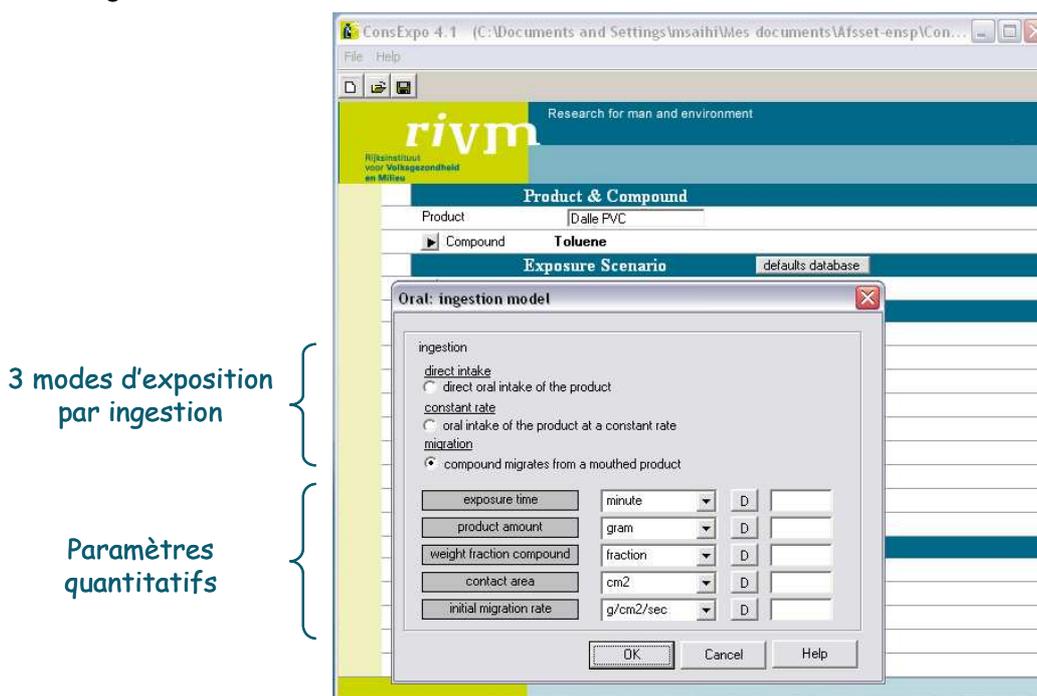


Figure 3 : logiciel ConsExpo : choix de scénarii d'exposition par voie d'ingestion

C'est la combinaison de la base de données et des modèles préétablis, qui permet de disposer d'un outil pour réaliser une ERS en première approche. De plus, ConsExpo dispose d'un outil complémentaire d'analyse de la sensibilité et de calcul probabiliste, ce qui permet de conserver une approche prudente par rapport aux résultats et conclusions de l'ERS.

Ces deux outils pourraient être utilisés de façon complémentaire, car ils permettent d'obtenir des informations de nature différente. Pour Stella, par exemple, les phénomènes gazeux de répartition des COV et COSV sur les poussières peuvent être modélisés. En revanche, ConsExpo ne permet pas d'effectuer ce type de calcul mais permet d'exploiter le résultat à travers une modélisation. Stella et ConsExpo peuvent tous deux constituer une première approche pour l'ERS considérée.

6. DISCUSSION

6.1. ETUDE DE LA FAISABILITE D'UNE ERS

6.1.1. Rappel de la méthode

L'ERS consiste à caractériser les risques dus à l'exposition à des substances de différentes natures (chimiques, biologiques) et d'en déterminer les effets néfastes* sur la santé. Cet outil méthodologique a également pour but de déceler les sources d'incertitudes des données scientifiques employées.

Une ERS repose sur une approche pluridisciplinaire, faisant appel à la toxicologie, à l'épidémiologie et à d'autres sciences de la santé environnementale. Les étapes clefs en sont les suivantes :

- 1) identification des dangers ;
- 2) évaluation de la relation dose-effet ;
- 3) évaluation de l'exposition ;
- 4) caractérisation des risques.

Préalablement à ces étapes, il est essentiel de présenter le projet dans sa globalité ainsi que sa problématique, en tenant compte de la perception du public et des groupes plus spécifiquement concernés.

La procédure implique le suivi de chacune des étapes et plus particulièrement celle de l'évaluation toxicologique, au cours de laquelle la relation dose-réponse est établie. L'intégralité de la méthode nécessite un regard critique sur la documentation scientifique, sur les méthodes de calcul et sur les extrapolations.

Après une présentation des substances d'intérêt et la justification de leur choix, leurs propriétés physicochimiques et toxicologiques doivent être identifiées. Les sources d'exposition et les voies éventuelles doivent être explicitées dans le cadre de la troisième étape. Pour la phase 2), des VTR* établies par différents organismes nationaux (AFSSET, 2007) et internationaux peuvent être utilisées. Cette démarche est particulièrement utilisée dans un contexte d'étude exploratoire.

Lors de la caractérisation du risque (4), la nature des risques doit être clairement identifiée pour chacun des groupes concernés par l'exposition. Dans le cadre de ce projet, les risques sont examinés au regard de la composition des matériaux de construction en composés chimiques.

Pour que cette démarche s'avère faisable, il est important de respecter ces différentes étapes, tout en appliquant les deux principes fondamentaux de l'ERS, à savoir la transparence et la prudence. Ce dernier principe consiste, en cas d'absence de données reconnues par les différents organismes nationaux et internationaux, à adopter des hypothèses raisonnablement majorantes pour chaque cas à prendre en compte. Le principe de transparence consiste à expliquer les différents choix réalisés. Ces derniers doivent rester cohérents afin que la logique du raisonnement puisse être suivie et discutée. Il est également fondamental de spécifier systématiquement les sources des informations obtenues, tout en conservant un regard critique face aux différents éléments recueillis.

Mais avant de pouvoir appliquer cette méthodologie, il convient d'en délimiter le cadre à l'aide de scénarii d'exposition.

6.1.2. Scenarii simplifiés d'application

Ils permettent de définir plus concrètement une situation d'exposition. Pour y parvenir, il est essentiel de déterminer plusieurs paramètres, comme par exemple : la classe d'âge, la quantité de substances chimiques auxquelles les enfants peuvent être exposés, la fréquence d'exposition, etc. Une distinction peut aussi être effectuée en fonction de la nature de la source d'exposition ; à savoir dans ce contexte : les revêtements de sol ou la poussière.

Par la suite, un outil d'aide à l'élaboration de scenarii est proposé pour permettre de synthétiser les différentes caractéristiques utiles à l'application d'une démarche d'ERS. Ainsi, une trame similaire pourra être utilisée pour chaque scénario, avec pour avantage principal l'homogénéité des données ainsi qu'une plus grande facilité d'appréhension des modèles sur le plan de la recherche et de la saisie des informations.

La complexité des scenarii envisageables est due à la multiplicité des situations, des paramètres et de leurs différentes modalités. A ce stade, il pourrait être envisageable d'établir un scénario d'exposition. Toutefois ce modèle ne correspondrait pas nécessairement à un scénario représentatif de la situation au niveau national. Si l'on considère par exemple, un cas *a priori* « typique », comme l'exposition d'un nourrisson à des matériaux neufs, suite à la rénovation d'une chambre, le nombre de paramètres variables est considérable :

- le type matériau de construction considéré (dalle PVC, peinture, etc.) ;
- la gamme et la marque du matériau, qui influent sur la concentration des composés chimiques ;
- la géométrie de la chambre (surfaces, volume) ;
- l'usage du matériau, dont va dépendre en partie le mode d'exposition (frottements, contact simple, etc.), sachant que pour un même matériau, plusieurs usages sont possibles ;
- la quantité de produit appliquée en surface (dans le cas de peintures plus particulièrement), car les consignes du fabricant ne sont pas toujours respectées ;
- les conditions de température et d'humidité de la pièce ;
- les conditions d'aération (circulation d'air dans une pièce fermée) ;
- la situation géographique par rapport aux industries ou infrastructures routières (augmentant le taux de poussières dans l'air intérieur également) ;

L'objectif d'un scénario d'exposition étant notamment de pouvoir comparer des situations d'exposition, il s'avère nécessaire d'effectuer des simplifications pour s'affranchir de cette multiplicité de paramètres. Par exemple, la saisonnalité engendre une variation dans la quantité des poussières et la nature des composés fixés à leur surface, notamment à cause du changement du pourcentage d'humidité relative et du type de particules présentes dans l'air. De même, dans un objectif de simplification, il est à noter qu'il n'est pas envisagé en première approche de considérer une exposition à plusieurs substances simultanément.

