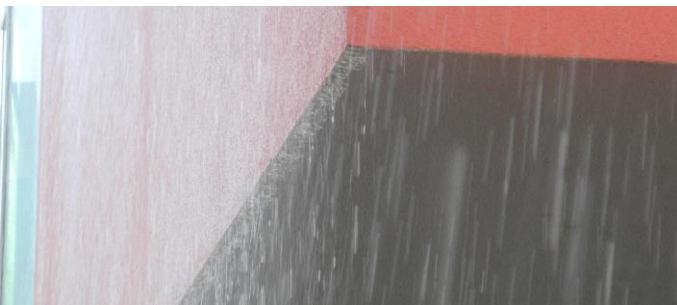
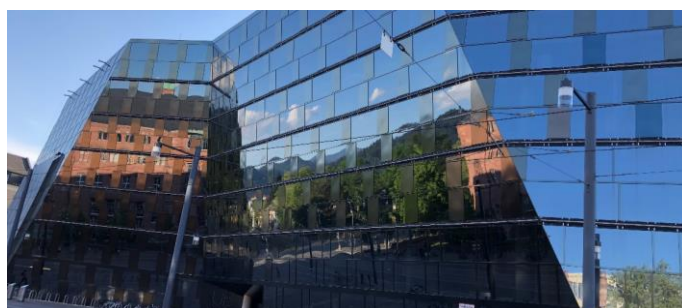


# Réduction de l'apport de biocides dans les eaux souterraines du Rhin supérieur



## Guide



Fonds européen de développement régional  
(FEDER)  
Europäischer Fonds für regionale Entwicklung  
(EFRE)



„Dépasser les frontières, projet après projet“





# Introduction

Les résultats du projet NAVEBGO ont été préparés pour le public sous la forme de 16 fiches d'information thématiques de deux pages. Celles-ci sont publiées aussi bien sur le site Internet de NAVEBGO (<https://www.navebgo.uni-freiburg.de/fr/factsheets>) que sur la plateforme de publication de l'Université de Fribourg "FreiDok plus" (<https://freidok.uni-freiburg.de>).

Le présent guide résume les fiches d'information. En outre, il donne des recommandations sur les groupes d'acteurs suivants pour lesquels les fiches d'information respectives sont particulièrement intéressantes :

**Chercheurs & étudiants**

**Entreprises de peinture**

**Instances politiques**

**Citoyens & bricoleurs**

**Architectes & urbanistes**

**Presse & médias**

## Structure du guide

Le guide est structuré selon les thèmes suivants, sous lesquels les différentes fiches d'information sont regroupées :

- 1. Partenaires du projet, idée du projet & résumé**
- 2. Processus de lixiviation des biocides - comment les biocides sont lixiviés et comment ils atteignent les eaux souterraines**
- 3. Potentiel écotoxicologique des biocides et des peintures de façade contenant des biocides**
- 4. Analyses des acteurs : de la fabrication de la peinture à la façade peinte**
- 5. Prévention des biocides - Résolution des problèmes à la source**
- 6. Stratégie de projet - Comment prévenir le lessivage des biocides et les apports de biocides dans les eaux souterraines ?**
- 7. Communication du projet - Comment communiquer au public le risque de lessivage de biocides et de contamination des eaux souterraines ?**



# Contenu

## 1. Partenaires du projet, idée du projet & résumé

## 2. Processus de lixiviation des biocides - comment les biocides sont lixiviés et comment ils atteignent les eaux souterraines

- Où trouve-t-on des biocides à Fribourg ? - Étude de cas : zone urbaine de Wiehre
- Persistance des biocides dans l'environnement : que peuvent nous apprendre les essais en laboratoire ? - L'exemple de la terbutryne
- Comment la terbutryne se retrouve-t-elle dans l'environnement ? Essais sur le terrain concernant le lessivage des façades
- De la façade à l'environnement : que deviennent les biocides ?
- Bassin de rétention des eaux pluviales = bassin de rétention des biocides ? - Exemple de cas d'une zone résidentielle à Landau
- Voies d'apport des biocides dans les eaux souterraines

## 3. Potentiel écotoxicologique des biocides et des peintures de façade contenant des biocides

- Peintures de façade contenant des biocides et des nanomatériaux : comparaison écotoxicologique

## 4. Analyses des acteurs : de la fabrication de la peinture à la façade peinte

- Une chaîne d'acteurs complexe
- La fabrication des peintures : un métabolisme industriel complexe et éloigné des peintres
- Les peintres : une profession diversifiée entre activités conventionnelles et innovations alternatives
- L'importance du rôle social des façades

## 5. Prévention des biocides - Résolution des problèmes à la source

- Éviter les biocides dans les matériaux de façade grâce à la chimie durable
- Des substances naturelles pour remplacer les biocides conventionnels - Etude de l'exemple des flavonoïdes

## 6. Stratégie de projet - Comment prévenir le lessivage des biocides et les apports de biocides dans les eaux souterraines ?

## 7. Communication du projet - Comment communiquer au public le risque de lessivage de biocides et de contamination des eaux souterraines ?

- Visualiser et communiquer le lessivage des biocides - Cartes de risques biocides
- Estimer et communiquer le lessivage des biocides - FReWaB-PLUS



# 1. Partenaires du projet, idée du projet & résumé

## Direction de projet | Coordination de projet

Jens Lange | Marcus Bork

## Partenaires du projet

### Université de Strasbourg

Guillaume Christen, Philippe Hamman, Céline Monicolle, Maurice Wintz (SAGE)

Benoît Guyot, Gwenaël Imfeld, Tobias Junginger, Jérémy Masbou, Sylvain

Payraudeau (ITES)

### Université de Fribourg

Britta Kattenstroth, Felicia Linke, Jürgen Strub, Monika Wirth (hydrologie)

Frank Preusser, Claire Rambeau (sédimentologie)

### Université de Lüneburg

Klaus Kümmerer, Oliver Olsson, Lena Schnarr

### Université de Coblence-Landau

Mirco Bundschuh, Ricki Rosenfeldt, Frank Seitz

### WWL Planification environnementale et géoinformatique GbR

Johannes Engel, Alexander Krämer

## Résumé

Les eaux souterraines du Rhin supérieur fournissent de précieux services écosystémiques, tant pour l'approvisionnement en eau potable que pour l'irrigation et les usages industriels, qu'il convient de protéger aujourd'hui et pour les générations futures. Des biocides sont utilisés dans les peintures et les enduits de construction afin d'empêcher l'apparition d'algues et de champignons. De nombreuses études ont montré que ces substances, ainsi que leurs produits de transformation, peuvent être lessivés lorsqu'il pleut sur les façades et s'infiltrer dans les eaux souterraines urbaines. Le projet NAVEBGO a donc dressé un état des lieux sur trois sites d'étude sélectionnés (Fribourg, Landau, Strasbourg) dans la région du Rhin supérieur. Dans une approche interdisciplinaire, les aspects de la mobilisation, de la stabilité et de la transformation, l'écotoxicologie ainsi que les éventuels substituts naturels des biocides ont été étudiés. Les questions sociologiques, également traitées, comprennent entre autres les perceptions des acteurs pertinents et se sont avérées décisives pour préconiser une stratégie de réduction durable de l'utilisation des biocides. Celle-ci réduit l'utilisation de biocides à la source par le biais de différentes mesures. La vision qui en résulte est une contribution importante à la création d'une ville sans biocides. Les algues et les champignons sur les façades ne sont alors plus considérés comme des parasites, mais comme des éléments vivants d'un futur écosystème urbain.



Fonds européen de développement régional  
(FEDER)  
Europäischer Fonds für regionale Entwicklung  
(EFRE)



„Dépasser les frontières, projet après projet“





# 2. Processus de lixiviation des biocides - comment les biocides sont lixiviés et comment ils atteignent les eaux souterraines

## Factsheets

- Où trouve-t-on des biocides à Fribourg ? - Étude de cas : zone urbaine de Wiehre

Chercheurs & étudiants

Citoyens & bricoleurs

Instances politiques

Presse & médias

- Persistance des biocides dans l'environnement : que peuvent nous apprendre les essais en laboratoire ? - L'exemple de la terbutryne

Chercheurs & étudiants

- Comment la terbutryne se retrouve-t-elle dans l'environnement ? Essais sur le terrain concernant le lessivage des façades

Chercheurs & étudiants

Entreprises de peinture

Instances politiques

- De la façade à l'environnement : que deviennent les biocides ?

Chercheurs & étudiants

Citoyens & bricoleurs

Instances politiques

Presse & médias

- Bassin de rétention des eaux pluviales = bassin de rétention des biocides ? - Exemple de cas d'une zone résidentielle à Landau

Chercheurs & étudiants

Entreprises de peinture

Instances politiques

Architectes & urbanistes

- Voies d'apport des biocides dans les eaux souterraines

Chercheurs & étudiants

Citoyens & bricoleurs

Instances politiques

Architectes & urbanistes

Presse & médias



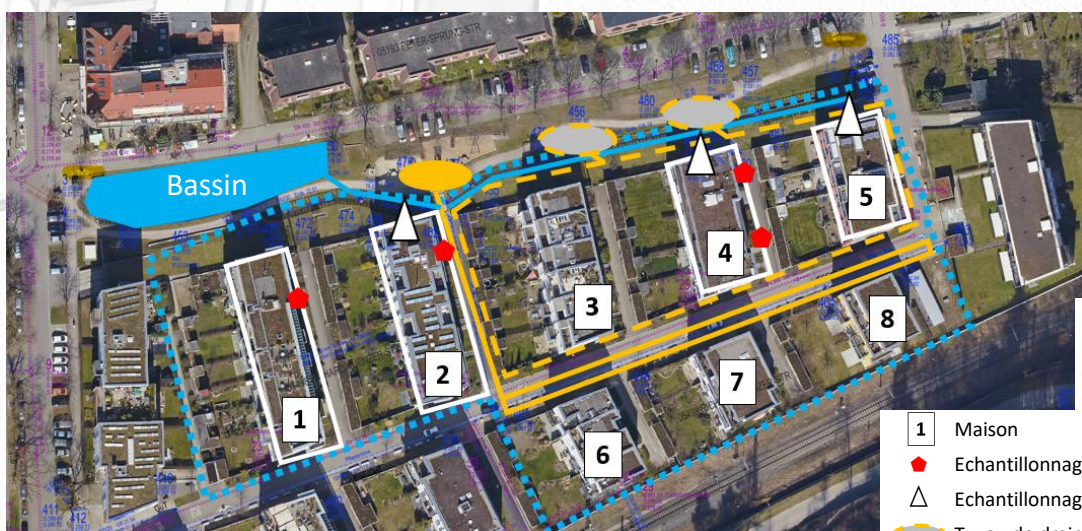


### Factsheets

*Des biocides ont été trouvés à différents endroits dans une zone urbaine de Fribourg. Même après plus de dix ans, des lessivages de biocides ont lieu. Les travaux de réparation des façades en sont une des raisons.*

### Une zone urbaine de Fribourg et ses biocides

Le lessivage des biocides a été étudié à titre d'exemple dans une petite zone résidentielle de la ville de Fribourg. Certains facteurs y favorisent le lessivage des biocides, comme l'absence de débords de toit. Toutes les maisons étudiées ont plus de dix ans. Huit maisons de quatre étages sont raccordées à un bassin d'infiltration. L'eau de pluie qui s'écoule dans la zone résidentielle s'infiltre dans le sol ou est dirigée vers le bassin.



N 25m  
©Stadt Freiburg i.Br.

- 1 Maison
- Echantillonnage gouttière
- △ Echantillonnage écoulement de façade
- Tuyau de drainage
- Tuyau d'écoulement de surface

Auteurs: Felicia Linke<sup>1</sup>, Oliver Olsson<sup>2</sup>, Frank Preusser<sup>3</sup>, Klaus Kümmerer<sup>2</sup>, Lena Schnarr<sup>2</sup>, Marcus Bork<sup>1</sup>, Jens Lange<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Chaire d'hydrologie, Faculté de l'environnement et des ressources naturelles, Université de Fribourg, Fribourg, Allemagne

<sup>2</sup> Institut de chimie durable, Université Leuphana de Lüneburg, Lüneburg, Allemagne

<sup>3</sup> Chaire de sédimentologie, Faculté de l'environnement et des ressources naturelles, Université de Fribourg, Fribourg, Allemagne



## Comment mesure-t-on les biocides dans l'eau ?



L'échantillon d'eau est directement versé dans une bouteille en verre brun et refroidi si possible immédiatement. Cela évite l'influence de la lumière et de la température sur les biocides. En laboratoire, l'échantillon est préparé et analysé dans un spectromètre de masse. Celui-ci permet de mesurer des substances en très faibles concentrations, y compris les biocides et leurs produits de transformation.

## Sources et voies d'accès : Où trouver des biocides ?

Les biocides sont lessivés de la façade en cas de pluie battante. La façade est donc la source des biocides. De là, les biocides sont transportés avec l'eau dans un bassin d'infiltration via des gouttières et des tuyaux de drainage.



Des biocides ont été trouvés dans la plupart des endroits examinés. Une façade fraîchement peinte présentait les plus fortes concentrations de biocides.

Des traces de biocides ont également été trouvées dans des échantillons de sédiments.

A certains endroits, des concentrations critiques ont été mesurées pour les organismes de l'environnement, comme les algues. Le risque pour l'homme est faible, par exemple les valeurs limites pour l'eau potable n'ont jamais été dépassées dans le bassin d'infiltration.

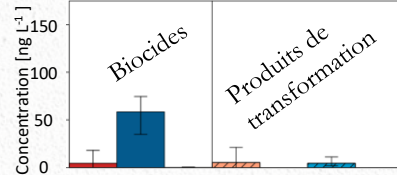
## Les biocides et leurs produits de transformation

Les produits de transformation sont issus de la dégradation incomplète des biocides sur les façades ou dans l'environnement. Une partie des biocides est transformée en produits de transformation sous l'influence du rayonnement solaire, des micro-organismes ou de l'eau.

**Nos mesures montrent que le passage dans le sol joue un rôle important dans la dégradation, voire la transformation, des biocides.**

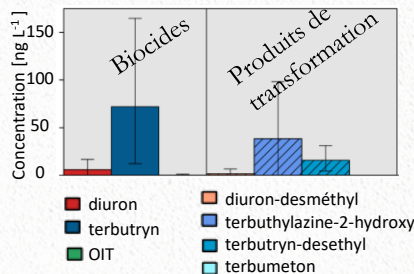
Le sol et ses micro-organismes sont importants pour la dégradation et la rétention des biocides. Cela permet de réduire l'apport de biocides dans les eaux souterraines, mais ne peut néanmoins pas totalement l'éviter.

