

REACTIVE CITY

UNE VILLE PROACTIVE
SANS BIOCIDES

LES BIOCIDES
URBAINS
DANS LES MATÉRIAUX
DE CONSTRUCTION

QUELLES
ALTERNATIVES
À L'ÉCHELLE DE LA VILLE ?

Interreg



Cofinancé par
l'Union Européenne
Kofinanziert von
der Europäischen Union

Rhin Supérieur | Oberrhein

Institut Terre & Environnement
de Strasbourg | ITES | UMR 7063
de l'Université de Strasbourg & CNRS & ENGEE

Laboratoire Sage
Sociétés, acteurs, gouvernement en Europe
Université de Strasbourg

INRAE

cnrs

INSA INSTITUT NATIONAL
DES SCIENCES
APPLIQUÉES
STRASBOURG

universität freiburg

R TU
P Technische Universität
Kaiserslautern
Landau

→ TABLE DES MATIÈRES

1. ÉTAT DES LIEUX

Des polluants environnementaux spécifiques	p04
Que sont les biocides urbains et où sont-ils utilisés ?	p06
Une prise de conscience tardive et progressive	p06
Des molécules mobiles et partiellement dégradables en produits de transformation	p07
Des molécules toxiques pour l'environnement urbain	p08

2. COMMENT AGIR ?

Quantifier l'émission des biocides pour améliorer les projets de « ville perméable »	p09
Mobiliser une chaîne complexe d'acteurs pour des solutions « sans regret »	p12
Différencier les mesures selon leur efficacité globale	p14
a. Mesures « rouges » : des réponses à éviter	
Les biocides encapsulés	p14
b. Mesures « jaunes » pour favoriser la transition	p15
c. Mesures « vertes » pour des façades sans biocides	p16

3. LE PROJET REACTIVITY

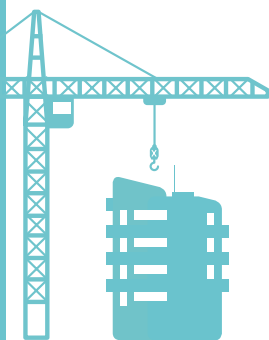
Élargir la perspective pour une ville sans biocides	p18
---	-----

4. BIBLIOGRAPHIE

p21



Contact : G. Imfeld, S. Payraudeau et F. Kögler,
Institut Terre et Environnement de Strasbourg (ITES)





QU'EST-CE QUE C'EST, LES BIOCIDES URBAINS ?

Les biocides urbains sont des substances chimiques intégrées aux peintures de façades, aux enduits ou aux matériaux de construction pour prévenir la prolifération d'organismes nuisibles (moisissures, algues, champignons). Invisibles mais omniprésents dans nos environnements bâtis, ces composés sont régulièrement lessivés par les pluies, rejoignant les sols et les eaux urbaines. Ils constituent ainsi une pollution diffuse préoccupante, à la fois peu visible, mal quantifiée et difficile à maîtriser.

Mais en milieu urbain, on ne trouve pas les biocides uniquement sur les façades, mais aussi dans la protection des plantes et la lutte contre les nuisibles, ainsi que dans les produits ménagers, par exemple dans les désinfectants ou comme agents conservateurs dans les détergents et produits de nettoyage.



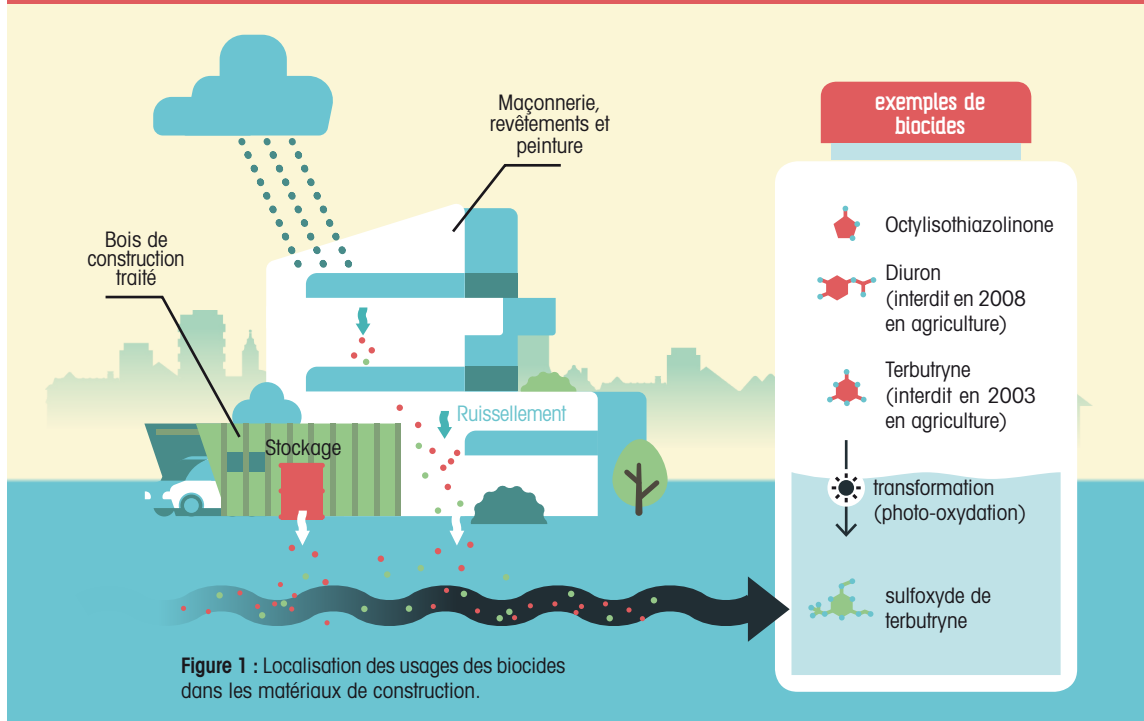
BIOCIDES URBAINS ET CHANGEMENT CLIMATIQUE, QUEL LIEN ?

Les espaces urbains sont particulièrement vulnérables au changement climatique : surfaces imperméabilisées et manque de végétation amplifient la chaleur, tandis que l'eau de pluie s'écoule rapidement sans recharger les nappes ni rafraîchir par évaporation.

Les concepts de ville-éponge et de ville perméable répondent à ces défis : absorber, stocker et, si nécessaire, restituer l'eau comme une éponge. Les mesures clés incluent l'augmentation du nombre d'arbres, des espaces verts et des surfaces d'eau, des zones de rétention et d'inondation, en eau ainsi que la désimperméabilisation et la promotion de l'infiltration des eaux pluviales.

En outre, les espaces urbains accumulent des micropolluants provenant du trafic, des produits ménagers, des pesticides ou des biocides contenus dans les peintures de façade, qui sont entraînés dans l'environnement par les eaux de pluie.

Comme de très faibles quantités de ces substances peuvent déjà être nocives, la prévention et la protection des ressources en eau sont essentielles. Des villes durables et résilientes passent avant tout par des mesures à la source, par exemple en renonçant aux biocides dans les peintures de façade.



→ 1.ÉTAT DES LIEUX

Des polluants environnementaux spécifiques

Selon le type de polluant urbain, c'est la toxicité des substances rejetées dans l'environnement qui compte, et pas seulement leur quantité. Contrairement aux polluants industriels (fioul, déchets chimiques, etc.), les biocides urbains sont présents en faibles concentrations, mais de façon constante et diffuse dans l'environnement urbain.