Avec la volonté de poursuivre l'étude au-delà de ce mémoire, l'inventaire des scenarii devrait être envisagé, après avoir répertorié ces différents éléments. Par exemple, il faudrait être en mesure d'identifier les marques de produits réputées pour être les moins

concentrées en un composé chimique donné. Ou encore, connaître le volume moyen de la chambre d'un enfant sur le territoire national.

Le recueil de l'ensemble de ces données de façon exhaustive nécessite des délais relativement longs et il semble plus prudent d'envisager d'appliquer une telle démarche sur le long terme.

La multiplicité des approches envisageables incite à structurer de façon synthétique les différents paramètres (cf. figure 4). Ceci permet de constituer un outil d'aide à l'élaboration de scénarii d'exposition dans ce contexte en explicitant les différents critères nécessaires.

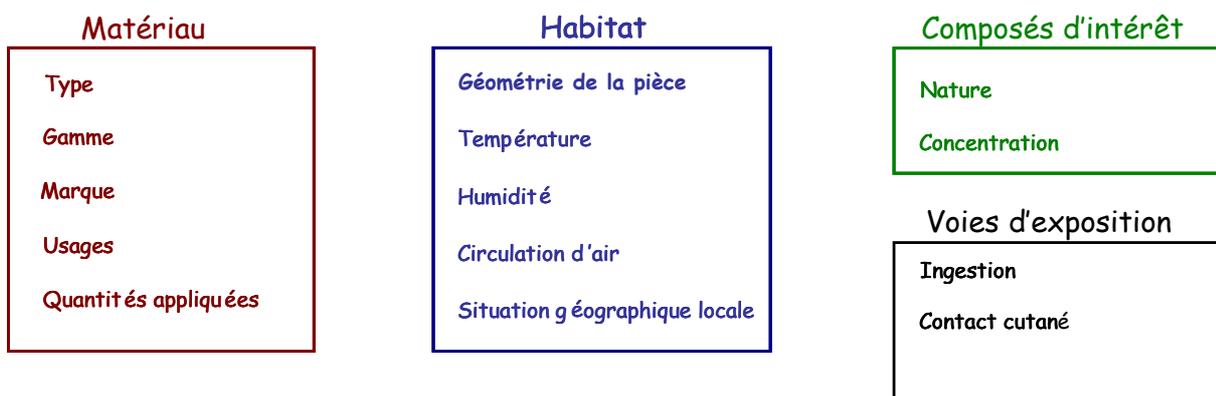


Figure 4 : synthèse des paramètres à prendre en compte pour établir un scénario d'exposition.

Le tableau 6 permet d'organiser le recueil des données qualitatives et quantitatives relatives à l'exposition. Un exemple a été choisi pour l'un des composés d'intérêt identifié dans le cadre du projet : le DEHP. En effet, ce phtalate est le plus fréquemment détecté et également celui dont la concentration moyenne est la plus élevée dans les poussières domestiques (Bornehag, 2005 ; Morawska, 2006).

Paramètre	Valeur
Classe d'âge [mois]	[6-12[
Poids moyen [kg]	3
Type de surface en contact (mains, corps) [-]	mains
Surface corporelle moyenne concernée [cm ²]	159
Lieu d'exposition	séjour
BET dans la pièce considérée [min / jour]	105 ¹⁴
Concentration de la substance dans le milieu [µg / g de poussières]	0,00077 ¹⁵
Quantités de poussières ingérées [µg / jour]	100
Quantité de substances ingérées correspondante [µg]	0.077

Tableau 6 : exemple de paramètres à renseigner pour élaborer un scénario d'exposition

¹⁴ Source : CIBLEX.

¹⁵ Source : Bornehag, 2005.

Les unités des différents paramètres sont indiquées entre crochets []. La présence d'un tiret « - » traduit l'absence d'unité. Pour assurer une facilité de lecture des tableaux en évitant la multiplicité des cas, il n'a pas été effectué de distinction en fonction du sexe des enfants, bien que ce paramètre influe sur la masse et la surface corporelle. Une valeur médiane a donc été sélectionnée pour chacune de ces deux caractéristiques. La base de données CIBLEX a constitué une source importante de données (cf. annexe 6).

Suite à la synthèse des données nécessaires à la réalisation d'une ERS, il sera par la suite plus aisé de détecter les données manquantes requérant des compléments de recherches ou, idéalement de pouvoir conclure quant à l'existence éventuelle d'un risque sanitaire dans ces situations.

Dans le cadre de l'exemple précédent, la Dose Journalière d'Exposition par voie orale (DJE) est de l'ordre $2.6.10^{-8}$ g / kg de poids corporel et par jour de DEHP. Il existe une DJA pour ce composé : $4,4. 10^{-7}$ g / kg de poids corporel et par jour, soit un quotient de danger de 0,06. Pour que le QD soit supérieur à 1 – ce qui correspond à l'existence d'un risque sanitaire – il faudrait une concentration au moins dix-huit fois supérieure en DEHP dans les poussières.

Ce calcul reste une approximation à ce stade et il est essentiel d'affiner les différents paramètres pour obtenir un résultat plus fiable et précis pour être en mesure de conclure à l'existence d'un risque sanitaire pour les enfants de 6 à 12 mois exposés par ingestion au DEHP dans les poussières. C'est notamment pour cela que les diverses incertitudes intervenant dans ce type d'étude doivent être précisées.

6.2. INCERTITUDES LIEES A LA METHODOLOGIE

Par définition, l'incertitude résulte d'une insuffisance de connaissances. Une des façons d'y remédier, consiste à augmenter le nombre de données récoltées. Toutefois, cette façon de procéder à une limite notable : elle nécessite des coûts et des délais rarement accordés pour de tels projets. D'autres propositions peuvent toutefois être effectuées pour remédier à certaines incertitudes décelées dans le cadre de cette étude.

↳ Composition chimique des matériaux de construction

Cette composition est soumise à des incertitudes, notamment sur le plan :

- du manque d'exhaustivité des substances chimiques recensées par rapport à celles réellement utilisées dans la fabrication ;
- de l'évolution de la composition chimique d'un même matériau de construction, soit au cours du temps, soit d'un lot à un autre ;
- de la quantification des substances chimiques grâce aux essais de composition et de migration, dans la mesure où des difficultés métrologiques peuvent exister en fonction du type de composé analysé.

Face à cela, une participation des industriels, sous couvert de confidentialité du projet, permettrait de s'affranchir de ces incertitudes.

Pour le dernier point plus particulièrement, l'incertitude porte sur les méthodes d'analyse de composés chimiques. Pour y remédier, plusieurs protocoles devraient être élaborés et testés, mais une des limites correspond au coût de développement de méthodes spécifiques pour des composés chimiques ou des échantillons particuliers.

De plus, d'un point de vue métrologique, il est également possible de s'interroger sur la significativité des résultats.

↳ **Significativité des résultats obtenus**

Ces incertitudes sont notamment liées aux différents usages des matériaux de construction par les particuliers. Face à cela, deux points fondamentaux se distinguent :

- le choix des matériaux de construction retenus dans le cadre de l'étude de la faisabilité et leur « représentativité » sur le plan de la fréquence d'utilisation ;
- la différence de types de matériaux, entre ceux déjà installés depuis plusieurs années et la tendance actuelle d'achats des particuliers.

