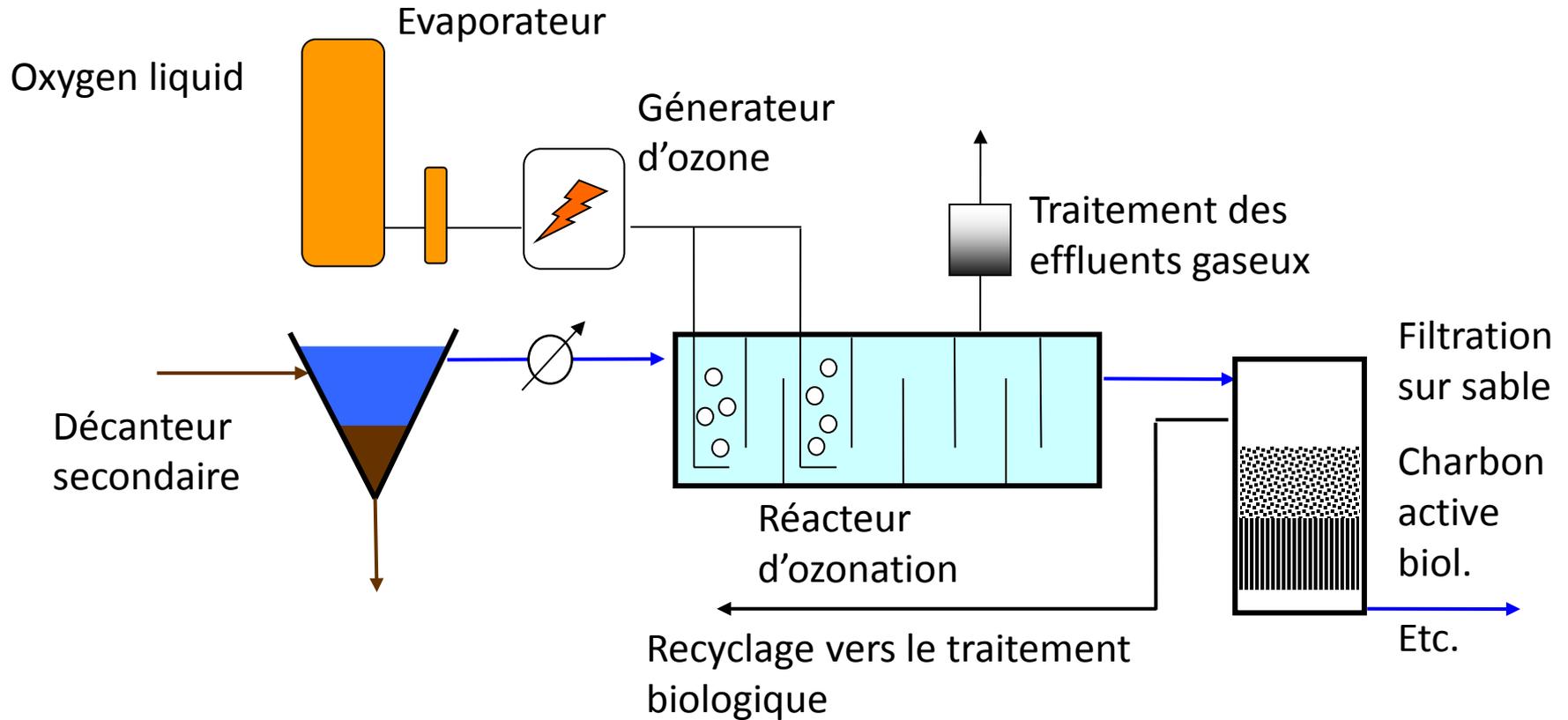


# Les produits de transformation d'ozonation et leur devenir dans le post-traitement biologique

Urs von Gunten

Eawag- Das Wasserforschungsinstitut des ETH Bereichs  
EPFL, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne

# Ozonation pour le traitement des eaux usées

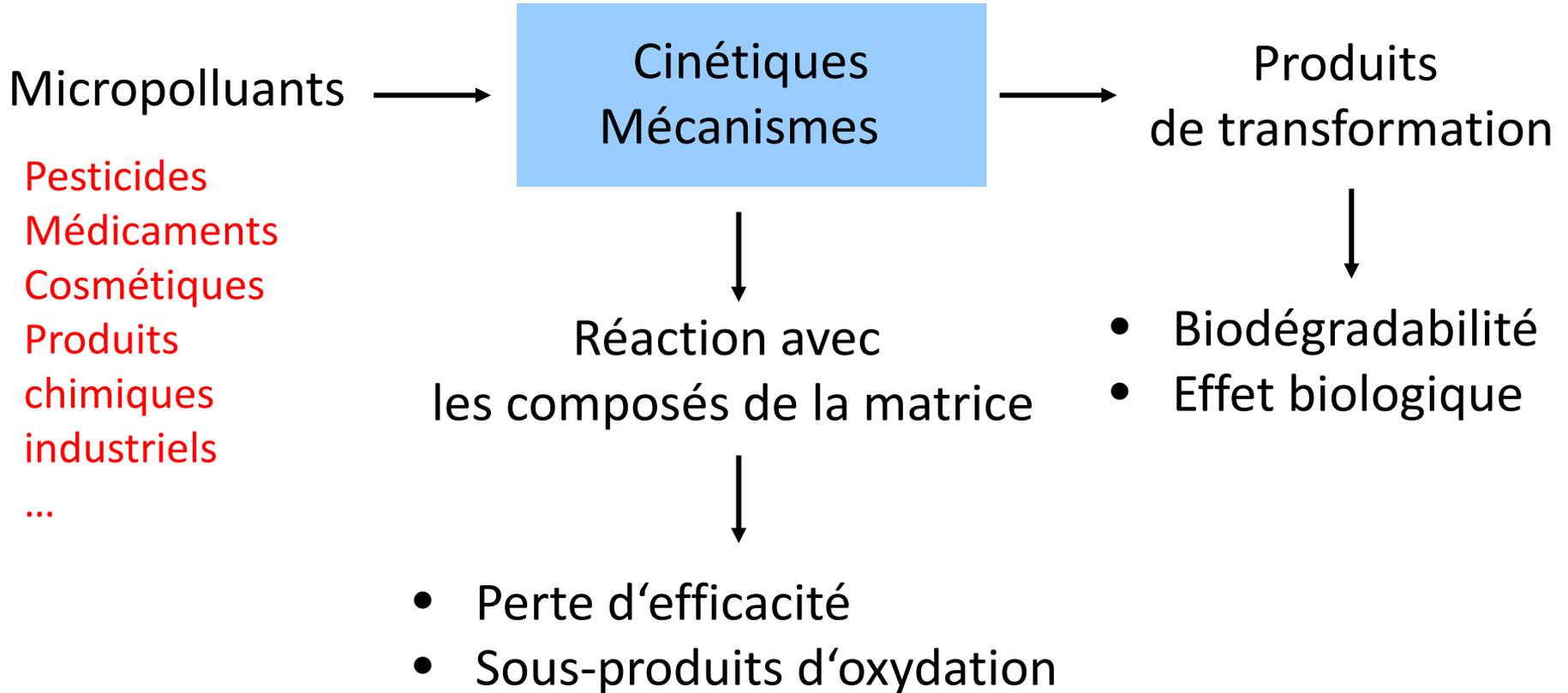


STEP Neugut : Echelle réelle, 105'000 équivalent-habitant, depuis Mars 2014  
(quelques résultats de Christa McArdell et son équipe)

STEP Regensdorf : Echelle réelle, 25'000 équivalent-habitant, Aug. 2007 – Oct. 2008

