

ÉMISSIONS DE POLLUANTS ET VIEILLISSEMENT DE REVÊTEMENTS DE SOL COMMERCIALISÉS

SafeMATER : Suivi de la pollution dans l'air
avec des produits pétrosourcés, biosourcés
ou dépolluants, neufs et vieillis (essais au
laboratoire et expérimentation en
condition réelle)

SYNTHESE



EXPERTISES

Oct.
2020

REMERCIEMENTS

Laurence GALSOMIÈS – ADEME (Service qualité de l'air à Montrouge)

Nathalie COSTARRAMONE – UT2A (à Pau)

Valérie DESAUZIERS, Hervé PLAISANCE, Hélène GARAY – ARMINES C2MA (à Pau)

Natacha KINADJIAN-CAPLAT, Martin BROUZENG, Christophe CANTAU –
NOBATEK/INEF4 (à Anglet)

Thierry PIGOT, Mickaël LE BECHEC – Université de Pau et des Pays de l'Adour (UPPA) –
IPREM (à Pau)

CITATION DE CE RAPPORT

CANTAU C., KINADJIAN-CAPLAT N., DESAUZIERS V., PLAISANCE H., GARAY H., COSTARRAMONE N.
2020. Émissions de polluants et vieillissement de revêtements de sol commercialisés – SafeMATER : Suivi
de la pollution dans l'air avec des produits pétrosourcés, biosourcés ou dépolluants, neufs et vieillis (essais
au laboratoire et expérimentation en condition réelle). Synthèse, 18 pages.

Cet ouvrage est disponible en ligne <https://librairie.ademe.fr/>

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

Ce document est diffusé par l'ADEME

ADEME

20, avenue du Grésillé

BP 90 406 | 49004 Angers Cedex 01

Numéro de contrat : 1/62c000/

Étude réalisée par C. Cantau et N. Kinadjian-Caplat (NOBATEK-INEF4) / N. Costarramone (UT2A), V. Desauziers, H. Plaisance et H. Garay (IMT MINES ALLES), T. Pigot et M. Le Behec (UPPA/IPREM) pour ce projet cofinancé par l'ADEME

Projet de recherche coordonné par : NOBATEK-INEF4 (Natacha Kinadjian-Caplat et Christophe Cantau)

Appel à projet de recherche : CORIEA édition 2017 – « Connaissances, Réduction à la source et Traitement des Emissions dans l'Air »

Coordination technique - ADEME : GALSOMIÈS Laurence

Direction Villes et Territoires Durables / Service Qualité de l'air

SOMMAIRE

RÉSUMÉ.....	4
ABSTRACT	5
1. Contexte.....	6
2. Cahier des charges de l'étude	7
2.1. Sélection des revêtements de sol souple	7
2.2. Définition des protocoles d'essais – étude en laboratoire.....	8
2.2.1. Quantification des polluants émis par les matériaux.....	8
2.2.2. Mesure des constantes de sorption.....	8
2.2.3. Protocole de vieillissement.....	8
2.3. Définition des protocoles d'essais pour l'étude avec la plateforme expérimentale QAI&Co.....	9
3. Mesures des émissions de sorption des matériaux en laboratoire....	10
3.1. Étude de l'émission des revêtements.....	10
3.2. Impact du vieillissement sur les émissions des matériaux.....	11
3.3. Détermination des propriétés de sorption des matériaux neufs.....	12
4. Principaux résultats obtenus sur plateforme QAI&Co.....	13
5. Conclusions et perspectives.....	15
Index des tableaux et figures.....	16

RÉSUMÉ

De nos jours, des nouveaux produits de construction, dits « biosourcés » ou « dépolluants », font leur apparition sur le marché. Ils sont souvent revendiqués comme plus sains pour les habitants. L'objectif du projet est de **comparer les émissions** de polluants de plusieurs types de **revêtements de sol souples** ainsi que leurs **propriétés d'adsorption** afin de déterminer si les nouveaux produits sont réellement plus vertueux que les produits pétrosourcés. Une étude inédite a également permis de déterminer **l'effet du vieillissement** sur les émissions de polluants des produits et donc sur leur impact sur la qualité de l'air intérieur (QAI) dans le temps. Les propriétés de ces différents matériaux vis-à-vis de la qualité de l'air intérieur (QAI) ont été testées en laboratoire et aussi à une **échelle réelle** sur la plateforme QAI&Co.

Huit revêtements de sol souples ont été sélectionnés à partir de critères définis dans le cahier des charges de l'étude SafeMATER.

Une première étude rapide des COV émis (screening) a été réalisée pour identifier les émissions de polluants des matériaux étudiés. Suite à ce screening, certains polluants ont été sélectionnés pour être suivis plus en détails lors du projet. Nous avons vérifié que les mêmes polluants étaient mesurés avec une méthodologie normalisée et avec une méthode alternative innovante. Les polluants n'étant pas tous des polluants « classiquement » mesurés (ils ne font pas tous partie de la liste de l'étiquetage), une nouvelle méthodologie a été développée pour analyser ces polluants.

Ce rapport présente les résultats des émissions des matériaux, neufs et vieillis, mesurées en laboratoire avec la méthodologie normalisée ISO 16000-9 et avec l'outil innovant DOSEC®. De plus, l'évolution des émissions des matériaux a été déterminée au cours de leur vieillissement accéléré en effectuant des mesures régulières avec la DOSEC® (sortie des échantillons à des temps précis). Enfin, les propriétés de sorption des matériaux, neufs et vieillis, ont été mesurées avec la DOSEC® (pour le formaldéhyde) et avec les méthodologies normalisées et le SIFT-MS (pour le toluène et le formaldéhyde).