### Écoulement de surface sans passage par le sol



→ Moins de dégradation et de rétention des biocides

### Système de drainage avec passage dans le sol



→ Les biocides sont dégradés par des micro-organismes et retenus dans le sol.

Littérature : Linke et al. 2021(DOI : 10.5194/hess-25-4495-2021)



# Persistance des biocides dans l'environnement : que peuvent nous apprendre les essais en laboratoire ? L'exemple de la terbutryne

## Factsheets

*La molécule herbicide terbutryne peut être dégradée biologiquement et sous l'effet du rayonnement solaire. La dégradation est cependant très lente, ce qui entraîne une **accumulation dans l'environnement.***

### Les études de dégradation fournissent des informations sur le devenir des produits chimiques dans l'environnement.

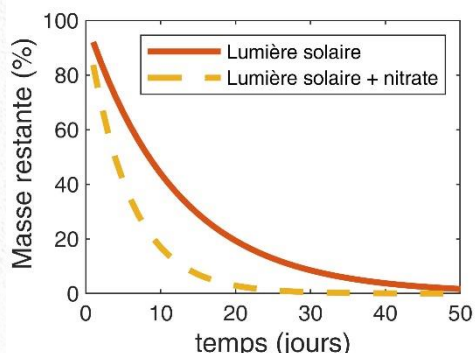
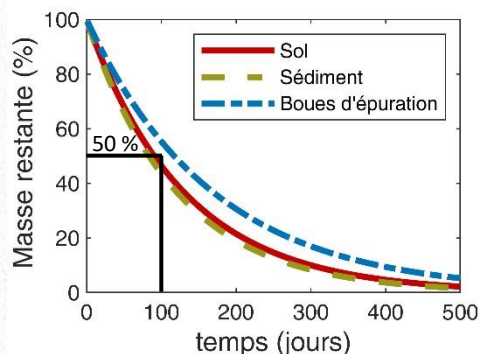
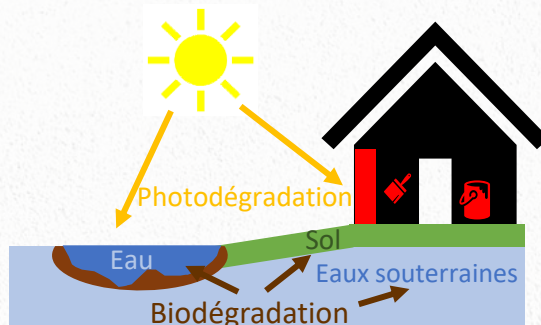
Les voies de dégradation typiques des biocides dans l'environnement sont la biodégradation (par des micro-organismes) et la photodégradation (par le rayonnement solaire).

La biodégradabilité du biocide terbutryne a été testée en laboratoire. Pour cela, nous ajoutons la terbutryne au sol, aux sédiments d'un bassin de rétention des eaux de pluie et aux boues d'épuration.

**Après 100 jours, seule la moitié environ de la terbutryne est biodégradée !**

La **photodégradabilité** de la terbutryne a été évaluée dans une chambre d'essai exposée à un rayonnement solaire constant. Pour ce faire, la terbutryne a été dissoute dans de l'eau. Dans un deuxième essai, l'influence du nitrate sur la dégradabilité a été testée. Le nitrate est souvent présent dans les eaux environnementales et peut former des radicaux sous l'effet de la lumière du soleil. Cela entraîne une réaction avec les biocides et une dégradation plus rapide.

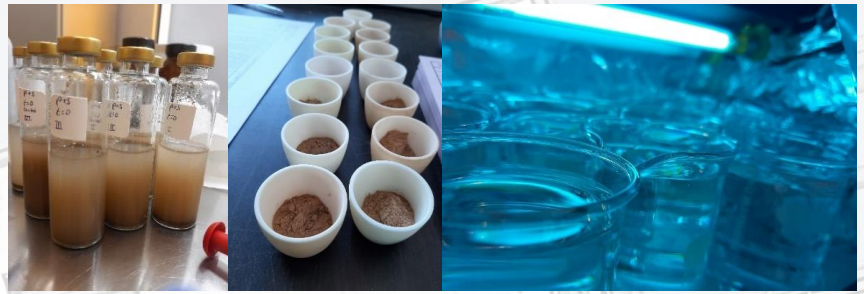
**Nous concluons que la photodégradation dans l'environnement est du même ordre de grandeur que la biodégradation.**



Auteurs: Tobias Junginger<sup>1</sup>, Sylvain Payraudeau<sup>1</sup>, Gwenaël Imfeld<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institut Terre et Environnement de Strasbourg (ITES), Université de Strasbourg/ EOST/ ENGEEES, CNRS, UMR 7063, F-67084, Strasbourg, France



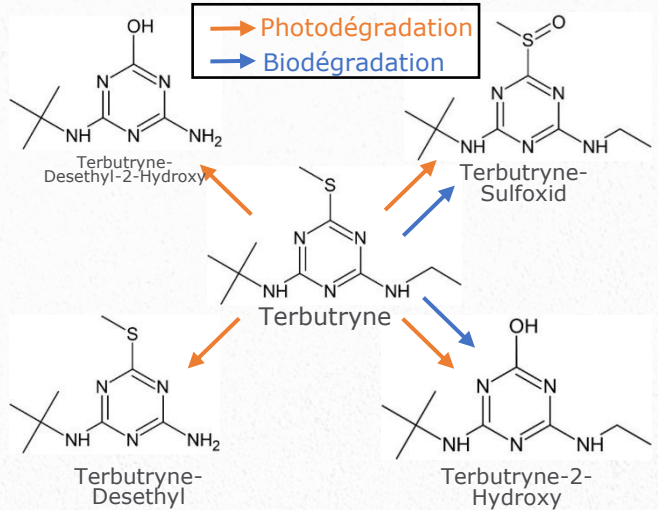


## Factsheets

# Des produits de transformation se forment lors de la dégradation !

La dégradation de la terbutryne génère des produits de transformation. La **biodégradation** produit principalement au sulfoxyde de terbutryne et au terbutryne-2-hydroxy, tandis que la **photodégradation** peut donner lieu à de nombreux produits différents.

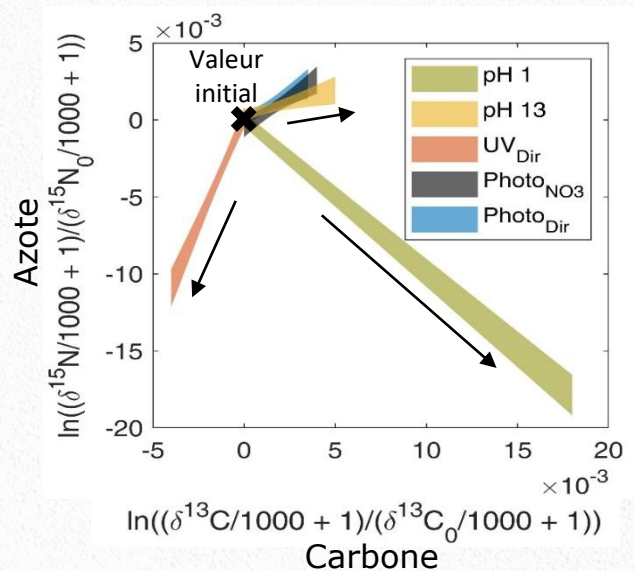
Ces produits de transformation peuvent également avoir des effets négatifs sur les micro-organismes et les organismes aquatiques, s'accumuler dans l'environnement et atteindre les eaux souterraines.



# L'analyse isotopique : une nouvelle approche pour mesurer la dégradation des biocides dans l'environnement

Pour savoir si la terbutryne est dégradée dans l'environnement ou si les concentrations sont modifiées, par exemple par dilution, on peut utiliser l'analyse isotopique. La dégradation modifie le rapport isotopique (par ex.  $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$  ou  $^{14}\text{N}/^{15}\text{N}$ ). Ce rapport isotopique donne des informations sur

1. la progression de la dégradation
2. Les voies de dégradation (p. ex. pour distinguer la photodégradation de la biodégradation)
3. Les mécanismes de dégradation



Junginger et al. (en préparation)



# Comment la terbutryne se retrouve-t-elle dans l'environnement ? Essais sur le terrain concernant le lessivage des façades

*La terbutryne peut être lessivée même après plus de 10 ans ! Les produits de transformation sont formés directement sur les façades et sont également libérés dans l'environnement.*

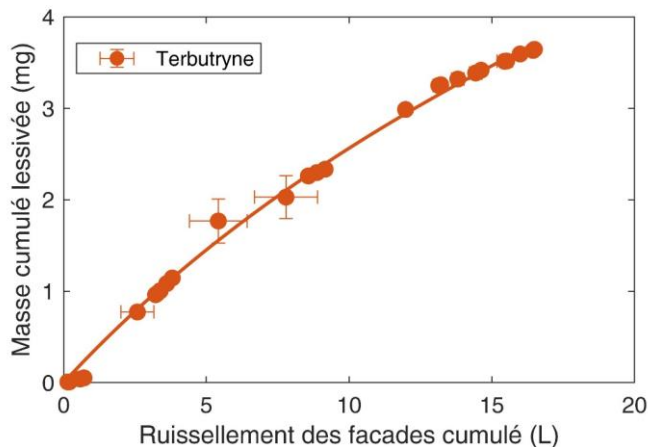
## Lessivage de terbutryne sur des façades fraîchement peintes

Dans le cadre d'un essai, quatre façades ont été fabriquées selon la pratique courante et peintes avec une peinture pour façade à laquelle une quantité connue de terbutryne a été ajoutée. L'une des façades ne contenait pas de terbutryne et a servi de contrôle. Les façades ont ensuite été exposées aux intempéries naturelles pendant 200 jours en 2021. Le ruissellement d'eau de pluie a été régulièrement échantillonné et analysé pour la terbutryne et quatre de ses produits de transformation.

Des lessivages de terbutryne ont pu être constatés jusqu'à la fin de l'essai. Les concentrations dans les lixiviats n'ont diminué que lentement (visible sur la courbe de lixiviation).

Sur la période étudiée, moins d'1 % de la terbutryne présente dans la peinture a été lessivée des façades. Néanmoins, cela correspond à plus d'1 mg de terbutryne par m<sup>2</sup> de façade qui est rejeté dans l'environnement.

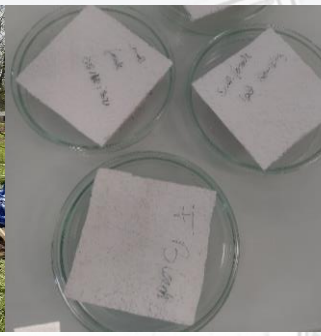
Les courbes de lessivage illustrent l'évolution du lessivage des biocides en fonction du ruissellement sur les façades. Le graphique montre le ruissellement de façade cumulé et la masse lessivée de terbutryne.



Auteurs: Tobias Junginger<sup>1</sup>, Sylvain Payraudeau<sup>1</sup>, Gwenaël Imfeld<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institut Terre et Environnement de Strasbourg (ITES), Université de Strasbourg/ EOST/ ENGEES, CNRS, UMR 7063, F-67084, Strasbourg, France

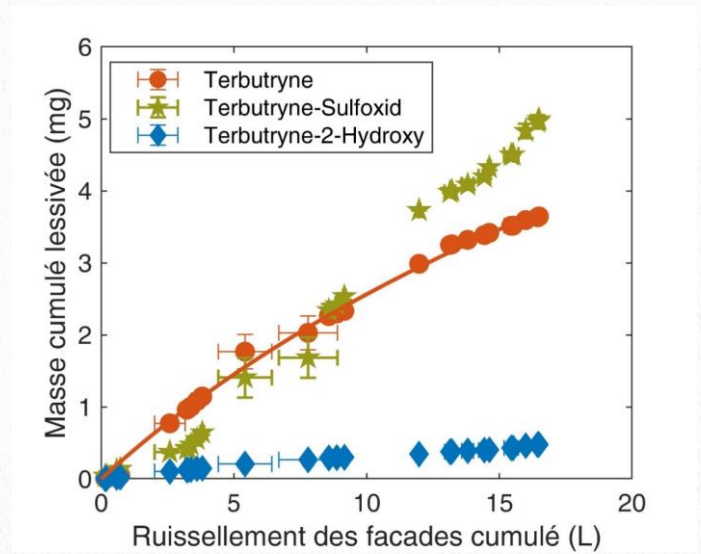




## Factsheets

# Les produits de transformation apparaissent déjà sur les façades

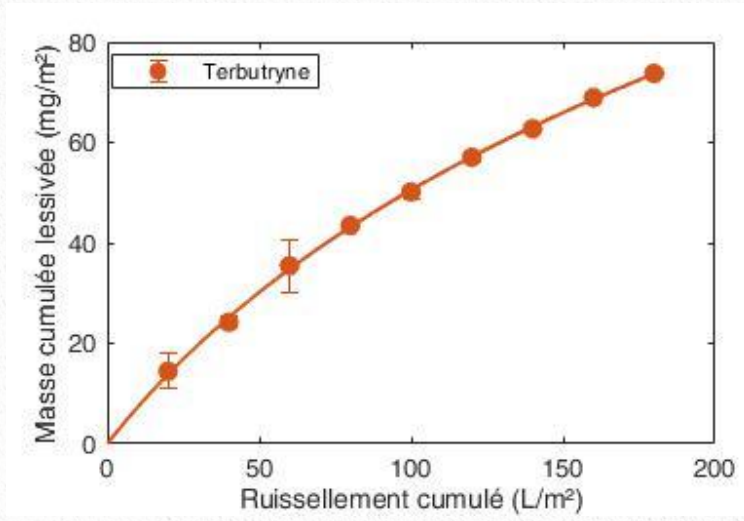
Outre la terbutryne, ses produits de transformation sont également lessivés depuis les façades. Les concentrations dépassent même parfois celles de la terbutryne. Cela indique que la terbutryne se dégrade dans les façades, par exemple par photodégradation (sous l'effet du rayonnement solaire). La masse émise des produits de transformation n'est pas négligeable (figure ci-contre), et ceux-ci sont également rejetés dans l'environnement. Les effets des produits de transformation sur les organismes dans l'environnement n'ont pas encore été suffisamment étudiés !



