

Émission de biocides par l'enveloppe bâtie : cas de l'agglomération parisienne



Colloque de restitution de la
phase OPUR5

11 mars 2026

SAAD Rim⁽¹⁾, GROMAIRE Marie-Christine⁽¹⁾, BRESSY Adèle⁽¹⁾, CHANCIBAULT Katia⁽²⁾, DAOU Yehia⁽³⁾, CHEBBO Ghassan⁽¹⁾

⁽¹⁾ LEESU, ENPC, Institut Polytechnique de Paris, Univ Paris Est Créteil, Marne-la-Vallée, France

⁽²⁾ GERS-EE, Univ. Gustave Eiffel, F-44344 Bouguenais, France

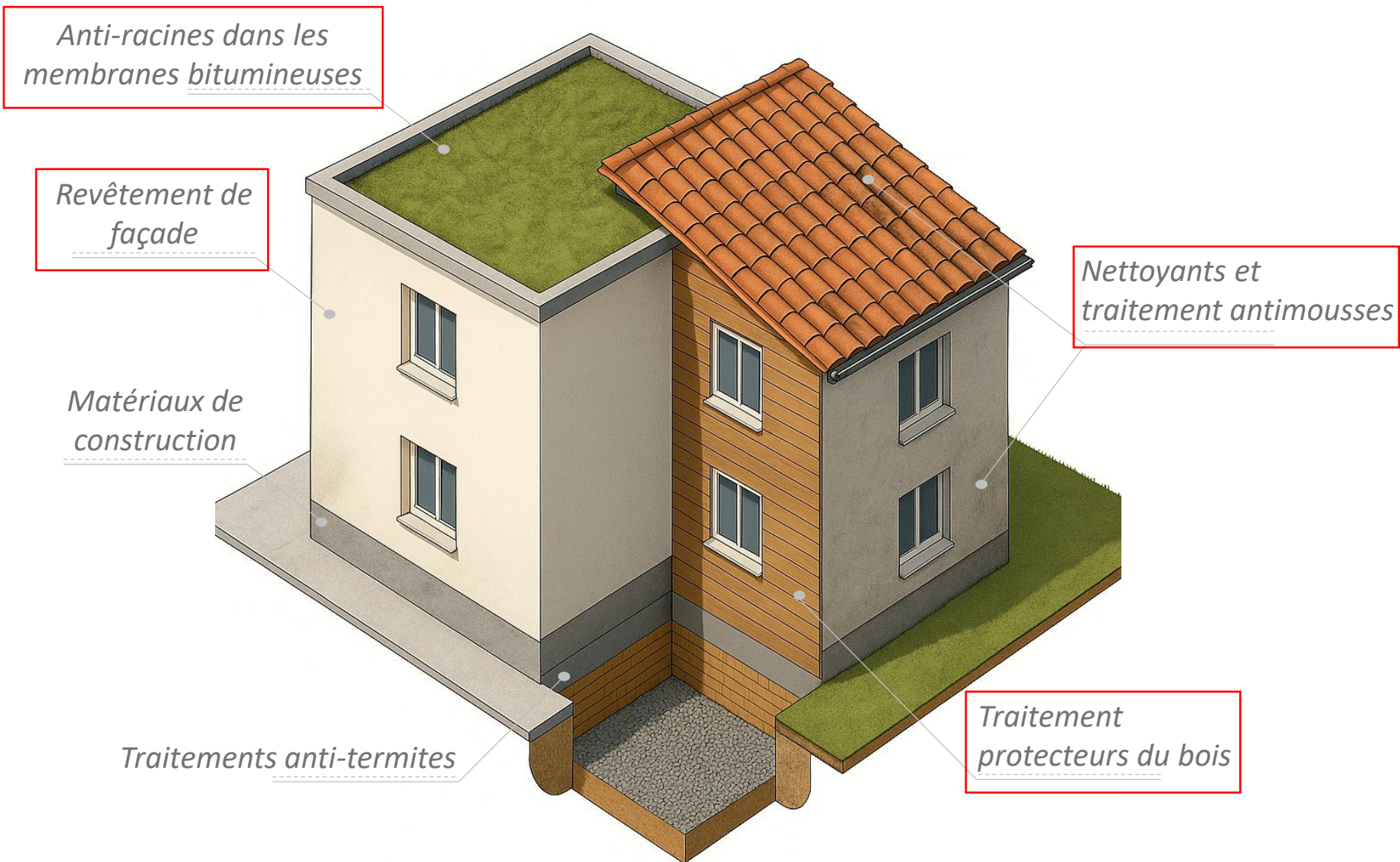
⁽³⁾ Faculté de génie– Université Libanaise, Liban



La plupart des bâtiments utilisent, volontairement ou non, des produits biocidés

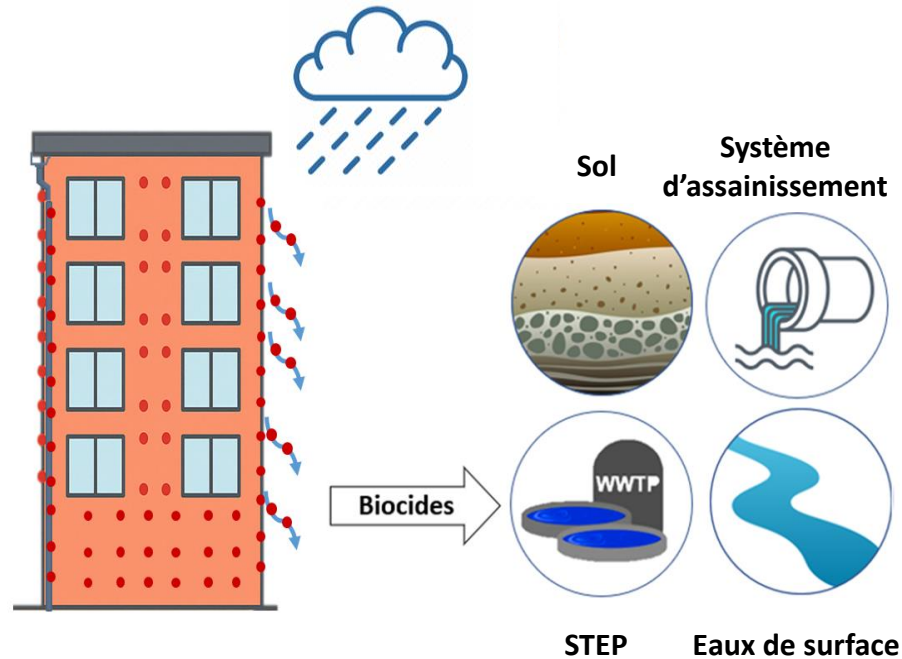
→ pour protéger, décorer, imperméabiliser, entretenir l'enveloppe bâtie

Principales applications de biocides dans l'enveloppe du bâtiment



Pourquoi s'intéresser à ces substances au niveau de l'enveloppe bâti?