À partir des résultats obtenus lors de l'étude au laboratoire, trois matériaux ont pu être sélectionnés et étudiés ensuite en conditions réelles dans la plateforme QAI&Co. Les mesures *in situ* ont donc été réalisées à l'intérieur de trois modules identiques dans la plateforme QAI&Co, qui a accueillie respectivement un matériau PVC décontaminant, un matériau biosourcé linoléum et un matériau caoutchouc. Le comportement de ces matériaux en conditions réelles a ainsi pu être étudié et évalué.

Le comportement des revêtements de sol est à intégrer dans les modèles de prédiction de la qualité de l'air intérieur car il a été démontré dans cette étude, notamment pour de tels produits de consommation, (i) qu'il y a une signature dans les COVs émis par famille (PVC, linoléum, caoutchouc), (ii) qu'il existe un phénomène de compétition adsorption/réémission qui est à mieux quantifier pour connaître les capacités réelles à adsorber les polluants (surtout pour ceux dits « dépolluants »), et (iii) que dans un état vieilli (3 étudiés) les revêtements de sol peuvent relarguer de nouveaux composés gazeux (dont le benzène connu pour sa dangerosité).

ABSTRACT

Nowadays, new construction products, called « biosourced » or « purifying », appear on the market. They are considered as healthier for the building occupants. The aim of the project is to **compare the pollutants emissions** of several types of **flexible floorings** as well as their **sorption properties** in order to determine if these new products are really more virtuous than the petrochemical ones. For the first time, the **effect of the material ageing** on their emissions and their sorption properties, and so on their impact on the indoor air quality (IAQ) all along their utilization was determined. These properties were tested in laboratory conditions but also in **real conditions** on the IAQ&Co platform.

Eight flexible floorings have been selected on the basis of technical specifications of SafeMATER project.

A first screening of their emissions have been realized. Following this screening, some pollutants were selected to be monitored precisely during the project. We checked the emissions with the standard methodology and with the DOSEC® and we found that the same pollutants were identified with both methodologies. The pollutants followed during the study have been chosen according to the results obtained. Some pollutants followed during the study are not "classical" pollutants as they are not part of the list of the French labeling. For these pollutants, a new analytic methodology has been developed.

This report presents the materials pollutants emission of the brand new and aged materials have been measured with the standard methodology ISO 16000-9 and with the DOSEC®. Furthermore, the evolution of the emission all along the material ageing have been determined with the DOSEC® by measuring the emission at several time during the material ageing. Finally, the sorption properties of the brand new and aged materials have been determined with the DOSEC® (for the formaldehyde) and with the standard methodology and the SIFT-MS (for the toluene partly for formaldehyde).

From the results obtained during the laboratory study, three materials have been selected and then studied in real conditions in the IAQ&Co platform. *In situ* measurements have been realized inside three identical modules in the IAQ&Co platform, which respectively hosted a decontaminating PVC material, a "biosourced" linoleum material and a rubber material. The evolution of these materials in real conditions could thus be studied and evaluated.

The behaviour of floorcoverings should be incorporated into indoor air quality prediction models as it has been demonstrated in this study, particularly for such consumer products, (i) that there is a signature in the COVs emitted by family (PVC, linoleum, rubber), (ii) there is an adsorption/re-emission competition phenomenon that needs to be better quantified in order to know the real capacities to adsorb pollutants (especially for so-called "depollutants"), and (iii) that in an aged state (3 studied) Floorcoverings may release new gaseous compounds (including benzene known to be dangerous).

1. Contexte

L'amélioration de la qualité de l'air intérieur est un sujet qui préoccupe de plus en plus les pouvoirs publics et la population. L'aération des locaux est un paramètre clé pour maintenir la qualité de l'air intérieur mais peut ne pas suffire. Afin de limiter la présence de polluants dans les habitations, un moyen d'action est de réduire les sources d'émission.

À ce sujet, de nombreuses recherches ont permis d'améliorer la connaissance des émissions des produits de construction afin de mieux choisir les matériaux de construction utilisés dans le bâtiment. Cependant, la quasi-totalité de ces recherches ont été effectuées en utilisant des conditions environnementales particulières. Ces conditions sont généralement fixées par des normes qui font partie de la série de normes ISO 16000. Les conditions environnementales sont connues pour avoir un impact important sur les émissions de polluants des matériaux. Les données expérimentales recueillies dans des conditions particulières d'émissions ne permettent donc pas de pouvoir prédire avec précision la qualité de l'air dans le bâtiment.

La connaissance précise de l'impact des conditions environnementale sur les émissions de polluants des matériaux est donc primordiale pour prédire les variations de la qualité de l'air dans une pièce en fonction de ces conditions. Cette connaissance pourra notamment permettre d'améliorer les modèles de prédiction de la qualité de l'air qui sont utilisés pour la conception des bâtiments.