# Combien de temps les biocides sont-ils lessivés des façades ?

Afin d'imiter le lessivage à long terme, une partie des façades précédemment exposées a été utilisée pour des tests d'immersion. Pour ce faire, la façade est placée dans un bain d'eau et des échantillons sont prélevés à différents moments. Après chaque cycle d'immersion, l'eau est renouvelée. Les tests d'immersion simulent la pluie sur une période de plus de 10 ans.

Les résultats illustrent le fait que les biocides peuvent encore être lessivés des façades après plus de 10 ans. Bien que le lessivage diminue avec le temps, les émissions sont toujours déterminantes dans l'environnement après 10 ans.



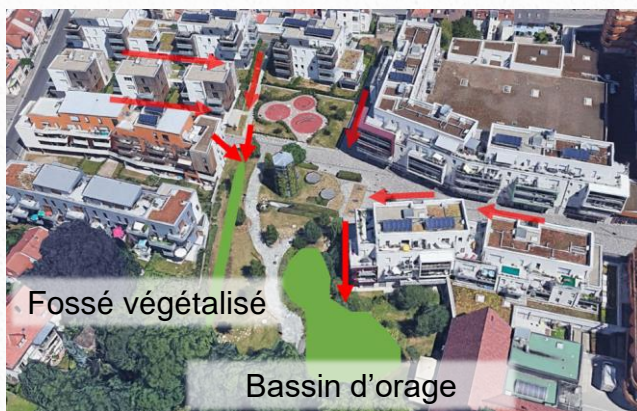
Junginger et al. (en préparation)



Des biocides ont été détectés dans l'eau, les sédiments, le sol et les plantes d'un quartier résidentiel construit il y a sept ans. **Les biocides sont partout !**

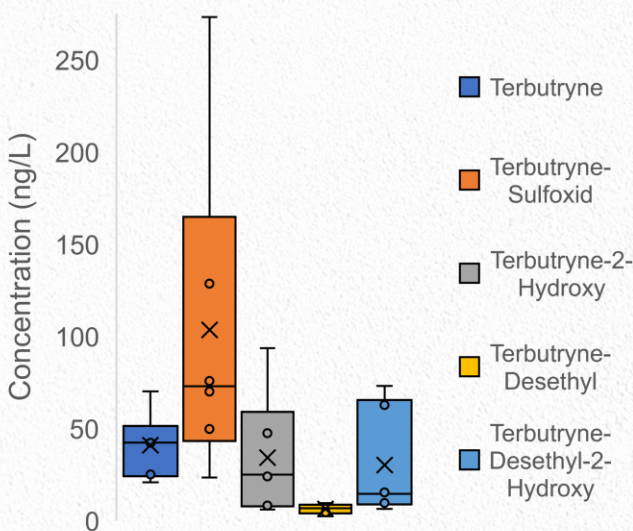
## Biocides et produits de transformation dans l'eau de pluie

La zone étudiée (Adelshoffen, Schiltigheim, France) est un quartier de 7 ans, d'environ 3,5 ha, où les eaux de pluie sont collectées dans un bassin d'orage et un fossé végétalisé pour infiltration. Des préleveurs automatiques y ont été installés en 2021 pour échantillonner l'eau l'écoulement lors d'événements pluvieux. De plus, des échantillons ont été prélevés chaque semaine dans le bassin d'orage, ainsi que des échantillons de sédiments, de sol et de plantes. Le débit entrant et le niveau d'eau dans le bassin de rétention et le fossé ont été mesurés afin d'établir un bilan de masse.



Des concentrations moyennes de 16 ng/L de terbutryne et de 297 ng/L de diuron ont été mesurées dans le bassin de rétention des eaux de pluie et de 41 ng/L de terbutryne et de 70 ng/L de diuron dans le fossé végétalisé. Des produits de transformation de la terbutryne ont été détectés dans tous les échantillons, parfois à des concentrations plus élevées que la terbutryne. **Chaque épisode pluvieux continue d'entraîner des biocides depuis les façades vers l'environnement!**

Terbutryne et produits de transformation dans la fossé végétalisé



**Rappel :** 100 ng/L correspond à peu près à la quantité de 4 morceaux de sucre (10 g) dissous dans 40 piscines olympiques (50 m×25 m×2m)

Auteurs: Tobias Junginger<sup>1</sup>, Sylvain Payraudeau<sup>1</sup>, Gwenaël Imfeld<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institut Terre et Environnement de Strasbourg (ITES), Université de Strasbourg/ EOST/ ENGEES, CNRS, UMR 7063, F-67084, Strasbourg, France





## Factsheets

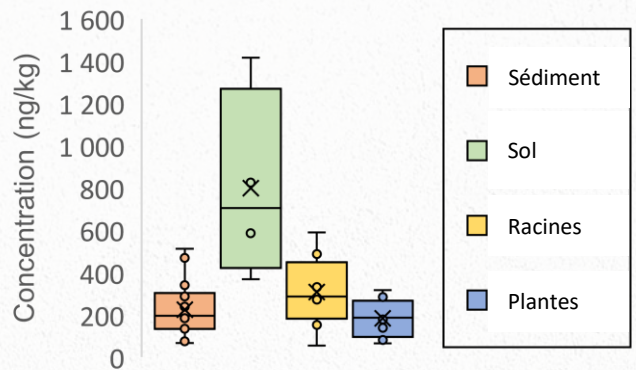
# Accumulation en terbutryne dans le sol et des plantes

La terbutryne a été détectée non seulement dans les échantillons d'eau, mais aussi dans les sédiments, le sol et les plantes (racines et partie aérienne).

Cela signifie que la terbutryne ne se disperse pas seulement dans les sédiments et le sol, mais qu'elle peut également être absorbée par les plantes.

**Rappel :** 1000 ng/kg correspond environ à la quantité de 4 morceaux de sucre (10 g) dans 36.000 baignoires (200 L) remplies d'humus (sol, densité : 1,4 t/m<sup>3</sup>)

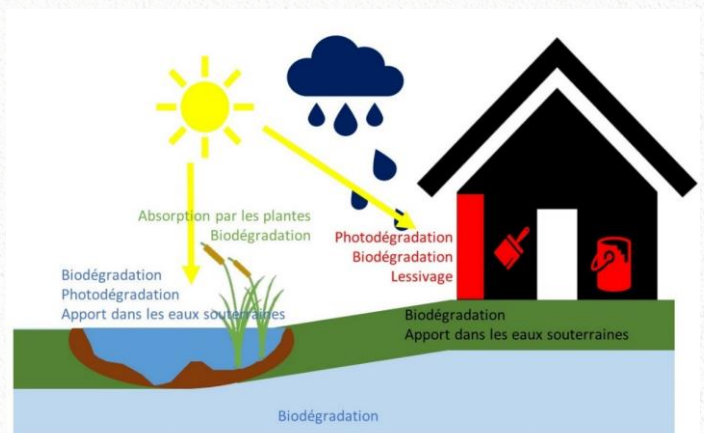
Concentration de terbutryne dans différents matériaux



# Passé et futur : estimation des lessivages de biocides sur une décennie

Pour calculer la masse de biocides qui a été lessivée sur plusieurs années, un modèle mathématique peut être alimenté avec des données mesurées (concentrations, données météorologiques, débit). Le modèle permet d'estimer la masse totale de terbutryne lessivée depuis la création du quartier et donne une estimation de:

- L'évolution des émissions de biocides au fil du temps
- La distribution des biocides et dégradation à l'échelle du quartier
- L'apport des biocides dans les eaux souterraines



(Junginger et al., en préparation)



# Bassin de rétention des eaux pluviales = Bassin de rétention de biocides ?

## Étude de cas à Landau

### Factsheets

*Seule une petite partie des biocides lessivés atteint le bassin de rétention des eaux pluviales d'une zone résidentielle. Une lente dégradation s'y produit alors, en fonction des conditions existantes dans le bassin.*

## Biocides dans une zone résidentielle avec bassin de rétention des eaux de pluie

De nombreuses zones urbaines sont reliées à des bassins de rétention des eaux de pluie. Ceux-ci ont pour but d'écarter les pics d'écoulement lors d'événements pluvieux et d'éviter ainsi une surcharge des canalisations. Pour ce faire, ils retiennent temporairement l'écoulement formé, dont une partie s'évapore ou s'infiltrate dans le sol.

Contrairement aux dépressions d'infiltration, les bassins de rétention d'eau de pluie sont donc plutôt des réservoirs d'eau temporaires, car ils ne sont pas conçus pour des capacités d'infiltration élevées. On a étudié ici le comportement des biocides dans de tels systèmes.



Les biocides ont été analysés à titre d'exemple dans un quartier résidentiel composé de maisons individuelles à Landau-Nußdorf. Toutes les maisons ont été construites au cours des dix dernières années. Deux tuyaux provenant de la zone se déversent dans un bassin de rétention des eaux de pluie. L'eau d'alimentation a été échantillonnée pour les biocides. De plus, les sédiments du bassin ont été analysés.



Auteurs: Felicia Linke<sup>1</sup>, Marcus Bork<sup>1</sup>, Jens Lange<sup>1</sup>

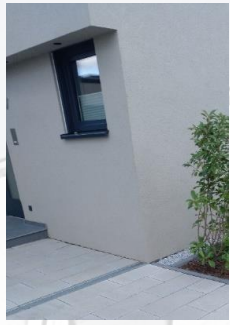
<sup>1</sup> Chaire d'hydrologie, Faculté de l'environnement et des ressources naturelles, Université de Fribourg, Fribourg, Allemagne

„Dépasser les frontières, projet après projet“

DOI: 10.6094/UNIFR/229953







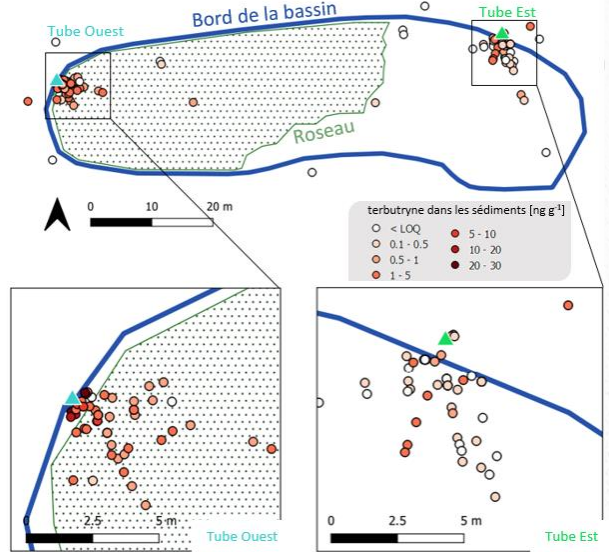
## Factsheets

# Biocides dans les bassins de rétention des eaux de pluie

Des biocides ont été détectés dans les deux tuyaux d'arrivée lors de différents événements. La terbutryne a été détectée presque partout à de faibles concentrations dans des échantillons de sol prélevés dans le bassin.

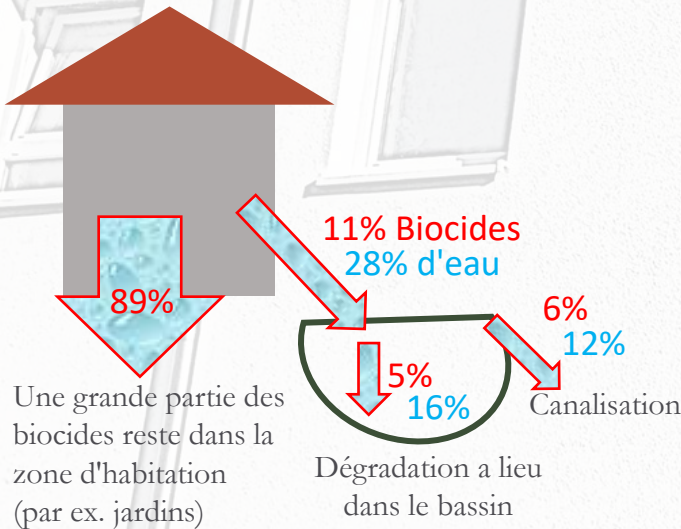
Des concentrations élevées n'ont été détectées que dans les sédiments du tuyau ouest. Des biocides étaient constamment introduits dans le bassin et, en raison de l'eau stagnante, le potentiel redox y était plus faible, réduisant la dégradation des biocides.

Le modèle de répartition des biocides mis en évidence dans le bassin souligne leur large distribution et leur lente dégradation.



Concentration de biocides dans les sédiments de bassin

## Voies de transfert des biocides - une estimation



Une grande partie des biocides reste dans la zone d'habitation (par ex. jardins)

Dégradation a lieu dans le bassin

Canalisation

Des modèles de simulation permettent d'estimer où les biocides atterrissent après avoir été lessivés sur les façades. Seuls 11% sont rejetés dans le bassin, une grande partie reste dans la zone d'habitation (p. ex. jardins, zones autour des maisons). Environ la moitié est ensuite dégradée dans le bassin.

**Le bassin retient donc non seulement l'eau, mais aussi une partie des biocides apportés.**

Les biocides restants se retrouvent dans les égouts et les stations d'épuration après export du bassin. De là, ils peuvent être entraînés dans les eaux de surface.

Tous les pourcentages sont des estimations et ne peuvent pas être appliqués à d'autres situations ou régions.