Une étude statistique à l'échelle nationale, s'appuyant sur des organismes tels l'INSEE par exemple, permettrait éventuellement de disposer de telles informations. Délais et coûts constituent des limites notables pour un tel projet, qui ne paraît pas envisageable à si grande échelle, d'autant plus qu'il faudrait que l'exploitation statistique des résultats coïncide avec des objectifs clairement définis.

A défaut de disposer d'étude à grande échelle, il paraît envisageable de réaliser un sondage auprès des industriels concernés – également avec un engagement de confidentialité des résultats sur une période donnée. Ceci permettrait de mettre plus précisément en évidence des pièces d'habitation type avec un volume et des matériaux bien identifiés. Ainsi les scénarii d'exposition seraient plus réalistes. Ceci permettrait également de s'affranchir des scénarii approximatifs de type « pire-cas » par exemple.

↳ **Situation d'exposition des enfants aux matériaux de construction**

L'approche de ce projet ne prend pas en compte d'autres sources d'exposition environnementales que les matériaux pour les composés d'intérêt, ce qui constitue une première limite. Une seule source d'exposition est donc prise en compte pour une substance donnée. Par exemple, pour les phtalates, la source alimentaire n'est pas prise en compte alors qu'il s'agit de l'apport majoritaire pour la voie d'ingestion.

Une seconde limite correspondrait à l'exposition fréquente à une multiplicité de substances à faibles doses dans l'environnement. Par exemple, plusieurs phtalates peuvent être présents dans les poussières d'une même habitation si les matériaux ne proviennent pas du même fabricant ou de la même gamme de produit.

De plus, des composés différents peuvent engendrer un même type d'effet, ce qui accentue encore davantage l'identification de l'origine de ces effets.

Un autre point est à préciser à ce stade de l'étude exploratoire. En effet, il est important de déterminer dans quelles mesures les scénarii peuvent apporter une fiabilité suffisante pour que l'on puisse y recourir au titre de la gestion de risques ; ou à défaut, comment devrait-on appliquer le principe de précaution à cet égard.

D'autres interrogations ne semblent pas avoir de réponse immédiate dans l'état actuel des connaissances. Par exemple, la distance moyenne de l'enfant par rapport au sol en fonction de l'âge. En effet, sa proximité avec les surfaces de revêtement de sol sera différente, tout comme la composition des poussières, car il existe également un gradient* vertical de leur concentration dans l'air.

D'autres recherches plus approfondies devraient permettre de répondre à ce type d'interrogations. Des suggestions de compléments de recherche permettraient de déceler certains champs à explorer davantage pour affiner les scénarii d'application de l'ERS dans ce cadre.

6.3. PROPOSITIONS DE COMPLEMENTS DE RECHERCHE ET PERSPECTIVES

Ces propositions sont effectuées dans le contexte de cette étude exploratoire uniquement et n'ont pas de visée générale.

↳ Données toxicologiques

Plusieurs points clefs ont été mis en évidence sur ce plan, au cours du projet :

- l'inhalation est, la plupart du temps, la voie d'exposition privilégiée dans les études toxicologiques pour de nombreux composés chimiques ;
- il y a un manque de disponibilité notable de données toxicologiques relatives aux expositions des enfants en bas âge.

Dans la littérature, les études relatives aux enfants abordent souvent la pertinence de l'extrapolation des données expérimentales grâce à l'application de facteurs de risque. En effet, étant donné que les données toxicologiques disponibles ont souvent été établies à partir d'études animales, il convient pour extrapoler ces données à l'homme, d'appliquer des facteurs de protection. Les animaux n'étant pas forcément des animaux juvéniles, des facteurs supplémentaires sont appliqués pour tenir compte de la sensibilité particulière des enfants.

Par exemple, la Food Quality Protection Agency (FQPA) a requis en 1996 l'application d'un facteur de risque supplémentaire pour assurer la protection des enfants. Ce facteur additionnel ne peut être réduit ou éliminé que si des données fiabiles et complètes indiquent qu'une telle réduction ne met pas en danger les nourrissons ni les enfants (Zwart, 2004). Ces données étant souvent lacunaires, les facteurs sont la plupart du temps conservés par précaution.

Cette dernière remarque est inhérente à la démarche d'ERS et des discussions au sein de groupes d'experts nationaux et internationaux sont encore d'actualité. Toutefois, il est possible d'envisager différentes approches qui permettraient de limiter ces lacunes :

- la réalisation d'études sur des animaux juvéniles afin de mieux en connaître les effets ;

- l'application de modèles pédiatriques PB-PK¹⁶ afin d'améliorer les connaissances sur le plan de l'exposition interne des enfants (Zwart, 2004) ;
- la poursuite des recherches relatives aux expositions de courtes durée durant les différents stades de développement (phases critiques de développement, faibles / fortes doses, etc.).

Outre le domaine de la toxicologie, un des facteurs clefs pour le déroulement efficace d'une ERS et l'obtention de résultats exploitables, concerne la notion de variabilité.

↳ Variabilité

Par définition, elle correspond à une hétérogénéité ou une diversité des individus, inhérente au sein d'une population donnée. Cette remarque est d'autant plus valable que dans le cadre de cette étude exploratoire, la distinction selon le sexe des enfants n'a pas été effectuée.

L'utilisation d'un modèle d'exposition comme ConsExpo, permet de prendre en compte la variabilité de certains paramètres (durée d'exposition, taille, poids, etc.). Toutefois, il s'agit d'un logiciel utile dans le cadre d'une première approche et non pas pour la réalisation complète d'une ERS. Les données d'entrée peuvent également comporter des lacunes.

Pour pallier cela, il est possible de privilégier une approche stochastique et ainsi de présenter comme résultat un risque sous forme d'intervalle et non plus d'une valeur unique.

Outre ces éléments et pistes de recherche, il est possible à ce stade d'identifier des perspectives pour cette étude exploratoire.

↳ Substitution

Il s'agit d'une thématique régulièrement abordée dans les études relatives à l'impact sanitaire de composés chimiques (Saito, 2002). Il sera possible, lors de la poursuite de ce projet, de s'interroger quant à la pertinence de la substitution de certaines substances chimiques présentes dans la formulation des matériaux de construction. Par exemple, le Denmark EPA a publié une étude relative à l'intérêt de la substitution des phtalates utilisés dans les jouets par d'autres substances (Denmark EPA, 2003). Cette publication conclut à la nécessité de poursuivre les investigations pour le DEHP et le DINP. Pour les autres composés, des plastifiants comme les phosphates ou les adipates ont été proposés. Cependant, leur coût plus élevé n'incite pas les industriels à étendre leurs applications dans les matériaux de construction répandus (dalles PVC, moquette par exemple). C'est pourquoi, les phtalates sont encore largement employés actuellement.

¹⁶ Modèle dans lequel le corps est modélisé comme un ensemble de compartiments regroupés pour des raisons physiologiques. Les interconnexions représentent les échanges sanguins entre les différents organes. Le transport des substances peut être modélisé par un système d'équations différentielles liant plusieurs paramètres (concentration de substance, flux sanguin, volume des organes, coefficients de partage, etc.)

Toutefois, si certains matériaux de construction se révèlent source de risque sanitaire pour les enfants, alors il sera tout à fait envisageable d'aborder à nouveau cette thématique. Dans ce cas, il est fondamental pour l'évaluateur d'apporter toutes les informations nécessaires aux gestionnaires afin qu'ils puissent négocier avec les industriels en ayant à leur disposition tous les arguments techniques et sanitaires à disposition.

↳ Programmes de recherches au sein de l'AFSSET

La saisine VGAI a proposé et adopté une méthode d'évaluation pour le monoxyde de carbone et pour le formaldéhyde dans l'air intérieur. Une des perspectives à court terme serait d'appliquer la méthode pour le DEHP.

La saisine VTR* quant à elle présente un recensement des substances utilisées dans le cadre des saisines AFSSET, pour élaborer des VTR. Le BBP et le DBP en font partie et ces résultats pourraient tout à fait être intégrés dans le cadre de la poursuite de ce projet.