Le projet SafeMATER s'inscrit dans le cadre d'une recherche en connaissances nouvelles et en développement expérimental. **L'objectif est d'étudier les émissions et les capacités d'adsorption de COVs pour divers produits commercialisés, pétrosourcés, biosourcés et/ou dépolluants, déjà mis en œuvre dans un bâtiment.**

Pour ce faire, des tests ont été réalisés dans une enceinte expérimentale au laboratoire et également dans des modules de 30 m³ afin d'obtenir des données en conditions réelles qui manquent cruellement aux études d'aujourd'hui. L'impact du vieillissement sur les performances de ces produits a également été évalué.

Le projet SafeMATER a pour but de mettre en évidence si les huit produits commercialisés (type « classique » dit pétrosourcé, type « biosourcé » et type « décontaminant ») ont une action sur l'amélioration de la qualité de l'air que l'on peut quantifier et en déterminer le réel bénéfice pour les usagers. Dans ses actions de prescriptions, NOBATEK pourra ainsi répondre en fonction des résultats obtenus aux questionnements des usagers sur ces solutions qui sont largement utilisées dans la construction des bâtiments. En effet, les questionnements sur ces produits sont de plus en plus fréquents, surtout pour des bâtiments sensibles tels que les crèches, les hôpitaux, et les écoles.

2. Cahier des charges de l'étude

2.1. Sélection des revêtements de sol souple

La première étape du projet SafeMATER a permis de sélectionner huit revêtements de sols souples pour l'étude en laboratoire sur leurs propriétés de sorption. Des critères pouvant différencier ces produits entre eux ont été définis (construction grille d'analyse).

Le projet vise principalement à comparer les performances vis-à-vis de la qualité de l'air intérieur (QAI) de nouveaux produits constitués de matériaux naturels (revendiquant de meilleures performances) et de produits plus « classiques » dits pétrosourcés, c'est-à-dire d'origine fossile issus de la pétrochimie.

Par conséquent, la nature des composants de ces produits a été intégrée dans la grille d'analyse.

Les critères intégrés dans la grille d'analyse en plus de la catégorie mentionnée ci-dessus sont le type de pose, le type d'opérations dans lesquelles ces revêtements sont mis généralement en œuvre, les classifications disponibles pour ces produits (UPEC et OSO).

Une synthèse sur les caractéristiques des huit revêtements de sol retenus dans l'étude SafeMATER est présentée dans le Tableau 1 : Liste des revêtements de sol souples sélectionnés dans l'étude SafeMATER

1 :

- en pose « collée »
 - 1 PVC de type « classique » d'origine pétrosourcée ;
 - 1 PVC de type « biosourcé » ;
 - 2 linoléums donc d'origine biosourcé » ;
 - 2 caoutchoucs, de type « biosourcé » ;
 - 1 PVC de type « décontaminant » ;
- en pose « non collée »
 - 1 PVC de type classique d'origine « pétrosourcée ».

PRODUIT/ REFERENCE	FABRICANT	NATURE	TYPE DE POSE	APPLICATION COURANTE	PRIX [€ HT/M²]	CLASSIFICATION UPEC	COMMENTAIRES
ACCZENT EXCELLENCE 4 2MM	TARKETT	PVC	Collée	ERP	32 à 40	U4P3E2/3C2	Formaldéhyde à 28 jours non détecté COVT à 28 j < 10 µg/m³
TARALAY IMPRESSION COMPACT U4P3 2MM	GERFLOR	PVC	Collée	ERP	34 à 42	U4P3E2C2	COVT à 28 j < 10 µg/m³ Certification Floorscore
COMPACT MODUL'UP 43	FORBO	PVC	Non collée	ERP	33 à 42	U4P3E2/3C2	50 % de matières naturelles Sans phtalates COVT < 100µg/m³ à 28j
VENETO XF² 2,5 MM	TARKETT	LINOLEUM	Collée	ERP/Logement	28 à 35	U4P3E1/2C2	93% de matière naturelle Formaldéhyde à 28 jours < 10 µg/m³ COVT à 28 jours < 10 µg/m³
MARMOLEUM 2,5 MM	FORBO	LINOLEUM	Collée	ERP	31 à 39	U4P3E1/2C2	97% de matière naturelle Taux d'émission de COVT < 50 µg/m³
NORAPLAN ECO 2,0 MM	NORA	CAOUTCHOUC	Collée	Logement / ERP	35	U4P3E2/3C1	Produit sans PVC, phtalates, chlore
GRANITO 2,0 MM	ARTIGO	CAOUTCHOUC	Collée	Logement / ERP	40 à 45	U4P3E2C1/2	-
GRABO DIAMOND	GRABOPLAST	PVC décontaminant	Collée	Logement / ERP	40 à 45	U4P3E2C2	Produit décontaminant

2.2. Définition des protocoles d'essais – étude en laboratoire

2.2.1. Quantification des polluants émis par les matériaux

Une première étape de caractérisation des émissions des matériaux neufs puis vieillis sera menée en se référant aux protocoles normalisés existants (ISO 16000-9) et en utilisant une méthode alternative (système DOSEC®-SPME) ayant l'avantage de déterminer en un seul prélèvement et analyse, la concentration à l'interface matériau/air du formaldéhyde et des COV (Figure 1).