Largement utilisés dans les matériaux de construction, les biocides se transforment sous l'effet de la lumière solaire en substances plus mobiles et peuvent être mobilisés lors des pluies. Leur impact potentiel et souvent avéré sur l'environnement rend nécessaire d'adopter des politiques intégrées de gestion durable.

Dans ce contexte, les biocides présents dans les matériaux de construction, tels que la terbutryne ou le diuron, possèdent un potentiel écotoxique significatif dans les eaux de ruissellement, même à faible concentration.

Les biocides et leurs produits de transformation peuvent persister dans les sols, l'eau et les sédiments des écosystèmes urbains. Ces transformations n'aboutissent pas forcément à une minéralisation complète, mais à des sous-produits qui peuvent être aussi, voire plus, toxiques que les composés initiaux.

Leur persistance dans l'environnement peut poser des risques pour la santé humaine, notamment par le biais de l'eau

potable ou d'aliments contaminés. La toxicité des biocides et de leurs produits de transformation reste largement méconnue, justifiant ainsi l'application du principe de précaution « sans regret ».

La problématique des biocides urbains demeure trop peu abordée dans les guides pratiques, comme le montre leur quasi-absence dans le récent guide « Gestion durable des Eaux Pluviales - Gestion patrimoniale » (ASTEE, 2024), ce qui motive cet article.

La réduction globale des émissions polluantes, quel que soit le type de

polluant ou son origine, doit être abordée de manière intégrée, en questionnant l'usage systématique des biocides et en évaluant le concept de « zéro-biocides » et sa mise en œuvre concrète. Le rapport coût-bénéfice dans la construction et l'entretien des bâtiments doit intégrer les coûts environnementaux externes, rarement pris en compte.

Si l'on peut éliminer une source de pollution potentiellement toxique à faible coût en utilisant des alternatives, comme les peintures minérales pour façades, et contribuer ainsi à un environnement plus durable, pourquoi ne pas le faire ?

➔ LES POINTS CLÉS À RETENIR

1/ Sources et impacts des biocides. Présents dans les matériaux de construction comme les peintures de façade, les biocides urbains contribuent à une contamination diffuse et persistante des sols et des eaux, avec des concentrations de terbutryne dépassant jusqu'à 20 fois les seuils écotoxicologiques au pied des façades.

2/ Rétention et accumulation. Les sols urbains retiennent plus de 75 % des biocides et de leurs produits de transformation, mais ils agissent comme un réservoir de contamination à long terme, avec une dégradation limitée dans les premiers mètres du sol.

3/ Agir en amont. Un scénario « zéro-biocide » présenterait l'avantage d'éviter les émissions, sachant que 42 % des biocides introduits dans les sols urbains subsistent après 20 ans, d'où l'importance d'une action dès le départ.

4/ Solutions techniques. La transition rapide vers des peintures sans biocides et la déconnexion des réseaux d'assainissement des eaux de ruissellement des façades seraient des mesures clés pour limiter la pollution, alignées avec le concept de ville éponge. Ce concept désigne un modèle d'aménagement urbain visant à maximiser l'infiltration, la rétention et la réutilisation des eaux de pluie pour réduire les risques d'inondation, recharger les nappes phréatiques et améliorer le microclimat urbain.

5/ Mobilisation de la chaîne d'acteurs. Décideurs, architectes, peintres, fabricants et habitants peuvent tous jouer un rôle essentiel dans l'adoption de matériaux alternatifs comme les peintures minérales. Mais cela nécessite des efforts de sensibilisation et de formation.

6/ Projets en cours. Le projet ReactiveCity (2023-2027) étend l'étude des biocides à l'échelle urbaine et intègre d'autres micropolluants (PFAS, médicaments, bactéricides), ainsi que le chemin des eaux usées pour promouvoir des villes résilientes et durables, conformément au Pacte Vert Européen.

Que sont les biocides urbains et où sont-ils utilisés ?

Les biocides sont les substances actives destinées à détruire, repousser ou rendre inoffensifs les organismes ciblés, à en prévenir l'action ou à les combattre de diverses manières, par des actions chimiques ou biologiques (Parlement européen et Conseil, 1998).

Dans les matériaux de construction, les biocides peuvent remplir plusieurs fonctions : assurer un stockage prolongé avant utilisation (Figure 1), protéger les matériaux de surface tels que les peintures, les enduits, les mastics ou les adhésifs muraux (Figure 1), préserver le bois de construction (Figure 1) ainsi que les matériaux de maçonnerie ou composites (Figure 1), contre les attaques d'insectes, de micro-organismes ou d'algues, qui peuvent altérer l'aspect des façades (Figure 1) (Parlement européen et Conseil, 2012).

Une prise de conscience tardive et progressive

La question du risque environnemental des biocides urbains présents dans les matériaux de construction a été soulevée pour la première fois à la fin des années 1970, initialement pour le traitement du bois (Grant et Dobbs, 1977), puis, plus spécifiquement, dans les années 2000 pour les façades et enduits, notamment par des chercheurs suisses. Ces derniers ont caractérisé et prédit la mobilité de ces biocides, de leur point d'application sur les façades jusqu'aux sols et aux milieux aquatiques urbains via les réseaux d'eaux pluviales et usées (Gereke et al., 2002, Burkardt et al., 2009).

La principale difficulté résidait alors dans la traçabilité de la contribution de l'usage urbain à la pollution par ces biocides, dont certaines molécules, comme le diuron et la terbutryne (Figure 1), étaient encore largement utilisées en agriculture. Avec l'interdiction de ces usages agricoles, la contribution urbaine à la contamination des rivières périurbaines est devenue plus apparente. Il est notable que, bien que l'interdiction ait été motivée par des préoccupations de santé humaine et environnementale dans le contexte agricole, une réflexion similaire n'a pas eu lieu pour les matériaux de construction en milieu urbain.

Plusieurs études ont révélé l'ampleur du problème à l'échelle de quartiers, voire de métropoles. En 2016, des analyses de la qualité des eaux pluviales et souterraines d'un quartier de la ville de Fribourg-en-Brisgau, en Allemagne, ont mis en évidence la présence de biocides issus des enduits et peintures extérieures. Les concentrations relevées, de quelques dizaines de nanogrammes par litre, atteignent parfois le seuil de potabilité soit 100 nanogrammes par litre dans les eaux pluviales pour la terbutryne et le diuron, et une infiltration aux eaux souterraines a été détectée (Hensen et al., 2018).

La collecte d'eau de ruissellement sur les façades lors des pluies a confirmé l'origine de cette pollution, soulignant la nécessité de comprendre, prédire et limiter ces transferts directement depuis les façades. Des travaux menés en parallèle par le Laboratoire Eau Environnement et Systèmes Urbains (LEESU) ont également révélé la diversité des contaminations des eaux pluviales par les biocides issus des matériaux de construction de la métropole parisienne (Paijens, 2019).

La prise de conscience progressive de cette source de pollution a mis en lumière la méconnaissance des mécanismes de transfert de ces biocides depuis les façades, leur dégradation et leur persistance, ainsi que leur impact sur les écosystèmes urbains. Elle a aussi souligné le nombre limité et les limites l'insuffisance des outils de diagnostic disponibles.