Le bâti ne stocke pas uniquement les biocides : Il en émet
→ source chronique de substances actives



Le ruissellement déclenche le lessivage des biocides des surfaces traitées

Présence de biocides dans les eaux (Paijeins et al., 2020) et sols urbains (Bollmann et al., 2017), avec impacts éco toxicologiques avérés (Kiefer et al., 2014, Vermeirssen et al., 2018)

À l'échelle du bâti



- **La plupart des études sont réalisées en laboratoire ou à petite échelle spatiale.**
- **Ces études ont toutefois permis de mieux comprendre le comportement d'émission des biocides.**

À l'échelle du bâti



À l'échelle urbaine



- Absence de données sur les applications et les émissions des biocides
- Manque de modèles complets à grande échelle

À l'échelle du bâti

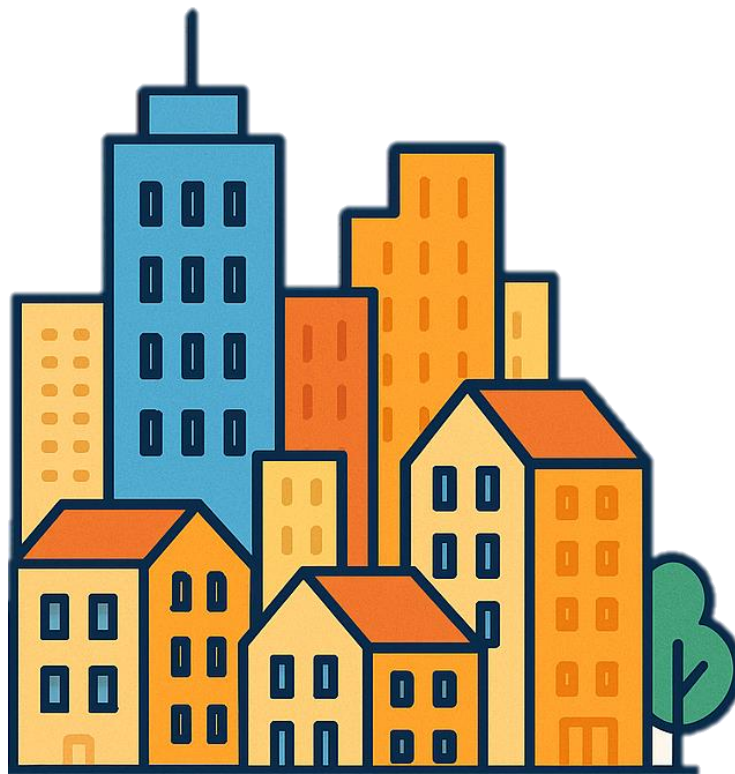


À l'échelle urbaine



- **Axe 1 : Évaluation des usages et du potentiel d'émission des biocides issus de l'enveloppe du bâtiment dans l'agglomération parisienne.**
- **Axe 2 : Développement d'un modèle pour évaluer, à l'échelle urbaine, les flux de biocides issus des façades dans les eaux de ruissellement.**

Axe 1: Évaluation des usages et du potentiel d'émission des biocides issus de l'enveloppe du bâtiment dans l'agglomération parisienne



Approche d'évaluation sur l'agglomération parisienne

Estimation des flux annuels émis par l'enveloppe bâti

Volumes nationaux de matériaux et produits biocides

Données issu d'études de marché sur les ventes de matériaux de construction (MSI Reports, SIMMBAD)



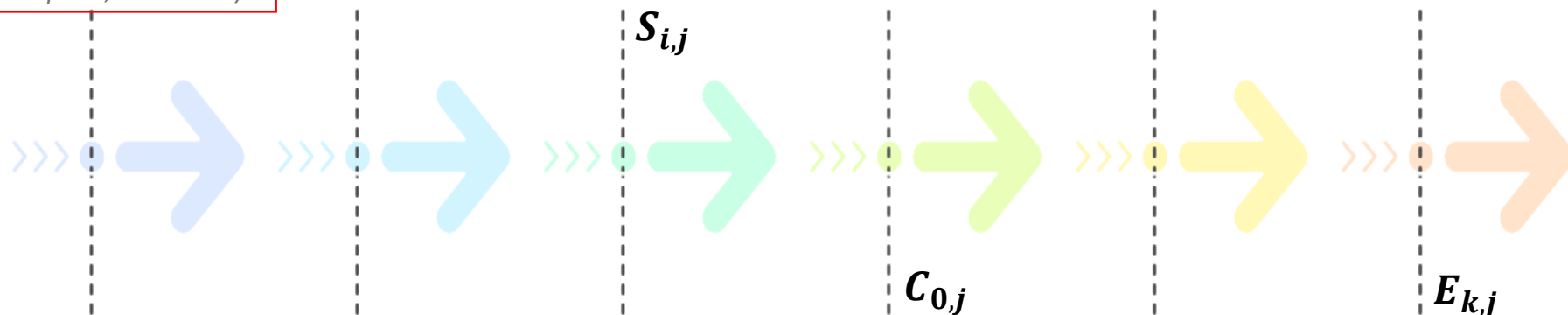
Surface traitée

En considérant les rendements et fréquence d'application



Application de biocides

Estimer la quantité totale de biocides appliquée dans la région



Régionalisation

Adapter et ramener ces données à l'échelle de l'Agglomération parisienne



Concentration en biocides

Evaluer la concentration de biocides dans les produits utilisés en se basant sur les FDS des produits commercialisés



Émission de biocides

Calculer les émissions annuelles de biocides dans l'Agglomération parisienne en se basant sur les principes du modèle d'émission COMLEAM

$$M_j = \sum_{i=1}^x S_{i,j} \times C_{0,j} \times \sum_{k=i-12}^i E_{k,j}$$

Revêtements de façade en France : ventes & composition

Répartition des ventes et composition des enduits et peintures de façade contenant des biocides

80 millions L/an



(MSI Report, 2023)

Enduit de parement organique (épais et semi-épais)

35M litres

Application moyenne de 2,4 kg/m²

2- 6 Biocides/produit

10,5M litres

Application moyenne de 0,5 kg/m²

5- 6 Biocides/produit

Peintures

19M litres

Application moyenne de 0,21 kg/m²

2- 6 Biocides/produit

Produits d'imperméabilisation

15,5M litres

Application moyenne de 0,4 kg/m²

5- 6 Biocides/produit

Biocides dominants : BIT, CMIT/MIT, OIT, Terbutryn, Zinc pyrithione, MIT

Concentrations typiques (moyenne des moyennes – moyenne des max FDS) (mg/kg)

BIT : 376–744
OIT : 11–21
Terbutryn : 291–576

BIT : 334–659
OIT : 16–30
Terbutryn : 192–376
Zinc pyrithione: 266–523

BIT : 326–619
OIT : 643–1283
Terbutryn : 702–1400
Zinc pyrithione: 2284–4565

BIT : 441–875
OIT : 10–15
Terbutryn : 218–556
Zinc pyrithione: 378–846

Revêtements de façade en France : ventes & composition

Répartition des ventes et composition des enduits et peintures de façade contenant des biocides

80 millions L/an

(MSI Report, 2023)



Enduit de parement organique (façade et semi-façade)

Produits d'imperméabilisation

35M litres

Application moyenne de 2,4 kg/m²

2- 6 Biocides/produit

15,5M litres

Application moyenne de 0,4 kg/m²

6 Biocides/produit

- Absence totale de Diuron et de Carbendazim (récemment non autorisé)
- Terbutryn encore largement utilisé → algicide persistant dans une majorité des formulations
- Tendance globale : des mélanges multi-biocides complexes, centrés sur les isothiazolinones (2 à 4 isothiazolinones par produit).