Linke et al. en préparation

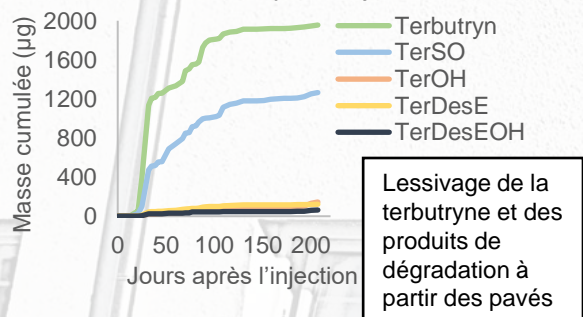
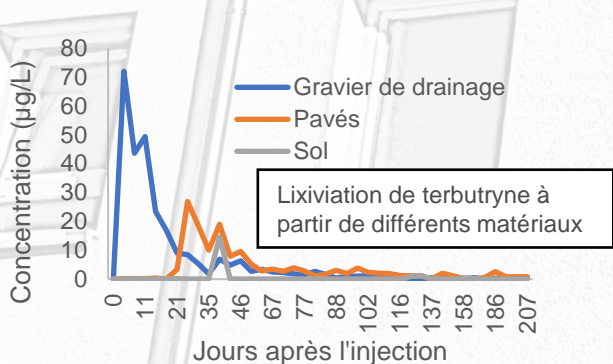


## Factsheets

*Il existe différentes voies d'accès des biocides dans les eaux souterraines. Des biocides et des produits de transformation ont déjà été détectés dans les eaux souterraines !*

## Comment les biocides atteignent-ils les eaux souterraines ?

Suite au lessivage des façades, les biocides entrent dans l'environnement par différentes voies. Les biocides s'infiltrent dans les graviers de drainage, les pavés ou les sols végétalisés. Dans le cadre d'essais en plein air, des biocides ont été dopés sur ces trois surfaces type afin d'observer leur transport et leur dégradation à une profondeur de 40 cm pendant 200 jours. Les biocides ont d'abord été détectés sous les graviers de drainage, puis sous les pavés et enfin dans le sol végétalisé.



**Même après plus de 200 jours, des biocides sont encore libérés de tous les substrats.**

La terbuthryn s'est principalement transformée en sulfoxyde de terbuthryn (TerSO), qui a également été lessivé. D'autres produits de transformation ont été détectés, mais ils ne représentent qu'une faible proportion de la quantité totale de biocides lessivés.

**Seule une faible proportion des biocides (<25 % pour la terbuthryn) a été libérée au cours de la période de 200 jours.**

Une partie reste donc dans les couches de matériaux! Cela montre que les biocides peuvent s'accumuler dans différents matériaux.

Auteurs: Felicia Linke<sup>1</sup>, Tobias Junginger<sup>2</sup>, Gwenaël Imfeld<sup>2</sup>, Marcus Bork<sup>1</sup>, Jens Lange<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Chaire d'hydrologie, Faculté de l'environnement et des ressources naturelles, Université de Fribourg, Fribourg, Allemagne  
<sup>2</sup> Institut Terre et Environnement de Strasbourg (ITES), Université de Strasbourg/ EOST/ ENGEES, CNRS, UMR 7063, F-67084, Strasbourg, France



# Apports de biocides dans les eaux souterraines de Fribourg

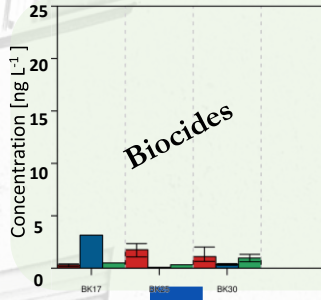


## Factsheets

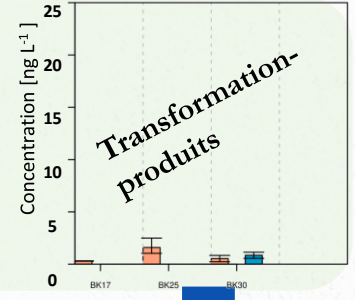
Plusieurs stations de mesure des eaux souterraines se situent dans un quartier de Fribourg afin de suivre un site pollué. Il est possible d'y prélever des échantillons d'eau souterraine à proximité de systèmes de fossés et de rigoles et d'analyser la présence de biocides. Ces échantillonnages ont déjà eu lieu dans le cadre d'un projet précédent et ont été poursuivis dans le cadre du projet NAVEBGO.

En général, les concentrations de biocides dans les eaux souterraines sont plus élevées à l'aval des systèmes de rigoles en cuvette qu'à l'amont.

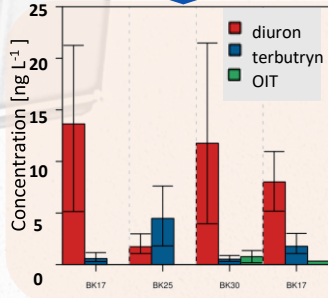
→ Un apport de biocides via le système de fossés et de rigoles peut donc être prouvé.



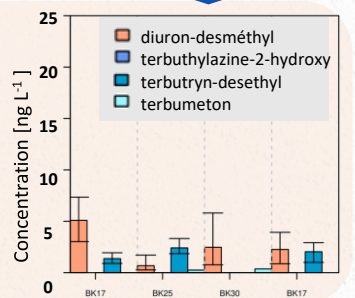
Eaux souterraines dans l'affluent du système de fossés et de rigoles



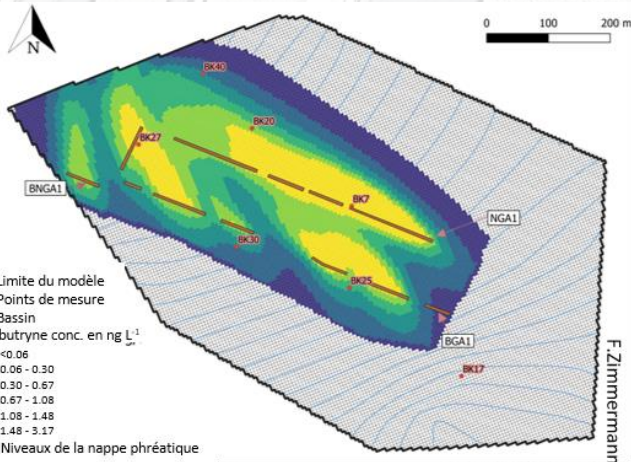
Transformation-produits



Eaux souterraines en aval du système de fossés et de rigoles



## Les biocides sont-ils retenus dans les systèmes de fossés et de rigoles ?



Une prévision précise et à long terme de l'infiltration des eaux souterraines n'est possible que par le biais de modèles. Pour cela, le lessivage des biocides à partir des façades et un éventuel apport dans les dépressions et les eaux souterraines sont simulés. Le modèle Frewab-PLUS, accessible à tous, et un modèle de nappe phréatique ont été utilisés à cet effet. Les simulations correspondent aux ordres de grandeur des concentrations mesurées dans les eaux souterraines.

→ On constate donc une faible rétention des biocides dans les systèmes de fossés et de rigoles.

Littérature : Hensen et al. 2018 (DOI : 10.1016/j.watres.2018.07.046) ; Zimmermann 2021 (mémoire de master), Bork et al. 2021 (DOI : 10.1038/s41598-021-86387-9), Linke et al. en prép., Junginger et al. en prép.



# 3. Potentiel écotoxicologique des biocides et des peintures de façade contenant des biocides

## Factsheets

- Peintures de façade contenant des biocides et des nanomatériaux : comparaison écotoxicologique

Chercheurs & étudiants

Entreprises de peinture

Instances politiques

Citoyens & bricoleurs

Architectes & urbanistes

Presse & médias



# Peintures de façade contenant des biocides et des nanomatériaux : comparaison écotoxicologique

## Factsheets

Les peintures contenant des biocides sont souvent plus toxiques que celles contenant des nanomatériaux fonctionnels. Cependant, les peintures de façade à base de nanoparticules d'argent présentent également des effets à long terme significatifs sur plusieurs générations de daphnies.

## Contexte : Influence des peintures et composants de façade sur l'environnement aquatique

La pluie entraîne les peintures pour façades et leurs composants, tels que les biocides ou les nanomatériaux encastrés, dans les écosystèmes aquatiques voisins par lixiviation. Les organismes et les communautés qui y vivent sont exposés à ces produits chimiques de manière temporaire ou permanente. L'influence possible de ces substances sur ces organismes (par exemple, les cycles des nutriments) reste à ce jour largement inconnue.

Dans le cadre de NAVEBGO, des études à court et à long terme ont donc été menées dans un premier temps avec les organismes clés et de substitution *Desmodesmus subspicatus* (algue verte, producteur primaire) et *Daphnia magna* (puce d'eau, consommateur primaire). Les résultats correspondants et les concentrations d'effets résultantes ont été déterminés pour différents biocides (diuron, octhiline, terbutryne), nanomatériaux (dioxyde de titane, argent) et peintures pour façades contenant certaines de ces substances. Cela a permis un premier référencement écotoxicologique comparatif de ces composants et des peintures qui les contiennent.



Figure 1 : Peinture de façade et écotoxicologie

Auteurs: Frank Seitz<sup>1</sup>, Ricki Rosenfeldt<sup>1</sup>, Alexander Feckler<sup>1</sup>, Jochen Zubrod<sup>1</sup>, Mirco Bundschuh<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institut des sciences environnementales, Université de Coblenz-Landau, Landau, Allemagne



# Peintures de façade contenant des biocides et des nanomatériaux : comparaison écotoxicologique

## Factsheets

### Études d'exposition aiguës pour différents biocides, nanomatériaux et peintures pour façades

Des valeurs d'effet de l'ordre de faibles mg/L - et donc des toxicités relativement élevées - ont été observées principalement pour les biocides purs (non intégrés dans les peintures) pour les algues. Ces expériences ont été suivies par celles liées aux nanomatériaux dans des expériences aiguës avec des daphnies.

La situation est similaire pour les peintures de façade : les peintures qui ne contiennent ni biocides ni nanomatériaux n'ont pas ou très peu d'effets. En revanche, des effets plus importants ont été observés pour les peintures contenant des nanomatériaux et finalement des biocides (Fig. 2 A et B).

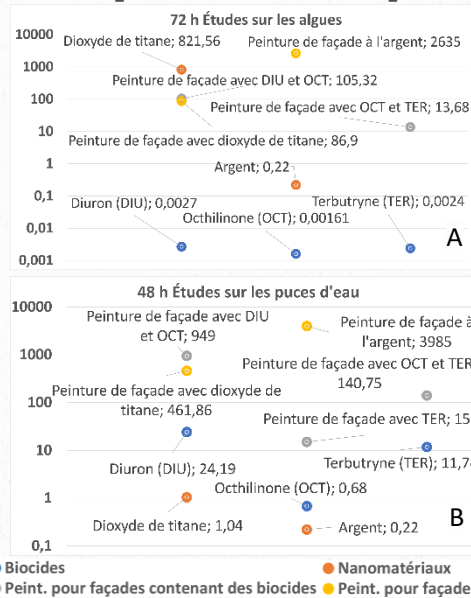


Figure 2A : Comparaison des concentrations d'effets en 72 h (mg/L) de différents matériaux de test pour l'algue verte *Scenedesmus subspicatus*.

Figure 2B : Comparaison des concentrations d'effets en 48 h (mg/L) de différents matériaux de test pour la puce d'eau *Daphnia magna*.

### Études chroniques avec une peinture pour façade contenant des nanoparticules d'argent

Jusqu'à présent, on sait très peu de choses sur l'influence chronique des nanomatériaux et des peintures de façade associées sur les organismes aquatiques. Dans le cadre de NAVEBGO, des expériences écotoxicologiques plus poussées avec des daphnies devraient fournir des informations à ce sujet et clarifier si les nanomatériaux fonctionnels représentent véritablement une alternative plus favorable à l'utilisation de biocides dans les peintures de façades. Les résultats d'une étude multigénérationnelle avec des peintures de façade contenant du nano-argent ont cependant mis en doute cette hypothèse. La mortalité due à l'alimentation des animaux exposés a fortement augmenté au cours des différentes générations (fig. 3).

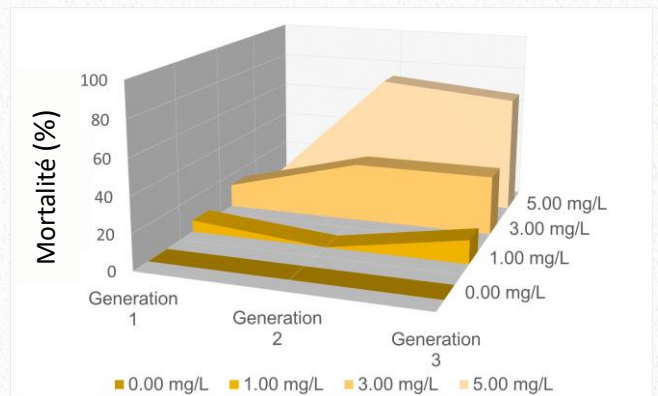


Figure 3 : Evolution de la mortalité sur trois générations successives de puces d'eau exposées à différents degrés (à la nano peinture de façade à l'argent).

- Images :
- Maison au bord de l'eau - par Katalin Thorndahl - <https://www.myheimat.de/de--hamm--882/kultur/mein-haus-im-wasser-narrenfreiheit-d2488090.html>
  - TiO2 - par Andreas Schwarzkopf - Propre création, CC BY-SA 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=72581647>
  - Algue - par Frank Fox - <http://www.mikro-foto.de>, CC BY-SA 3.0 de, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=20240806>
  - Daphnie - par Dieter Ebert, Basel, Switzerland - Propre travail, CC BY-SA 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=47132022>



# 4. Analyses des acteurs : de la fabrication de la peinture à la façade peinte

## Factsheets

- Une chaîne d'acteurs complexe

Chercheurs & étudiants

Instances politiques

Presse & médias

- La fabrication des peintures : un métabolisme industriel complexe et éloigné des peintres

Chercheurs & étudiants

Entreprises de peinture

Instances politiques

- Les peintres : une profession diversifiée entre activités conventionnelles et innovations alternatives

Chercheurs & étudiants

Entreprises de peinture

Instances politiques

Architectes & urbanistes

- L'importance du rôle social des façades

Chercheurs & étudiants

Entreprises de peinture

Instances politiques

Citoyens & bricoleurs

Architectes & urbanistes

Presse & médias



## Factsheets

*La question des biocides va bien au-delà des peintres et des fabricants des peintures. Elle mobilise une chaîne d'acteurs complexe qui brouille l'écologisation de la gestion des façades.*

## Des systèmes d'acteurs hiérarchisés, un métabolisme éclaté

Il y a un système dans le système : la fabrication des peintures a été déléguée à un système expert organisé en filières.