# Aspect du traitement de l'eau par ozonation

## Dégradation par ozone



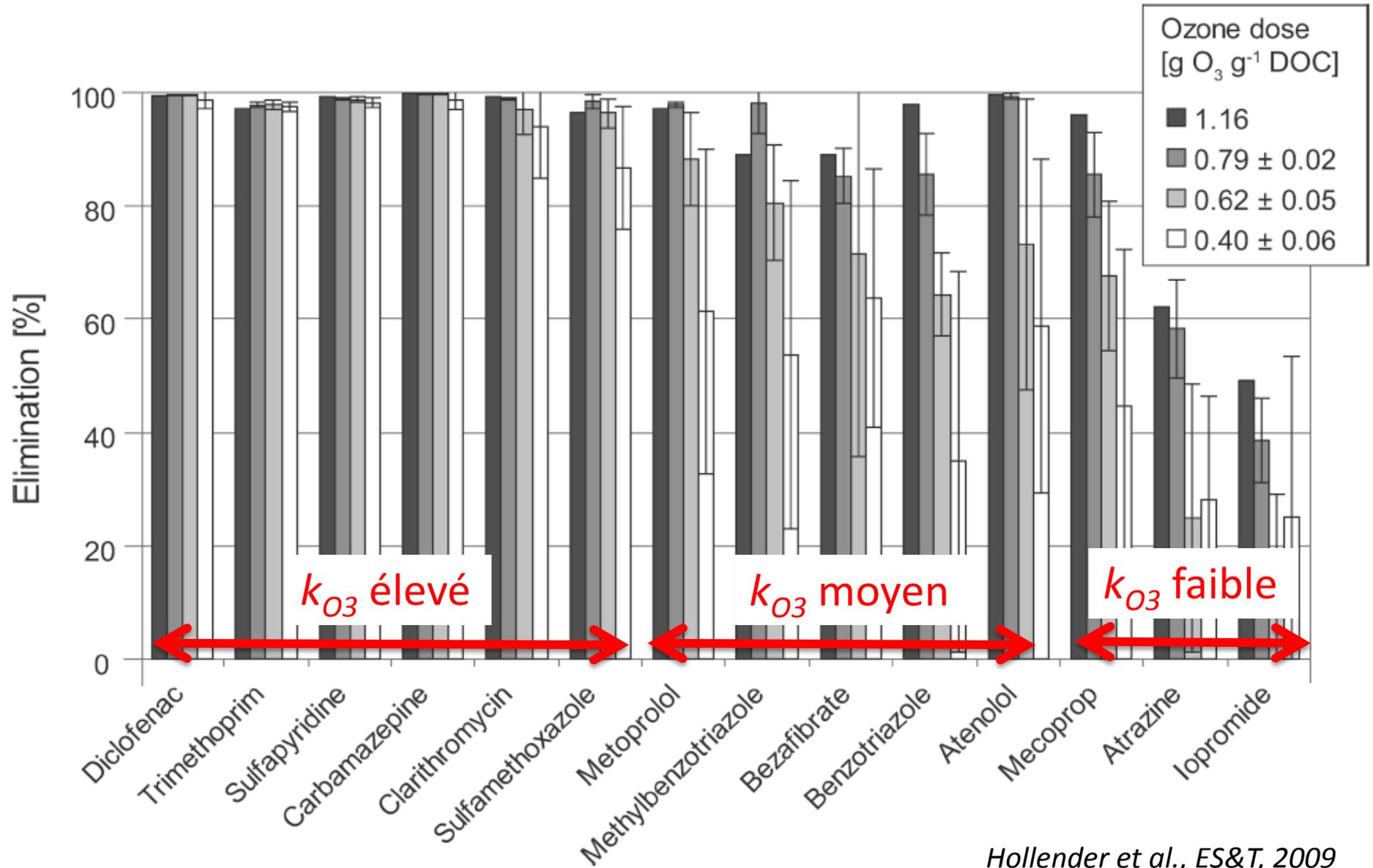
# Efficacité de l'oxydation des micropolluants - cinétique

- L'ozone est une **molécule électrophile** sélective
- L'ozone se décompose dans l'eau en **radicaux hydroxyles**
- L'ozone réagit particulièrement avec les **oléfines**, les **composés aromatiques activés**, les **amines neutres** et les **composés soufrés réduits**
- Constante de réaction: **constante physico-chimique  $k$**
- $k$  est, avec la durée d'exposition à l'oxydant, le point critique pour s'assurer d'une oxydation convenable