Dans ce contexte, le **projet Interreg franco-allemand NAVEBGO** « Réduction de l'apport de biocides dans les eaux souterraines du Rhin supérieur » (2019-2022) a été initié. Conçu en collaboration avec trois collectivités partenaires — Eurométropole de Strasbourg, Fribourg et Landau —, ce projet vise à améliorer la compréhension, la caractérisation et la prédiction du devenir des biocides, ainsi que leurs usages sociaux. Ses objectifs sont de produire des références régionales pour sensibiliser les professionnels du bâtiment et influencer les règles d'urbanisme dans la région du Rhin supérieur. Les principaux enseignements, tant en termes de compréhension du devenir de ces biocides que des recommandations pour l'urbanisme, sont synthétisés dans les sections suivantes.

Des molécules mobiles et partiellement dégradables en produits de transformation

Lors des épisodes pluvieux, les molécules de biocides présentes dans les matériaux de construction, telles que les peintures de façades, peuvent être mobilisées, entraînant ainsi des émissions constantes de ces substances vers le sol et les milieux aquatiques au fil du temps (Figure 2). Les études sur la dégradation des biocides fournissent des informations précieuses sur le devenir des biocides

dans l'environnement. La dégradation des biocides peut être relativement lente, ce qui favorise leur accumulation dans l'environnement. Par exemple, la biodégradabilité de l'herbicide terbutryne, couramment utilisé dans les peintures et enduits pour façades extérieures, a été étudiée en laboratoire. Pour cela, de la terbutryne a été ajoutée au sol, aux sédiments d'un bassin de rétention d'eaux pluviales et aux boues d'épuration (Figure 2). Après 100 jours, seule la moitié environ de la terbutryne avait été biodégradée, ce qui indique une potentielle persistance de cette molécule et donc de ses risques pour l'environnement.

De plus, les produits de transformation des biocides (Figure 2) issus de la photodégradation des façades sous l'effet du rayonnement solaire peuvent être libérés en quantités supérieures à celles des biocides eux-mêmes. Les principales voies de dégradation des biocides dans l'environnement incluent la biodégradation par des micro-organismes et la photodégradation.

Des essais de photodégradabilité de la terbutryne, réalisés en chambre d'essai sous un rayonnement solaire artificiel constant, ont montré que la photodégradation dans l'environnement est nettement plus rapide que la biodégradation (Junginger et al., 2022). La dégradation de la terbutryne produit divers produits de transformation. La biodégradation génère principalement du sulfoxyde de terbutryne et du terbutryne-2-hydroxy, tandis que la photodégradation peut produire une grande variété de produits différents (Figure 2) (Junginger et al., 2023). Ces produits de transformation, souvent peu étudiés et mal connus, peuvent également avoir des effets

néfastes sur les micro-organismes et les organismes aquatiques, s'accumuler dans l'environnement et contaminer les eaux souterraines (Figure 2).

Des molécules toxiques pour l'environnement urbain

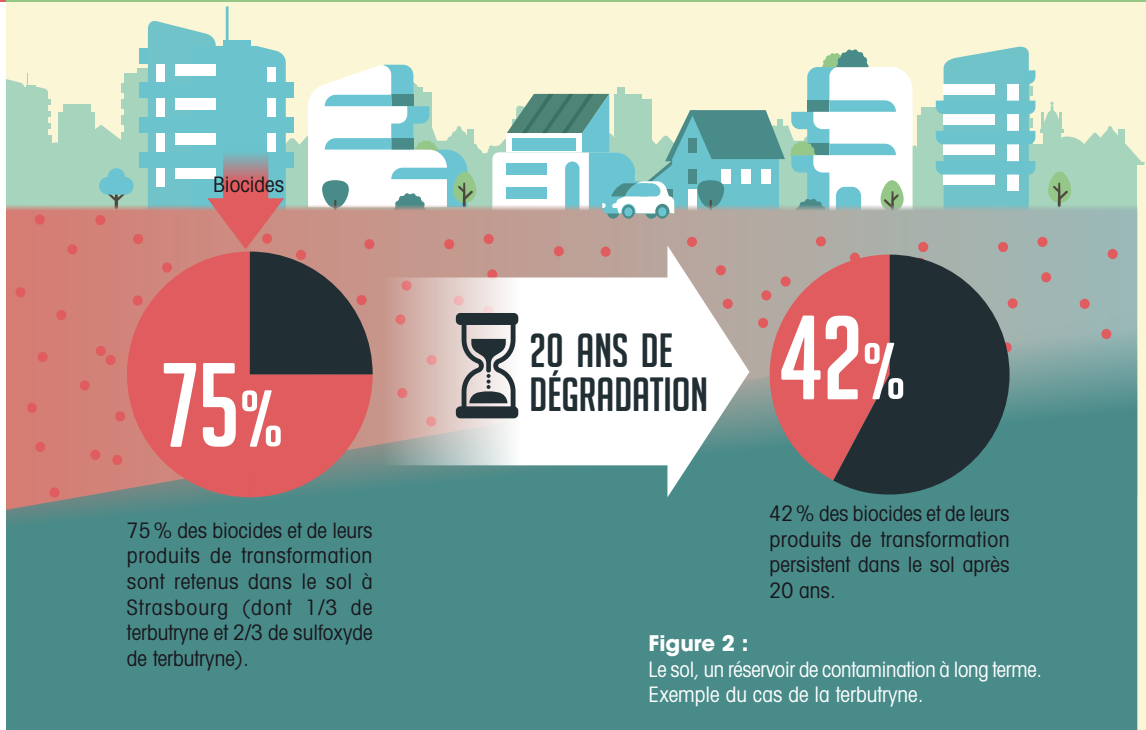
Les biocides intégrés aux matériaux de construction, comme la terbutryne, sont conçus pour inhiber la photosynthèse et limiter la croissance des champignons. Leur fonction principale est de prévenir la prolifération des organismes photosynthétiques (principalement les algues et les plantes) ainsi que des champignons sur les surfaces traitées, telles que les façades, les toitures ou les revêtements de sol. La terbutryne, par exemple, agit en bloquant le processus photosynthétique, perturbant la conversion de l'énergie solaire en énergie chimique, ce qui freine la croissance et la reproduction des organismes ciblés.

Cependant, ce mécanisme d'action peut également impacter des organismes non ciblés, notamment dans les sols et les eaux environnantes. Lors des pluies, les biocides présents sur les matériaux de construction sont entraînés vers les écosystèmes aquatiques voisins par lixiviation. Les organismes aquatiques, comme les microalgues et les plantes aquatiques, essentielles à la production primaire dans ces milieux, peuvent être affectés, ce qui perturbe les chaînes alimentaires.

La toxicité de chaque substance a été évaluée par des tests écotoxicologiques, et la concentration estimée sans effet pour l'environnement (PNEC, Predicted No Effect Concentration) a

été établie. Pour la terbutryne, la PNEC est particulièrement faible, à 0,034 µg/L. Cette forte toxicité environnementale, couplée à sa persistance, a justifié son interdiction dans les usages agricoles dès 2003. Pourtant, des concentrations mesurées en terbutryne au pied des façades sont 10 à 100 fois supérieures à cette PNEC (Junginger et al., 2023), et jusqu'à 10 fois supérieure dans les systèmes de gestion d'eau pluviales (noues et bassins), soulignant l'impact potentiel pour les sols et les eaux urbaines associées (Sereni et al., 2024). En comparaison, les peintures sans biocides présentent peu ou pas d'effet (NAVEBGO, 2022).