- Ce système complexe „contraint“ les choix de protection des façades à partir des systèmes de production (ce qui a pour effet de rendre invisible le métabolisme pour une grande partie des acteurs).
- Les choix des orientations en termes de types de peintures concernent un nombre important d'acteurs. Par conséquent, les actions d'information doivent s'adresser à des acteurs hétérogènes avec des discours adaptés

### Quels sont les acteurs déterminants dans les choix ?

- Habitants dont la demande sociale est contradictoire : ils souhaitent des façades propres sur la durée (résistantes au verdissement) et qui puissent intégrer les enjeux écologiques.
- Les décideurs urbains : la commande publique autour de projets phares (éco-quartier par exemple) peuvent avoir des effets d'entraînement.
- L'émergence d'alternatives susceptibles d'impulser un changement de pratiques à l'intérieur du système

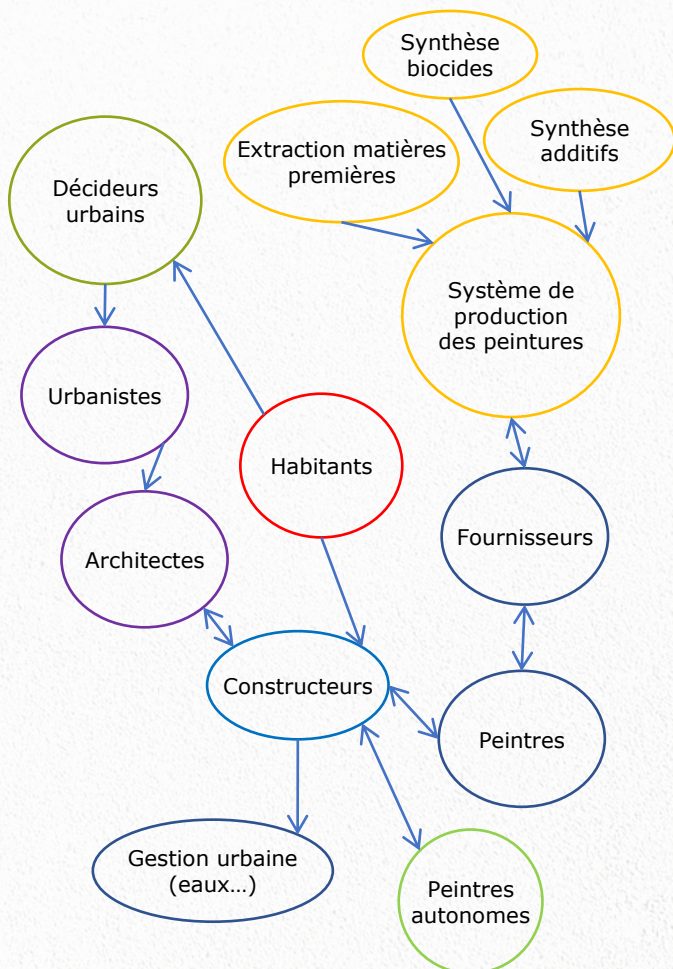


Fig.: La chaîne des acteurs

Auteurs: Maurice Wintz<sup>1</sup>, Guillaume Christen<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire Sociétés, Acteurs, Gouvernement en Europe (SAGE), Université de Strasbourg/ CNRS, UMR 7363, F-67083, Strasbourg, France





## Factsheets

**Les fabricants en tant qu'instances de prescriptions :** les fabricants proposent des systèmes cohérents (enduit de réparation, fixateur, isolation, enduit de finition) qui normalisent les chaînes d'opération et de décision autour d'un protocole à appliquer. Il est question d'une action de préconisation, qui consiste à recommander ou à conseiller et non à imposer un procédé, une marque ou une manière de faire. On soulève l'ambivalence de la prescription : l'obligation d'utiliser le système complet n'est pas réglementaire, or c'est dans le travail réel et quotidien du peintre qu'elle devient la norme. On constate que dans les faits, il est d'usage que les peintres utilisent les systèmes complets des constructeurs pour l'application des enduits, en utilisant la même marque pour les différentes chaînes d'opération.

## Quant la prescription d'un fabricant devient la norme pour les chantiers

Les préconisations de certains constructeurs deviennent la norme et leur système est largement diffusé et reconnu dans l'espace professionnel.

Ces préconisations formulées par des fabricants deviennent des technologies guides.

Elles fonctionnent comme des grilles standards, des points de repères à partir desquels les maîtres d'ouvrage vont s'ajuster : autrement dit, c'est le risque de copier-coller un dossier de préconisations sur de nouveaux chantiers

Ces technologies guides peuvent générer des effets d'inertie par reproduction des mêmes modèles :

*« on fait du copier-coller, certains architectes ont eu la visite d'un prescripteur de chez STO, Caparol, il a fait un beau dossier, je préconise ça, bon, on va le refaire, on va rester sur les mêmes procédés. »*

Un architecte mentionne aussi ces effets d'inertie:

*« Le client qui a eu la visite d'un archi, le client veut un effet perlant sur la façade, et si l'archi a déjà bossé avec une préco STO, disons que le peintre va avoir des difficultés à faire changer d'avis l'archi et le client. »*

## Les fournisseurs : des relais régionaux des fabricants. Ils font le lien entre les fabricants et les peintres

Les entreprises de fourniture implantées localement participent à diffuser et à transmettre les préconisations des fabricants via des conseils techniques et opérationnels.

La figure du commercial joue le rôle de « relais prescriptif » : ils inscrivent les préconisations des fabricants dans des opérations quotidiennes d'application.

Ce qui est prescrit, ce n'est pas un protocole strict à suivre pour l'application de tel produit, mais ce sont des conseils, une aide, un service, ou un accompagnement pour apporter une réponse pratique à un problème concret.

Un fournisseur va travailler de manière étroite avec une marque et devenir le conseiller de cette marque à l'échelle régionale

- Les commerciaux tracent un continuum entre les opérations d'application à l'échelle du chantier et les écrits formels des fiches du fabricant.
- Ces relais prescriptifs que sont les commerciaux sont importants : ils assurent la solidité des points d'ancrage des fabricants à l'échelle régionale.
- **Un changement de pratiques (diffusion d'une innovation alternative) doit inclure la figure du fournisseur, ce relais prescriptif qui exerce une influence sur le peintre**





# La fabrication des peintures : un métabolisme industriel complexe et éloigné des peintres

## Factsheets

*L'artificialisation des peintures et l'industrialisation de leur fabrication ont éloigné les peintres d'une compréhension de leur empreinte environnementale.*

## La fabrication des peintures est organisée en filière ce qui éloigne les artisans des chaînes de fabrication des enduits.

- La fabrication des peintures s'inscrit dans un métabolisme (Barles, 2008) car elle nécessite une quantité de matières (des charges, des pigments, du dioxyde de titane, de la poudre de marbre) des solvants, des liants.
- Le processus de fabrication ne peut pas être réduit à une simple variable technique, mais s'apparente à un système socio-naturel constitué à la fois « de social (des chaînes d'acteurs), de matériel (machines), de technique (innovation) et de naturel (ressources).
- Selon leur degré d'artifice, les peintures génèrent des empreintes différenciées et leur fabrication s'inscrit dans un métabolisme plus ou moins long.
- Parallèlement, à mesure que la fabrication se synthétise, la chaîne d'acteurs se spécialise et se complexifie. Plus les systèmes de fabrication se spécialisent (délégués à des industriels du secteur), plus les peintres entretiennent un rapport éloigné et distancé avec les processus de production (quantité et types de ressources nécessaires, empreinte environnementale).

Cette empreinte environnementale n'a pas toujours été la même et a évolué au cours de l'histoire et des socio-systèmes. Au Moyen-âge les couleurs sont fabriquées avec des matériaux végétaux ou minéraux récoltés sur place. Avec l'industrialisation des processus de fabrication, les peintures s'inscrivent dans une production de type synthétique en mobilisant des produits dérivés du pétrole. Dès lors, la composition des peintures entraîne le prélèvement de grandes quantités de ressources dont l'empreinte environnementale s'étend à une échelle internationale. Les minerais nécessaires à leur production (dioxyde de titane, chaux, poudre de marbre, etc.) sont le plus souvent extraits dans des mines fortement éloignées du lieu de fabrication et d'utilisation du produit final. Pour ce qui concerne le titane, les principales mines sont situées en Afrique du Sud, Australie ou au Canada. En plus d'être spatialement éloignée, l'empreinte environnementale est aussi atemporelle et éloignée dans le temps.

Auteurs: Guillaume Christen<sup>1</sup>, Maurice Wintz<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire Sociétés, Acteurs, Gouvernement en Europe (SAGE), Université de Strasbourg/ CNRS, UMR 7363, F-67083, Strasbourg, France





**Les peintures synthétiques:** La fabrication des peintures synthétiques repose sur un métabolisme ouvert et linéaire, selon un flux continu d'approvisionnement de matières, de production d'artefacts (peintures, crépis) et d'élimination des déchets. Au sein de ce processus de fabrication, les ressources circulent que dans un sens unique : de l'extraction des matières, à leur transformation en produits de synthèse. Ce processus repose sur un cycle technique où les artefacts produits ne réintègrent pas l'environnement.

## Factsheets

# La fabrication des peintures synthétiques: une „boîte noire“ où l'on fait confiance aux fournisseurs

- Le macro-système filialisé construit une « boîte noire » qui « naturalise » le processus de fabrication des peintures, susceptible de générer un rapport dématérialisé, « abstrait, voilé et occulté » (Dobigny, 2009) aux ressources.
- Les artisans n'entretiennent plus de prise directe avec les matières nécessaires à la production des peintures mais avec des systèmes préétablis et prêts à être appliqués.
- Le degré d'appropriation (ou de connaissance) sur la fabrication des peintures est faible, car la prise sur les procédés de fabrication est complexe et semble « brouillée » par des chaînes d'acteurs multiples.

Au sein de cette chaîne, l'artisan peintre est le dernier maillon de cette filière : « *Nous, on est au bas de l'échelle, on a pas vraiment notre mot à dire, on ne connaît pas, on sait pas trop ce qui passe derrière, la production* » (entretien avec un peintre).

Dans cette configuration, les peintres font confiance aux commerciaux des entreprises de fournitures et s'en remettent à leur expertise quant à la composition des peintures : « *Ils (les fournisseurs) nous expliquent, après c'est assez technique et on prend ce qu'on comprend.* » (entretien avec un peintre)

## Un chemin de dépendance à l'innovation technique

L'artificialisation introduit une rupture avec les matériaux « naturels », et leur remplacement (chaux, silicate) par de nouveaux, hautement synthétiques. Cette rupture engendre des conséquences multiples:

1. On oublie le rôle et les qualités des matériaux naturels, désormais remplacés par des produits de synthèse.
2. L'emploi de peintures synthétiques nécessite l'utilisation croissante de matières.
3. L'artificialisation traduit aussi des degrés d'irréversibilité : plus un système s'artificialise plus il paraît difficile de requalifier les processus biologiques.

Un peintre explique que selon le degré de synthèse de la peinture (acrylique, solvanté et minéral), celle-ci est plus ou moins vivante et entre en interaction avec le support :

« *C'est schématisé ce que je vous dis, c'est ce qui se passe, si on devait couper une façade, si on met de la peinture autour d'un caillou, si on devait couper un caillou en deux, on verrait l'acrylique qui est posé dessus, un solvanté, on verrait que le produit a pénétré un peu plus à l'intérieur, et le silicate, on verrait que la peinture est vraiment venue et n'a fait qu'un avec le support* » (entretien avec un peintre).

BARLES, S., 2008. « Comprendre et maîtriser le métabolisme urbain et l'empreinte environnementale des villes », Responsabilité & environnement (52), pp. 21-26.

DOBIGNY, L., 2009. « L'autonomie énergétique : acteurs, processus et usages. De l'individuel au local en Allemagne, Autriche, France », in Dobré M., Juan S. (eds), Consommer autrement. La réforme écologique des modes de vie, L'Harmattan, coll. Sociologie et environnement, pp. 245- 252.





# Les peintres : une profession diversifiée entre activités conventionnelles et innovations alternatives

## Factsheets

*Les peintures naturelles ne suscitent pas encore la confiance des artisans. Une majorité suit les préconisations des fournisseurs, une minorité teste les produits naturels. Comment développer leur usage?*

## Comment les peintres parlent des peintures? Leur système de pratique

Les peintres évoquent les peintures selon les chaînes d'opération et d'application. : une peinture dite siloxane ne s'applique pas de la même manière qu'un crépi acrylique.

Cet espace d'expérimentation et de « prise en main » des enduits renvoie au « cadre d'usage » (Flichy, 1995) et à la situation pratique du chantier. Le peintre va inscrire les gammes de peinture dans un « domaine des buts et des moyens » (Darré ; 1985) et attribuer des qualités et des traits à chacune de ces familles de peinture selon les objectifs à atteindre.

**A titre d'exemple:** les peintres vont évoquer l'épaisseur et le pouvoir couvrant (les qualités) des crépis acryliques. Ce pouvoir couvrant correspond aux attentes et aux objectifs visés dans le cas de façades faïencées : le pouvoir couvrant du crépi servira à masquer les fissures et autres imperfections pour atteindre un rendu homogène (l'objectif).

➤ C'est au sein de cet espace d'expérimentation que l'artisan façonne et se construit ses points de vue.

Les qualités des peintures siloxanes, acryliques et minérales selon les professionnels (enquêtes par questionnaires conduites en Alsace auprès des peintres, printemps 2021)

- Les qualités des peintures siloxanes : la respirabilité, une bonne couverture des façades, économique.
  - Les qualités des crépis acryliques : protection forte des façades. Mais ils ne laissent pas respirer les supports.
  - Les peintures minérales sont peu utilisées car contraignantes à appliquer selon 87% des artisans peintres et ce sont également les moins économiques.
- **Les peintures minérales perçues comme contraignantes à appliquer**
- **Ce sont les peintures dites siloxane qui sont le plus utilisées par la profession (les professionnels y trouvent un compromis entre le prix, la respirabilité de l'enduit et la tenue du support).**

Auteurs: Guillaume Christen<sup>1</sup>, Maurice Wintz<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire Sociétés, Acteurs, Gouvernement en Europe (SAGE), Université de Strasbourg/ CNRS, UMR 7363, F-67083, Strasbourg, France

„Dépasser les frontières, projet après projet“

DOI: 10.6094/UNIFR/230085



Fonds européen de développement régional (FEDER)  
Europäischer Fonds für regionale Entwicklung (EFRE)







Les peintres ne sont pas un groupe professionnel homogène et se différencient en trois catégories selon :

- La perception des biocides
- L'usage des produits à l'état de nature
- Les solutions de remplacement aux biocides

Nous différencions ici :

- Les peintres conventionnels
- Les peintres à forte identité écologique

## Factsheets

# Les peintres conventionnels : la tenue de la façade dans le temps

Ils travaillent principalement avec des produits synthétiques et font confiance aux réseaux de fournitures.