Enfin, des réflexions sont en cours au sein de l'Agence en vue d'élaborer une base de données regroupant des critères morpho-physiologiques des enfants, en vue d'une homogénéisation des pratiques d'ERS relatives à l'enfant. Cette initiative permettrait effectivement de disposer de sources d'informations dans l'objectif commun des évaluateurs de disposer de données fiables.

↳ Programmes de recherches inter-laboratoires

Hormis l'AFSSET, plusieurs organismes locaux et mondiaux s'investissent dans des recherches ayant trait aux enfants et à leur santé. Un travail de fond doit préalablement être effectué pour réaliser un état des lieux aussi exhaustif que possible sur les différents champs de recherche précis sur ce thème à travers le monde. Suite à cela, il sera plus aisé d'identifier les différents laboratoires spécialisés sur des problématiques spécifiques de la sécurité sanitaire des enfants.

L'ERS étant une méthodologie faisant appel à des connaissances pluridisciplinaires, elle pourrait constituer une raison scientifiquement valable pour organiser des réseaux entre les différents laboratoires de recherche. Ce type d'action de centralisation des informations et de coordination scientifique devrait idéalement permettre de progresser plus rapidement dans divers domaines relatifs à la santé des enfants.

Conclusion

Plusieurs résultats de publications indiquent que des risques pour la santé des enfants sont possibles dans le cas d'exposition chronique par inhalation de substances chimiques émises par certains matériaux de construction dans l'environnement intérieur. D'autres études encore démontrent l'existence d'effets néfastes* pour les enfants lorsqu'ils sont exposés à des composés tels que les phtalates dans les jouets et l'alimentation.

Ces arguments ainsi que les recherches préalables effectuées dans le cadre de ce projet nous ont incités à étudier la faisabilité d'une évaluation de risque sanitaire pour l'enfant exposé aux matériaux de construction dans l'environnement intérieur.

La recherche bibliographique a permis de constater que la majorité des publications portent sur les expositions par inhalation des enfants dans leur environnement intérieur. Les voies d'ingestion et de contact cutané sont plus rarement abordées et c'est notamment pour cela que ce projet, à visée exploratoire, s'est focalisé sur ces deux voies d'exposition.

Au cours de cette étude, des composés d'intérêt ont été identifiés et ce choix a été justifié selon différents critères – fréquence, toxicité des substances par exemple. Ce choix a permis de focaliser les recherches et d'adapter les délais aux objectifs initialement fixés pour le mémoire.

La sélection de deux types de composés – un COV, le toluène et un COSV, le DEHP – a également permis d'envisager une quantification de l'exposition. Des laboratoires de métrologie ont ainsi été contactés en vue d'élaborer un protocole d'essais permettant de quantifier l'exposition des enfants dans ce contexte précis.

Deux types d'essais ont été envisagés et commandés : l'un permet de vérifier la composition chimique des matériaux ainsi que de disposer d'un témoin de référence ; le second a pour objectif de quantifier la migration qui provoque l'accumulation de substances chimiques en surface des matériaux.

Pour des raisons de délais, les résultats n'ont pu être inclus dans ce mémoire. Toutefois, ils parviendront à l'AFSSET dans le courant du mois de septembre 2007. Une évaluation quantitative des risques pourra être alors envisagée.

Dans l'attente de ces données, ce travail n'a pas permis de conclure quant à un risque sanitaire pour les enfants exposés aux matériaux de construction

En complément de cette étape, une réflexion sur les scénarii d'exposition a été menée. Ces derniers s'avèrent complexes et il est nécessaire de les simplifier, par exemple en choisissant de restreindre l'exposition à une seule substance.

Ceci a permis de mener une réflexion sur la démarche préalable à l'application d'une ERS et un outil d'aide à l'élaboration de scénarii a été proposé.

Toutefois, il reste encore à affiner les diverses déclinaisons de ces variables, afin de disposer de l'ensemble des éléments nécessaires à la faisabilité de cette évaluation de risque sanitaire pour les enfants exposés aux matériaux de construction dans l'environnement intérieur.

Grâce à ce projet, plusieurs pistes de recherche ont pu également être identifiées en vue de poursuivre le recueil d'informations nécessaires à la réalisation d'une ERS. Par exemple, malgré l'existence de données quantitatives dans la littérature pour la quantité de poussières ingérées quotidiennement par les enfants, ces informations ne sont pas exploitables telles quelles. En effet, ces données quantitatives correspondent bien souvent à des scénarii d'exposition très spécifiques ou encore, les auteurs de publications ne mentionnent pas toujours les intervalles de confiance des valeurs.

Face à ce manque de transparence sur l'obtention d'informations quantitatives, un évaluateur ne peut les utiliser qu'avec précaution dans une démarche d'ERS.

L'état actuel des connaissances a permis d'identifier également d'autres limites qui incitent à poursuivre ce type d'étude exploratoire afin de pouvoir disposer des données qualitatives et quantitatives fondamentales pour mener à terme une démarche d'évaluation de risque sanitaire.

Bibliographie

ADGATE JL, CHURCH TR, RYAN AD, *et al.* Outdoor, indoor, and personal exposure to VOCs in children. *Environmental Health Perspectives*, 2004 ; 112 (14) : pp 1386-1392.

AFSSET – CSTB. Emissions de COV par les produits de construction, 2006. 136 pages.

AFSSET. Document de référence pour la construction d'une valeur toxicologique de référence fondée sur des effets reprotoxiques, 2007. 171 pages.

AFSSET, sous la co-présidence de MOMAS I et CAILLARD JF. Evaluation à mi-parcours du PNSE – rapport du Comité d'Évaluation. Juillet 2007. 149 pages, pp. 18-20.

APTE MG, DAISEY JM. VOCs and « Sick Building Syndrome » : application of a new statistical approach for SBS research to U.S. EPA BASE study data. *Indoor Air*, 1999 ; 6 pages.

AUYEUNG W, CANALES RA, BEAMER P, *et al.* Young children's hand contact activities : an observational study via videotaping in primarily outdoor residential settings. *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*, 2006 ; 16 : pp. 434-446.

BEAUSOLEIL M, LEFEBVRE L, BOLDUC D, *et al.*, 2002. *Lignes directrices pour la réalisation des évaluations du risque toxicologique pour la santé humaine*. Direction des communications du ministère de la Santé et des Services sociaux du Québec (Ed.), 104 pages.

BELL M.L, DOMINICI F, EBISU K, *et al.* Spatial and temporal variation in PM 2.5 chemical composition in the United States for health effects studies. *Environmental Health Perspectives*, 2007. Disponible sur <http://dx.doi.org/>

BORNEHAG CG, SUNDELL J, WESCHLER CJ, *et al.* The association between asthma and allergic symptoms in children and phthalates in house dust : a nested case-control study. *Environmental Health Perspectives*, 2004 ; 112 (14) : pp 1393-1397.

BORNEHAG CG, LUNDGREN B, WESCHLER CJ, *et al.* Phthalates in indoor dust and their association with building characteristics. *Environmental Health Perspectives*, 2005 ; 113 (10) : pp. 1399-1404.

CHAUMON P. Emballages plastiques souples et semi-rigides – Polymères de grande diffusion. *Techniques de l'Ingénieur*, 2005 ; 20 pages. pp. 14-15.

CHEN S-B. Laboratory Sciences report on the migration of diisononyl phthalate (DINP) from PVC – Children's products. 1998. Washington (DC): US Consumer Product Safety commission.

CLAUSEN A, LINDEBERG BILLE RL, NILSSON T, *et al.* Simultaneous extraction of di(2-ethylhexyl) phthalate and nonionic surfactants from house dust : concentration in floor dust from 15 Danish schools. *Journal of Chromatography A*, 2003 ; 986 : pp. 179-190.

