

Usages domestiques de substances biocides et risques de transfert vers le milieu récepteur

Domestic use of biocidal substances and risks of transfer to the receiving environment

■ P. MARTINACHE¹, J. GOBERT¹, J.-F. DEROUBAIX¹, R. MOILLERON¹, A. BRESSY^{1*}

¹ Laboratoire Eau, Environnement et Systèmes Urbains (Leesu) – ENPC, Institut Polytechnique de Paris – Université Paris Est Créteil – Marne-la-Vallée

Mots-clés :

Biocides
Changements de pratiques
Eaux grises
Eaux usées
Flux domestiques
Micropolluants
Réduction à la source

RÉSUMÉ

L'omniprésence de substances biocides dans les produits du quotidien, lesquels sont utilisés pour une multiplicité d'usages (phytopharmaceutiques, lutte contre les nuisibles, protection des matériaux, désinfectants, produits ménagers ou cosmétiques, etc.), pose la question de l'exposition humaine et celle de la contribution des activités domestiques à la contamination des milieux aquatiques récepteurs. Elle pose également la question des leviers d'action pour une réduction à la source de ces substances qui sont majoritairement peu éliminées en stations d'épuration. Un travail d'enquête interdisciplinaire alliant le regard des sciences humaines et sociales et celui de la chimie de l'environnement a fourni la preuve de l'ubiquité des substances biocides dans une très large gamme de produits du quotidien de la sphère domestique, et la méconnaissance de ces substances par les usagers. Leurs choix d'achat sont d'abord motivés par des habitudes basées sur la recherche d'efficacité et de propreté, avec peu ou pas de connaissances de la contamination chimique invisible. Cette pollution chimique a été rendue visible par l'échantillonnage et l'analyse d'eaux grises, traceurs des usages domestiques et indirectement de l'exposition, collectées chez des volontaires, et fortement contaminées en substances biocides. Ces données mettent en lumière l'exposition des usagers aux substances biocides dans leur sphère domestique et le transfert depuis l'amont vers l'aval du réseau d'assainissement, et *in fine* vers le milieu aquatique récepteur. Les entretiens menés dans ce travail ont permis de percevoir où se situent les possibilités de changement de pratiques et les leviers d'action pour une réduction de la pollution à la source.

Keywords:

Biocides
Change of practices
Domestic fluxes
Greywater
Micropollutant
Reduction at source
Wastewater

ABSTRACT

The ubiquitous presence of biocidal substances in everyday products, which are used for a wide range of purposes (pesticides, pest control, protection of materials, disinfectants, household or cosmetic products, etc.), raises the question of human exposure and the contribution of domestic activities to the contamination of receiving aquatic environments. It also raises the question of what can be done to reduce these substances at source, since most of them are not eliminated by wastewater treatment plants. An interdisciplinary survey combining the humanities and social sciences with environmental chemistry has provided evidence of the ubiquity of biocidal substances in a very wide range of everyday household products, and of how little users know about them. Their purchasing choices are motivated by habits based on the search for efficiency and cleanliness, with little or no knowledge of the invisible chemical contamination. This chemical pollution was made visible by sampling and analysing greywater, which was collected from volunteers and heavily contaminated with biocides, as a tracer of domestic use and indirectly of exposure. These data highlight the exposure of users to biocidal substances in their domestic sphere and the transfer from upstream to downstream of the sewer system, and ultimately to the receiving aquatic environment. The interviews conducted have enabled us to identify the potential for changing practices, and the levers for action that can be used to reduce pollution at source.

Introduction

L'évocation des biocides se heurte à une ambiguïté sémantique selon que l'on évoque l'action (substance qui, étymologiquement parlant, « tue la vie ») ou le produit commercial lié à un usage réglementé. Dans cet article les substances biocides sont définies comme des molécules destinées à lutter contre divers organismes jugés nuisibles (champignons, bactéries, virus, rongeurs, insectes, etc.). La mise sur le marché des produits qui

les contiennent dépend des réglementations qui régissent leurs usages : produits phytopharmaceutiques [Règlement (CE) N° 1107/2009], produits biocides [Règlement (UE) N° 528/2012], produits détergents [Règlement (CE) N° 648/2004], produits cosmétiques [Règlement (CE) N° 1223/2009], produits pharmaceutiques [Directive 2001/83/CE] et vétérinaires [Règlement (UE) N° 2019/6]. Dans tous ces produits, la substance biocide peut être présente soit comme principe actif (substance qui exerce l'action principale du produit), soit comme conservateur (substance ajoutée à la formula-

* Auteur correspondant – Courriel : adele.bressy@enpc.fr

tion du produit pour augmenter sa durée de vie). Les produits biocides, au sens du Règlement (UE) N° 528/2012, concernent, entre autres, la protection ou le traitement des matériaux du bâti, la désinfection, la lutte contre les nuisibles, etc. L'impact des substances biocides sur l'environnement a d'abord été mis en lumière en lien avec leurs usages phytopharmaceutiques [PALMA *et al.*, 2014; BLANCHOU *et al.*, 2019; CHOW *et al.*, 2020]. Des études ont ensuite relié leurs usages dans le bâti à des impacts sur l'environnement via le ruissellement [GROMAIRE *et al.*, 2015; WINTZ *et al.*, 2022; JUNGINGER *et al.*, 2023]. Nos travaux précédents à l'échelle de l'agglomération parisienne ont montré que les substances biocides sont ubiquistes dans les eaux urbaines, qu'elles sont faiblement abattues en station d'épuration (STEP), que leur apport par les rejets urbains contribue à la dégradation de la qualité du milieu aquatique récepteur, et que leur présence constitue soit la signature d'une origine pluviale, via la lixiviation des matériaux du bâti, soit la signature d'usages domestiques [BRESSY *et al.*, 2021; PAIJENS *et al.*, 2021; PAIJENS *et al.*, 2022]. Ces sources domestiques de substances biocides semblent avoir été sous-estimées dans les études environnementales [WIECK *et al.*, 2016; KRESMANN *et al.*, 2018; MEREL *et al.*, 2018]. Les questions de l'exposition humaine dans les logements, d'une part, et du transfert vers l'environnement aquatique via les eaux usées, d'autre part, se posent alors. Les risques pour la santé concernent des allergies [HAHN *et al.*, 2010; AERTS *et al.*, 2017], des effets sur la fertilité ou l'augmentation de risques de cancer [SAILLENFAIT *et al.*, 2015; VAN MAELE-FABRY *et al.*, 2019]. Les risques pour l'environnement sont des effets délétères sur les organismes aquatiques et la diffusion de l'antibiorésistance [WIECK *et al.*, 2016; PEREIRA et TAGKOPOULOS, 2019; MAILLARD et PASCOE, 2024].

Les eaux grises constituent un traceur des activités domestiques [DESHAYES *et al.*, 2017; OTENG-PEPRAH *et al.*, 2018]. Étudier leur contamination permet de connaître les substances auxquelles les usagers sont exposés, d'évaluer la contribution des apports domestiques aux flux transitant au sein du réseau d'assainissement [DESHAYES *et al.*, 2017], et donc *in fine* de pouvoir faire le lien entre les usages de produits domestiques et les rejets urbains au milieu aquatique récepteur. Ces dernières années, un intérêt croissant a été porté à la mesure des contaminants organiques dans les eaux grises [DONNER *et al.*, 2010; HERNÁNDEZ LEAL *et al.*, 2010; DESHAYES *et al.*, 2017; OTENG-PEPRAH *et al.*, 2018], car la réutilisation des eaux grises est l'une des solutions permettant de réduire la consommation d'eau potable et donc de lutter contre les pénuries d'eau

[OTENG-PEPRAH *et al.*, 2018]. De nombreux micro-polluants ont été quantifiés dans les eaux grises, mais les études se sont principalement concentrées sur les substances prioritaires de la directive cadre sur l'eau (2000/60/CE) [DONNER *et al.*, 2010; DESHAYES *et al.*, 2017], sur les produits pharmaceutiques et de soins personnels [HERNÁNDEZ LEAL *et al.*, 2010]. À notre connaissance, il n'existe que peu de données dans la littérature concernant la contamination des eaux grises en biocides, même si les biocides ont été identifiés comme potentiellement présents dans ces eaux du fait de leur présence dans les formulations des produits ménagers [ERIKSSON *et al.*, 2002]. Une seule étude a étudié le devenir des produits ménagers dans les eaux grises et a permis de quantifier les benzalkoniums (BAC) jusqu'à 10 µg/L [BUTKOVSKIY *et al.*, 2016]. La connaissance de la contamination des eaux grises par les biocides permettrait de mesurer l'utilisation de ces substances dans les activités domestiques, et donc d'avoir une approximation de l'exposition humaine pendant ces activités. Ces données permettraient également d'évaluer la contribution des sources domestiques à la contamination des milieux récepteurs. Enfin, ces connaissances sont nécessaires pour évaluer le risque associé à la réutilisation des eaux grises, en particulier l'effet des biocides sur les traitements biologiques des eaux ou le risque pour le sol et les cultures dans le cas d'une réutilisation pour l'irrigation.

De plus, coupler l'étude de la qualité des eaux grises à une étude des usages domestiques des produits contenant des biocides et des pratiques associées permet d'étudier la réception des messages d'information sur les effets des biocides et les modalités de réduction à la source de cette contamination. Via l'exposition humaine et le risque pour la santé, la qualité des environnements intérieurs peut être un vecteur de sensibilisation des usagers pour un changement de pratiques et une réduction à la source des substances biocides domestiques. En effet, comme le démontre la bibliographie sur le sujet de la qualité de l'air intérieur [GUILLEUX, 2011; LE BOURHIS, 2019] et comme nous l'avons montré dans le projet Cosmet'eau [DEROUBAIX *et al.*, 2018] à propos des controverses autour de certains conservateurs dans les produits cosmétiques et de soins corporels, l'environnement domestique apparaît comme un médium intéressant pour une sensibilisation aux questions sanitaires et dans une moindre mesure aux enjeux environnementaux. Peu d'études se sont pour l'instant intéressées aux usages domestiques de substances biocides [AUBURTIN *et al.*, 2005; TESSIER *et al.*, 2023; NUNEZ *et al.*, 2024]. AUBURTIN *et al.* [2005] ont cherché à caractériser les

usages des biocides et les risques associés en France, et ont démontré que les biocides ne constituent pas un risque identifié, pouvant induire une modification des opinions et des pratiques de consommation. TESSIER *et al.* [2023] ont mené une enquête nationale (Pesti'Home, porté par l'Anses) pour quantifier les usages domestiques de substances, connues comme phytopharmaceutiques, par les ménages, soulignant un usage important de ces produits (trois quarts des ménages du panel). Plus récemment, NUNEZ *et al.* [2024] ont étudié la présence de biocides dans les produits domestiques courants en Australie en consultant des sites Internet de vente en ligne de produits ménagers, cosmétiques et pharmaceutiques. Ils ont mis en évidence la forte présence de benzalkoniums dans les produits du quotidien et s'interrogent sur les risques induits d'antibiorésistance.

Dans ce contexte, et au regard de la multiplication des messages visant à modifier les comportements dans leur espace domestique (*via* la qualité de l'air intérieur ou les sensibilisations à des pratiques plus respectueuses de l'environnement), nos objectifs sont (i) d'améliorer les connaissances sur les usages domestiques de biocides et la perception des risques qu'en ont les usagers afin de définir des leviers d'actions et moyens à mettre en œuvre pour une réduction à la source; et (ii) d'évaluer la contamination des eaux grises en substances biocides qui peuvent être considérées comme un proxy des usages et de l'exposition, et le point de départ de rejets vers le milieu aquatique récepteur. Les 29 substances biocides étudiées dans cet article (sur les 337 substances biocides référencées par l'Agence européenne des produits chimiques²) sont issues d'une priorisation menée sur la base des usages courants de biocides dans l'habitat, de leur (éco)toxicité et de leur présence dans l'environnement [PAIJENS *et al.*, 2020a]. Cette liste a été complétée par certains pyrèthroïdes, benzoylurées, l'acétamipride et le fipronil du fait de leurs usages pour lutter contre les nuisibles, en particulier les anti-termite, dont le réchauffement climatique élargit la zone de contamination. Les substances choisies sont : deltaméthrine (DMT), bifenthrine (BFT), cyperméthrine (CPMT), perméthrine (PMT), tébuconazole (TEB), thiabendazole (THB), propiconazole (PPC), cybutryne (CBY), terbutryne (TB), terbuthylazine (TBZ), acétamipride (ACE), fipronil (FIP), mécoprop (MCP), diuron (DIU), diflufenazuron (DFB), hexaflumuron (HFU), isoproturon (IPU), carbendazime (CBZ), butylcarbamate d'iodopropynyle (IPBC), benzisothiazolinone (BIT), 5-chloro-2-méthyl-4-isothiazolin-3-one ou chlorométhylisothiazolinone (CMIT), méthylisothiazolinone (MIT), 4,5-dichloro-2-n-octyl-4-isothiazolin-3-one ou dichlorooctylisothiazolinone (DCOIT), octylisothiazolinone (OIT), chlorure d'alkyl-(C12)-benzyltriméthylammonium (BAC-C12), chlorure d'alkyl-(C14)-benzyltriméthylammonium (BAC-C14), chlorure d'alkyl-(C16)-benzyltriméthylammonium (BAC-C16), chlorure d'alkyl-(C18)-benzyltriméthylammonium (BAC-C18), (aussi appelés chlorures de benzalkonium ou benzalkoniums), bromure et chlorure de didécyltriméthylammonium (DDAB/DDAC).

linone (BIT), 5-chloro-2-méthyl-4-isothiazolin-3-one ou chlorométhylisothiazolinone (CMIT), méthylisothiazolinone (MIT), 4,5-dichloro-2-n-octyl-4-isothiazolin-3-one ou dichlorooctylisothiazolinone (DCOIT), octylisothiazolinone (OIT), chlorure d'alkyl-(C12)-benzyltriméthylammonium (BAC-C12), chlorure d'alkyl-(C14)-benzyltriméthylammonium (BAC-C14), chlorure d'alkyl-(C16)-benzyltriméthylammonium (BAC-C16), chlorure d'alkyl-(C18)-benzyltriméthylammonium (BAC-C18), (aussi appelés chlorures de benzalkonium ou benzalkoniums), bromure et chlorure de didécyltriméthylammonium (DDAB/DDAC).