La tenue de la façade dans le temps reste un critère important de sélection des produits : il s'agit d'une qualité majeure dont l'objectif est la satisfaction de la clientèle et la reconnaissance professionnelle.

- Leur culture professionnelle ne voit pas le risque dans l'usage des biocides, mais l'identifie dans la réduction de la teneur en biocides qui altère la tenue de la façade.
- La tenue de la façade reste maîtrisée par l'usage des biocides.

### Une défiance à l'égard des peintures minérales

- Des effets esthétiques indésirables: l'absence d'une tonalité homogène sur l'ensemble de la façade.
- Des conditions d'application contraignantes (adaptation à la météo, un temps de séchage plus long)
- La teinte varie en fonction de l'humidité: « *J'ai du mal avec l'aspect, justement quand il pleut, ça me dérange, moi personnellement, l'aspect buvard* » (extrait d'un entretien avec un peintre).
- Le cout est souvent mentionné « *Un seau de 25kg de peinture siloxane coute 150 euros, contre 450 euros pour une peinture minérale* » (extrait d'un entretien avec un peintre).

# Les peintres à forte identité écologique

### Une confiance accordée aux produits naturels

- Ils portent une critique des pratiques conventionnelles : Avec la généralisation des peintures synthétiques associées à une isolation extérieure, ces peintres **soulèvent le risque dans la profession** d'un usage accru des biocides afin d'éviter l'encrassement des façades
- Ils cherchent à valoriser **les potentialités des matériaux naturels** (chaux, silicates)
- Ils mettent en avant les qualités antifongiques des enduits naturels et les capacités à « laisser respirer » les murs afin de compenser la suppression de biocides.

### Un système de pratiques construit autour de la « respirabilité » des supports

- Les qualités : l'enduit doit favoriser la circulation des échanges (thermiques et d'humidité).
- Les objectifs : il faut que les supports puissent respirer (la maison en général).

### Les peintures à l'état de nature assurent la stabilité de ce système.

« *Avec les peintures minérales on a une microporosité à la vapeur d'eau qui avoisine les 2000 grammes au mètre carré, les peintures minérales sont respirantes, y a un échange qui se fait, sur les peintures semi minérales, on tombe à 1200, ce qui est pas mal, alors imaginez avec les peintures qui plastifient les murs* » (extrait d'un entretien avec un peintre).

Flichy, Patrice, 1995, L'innovation technique. Récents développements en sciences sociales - vers une nouvelle théorie de l'innovation, Paris, La Découverte

Darré, Jean-Pierre, 1985, La Parole et la technique. L'univers de pensée des éleveurs du Ternois, Paris, L'Harmattan



## Factsheets

*Du point de vue des habitants, la façade n'est pas que technique, mais symbolique. Elle peut être comparée à une „coquille“ ou à une „membrane“ qui remplit différentes fonctions sociales.*

## La façade sociale remplit 3 fonctions

### 1. Une enveloppe protectrice

L'espace du « chez-soi » est un espace personnel dans lequel l'habitant se sent en sécurité.

➤ **La façade fonctionne comme une zone tampon qui délimite un dehors d'un dedans et joue un rôle de membrane protectrice.**

### 2. La façade : une image de soi et du quartier

- Les façades véhiculent une image des habitants et du quartier et participent à construire l'identité sociale des individus : elles participent à attribuer une identité pour soi (la manière dont je me vois) et pour autrui (la façon dont les autres me voient).

- À Luckenbachweg (Freiburg), où une partie du parc locatif a bénéficié d'un ravalement des façades, les habitants témoignent des effets positifs en termes d'images.

### 3. La façade habitée ou utilitaire

- La façade peut être utilisée comme un prolongement de l'habitat intérieur vers l'habitat extérieur. Historiquement les pieds de façade protégés étaient des lieux de vie et de repos pour des petits travaux.

➤ Avec le développement de la nature en ville, on peut imaginer des débords de toit jouant un rôle de protection et abritant des usages sociaux : bac de jardinage, pieds de façades jardinés.

**Le rôle social des façades: l'image du quartier, et de soi...**

*« C'est important, c'est mieux avec une façade neuve, et chacun entretient un peu avec des fleurs au balcon, bon pas là en hiver, c'est plus joli qu'avant, on se sent mieux, on est un peu fier, c'est bien pour l'image du quartier et l'image des habitants »*  
(extrait d'entretien avec un habitant n°1).



Pieds de façade jardinés à Luckenbachweg

Auteurs: Guillaume Christen<sup>1</sup>, Maurice Wintz<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire Sociétés, Acteurs, Gouvernement en Europe (SAGE), Université de Strasbourg/ CNRS, UMR 7363, F-67083, Strasbourg, France

„Dépasser les frontières, projet après projet“

DOI: 10.6094/UNIFR/230088





La présence de biocides dans les peintures est une réalité invisible car **difficile à nommer** pour les habitants.

Ce ne sont pas les biocides qui sont vus comme un risque, **mais davantage les moisissures qui altèreraient les façades et leur fonction protectrice.**

## Factsheets

# Du point de vue des habitants, la présence des algues et des mousses vient altérer l'image d'une façade protectrice

- Les algues et les mousses ne sont pas associées à de la nature spontanée.
- Elles sont perçues comme des éléments qui endommagent, altèrent la maison et les conditions de vie.
- Si une façade comporte des algues et des mousses c'est la maison dans son ensemble qui est considérée comme fragilisée, voire elle offre des conditions de vie considérées comme malsaines, insalubres.

➤ **Une façade défraîchie fragilise le sentiment de sécurité intérieure que procure le « chez soi »**

Extrait d'entretien sur la perception de cette façade par les habitants:

- « *C'est une maison où on n'a pas envie d'y habiter* »
- « *Cette maison ne doit pas être en bon état, elle doit être humide, ou mal isolée, je sais pas, mais c'est pas top* »
- « *Ca fait pas chaleureux* »

Photo utilisée lors des entretiens



# Des façades végétalisées difficilement acceptées

- La façade végétalisée est perçue comme envahissante si elle franchit le seuil de l'espace privé de l'habitant (Image 1). Dans cette situation, la façade renvoie l'image d'une nature sauvage « dangereuse ». Elle s'oppose à l'image protectrice que les habitants ont de la façade et de leur logement.
- En revanche, lorsque la façade végétalisée est « maîtrisée » et n'a pas encore pénétré l'espace privé, elle est qualifiée par les habitants de « jolie » esthétique, belle (image 2).

➤ **Les systèmes alternatifs construits autour d'une végétalisation des supports, doivent inclure cette fonction esthétique de la façade.**



Image 1



Image 2



# 5. Prévention des biocides - Résolution des problèmes à la source

## Factsheets

- Éviter les biocides dans les matériaux de façade grâce à la chimie durable

Chercheurs &  
étudiants

Entreprises de  
peinture

Instances  
politiques

Citoyens &  
bricoleurs

Architectes &  
urbanistes

Presse & médias

- Des substances naturelles pour remplacer les biocides conventionnels - Etude de l'exemple des flavonoïdes

Chercheurs &  
étudiants

Instances  
politiques

Presse & médias



# Éviter les biocides dans les matériaux de façade grâce à la chimie durable

## Factsheets

*Les mesures préventives limitant l'utilisation de biocides sont à privilégier. Les solutions qui ne font pas appel à des produits chimiques sont préférables aux produits chimiques durables.*

## Éviter les biocides grâce à des solutions non chimiques

L'introduction de produits chimiques dans l'environnement, par exemple par leur mobilisation à partir des façades, représente un risque considérable pour l'ensemble de l'écosystème [1-3]. Des mesures appropriées à la source doivent limiter autant que possible l'utilisation de substances chimiques conventionnelles afin d'éviter leur introduction dans les eaux usées, les eaux de surface et les eaux souterraines. En effet, ce qui n'entre pas dans le cycle de l'eau ne doit pas non plus être éliminé de manière fastidieuse, complexe et coûteuse par des mesures techniques de "fin de parcours", pour autant que cela soit entièrement possible [4].

Conformément au principe directeur de la "chimie durable", il convient de s'interroger dès le départ sur la fonction que doit remplir un produit chimique (dans le cas présent, la protection des façades) et sur sa nécessité (par exemple, parce que les façades modernes exposées et isolées thermiquement sont sujettes aux attaques d'algues et de champignons). Il est dans un premier temps possible de vérifier si des mesures alternatives ou des changements généraux de comportement permettent d'éviter l'utilisation de produits chimiques [5].

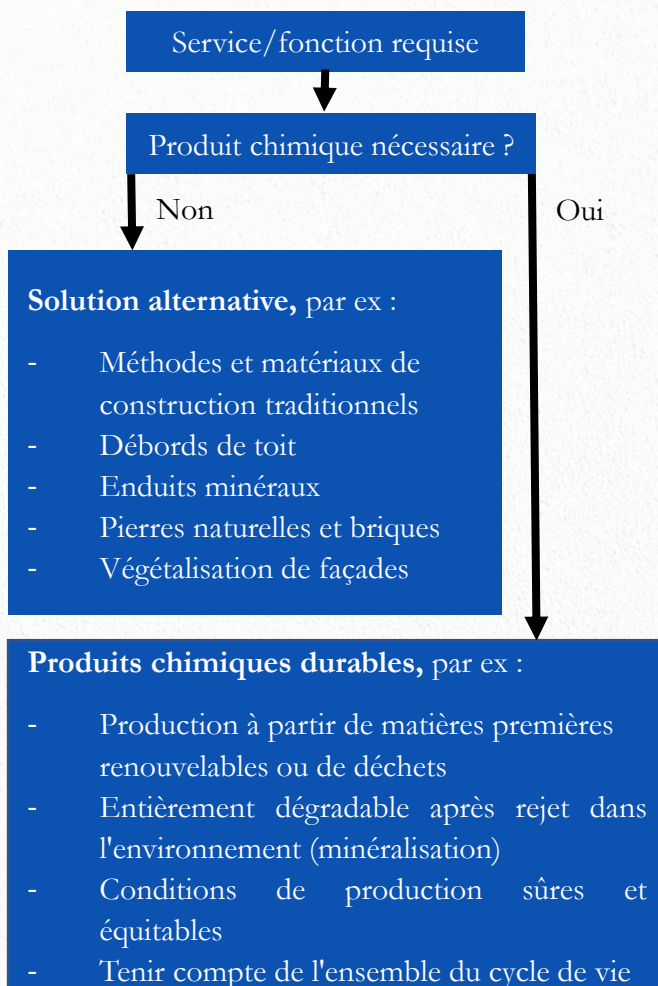
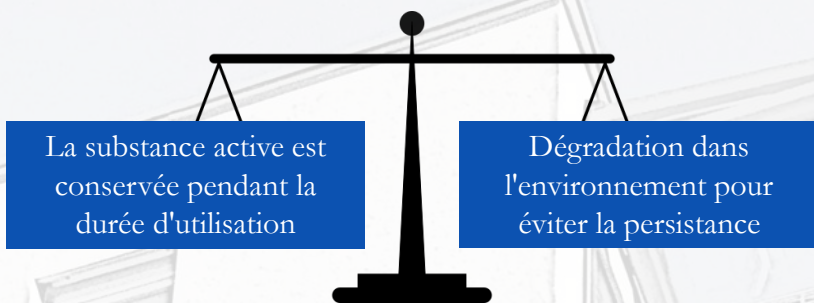


Figure 1 : Schéma de décision en chimie durable, incluant des exemples d'alternatives non chimiques dans le domaine de la construction.





## Factsheets

# Produits de substitution pour les biocides non évitables

Si des biocides sont néanmoins nécessaires, ce qui ne devrait être le cas que dans des circonstances tout à fait exceptionnelles, il convient de n'utiliser que des substances qui n'agissent que directement sur l'objet à protéger (par exemple, la surface de la façade), mais qui ne causent aucun dommage à l'environnement, car elles sont rapidement et entièrement minéralisées (e.g., dégradation en CO<sub>2</sub>).

Des substituts aux biocides conventionnels peuvent être développés en tenant compte des questions essentielles pour les produits chimiques durables (figure 2). Outre la conception de nouvelles substances, la substitution des biocides conventionnels par des substances naturelles qui se dégradent beaucoup mieux et plus rapidement dans l'environnement peut également être un objectif. La vitesse à laquelle les substances naturelles se dégradent réellement dans l'environnement et les produits intermédiaires et finaux qui en résultent doivent faire l'objet de recherches approfondies.

Dans le cadre du projet NAVEBGO, un groupe de substances naturelles, les flavonoïdes, a donc été étudié pour évaluer son efficacité contre les algues, s'il était biodégradable en CO<sub>2</sub> et s'il représentait donc une alternative aux biocides comme la terbutryne et le diuron.

### Réaménagement

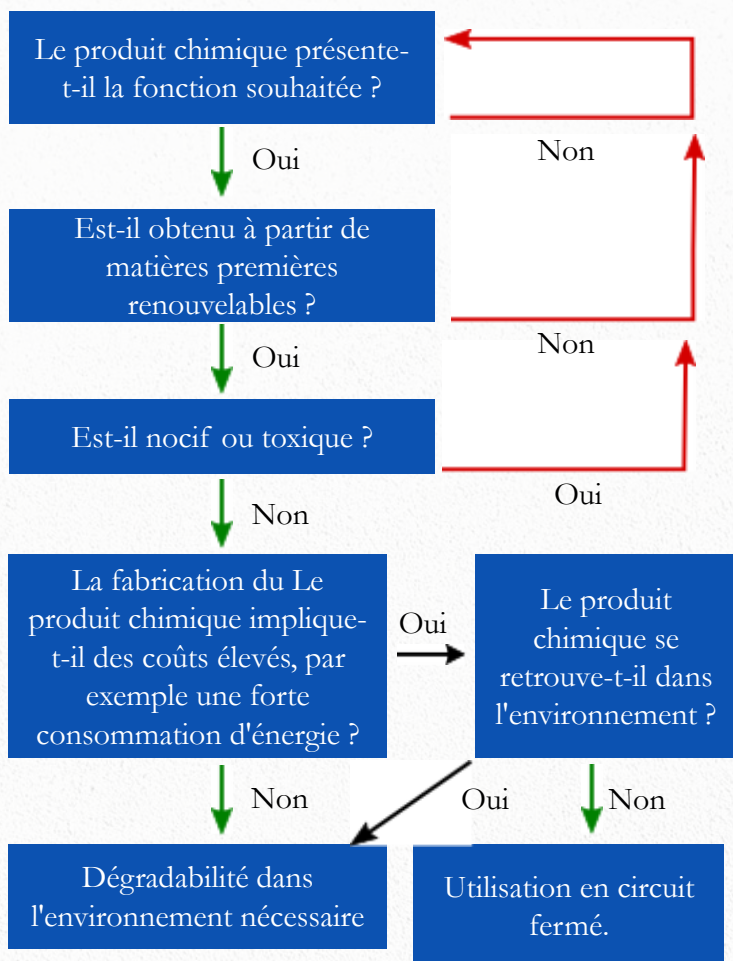


Figure 2 : Schéma directeur pour la conception de produits chimiques. Modifié à partir de [6].

