

# Distribution de l'eau potable sans désinfection finale à Zurich

Oliver Köster et Hans-Peter Kaiser



# Sommaire

- I. Introduction**
- II. La reviviscence bactérienne**
- III. Rétrospective historique de la chloration à Zurich**
- IV. Quantifications des biofilms et des nutriments**
- V. Conclusions et recommandations**
- VI. Bibliographie**

# I. Introduction

- Situation de Zurich
- Rappel des normes légales
- Désinfection finale/protection de réseau
- Efficacité de la chloration

# Situation de Zurich



# Situation de Zurich

Réseau de distribution de l'eau de source indépendant, partiellement avec dosage de dioxyde de chlore.



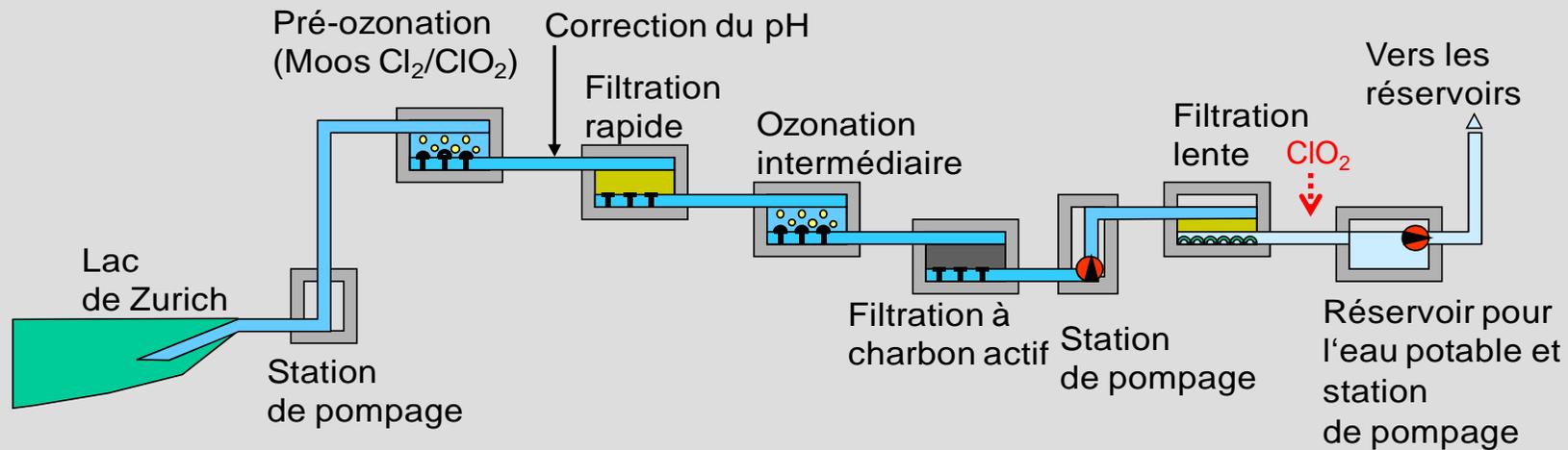
160 sources à Zurich sans désinfection, mais avec filtration à sable

120 sources dans les vallées de la Sihl et de la Lorze avec dosage de  $\text{ClO}_2$