$$\ln\left(\frac{[c]}{[c]_o}\right) = k \int [ox] dt$$

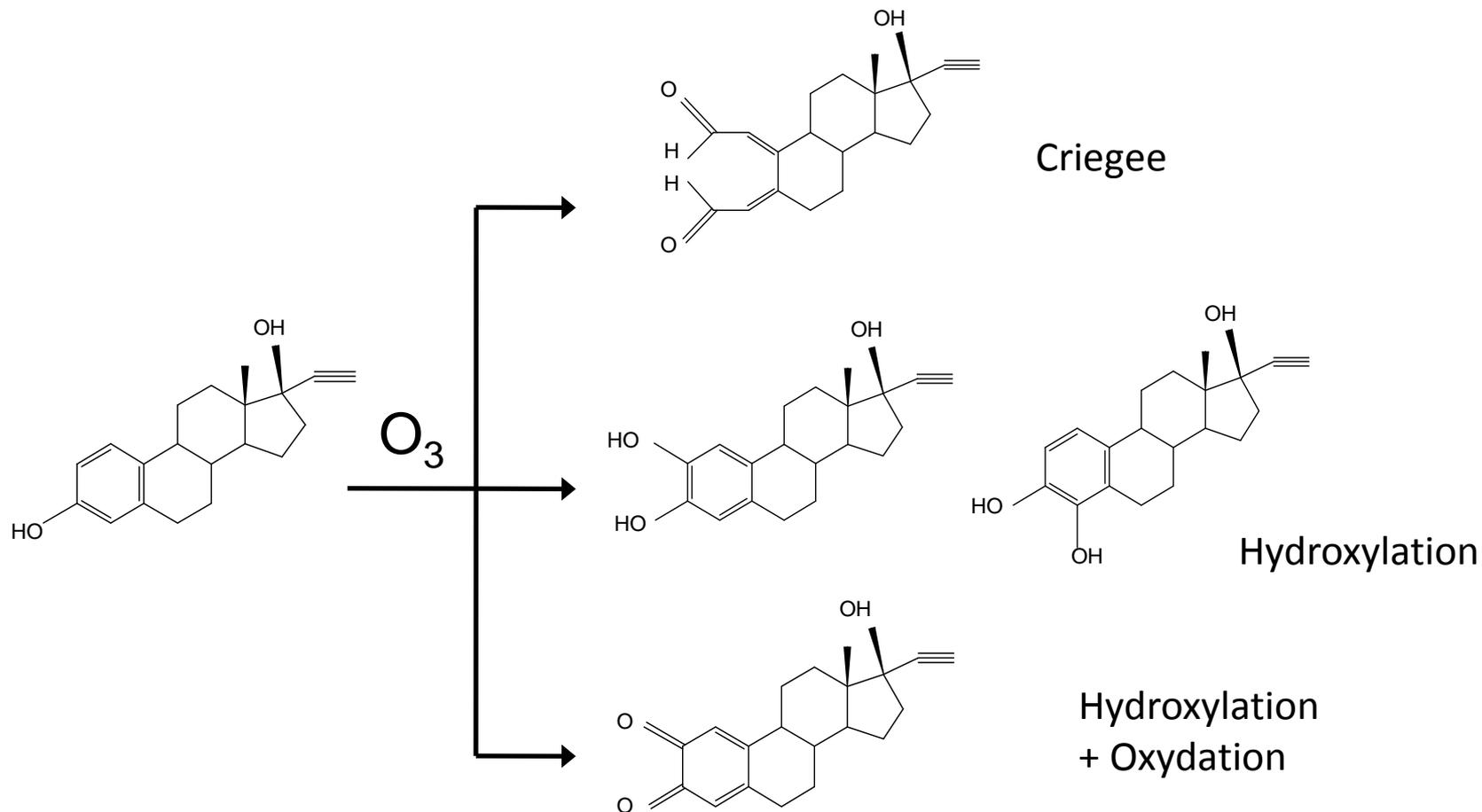
- Mesures des  $k$  de réaction (directes, cinétique compétitive)
- Relation quantitative entre la structure et l'activité (QSAR)
- Approche utilisant la mécanique quantique