**Les substances naturelles** sont des composés chimiques produits par des organismes vivants tels que les plantes, les champignons et les micro-organismes. Lorsqu'ils ne sont pas utilisés pour des processus vitaux tels que la croissance ou la reproduction, ils font partie des métabolites secondaires.

[1] Persson et al., Science et technologie de l'environnement 2022  
 [2] Wittmer et al., Science of the Total Environment 2011  
 [3] Hensen et al., Environment International, 2020  
 [4] Kümmerer et al., Science, 2018  
 [5] Kümmerer, Chimie appliquée, 2017  
 [6] Zimmermann et al., Science, 2020



# Des substances naturelles pour remplacer les biocides conventionnels - l'exemple des flavonoïdes

## Factsheets

Les flavonoïdes ne présentent pas les propriétés nécessaires pour remplacer rapidement les biocides conventionnels. Les connaissances acquises contribuent toutefois à une recherche plus ciblée de substances naturelles appropriées.

## Quelle est l'efficacité des flavonoïdes sur les algues et quel est leur comportement environnemental ?

Les flavonoïdes sont des substances naturelles et ne présentent donc probablement aucun risque pour l'humain et l'environnement. Des premières connaissances sur leur effet algicide existent déjà [1,2], mais des recherches plus approfondies sont nécessaires pour mieux comprendre l'activité des flavonoïdes vis-à-vis des organismes cibles et non cibles, leur stabilité et leur comportement environnemental. C'est pourquoi l'activité inhibitrice de 26 flavonoïdes sélectionnés vis-à-vis des algues, leur stabilité abiotique (p. ex. décomposition par irradiation lumineuse, réactions avec l'eau ou l'oxygène) et leur biodégradabilité par les bactéries ont été étudiées en laboratoire.

Les flavonoïdes sont un groupe de substances naturelles qui comprend plusieurs milliers de substances similaires ayant une structure moléculaire de base commune. Ils sont souvent présents dans les plantes et peuvent être extraits des déchets de l'agriculture et de la production alimentaire.

### Caractéristiques idéales du substitut

- Extraction de matières premières renouvelables
- inhibe la croissance des algues sur les façades pendant une longue période
- aucun effet négatif sur les organismes non ciblés
- Dégradabilité en CO<sub>2</sub> dans l'environnement
- Sûr pour les fabricants et les utilisateurs



Figure 1 : Résultats d'une recherche documentaire systématique sur la source des flavonoïdes [3].

Auteurs: Lena Schnarr<sup>1</sup>, Oliver Olsson<sup>1</sup>, Klaus Kümmerer<sup>1</sup>

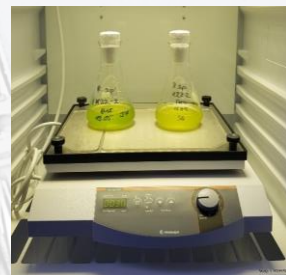
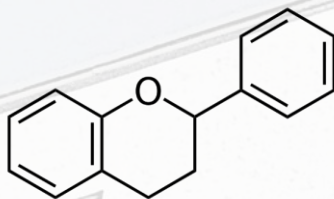
<sup>1</sup> Institut de chimie durable, Université Leuphana de Lüneburg, Lüneburg, Allemagne

„Dépasser les frontières, projet après projet“

DOI: 10.6094/UNIFR/229945







## Factsheets

## Résultats de la recherche et perspectives

Les résultats pour trois flavonoïdes sélectionnés par rapport à la terbutryne sont présentés dans le tableau 1. L'effet inhibiteur sur les algues était inférieur à celui de la terbutryne pour tous les flavonoïdes. Parmi les deux flavonoïdes les plus actifs, les flavones et la lutéoline, seule la flavone était stable en conditions abiotiques. La lutéoline a été transformée en produits de transformation (formés lors d'une dégradation incomplète en CO<sub>2</sub>) par des processus abiotiques tels que l'irradiation par la lumière, l'oxydation et l'hydrolyse au cours du test sur algues. La flavone, tout comme la terbutryne, n'était pas biodégradable et, par conséquent, il existe un risque d'accumulation dans l'environnement.

Les propriétés des 26 flavonoïdes testés montrent qu'aucune substance ne remplit les trois fonctions visées (effet inhibiteur sur les algues, stabilité abiotique, biodégradabilité) et ne peut donc pas être considérée comme un substitut à part entière d'un biocide conventionnel au sens de la "chimie durable".

Néanmoins, les connaissances acquises peuvent servir de base à de nouvelles recherches afin de trouver des substances naturelles plus appropriées. Le défi reste d'équilibrer la stabilité nécessaire pour l'application et la dégradabilité dans l'environnement. C'est pourquoi il faut privilégier les solutions qui renoncent complètement aux produits chimiques toxiques.

Tableau 1 : Évaluation des flavonoïdes en tant que substituts appropriés. Échelle de couleurs : vert (condition remplie), jaune (effet modéré), rouge (condition non remplie).

Substance	Structure moléculaire	Évaluation des propriétés des substances		
		Effet inhibiteur sur les algues	Stabilité en conditions abiotiques	Biodégradable
Terbutryn (biocide conv.)		0,005 ± 0,0004 mg/L	oui	non
Flavone		1,91 ± 0,08 mg/L	oui	non
Lutéoline		0,94 ± 0,8 mg/L	non	oui
Hespérétine		22,6 ± 0,6 mg/L	oui	oui

[1] Yu et al. ; Ecotoxicology and Environmental Safety, 2019

[2] D'Abrosca et al., Journal of Chemical Ecology, 2006

[3] Schnarr et al., Science de l'environnement total, 2022



# 6. Stratégie de projet - Comment prévenir le lessivage des biocides et les apports de biocides dans les eaux souterraines ?

## Factsheets

- NAVEBGO - Stratégie de projet

Entreprises de  
peinture

Instances  
politiques

Architectes &  
urbanistes

Presse & médias



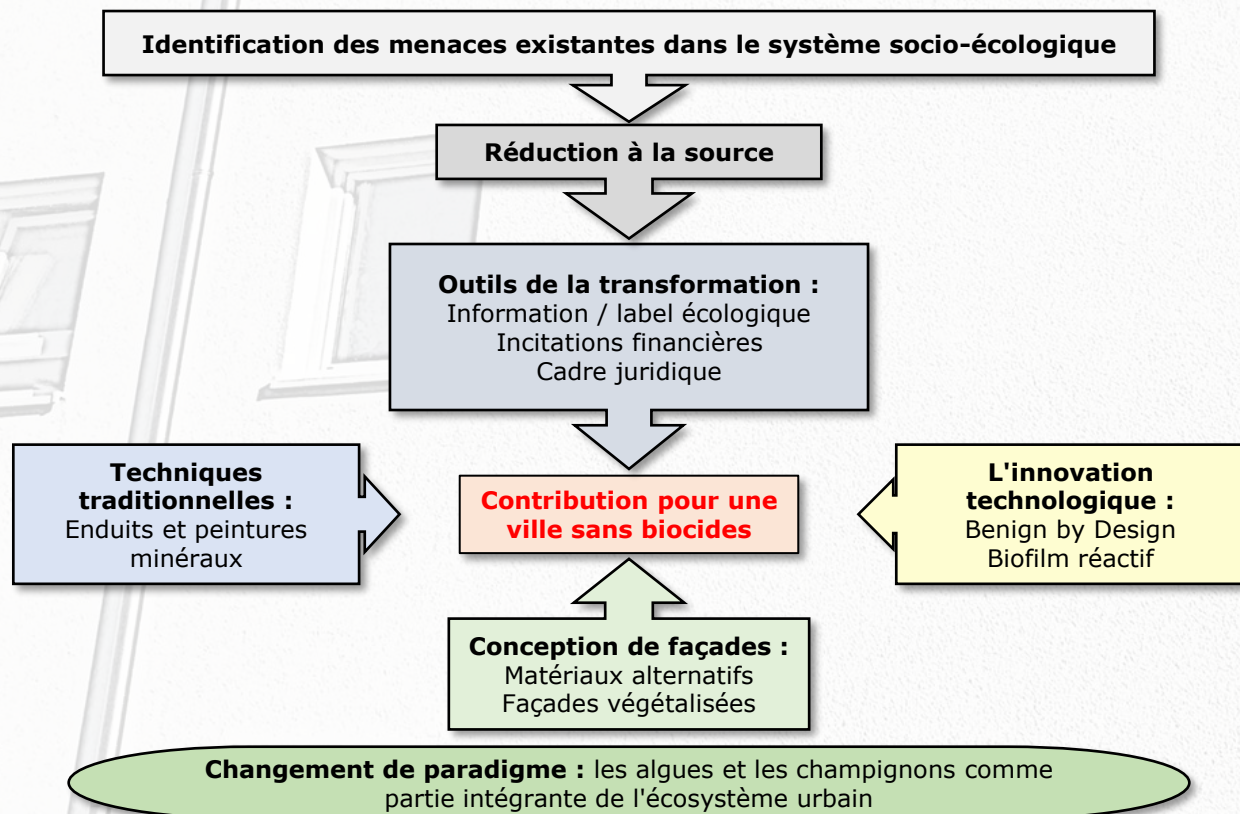
# Une stratégie pour des façades sans biocides : une contribution pour une ville sans biocides

## Factsheets

*Une façade sans biocide peut être obtenue par différentes mesures. Dans ce contexte, les algues et les champignons ne sont pas considérés comme des parasites, mais comme une partie vivante d'un futur écosystème urbain.*

Les **biocides** sont appliqués sur les façades afin d'empêcher la formation d'algues et de champignons. Ils sont partiellement lessivés par l'eau de pluie et se **répandent dans l'environnement**. On retrouve alors non seulement les substances mères, mais aussi leurs produits de transformation (TPs) dans les eaux urbaines et les nappes phréatiques.

Pour faire face à ce problème de manière durable, il est nécessaire d'éviter l'**utilisation de biocides à la source**. Pour ce faire, il convient d'identifier les risques existants et de sensibiliser les acteurs concernés. La vision qui en résulte est une contribution importante à une **ville sans biocides**. Dans celle-ci, les algues et les champignons ne sont pas considérés comme des parasites, mais comme des éléments vivants d'un futur écosystème urbain.



Auteurs: Jens Lange<sup>1</sup>, Oliver Olsson<sup>2</sup>, Maurice Wintz<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Chaire d'hydrologie, Faculté de l'environnement et des ressources naturelles, Université de Fribourg, Fribourg, Allemagne  
<sup>2</sup> Institut de chimie durable, Université Leuphana de Lüneburg, Lüneburg, Allemagne  
<sup>3</sup> Laboratoire Sociétés, Acteurs, Gouvernement en Europe (SAGE), Université de Strasbourg/ CNRS, UMR 7363, F-67083, Strasbourg, France

Fonds européen de développement régional (FEDER)  
 Europäischer Fonds für regionale Entwicklung (EFRE)



„Dépasser les frontières, projet après projet“

DOI: 10.6094/UNIFR/230092





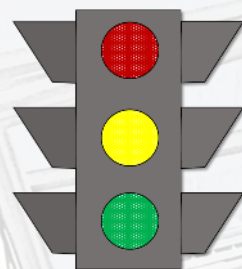


Sur la voie d'une future ville sans biocides, **les mesures** de protection des façades sont classées en trois couleurs, à l'instar d'un feu de circulation :

Les mesures "**rouges**" aident à améliorer la situation actuelle à court terme, mais ne sont pas durables.

Les mesures "**jaunes**" permettent de passer à une conception de façade sans biocides.

Les mesures "**vertes**" peuvent faire partie d'une future ville sans biocides.



## Factsheets

Si les biocides **sont encapsulés**, les taux de lixiviation sont plus faibles, mais la formation de TPs n'a pas encore été suffisamment étudiée.

Les enduits à base de résine de silicone peuvent également libérer **des microplastiques**. **Les nanoparticules** augmentent la dureté des peintures pour façades, ont un effet bactéricide et offrent une protection contre les UV. Mais les deux techniques sont préoccupantes d'un point de vue écologique et tous les effets sur l'environnement ne sont pas suffisamment connus.

**Les aspects architecturaux** peuvent réduire l'humidité et donc les moisissures ou les algues sur les façades. De plus, ils offrent une protection contre l'influence directe des intempéries et réduisent ainsi l'évacuation des biocides. Des exemples sont les débords de toit/balcons ou un drainage de façade adapté préservant les murs (larmiers) et les zones de projection au pied de la façade.

**Les labels environnementaux** tels que "l'Ange bleu" ou "l'Étiquette environnementale suisse" peuvent encourager l'utilisation volontaire de produits sans biocides. Ils permettraient également de renchérir les produits nocifs ou de les interdire totalement après une période de transition.

L'**entretien des bâtiments (façades)** devrait être une obligation primaire pour le propriétaire ou l'occupant. **Les droits de garantie** envers les fabricants et les artisans doivent être revus à cet égard et ne seraient justifiés qu'en cas de défaillance de l'ouvrage, et non en cas de dégradation visuelle.

Même pour les façades de conception usuelle, les enduits et les peintures **d'origine minérale** sans biocides peuvent être utilisés pour protéger les surfaces contre les salissures.

L'utilisation **de matières premières renouvelables** pour des constructions durables a déjà été mise en œuvre avec succès dans des constructions en bois isolées à la paille, avec un enduit d'argile à l'intérieur et de chaux à l'extérieur, même pour des grands projets d'habitation.

Si les façades sont recouvertes de **pierres naturelles, de briques, de verre ou de panneaux solaires**, il est également possible de renoncer complètement aux biocides.