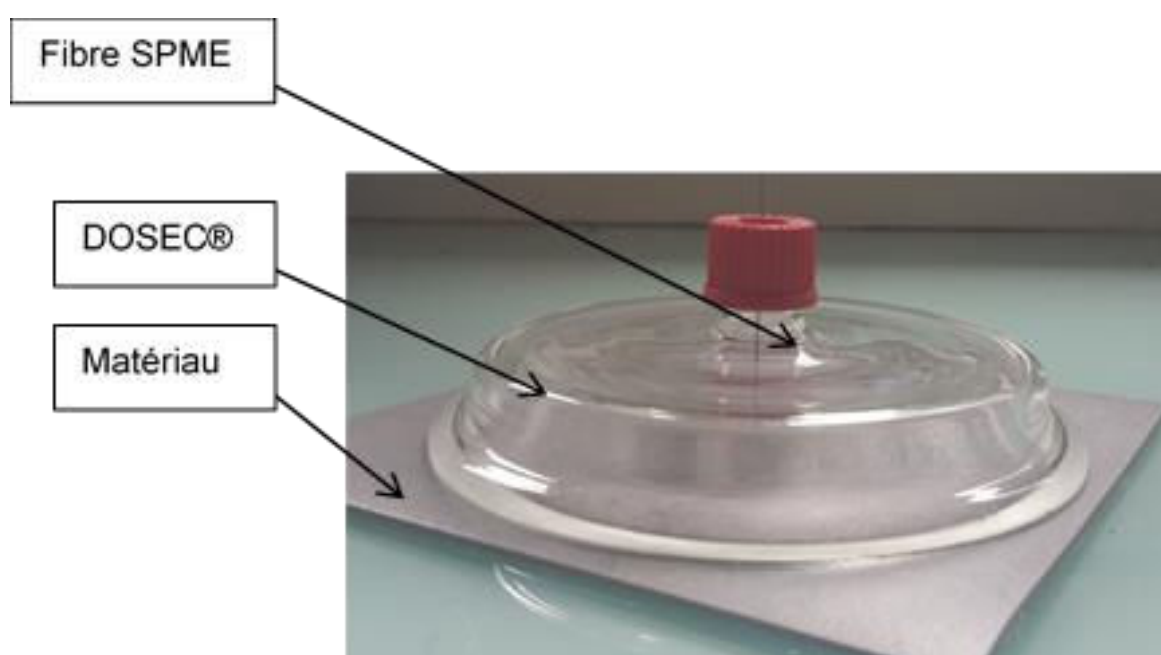


Figure 1 : Prélèvement par SPME dans la cellule d'émission DOSEC®

2.2.2. Mesure des constantes de sorption

Les constantes d'adsorption/désorption de COVs modèles (formaldéhyde et toluène) sont déterminées pour les matériaux neufs et vieillis. Pour cela, au-delà du recours aux protocoles normalisés (ISO 16000-23/-24), nous avons également mis en œuvre des méthodes alternatives : système DOSEC®-SPME ainsi que la méthode d'analyse SIFT-MS ayant l'avantage de quantifier des COV au niveau du ppbv en temps réel sans phase d'échantillonnage, ni préconcentration, ni séparation chromatographique.

2.2.3. Protocole de vieillissement

Au cours de son cycle de vie, le matériau est soumis à des paramètres physiques qui le dégradent. Afin de juger de l'effet de ces dégradations sur les émissions de composés organiques volatiles (COV), un protocole de vieillissement accéléré a été appliqué aux matériaux choisis.

Trois paramètres de vieillissement sont identifiés et seront intégrés dans notre protocole de vieillissement :

- L'abrasion due aux frottements ;
- La lumière : même si les sols étudiés sont destinés à être utilisés en intérieur, l'effet de la lumière solaire derrière un vitrage doit être examiné ;
- L'eau : les sols sont amenés à être en contact avec de l'eau lors des phases de nettoyage.

2.3. Définition des protocoles d'essais pour l'étude avec la plateforme expérimentale QAI&Co

La plateforme expérimentale QAI&Co est composée de trois modules de 30 m³ aux dimensions de la chambre de référence définie dans les normes de mesures d'émissions de polluants (3 m x 4 m x 2,5 m). Les conditions environnementales de ces modules peuvent être ajustées en fonction des paramètres souhaités tels que l'ensoleillement, la ventilation, le chauffage, etc. (Figure 2).



Figure 2 : Ensoleillement des modules (Exemple à 12 heures)

Les paramètres fixés pour la réalisation de la campagne de mesures sont les suivants :

- Les sols à tester, sélectionnés à l'issue des tests menés en laboratoire, reposent sur une dalle béton, sans utilisation de colle afin d'évaluer l'impact des matériaux eux-mêmes ;
- La surface de chaque matériau testé s'élève à 12 m² ;
- L'étude a été réalisée sur les matériaux neufs, puis sur les mêmes matériaux ayant subi une première étape de vieillissement ;
- Le débit d'extraction dans les trois modules a été réglé à 15 m³.h⁻¹ afin d'atteindre un taux de renouvellement d'air (TRA) de 0,5 h⁻¹ ;
- La température et l'hygrométrie des modules sont régulées. La température est fixée à 23 ± 2 °C et l'hygrométrie relative est fixée à 50 ± 5 %, valeurs similaires à celles des essais menés en laboratoire (et normes ISO 16000) ;
- Entre deux et trois prélèvements sont réalisés, et doublés par semaine > mesure COV, aldéhydes, acides carboxyliques.