# Importance de la cinétique dans l'élimination des micropolluants dans les eaux usées: STEP Wüeri - Regensdorf



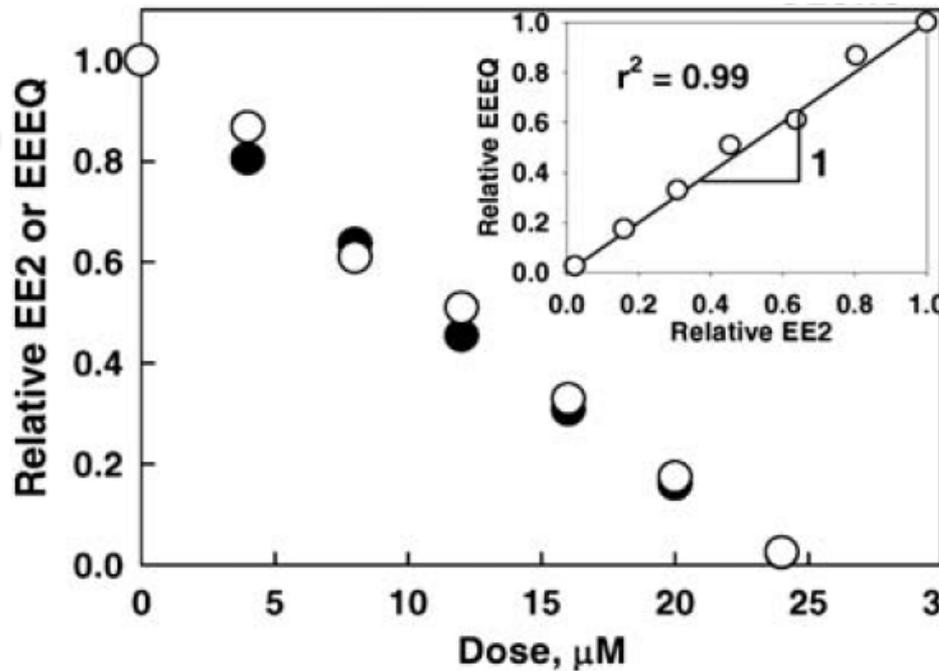
# Composés Aromatiques - Oxydation de la 17 $\alpha$ -Ethinylestradiol

Produits primaires suggérés

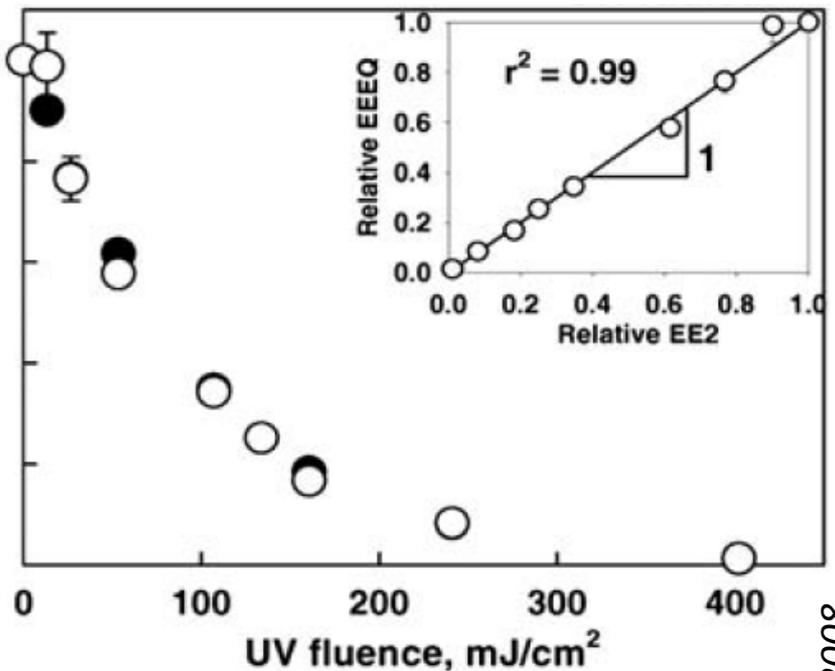


# Effets biologiques : Réduction de l'activité oestrogénique (EEEQ, YES) et élimination de la 17 $\alpha$ -Ethinylestradiol (EE2) par l'ozone et les radicaux hydroxyles

## Ozone



## Radicaux hydroxyles

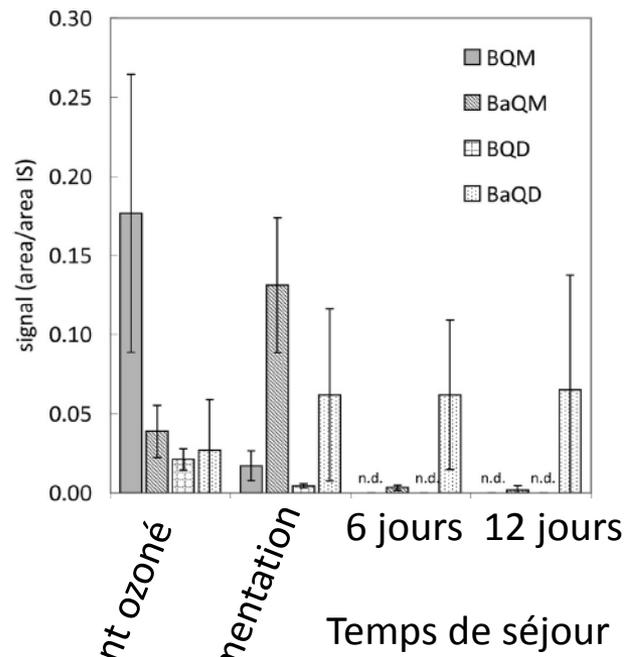


La perte de l'activité oestrogénique est proportionnelle à l'élimination de l'EE2