Si **les façades sont végétalisées**, les champignons et les algues qui s'y trouvent n'attirent pas l'attention de manière négative, mais sont perçus comme **faisant partie de l'écosystème de la façade** et non comme des parasites à combattre.

Si, dans des cas exceptionnels, l'utilisation d'un film protecteur est néanmoins nécessaire, il convient de n'utiliser que des substances naturelles qui ne causent aucun dommage à l'environnement, car elles sont rapidement et **entièrement minéralisables**.

## Changement de paradigme : Les algues et les champignons comme partie intégrante de l'écosystème urbain



# 7. Communication du projet - Comment communiquer au public le risque de lessivage de biocides et de contamination des eaux souterraines ?

## Factsheets

- Visualiser et communiquer le lessivage des biocides - Cartes de risques biocides

Chercheurs & étudiants

Entreprises de peinture

Instances politiques

Citoyens & bricoleurs

Architectes & urbanistes

Presse & médias

- Estimer et communiquer le lessivage des biocides - FReWaB-PLUS

Chercheurs & étudiants

Entreprises de peinture

Instances politiques

Citoyens & bricoleurs

Architectes & urbanistes

Presse & médias



# Visualiser et informer sur le lessivage de biocides – Cartes de risques biocides

## Factsheets

*Le risque de lessivage de biocides dépend de nombreux facteurs qui peuvent être visualisés sous forme de cartes.*

## Facteurs de risque de lixiviation des biocides

### Ombrage & végétation



Avec



Sans

Une façade **ombragée** en permanence par d'autres maisons ou des arbres reste humide plus longtemps après un épisode pluvieux, ce qui augmente le risque d'infestation par des algues ou des champignons.

### Débord de toit & balcon



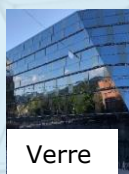
Avec



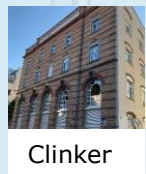
Sans

Les **débords de toit et les balcons** maintiennent les façades au moins partiellement au sec et réduisent le risque d'infestation par des algues ou des champignons. De plus, ils offrent une protection contre l'influence directe des intempéries et réduisent ainsi également les exports de biocides.

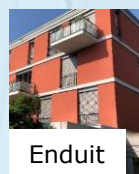
### Matériau de façade



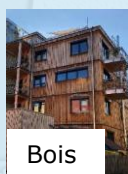
Verre



Clinker



Enduit



Bois

Les **matériaux de façade** comme le verre, la brique, le crépi ou le bois sont plus ou moins sensibles aux attaques d'algues et de champignons. Sur le crépi et le bois, on utilise souvent de grandes quantités de biocides pour protéger la surface, ce qui n'est pas nécessaire pour les façades en pierre ou en verre, par exemple.

### État de la façade



Rayonnant coloré / blanc



Chèche



Couvert de végétation

L'**état de la façade** dépend des autres facteurs et ne donne qu'une indication indirecte sur le lessivage des biocides : une façade d'un blanc éclatant ou multicolore contient généralement encore beaucoup de biocides, alors que sur une façade tachetée, ceux-ci sont déjà majoritairement lessivés ou n'étaient pas présents du tout.

**Particularité** : sous une **façade recouverte de végétation**, les algues et les champignons ne sont pas visibles et les biocides ne sont donc pas nécessaires. La façade végétalisée représente donc un élément constitutif d'une ville sans biocides.

Auteurs: Marcus Bork<sup>1</sup>, Jens Lange<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Chaire d'hydrologie, Faculté de l'environnement et des ressources naturelles, Université de Fribourg, Fribourg, Allemagne



En règle générale, la présence d'algues ou de champignons sur une façade ne nuit pas à ses fonctions physiques, mais est "uniquement" perçue comme un problème esthétique !

## Factsheets

# Facteurs de risque de transfert de biocides - Types de surface

Si des biocides sont lessivés des façades, leur devenir dans l'environnement dépend fortement de la nature des **surfaces adjacentes** à la façade de la maison. Si la façade de la maison jouxte un **espace vert** ("jardin"), l'eau de pluie qui s'écoule s'infiltré dans la couche de sol, où les biocides sont principalement filtrés à partir des eaux d'infiltration. En revanche, seuls quelques biocides sont retenus dans les **drains en gravier**.

Dans les centres-villes en particulier, les façades des maisons sont souvent adjacentes à des surfaces partiellement ou totalement imperméables. **Les surfaces partiellement imperméabilisées** sont souvent constituées de pavés en pierre naturelle ou en béton, qui sont généralement eux-mêmes relativement imperméables, mais qui comportent des joints entre les pavés, dans lesquels (tant qu'ils ne sont

### Types de surface - Drainage

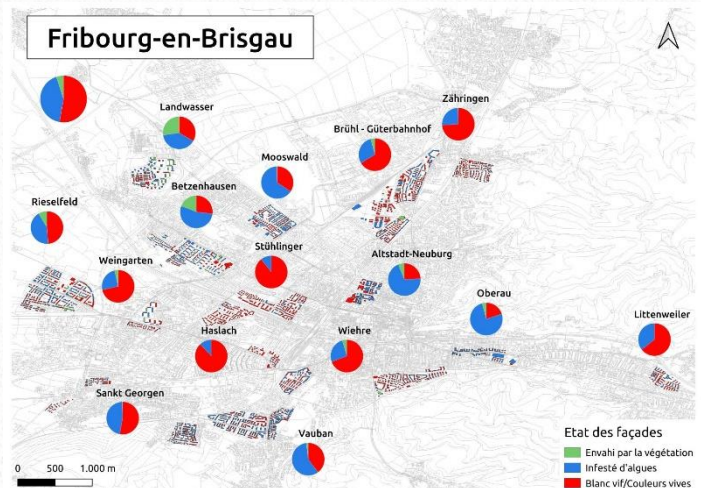


pas remplis de béton) l'eau et les biocides qu'ils contiennent peuvent s'infiltrer.

Si une **surface imperméable** est adjacente à la façade de la maison, l'eau de pluie ne peut pas y pénétrer dans le sous-sol et s'écoule en surface soit vers les égouts, soit vers un espace vert, soit vers un système d'infiltration, soit vers une eau de surface.

## Cartes des risques biocides

Les **cartes** servent à **représenter les facteurs de risque biocides**. Elles ont été établies pour les facteurs que les étudiants des universités de Fribourg, Lunebourg, Strasbourg et Landau ont cartographiés pour certains quartiers. Les cartes permettent d'identifier les différences de facteurs entre les quartiers. Par exemple, sur la carte présentée ici, l'état des façades permet de distinguer les quartiers avec beaucoup de nouvelles constructions (façades plutôt blanches/colorées avec un risque élevé de lessivage de biocides) des quartiers avec un parc immobilier plutôt ancien (façades plutôt en mauvais état avec un risque de lessivage de biocides plutôt faible).



<https://www.navebgo.uni-freiburg.de/fr/facteurs-de-risque-de-la-lixiviation-des-biocides>





# Estimer et informer sur le lessivage des biocides - FReWaB-PLUS

## Factsheets

Les quantités de biocides lessivées peuvent être estimées à l'aide du modèle de simulation FReWaB-PLUS.

## Qu'est-ce que FReWaB-PLUS ?

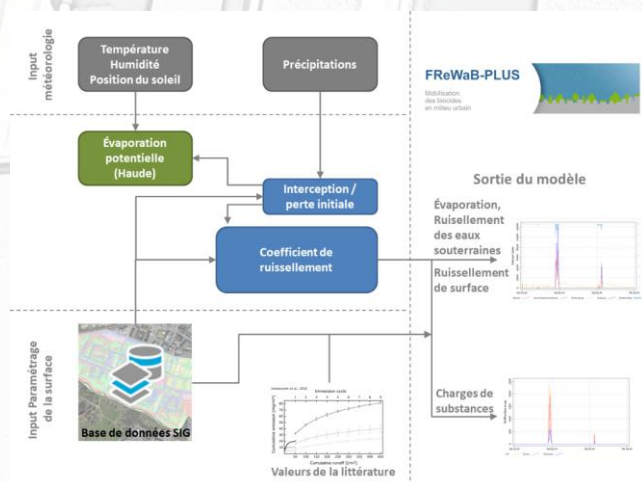
FReWaB-PLUS est un modèle de simulation simple, basé sur le web, permettant d'évaluer les risques liés aux quantités d'eau et aux charges de substances dans les installations d'infiltration des eaux pluviales.

<b>Projet de coopération</b> 	<b>En ligne / basé sur le web</b> 	<b>Approche modulaire</b> 	<b>Source ouverte</b> 	<b>Trilingue</b> 	<b>Gratuit</b> 
----------------------------------	---------------------------------------	-------------------------------	---------------------------	----------------------	--------------------

## Objectifs

- ✓ Sensibilisation du public
- ✓ Utilisation à des fins éducatives dans l'enseignement et les ateliers
- ✓ Comparaison de scénarios climatiques
- ✓ Outil d'évaluation des risques (ordres de grandeur)

## Approche du modèle



Pour estimer le lessivage des biocides, FReWaB-PLUS utilise des données d'entrée météorologiques (précipitations, température, humidité de l'air, position du soleil), des informations sur la surface des bâtiments, ainsi que des valeurs bibliographiques sur le lessivage des biocides modèles diuron, terbutryn et OIT. Le modèle de simulation calcule ainsi la répartition des précipitations entre les composantes du bilan hydrique que sont l'évaporation, la recharge des nappes phréatiques (infiltration) et le ruissellement de surface, en fonction de différents types de surfaces, comme les prairies, les toits des maisons, l'asphalte, etc. Enfin, le lessivage des biocides des peintures de façade est estimé en fonction de la surface et de l'âge de la façade.

Auteurs: Marcus Bork<sup>1</sup>, Alexander Krämer<sup>2</sup>, Jens Lange<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Chaire d'hydrologie, Faculté de l'environnement et des ressources naturelles, Université de Fribourg, Fribourg, Allemagne  
<sup>2</sup> WWL Umweltplanung und Geoinformatik GbR (WWL Planification environnementale et géoinformatique GbR), Bad Krozingen, Allemagne



Fonds européen de développement régional (FEDER)  
Europäischer Fonds für regionale Entwicklung (EFRE)



„Dépasser les frontières, projet après projet“

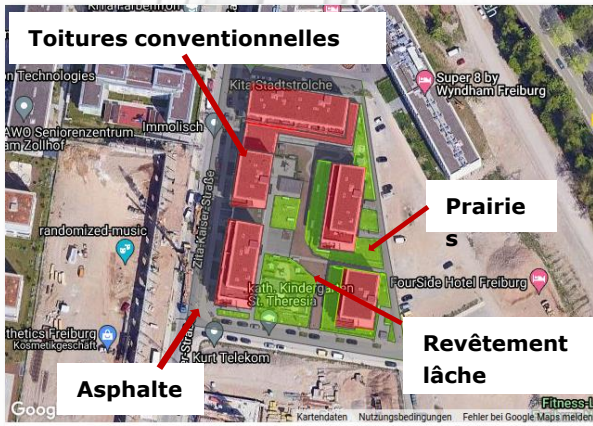
DOI: 10.6094/UNIFR/230097





## Factsheets

### Entrée

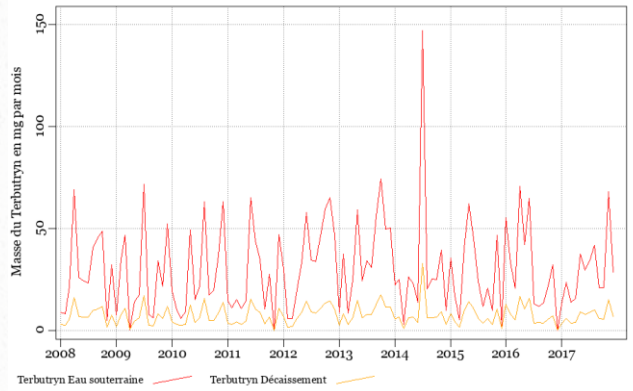


Dans FReWaB-PLUS, les surfaces de toitures, les espaces verts et les surfaces revêtues sont dessinés dans une surface de base définie au préalable. Cela se fait dans GOOGLE MAPS et s'avère possible pour toute l'Allemagne.

### Limites

- Les hypothèses retenues pour le modèle sont assez simples
- Convient surtout pour visualiser le lessivage des biocides
- Convient en premier lieu à l'estimation des ordres de grandeur
- Pour des calculs professionnels de lixiviation de biocides, l'outil COMLEAM peut être utilisé ([www.comleam.com](http://www.comleam.com))

### Sortie



Les paramètres du bilan hydrique (écoulement de surface, infiltration et évaporation) ainsi que les charges de biocides lessivées peuvent être édités par FReWaB-PLUS sous forme de diagrammes et de fichiers Excel.

### Avantages

- Calcul et comparaison de scénarios (par ex. de mesures de construction ou de scénarios climatiques)
- Convivial et librement disponible
- Les voies d'apport dans les eaux souterraines sont prises en compte
- Aptitude à servir d'outil pédagogique et à sensibiliser le public et les acteurs\* concernés
- Représente différentes surfaces urbaines et voies d'entrée
- Données d'entrée supplémentaires non nécessaires (par ex. données sur les précipitations)

FReWaB-PLUS est disponible gratuitement sur [www.biozidauswaschung.de](http://www.biozidauswaschung.de). Il est également possible de s'y exercer à l'aide d'un webinaire.







# Impressum

---

## Éditeur :

NAVEBGO  
Friedrichstraße 39  
79098 Freiburg  
[www.navebgo.uni-freiburg.de](http://www.navebgo.uni-freiburg.de)

## Rédaction :

Dr. Marcus Bork  
apl. Prof. Dr. Jens Lange  
Professur für Hydrologie  
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg  
Friedrichstraße 39  
79098 Freiburg  
[marcus.bork@hydrology.uni-freiburg.de](mailto:marcus.bork@hydrology.uni-freiburg.de)  
[jens.lange@hydrology.uni-freiburg.de](mailto:jens.lange@hydrology.uni-freiburg.de)

## Téléchargement :

<https://www.navebgo.uni-freiburg.de>

## Contributions :

NAVEBGO - Partenaires du projet



Freiburg, 2022



Fonds européen de développement régional  
(FEDER)  
Europäischer Fonds für regionale Entwicklung  
(EFRE)



„Dépasser les frontières, projet après projet“