Concentrations typiques (moyenne des moyennes – moyenne des max FDS) (mg/kg)

BIT : 376–744
OIT : 11–21
Terbutryn : 291–576

BIT : 334–659
OIT : 16–30
Terbutryn : 192–376
Zinc pyrithione: 266–523

BIT : 326–619
OIT : 643–1283
Terbutryn : 702–1400
Zinc pyrithione: 2284–4565

BIT : 441–875
OIT : 10–15
Terbutryn : 218–556
Zinc pyrithione: 378–846

Marché français du bardage bois : répartition des ventes

Total ventes de bardages

44 millions de m²

Bois et dérivées

7,3 million de m²

Bois massif

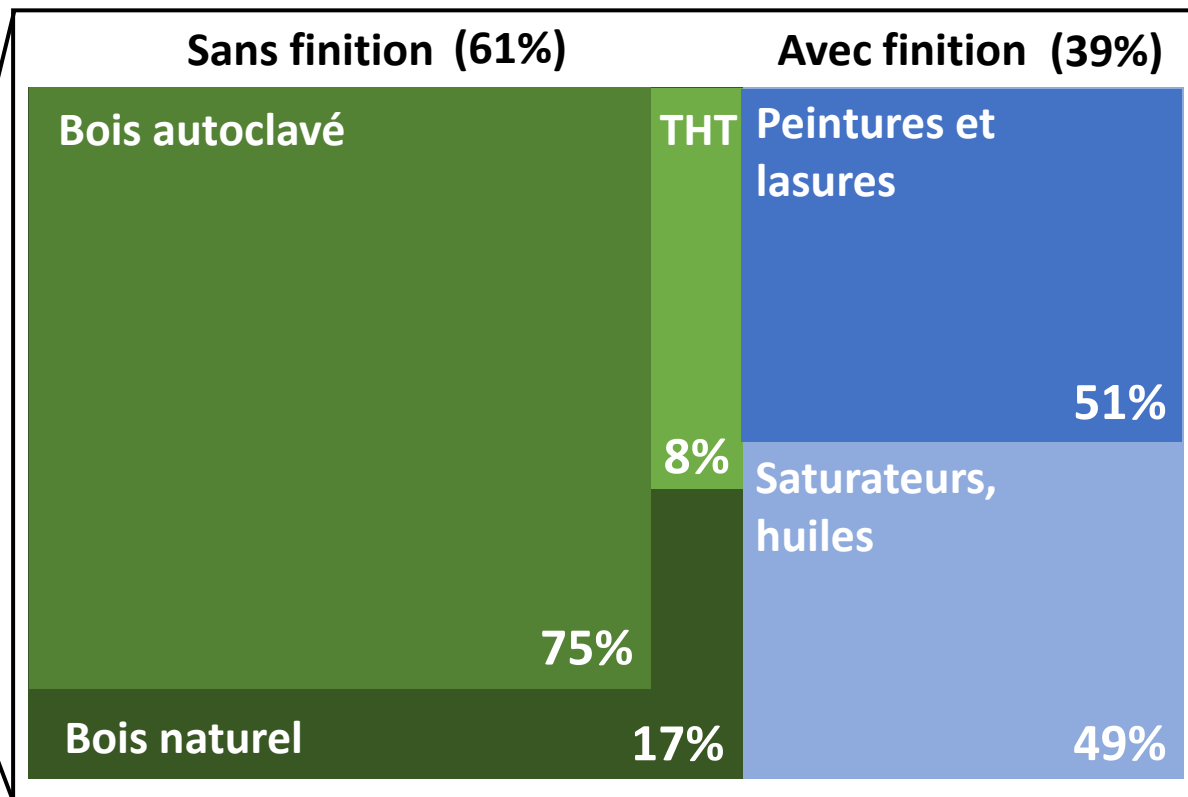
74%

Fibres/placages
/particules

17%

Bois composites

9%



Cycle de rénovation : 2–10 ans

*(entretien avec des professionnels;
étude du marché)*

En France, l'introduction initiale de biocides provient principalement de l'autoclave.

Composition des produits de traitement du bois

Saturateurs

Conservateurs de pot: BIT, CMIT/MIT, Zinc pyrithione, MIT

IPBC (3-6 g/kg)

Peintures bois

Formulations plus simples:
IPBC (TP07) , BIT, CMIT/MIT (TP06)

IPBC (7-15 g/kg)

Lasures

Produits les plus chargés en biocides

BIT, CMIT/MIT, IPBC, OIT, Zinc pyrithione, Terbutryn, DCOIT

IPBC (5-10 g/kg)

Terbutryn (12-25 g/kg)

Huiles bois

IPBC (TP07) , BIT, CMIT/MIT, Zinc pyrithione (TP06)

IPBC (moyenne de 5 g/kg)

Préservateurs bois

IPBC (0.1-1 g/kg)

Tébuconazole (0.04-0.2 g/kg)

Propiconazole (0.096-0.6 g/kg)

Perméthrine (0.04-0.2 g/kg)

Traitements autoclave

Carbonate de cuivre basique (175-205 g/kg)

DDAC (116-206 g/kg)

Tébuconazole (6-11 g/kg)

Propiconazole (5-11 g/kg)

Perméthrine (17-20 g/kg)

IPBC et isothiazolinones dominant les formulations de finitions.

Les traitements biocides sont distincts en composition.

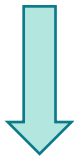
Marché français des membranes bitumineuses anti-racines

Ventes de toitures végétalisés

(MSI Reports, 2017-2021)



1,9 million de m²/an



Membranes bitumineuses



2,1 million de m²/an

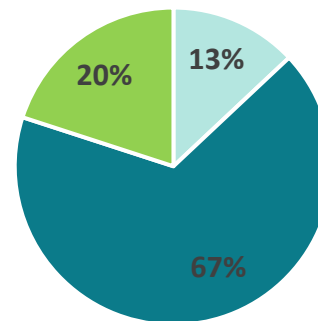
Marché des membranes bitumineuses commercialisées

(étude du marché, 2024)

137 produits analysés



≈11% résistant aux racines (usage toitures végétalisées)



Informations figurant sur le produit :

MCPP-P

énantiomère-(R)-(+)-active

MCPP

Produit utilisé : Preventol B2

Non spécifié

Pas d'usage du MCPA signalé (tendance récente en Allemagne)

Une faible part du marché correspond aux membranes anti-racines, mais celles-ci utilisent encore majoritairement des formulations historiques à base de MCPP.