3. Mesures des émissions de sorption des matériaux en laboratoire

3.1. Étude de l'émission des revêtements

▪ Revêtements PVC

Les matériaux PVC neufs sont peu émissifs de manière générale car la concentration en COVT maximale est de 252 µg.m⁻³. Toutefois, il est noté jusqu'à un facteur 10 entre le matériau le moins émissif (PVC Forbo) et le matériau le plus émissif (PVC Graboplast revendiquant aussi une action « décontaminante »). Parmi les composés majoritaires détectés, exceptés pour le formaldéhyde et l'acétaldéhyde, il n'y a pas d'autres COVs identifiés parmi ceux de la liste définie à l'article R. 221-27 du code de l'environnement, classement suivi lors d'études sur les émissions des matériaux.

▪ Revêtements caoutchouc

Parmi les composés majoritaires détectés, exceptés le formaldéhyde, l'acétaldéhyde, et le styrène, nous n'identifions pas d'autres COV de la liste définie à l'article R. 221-27 du code de l'environnement. Ces matériaux émettent majoritairement les mêmes COV, mais le matériau Artigo apparaît être le plus émissif (facteur 4 entre les concentrations en COVT des deux matériaux).

▪ Revêtements linoléum

Parmi les composés majoritaires détectés, exceptés le formaldéhyde et l'acétaldéhyde, nous n'identifions pas d'autres COVs de la liste définie à l'article R. 221-27 du code de l'environnement. Ces matériaux émettent majoritairement les mêmes COVs, c'est-à-dire des composés carbonylés ainsi que des acides carboxyliques.

À partir des résultats obtenus lors de cette première série de mesures, la liste de polluants à suivre dans l'étude SafeMATER a pu être établie en prenant en compte les COVs majoritairement identifiés pour l'ensemble des matériaux (Tableau 2). Pour les autres COV détectés, la quantification a été réalisée en équivalent toluène.

MÉTHODES ET COMPOSÉS SUIVIS	MATÉRIAUX PVC	MATÉRIAUX CAOUTCHOUC	MATÉRIAUX LINOLEUM
Prélèvement cartouche DNPH et analyse HPLC-UV		formaldéhyde acétaldéhyde	
Prélèvement tubes TENAX et analyse ATD-GC-MS/FID	butanol éthylhexanol méthoxypropylacetate toluène diméthyl heptanone butylated hydroxytoluène hexane undécane dodécane	styrène cyclohexanone benzaldehyde décane linalool nonanal éthylhexyl acrylate benzothiazole toluène	butanal butanone pentenol pentanal pentalen hexanal heptanal heptanone pentylfuran dipropylène glycol butyl éther
Prélèvement par barbotage dans l'eau et analyse par chromatographie ionique			acide formique acide acétique acide propanoïque acide butanoïque acide pentanoïque
Prélèvement dans sac TEDLAR et analyse SIFT-MS			Acides : formique, acétique, propanoïque, butanoïque, pentanoïque, hexanoïque Aldéhydes : formaldéhyde, acétaldéhyde, propanal, butanal, pentanal, hexanal, benzaldéhyde

Tableau 2 : Liste des COV sélectionnés pour le suivi des émissions des différents matériaux et méthodes d'analyses mises en œuvre pour leur analyse

3.2. Impact du vieillissement sur les émissions des matériaux

Dans un premier temps, le suivi cinétique des émissions de COVs, tout au long du vieillissement, a été effectué à l'aide de la méthode DOSEC, permettant de mesurer les concentrations de COV (γ_0) à l'interface matériau/air. À la fin du vieillissement, les émissions des matériaux vieillis sont évaluées par la méthode normalisée ISO 16000-9.

Le protocole de vieillissement utilisés comporte sept cycles constitués de trois opérations successives :

- 1- Simulation de friction (abrasion par sablage);
- 2- Simulation de nettoyage (passage d'une éponge microfibre imbibée d'eau);
- 3- Simulation de l'exposition solaire derrière une vitre (vieillissement photométrique dans une chambre QUV).

Sept mesures intermédiaires de la concentration à l'interface matériau/air ont été effectuées après chaque cycle et une durée d'exposition cumulée en chambre QUV de : 24 h, 48 h, 96 h, 144 h, 216 h, 288 h, 408 h (durée totale du vieillissement accéléré).

Tous les matériaux étudiés, des revêtements de sol souple (en PVC, linoléum, et caoutchouc), décontaminant, biosourcés ou non, ont émis d'importantes quantités de composés organiques volatils (COVs) durant leur vieillissement accéléré. Les COVs majoritaires sont des composés carbonylés, principalement des aldéhydes linéaires (concentration γ_0 jusqu'à 7000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), issus de la photo-dégradation des matériaux.

La formation de formaldéhyde durant le vieillissement des matériaux a été observée avec tous les sols plastiques. Mais il a été noté une lente décroissance de sa concentration de surface au cours du temps ($40 < \gamma_0 < 80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ après 400 heures).

Des composés toxiques spécifiques à chaque catégorie de matériaux (PVC, caoutchoucs, linoléums) ont aussi été identifiés : il s'agit d'additifs (agent de vulcanisation, catalyseurs) et de résidus de dégradation des polymères ou des additifs. Parmi les plus toxiques, le benzène (PVC) et le styrène (caoutchoucs) ont été quantifiés à des concentrations maximales, respectivement à 100 et 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ après le 1^{er} cycle de vieillissement (24h). La concentration des niveaux d'émissions pour ces deux substances toxiques diminue ensuite rapidement et après 100 h de traitement ces deux substances ne soient plus détectées.