COHEN H, SHELDON L, BURKE J, *et al.* Children's exposure assessment: a review of factors influencing children's exposure and the data available to characterize and assess that exposure. *Environmental Health Perspectives*, 2000 ; 108 (6) : pp. 475-486.

CSTB. Caractérisation des émissions de COV et de formaldéhyde par six produits de construction, 2005 ; 33 pages.

CTBA. Rapport d'essais : détermination de l'émission de composés volatils (COV, formaldéhyde) à partir de produits de construction. Méthode de la chambre d'essai d'émission (pr NF EN 13419-1 : 2003), 2006 ; 40 pages.

Denmark Environmental Protection Agency (EPA), Evaluation of plasticizers for PVC for medical devices, 2003 ; 107 pages.

DOURSON M, CHARNLEY G, SCHEUPLEIN R. Differential sensitivity of children and adults to chemical toxicity. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 2002 ; 35 : pp. 448-467.

EUROSTAF. Le secteur des matériaux de construction en Europe, 2003. Disponible sur : http://www.eurostaf.fr/fr/catalogue/etudes/sectorielles/industrie-btp/secteur_materiaux_construction/sommaire.html. Dernière consultation, le 06/08/2007.

Fédération Française du Bâtiment. Revêtements de sol et murs, Septembre 2004, 22 pages. Disponible en ligne sur le site de la Chambre du Commerce et de l'Industrie de Lyon : www.lyon.cci.fr/ecommm/documents/guide_metier_SPECIMEN.pdf. Dernière consultation, le 16/08/2007.

FEIGENBRUGEL V. Devenir atmosphérique des pesticides : distribution entre les différentes phases de l'atmosphère et oxydation photochimique. Thèse pour le Doctorat de Physique-Chimie de l'Université Louis Pasteur de Strasbourg, 2005 ; 215 pages. pp 20-25.

FENSKE RA, BRADMAN A, WHYATT RM, *et al.* Lessons learned for the assessment of children's pesticide exposure : critical sampling and analytical issues for future studies. *Environmental Health Perspectives*, 2005 ; 113 (10) : pp. 1455-1462.

FIEDLER N, LAUMBACH R, KELLY-MCNEIL K, *et al.* Health effects of a mixture of indoor air volatile organics, their ozone oxidation products and stress. *Environmental Health Perspectives*, 2005 ; 113 (11) : pp. 1542-1548.

GERIN M, GOSSELIN P, CORDIER S, *et al.* *Environnement et Santé Publique, fondements et pratiques*. Canada : Editions Tec&Doc, 2005. 1023 pages, pp 312-328.

GINSBERG G, HATTIS D, SONAWANE B, RUSS A, *et al.* Evaluation of child/adult pharmacokinetic differences from a database derived from the therapeutic drug literature. *Toxicological Sciences*, 2002 ; vol. 66 : pp. 185-200.

GLORENNEC P, Explication et réduction de l'incertitude liée à l'ingestion de sol en évaluation des expositions environnementales. *Environnement, Risques & Santé*, 2005 ; 4(4) : pp. 258-262.

INERIS. Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques : Toluène, 2005 ; 50 pages.

INSERM. *Plomb dans l'environnement : quels risques pour la santé ?* Expertise collective, Paris : 1999 ; 461 pages.

INRS, services techniques et médicaux. Fiche toxicologique N°74 : toluene, 2004 ; 8 pages.

INRS. Point des connaissances. 2nde ed, ED 5010, 2004 ; 4 pages.

JORGENSENS B.R, DOKKA TH, BJORSETH O. Introduction of a sink-diffusion model to describe the interaction between VOCs and material surfaces. *Indoor Air*, 2000 ; 10 (1) : pp.27-38.

JUNGE C. E. Basic considerations about trace constituents in the atmosphere as related to the fate of global pollutants. *Fate of Pollutants in Air and Water Environments*, 1977 ; I. H.Suffett Wiley, New York. Part I.

LANPHEAR BP, HOMUNG R, KHOURY J, *et al.* Low-level environmental exposure and children's intellectual function : an international pooled analysis. *Environmental Health Perspectives*, 2005 ; 113 (7) : pp 894-899.

LIOY PJ, FREEMAN N, MILLETTE JR. Dust : a metric use in residential and building exposure assessment and source characterization. *Environmental Health Perspectives*, 2002 : 110 (10) : 969-983.

LOVEKAMP-SWAN T, DAVIS BJ. Mechanisms of phthalate ester toxicity in the female reproductive system. *Environmental Health Perspectives*, 2003 ; 111 (2) : pp.139-145.

MESSADI D, VERGNAUD JM. Evolution des profils de concentration dans la matrice d'un disque de PVC plastifié au DOP et trempé dans l'acool benzylique. *European Plymmer Journal*, 1997, 33 (7), pp 1167-1171.

MEZIERE P. Contribution à l'élaboration d'une méthodologie pour l'évaluation des risques sanitaires et environnementaux des produits de construction – Cas d'illustration avec deux usages du PVC dans le bâtiment. Thèse pour le Doctorat de Sciences et Techniques du Déchet : Ecole de Chimie de Lyon, 2005 ; 302 pages.

Ministère des Relations Internationales (MRI). Les grandes surfaces de bricolage en France, 2003 ; 3 pages.

MOORE AMF, TRAN K, JORGENSENS B.R, Sorption behaviour of VOCs on material surfaces – The influence of combinations of compounds and materials compared to sorption of single compounds on single materials. *Environment International*, 1999 ; 25 (1) : pp. 17-27.

MORAWSKA L, SALTHAMMER T. Fundamentals of indoor particles and settled dust. *Indoor Environment*, 2006 ; pp.1-46.

NEEDHAM LL, SEXTON K. Assessing children's exposure to hazardous environmental chemicals : an overview of selected research challenges and complexities. *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*, 2000 ; 10 : pp. 611-659.

Organisation Mondiale de la Santé (OMS) - Regional Office for Europe, 1983. Indoor air pollutants: exposure and health effects. EURO reports and studies N° 78: report on a WHO meeting.

Organisation Mondiale de la Santé (OMS), Dr. LOUIS GB, Dr. DAMSTRA T, Dr. DIAZ-BARRIGA F, *et al.* Principles for evaluating health risks in children associated with exposure to chemicals. *Environmental Health Criteria* ; 237, 2006 ; 351 pages : pp 1-6, 22-31, 55-59.

RIVM. Re-evaluation of human-toxicological maximum permissible risk levels, 2001; 297 pages.

SAILLENFAIT AM, LAUDET-HESBERT A. Phtalates. *EMC- Toxicologie Pathologie*. 2004 ; 2 : pp. 1-13.

SAILLENFAIT AM, LAUDET-HESBERT A. Phtalates (II). *EMC- Toxicologie Pathologie*. 2005 ; 2 : pp. 137-150.

SAITO I. Levels of phthalates and adipates in processed foods and migration of diisononyl adipate from polyvinyl chloride film into foods. *Shokuhin Eiseigaku Zasshi*, 2002 ; 43 (3) : 185-189.

SMEETS G, Réduire les émanations de COV dans l'atmosphère : quelles solutions techniques ? EUROFORUM 2002. 14 pages : pp 7.

Swedish Chemical Inspectorate. European Union Risk Assessment Report on DEHP, chapter 1 to 3, 2006. 225 pages.

REICHL FX, 2^{nde} ed, Guide pratique de toxicology. De Boeck Université, 2004. 348 pages.

U.S. Environmental Protection Agency (EPA). Sampling house dust for lead : basic concept and literature review. 1995. 98 pages.

U.S. Environmental Protection Agency (EPA). Child-specific exposure factors handbook. National Center for Environmental Assessment, Washington, DC; 2002. Disponible sur <http://www.epa.gov/ncea>.

VAN ENGELEN JGM, PRUD'HOMME DE LODDER LCH. Non-food products: how to assess children's exposure? RIVM report, 2004. 64 pages.

WILSON N.K, CHUANG J.C, IACHAN R, *et al.* Design and sampling methodology for a large study of preschool children's aggregate exposures to persistent organic pollutants in their everyday environment. *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*, 2004 ; 14 (3) : pp. 260-274.