1. Usages domestiques de substances biocides : enquête et sociologie des pratiques

L'objectif de cette partie est d'étudier les usages domestiques de substances biocides en se basant sur une méthodologie à plusieurs échelles. À l'échelle nationale, les bases de données de vente, liées à chaque réglementation en fonction des usages, ont été interrogées. Ces données étant difficiles à comparer et à relier aux usages domestiques, une enquête sur les formulations des produits vendus en magasins (grandes surfaces et magasins de bricolage) a été menée. Enfin, à l'échelle micro-sociale, des entretiens avec des particuliers volontaires ont permis d'obtenir des informations sur leurs pratiques et leur perception des risques.

1.1. Recherche d'informations dans les bases de données nationales de consommation

Plusieurs bases de données nationales ont été consultées pour la liste des 29 substances priorisées : la base de données nationale SIMMBAD (maintenant BIOCID³) qui liste les quantités de produits biocides mis sur le marché en France qui contiennent la substance biocide (voir Figure 1); la base de données de vente des phytopharmaceutiques par la Banque nationale des ventes distributeurs (BNVD⁴) qui liste les achats et ventes de substances actives phytopharmaceutiques en France (figure 2); la base de données de l'Agence nationale de sécurité du médicament et des produits de santé (ANSM⁵) des quantités de substances vendues par les laboratoires aux officines et établissements de santé; la base de données de produits de consommation Mintel⁶ qui liste les substances présentes dans les formulations

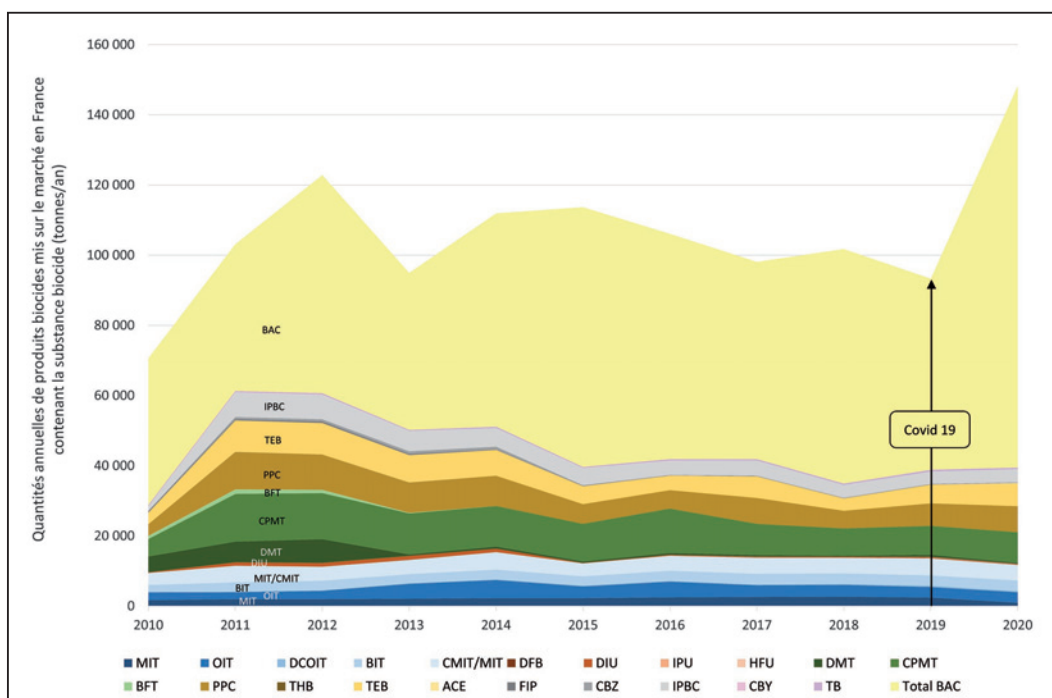
² Base de données ECHA (<https://echa.europa.eu/fr/scip>)

³ Base de données BioCID : <https://www.helpdesk-biocides.fr>

⁴ BNVD : <https://ventes-produits-phytopharmaceutiques.eaufrance.fr>

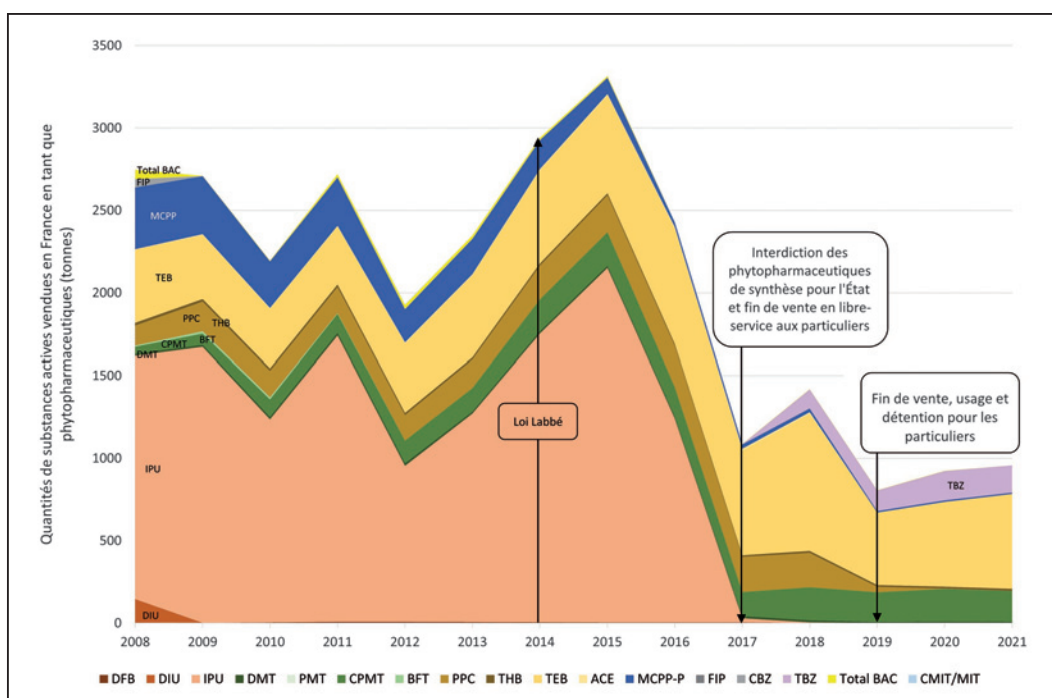
⁵ ANSM : <https://ansm.sante.fr>

⁶ MINTEL : <https://www.mintel.com>



Source SIMMBAD

Figure 1. Évolution des quantités annuelles de produits biocides mis sur le marché en France et contenant la substance biocide entre 2010 et 2020

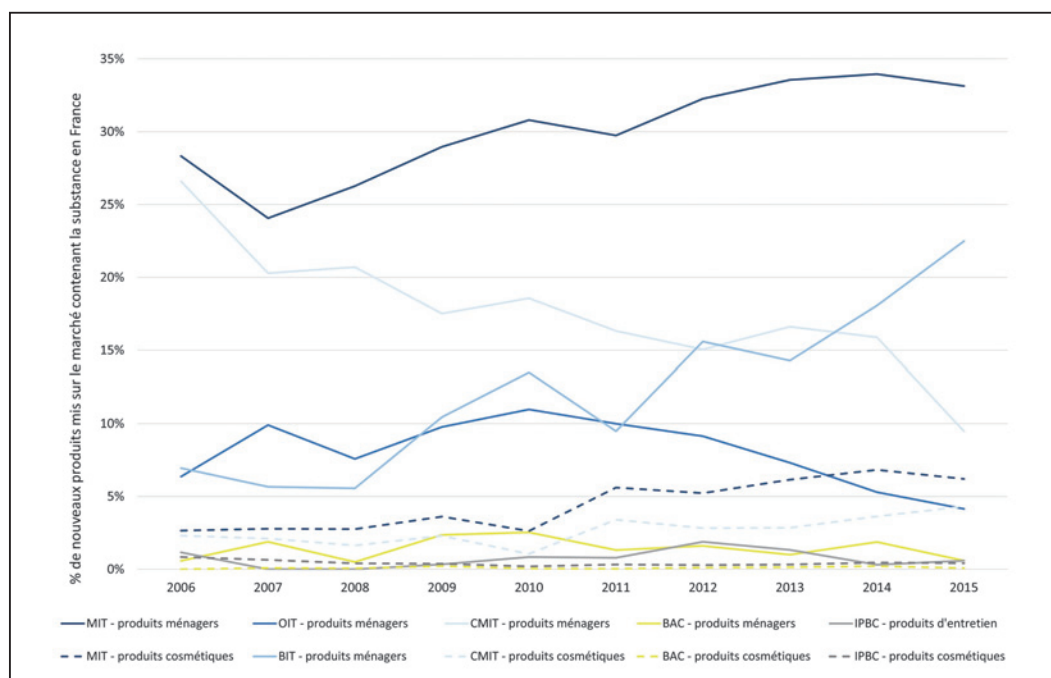


Source BNVD

Figure 2. Évolution des quantités de substances actives de phytopharmaceutiques vendues en France entre 2008 et 2021

nouvellement mises sur le marché, entre autres, de cosmétiques et de produits ménagers (figure 3); et la base de données de l'Agence nationale du médicament vétérinaire (ANMV) sur les substances contenues dans les médicaments vétérinaires autorisés en France.

La figure 1 présente l'évolution des quantités de produits biocides mis sur le marché en France entre 2010 et 2020 et contenant 28 des 29 substances sélectionnées (les données pour la perméthrine n'ont pas été récupérées). Elle met en évidence, pour les usages bio-



Source Mintel

Figure 3. Évolution du pourcentage de nouveaux produits mis sur le marché qui contiennent les substances biocides sélectionnées dans le cas des produits ménagers (traits pleins) et des produits cosmétiques (pointillés) entre 2006 et 2015

cides, l'importance de la famille des ammoniums quaternaires (benzalkoniums et DDAB), présents dans 58 % des produits (en masse) sur cette période, des familles des isothiazolinones et des azoles, présents dans 12 % des produits (en masse), et de la cyperméthrine qui est présente dans 10 %. L'IPBC est lui présent dans 4 % des produits. L'évolution temporelle montre une augmentation des tonnages de biocides au cours du temps, avec une première augmentation jusqu'à 2012, puis une deuxième augmentation en 2019. L'augmentation de 2019 concerne essentiellement les benzalkoniums utilisés comme désinfectants et peut être mise en lien avec la crise de la Covid-19, tendance qui a été montrée dans la littérature [HORA et al., 2020; ZHENG et al., 2020; MAHONEY et al., 2021; MOHAPATRA et al., 2023].

La figure 2, qui montre l'évolution des ventes des 29 substances biocides sélectionnées en tant que phytopharmaceutiques en France entre 2008 et 2021, montre un profil différent de substances par rapport à la figure 1. L'isoproturon est prédominant jusqu'en 2017, année de son interdiction, puis une répartition majoritaire est observée, entre 2019 et 2021, entre le tébuconazole (57 % des 29 substances), la cyperméthrine (21 %) et le thiabendazole (17 %). Cette figure illustre une baisse notable d'utilisation des 29 substances sélectionnées au cours du temps pour les usages phytopharmaceutiques avec en particulier l'interdiction du diuron (2008) et de l'isoproturon (2017), puis l'application pro-

gressive de la loi Labbé [LOI N° 2014-110]. Cette loi publiée en 2014 vise à réduire l'usage des produits phytopharmaceutiques de synthèse en France en interdisant leurs usages par les établissements publics à partir de 2017, puis en élargissant cette interdiction au grand public en 2019.