Par ailleurs, les biocides peuvent également affecter les organismes terrestres, en particulier les micro-organismes du sol, qui jouent un rôle crucial dans la décomposition de la matière organique et le cycle des nutriments. Les effets potentiels des biocides sur ces fonctions, comme le cycle des nutriments, restent encore largement méconnus. Mais une exposition prolongée à ces substances chimiques peut perturber l'équilibre écologique des sols et des eaux, compromettre la biodiversité, perturber les fonctions écologiques (telles que la purification de l'eau et la régulation des nutriments), dégrader la qualité des écosystèmes, et à long terme, affecter la santé humaine.



→ 2.COMMENT AGIR ?

Quantifier l'émission des biocides pour améliorer les projets de « ville perméable »

Les biocides peuvent être persistants dans les sols tout en générant des produits de transformation dès leur application sur les façades. La mobilité des biocides et de leurs produits de transformation entraîne une contamination généralisée des sols et des systèmes aquatiques urbains. Afin de soutenir les plans d'adaptation des villes, il est essentiel de quantifier le niveau d'exportation de ces molécules pour les quartiers déjà construits et de prédire les exports dans les nouveaux quartiers en fonction des choix techniques et architecturaux. Deux approches complémentaires permettent d'estimer ces exports.

La première approche repose sur l'élaboration de références de taux d'exportation, exprimés par hectares ou par m² de façades, pour faciliter leur utilisation. Cette production de références nécessite une instrumentation sur quelques mois à l'échelle d'un quartier, afin d'assurer une représentativité temporelle et spatiale (Sereni et al., 2024). Cette instrumentation nécessite d'équiper l'émissaire d'un réseau d'eau pluviale avec un débitmètre et un préleveur automatique asservi au débit lors des pluies. Cet équipement peut être déployé par une collectivité de taille suffisante disposant d'un service de métrologie ou par un bureau d'étude.

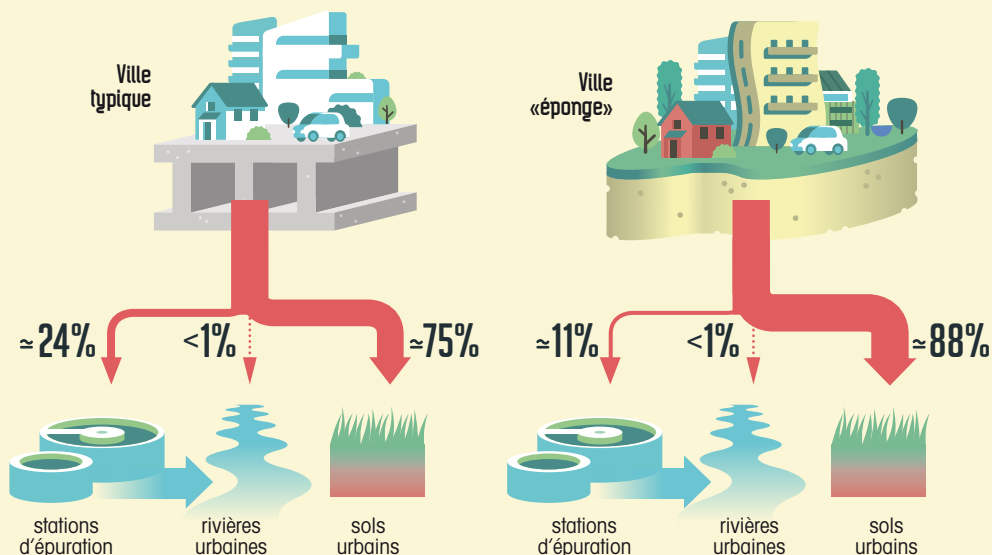


Figure 3 : Parts des rejets de biocides vers les stations d'épurations (exemple de cas de terbutryne), les rivières urbaines et les sols urbains dans la situation actuelle et dans un scénario d'infiltration optimisée en pied de façade (ville éponge).

Le principal coût est analytique pour mesurer les biocides, ce qui rend les références produites particulièrement utiles en première approximation. Une fraction des biocides exportés peut être mesurée à plus grande échelle dans les stations d'épuration pour les réseaux d'eau usées unitaires (Paijens, 2019), mais cela ne représente qu'une partie de l'export car cette méthode n'intègre ni les rejets pluviaux ni l'infiltration. Étant donné que cette problématique est émergente, peu de références sont disponibles pour les services municipaux.

Le projet NAVEBGO a permis de produire ces références sous forme de fiches pratiques (NAVEBGO, 2022). Par exemple, une façade peinte avec un produit contenant de la terbutryne libère environ 1 % de la masse initiale de ce

biocide chaque année, de manière presque constante. Avec une fréquence moyenne de ravalement de façade tous les 10 à 15 ans, cela représente entre 10 et 15 % de la masse initiale de ce biocide qui sont entraînés en pied de façade puis vers les sols et les systèmes de drainage urbains. Les concentrations associées sont suffisantes pour impacter durablement les écosystèmes urbains. Cet export de biocides depuis les façades est constitué pour un tiers sous forme de terbutryne non dégradée et pour deux tiers de produits de transformation dont l'écotoxicité est largement méconnue.

La deuxième approche repose sur la modélisation à l'aide d'un logiciel de calcul permettant de prédire le transport réactif des biocides depuis les façades jusqu'aux principaux compartiments

environnementaux tels que les sols, les rivières et les eaux souterraines urbaines. Ces modèles permettent d'estimer des flux de biocides difficiles à mesurer, comme leur devenir dans les premières couches de sol. Ils permettent également de tester différents scénarios architecturaux ou de gestion des eaux de pluie en fonction notamment des projections climatiques.

Ces deux approches, souvent associées, sont donc complémentaires (Sereni et al., 2024). Dans le cadre de NAVBGO, deux outils de prédiction du devenir des biocides ont été développés et adaptés. Le premier, FReWaB-PLUS, un outil simple d'utilisation pour estimer le lessivage des biocides dans un environnement urbain, est accessible en ligne : www.biozidauswaschung.de (Bork et al., 2022). Le second modèle, COMLEAM (Burkardt et al., 2020), ou une version modifiée intégrant les produits de transformation (Sereni et al., 2024), développée dans le projet NAVBGO, peut également aider à planifier des actions de réduction du lessivage des biocides dans les quartiers existants ou à l'échelle de villes entières (Sereni et al., soumis à la revue *Environmental pollution*).

Un modèle de transport réactif a été développé pour quantifier les émissions de ces biocides et leurs produits de transformation (TP) à l'échelle urbaine, en intégrant des données SIG et des informations des services municipaux. À Strasbourg (79 km²), les émissions annuelles de terbutryne et de son produit de transformation principal (terbutryne sulfoxyde) atteignent 1,4 kg (177 mg ha). Les concentrations de ruissellement dépassent les seuils écotoxicologiques

de 10 à 20 fois près des façades et de 1,5 à 3 fois aux exutoires des quartiers. Environ 76 % des biocides s'infiltrent dans les sols, atteignant 89 % dans un scénario d'infiltration « ville éponge » (Fig. 3).