Ces matériaux sont tous classés A' pour leurs émissions en COVs (d'après l'arrêté du 19 avril 2011 sur l'étiquetage des produits en termes d'émissions pour la liste des COVs retenus), que ce soit à l'état neuf ou dans un stade vieilli (après 400 heures d'un traitement accéléré du vieillissement). Cependant, l'étude cinétique montre que des COV toxiques (hors liste des COVs spécifiques de l'étiquetage des produits) peuvent être émis pendant l'utilisation de ces matériaux et qu'au cours du vieillissement des concentrations de surface peuvent être élevées.

Il est donc important d'avoir une vision exhaustive des émissions durant le cycle de vie des matériaux afin de mieux en évaluer l'impact sanitaire durant leur usage.

Pour que cette évaluation soit la plus réaliste possible, il est indispensable de pouvoir corrélérer le vieillissement accéléré avec le vieillissement naturel des matériaux. Cette corrélation est complexe et longue à établir aussi à ce stade, il n'est pas possible d'évaluer pour quelle durée d'usage en conditions normales (en vieillissement naturel) correspondent les cycles de vieillissement accélérés appliqués dans le cadre de l'étude SafeMATER (en vieillissement artificiel).

Compte tenu d'une perte de masse significative des matériaux observée après 400 heures de vieillissement, le protocole développé dans l'étude SafeMATER, conduit certainement à une surestimation de leur dégradation.

L'établissement d'une corrélation entre vieillissement artificiel et naturel constitue donc une perspective intéressante pour prendre en compte de façon réaliste, l'usure des matériaux et plus généralement leur cycle de vie dans l'évaluation de leur impact sanitaire.

3.3. Détermination des propriétés de sorption des matériaux neufs

Les tests réalisés avec les conditions opératoires de la norme NF EN ISO 16000-24, permettent de mettre en évidence les très faibles capacités de sorption du composé toluène des différents matériaux. Les teneurs en toluène adsorbé sont dans tous les cas proches de celles mesurées lors des tests en l'absence de matériau.

Pour la réalisation de ces tests, il apparaît que la surface totale des parois du réacteur est de 0,19 m² alors que la surface des matériaux mis en œuvre est bien plus faible : 0,0016 m². Cette méthode adaptée à l'étude de matériaux sorptifs n'est pas favorable à l'étude de matériaux faiblement sorptifs. La méthode DOSEC apparaît être particulièrement intéressante à utiliser pour ces cas.

Les essais de sorption du formaldéhyde et du toluène ont ainsi été conduits à la méthodologie DOSEC sur cinq matériaux sélectionnés :

- 1 PVC Tarkett (ACCZENT EXCELLENCE 4 2mm);
- 1 PVC Graboplast considéré comme produit décontaminant (GRABO DIAMOND);
- 1 linoléum Tarkett (VENETO XF² 2,5 mm);
- 2 Caoutchoucs : le Nora (NORAPLAN ECO 2,0 mm) et l'Artigo (GRANITO 2,0 mm).

Les essais ont été doublés de manière à évaluer la reproductibilité des paramètres obtenus.

Trois paramètres principaux sont estimés à partir des cinétiques d'émission et d'adsorption obtenues lors des deux phases de l'essai à savoir :

- k_{em} : la constante de vitesse d'adsorption du composé sur le matériau ($m \cdot h^{-1}$);
- k_{em} : la constante de vitesse de désorption du composé sur le matériau (h^{-1});
- K_e : le coefficient de partition (m) qui est le ratio de la concentration du composé présente à la surface du matériau sur la concentration gazeuse dans l'air en contact avec le matériau lorsque le système air-matériau est à l'équilibre (à la fin des phases d'émission et d'adsorption). K_e est aussi le ratio des constantes de sorption k_{em}/k_{em} ;
- C_{ieq} : la concentration gazeuse en contact avec le matériau à l'état d'équilibre en fin de phase d'émission ($\mu g \cdot m^{-3}$). Ce paramètre traduit le caractère émissif du matériau.

Les processus de sorption des cinq matériaux sont correctement décrits par le modèle de Langmuir appliqué aux cinétiques d'adsorption obtenues dans une cellule fermée et des prélèvements SPME.

Sur la base du coefficient de partition (K_e) ainsi que de la constante de vitesse d'adsorption (k_{em}), la sorption du formaldéhyde sur les revêtements de sol testés est globalement supérieure à celle du toluène. Cependant, des caractéristiques de sorption très contrastées ont été obtenues allant d'un matériau (le PVC Graboplast) sans sorption à un matériau (le caoutchouc Nora) identifié comme un puits de formaldéhyde caractérisé par un taux de désorption très faible proche de 0. Pour le toluène, les quantités adsorbées sont faibles et le processus a tendance à être réversible.

À l'échelle d'une pièce, les simulations montrent que seule la sorption du caoutchouc Nora (identifié comme un puits) a un impact significatif sur le bilan massique du formaldéhyde avec une contribution supérieure à 10 % dans le cas de faibles taux de renouvellement de l'air inférieurs à 0,1 h⁻¹. La quantité de formaldéhyde adsorbée sur ce caoutchouc est suffisamment élevée pour atténuer les pics de concentration en formaldéhyde, mais pourrait à l'inverse augmenter les concentrations intérieures de quelques dizaines $\mu g \cdot m^{-3}$ en cas de réémission. Pour les autres couples COV / matériau, la sorption a une contribution mineure inférieure ou égale à 5 %, quel que soit le taux de renouvellement de l'air. Cette étude démontre que la sorption des COV sur les revêtements de sol a un impact significatif sur la QAI dans des conditions intérieures réalistes et souligne la nécessité de prendre en compte sa contribution dans la modélisation de la qualité de l'air intérieur.