Entretien : applications ponctuelles à forte charge biocide

Surfaces concernées



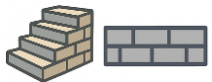
Façades



Tuiles béton
Tuiles terre cuite
Ardoise (rarement traités)

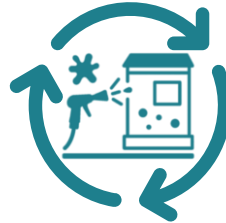


Escaliers
Murs périphériques
Terrasses,
Balcons
Allées pavées



Biocides contenus dans les produits de nettoyage et anti-mousses

(étude de marché)



Fréquence d'entretien

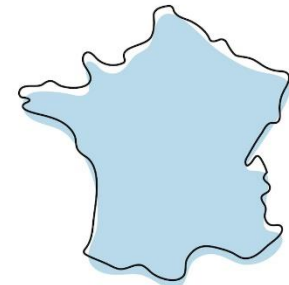
tous les ~5 ans

Quantité appliquée de BAC

5–10 g/m² (jusqu'à 20 g/m² en surdosage)

(Van de Voorde et al., 2012)

Contexte français



≈ 1 500 tonnes/an de BAC
mises sur le marché

(Base de données BioCID)

Les toitures sont bien étudiées ; la part des usages et émissions des autres surfaces reste méconnue.

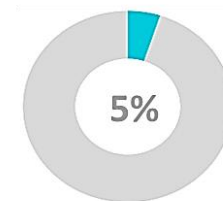
De l'échelle nationale à l'échelle de l'agglomération parisienne

Prorata des surface murs ou toiture entre la France et l'agglomération parisienne

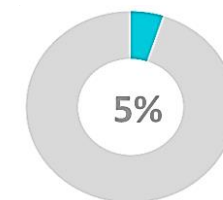
$$SF_{mur/toiture} = \frac{\sum_{i \in \text{Agglo Paris}} A_{i,mur/toiture}}{\sum_{i \in \text{France}} A_{i,mur/toiture}}$$



SF_{mur}



$SF_{toiture}$



Approche d'évaluation sur l'agglomération parisienne

Estimation des flux annuels émis par l'enveloppe bâti

Volumes nationaux de matériaux et produits biocides

Données issu d'études de marché sur les ventes de matériaux de construction (MSI Reports, SIMMBAD)



Régionalisation

Adapter et ramener ces données à l'échelle de l'Agglomération parisienne



Surface traitée

En considérant les rendements et fréquence d'application

$S_{i,j}$



Concentration en biocides

Evaluer la concentration de biocides dans les produits utilisés en se basant sur les FDS des produits commercialisés

$C_{0,j}$



Application de biocides

Estimer la quantité totale de biocides appliquée dans la région



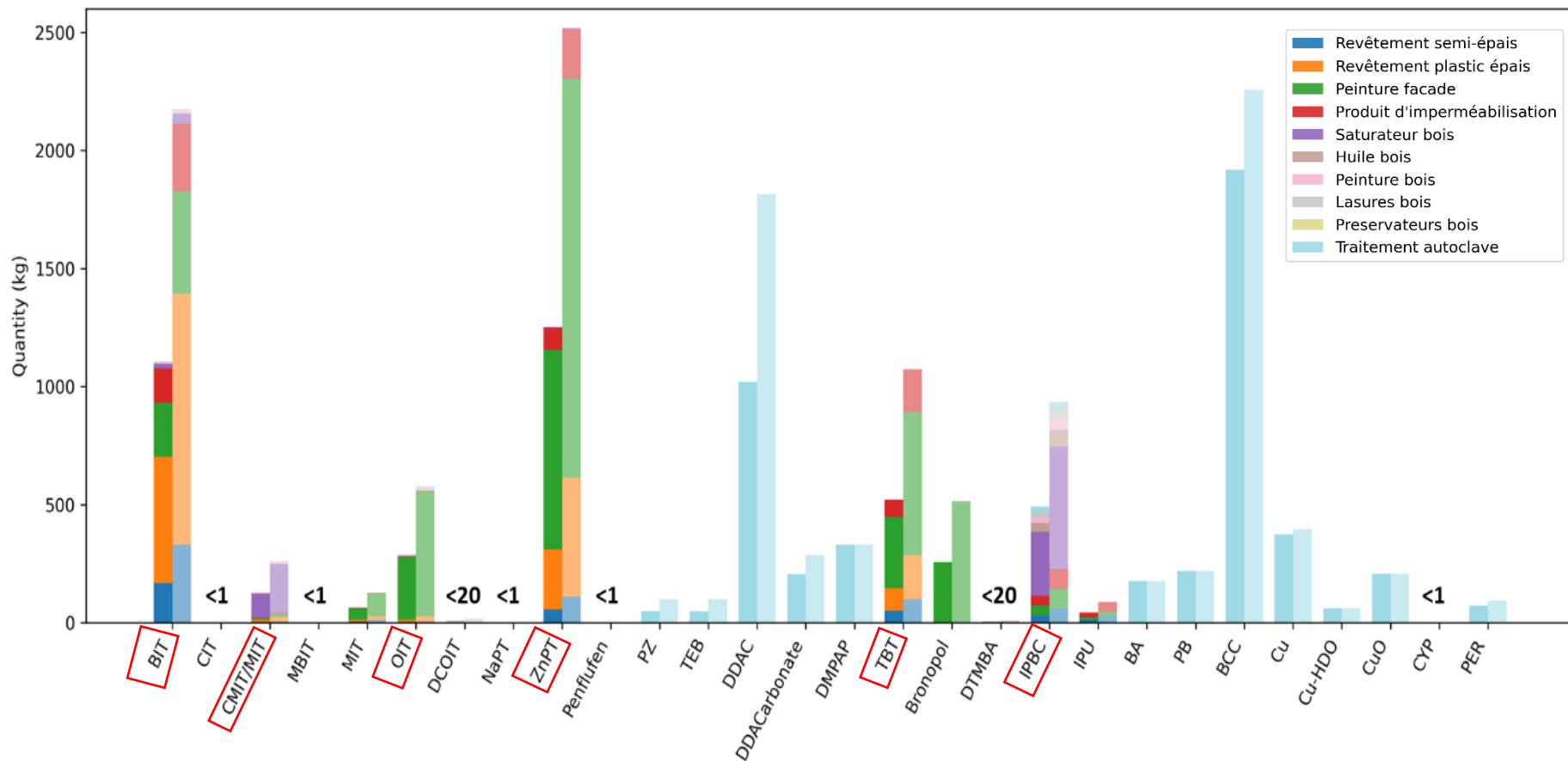
Émission de biocides

Calculer les émissions annuelles de biocides dans l'Agglomération parisienne en se basant sur les principes du modèle d'émission COMLEAM