Cependant, la dégradation des biocides dans les sols superficiels (0–1 m) reste limitée, entraînant une accumulation sur plusieurs décennies et un risque de lixiviation vers les nappes phréatiques. Dans un scénario « zéro biocide », 42 % des biocides infiltrés persistent encore après 20 ans, bien que les flux diminuent. Cette étude élargit l'application d'un modèle de transport réactif à l'échelle urbaine, révélant que les sols urbains retiennent environ 75 % des biocides et de leurs produits de transformation issus des façades de bâtiments, tout en agissant comme un réservoir de contamination à long terme, avec des concentrations en biocides dépassant les seuils écotoxicologiques à l'interface façade-sol. La transition vers des peintures sans biocides et la déconnexion des eaux de ruissellement des façades des réseaux d'assainissement constituent des mesures clés pour atténuer la pollution. Pour autant, la restauration des sols urbains et la réduction de la contamination par les biocides nécessiteront plusieurs décennies, même dans un scénario « zéro biocide », d'où l'urgence d'une action immédiate.

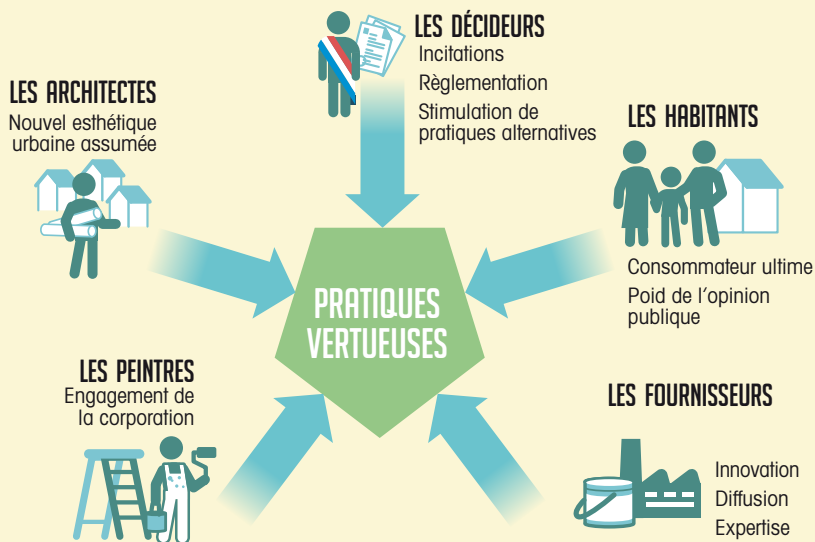


Figure 4 :

Les leviers pour changer les pratiques associées à la construction et à la maintenance des bâtiments

Mobiliser une chaîne complexe d'acteurs pour des solutions « sans regret »

La question du traitement des façades concerne bien au-delà des peintres et des fabricants de peintures. Elle mobilise une chaîne d'acteurs complexe qui va des producteurs des composants des peintures aux maîtres d'ouvrage, en passant par les collectivités, les urbanistes, les architectes et les habitants.

Dans ce monde complexe, il y a un système dans le système qui exerce une forte influence sur les choix de traitement et de protection des façades mis en œuvre par les architectes et les peintres. Il s'agit d'un système industriel organisé en filières dédiées à la fabrication et à la diffusion de procédés « clés en mains » qui, à travers une prescription routinière, finit par définir une norme qui « s'impose » aux acteurs comme une évidence. Ce système favorise aujourd'hui, pour diverses raisons, des produits à base organique, s'inscrivant dans une approche d'innovation

techniciste permanente, contenant toutes sortes de composants (biocides, microplastiques, nanoparticules...) dont la diffusion dans l'environnement et les effets à long terme sont préoccupants.

Nous considérons, en attendant une éventuelle évolution de ce système industriel, que **ces choix méritent d'être réinterrogés** par un certain nombre d'acteurs au quotidien. Cela permettrait d'impulser un changement de pratiques significatif à l'échelle de notre territoire. Ces acteurs sont déterminants dans l'évolution des choix vers des villes sans biocides.

- **Les décideurs urbains :** responsables des collectivités, aménageurs et bailleurs qui peuvent contribuer à créer un cadre réglementaire ou incitatif favorable. Les collectivités et aménageurs jouent un rôle important en orientant les choix de construction dans le cadre de la commande publique. Les nouveaux bâtiments publics devraient intégrer d'emblée une conception et des

choix de matériaux permettant d'éviter le recours aux biocides. Cette démarche aurait non seulement valeur d'exemplarité (certains de ces bâtiments pourraient servir de terrain de formation), mais elle permettrait de stimuler ou de soutenir le développement de ces pratiques et produits alternatifs. Cette approche vaut également pour les bailleurs sociaux qui, par le nombre de bâtiments construits ou gérés, possèdent une capacité d'orientation des pratiques très significative.

- **Les architectes** : ils peuvent agir à travers la conception des bâtiments et les prescriptions concernant les traitements des façades. Éviter le recours à des biocides dans les peintures de façade revient à prendre cet enjeu en compte dès la conception du bâtiment. Le choix des matériaux de construction, des revêtements de façades, les options architecturales, vont rendre le bâtiment plus ou moins sensible au développement ou aux effets des champignons, algues ou bactéries. Participer à la construction d'une ville sans biocides peut aussi contribuer à créer une nouvelle esthétique urbaine assumée, renouant avec des matériaux peu impactants sur l'environnement et la santé humaine. Le défi pour l'architecture serait de concrétiser un changement de paradigme en lien avec les nouveaux enjeux de notre époque.

- **Les peintres** : ils peuvent choisir des systèmes à base minérale naturellement exempts de biocides. Le choix des peintures minérales est hélas susceptible de situer l'artisan à la marge, sentiment accentué dans un contexte où le « couple » peinture synthétique et isolation thermique extérieure (ITE)

constitue la norme. La constitution d'un collectif de peintres autour des peintures minérales serait susceptible de créer du lien, de partager des expériences et d'asseoir le sentiment de légitimité des artisans peintres engagés dans l'usage du minéral comme produit de substitution aux biocides.

- **Les fournisseurs de peinture** : ils peuvent choisir de diffuser des systèmes à base minérale. Dans un contexte de transition vers une ville sans biocides, ces acteurs situés en amont jouent un rôle important et peuvent apparaître comme des relais forts pour la diffusion des innovations alternatives. De plus, ils bénéficient d'une légitimité et d'une confiance auprès des peintres conventionnels. Or, ces acteurs collectifs sont susceptibles de faire évoluer leur discours et leur pratique dans le cadre d'une formation adaptée, à condition que se développe et se pérennise un marché autour des peintures minérales et des façades zéro biocide.

- **Les habitants** : ils sont en général peu informés des enjeux liés aux molécules de synthèse dans les façades et peuvent porter une demande sociale en faveur de systèmes sans biocides. Ils peuvent aussi être prescripteurs en tant que constructeurs.