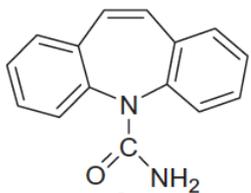
Effet oestrogénique des produits  $\ll 10\%$  de EE2

# Biodégradation des produits de transformation de la carbamazépine (oléfine) dans une colonne de sable

Colonne de sable

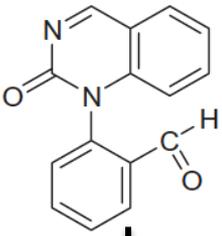


Carbamazépine



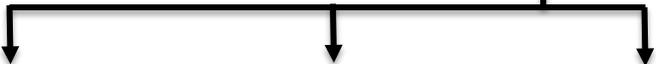
O<sub>3</sub>

BQM

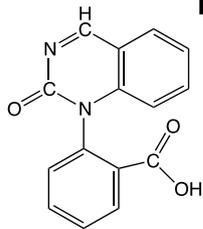


Biol.

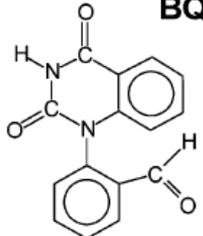
O<sub>3</sub>



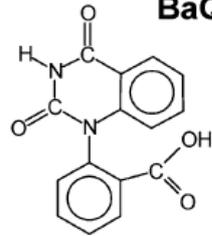
BaQM



BQD

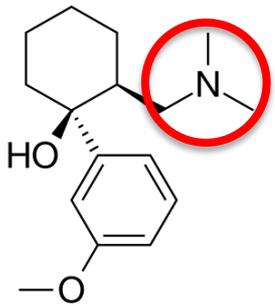
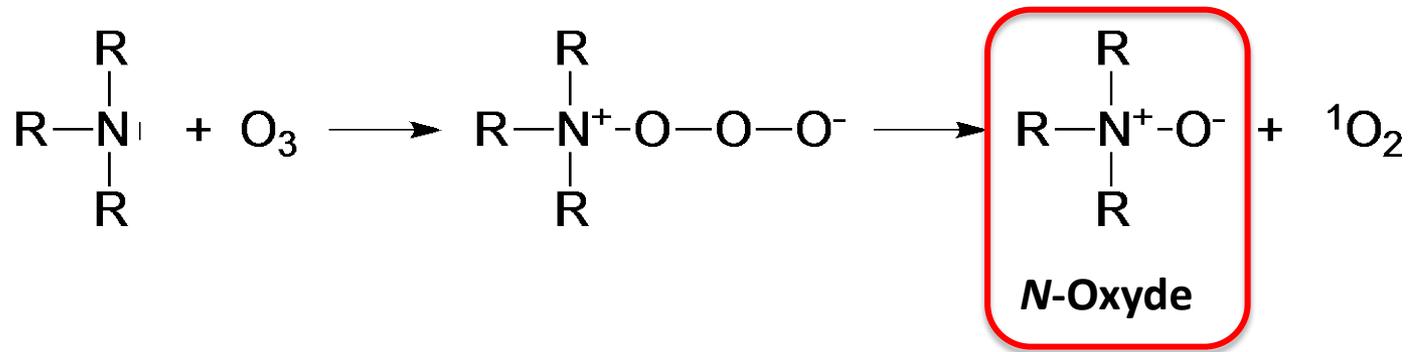


BaQD

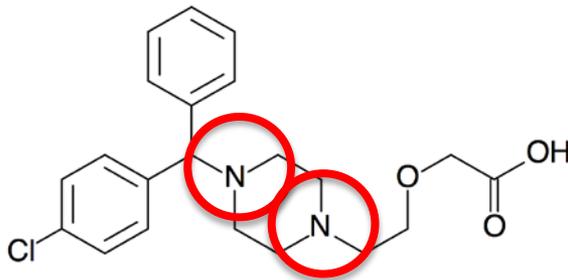


Hübner et al., Water Res. 2014; McArdell et al. in prep.