4. Principaux résultats obtenus sur plateforme QAI&Co

Suite aux études précédemment menées à l'échelle du laboratoire, trois références de produits représentatives des différentes familles de revêtements de sol (PVC, caoutchouc, linoléum) ont été sélectionnées et testées en conditions réelles, c'est-à-dire que les matériaux ont été mis en œuvre dans les modules de la plateforme QAI&Co.

Il s'agit des matériaux suivants :

- **Matériau PVC Graboplast**(matériau disposant de propriétés décontaminantes);
- **Matériau caoutchouc Nora** (à base de caoutchouc naturel, se comportant comme un puits vis-à-vis du formaldéhyde);
- **Matériau linoléum Forbo** (matériau biosourcé avec 97% de matières naturelles).

L'expérimentation sur plateforme QAI&Co a été menée en trois phases (Tableau 3).

N° PHASE	DESCRIPTION	DATE DE RÉALISATION
Phase 1	Les modules sont vides, cela constitue la référence.	Octobre 2019 à février 2020
Phase 2	Introduction des sols dans les 3 modules	09/03/2020
Phase 3	Démarrage de la mise en œuvre du vieillissement des sols	03/06/2020

Tableau 3 : Phasage de l'étude sur la plateforme QAI&Co

Plusieurs conclusions, issues des tests en conditions réelles, peuvent être données :

- Dans chacun des trois modules, on retrouve la signature du revêtement de sol qui a été installé ;
- Les concentrations de composés organiques volatils mesurées dans les tests à l'échelle 1 (conditions réelles QAI&Co) sont très proches de celles mesurées avec les tests à l'échelle laboratoire ;
- Des variations dans les concentrations de COVs sont toutefois observées ce qui démontre la difficulté de prédire le niveau de la qualité de l'air intérieur (QAI) sans tenir compte des effets d'adsorption/désorption à l'interface matériau/air, d'une part, et des réactions chimiques ayant lieu en surface ou dans l'air, d'autre part.

Pour le sol PVC décontaminant, on observe la présence des deux COVs marqueurs (éthylhexanol et alcanes C13-C14 non identifiés) déjà identifiés à une échelle laboratoire. Les résultats obtenus indiquent que les concentrations mesurées pour l'éthylhexanol sont comparables dans les essais en laboratoire et en conditions réelles sur plateforme. Par contre, pour les autres composés spécifiques (alcanes C13-C14 non identifiés), les concentrations avec le matériau neuf mesurées dans les tests sur plateforme sont plus élevées (1,5 à 2 fois plus élevées) que dans les tests en laboratoire et même après une longue période de suivi (86 jours au lieu de 28 jours).

Ce matériau PVC vendu pourtant pour des propriétés décontaminantes **ne semble pas avoir d'effet bénéfique** sur les COVs du bruit de fond (car il n'y a eu aucune diminution constatée sur les concentrations de COVs mesurées dans le module). Toutefois, il ne semble pas y avoir d'impact négatif sur la qualité de l'air (seulement une augmentation d'alcanes enregistrée à un niveau faible $<50 \mu\text{g.m}^{-3}$).

Pour le sol linoléum biosourcé, on retrouve également lors des tests en plateforme QAI&Co les COVs marqueurs : des aldéhydes et acides carboxyliques identifiés à l'échelle laboratoire. Les concentrations mesurées sur la plateforme sont globalement plus faibles pour tous les composés majoritaires émis (acétaldéhyde, hexanal et acides carboxyliques C1 à C3) que celles mesurées lors de l'étude en laboratoire avec le matériau neuf. Finalement, ce matériau ne semble pas avoir un impact sur la qualité de l'air (seulement une faible augmentation de composés non toxiques mais odorants enregistrée en conditions réelles).

Pour le sol caoutchouc, on retrouve des COVs marqueurs (aromatiques et oxygénés) dans les résultats des tests en plateforme QAI&Co, les mêmes que ceux déjà identifiés à l'échelle laboratoire. Comme constaté lors des tests en laboratoire, le benzothiazole est aussi le composé majoritaire émis dans les tests en conditions réelles sur plateforme QAI&Co. C'est un polluant irritant pour les muqueuses (à une concentration comprise entre 10 et 20 $\mu\text{g.m}^{-3}$). Les résultats des tests réalisés avec cette référence de produit (sol souple en caoutchouc) indiquent, qu'après 28 jours en laboratoire et 86 jours sur plateforme QAI&Co, les niveaux de concentration mesurés sont très similaires pour tous les composés de COVs. Finalement, ce matériau en caoutchouc (Nora Noraplan) utilisé en conditions réelles (mais non collé) conduit à une faible augmentation de composés toxiques dans l'air.