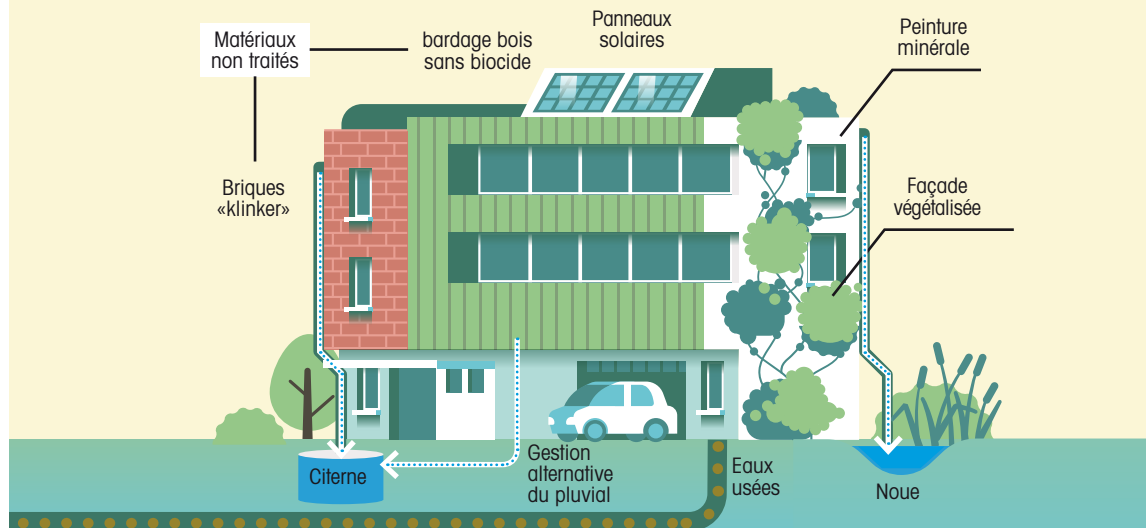


Figure 5 :
Solutions architecturales et techniques pour aller vers une ville sans biocides dans les matériaux de construction.

Différencier les mesures selon leur efficacité globale

Différentes mesures existent pour réduire les effets polluants des biocides dans les peintures. Elles n'ont pas toutes la même efficacité à long terme ni la même implication quant à une démarche de transition globale. Afin de clarifier la pertinence des différentes mesures dans cette perspective globale, le projet NAVEBGO a proposé une classification en trois catégories :



A/ MESURES «ROUGES» : des réponses à éviter

• Les biocides encapsulés

L'effet protecteur des produits contenant des biocides est généralement limité dans le temps, car les substances actives s'évaporent, sont lessivées ou dégradées. C'est pourquoi les façades doivent être traitées à nouveau à

intervalles réguliers. Pour réduire la perte des biocides, les façades sont traitées avec des biocides encapsulés en fonction de leur exposition. Ces derniers présentent des taux de lessivage nettement inférieurs à ceux des biocides non encapsulés, en particulier au cours de la première année. Cependant, la formation de produits de transformation n'a pas encore été suffisamment étudiée pour les biocides encapsulés. Par conséquent, l'encapsulation peut contribuer à réduire la toxicité aiguë, mais ne contribue pas à la prévention de l'action néfaste des biocides. De plus, elle peut générer une pollution supplémentaire par lessivage des microplastiques d'encapsulation.

• Les enduits à base de résine de silicone

Outre les biocides qui y sont souvent intégrés (notamment dans le cas des ITE), ces enduits contiennent également des plastifiants. Ces substances peuvent

aussi être lessivées au fil du temps en raison des conditions météorologiques. Ces microplastiques sont connus comme un nouveau problème environnemental, et ne sont donc pas une solution durable pour les matériaux de façade.

• Les nanoparticules

Les nanoparticules sont de plus en plus utilisées dans les peintures pour façades. Les nanoparticules de dioxyde de silicium augmentent la dureté des peintures pour façades et améliorent leur résistance à l'usure, aux rayures et aux intempéries. Le dioxyde de titane à l'échelle nanométrique a un effet bactéricide et est utilisé pour son activité photocatalytique et sa protection contre les UV. Les nanoparticules d'argent confèrent également aux surfaces traitées une protection contre les bactéries. Toutefois, il est avéré que les nanoparticules d'argent et de dioxyde de titane sont par ailleurs préoccupantes d'un point de vue écologique (et donc après le lessivage des façades), sachant que tous les effets d'une diffusion durable des nanoparticules dans l'environnement ne sont pas encore connus. De plus, leur effet protecteur est jusqu'à présent limité en ce qui concerne une éventuelle colonisation par des micro-organismes.

• L'infiltration en pied de façade en présence de biocides dans les façades

Quand des façades sont peintes avec des peintures contenant des biocides, l'infiltration directe des écoulements de façade (par exemple via des drains de gravier non captés le long du mur de la maison ou au moyen de puits d'infiltration) devrait être évitée dans tous les cas. Les puits d'infiltration et les systèmes de rigoles doivent être surveillés en tant que voies potentielles d'introduction de biocides dans les eaux

souterraines, et leur efficacité en termes de rétention de substances doit être vérifiée.

À noter en revanche, que pour des façades exemptes de biocides, les procédés de gestion des eaux pluviales par noues ou bassins sont très pertinents et contribuent au concept de ville éponge (Figure 3).



B/ MESURES «JAUNES» :
pour favoriser la transition

Les labels

À condition d'être gérés de manière indépendante, les labels peuvent encourager l'utilisation volontaire de produits respectueux de l'environnement, c'est-à-dire, dans le contexte actuel, de produits sans biocides. Par exemple, en Allemagne, l'Ange bleu est attribué depuis 2010 aux systèmes de protection des façades qui n'utilisent pas de biocides. Le label suisse Stiftung Farbe (<https://stiftungfarbe.org/>) classe les peintures pour façades en sept catégories différentes, de A à G, en fonction de leur compatibilité avec l'environnement, la catégorie A attestant des meilleures propriétés environnementales (Figure 3). Pour les peintures pour façades, les catégories A et B sont réservées aux produits sans protection filmogène.

Les collectivités publiques peuvent jouer un rôle important dans l'efficacité de ces labels en définissant par exemple des niveaux minimum de qualité environnementale dans leurs cahiers des charges pour les projets d'urbanisme.

Des modifications au niveau juridique réduiraient efficacement l'utilisation de biocides. Ainsi, l'entretien des

constructions devrait être une obligation évidente pour le propriétaire ou l'occupant. Si l'on tient à ce que la façade soit exempte d'algues et de champignons, il faudrait avant tout envisager un nettoyage physique, sans utilisation de biocides.



C/ MESURES «VERTES» : **pour des façades sans biocides**

Ces mesures visent tout un ensemble de démarches allant de principes urbanistiques et architecturaux à des techniques de recouvrement des façades. Elles sont résumées sur la figure 5.

Il existe deux voies principales pour se passer de biocides.

- **Limiter le développement des algues et champignons en agissant sur les causes de leur diffusion sur les façades.**

→ Éviter l'humidité persistante sur les murs, qui favorise l'installation et le développement des algues et champignons (débords de toit, types de revêtement du mur, environnement adapté).

→ Créer un terrain défavorable à leur développement sur la surface : matériaux naturellement résistants comme les briques «klinker», pH élevé comme dans le cas des peintures minérales.

- **Intégrer le développement des algues, plantes et champignons dans la construction**

→ Végétalisation des murs.

→ Intégration d'algues de culture dans les façades. Cette dernière approche, encore à un stade expérimental, vise à cultiver des algues pour produire de la biomasse ou des protéines végétales.

Il existe aujourd'hui sur le marché des solutions à base minérale et écologique pour tous les usages, de l'isolation extérieure jusqu'aux peintures. Leur développement dépend des choix qui sont effectués par les différents acteurs concernés, des décideurs aux peintres, en passant par les architectes, les constructeurs et les fournisseurs, et moyennant des actions de sensibilisation et de formation poussées. À chacun de prendre ses responsabilités !