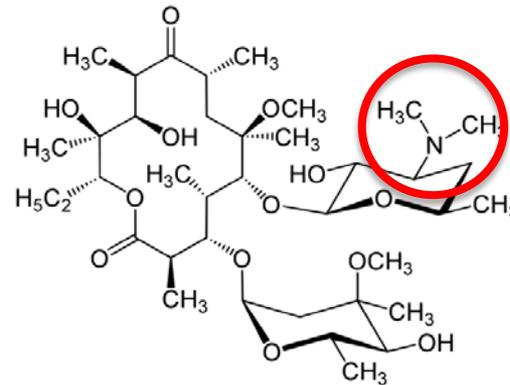
# Amines – amines tertiaires : Formation des *N*-oxydes



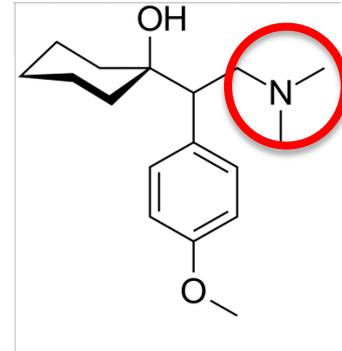
Tramadol  
Analgésique



Cetirizine  
Antihistaminique



Clarithromycine  
Antibiotique



Venlafaxine  
Composé  
antidépresseur

# Procédure en 5 étapes pour vérifier la faisabilité d'un traitement par ozonation

WATER RESEARCH 75 (2015) 324–335

Available online at [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

ScienceDirect



ELSEVIER

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/watres](http://www.elsevier.com/locate/watres)



## Novel test procedure to evaluate the treatability of wastewater with ozone

Yael Schindler Wildhaber <sup>a,b,1</sup>, Hana Mestankova <sup>a,1</sup>, Michael Schärer <sup>b</sup>,  
Kristin Schirmer <sup>a,c,d</sup>, Elisabeth Salhi <sup>a</sup>, Urs von Gunten <sup>a,c,d,\*</sup>

<sup>a</sup> Eawag, Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, P.O. Box 611, 8600 Dübendorf, Switzerland

<sup>b</sup> Federal Office for the Environment (FOEN), Water Division, 3003 Bern, Switzerland

<sup>c</sup> School of Architecture, Civil and Environmental Engineering (ENAC), Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), 1015 Lausanne, Switzerland

<sup>d</sup> Institute of Biogeochemistry and Pollutant Dynamics, ETH Zurich, 8092 Zürich, Switzerland

- Caractérisation de l'ozonation
- Abattement des micropolluants
- Formation des sous-produits
- Tests biologiques
- Pilotage

## BEHANDELBARKEIT VON ABWASSER MIT OZON

TESTVERFAHREN ZUR BEURTEILUNG

Test recommandé par OFEV pour les STEPs considérant une ozonation

*Schindler Wildhaber et al., Water Res. 2015; Wunderlin et al. Aqua&Gas, 2015*

# Conclusions

- La **cinétique de réaction** avec l'ozone détermine le taux de transformation des micropolluants
- Les produits **primaires d'ozonation** sont connus pour des substances traces avec différents groupes fonctionnels : des **oléfines**, des **phénols**, des **amines**, des **sulfures**
- Les tests biologiques montrent généralement une **perte de l'activité biologique initiale**
- Les **produits de transformation** connus sont souvent **peu biodégradables**
- L'application du traitement d'ozonation comprend l'évaluation de **la cinétique, des mécanismes, de la toxicité et de la biodégradation**

## Remerciements

- Birgit Beck
  - Ewa Borowska
  - Marc Bourgin
  - Juliane Hollender
  - Uwe Hübner
  - Minju Lee
  - Yunho Lee
  - Christa McArdell
  - Tony Merle
  - Hana Mestankova
  - Elisabeth Salhi
  - Max Schachtler
  - Michael Schärer
  - Yael Schindler Wildhaber
  - Kristin Schirmer
  - Fabian Soltermann
  - Rebekka Teichler
  - Saskia Zimmermann Steffens
- Support : Eawag, EPFL, OFEV, BMBF, SCIEX, DEMEAU, KRF, STEP Neugut, WABAG, Chemviron Carbon, Ensola, Mecana