Concernant les usages dans les produits pharmaceutiques, très peu des molécules sélectionnées dans notre recherche sont mentionnées dans la base de données de l'ANSM : les benzalkoniums, la perméthrine et la méthylisothiazolinone. Ces usages concernent la désinfection, la contraception ou la lutte contre certaines infections de peau. Les quantités de substances actives vendues en officine entre 2010 et 2021 varient peu pour les benzalkoniums, environ 1 tonne par an. La perméthrine a été vendue autour de 20 kg par an entre 2010 et 2014, puis sa vente augmente aux alentours de 300 kg par an. La méthylisothiazolinone n'a été vendue, d'après cette base de données, que jusqu'en 2011 et seulement quelques kilogrammes par an. Nous pouvons noter que l'ordre de grandeur de substances vendues annuellement en France dans des médicaments (quelques kilogrammes à quelques milliers de kilogrammes) est beaucoup plus faible que pour les autres usages (millions de kilogrammes pour les phytopharmaceutiques ou les produits biocides, même en rapportant les quantités de produits biocides aux quantités de substances actives biocides). Cela peut s'expliquer par les modes d'action

et les voies d'exposition qui diffèrent, les médicaments étant en contact direct avec la peau ou bien ingérés.

La figure 3 montre les tendances d'utilisation dans les produits ménagers et cosmétiques des substances sélectionnées entre 2006 et 2015. Les benzalkoniums, les isothiazolinones et l'IPBC sont principalement concernés par ces usages. La famille des isothiazolinones est, parmi les substances étudiées, la plus présente dans les compositions : dans plus d'un quart des produits ménagers et dans 7 % des produits cosmétiques nouvellement mis sur le marché en 2015. L'évolution pluriannuelle de la présence de chaque substance permet d'avoir une idée des tendances concernant les compositions des produits cosmétiques et d'entretien. Par exemple, la méthylisothiazolinone passe de 2 à 7 % entre 2006 et 2015 pour les cosmétiques tandis que la chlorométhylisothiazolinone passe de 26 à 10 % dans les produits ménagers au profit de la benzisothiazolinone (7 à 23 %). L'utilisation des benzalkoniums et de l'IPBC semble plus anecdotique en nombre de produits concernés.

Enfin, la base de données de l'ANMV concernant les substances présentes dans les médicaments vétérinaires autorisés en France mentionne cinq substances de notre liste : fipronil (245 médicaments), perméthrine (93), deltaméthrine (26), cyperméthrine (2) et thiabendazole (1). Si trois de ces substances sont utilisées pour les animaux d'élevage comme les bovins ou les poissons (deltaméthrine, cyperméthrine, thiabendazole), les usages sur les animaux domestiques sont aussi présents avec les chiens et les chats (fipronil, perméthrine, thiabendazole). Pour les usages vétérinaires, il n'a pas été possible d'obtenir d'information quantitative.

Ces bases de données fournissent des informations intéressantes sur l'évolution des usages, en lien parfois avec la réglementation, mais elles récoltent des données très disparates (en quantité de substance ou de produit fini), sur une base déclarative des vendeurs dans des unités parfois différentes (L et kg), et avec des risques d'oubli ou de doublons soulignés, pour la base SIMMBAD, par la saisine de l'Anses [ANSES, 2022]. Il est donc difficile de comparer les usages entre eux, c'est pourquoi nous avons mené une enquête directement sur les lieux d'achat des produits domestiques, dans les supermarchés et magasins de bricolage.

1.2. Enquête sur la formulation des produits du quotidien en magasins

Afin d'évaluer la présence des 29 substances biocides dans les produits du quotidien à destination des particuliers, des enquêtes ont été menées sur les compositions des produits vendus dans différentes enseignes

de grande distribution et de bricolage. L'enquête a consisté en l'analyse des compositions de tous les produits vendus en magasin sur la base de leurs étiquettes ou fiches de sécurité pour vérifier la présence d'une ou plusieurs des 29 substances biocides sélectionnées. L'enquête a été menée en plusieurs étapes : rayons produits ménagers d'un supermarché de centre-ville ($n = 560$ produits, 2021), rayons produits ménagers et cosmétiques d'un supermarché en zone périurbaine ($n = 455$, 2022), magasins de bricolage ($n = 2\,475$, 2022 puis $n = 2\,500$, 2024). Les catégories enquêtées sont : soin corporel ($n = 337$), produits ménagers ($n = 432$), produits pour lessive ($n = 248$), produits pour vaisselle ($n = 104$), désinfectants ($n = 42$), lingettes ($n = 37$), produits insecticides ($n = 128$), produits phytopharmaceutiques ($n = 45$), matériaux de bricolage dont les peintures ($n = 3\,034$), les enduits ($n = 76$), sous-couche ($n = 81$), les produits de traitement ($n = 1\,285$), les colorants ($n = 122$), et autres ($n = 19$).

La figure 4 synthétise les résultats de l'enquête par substances trouvées dans les produits recensés tandis que le tableau I les synthétise par types de produits. Environ deux tiers (63 %) des produits contiennent au moins une des substances d'intérêt. Les isothiazolinones sont les substances les plus présentes, dans au moins 58 % des produits recensés. L'IPBC est présent dans 3 % des produits. Les autres dans moins de 1 % des produits. Les forts pourcentages de présence des isothiazolinones sont à nuancer par le fait que la moitié des produits enquêtés sont des peintures, du fait de leur variété de gamme et de couleurs en rayon, et qu'elles contiennent des isothiazolinones pour 81 % d'entre elles. Les autres substances ont des usages plus spécifiques.

Si l'on regarde en détail par types de produits, les peintures (82 % des peintures contiennent une des 29 substances biocides), les enduits (78 %), les colorants pour peinture (82 %) sont les produits qui contiennent le plus de substances biocides sélectionnées avec les produits de traitement (62 %), les désinfectants (62 %) et les lingettes (62 %). Les peintures, enduits, sous-couches contiennent majoritairement des isothiazolinones, un peu d'IPBC et de la terbutryne. Les produits ménagers, de vaisselle et de lessive, les désinfectants et les lingettes contiennent majoritairement des ammoniums quaternaires (BAC et DDAC) et des isothiazolinones ; les produits de soin corporel quelques isothiazolinones et l'IPBC. Il est à noter, dans le cas des phytopharmaceutiques, que les substances identifiées (isothiazolinones) sont utilisées en tant que conservateurs et non comme substances actives, ce qui est en accord avec la réglementation (loi Labbé). Les produits de traitement

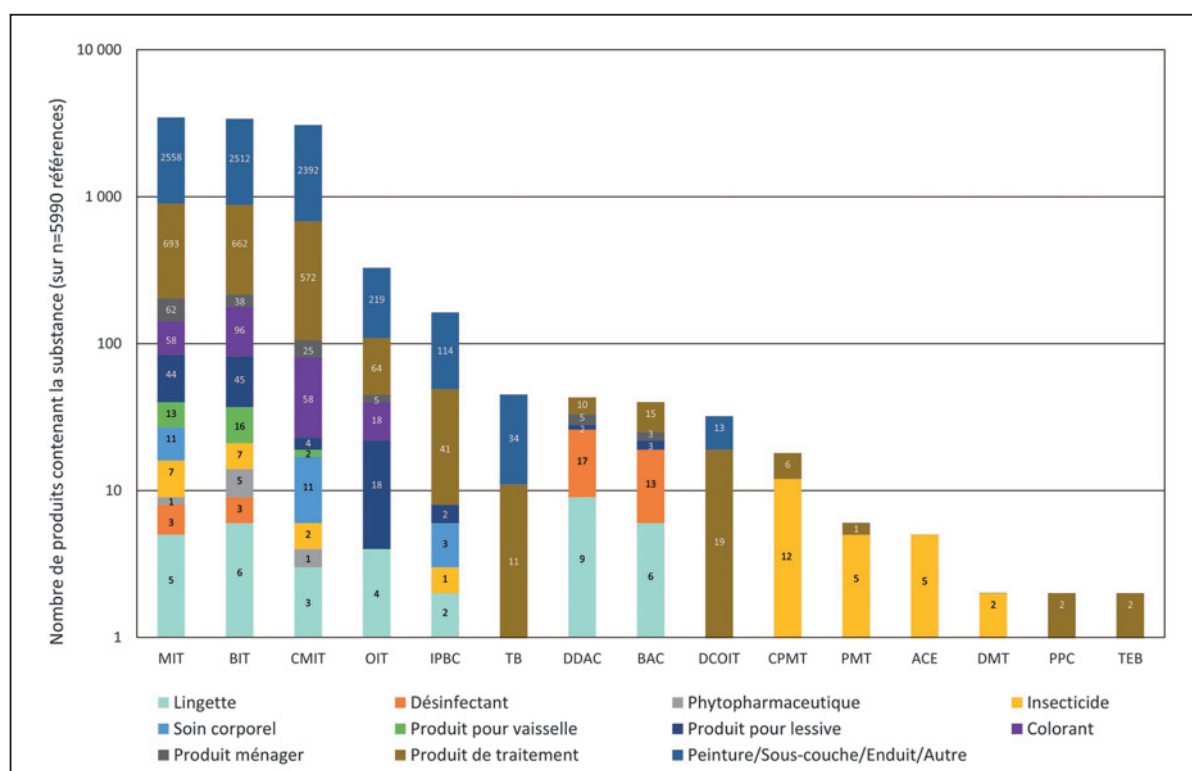


Figure 4. Nombre de produits recensés contenant les substances biocides d'intérêt sur n = 5 990 références (échelle logarithmique)

Catégorie	Nombre de produits (n = 5 990)	Nombre de produits avec au moins une des 29 substances biocides	Substances présentes
Peinture	3034	2501	MIT (2451) + BIT (2406) + CMIT (2292) + OIT (216) + IPBC (114) + TB (33) + DCOIT (13)
Produit de traitement	1285	800	MIT (693) + BIT (662) + CMIT (572) + OIT (64) + IPBC (41) + DCOIT (19) + BAC (15) + TB (11) + DDAC (10) + CPMT (6) + PPC (2) + TEB (2) + PMT (1)
Produit ménager	432	76	MIT (62) + BIT (38) + CMIT (25) + DDAC (5) + OIT (5) + BAC (3)
Soin corporel	337	14	CMIT (11) + MIT (11) + IPBC (3)
Produit pour lessive	248	74	BIT (45) + MIT (44) + OIT (18) + CMIT (4) + BAC (3) + DDAC (2) + IPBC (2)
Insecticide	128	31	CPMT (12) + BIT (7) + MIT (7) + ACE (5) + PMT (5) + CMIT (2) + DMT (2) + IPBC (1)
Colorant	122	100	BIT (96) + CMIT (58) + MIT (58) + OIT (18)
Produit pour vaisselle	104	18	BIT (16) + MIT (13) + CMIT (2)
Sous-couche	81	53	BIT (50) + MIT (48) + CMIT (47) + OIT (1)
Enduit	76	59	MIT (59) + BIT (56) + CMIT (53) + OIT (2) + TB (1)
Phytopharmaceutique	45	5	BIT (5) + CMIT (1) + MIT (1)
Désinfectant	42	26	DDAC (17) + BAC (13) + BIT (3) + MIT (3)
Lingette	37	23	DDAC (9) + BAC (6) + BIT (6) + MIT (5) + OIT (4) + CMIT (3) + IPBC (2)
Autre	19	0	

Tableau I. Présence des substances biocides d'intérêt dans les produits commerciaux classés par usages

synthétisent différents usages et contiennent donc une liste de substances diverses, majoritairement des isothiazolinones à nouveau, puis de l'IPBC et des ammoniums quaternaires.

Les informations tirées de cette enquête en matière de substances biocides sont que les isothiazolinones, et dans une moindre mesure les ammoniums quaternaires, sont les familles les plus utilisées avec une grande diversité d'usages (produits ménagers, produits de traitement, matériaux, etc.). Les méthyl-, chlorométhyl- et benz-isothiazolinones sont les plus utilisés des isothiazolinones, tandis que la dichlorooctylisothiazolinone est la moins utilisée (trouvée dans la formulation de seulement 32 produits sur 5 990) avec uniquement usage dans les produits de traitement et matériaux. L'IPBC est présent dans les peintures et les traitements, et aussi dans les produits de soin corporel et les lingettes. Les pyréthri-noïdes sont essentiellement présents dans les insecticides et dans quelques produits de traitement, tandis que les azoles et la terbutryne sont uniquement dans des produits de traitement et matériaux. En plus de l'imprégnation et du traitement des matériaux du bâti, les substances biocides sont donc aussi dans les produits d'usage domestique courant, en particulier les lingettes et les désinfectants (plus de 60 % de ces catégories contiennent au moins une substance biocide). Ces résultats complètent et confirment les données de la littérature [PAIJENS *et al.*, 2022; TESSIER *et al.*, 2023; NUNEZ *et al.*, 2024] et les interrogations de bases de données décrites dans le paragraphe 1.2. Elles sont d'un grand intérêt pour expliquer par la suite les données de contamination dans l'environnement intérieur, mais restent limitées pour comparer quantitativement les usages.