5. Conclusions et perspectives

En bref, pour conclure :

- Les revêtements de sol souples ont une signature sur la nature des COVs émis par famille (PVC, linoléum, caoutchouc) ;
- Les huit matériaux ont été étudiés sans intégrer le process de pose (collage) ;
- L'étude de vieillissement en laboratoire montre que les revêtements de sol relarguent lorsqu'ils sont vieillis de nouveaux composés gazeux et que certains sont toxiques (benzène notamment) ;
- Étude innovante sur les capacités de sorption des matériaux étudiés (Les huit sols ne se comportent pas comme des matériaux sorptifs) ;
- Les matériaux sorptifs sont à éviter : compétition adsorption/réémission (Le comportement des revêtements est à intégrer dans les modèles de prédiction) ;
- Étude en plateforme difficile à commenter, notamment sur l'évolution des concentrations dans le temps ;
- Une pollution résiduelle a été identifiée (dit bruit de fond) et qui n'a pas été gênante pour cette étude mais à condition d'en tenir compte (la corriger) ;
- Bonne corrélation entre les résultats observés dans les tests au laboratoire et ceux observés en plateforme (en échelle 1).

En complément du travail réalisé, il serait pertinent de procéder à une analyse plus fine du comportement des revêtements de sol souples dans le cadre d'un vieillissement réel.

Cette première étude de vieillissement a permis de mettre en avant un changement de comportement des revêtements de sol souples avec des concentrations supérieures émises, voire des nouveaux composés émis (pour la plupart avec une toxicité avérée), notamment sur les premières périodes de vieillissement.

Par contre, nous n'avons pas pu corréler ces comportements à un état réel de vieillissement dans des conditions normales d'usage. Ceci consisterait à approfondir un axe de travail pour mieux cerner à quel moment de vie du revêtement ces comportements peuvent être observés.

INDEX DES TABLEAUX ET FIGURES

TABLEAUX

Tableau 1 : Liste des revêtements de sol souples sélectionnés dans l'étude SafeMATER.....	7
Tableau 2 : Liste des COV sélectionnés pour le suivi des émissions des différents matériaux et méthodes d'analyses mises en œuvre pour leur analyse.....	10
Tableau 3 : Phasage de l'étude sur la plateforme QAI&Co.....	13

FIGURES

Figure 1 : Prélèvement par SPME dans la cellule d'émission DOSEC®.....	8
Figure 2 : Ensoleillement des modules (Exemple à 12 heures).....	9

L'ADEME EN BREF

À l'ADEME - l'Agence de la transition écologique -, nous sommes résolument engagés dans la lutte contre le réchauffement climatique et la dégradation des ressources.

Sur tous les fronts, nous mobilisons les citoyens, les acteurs économiques et les territoires, leur donnons les moyens de progresser vers une société économe en ressources, plus sobre en carbone, plus juste et harmonieuse.

Dans tous les domaines - énergie, économie circulaire, alimentation, mobilité, qualité de l'air, adaptation au changement climatique, sols... - nous conseillons, facilitons et aidons au financement de nombreux projets, de la recherche jusqu'au partage des solutions.

À tous les niveaux, nous mettons nos capacités d'expertise et de prospective au service des politiques publiques.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle du ministère de la Transition écologique et du ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation.

LES COLLECTIONS DE L'ADEME



FAITS ET CHIFFRES

L'ADEME référent : Elle fournit des analyses objectives à partir d'indicateurs chiffrés régulièrement mis à jour.



CLÉS POUR AGIR

L'ADEME facilitateur : Elle élabore des guides pratiques pour aider les acteurs à mettre en œuvre leurs projets de façon méthodique et/ou en conformité avec la réglementation.



ILS L'ONT FAIT

L'ADEME catalyseur : Les acteurs témoignent de leurs expériences et partagent leur savoir-faire.



EXPERTISES

L'ADEME expert : Elle rend compte des résultats de recherches, études et réalisations collectives menées sous son regard.



HORIZONS

L'ADEME tournée vers l'avenir : Elle propose une vision prospective et réaliste des enjeux de la transition énergétique et écologique, pour un futur désirable à construire ensemble.



ÉMISSIONS DE POLLUANTS ET VIEILLISSEMENT DE REVÊTEMENTS DE SOL COMMERCIALISÉS (SafeMATER)

De nos jours, des nouveaux produits de construction, dits « biosourcés » ou « dépolluants », sont commercialisés. Ils sont souvent revendiqués par les fabricants comme des produits plus sains pour les habitants.

L'objectif du projet SafeMATER est de **comparer les émissions de composés organiques volatils** (les COVs dont certains peuvent être potentiellement nocifs pour la santé humaine) pour huit **revêtements de sol souples (en PVC, linoléum et caoutchouc)** et, d'étudier également leurs **propriétés d'adsorption** afin de déterminer si ces nouveaux produits dits « biosourcés » ou « dépolluants » sont réellement plus vertueux que les produits pétrosourcés (issus de la pétrochimie d'origine fossile).

Des tests innovants ont également permis de déterminer pour trois revêtements de sol **l'effet du vieillissement** sur les émissions de polluants et donc de déterminer l'impact sur la qualité de l'air intérieur (QAI) de ces produits.

Les propriétés de ces matériaux vis-à-vis de la QAI ont été testées en chambres d'essais au laboratoire puis à une **échelle réelle** (sur la plateforme expérimentale QAI&Co).

Comparaison du comportement émissif en composés organiques volatils (COVs) de huit revêtements de sol souples (en PVC, linoléum et caoutchouc).

Corrélation des mesures menées avec des tests au laboratoire (échelle en chambres d'essais de faible volume) et en conditions réelles (échelle 1) étudiées en plateforme expérimentale QAI&Co de plus grand volume.

Etude de l'impact d'un vieillissement accéléré sur le comportement émissif (en COVs) de trois revêtements de sols.