$E_{k,j}$

$$M_j = \sum_{i=1}^x S_{i,j} \times C_{0,j} \times \sum_{k=i-12}^i E_{k,j}$$

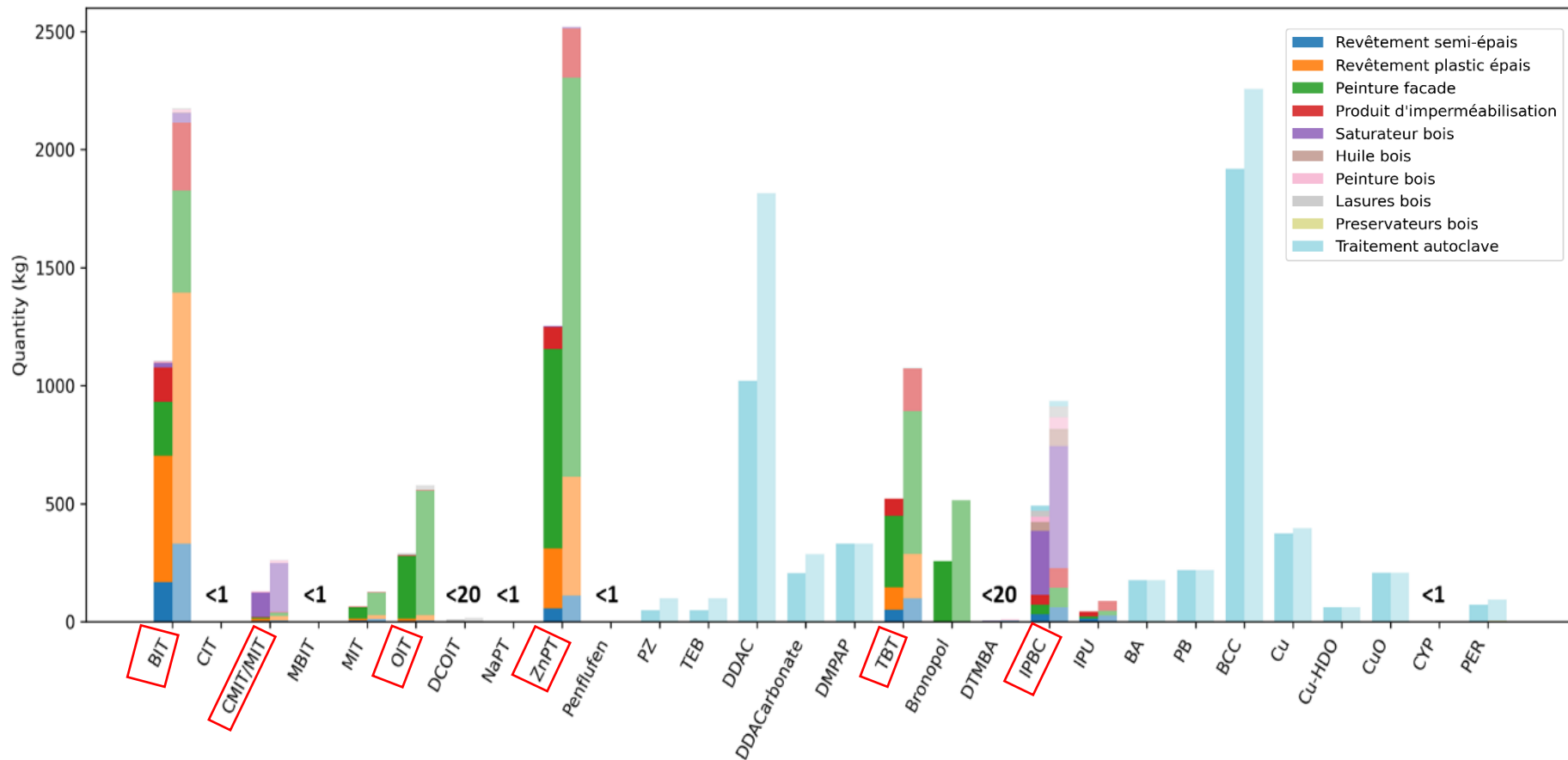
Ordre de grandeur des applications annuelles de biocides – Agglomération parisienne



+ 76 279 kg pour le BAC (produits anti-mousses)

Une forte variabilité entre les substances

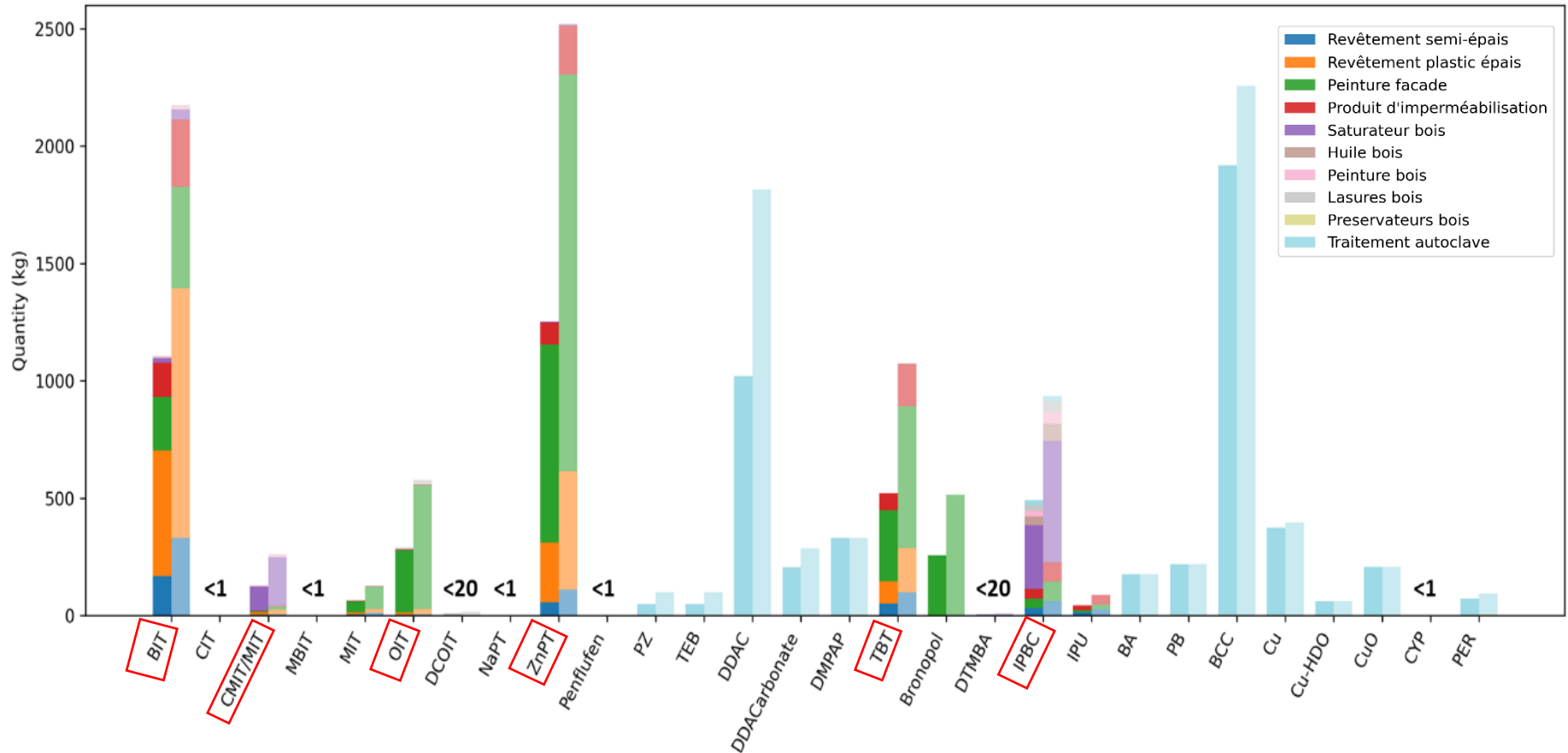
Ordre de grandeur des applications annuelles de biocides – Agglomération parisienne