WILSON NK, CHUANG JC, MORGAN MK, et al. An observational study of the potential exposures of preschool children to pentachlorophenol, bisphenol-A and nonylphenol at home and daycare. *Environmental Research*, 2007; 103 : pp. 9-20.

WOLTERING G, VAN ENGELEN J, VAN RAAIJ M. Guidance for assessment of chemical risks for children. RIVM report, 2007. 30 pages.

ZWART LL, HAENEN H, VERSANTVOORT C, et al. Role of biokinetics in risk assessment of drugs and chemicals in children. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 2004; vol. 39 : pp. 282-309.

Glossaire

Aérosol : désigne la suspension dans un milieu gazeux de particules solides et/ou liquides présentant une vitesse de chute négligeable

Composés Organiques Volatils (COV) : substances organiques – à l'exclusion du méthane – contenant du carbone et de l'hydrogène, auquel peuvent se substituer partiellement d'autres atomes. Les COV sont également définis comme des composés organiques ayant une tension de vapeur supérieure ou égale à 10 Pa à 20°C.

Effet néfaste : tout changement de la morphologie, la physiologie, la croissance, le développement ou la durée de vie d'un organisme, résultant soit d'une détérioration de la capacité fonctionnelle ou de la capacité à compenser un stress additionnel, soit d'une augmentation de sensibilité.

Encombrement stérique : qui est relatif à la géométrie d'une molécule.

Gradient : taux de variation (d'une concentration en substance chimique, par exemple) en fonction d'une distance.

Pica : trouble du comportement alimentaire caractérisé par l'ingestion de substances non nutritives (terre, craie, sable, papier, etc.).

Reprotoxique : se dit d'une substance toxique pour la reproduction et le développement.

Simulant : milieu (liquide ou gazeux) destiné à simuler le milieu dans lequel évolue la substance considérée.

Valeur Toxicologique de Référence (VTR) : valeurs établies par des instances nationales ou internationales, caractérisant le lien entre une exposition à une substance toxique et l'occurrence d'un effet néfaste observé.

Liste des annexes

Annexe 1 : saisine AFSSET N° 2004 / 011

Annexe 2 : avis du CSHPF du 05 Mars 2002

Annexe 3 : méthodologie et questionnaire destiné aux grandes surfaces de bricolage

Annexe 4 : liste exhaustive des substances chimiques entrant dans la composition générique des matériaux de construction sélectionnés

Annexe 5 : tableau des substances chimiques les plus fréquemment présentes dans les matériaux de construction

Annexe 6 : synthèses des informations relatives au poids et à la surface corporelle des enfants en fonction de leur âge et de leur sexe (extraits de la base de données CIBLEX)



COURRIER REÇU LE

29 AVR. 2004

5682

MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE ET DU
DEVELOPPEMENT DURABLE
Direction des études économiques et
de l'évaluation environnementale

N° 219

MINISTÈRE DE LA SANTÉ ET DE LA
PROTECTION SOCIALE
Direction générale de la santé

Le directeur général de la santé

Le directeur des études économiques et de
l'évaluation environnementale

à

Madame la directrice
Agence Française de Sécurité Sanitaire
Environnementale
27-31 Avenue du Général Leclerc
94701 MAISONS ALFORT

Paris, le 28 AVR. 2004

OBJET : Procédure d'évaluation des risques sanitaires concernant les composés organiques volatils (COV) émis par les produits de construction

Pièce jointe : Avis du 5 mars 2002 du Conseil supérieur d'hygiène publique de France (CSHPF) relatif à l'information des utilisateurs sur les émissions de composés organiques volatils (COV) par les produits de construction.

Madame la directrice générale,

Dans son avis du 5 mars 2002 relatif à l'information des utilisateurs sur les émissions de composés organiques volatils (COV) par les produits de construction, le Conseil supérieur d'hygiène publique de France demande « qu'un comité ad hoc soit mis en place, sur l'initiative des pouvoirs publics, afin de contribuer à la définition et à la validation de la procédure visant à rendre disponible l'information relative aux impacts sanitaires associés aux émissions de COV : définition des scénarios d'exposition, établissement et suivi de la liste des substances à examiner et des valeurs de référence correspondantes, ... ». Une proposition de procédure d'évaluation des COV émis par les produits de construction, qui comporte trois phases, est décrite dans l'annexe II de cet avis.

Parallèlement, dans le cadre de la directive 89/106/CE relative au rapprochement des dispositions législatives, réglementaires et administratives des états membres concernant les produits de construction, la Commission européenne (DG Entreprises) prépare actuellement un mandat au Comité Européen de Normalisation (CEN) concernant l'élaboration de normes harmonisées dans le cadre de l'exigence essentielle n°3 (Santé, Hygiène et Environnement) requise pour le marquage CE des produits de construction.

Nous demandons à l'AFSSE dans ce contexte, en prenant en compte les études réalisées en France (notamment par le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, dans le cadre de l'Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur et du Comité Environnement et Santé de l'Avis Technique) et en Europe (notamment en Allemagne) concernant les émissions de COV par les produits de construction, de :

- se prononcer sur la pertinence scientifique et les conditions de faisabilité de la procédure d'évaluation des risques liés aux émissions de COV décrite en annexe II de l'avis du CSHPF, en indiquant les modifications éventuellement nécessaires ;
- proposer un système de classification basé sur l'évaluation des risques liés aux émissions de COV ;
- valider la procédure proposée en l'appliquant pour trois à quatre produits ou matériaux à évaluer en priorité ;
- étudier la possibilité d'extension de cette procédure à d'autres sources de COV présentes dans les espaces clos (par ex. équipements de ventilation-climatisation, ameublement, décoration etc.) ;
- étudier la possibilité d'extension de cette procédure à d'autres familles de substances apportées dans l'environnement intérieur par les matériaux de construction susceptibles de concourir à une exposition des personnes également par contact et ingestion.

Nous vous saurions gré de nous faire parvenir avant le 15 juillet 2004, une note d'étape sur l'organisation de vos travaux en réponse à cette saisine.

Nos services se tiennent à votre disposition pour de plus amples renseignements.

Nous vous prions d'agréer, Madame la directrice générale, l'assurance de notre considération distinguée.

Le directeur général de la santé



Professeur William DAB

Le directeur des études économiques
et de l'évaluation environnementale



Dominique BUREAU

**Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France
Section milieux de vie – groupe de travail « Bâtiment –Santé »**

**Avis relatif à l'information des utilisateurs
sur les émissions de composés organiques volatils
par les produits de construction.**

Séance du 5 mars 2002

Considérant

- que les composés organiques volatils (COV) sont des substances chimiques présentes à l'état gazeux dans les atmosphères (intérieures et extérieures) et issues de différentes sources, le terme COV englobant plusieurs dizaines de composés appartenant à différentes familles chimiques (notamment hydrocarbures aliphatiques et aromatiques, aldéhydes, cétones, éthers de glycol, etc.) ;
- que les données disponibles d'évaluation de risques sanitaires à court et long terme et d'impact sur la qualité de l'air telle qu'elle est perçue incitent à limiter les apports de ces composés dans les environnements intérieurs ;
- que les individus passent plus de 80 % de leur temps dans les environnements intérieurs ;
- que la caractérisation des émissions de composés volatils dans l'air intérieur des locaux s'inscrit dans un objectif de meilleure prise en compte des préoccupations liées à l'hygiène, la santé et la qualité de l'environnement constituant désormais une des exigences essentielles applicables aux produits et ouvrages de construction
- qu'à ce titre, une meilleure connaissance des caractéristiques d'émission de COV par les produits de construction, doit permettre d'intégrer cette caractéristique dans le choix des utilisateurs (prescripteurs, consommateurs) en relation avec le souci de préserver la santé et la sécurité des occupants des bâtiments.
- que compte tenu de leur contact direct avec l'air intérieur, les émissions provenant notamment des produits de finition (revêtements de sol et de mur, peintures...) peuvent contribuer de manière non négligeable aux concentrations en COV mesurées dans l'air intérieur ;
- que des normes d'essais européennes et françaises sont désormais disponibles pour caractériser en laboratoire l'émission des COV pour certaines familles de produits de construction selon des conditions expérimentales et des protocoles visant à prévoir les concentrations attendues dans les bâtiments ;
- qu'une norme française est désormais disponible concernant l'information relative aux caractéristiques environnementales des produits de construction (NF XP01-010-1)