Pour en savoir plus, le catalogue de mesures pour une ville sans biocides, réalisé dans le cadre du projet NAVEBGO, est accessible sur le lien suivant : **https://www.navegbo.uni-freiburg.de/fr/recherche-actuelle/catalogue-de-mesures-navebgo-septembre-2022?set_language=fr**





Exemples de construction sans biocides



Façades en bois brut, pierre brute
Gion Caminada - Ferme
Vrin - Suisse - 1999



Grand débord de toiture
Glenn Murcutt - Maison - MariKa
Alderton - Australie - 1994



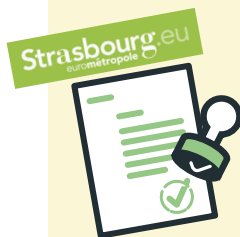
Façades en pierre brute, terre crue, bois brut
Salima Naji - Centre culturel
Tata - Maroc - 2016



Façades en pierre massive brute
Gilles Perraudin - Chai viticole
Solon - France - 2008



Façade en terre crue avec rejets d'eau
Martin Rauch - Maison Rauch
Schlins - Autriche - 2008



Sur la base des résultats du projet NAVEBGO, l'Eurométropole de Strasbourg considère, dans la rédaction de ses appels d'offres pour les bâtiments publics ou pour les projets sur des terrains publics, la mise en place d'un nouveau cahier des charges avec une solution technique et/ou architecturale sans biocides pour réduire à la source ce danger pour la santé humaine et environnementale.

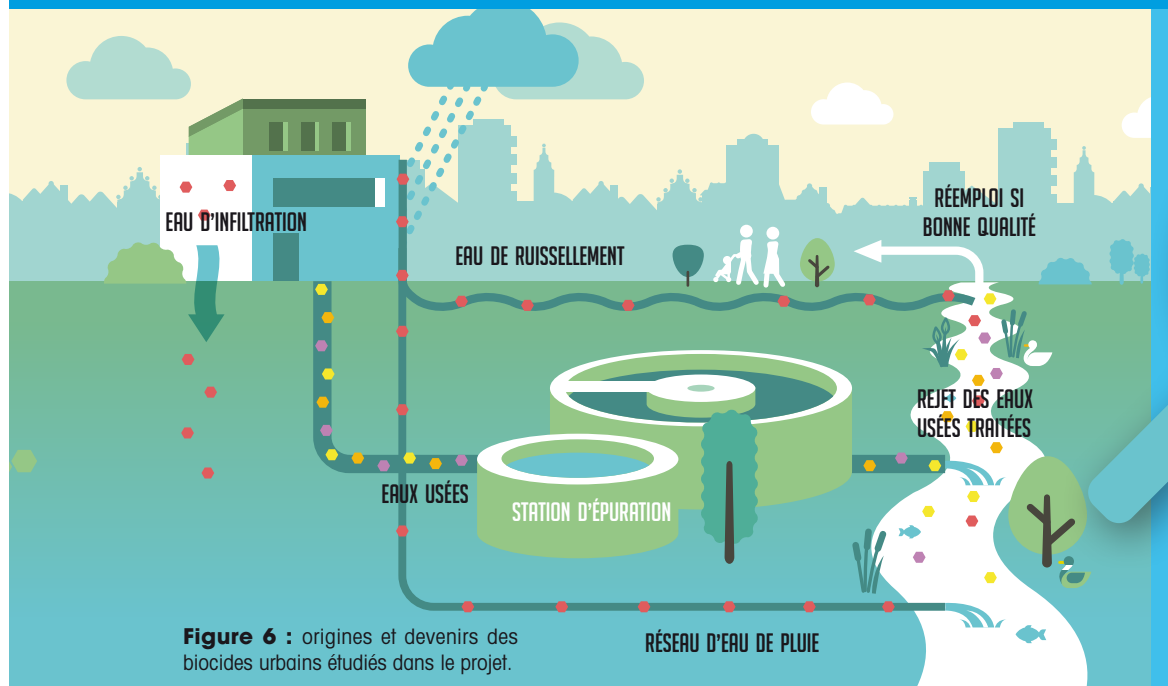


Figure 6 : origines et devenir des biocides urbains étudiés dans le projet.

→ 3. LE PROJET REACTIVECITY : ÉLARGIR LA PERSPECTIVE POUR UNE VILLE SANS BIOCIDES

La production de références sur le devenir des biocides de façade a été étendue depuis l'échelle du quartier (projet NAVEBGO) à l'échelle des villes, durant la première année du projet INTERREG VI ReactiveCity (2023-2027).

Le projet ReactiveCity vise à développer et déployer une méthode de diagnostic de la persistance et de l'impact environnemental au niveau des stations d'épuration, mais également dans les rivières urbaines au niveau des rejets d'eau pluviales (Figure 6).

À l'instar des biocides présents dans les matériaux de construction, d'autres éléments de nos modes de vie produisent des micropolluants qui contribuent au métabolisme urbain et affectent la santé humaine et environnementale. Le projet INTERREG VI ReactiveCity (2023-2027) adopte une stratégie similaire à celle de NAVEBGO pour influencer les choix politiques au niveau des villes, mais en élargissant l'analyse à trois autres familles de micropolluants (Figure 6) : les médicaments, y compris les antibiotiques, les composés perfluoroalkylés (PFAS) et les bactéricides domestiques.



→ LES 4 GRANDES FAMILLES DE MICROPOLLUANTS ÉMERGENTS LIÉS À NOS MODES DE VIE



ANTIBIOTIQUES ANIMAUX ET HUMAINS



BACTÉRICIDES DOMESTIQUES



PFAS ET TFA
(produit de dégradation final des PFAS)
textiles, emballages alimentaires, mousse anti-incendie, revêtements antiadhésifs, cosmétiques, produits phytosanitaires...



BIOCIDES ASSOCIÉS AUX MATÉRIAUX
Enduits, peintures, traitement du bois, étanchéités, revêtements de tuiles...

ReactiveCity cible la chaîne d'acteurs associés à ces quatre familles de micropolluants, en couvrant l'échelle urbaine jusqu'aux rejets des stations d'épuration. Les outils de prédiction du transport des biocides de façade à l'échelle de la ville vont donc être étendus à ces familles de micropolluants pour avoir une vision systémique du métabolisme urbain. Cette approche croisée de mesures et de modélisation va permettre d'évaluer la contamination vers ces principaux compartiments environnementaux : sols et rivières urbaines en amont et aval des stations d'épuration, à l'échelle des villes partenaires, Strasbourg, Landau et Fribourg. ReactiveCity va également mobiliser des approches analytiques de pointe pour mieux comprendre la persistance des produits

de transformation des biocides qui contribuent à l'impact environnemental des quatre familles de micropolluants urbains.

Le groupe des substances alkyles polyfluorées (PFAS) comprend plus de 10 000 substances différentes qui n'existent pas à l'état naturel. ReactiveCity se concentre sur le plus petit PFAS, qui est le produit de dégradation final de toute la famille des PFAS : le TFA (acide trifluoroacétique). Ce composé est très mobile et n'est pas dégradé dans l'environnement. Les concentrations de TFA augmentent dans le monde entier et les effets écotoxicologiques ainsi que les risques pour l'homme sont encore largement inconnus. Il est donc urgent d'agir.