+ 76 279 kg pour le BAC (produits anti-mousses)

Les revêtements de façade constituent une source majeure de BIT, OIT, zinc pyrithione et terbutryn

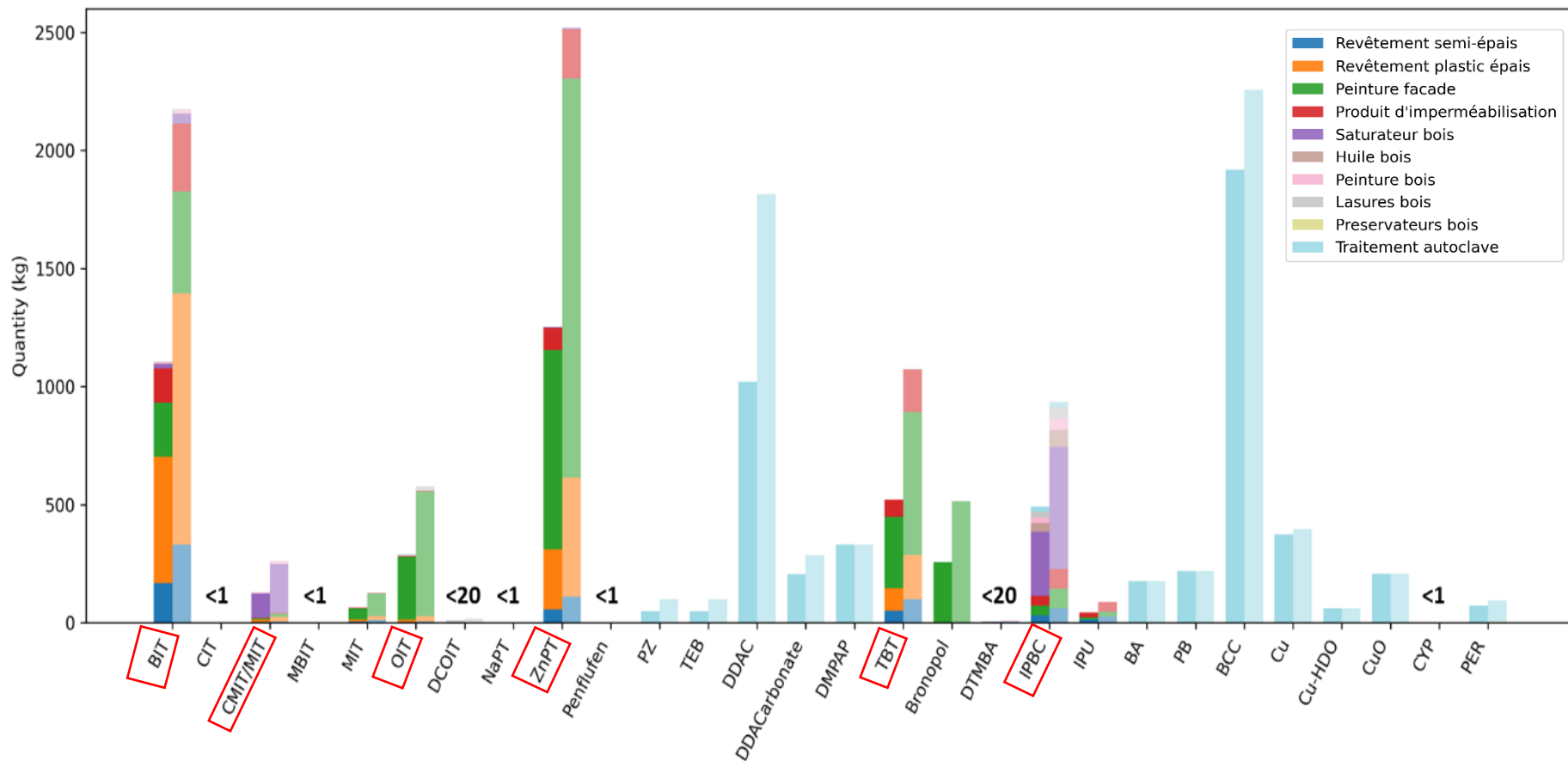
Ordre de grandeur des applications annuelles de biocides – Agglomération parisienne



+ 76 279 kg pour le BAC (produits anti-mousses)

Les traitements bois en autoclave représentent des quantités très élevées

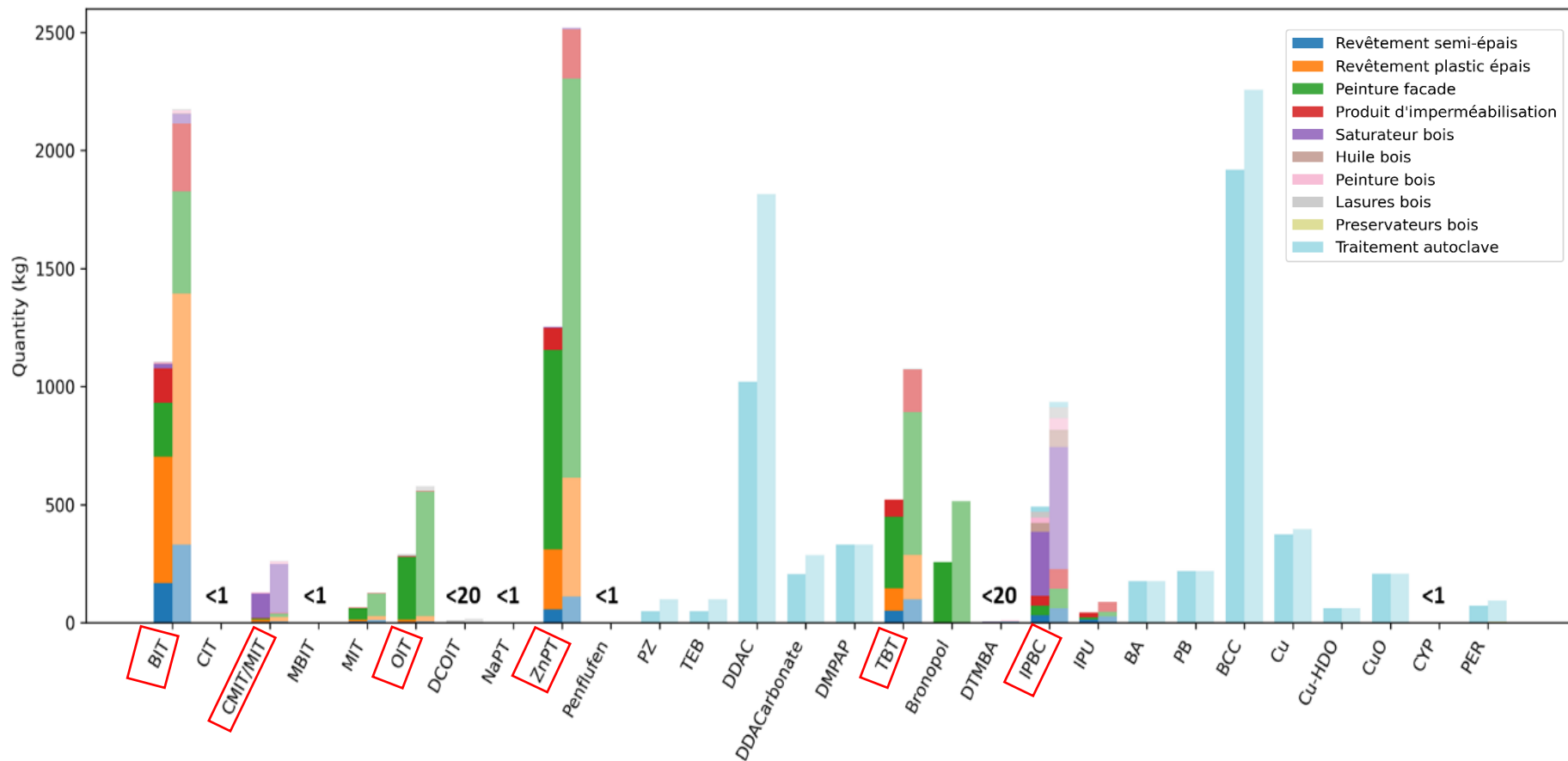
Ordre de grandeur des applications annuelles de biocides – Agglomération parisienne