1.3. Enquête auprès des usagers

Nous avons dans un second temps développé le volet sociopolitique de l'enquête afin de mieux comprendre comment les individus déterminent leur choix de produits contenant des biocides lors de l'acte d'achat [HALKIER, 2020] et, une fois achetés, comment ces produits sont utilisés et stockés. L'enjeu *in fine* est d'identifier de quels compromis ressortent l'utilisation de produits biocides et les pratiques associées [SHOVE *et al.*, 2012] et si ces pratiques sont susceptibles d'évoluer et sous quelles conditions. Cet objectif nous amène donc à étudier comme un continuum les actes d'achat et de consommation, et les pratiques, en reliant les apports de la sociologie de la consommation [EVANS, 2019], de la sociologie des pratiques [SHOVE *et al.*, 2012] et de la sociologie interactionniste [GOFFMAN, 1983].

1.3.1. Comprendre la circulation et l'utilisation des biocides dans l'espace domestique au travers d'une méthodologie qualitative

Nous avons appliqué une méthodologie qualitative [BRÉCHON, 2011] basée sur deux séries d'entretiens semi-directifs. La première s'est déroulée dans la métropole de Bordeaux et a permis d'interroger 13 personnes sur leurs actes d'achat et leurs pratiques. Les principaux objectifs de cette recherche étaient : comment au quotidien les individus choisissent-ils les produits ménagers, cosmétiques, insecticides, etc. ? Sur quels critères leur attention se focalise-t-elle ? Quels produits contenant des biocides les individus utilisent-ils au quotidien ? Déterminer les pratiques au regard des usages (comment et pourquoi les produits sont-ils choisis et utilisés ?). Définir la perception des risques associés à ces produits et à leurs usages, et les marges de manœuvre possibles vers l'utilisation d'autres types de produits plus respectueux de l'environnement. Ce dernier volet avait pour but de comprendre comment se structurent d'éventuels changements de pratiques, s'ils s'inscrivent dans le temps et s'il faut les considérer comme des effets du « gouvernement des conduites » [DUBUISSON-QUELLIER, 2016], c'est-à-dire une conséquence de l'intervention de la puissance publique pour orienter les comportements individuels au nom de l'intérêt collectif. Un atelier collectif a été par ailleurs organisé au sein d'un centre social pour recueillir la parole en groupe de personnes plutôt âgées sur les questions de l'usage de produits contenant des biocides dans leur quotidien. Au travers de cette méthode normalisée dans les sciences sociales [FREY et FONTANA, 1991], il s'agissait également de déterminer comment des connaissances sur la toxicité des produits et la construction socio-historique de certains de nos gestes quotidiens dédiés à l'hygiène étaient appropriées et discutées.

Un deuxième travail d'enquête a été réalisé à Champs-sur-Marne (ville située en Île-de-France, à l'est de Paris). Il s'est également appuyé sur 15 entretiens semi-directifs qui se sont plus focalisés sur le lien entre l'air intérieur et le bien-être, via notamment l'usage de produits contenant des biocides permettant d'atteindre un air intérieur agréable. Il explorait également l'usage de certains artefacts sociotechniques dans la mesure où les bâtiments intègrent des dispositifs visant à favoriser le renouvellement de l'air intérieur (ventilations naturelles ou mécaniques contrôlées), mais qui restent souvent mal connus dans leur fonctionnement et peuvent faire l'objet de pratiques allant à l'encontre de leur bon fonctionnement. À chaque fois, l'objectif était de constituer un corpus le plus contrasté possible en matière d'âge, de statut

d'occupation du logement (propriété, location, colocation), de type de logements (logement social, en copropriété ou d'un pavillon) de genre et de catégories socioprofessionnelles. De cette manière, l'ambition poursuivie était d'avoir une vision élargie des pratiques, de commencer à faire émerger des tendances et de possibles liens entre qualité de l'environnement intérieur et biocides, de caractériser les perceptions du risque, et de mettre en lumière les bricolages incessants des pratiques d'entretien faits de préoccupations largement contradictoires : obtenir le « propre », se prémunir d'effets potentiellement dangereux pour la santé de l'utilisation de certains produits, répondre aux injonctions environnementales [DENZIN et LINCOLN, 2000], etc. Dans le cadre d'une approche qualitative, l'objectif n'était donc pas d'avoir un « échantillon représentatif » à la manière d'une enquête quantitative supposant le recours à des questionnaires. Les approches quantitatives visent en effet à produire des données standardisées sur une population importante (représentative du territoire/de la population investiguée) « témoignant de l'ensemble des qualités [de la population globale] » [HAMEL, 2000] pour « rechercher par traitement statistique des régularités dans la variation des opinions ou des attitudes entre groupes d'individus » [PIN, 2023].

Les entretiens permettent quant à eux de comprendre les représentations sociales associées à une pratique, à un objet et à un phénomène et leurs variations, de saisir la singularité de l'expérience que des individus ou groupes d'individus ont vis-à-vis des biocides, d'expliquer des pratiques et des représentations sociales attachées à ces pratiques, dans le but d'élaborer des idéaux types. La construction des résultats passe par une analyse détaillée des entretiens un par un, puis entre eux, via un travail collectif de codage des entretiens [AYACHE et DUMEZ, 2011]. Le codage est un travail d'étiquetage thématique et sémiologique, ainsi que de réflexion sur des systèmes possibles de ressemblances et de dissemblances dans les propos.

1.3.2. Usages et pratiques d'hygiène et d'entretien dans l'espace domestique : un ancrage socioculturel

L'usage des substances biocides dans l'espace domestique se réalise au travers d'un ensemble de produits couramment utilisés pour l'entretien de l'espace intérieur, l'hygiène personnelle, le soin des plantes et des animaux, les travaux intérieurs. Si une quantification des achats en magasin est en partie possible, tout comme une qualification des produits qui entrent dans les ménages, il est intéressant de comprendre comment ses produits sont utilisés (les pratiques qui y sont associées)

et la perception d'un danger potentiel pour soi ou l'environnement que peuvent ressentir les utilisateurs. L'enquête montre dans un premier temps que le choix des produits et les façons de les utiliser sont issus de leur socialisation primaire : les individus héritent de leurs parents et de leur éducation des manières de penser le propre et de l'obtenir [COURT *et al.*, 2016; DURKHEIM, 2022]. La socialisation secondaire qui s'effectue au travers de l'offre commerciale à laquelle les individus sont exposés, les conseils des membres de la famille ou des proches, les recommandations de médecins, les messages des médias, des réseaux sociaux ou des campagnes publiques [BARREY *et al.*, 2016] jouent un rôle non négligeable, fait de compromis incessants entre les croyances propres à l'individu, ses pratiques et celles des autres. Outre ces effets de transmission à l'échelle des individus, les représentations du sale et du propre à l'échelle des sociétés [DOUGLAS, 2005] et sur le temps long doivent être considérées : « Cette histoire souligne combien la frontière entre le sain et le malsain se déplace avec le temps. Les seuils de ce qui est physiquement toléré, l'apparition du malade ou du dangereux changent avec la civilisation. » [VIGARELLO, 1993]. De fait, cet environnement socioculturel est également déterminant dans les pratiques quotidiennes et dans la manière dont les individus considèrent qu'un espace est propre et peut être présenté à l'autre. En cela, la recherche d'un intérieur sain et propre n'est pas seulement liée à une conception personnelle et personnalisée de l'entretien, mais à une intériorisation de pratiques et à des processus d'interactions directes, indirectes ou symboliques [GOFFMAN, 1983; HARGREAVES, 2011].

« L'efficacité » est évoquée par une majorité d'interviewés, pour rendre compte de leurs choix de produits ménagers. Toutefois, elle n'est pas un facteur qui suffit à expliquer à lui seul les choix opérés par les individus, car elle est liée aux résultats attendus par chacun (odeur, brillance, blancheur), à la commodité d'usage et, dans beaucoup de cas, au temps que les produits permettent de gagner. En effet, un produit qui permet de ne pas avoir à recurer, à frotter, donne du temps pour se consacrer à d'autres activités. Ce « temps gagné » est d'ailleurs un argument fréquemment mis en avant par les producteurs [GROSS, 1987].

La notion de bricolage empruntée à LEVI-STRAUSS [2008] permet de rendre compte du processus individuel par lequel celle/celui qui « fait le ménage » procède à un grand nombre de choix : choix des produits, choix dans les manières de les utiliser et de les stocker, de les mélanger ou pas lors de la phase d'usage.

L'habitant qui utilise ces produits évolue dans un monde sensible, il fait l'expérience sensible des produits qu'il emploie, sur les surfaces qu'il nettoie, mais aussi sur son propre corps (qui réagit au contact). Fort de ce qu'il a acquis au cours de sa socialisation, mais aussi de sa propre expérience du ménage, il met en relation, via la pensée, des bouts de réalité et se forge, de l'intérieur, une pratique, à la manière du bricoleur, sans projet préalablement pensé. On peut ainsi repérer des modes d'usages des produits ménagers, dans lesquels interviennent la régularité d'utilisation, la quantité utilisée et l'effort à fournir pour effacer les traces d'une possible contamination. On constate aussi que les quantités sont employées en fonction des pièces de la maison, qu'elles ne revêtent pas toutes les mêmes représentations du sale et de la salissure. Les toilettes par exemple méritent systématiquement une plus grande attention en termes à la fois de temps et de travail de « décontamination ». À ce titre, les individus ne font pas formellement la distinction entre nettoyage des surfaces et des objets du quotidien (« ensemble des opérations permettant d'assurer un niveau de propreté, d'aspect, de confort et d'hygiène et faisant appel à des actions diversifiées employées de manière combinée ou non : chimique, mécanique, temps d'action » [SQUINAZI et LEFRANC, 2021]) et désinfection (« opération permettant d'éliminer, de tuer, de désactiver les micro-organismes ou virus » [SQUINAZI et LEFRANC, 2021]). Ce qui les rend peu sensibles à distinguer les opérations visant à obtenir le propre des autres opérations visant à obtenir le sain et une décontamination, et, de fait, peu attentifs à la distinction entre les produits dont l'action chimique tue ou non le vivant jugé problématique.

Si les produits utilisés ne sont pas d'emblée considérés comme pouvant poser des problèmes de santé, une certaine sensibilité au risque pour la santé peut néanmoins transparaître par l'adoption de certains gestes. L'association des produits biocides à un risque direct pour la santé se rattache souvent à des expériences négatives [BALDASSARE et KATZ, 1992] vécues avec certains produits, comme des allergies, des irritations et des intoxications. De même, des stratégies de mise en distance de certains produits, potentiellement dangereux (utilisation d'outils comme un balai essoreur ou de gants au moment de l'usage) peuvent émerger. Même si le rangement des produits contenant des biocides répond avant tout à une logique fonctionnelle et opérationnelle (c'est-à-dire à proximité de leur lieu d'usage) [AUBURTIN *et al.*, 2005], des modalités de rangement spécifique se font jour pour certains produits et ne s'expliquent pas seulement par la présence de

publics vulnérables (enfants, animaux domestiques). Ainsi, les produits insecticides sont-ils plus souvent éloignés de tout contact direct et font l'objet d'un suremballage. Par ailleurs, des produits déterminés justifient une utilisation parcimonieuse, laquelle traduit une appréhension d'une certaine toxicité pour des produits bien particuliers. Les modes d'usages peuvent ainsi varier dans le temps en fonction d'une perception différenciée du risque. Le type de produits et les quantités utilisées varient en fonction de la parentalité. Ils peuvent changer plus ou moins radicalement et plus ou moins définitivement dès lors que les enfants grandissent. Cette conscience relative du risque découle d'un processus de « production du consentement » [BOUDIA et JAS, 2019; BOULLIER, 2019] via la science réglementaire et le contrôle de la mise sur le marché. De fait, les usagers, bien que n'ayant pas de connaissance précise des mécanismes d'autorisation de mise sur le marché, considèrent que si les produits sont disponibles dans les rayons, leurs incidences sur la santé sont minimes, car contrôlées par des structures expertes.

Le risque environnemental est lui peu présent dans les discours des individus, sauf pour ceux ayant été sensibilisés aux enjeux environnementaux et ayant amorcé une démarche de transition vers l'usage de produits considérés comme moins nocifs.