ReactiveCity étudie les principales voies d'apport dans l'environnement urbain, notamment pour sonder les options d'action les plus efficaces. Dans la zone urbaine de Fribourg, des apports significatifs via les eaux de pluie d'écoulement ont pu être largement exclus. La voie des eaux usées domine donc l'apport urbain de TFA, raison pour laquelle une attention particulière a été portée à ce point. Une campagne d'échantillonnage à haute résolution menée en quatre endroits du réseau d'égouts de Fribourg et de ses environs a révélé que l'utilisation humaine de l'eau entraînait des charges supplémentaires élevées d'AGT dans les eaux usées. Celles-ci ont pu être normalisées par rapport au nombre d'habitants et indiquent que les AGT n'arrivent pas seulement dans les eaux usées par la consommation d'eau potable, mais surtout par d'autres sources (aliments, substances médicamenteuses, etc.)

D'autres études menées au sein de la station d'épuration de la Baie de Brisgau ont montré que les concentrations de TFA continuent d'augmenter lors du traitement des eaux usées, en particulier dans l'étape de traitement biologique. Cela montre qu'en plus des TFA qui rentrent dans la station d'épuration, différents précurseurs de TFA se trouvent dans les eaux usées. Ainsi, ReactiveCity analyse également les substances médicamenteuses. Un screening systématique est effectué pour déterminer quels médicaments fluorés peuvent être remplacés par des médicaments non fluorés.

ReactiveCity s'inscrit pleinement dans une démarche de soutenabilité urbaine, avec pour double objectif de préserver

la santé humaine et l'environnement. Le projet vise à accompagner les villes du Rhin supérieur vers un objectif de zéro-biocides, à la source et à la sortie des stations d'épuration, et vers une réduction des molécules non substituables, comme les médicaments, dont l'éco-prescription doit permettre d'optimiser leur utilisation. Il soutient les plans d'adaptation urbaine face au changement climatique, en cohérence avec l'initiative du New European Bauhaus et du Pacte Vert Européen, qui visent à repenser les espaces de vie pour les rendre plus durables, résilients et inclusifs.

Les résultats seront progressivement mis en ligne sur le site internet de ReactiveCity.

Ils fourniront :

- 1) des références sur la persistance et la dégradation de composés « modèles » de ces familles,
- 2) des ressources de communication et de formation pour les différents acteurs et
- 3) des outils de prédiction de différents scénarios de sortie des biocides.

→ 4. BIBLIOGRAPHIE

ASTE, 2024. Solutions de Gestion durable des Eaux Pluviales - Gestion patrimoniale. 194 p. <https://www.astee.org/publications/guide-solutions-de-gestion-durable-des-eaux-pluviales-gestion-patrimoniale/>

Bork M., Engel J., Krämer A., Lange J., 2022. FReWaB-PLUS (Freiburger Regenwasserbewirtschaftung plus Stofftransport). FReWaB-PLUS: Mobilisierung von Bioziden in Stadtgebieten. <https://www.biozidauswaschung.de>

Burkhardt M., Junghans M., Zuleeg S., Boller M., Schoknecht U., Lamani X., Bester K., Vonbank R., Simmler H., 2009. Biozide in Gebäudefassaden – ökotoxikologische Effekte, Auswaschung und Belastungsabschätzung für Gewässer. *Environmental Science Eur.* 21, 36–47. <https://doi.org/10.1007/s12302-008-0033-1>

Burkhardt M., Engelke D., Gehrig S., Hochstrasser F., Rohr M., Tietje O., 2020. COMLEAM - Manual Version 3.0. https://www.comleam.ch/de/home/_comleam-benutzen/COMLEAM_Manual_V3.pdf

Elrayies G.M., 2018. Microalgae: Prospects for greener future buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81 (1), 1175–1191. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.08.032>

Gerecke A.C., Schärer M., Singer H.P., Müller S.R., Schwarzenbach R.P., Sägesser M., Ochsenbein U., Popow G., 2002. Sources of pesticides in surface waters in Switzerland: pesticide load through waste water treatment plants--current situation and reduction potential. *Chemosphere*, 48(3): 307–15. [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(02\)00080-2](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(02)00080-2)

Grant C., Dobbs A.J., 1977. The Growth and metal content of plants grown in soil contaminated by a copper/chrome/arsenic wood preservative. *Environmental Pollution*. 14, 213–226. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/001393277901215>

Hensen B., Lange J., Jackisch N., Zieger F., Olsson O., Kümmerer K., 2018. Entry of biocides and their transformation products into groundwater via urban stormwater infiltration systems, *Water Research*, 144, 413–423. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.07.046>

Junginger T., 2023. Transport and Degradation of Urban Biocides From Facades to Groundwater (PhD Thesis). Université de Strasbourg.

Junginger T., Payraudeau S., Imfeld G., 2022. Transformation and stable isotope fractionation of the urban biocide terbutryn during biodegradation, photodegradation and abiotic hydrolysis. *Chemosphere*, 135329. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.135329>

Junginger T., Payraudeau S., Imfeld G., 2023. Emissions of the Urban Biocide Terbutryn from Facades: The Contribution of Transformation Products. *Environmental Science & Technology*. <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c08192>

NAVEBGO, 2022. Fiches de synthèse du projet NAVEBGO, disponibles sur internet. <https://www.navebgo.uni-freiburg.de/fr/navebgo-1>

Pajjens C., 2019. Biocides émis par les bâtiments dans les rejets urbains de temps de pluie et transfert vers la Seine. *Ecologie, Environnement*. Université Paris-Est, 2019. 298 p. https://theses.hal.science/tel-03394385v1/file/83809_PAJJENS_2019_archivage.pdf

Parlement européen, 1998. Directive 98/8/CE du Parlement européen et du Conseil du 16 février 1998 concernant la mise sur le marché des produits biocides. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/HTML/?uri=CELEX:31998L0008>

Parlement européen et Conseil, 2012. Règlement (UE) N° 528/2012 du 22 mai 2012 concernant la mise à disposition sur le marché et l'utilisation des produits biocides. <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2012:167:0001:0123:fr:PDF>

Sereni L., Junginger T., Payraudeau S., Imfeld G., 2024. Emissions and transport of urban biocides from facades to topsoil at the district-scale. *Science of the Total Environment*, 954, 176269. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.176269>

Sereni L., Imfeld G., Payraudeau S. Estimating current and future urban biocide emissions from building facades at the city scale: the case of Strasbourg (France). En cours de review pour publication dans *Environmental Pollution*

/// LES BIOCIDES URBAINS DANS LES MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION : QUELLES ALTERNATIVES À L'ÉCHELLE DE LA VILLE ?

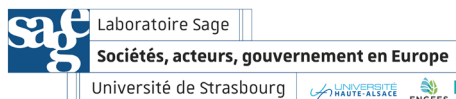
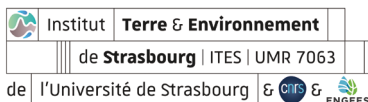
Interreg



Cofinancé par
l'Union Européenne
Kofinanziert von
der Europäischen Union

Rhin Supérieur | Oberrhein

Partenaires scientifiques :



universität freiburg

Villes :

Stadt Landau in der Pfalz



Partenaires associés :



Design graphique : Pierre Wisson ▶  ww.wisson.fr