+ 76 279 kg pour le BAC (produits anti-mousses)

Les autres traitements du bois contribuent principalement aux quantités d'IPBC et de CMIT/MIT

Ordre de grandeur des applications annuelles de biocides – Agglomération parisienne



+ 76 279 kg pour le BAC (produits anti-mousses)

Certaines substances restent marginales en termes de quantités appliquées

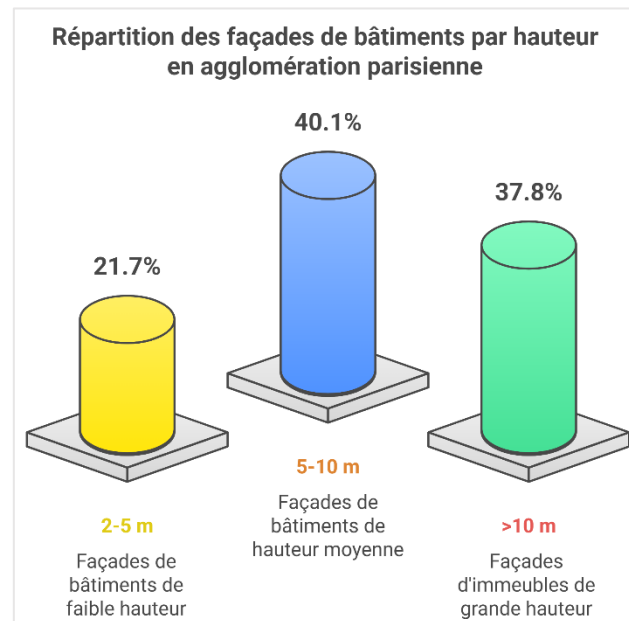
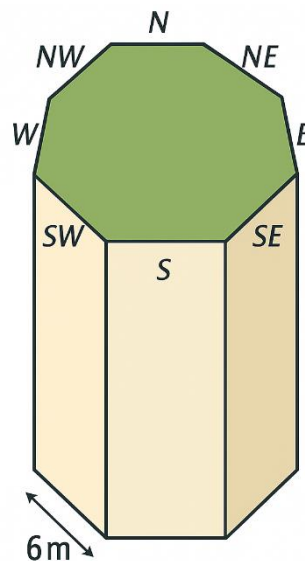
Choix des fonctions d'émission

Fonction logarithmique :
(Majoritairement utilisée)

$$E(q) = C_0 \cdot a_{\text{char}} \cdot \ln(1 + b \cdot q)$$

- a_{char} [-], b [m^2/l] : paramètres expérimentaux
- C_0 : masse initiale appliquée [g/m^2]
- q : ruissellement cumulé [l/m^2]

Bâtiment de référence avec façades cardinales et inter cardinales



- 8 orientations considérées
- Surface pondérée par la distribution de hauteur des bâtiments

Sélection des paramètres d'émission

Objectif : appliquer les lois d'émission à des scénarios "moyen" et "maximal"

Priorité aux fonctions dont le paramètre d'échelle (a_{char}) est disponible peuvent être ajustés

Lois pouvant être ajustés selon les concentrations du marché

Lorsque plusieurs jeux de paramètres existent dans la littérature

Sélection de deux configurations contrastées (moyenne – haute)

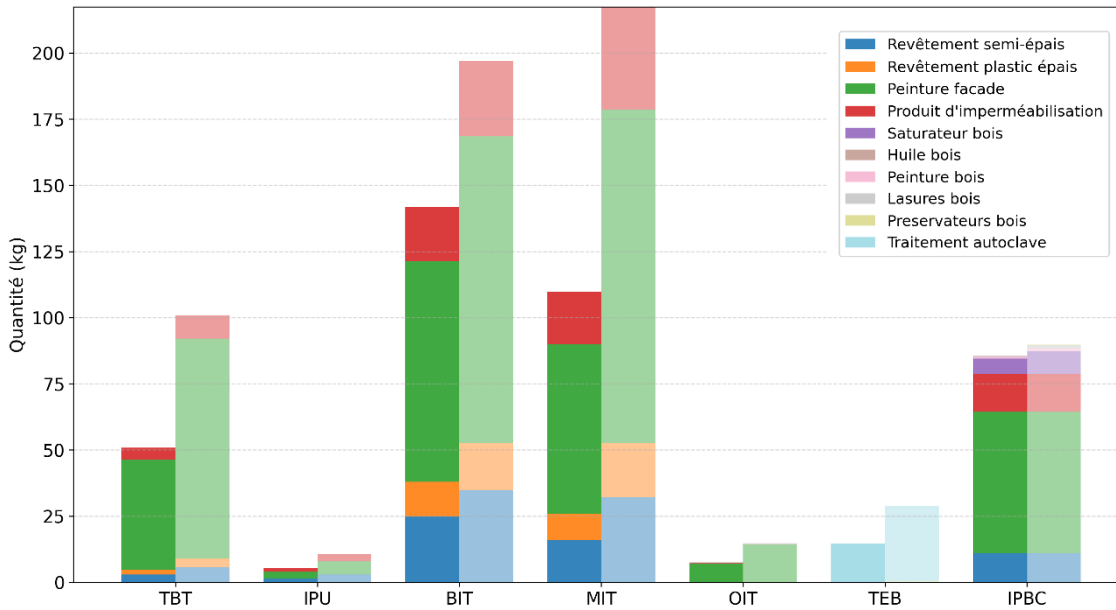
Lorsqu'une seule fonction est disponible