De multiples cheminements amènent à l'adoption de nouveaux produits et potentiellement à des changements de pratiques allant vers une moindre utilisation de produits contenant des biocides : les alertes concernant certaines substances vont progressivement questionner les usages de certains produits ; les discussions avec des amis ou des parents ayant changé leurs pratiques ; l'implication dans des associations environnementales, caritatives, etc. (même si celles-ci ne visent pas expressément un objet environnemental associé à l'entretien du logement). Tout changement de comportement est le résultat ici encore de bricolages entre les pratiques existantes et les nouvelles connaissances qu'on acquiert. Ils peuvent également faire l'objet de négociations entre les membres du foyer, même si la personne en charge de l'entretien du logement peut prendre des décisions sans vraiment consulter les autres membres du foyer. Ils ne sont pas gravés dans le marbre une fois pour toutes ; des petites modifications dans l'environnement intérieur ou extérieur, dans le parcours de vie peuvent conduire à des « retours en arrière ».

Par ailleurs, ces résultats montrent qu'il est difficile de segmenter les résultats obtenus en fonction de variables sociodémographiques telles que l'appartenance à une catégorie socioprofessionnelle. Certes, le prix des

produits est une variable particulièrement déterminante pour effectuer les achats pour les publics ayant le moins de ressources socio-économiques. Au demeurant, l'adoption de produits moins impactant environnementalement peut aussi résulter d'une volonté économique (prix moins élevé du vinaigre blanc par rapport aux produits détergents). Les variables socioculturelles liées à la socialisation primaire et au contexte dans lequel les individus ont acquis et discuté la notion de ce qui est propre et la manière de l'obtenir semblent plus déterminantes, même si une enquête quantitative sur la base de ces premiers enseignements paraît nécessaire.

Il s'avère en tout état de cause important de prendre en compte les rationalités différentes des consommateurs et utilisateurs de produits (en reliant les différents actes) et en proposant des outils d'accompagnement au changement de comportement, différenciés au regard des capacités et des représentations des types d'individus [DE KROM, 2009]. Il pourrait par ailleurs être utile de mieux sensibiliser les ménages aux différences entre désinfection et nettoyage, au regard de leurs attentes, d'une part, et de l'hygiène nécessaire à l'entretien usuel d'un espace intérieur, d'autre part.

2. Contamination des espaces intérieurs domestiques tracée par la contamination des eaux grises

La contamination en substances biocides des environnements intérieurs est invisible. Afin de pouvoir communiquer avec les consommateurs des liens entre leurs usages, leur exposition et les émissions vers l'environnement, il est important de produire des données concrètes de la présence de ces substances dans leur intérieur et dans les eaux urbaines. Des campagnes de mesure dans les eaux grises ont donc été menées. Le choix de cette matrice vient du fait qu'elle est à la fois un traceur des usages domestiques, un traceur indirect de l'exposition et une des voies d'introduction des contaminations domestiques dans le réseau d'assainissement et à terme dans le milieu récepteur après passage par une STEP [DESHAYES et al., 2017].

2.1. Échantillonnage et analyse de 29 substances biocides dans les eaux grises

Entre juillet et août 2023, vingt échantillons d'eaux grises ont été prélevés dans sept logements franciliens chez des volontaires selon un protocole développé précédemment [DESHAYES et al., 2017]. Chaque volontaire a rempli un questionnaire sur ses habitudes, les caractéristiques du logement, les produits qu'il utilise et sa

perception des risques liés aux usages de substances biocides dans son quotidien. Des échantillons d'eau de douche ($n = 4$), de lave-linge ($n = 4$), de nettoyage de sols ($n = 5$), de vaisselle manuelle ($n = 6$) et de lavabo ($n = 1$, échantillon moyen sur 24 h, ont été analysés pour quantifier les 29 substances biocides dans la phase dissoute avec une méthode adaptée de celle développée par PAIJENS et al. [2020b]. 100 mL d'échantillon filtré sur filtres en fibres de verre à $0,7 \mu\text{m}$ (GF/F Whatman) sont extraits sur phase solide SPE (cartouche Chromabond HR-X) et analysés par chromatographie liquide couplée à la spectrométrie de masse en tandem (LC-MS/MS, Acquity UPLC - triple quadrupôle, Waters) avec un étalonnage interne.

2.2 Contamination des eaux grises

Les concentrations en substances biocides dans les eaux grises sont présentées en *figure 5* pour chaque type d'eau grise et chaque logement. Les *tableau II* (molécules quantifiées dans plus de la moitié des échantillons) et *tableau III* (molécules quantifiées dans moins de la moitié des échantillons) synthétisent les fréquences de détection et quantification ainsi que les concentrations dans l'ensemble des 20 échantillons (sous forme de 1^{er} décile (d10), médiane (d50) et dernier décile (d90) ou sous forme de min – max).

Vingt-huit molécules ont été quantifiées dans au moins un des 20 échantillons. La cybutryne était toujours en dessous des limites de quantification. Six substances ont une fréquence de quantification supérieure à 75 % : benzalkoniums C14 et C16, DDAB/DDAC, IPBC, octylisothiazolinone et diuron. Cinq substances sont quantifiées entre 50 et 75 % des échantillons. Il s'agit du BAC-C12 (70 %), du tébuconazole (65 %), de la méthylisothiazolinone (70 %), de la perméthrine (50 %) et du fipronil (50 %).

La *figure 5* montre des profils de substances quantifiées qui varient selon les types d'eaux grises et selon les habitations dans chaque type d'eau. Les eaux dans lesquelles le plus de substances sont quantifiées sont les eaux de lavage de sols (25 substances) qui intègrent à la fois les produits utilisés pour le ménage, mais aussi les poussières qui accumulent la pollution intérieure et extérieure, et qui sont contaminées en substances biocides [MARTINACHE et al., 2022]. Vingt-cinq substances ont également été quantifiées dans les eaux de machine à laver, 18 dans les eaux de douche, 17 dans les eaux de vaisselles manuelles et sept dans les eaux de lavabo. Huit substances sont communes à chaque échantillon de nettoyage des sols (BAC-C12, BAC-C14, BAC-C16, DDAB/DDAC, TEB, CBZ, ACE, DIU), deux

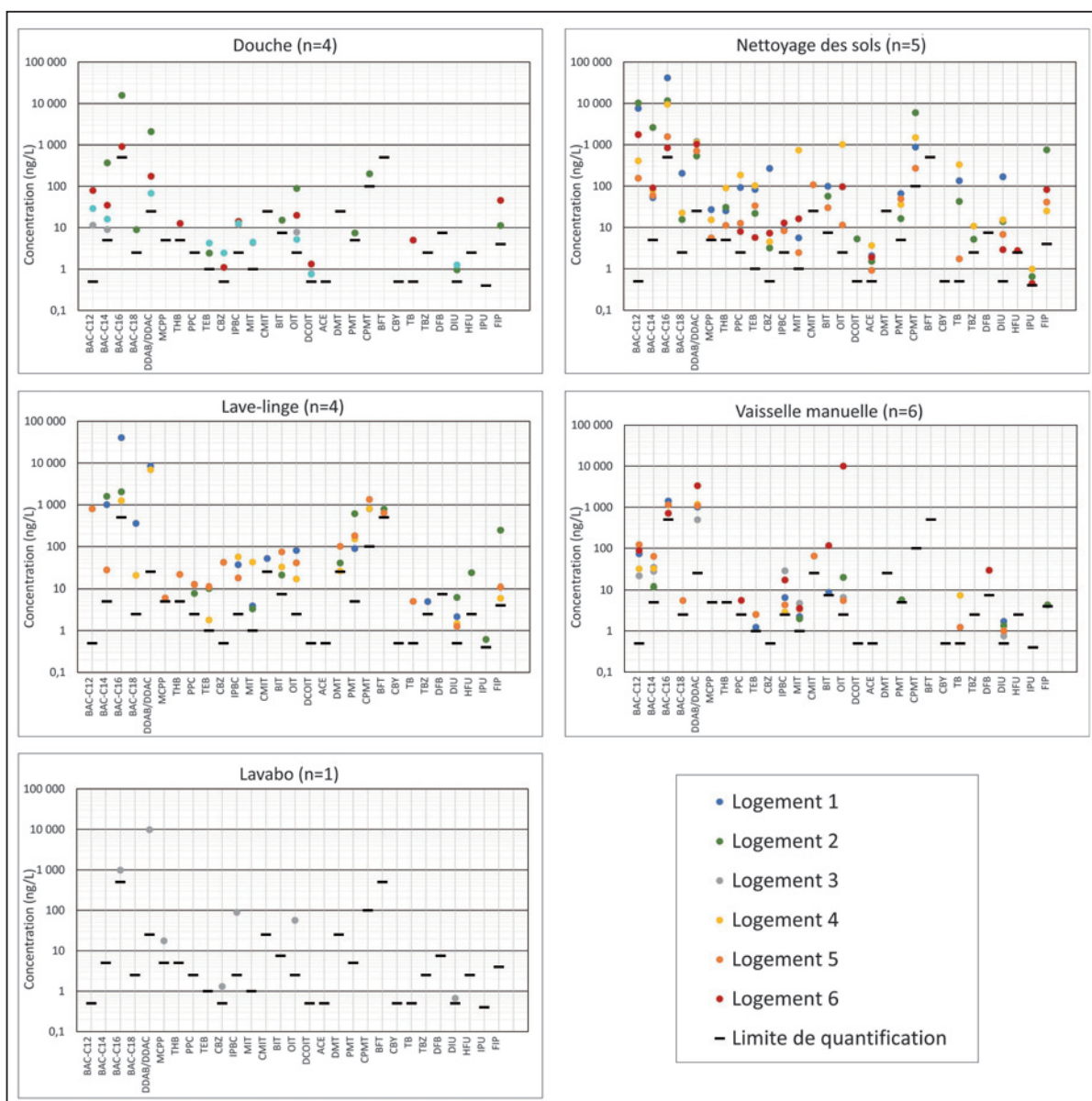


Figure 5. Concentrations (ng/L) en substances biocides dans les eaux grises pour chaque type d'eau grise, pour les 7 logements échantillonnés (échelle logarithmique, les limites de quantification sont représentées avec des tirets noirs)

n = 20	f detect	f quanti	d10 (ng/L)	d50 (ng/L)	d90 (ng/L)
BAC-C12	100 %	70 %	24	110	5800
BAC-C14	100 %	85 %	14	53	1200
BAC-C16	100 %	75 %	780	1400	31000
DDAB/DDAC	100 %	80 %	330	1100	7600
TEB	95 %	65 %	1,9	5,7	73
IPBC	90 %	75 %	5,2	13	49
MIT	95 %	70 %	2,3	4,1	35
OIT	100 %	80 %	6,1	30	560
PMT	90 %	50 %	7,3	58	230
DIU	100 %	85 %	0,88	1,5	14
FIP	75 %	50 %	5,8	33	300

Tableau II. Fréquences de détection (f detect)/quantification (f quanti) et concentrations d10, médiane et d90 en substances biocides dans les eaux grises (n = 20) pour les substances quantifiées dans plus de 50 % des échantillons (1^{er} décile (d10), médiane (d50) et dernier décile (d90))

n = 20	f detect	f quanti	min (ng/L)	max (ng/L)
BAC-C18	100 %	35 %	5,5	360
MCCP	70 %	25 %	5,6	27
THB	80 %	30 %	11	89
PPC	70 %	35 %	5,6	180
CBZ	85 %	45 %	1,1	270
CMIT	40 %	15 %	52	110
BIT	50 %	45 %	8,7	120
DCOIT	70 %	20 %	0,75	5,3
ACE	95 %	25 %	0,92	3,6
DMT	55 %	15 %	26	100
CPMT	95 %	40 %	200	5 900
BFT	70 %	10 %	640	790
CBY	75 %	0 %	–	–
TB	90 %	40 %	1,2	330
TBZ	100 %	15 %	4,9	11
DFB	45 %	5 %	29	29
HFU	55 %	10 %	2,8	24
IPU	100 %	20 %	0,45	0,98

Tableau III. Fréquences de détection (f detect)/quantification (f quanti) et concentrations min et max en substances biocides dans les eaux grises (n = 20) pour les substances quantifiées dans moins de 50 % des échantillons

pour les douches (BAC-C14, OIT) et deux pour les machines à laver (PMT, DIU). *A contrario*, certaines substances sont quantifiées uniquement dans un type d'eau : l'ACE dans les eaux de nettoyage des sols, la DMT et la BFT dans les eaux de machine à laver et enfin le DFB dans les eaux de vaisselle manuelle.