Le Conseil, sur la proposition du groupe permanent "bâtiment-santé",

Estime qu'il est désormais possible et souhaitable que les utilisateurs puissent disposer d'une information relative à l'émission de composés organiques volatils par les produits de construction mis sur le marché ;

Recommande

- que se mette en place, en priorité pour les produits de construction dont la liste figure en annexe I, une procédure visant à rendre disponible cette information ;
- que cette procédure permette de classer les produits en fonction des risques sanitaires associés aux émissions en COV au regard de l'état actuel des connaissances ;
 - que cette procédure s'appuie sur les normes d'essais et protocoles d'évaluation existants en ce qui concerne la caractérisation des émissions (selon l'annexe II.1);
 - que les expositions attendues dans les bâtiments résultant de l'utilisation de ces produits de construction soient calculées sur la base des résultats d'essais mentionnés précédemment (selon l'annexe II.2);
 - que ces valeurs d'exposition soient examinées au regard des données existantes concernant la toxicité des substances (selon l'annexe II.3) ;
 - que les référentiels existants soient adaptés et complétés pour tenir compte de la spécificité des différents produits concernés et des connaissances sur les impacts sanitaires ;

Préconise

- que cette procédure soit élargie à d'autres sources de COV présentes dans les espaces clos et affectant la qualité de l'air intérieur (équipements de ventilation-climatisation, ameublement, décoration, produits d'entretien, appareils domestiques, etc.) ;
- que soient prises en compte d'autres familles de substances apportées dans l'environnement intérieur par les produits visés et susceptibles de concourir à une exposition des personnes autrement que par inhalation (par contact ou ingestion) ;

Demande :

qu'un comité ad hoc soit mis en place, sur l'initiative des pouvoirs publics, afin de contribuer à la définition et à la validation de la procédure visant à rendre disponible l'information relative aux impacts sanitaires associés aux émissions de COV : définition des scénarios d'exposition, établissement et suivi de la liste des substances à examiner et des valeurs de références correspondantes, Ce comité sera également chargé de l'évaluation de la procédure.

cet avis ne peut être diffusé que dans sa totalité, sans suppression, ni ajout

Annexe 3 : méthodologie et questionnaire destiné aux grandes surfaces de bricolage

Validation du choix des matériaux sélectionnés dans le cadre de l'étude de la faisabilité d'une ERS pour l'enfant exposé aux matériaux de construction.

Contexte :

Dans le cadre de cette étude, des essais de migration de substances chimiques à partir de matériaux vont être effectués. Deux types de matériaux seront soumis à ces essais : un matériau liquide (vernis ou peinture) et un matériau solide de type revêtement de sol (moquette ou dalle de PVC).

Objectif :

Sélectionner parmi chacun des deux types de matériaux – liquide et solide – ceux sur lesquels seront effectués les tests de migration, c'est-à-dire, choisir :

- pour les matériaux liquides : soit une peinture, soit un vernis,
- pour les matériaux solides : soit une moquette, soit une dalle de PVC.

Pour ce faire, il est important de déterminer qualitativement (et comparativement) les matériaux les plus fréquemment utilisés chez les particuliers.

Méthode :

Des Grandes Surfaces de Bricolage (GSB) vont être contactées afin de leur soumettre un bref questionnaire.

L'étude de faisabilité portant sur les enfants en milieu urbain, les GSB contactées seront sélectionnées à proximité de grandes zones urbaines (région parisienne ou lyonnaise par exemple).

Concernant le choix des GSB, les quatre groupes leaders sur le marché seront interrogés, à savoir : Leroy-Merlin, Castorama, Bricomarché et Mr. Bricolage (source : ministère des relations internationales du Canada, Janvier 2003).

Enfin, les informations demandées porteront autant que possible sur les achats de l'année 2006 ou à défaut 2005, afin d'obtenir des informations liées à une tendance actuelle d'achats de matériaux de construction de la population française.

Remarque : les 4 groupes sélectionnés possèdent tous plus de 100 magasins franchisés sur le territoire national (source : Développement Construction – Conseil, marketing et études de marché bâtiment).

Résultats :

Les résultats attendus devront correspondre à des informations *a minima* qualitatives (par exemple : achats pour le matériau 1 > ou < aux achats du matériau 2).

Une question à visée quantitative sera posée à toutes les GSB sondées. Les réponses obtenues pour cette question constitueront un complément d'information et l'absence de réponse ne sera pas considérée comme une lacune face à la visée initiale (qualitative) de ce questionnaire.

Questionnaire :

Il devra être concis aux vues de l'objectif de cette démarche. Il est nécessaire de rapidement présenter le contexte aux personnes sondées, afin de limiter les réponses erronées au questionnaire (méfiance due aux études de marché, par exemple).

QUESTIONNAIRE DESTINE AUX GRANDES SURFACES DE BRICOLAGE

Date : / /

Réf. : _____ - _____

Lieu :

1. Présentation du questionnaire

Contexte :

Ce questionnaire constitue l'une des étapes d'une étude concernant des scénarii de la vie quotidienne dans les habitations.

L'étude concerne deux grandes catégories de matériaux :

- les matériaux dits « liquides », parmi lesquels les peintures et les vernis,
- les matériaux dits « solides », parmi lesquels les revêtements de sol PVC et les moquettes.

Objectif :

Le but est de ce sondage est de déterminer quel produit est le plus fréquemment utilisé pour chacune des 2 catégories présentées (liquide/solide).

Rappels :

Le questionnaire qui vous est soumis est strictement anonyme. Les résultats issus de ce questionnaire sont destinés à un groupe de travail restreint et resteront confidentiels.

L'entretien dure environ 10 minutes.

2. Questions

2.1. Matériaux solides : moquettes et revêtement de sol en PVC

1) Selon vous lequel de ces deux produits est le plus fréquemment acheté par des particuliers ?

Moquettes

Sols PVC

2) Quel écart des ventes estimez-vous entre les 2 produits ?

2 fois plus

3 fois plus

5 fois plus

10 fois plus

3) Si vous pouvez quantifier cet écart : quelles sont les volumes de vente sur l'année pour chacun des deux produits ?

4) Pour le produit le plus vendu, existe-t-il un produit « phare »

Oui

Non

5) Si oui, quel est-il ?

6) Pour le produit le plus vendu, quelles en sont les utilisations connues ?
(Laisser répondre la personne sondée au préalable, puis proposer les réponses suivantes)

- Chambre Cuisine
 Salon Autre, préciser :

7) Même question, pour le produit le moins vendu :
(Laisser répondre la personne sondée au préalable, puis proposer les réponses suivantes)

- Chambre Cuisine
 Salon Autre, préciser :

8) Avez-vous constaté une inversion de la tendance au cours de ces dernières années ?

- Oui Non

9) Si oui, dans quel sens le ratio de ventes entre les 2 produits a-t-il évolué ?

2.2. Matériaux liquides : peintures et vernis

1) Selon vous, quel produit les particuliers achètent-ils en volume plus important ?

- Vernis pour ameublement Peintures

2) Quel écart des ventes estimez-vous entre les 2 produits ?

- 2 fois plus 3 fois plus
 5 fois plus 10 fois plus

3) Si vous êtes en mesure de quantifier précisément cet écart (volume annuel des ventes de chacun des 2 produits) :

4) Pour les peintures et pour un même usage, le volume des ventes est-il supérieur pour les :

- Peintures à l'eau Peintures avec solvants

5) Pour le produit le plus vendu, existe-t-il un produit « phare »

- Oui Non

6) Si oui, quel est-il ?