Utilisation de la fonction telle que publiée

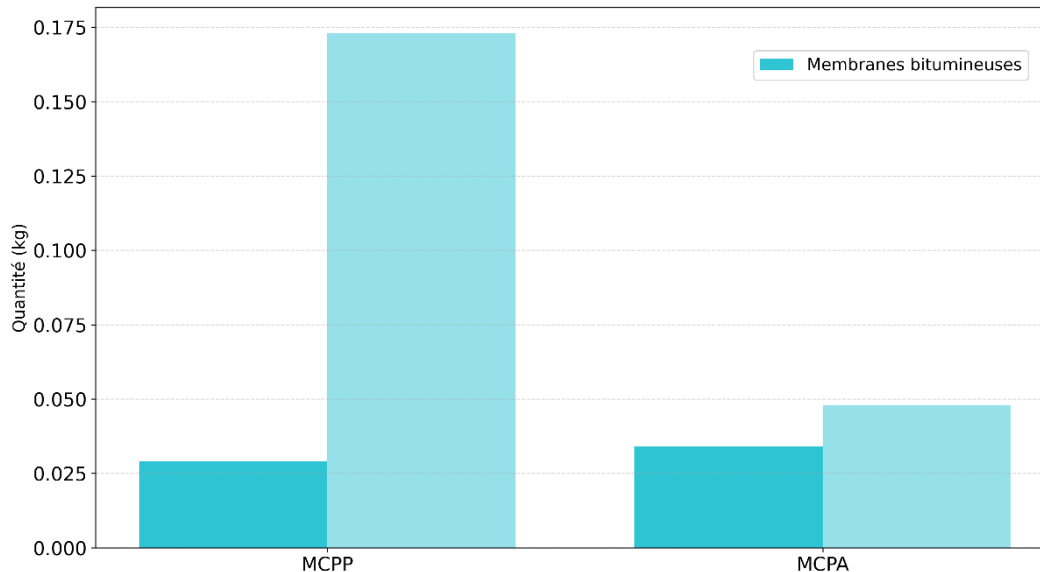
Lorsqu'aucune fonction n'existe pour un couple biocide-matériau

Utilisation de fonctions issues de matériaux proches comme proxys

Quelques résultats : ordre de grandeur des émissions annuelles

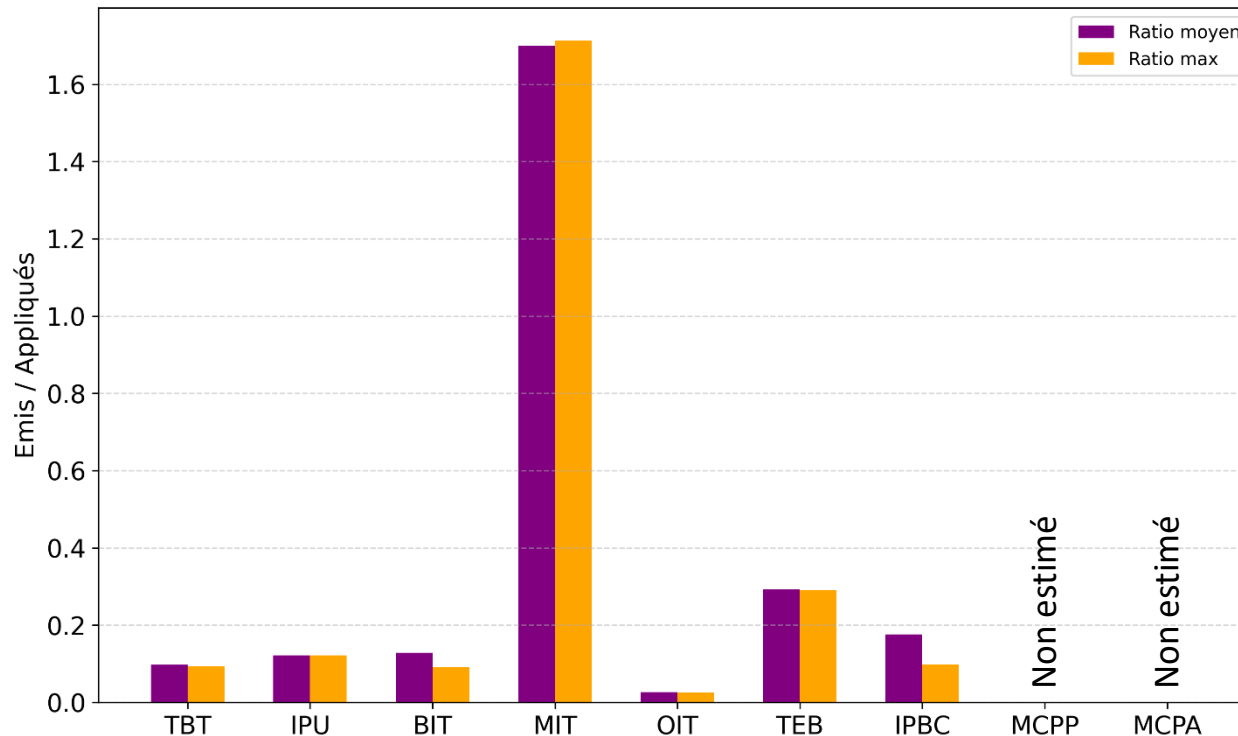


Les revêtements de façade constituent une source importante d'émissions, principalement associées aux peintures



Les émissions de MCPP et MCPA substances restent marginales

Variabilité du « ratio émission annuelle / application annuelle » selon les substances



- MIT: ratio émission / application très élevé (>1)
 - Biais lié à l'utilisation de fonctions d'émission non normalisées
- Autres biocides : émissions inférieures aux apports annuels
 - un comportement de réservoir avec une déplétion lente

- **Une première estimation des applications et des émissions de biocides issus de l'enveloppe du bâtiment à l'échelle de l'agglomération parisienne a été réalisée.**
- **Les revêtements de façade apparaissent comme une source majeure d'émissions potentielles**, en raison des surfaces importantes traitées et des concentrations en biocides dans les produits.
- **Les résultats mettent en évidence une forte variabilité selon les substances, les matériaux et les scénarios d'émission.**
- **Cette approche constitue une première étape vers la modélisation des flux de biocides à l'échelle urbaine**, nécessaire pour mieux évaluer leur transfert vers les milieux récepteurs.



laboratoire eau environnement systemes urbains

Merci de votre attention

rim.saad@enpc.fr

Remerciements

Cette recherche a été menée dans le cadre du programme de recherche OPUR (<https://leesu.univ-parisest.fr/opur/>). Les auteurs remercient chaleureusement les partenaires OPUR pour leur soutien financier.