Les échantillons pour le nettoyage des sols sont les plus concentrés pour 18 substances, ceux de la vaisselle manuelle pour trois substances, la machine à laver pour cinq substances et les eaux de lavabo pour deux. Les concentrations les plus élevées ont été mesurées pour le BAC-C16 (42 000 ng/L) dans les eaux grises de nettoyage des sols et dans les machines à laver (41 000 ng/L). Les différences de concentrations entre substances dans les eaux grises peuvent s'expliquer par la fonction des substances dans les produits : les ammoniums quaternaires sont des substances actives alors que les isothiazolinones sont des conservateurs (donc en concentrations plus faibles).

Les résultats de l'étude de marché (paragraphe 1.2) et de l'enquête auprès des habitants mettent en évidence la prédominance dans les produits commercialisés des isothiazolinones et des ammoniums quaternaires. La MIT ainsi que les quatre ammoniums quaternaires sont quantifiés dans plus de 70 % des échantillons, ce qui est en accord avec ces résultats. Plus précisément, si l'on compare les résultats de l'enquête sur les substances

biocides utilisées dans les produits reliés à chaque type d'eau (produits lessiviels, produits cosmétiques, produits vaisselle, produits ménagers), aux substances quantifiées dans les eaux grises correspondantes (lave-linge, douche, vaisselle, lavage de sol), il apparaît que d'autres sources contaminent les échantillons. Par exemple, pour les cosmétiques, l'enquête a montré que seuls les MIT, CMIT et IPBC sont présents dans ces produits, or d'autres substances sont quantifiées dans les eaux de douche, les BAC principalement. Ces BAC pourraient provenir des produits ménagers/désinfectants, qui en contiennent pour presque la moitié d'après notre enquête, et qui sont utilisés pour nettoyer la salle de bains. Les autres substances quantifiées peuvent provenir des matériaux environnants ou d'une contamination extérieure. D'après notre enquête, les produits lessiviels contiennent très majoritairement des isothiazolinones et pour quelques-uns des BAC et de l'IPBC, or les eaux de lave-linge contiennent un grand nombre d'autres substances (voir figure 5). Une imprégnation des habits lors de la fabrication ou du transport, mais aussi par accumulation de la contamination extérieure, est suspectée, comme cela a été montré en contexte agricole [MU *et al.*, 2024] ou pour d'autres substances [BI *et al.*, 2015]. Les produits vaisselle, eux, ne contiennent d'après notre enquête que des MIT, BIT et CMIT, or les eaux de vaisselle sont contaminées en benzalkoniums,

IPBC, OIT, etc. Ces substances peuvent venir des produits ménagers utilisés en cuisine, éventuellement des aliments, du transfert depuis d'autres usages intérieurs ou de la contamination de l'environnement intérieur par l'extérieur [MU et al., 2024].

Les réponses aux questionnaires permettent d'affiner certaines interprétations : le quatrième logement présente le niveau le plus élevé de MIT (740 ng/L) qui peut être lié à l'utilisation de peintures. La concentration maximale de cyperméthrine mesurée dans le deuxième logement atteint 5 900 ng/L et peut s'expliquer par la présence de moquette dans le bâtiment, car il est utilisé comme antimicrobiens dans certains tissus [BERGER-PREISS et al., 2002]. Toujours dans le deuxième logement, la concentration maximale en fipronil (760 ng/L) peut être corrélée à l'utilisation de pipettes antipuces pour le chat domestique, produits susceptibles de contenir du fipronil qui se propage lors de son application [DUFOUR 2017].

La comparaison entre l'enquête sur les usages des substances biocides (paragraphe 1) et la contamination des eaux grises (paragraphe 2) met en évidence l'intérêt de l'enquête pour expliquer les concentrations observées, mais également la difficulté de le faire finement, en particulier dans le cas de substances multi-usages du fait de la variabilité forte des concentrations d'une part, et d'autre part de l'imprégnation globale des environnements intérieurs en ces substances [MARTINACHE et al., 2022], soit par des usages à l'intérieur de l'habitation, soit par transfert depuis l'extérieur [MU et al., 2024].

3. Discussion sur les risques de transfert vers le milieu récepteur et les possibilités de changer de pratiques

3.1. Risques de transfert au milieu récepteur des substances biocides utilisées dans la sphère domestique

Les eaux grises sont acheminées vers les stations d'épuration via les eaux usées. Afin d'estimer l'importance des eaux grises comme voie d'introduction des substances biocides dans le réseau d'assainissement, et *in fine* dans le milieu aquatique récepteur, une estimation préliminaire des flux journaliers de substances biocides produits par les eaux grises a été calculée et comparée aux flux à l'aval du réseau d'assainissement (pour les substances quantifiées dans au moins 30 % des échantillons). Ces estimations ont été faites sur l'exemple de la station d'épuration de Seine Centre, gérée par le service public de l'assainissement francilien (Siaap), pour laquelle nous avons des données de concentrations

pour six campagnes d'échantillonnage par temps sec en 2018 pour 18 substances [PAIJENS et al., 2021]. Le flux dans les eaux grises a été calculé comme la somme des flux par usage, c'est-à-dire les concentrations moyennes de chaque type d'eaux grises pondérées par le débit moyen journalier attaché à cet usage, selon la méthode proposée par DESHAYES et al. [2017]. Le flux entrant dans la STEP a été évalué en multipliant les concentrations en substances biocides par le volume d'eau traité par la STEP le jour du prélèvement, et en les divisant par le nombre d'équivalent-habitant (EH) moyen ayant alimenté cette STEP ce jour-là, estimé sur la base des flux d'azote total Kjeldahl (NTK) en supposant qu'un EH produit 15 gNTK/j (selon la directive européenne 91/271/EEC de 1991). Il est à noter que le volume d'eaux grises considéré dans le calcul représenterait 24 % du volume d'eau arrivant à la STEP. Les flux de substances biocides émis dans les eaux grises ont été évalués à : DIU (0,060 µg/j/hab) < CBZ (0,086 µg/j/hab) < PPC (0,11 µg/j/hab) < TEB (0,20 µg/j/hab) < MIT (0,23 µg/j/hab) < TB (0,32 µg/j/hab) < BIT (0,37 µg/j/hab) < THB (0,46 µg/j/hab) < BAC-C18 (0,70 µg/j/hab) < PMT (1,1 µg/j/hab) < FIP (1,24 µg/j/hab) < IPBC (1,5 µg/j/hab) < OIT (2,8 µg/j/hab) < BAC-C12 (3,1 µg/j/hab) < BAC-C14 (8,3 µg/j/hab) < CPMT (16 µg/j/hab) < DDAB/DDAC (119 µg/j/hab) < BAC-C16 (340 µg/j/hab). Pour les substances communes aux données eaux grises et usées⁷ et quantifiées dans plus de 30 % des échantillons, la proportion de substances biocides venant des eaux grises varie fortement en fonction des substances. Les apports de l'octylisothiazolinone et de l'IPBC sont du même ordre de grandeur que les flux en entrée de STEP suggérant que les eaux grises pourraient constituer la source principale. Quatre substances se trouvent entre 9 % et 11 % (BAC-C14, thiabendazole, tébuconazole, terbutryne). Cinq substances contribuent à moins de 1 % du flux. Ce n'est pas étonnant pour la carbendazime et le diuron pour lesquels aucun usage domestique n'a été trouvé lors des enquêtes décrites dans le paragraphe 1. Ça l'est plus pour le BAC-C12 et la méthylisothiazolinone dont l'omniprésence dans les produits du quotidien a été mise en évidence dans nos enquêtes. Deux hypothèses peuvent être avancées : d'autres sources sur le bassin versant (rejets industriels, désinfection d'hôpitaux ou locaux recevant du public, etc.) ou une représentativité insuffisante de la variabilité des pratiques d'usages par nos échantillons d'eaux grises

⁷ Les flux en entrée de STEP n'ont pas pu être estimés pour certaines substances pour lesquelles nous n'avions pas de données en 2018 : le BAC-C16, BAC-C18, DDAB/DDAC, PPC, CMIT, DMT, PMT, CPMT, BIF, DFB, HFU, FIP.

dont le nombre est relativement faible ou de la variabilité des concentrations en entrée de STEP. Il est à noter que ces estimations constituent une première approche, limitée par le nombre d'échantillons (six pour les eaux usées et maximum six par type d'eau grise) et par le fait que les campagnes aient eu lieu à six ans d'intervalle.

Ces premières estimations de flux de substances biocides permettent de mettre en évidence une contribution (plus ou moins importante) des eaux grises à la contamination des eaux usées en aval du réseau d'assainissement. Or ces substances sont peu éliminées de la filière eau en STEP d'après nos précédentes recherches [PAIJENS *et al.*, 2021] et ensuite rejetées au milieu récepteur [PAIJENS *et al.*, 2022].

3.2. Renouveler la boîte à outils des politiques publiques : de l'encapacitation à un pouvoir d'agir collectif

La recherche a permis ici de caractériser les produits contenant des substances biocides vendus en magasin, de suivre une partie de leur trajectoire au domicile jusqu'à leur rejet ou émission. L'omniprésence de substances biocides dans les produits du quotidien, lesquels sont utilisés pour une multiplicité d'usages, souligne l'importance de faire des mesures *in situ* dans l'environnement domestique intérieur, pour avoir des notions réelles et quantitatives d'exposition, d'autant que les bases de données nationales de mise sur le marché ou de vente contiennent des informations non homogènes sur les usages et difficilement comparables entre elles. Nos campagnes de mesure ont révélé la présence des substances biocides dans les eaux grises, à des concentrations très variables en fonction des volontaires et de leurs pratiques, tandis que les évaluations de flux ont montré un transfert vers le milieu récepteur avec une contribution encore à affiner par un échantillon plus large et représentatif.

Cette recherche montre l'utilité d'une recherche interdisciplinaire alliant le regard des sciences humaines et sociales et celui de la chimie de l'environnement, et la possibilité de poser de nouvelles questions en intégrant la trajectoire des produits contenant des substances biocides et leur agentivité (capacité des objets et des environnements à influencer sur les relations sociales et à modeler le processus de prise de décision, voire l'action des individus [BATTENTIER et KUIPERS, 2020]) dans les espaces de consommation et domestiques [HARRIS *et al.*, 2010]. De fait, les intermédiaires chimiques que sont les produits utilisés ont une influence sur nos pratiques, mais aussi nos manières de concevoir le propre (ce qui

est décapé, sans trace, brillant), le sain (la non-contamination *via* la médiation d'agents chimiques luttant contre les pathogènes) et notre consentement à l'effort. Cette interdisciplinarité permet de déterminer le niveau d'imprégnation en biocides des environnements domestiques, d'une part, et dans quelle mesure les risques associés à la présence de biocides dans l'espace du logement et au transfert vers les milieux récepteurs sont conscientisés, d'autre part. En s'intéressant aux relations existantes entre produits, situations d'achat, usages et pratiques, on est plus à même de comprendre ce que les individus recherchent à atteindre *via* des produits, la manière dont ils sont induits à penser que les produits choisis vont leur permettre d'atteindre un résultat compatible avec leur conception socioculturellement construite du propre et du non-contaminé. On comprend également comment les produits qu'ils ont à leur disposition vont faire l'objet de détournement ou de mise à distance en fonction de l'expérience sensorielle qu'ils en font et on peut alors percevoir où se situent les possibilités de changements. À ce titre, réduire à la source les substances biocides ne demande pas seulement de décortiquer les pratiques, d'en comprendre l'impact, mais de trouver des solutions de « substitution », d'évolution des pratiques qui peuvent faire sens dans le contexte socioculturel.

Parmi ces solutions, on évoque souvent les outils incitatifs promouvant le changement de comportement dont l'encapacitation (capacité des personnes et des communautés à exercer un contrôle sur la définition et la nature des changements qui les concernent [RAPAPORT, 1987]) des citoyens par l'information. Un « citoyen éclairé » pourrait procéder à des choix d'achat et adopter des pratiques plus vertueuses ; il étofferait son pouvoir d'agir [GOBERT *et al.*, 2023]. Mais c'est oublier que nos gestes quotidiens d'entretien et d'hygiène se construisent sur la base de différentes socialisations et de processus socioculturels forts, dont l'individu ne peut pas se détacher si facilement, sans une évolution concomitante des procédés marketing et des représentations typifiés du propre. En outre, la sensibilisation nécessite d'avoir des données concrètes d'exposition (ce qu'apporte notre recherche), ainsi que créer d'autres supports de médiations pour permettre l'appropriation de la recherche et mieux faire correspondre les savoirs expérientiels et profanes, les pratiques et les connaissances scientifiques. L'information et la sensibilisation aux pratiques écologiques constituent un outil d'action qui a déjà montré ses limites dans d'autres domaines [AMMANN *et al.*, 2023]. Nous sommes encore profondément imprégnés des doctrines hygiénistes, visant à lutter contre les « germes », éliminer les

microbes, via les actes de nettoyage, le recours à différents produits, etc. ; cette imprégnation ne rend pas encore complètement audible la question de la régulation des autres entités invisibles qui ont envahi l'environnement intérieur (biocides, microplastiques, etc.) [WAKEFIELD-RANN *et al.*, 2018]. Parfois des petits gestes s'esquissent (limiter la dose, restreindre l'usage de certains produits comme la Javel à des usages spécifiques ou localisés comme les toilettes, etc.), mais ils restent limités.