3. Identification de la personne interrogée

Société :
(Service :)

Profession :

Sources d'informations en cas de données chiffrées :

Annexe 4 : liste exhaustive des substances chimiques entrant dans la composition générique des matériaux de construction sélectionnés

Substance chimique	N°CAS	Nombre de C	Catégorie (COV ou COSV)
Acétate de 2-méthoxy-1-méthyléthyle	108-65-6	6	COV
Butan-1-ol	71-36-3	4	-
Carboxylates de cobalt	68409-81-4		
Cyclohexanone	108-94-1	6	COV
Ether monométhylique du propylène glycol	107-98-2	4	-
Méthanol	67-56-1	1	-
Méthyléthylcétone	78-93-3	4	-
Naphta aromatique léger	64742-95-6	8 à 20	COV / COSV
Naphte lourd hydrotraité	64742-48-9	8 à 12	COV
Méthyléthylcétone	78-93-3		
Toluène	108-88-3	6	COV
Xylène	1330-20-7	8	COV
DEHP	117-81-7	24	COSV
BBP	85-68-7	19	COSV
DIBP	84-74-2	16	COSV
Styrène	96-09-3	7	COV

Remarque :	COV	<i>C6 à C16 inclus</i>
	COSV	<i>C17 à C22 inclus</i>

Annexe 5 : tableau des substances chimiques les plus fréquemment présentes dans les matériaux de construction

Composés chimiques	N° CAS	Fréquence relative (%)	Formule brute	COV / COSV
Butan-1-ol	71-36-3	25	C ₄ H ₁₀ O	-
méthanol	67-56-1	25	C ₁ H ₄ O	-
Toluène	108-88-3	25	C ₇ H ₈	COV
Xylène	1330-20-7	25	C ₈ H ₁₀	COV
PEHD	117-81-7	33,33333333	C ₂₄ H ₃₈ O ₄	COSV

Annexe 6 : synthèse des informations relatives au poids et à la surface corporelle des enfants en fonction de leur âge et de leur sexe (extraits de la base de données CIBLEX)

MORPHOLOGIE DES ENFANTS DE SEXE MASCULIN

âge	taille (cm)		
	minimum	moyenne	maximum
naissance	49,5	50,2	54,5
moyenne sur la classe [0,1]	55,2	63,3	68,2
1 an	70,3	75,7	81,1
moyenne sur la classe [1,2]	73,3	81,6	87,2
2 ans	81,4	87,3	93,2
moyenne sur la classe [2,7]	95,9	105,3	113,3

âge	poids (kg)		
	minimum	moyenne	maximum
naissance	2,2	3,1	3,9
moyenne sur la classe [0,1]	3,6	6,1	7,6
1 an	7,6	9,8	11,8
moyenne sur la classe [1,2]	8,2	11,1	13,4
2 ans	9,8	12,5	15,0
moyenne sur la classe [2,7]	12,9	17,4	21,5

SURFACE CORPORELLE

âge	surface corporelle totale (cm ²)		
	minimum	moyenne	maximum
naissance	1 816	2 192	2 574
moyenne sur la classe [0,1]	2 469	3 448	3 976
1 an	4 037	4 720	5 371
moyenne sur la classe [1,2]	4 267	5 205	5 904
2 ans	4 887	5 687	6 435
moyenne sur la classe [2,7]	6 031	7 309	8 407

âge	surface corporelle (cm ²)	
	tête	tronc
naissance	456	699
moyenne sur la classe [0,1]	608	1 066
1 an	812	1 624
moyenne sur la classe [1,2]	838	1 761
2 ans	864	1 911
moyenne sur la classe [2,7]	987	2 434

âge	surface corporelle (cm ²)	
	membres supérieurs	
	surface totale	mains
naissance	368	110
moyenne sur la classe [0,1]	556	161
1 an	840	236
moyenne sur la classe [1,2]	940	259
2 ans	1 052	284
moyenne sur la classe [2,7]	1 400	365

âge	surface corporelle (cm ²)	
	membres inférieurs	
	surface totale	pieds
naissance	669	153
moyenne sur la classe [0,1]	983	225
1 an	1 444	330
moyenne sur la classe [1,2]	1 639	363
2 ans	1 860	398
moyenne sur la classe [2,7]	2 468	511

MORPHOLOGIE DES ENFANTS DE SEXE FEMININ

âge	taille (cm)		
	minimum	moyenne	maximum
naissance	45,4	49,7	53,9
moyenne sur la classe [0,1]	52,5	62,1	66,6
1 an	69,1	74,0	78,8
moyenne sur la classe [1,2]	72,1	80,0	85,2
2 ans	80,0	85,8	91,6
moyenne sur la classe [2,7]	95,1	104,2	112,0

âge	poids (kg)		
	minimum	moyenne	maximum
naissance	2,2	3,0	3,8
moyenne sur la classe [0,1]	3,5	5,8	7,1
1 an	7,3	9,2	11,0
moyenne sur la classe [1,2]	7,8	10,5	12,7
2 ans	9,4	12,0	14,4
moyenne sur la classe [2,7]	12,3	16,9	21,3

SURFACE CORPORELLE

âge	surface corporelle totale (cm ²)		
	minimum	moyenne	maximum
naissance	1 775	2 172	2 517
moyenne sur la classe [0,1]	2 396	3 332	3 802
1 an	3 904	4 529	5 117
moyenne sur la classe [1,2]	4 132	5 028	5 683
2 ans	4 745	5 525	6 252
moyenne sur la classe [2,7]	5 862	7 178	8 315

âge	surface corporelle (cm ²)	
	tête	tronc
naissance	452	693
moyenne sur la classe [0,1]	593	1 039
1 an	779	1 558
moyenne sur la classe [1,2]	809	1 701
2 ans	840	1 856
moyenne sur la classe [2,7]	969	2 390

âge	surface corporelle (cm ²)	
	membres supérieurs	
	surface totale	mains
naissance	365	109
moyenne sur la classe [0,1]	542	157
1 an	806	226
moyenne sur la classe [1,2]	908	250
2 ans	1 022	276
moyenne sur la classe [2,7]	1 375	358

âge	surface corporelle (cm ²)	
	membres inférieurs	
	surface totale	pieds
naissance	662	152
moyenne sur la classe [0,1]	958	220
1 an	1 386	317
moyenne sur la classe [1,2]	1 582	350
2 ans	1 807	387
moyenne sur la classe [2,7]	2 424	501

Abstract

It has to be noticed that children represent a particularly exposed and susceptible group. Their low weight are indeed associated to a behaviour which enable greater exposure to contaminants in the indoor environment (crawling on the floor contaminated with dust in which VOC from building materials are adsorbed, taking hands to mouth after a contact with contaminated surfaces).

The main objective is to define if it is possible to carry out a risk assessment in order to establish a methodology for characterising indoor environmental child exposure.

We are unaware of some parameters like children's behaviour in their indoor environment or child dust ingestion, etc. and research has to be done about child activities during the day.

To understand environmental children's exposure to hazardous chemicals from building materials, it is important to have some scientific knowledge: contaminants in indoor environment (VOCs and SVOCs), contaminants properties (volatility, hazard, etc.), children's behaviour and exposure in their indoor environment, children's susceptibility and adverse effects of exposures.

The work will be divided into four steps :

- a review about different topics : children's routes of exposure, hazardous chemicals in indoor environment, volatility, etc. ;
- an inventory of the chemicals existing in building materials;
- the choice of two chemicals : toluene and phthalates;
- a study of different scenario of exposure.

Finally, some research would be suggested in order to complete the data missing. Indeed, without those data, the risk assessment could not be made.

Key words :

RISK ASSESSMENT, CHILDREN, SUSCEPTIBLE POPULATION, INGESTION EXPOSURE, DERMAL EXPOSURE, BUILDING MATERIALS, INDOOR ENVIRONMENT, VOC, SVOC, PHTHALATES.