L'invitation au changement de pratiques via la mise en place d'ateliers (type *Do it Yourself*) et autres dispositifs visant à prendre le contrôle de son exposition dans les univers que l'on maîtrise potentiellement plus facilement (l'univers domestique) ne peut totalement s'abstraire de ce que cherchent les consommateurs et utilisateurs des produits contenant des substances biocides, à savoir l'impression de ne pas perdre trop de temps et de préserver son confort et la sécurité de son environnement intime, que constitue le logement [SERFATY-GARZON, 2003; CONNON *et al.*, 2018]. Il apparaît en outre que les individus sont soumis à une pression de toutes parts pour modifier leurs habitudes, sans que la recherche estime encore réellement le poids de cette charge mentale (changer la manière de se déplacer, de s'alimenter, de consommer et de jeter, de travailler, etc.), très différente selon la disponibilité des individus, leurs capitaux économiques et socioculturels, et le poids des héritages socioculturels.

Au regard de nos résultats, mais aussi de la littérature [SUNSTEIN, 2017; STRASSHEIM, 2021], le travail sur les individus visant à comprendre, à changer, voire « hygiéniser » leurs pratiques [GAUTIER, 1996; REIGNER, 2015] nécessite d'être différencié au regard de typologies adéquates, car tous les outils d'incitation, d'information n'ont pas le même impact en fonction des capacités culturelles, sociales et économiques des individus, et d'être combinés à d'autres outils d'action publique/privée. Les leviers de changement de comportements dans l'espace domestique ne se situent pas seulement au niveau de l'individu dans la mesure où les changements de pratiques ne relèvent pas seulement de l'individu et de sa « volonté », mais d'un ensemble d'interactions, d'une part, et de l'organisation de vie quotidienne, d'autre part (en termes d'activités, de temps imparti pour effectuer les tâches, etc.).

C'est pourquoi il est nécessaire de mieux comprendre les liens entre les actes de consommation/achat de produits, leurs usages et les pratiques, ainsi que la manière dont ces gestes s'imbriquent dans des cultures du sale/du propre, du sain, des eaux domestiques et de l'air intérieur. Comprendre cette continuité ne peut se

faire sans interdisciplinarité, en même temps que ce travail induit à re-dessiner les modalités d'action envers les individus et plus globalement les ménages, en considérant le logement et l'environnement intérieur comme un tout sur lequel ils/elles peuvent agir pour leur santé. Plus encore, les politiques publiques visant à adresser le problème posé par l'exposition « acceptée », mais invisible aux biocides et le transfert des biocides vers le milieu récepteur doivent se décliner à toutes les étapes du cycle de vie de la substance et du produit (de la conception, de l'autorisation de mise sur le marché, de son utilisation, de son évacuation/rejet) et également se fonder des outils de régulation du marché, de meilleur accompagnement des choix de consommation par une réassurance sur l'atteinte des objectifs de propreté et de non-contamination.

Conclusion

Ce travail d'enquête interdisciplinaire à plusieurs échelles fournit la preuve de l'ubiquité des substances biocides dans une très large gamme de produits du quotidien de la sphère domestique et du peu de connaissances qu'en ont les usagers dont les choix d'achat reposent sur des habitudes basées sur la recherche d'efficacité et de propreté. La contamination chimique invisible leur apparaît peu ou pas comme une préoccupation et un risque tangible, justifiant d'écarter les substances de leur quotidien.

Cette pollution chimique a été rendue visible par l'échantillonnage et l'analyse d'eaux grises collectées chez des volontaires et fortement contaminées en substances biocides. Ces données mettent en lumière l'exposition des usagers aux substances biocides dans leur sphère domestique et le transfert depuis l'amont vers l'aval du réseau d'assainissement, et *in fine* vers le milieu aquatique récepteur. Ces substances étant en partie réfractaires aux traitements classiques en station d'épuration, la réduction à la source, par des modifications de pratiques, semble être un outil permettant de limiter à la fois l'exposition humaine et la dégradation de la qualité chimique des cours d'eau. Les entretiens menés dans ce travail ont permis de percevoir où se situent les possibilités de changement et les leviers d'action, en mettant en avant le contexte socioculturel dans la définition individuelle du « propre » ou du « sain », et la nécessité de trouver des solutions de « substitution » pour faire évoluer les pratiques. La réflexion a pour l'instant été portée essentiellement à l'échelle de l'individu et de ses pratiques, mais doit être élargie à d'autres instruments et mix de politiques publiques à mettre en

place et à diffuser pour atteindre une utilisation raisonnée et contrôlée des biocides.

Pour continuer ces travaux, il s'agira de prolonger et élargir la surveillance de l'imprégnation de l'environnement domestique (eaux grises, poussières sédimentées, air intérieur, etc.), pour objectiver la pollution, données nécessaires pour guider les prises de décision et contribuer à la sensibilisation des usagers. Puis l'effet de cette sensibilisation à la qualité de l'environnement intérieur pourrait être testé sur des sites pilotes. Une autre perspective de ces recherches serait d'étudier les différents outils d'action publique qui peuvent être utilisés afin de réduire à la source ou en bout de tuyau les émissions de substances biocides (politiques incitatives au changement de comportement; réglementation visant à interdire ou substituer les substances; actions de traitement en stations d'épuration; obligations induites dans la construction des bâtiments, etc.). Il s'agit d'étudier la pertinence et la complémentarité des outils selon leurs

échelles d'élaboration et/ou de mise en œuvre, qu'ils soient élaborés au niveau de l'État/de l'Union européenne ou qu'ils découlent des politiques publiques locales et d'en étudier les coûts.

Remerciements

Ces recherches ont été menées dans le cadre de différents projets de recherche : le programme OPUR (Observatoire francilien en hydrologie urbaine), financé par l'agence de l'eau Seine Normandie, le Siaap, les conseils départementaux du 77, 92, 93 et 94, et la Ville de Paris; le projet Biocid@Home financé par l'ANR (ANR-20-CE34-0001); le projet BiocidDust financé par Paris-Est Sup. Les auteurs souhaitent remercier Alessandros Arbarotti, Luana Serrano, Amandine Naprix, Clément Hamel et Zina Hammi pour leur contribution à l'acquisition des données. Les expérimentations ont été menées dans le cadre de la Plateforme Régionale d'Analyse Multi-Milieus des Micro-Contaminants (PRAMMICS) de l'OSU-Efluve.

Bibliographie

- AERTS O., GOOSSENS A., LAMBERT J., LEPOITTEVIN J.-P. (2017) : « Contact allergy caused by isothiazolinone derivatives: an overview of non-cosmetic and unusual cosmetic sources ». *European Journal of Dermatology*; 27(2) : 115–22.
- AMMANN J., ARBENZ A., MACK G., NEMECEK T., EL BENNI N. (2023) : « A review on policy instruments for sustainable food consumption ». *Sustainable Production and Consumption*; 36 : 338–53.
- ANSES (2022) : « Avis de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail relatif à l'interdiction de vente en libre-service de certaines catégories de produits biocides ».
- AUBURTIN G., LECOMTE J., MOREAU J. (2005) : *L'utilisation des biocides en milieu domestique et la perception des risques liés à cette utilisation dans une population française*. Rapport du projet PRIMEQUAL 2, 49 p.
- AYACHE M., DUMEZ H. (2011) : « Le codage dans la recherche qualitative une nouvelle perspective ? » *Le Libellio d'AEGIS*; 7(2 - Été) : 33–46.
- BALDASSARE M., KATZ C. (1992) : « The personal threat of environmental problems as predictor of environmental practices ». *Environment and Behavior*; 24(5) : 602–16.
- BARREY S., DUBUISSON-QUELLIER S., GOJARD S., PLESSZ M. (2016) : « Les effets du gouvernement sur les conduites. Le rôle des bifurcations des trajectoires de vie dans les changements de conduite de consommation ». Dans : S. Dubuisson-Quellier, ed. *Gouverner les conduites*. Coll. Académique. Presses de Sciences Po, Paris. 399–448.
- BATTENTIER A., KUIPERS G. (2020) : « Les intermédiaires techniques et l'agentivité des objets ». *Biens Symboliques / Symbolic Goods. Revue de sciences sociales sur les arts, la culture et les idées*. doi:10.4000/bssg.442
- BERGER-PREISS E., LEVSEN K., LENG G., IDEL H., SUGIRI D., RANFT U. (2002) : « Indoor pyrethroid exposure in homes with woollen textile floor coverings ». *International Journal of Hygiene and Environmental Health*; 205 : 459–72.
- BI C., LIANG Y., XU Y. (2015) : « Fate and transport of phthalates in indoor environments and the influence of temperature: A case study in a test house ». *Environmental Science and Technology*; 49(16) : 9674–81.
- BLANCHOU H., SCHOTT C., TALLEC G., QUEYREL W., GALLOIS N., HABETS F., et al. (2019) : « How should agricultural practices be integrated to understand and simulate long-term pesticide contamination in the Seine river basin? » *The Handbook of Environmental Chemistry*. Springer, Berlin, Heidelberg, 1–22.
- BOUDIA S., JAS N. (2019) : *Gouverner un monde toxique*. Éditions Quae, Versailles.
- BOULLIER H. (2019) : *Toxiques légaux : comment les firmes chimiques ont mis la main sur le contrôle de leurs produits*. La Découverte, Paris.
- BRÉCHON P. (2011) : *Enquêtes qualitatives, enquêtes quantitatives*. Presses universitaires de Grenoble, Grenoble.
- BRESSY A., PAIJENS C., TEDOLDI D., FRÈRE B., MAILLER R., ROCHER V., MOILLERON R. (2021) : « Transfert de biocides de la ville vers le milieu aquatique : exemple de l'agglomération parisienne » *TSM*; 12 : 47–91.
- BUTKOVSKAYA I., RIJNAARTS H.H.M., ZEEMAN G., HERNANDEZ LEAL L. (2016) : « Fate of personal care and household products in source separated sanitation ». *Journal of Hazardous Materials*; 320 : 427–34.
- CHOW R., SCHEIDEGGER R., DOPPLER T., DIETZEL A., FENICIA F., STAMM C. (2020) : « A review of long-term pesticide monitoring studies to assess surface water quality trends ». *Water Research X*; 9 : 100064.

- CONNON I., PRIOR J., FAM D. (2018) : « Danger from the outside in: resident perceptions of environmental contamination in home environments ». *Human Ecology Review*; 24(2) : 129–51.
- COURT M., BERTRAND J., BOIS G., HENRI-PANABIÈRE G., VANHÉE O. (2016) : « Qui débarrasse la table ? Enquête sur la socialisation domestique primaire ». *Actes de la Recherche en Sciences Sociales*; 5(215) : 72–89.
- DE KROM M.P.M. (2009) : « Understanding consumer rationalities: Consumer involvement in European food safety governance of avian influenza ». *Sociologia Ruralis*; 49(1) : 1–19.
- DENZIN N., LINCOLN Y. (2000) : « The discipline and practice of qualitative research ». In : *The handbook of qualitative research*. Sage Publications, Thousand Oaks.
- DEROUBAIX J.-F., CARRÉ, C., COULIBALI L., DE GOUVELLO B., NEVEU P., MOILLERON R., BRESSY A. (2018) : *Identification des mécanismes de changement de perceptions et de pratiques concernant les produits cosmétiques* ? Livrable 4.1 du projet Cosmet'eau.
- DESHAYES S., EUDES V., BIGOURIE M., DROGUET C., MOILLERON R. (2017) : « Alkylphenol and phthalate contamination of all sources of greywater from French households ». *Science of the Total Environment*; 599–600 : 883–90.
- DIRECTIVE 2001/83/CE du Parlement européen et du Conseil du 6 novembre 2001 instituant un code communautaire relatif aux médicaments à usage humain, *Journal officiel* n° L 311 du 28/11/2001 p. 0067 – 0128.
- DONNER E., ERIKSSON E., REVITT D. M., SCHOLE L., LÜTZHÖFT H.-C.H., LEDIN A. (2010) : « Presence and fate of priority substances in domestic greywater treatment and reuse systems ». *Science of the Total Environment*; 408(12) : 2444–51.
- DOUGLAS M. (2005) : *Risk and blame: essays in cultural theory*. Digital Paperback ed., reprint. Routledge, London.
- DUBUISSON-QUELLIER S. (2016) : *Gouverner les conduites*. Presses de Sciences Po, Paris.
- DUFOUR V. (2017) : *Identification des sources en pesticides en contexte urbain et développements d'échantillonneurs passifs de type POCIS : application à la métropole bordelaise* [thèse]. Université de Bordeaux.
- DURKHEIM É. (2022) : *Éducation et sociologie*. 11^e éd., révisée et complétée. PUF, Paris.
- ERIKSSON E., AUFFARTH K., HENZE M., LEDIN A. (2002) : « Characteristics of grey wastewater ». *Urban Water*; 4(1) : 85–104.
- EVANS D.M. (2019) : « What is consumption, where has it been going, and does it still matter? » *The Sociological Review*; 67(3) : 499–517.
- FREY J.H., FONTANA A. (1991) : « The group interview in social research ». *The Social Science Journal*; 28(2) : 175–87.
- GAUTIER C. (1996) : « À propos du gouvernement des conduites chez Foucault ». Dans : *La gouvernamentalité*. PUF. 19–33.
- GOBERT J., DEROUBAIX J.-F., ARBAROTTI A.E., SERRANO L., MOILLERON R., BRESSY A. (2023) : « Les biocides dans l'espace domestique : les pouvoirs d'agir sur l'environnement intérieur ». *L'Information Géographique*; 87 : 71–93.
- GOFFMAN E. (1983) : « The interaction order: American Sociological Association, 1982 Presidential Address ». *American Sociological Review*; 48(1) : 1–17.
- GROMAIRE M.C., VAN DE VOORDE A., LORGEUX C., CHEBBO G. (2015) : « Benzalkonium runoff from roofs treated with biocide products – In situ pilot-scale study ». *Water Research*; 81 : 279–87.
- GROSS B.L. (1987) : « Time scarcity : interdisciplinary perspectives and implications for consumer behavior ». *Research in Consumer Behavior*; 2(2) : 1–54.
- GUILLEUX C. (2011) : « Entre expertise et contestation : la problématisation de l'air intérieur comme nouvelle menace environnementale et sanitaire ». *Sciences Sociales et Santé*; 29 : 5–28.
- HAHN S., SCHNEIDER K., GARTISER S., HEGER W., MANGELSDORF I. (2010) : « Consumer exposure to biocides – identification of relevant sources and evaluation of possible health effects ». *Environmental Health*; 9(1) : 7.
- HALKIER B. (2020) : « Social interaction as key to understanding the intertwining of routinized and culturally contested consumption ». *Cultural Sociology*; 14(3) : 399–416.
- HAMEL J. (2000) : « À propos de l'échantillon. De l'utilité de quelques mises au point ». *Bulletin of Sociological Methodology/ Bulletin de Méthodologie Sociologique*; 67 : 25–41.
- HARGREAVES T. (2011) : « Practice-ing behaviour change: Applying social practice theory to pro-environmental behaviour change ». *Journal of Consumer Culture*; 11(1) : 79–99.
- HARRIS J., BROWN V.A., RUSSELL J. (2010) : *Tackling wicked problems: Through the transdisciplinary imagination*. Taylor & Francis. London.
- HERNÁNDEZ LEAL L., VIENO N., TEMMINK H., ZEEMAN G., BUISMAN C.J.N. (2010) : « Occurrence of xenobiotics in gray water and removal in three biological treatment systems ». *Environmental Science and Technology*; 44 : 6835–842.
- HORA P.I., PATI S.G., MCNAMARA P.J., ARNOLD W.A. (2020) : « Increased use of quaternary ammonium compounds during the SARS-CoV-2 pandemic and beyond: Consideration of environmental implications ». *Environmental Science & Technology Letters*; 7(9) : 622–31.
- JUNGINGER T., PAYRAUDEAU S., IMFELD G. (2023) : « Emissions of the urban biocide terbutryn from facades: The contribution of transformation products ». *Environmental Science and Technology*; 57(38) : 14319–29.
- KRESMANN S., AROKIA A.H.R., KOCH C., SURES B. (2018) : « Ecotoxicological potential of the biocides terbutryn, octhlinone and methylisothiazolinone: Underestimated risk from biocidal pathways? » *Science of the Total Environment*; 625 : 900–8.
- LE BOURHIS J.-P. (2019) : « Du privé au public et retour : les politiques de l'air intérieur entre régulation et responsabilisation ». *Environnement, Risques & Santé*; 18 : 318–22.
- LÉVI-STRAUSS C. (2008) : *La pensée sauvage*. Plon, 1962, réédition Pocket.
- LOI N° 2014-110 du 6 février 2014 visant à mieux encadrer l'utilisation des produits phytosanitaires sur le territoire national, publiée au *Journal officiel* le 08/02/2014.
- MAHONEY A.R., SAFAEE M.M., WUEST W.M., FURST A.L. (2021) : « The silent pandemic: Emergent antibiotic resistances following the global response to SARS-CoV-2 ». *iScience*; 24(4) : 102304.
- MAILLARD J.-Y., PASCOE M. (2024) : « Disinfectants and antiseptics: mechanisms of action and resistance ». *Nature Reviews Microbiology*; 22(1) : 4–17.
- MARTINACHE P., BONNAUD B., MOILLERON R., BRESSY A. (2022) : « Indoor dust contamination by biocides in French dwellings ». 17th International Conference on Indoor Air Quality and Climate, Indoor Air 2022. Kuopio, Finlande.
- MEREL S., BENZING S., GLEISER C., DI NAPOLI-DAVIS G., ZWIENER C. (2018) : « Occurrence and overlooked sources of

- the biocide carbendazim in wastewater and surface water ». *Environmental Pollution*; 239 : 512–21.
- MOHAPATRA S., YUTAO L., GOH S.G., NG C., LUHUA Y., TRAN N.H., GIN K.Y.-H. (2023) : « Quaternary ammonium compounds of emerging concern: Classification, occurrence, fate, toxicity and antimicrobial resistance ». *Journal of Hazardous Materials*; 445 : 130393.
- MU H., YANG X., WANG K., OSMAN R., XU W., LIU X., et al. (2024) : « Exposure risk to rural Residents: Insights into particulate and gas phase pesticides in the Indoor-Outdoor nexus ». *Environment International*; 184 : 108457.
- NUNEZ C., BAMERT R.S., LAMBERT K., SHORT F.L. (2024) : « Cleaning up our disinfectants: usage of antimicrobial biocides in direct-to-consumer products in Australia ». *Access Microbiology*; 6(2) : 000714.v3.
- OTENG-PEPRAH M., ACHEAMPONG M.A., DEVRIES N.K. (2018) : « Greywater characteristics, treatment systems, reuse strategies and user perception – A review ». *Water Air & Soil Pollution*; 229(8) : 255.
- PAIJENS C., BRESSY A., FRÈRE B., MOILLERON R. (2020a) : « Priorisation des biocides émis par les matériaux de construction en vue de leur surveillance dans le milieu aquatique ». *TSM*; 12 : 197–219.
- PAIJENS C., FRÈRE B., CAUPOS E., MOILLERON R., BRESSY A. (2020b) : « Determination of 18 biocides in both the dissolved and particulate fractions of urban and surface waters by HPLC-MS/MS ». *Water Air & Soil Pollution*; 231 : 210.
- PAIJENS C., BRESSY A., FRÈRE B., TEDOLDI D., MAILLER R., ROCHER V., NEVEU P., MOILLERON R. (2021) : « Urban pathways of biocides towards surface waters during dry and wet weathers: Assessment at the Paris conurbation scale ». *Journal of Hazardous Materials*; 402 : 123765.
- PAIJENS C., TEDOLDI D., FRÈRE B., MAILLER R., ROCHER V., MOILLERON R., BRESSY A. (2022) : « Biocidal substances in the Seine River: contribution from urban sources in the Paris megacity ». *Environmental Science: Water Research and Technology*; 8 : 2358–72.
- PALMA P., KÖCK-SCHULMEYER M., ALVARENGA P., LEDO L., BARBOSA I.R., LÓPEZ DE ALDA M., BARCELÓ D. (2014) : « Risk assessment of pesticides detected in surface water of the Alqueva reservoir (Guadiana basin, southern of Portugal) ». *Science of the Total Environment*; 488–489 : 208–19.
- PEREIRA B.M.P., TAGKOPOULOS I. (2019) : « Benzalkonium chlorides: uses, regulatory status, and microbial resistance ». *Applied and Environmental Microbiology*; 85(13).
- PIN C. (2023) : « L'entretien semi-directif ». *LIEPP Methods Brief / Fiches méthodologiques n° 3 du LIEPP*.
- RAPPAPORT J. (1987) : « Terms of empowerment/exemplars of prevention: toward a theory for community psychology ». *American Journal of Community Psychology*; 15(2) : 121–48.
- RÈGLEMENT (CE) N° 648/2004 du Parlement européen et du Conseil du 31 mars 2004 relatif aux détergents, *Journal officiel* du 8/04/2004, p. 1.
- RÈGLEMENT (CE) N° 1107/2009 du Parlement européen et du Conseil du 21 octobre 2009 concernant la mise sur le marché des produits phytopharmaceutiques et abrogeant les directives 79/117/CEE et 91/414/CEE du Conseil, *Journal officiel* du 24/11/2009, p. 1.
- RÈGLEMENT (CE) N° 1223/2009 du Parlement européen et du Conseil du 30 novembre 2009 relatif aux produits cosmétiques, *Journal officiel* du 22/12/2009, p. 59-209.
- RÈGLEMENT (UE) N° 528/2012 du Parlement européen et du Conseil du 22 mai 2012 concernant la mise à disposition sur le marché et l'utilisation des produits biocides, *Journal officiel* du 27/06/2012, p. 1.
- RÈGLEMENT (UE) N° 2019/6 du Parlement européen et du Conseil du 11 décembre 2018 relatif aux médicaments vétérinaires et abrogeant la directive 2001/82/CE, *Journal officiel* du 07/01/2019, p. 43-167.
- REIGNER H. (2015) : « Une gouvernementalisation néohygiéniste et néolibérale des conduites ». Dans : Boissonade J., ed. *La ville durable controversée. Les dynamiques urbaines dans le mouvement critique*. Editions Pétra. Pragmatismes. 171–195.
- SAILLENFAIT A.-M., NDIAYE D., SABATÉ J.-P. (2015) : « Pyrethroids: exposure and health effects – an update ». *International Journal of Hygiene and Environmental Health*; 218(3) : 281–92.
- SERFATY-GARZON P. (2003) : « Chez soi - Les territoires de l'intimité ». Dans : M. Segaud, J. Brun, J.-C. Driant, eds. *Dictionnaire critique de l'habitat et du logement*. Armand Colin. Paris, 65–69.
- SHOVE E., PANTZAR M., WATSON M. (2012) : *The dynamics of social practice: Everyday life and how it changes*. London. doi:10.4135/9781446250655
- SQUINAZI F., LEFRANC A. (2021) : « Désinfection des surfaces et Covid-19 ». *Environnement, Risques & Santé*; 20 : 295-303.
- STRASSHEIM H. (2021) : « Behavioural mechanisms and public policy design: Preventing failures in behavioural public policy ». *Public Policy and Administration*; 36(2) : 187–204.
- SUNSTEIN C.R. (2017) : « Nudges that fail ». *Behavioural Public Policy*; 1(1) : 4–25.
- TESSIER N., BOISSONNOT R., DESVIGNES V., FRÖCHEN M., MERLO M., BLANCHARD O., et al. (2023) : « Use and storage of pesticides at home in France (the Pesti'home survey 2014) ». *Environmental Research*; 216(Pt 2) : 114452.
- VAN MAELE-FABRY G., GAMET-PAYRASTRE L., LISON D. (2019) : « Household exposure to pesticides and risk of leukemia in children and adolescents: Updated systematic review and meta-analysis ». *International Journal of Hygiene and Environmental Health*; 222(1) : 49–67.
- VIGARELLO G. (1993) : *Le sain et le malsain : santé et mieux-être depuis le Moyen Âge*. Éditions du Seuil, Paris.
- WAKEFIELD-RANN R., FAM D., STEWART S. (2018) : « "It's just a never-ending battle": The role of modern hygiene ideals and the dynamics of everyday life in constructing indoor ecologies ». *Human Ecology Review*; 24(2) : 61–80.
- WIECK S., OLSSON O., KÜMMERER K. (2016) : « Possible underestimations of risks for the environment due to unregulated emissions of biocides from households to wastewater ». *Environment International*; 94 : 695–705.
- WINTZ M., CHRISTEN G., STRUB J., BORK M., LANGE, J. (2022) : « Catalogue de mesures du projet Navebo – Réduction de l'apport de biocides dans les eaux souterraines du Rhin supérieur ». Universités de Strasbourg et de Freiburg, 31 p., DOI: 10.13140/RG.2.2.36413.74729
- ZHENG G., FILIPPELLI G.M., SALAMOVA A. (2020) : « Increased indoor exposure to commonly used disinfectants during the COVID-19 Pandemic ». *Environmental Science and Technology Letters*; 7(10) : 760–5.