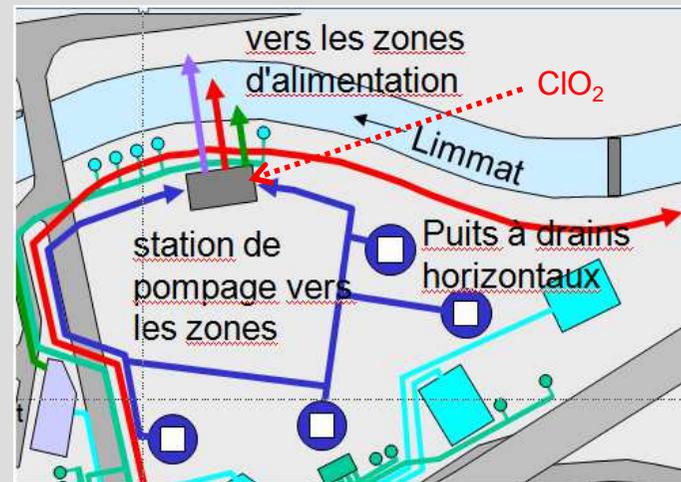
# Situation de Zurich

## Traitement de l'eau

### Filière de traitement de l'eau de Lengg et Moos:



L'eau de nappe au Hardhof:  
➔ sans traitement



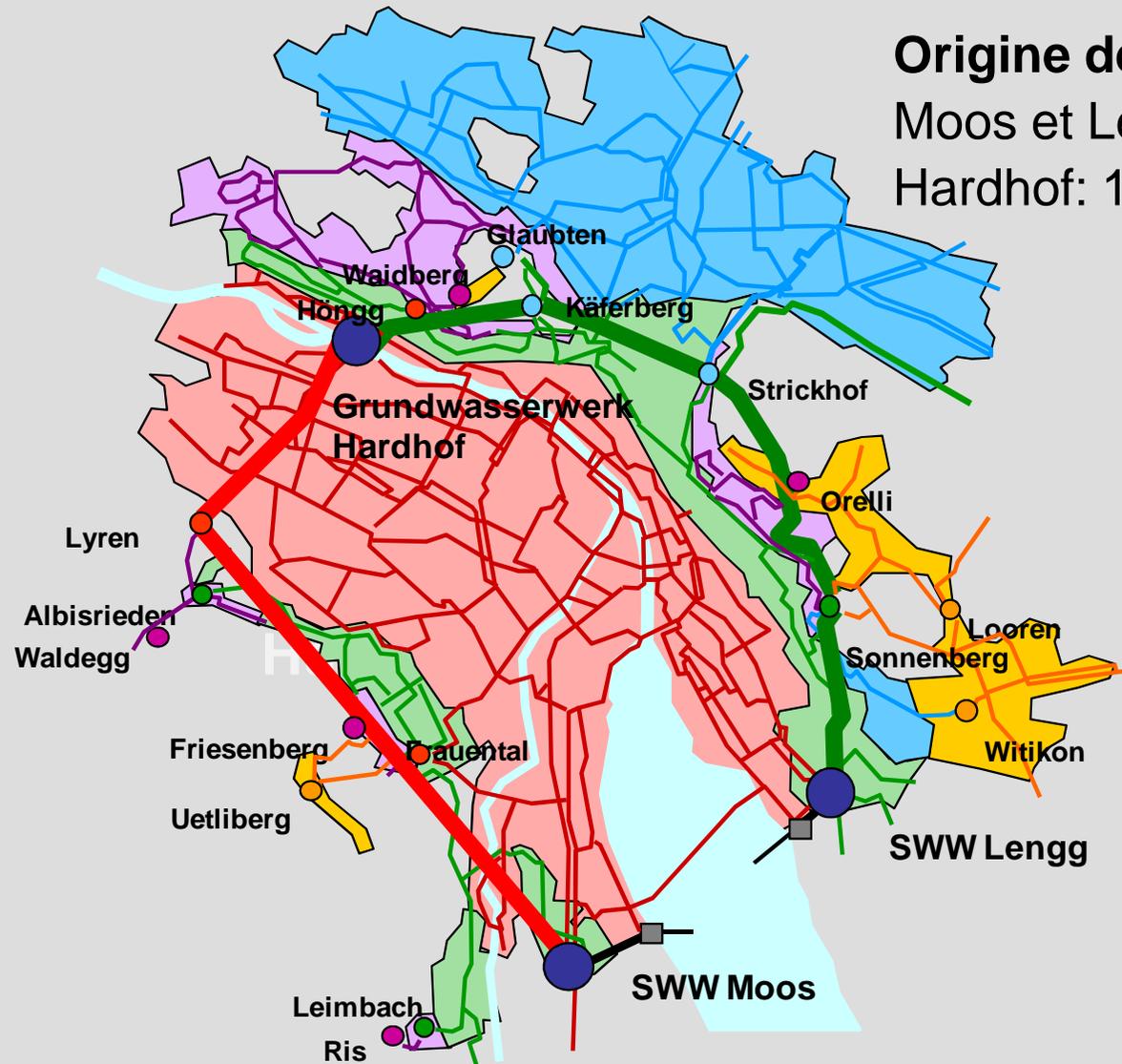
# Situation de Zurich

Réseau de distribution de l'eau (sans l'eau de source)

## Origine de l'eau potable

Moos et Lengg: 85%

Hardhof: 15%



# Normes légales pour les paramètres microbiologiques

(HPC: germes aérobies mésophiles)

Paramètres microbiologiques HPC: CH: 72 h / 30°C EU: 72 h / 22°	Suisse: valeur de tolérance	UE: valeur paramétrique
E.Coli / Entérocoques par 100 ml (ufc/100ml)	0	0
Bactéries coliformes par 100 ml (44°C/48h)	-	0
<i>Clostridium perfringens</i> par 100 ml	-	0
HPC eau potable non traitée (ufc/ml)	100	-
HPC après traitement (ufc/ml)	20	-
HPC dans le réseau de distribution (ufc/ml)	300	Aucun changement anormal
Absence de pathogènes	(*)	(*)
(*) Ne doit pas mettre en danger la santé humaine		

# Normes légales

## pour les sous-produits de désinfection

Paramètres chimiques	Suisse: valeur de tolérance	UE: valeur paramétrique
Chlorites et chlorates respectivement (mg/l)	0,20	-
Total des hydrocarbures halogénés volatils après chloration (µg/l)	20 (CI)	100 (THM)

# Désinfection finale et protection du réseau

## Désinfection finale:

L'ajout d'une petite quantité de chlore ou de dioxyde de chlore.

Ces substances ne sont plus mesurables après quelques heures dans le réseau.

Exemple CH: **Au maximum** 0,1 mg/l de chlore ou de 0,05 mg/l de dioxyde sont tolérés au robinet.

## Protection du réseau:

Le dioxyde de chlore ou le chlore doit se mesurer au robinet chez les consommateurs.

Exemple F: **Au moins** 0,3 mg/l de chlore ou 0,15 mg/l de dioxyde de chlore doivent être mesurables après les réservoirs (0.1mg/l de chlore et 0.05 mg/l en tout point dans le réseau).

# Efficacité de la désinfection au chlore et au dioxyde de chlore

## Désinfection finale:

Inactivation chez WVZ: N/No après 2 h avec une teneur résiduelle de 0,02 mg/l Cl<sub>2</sub> ou ClO<sub>2</sub>  
(ct = ca. 2,4 mg min<sup>-1</sup> l<sup>-1</sup>)

Micro-organismes	Chlore à 10°C (logs)	Dioxyde de chlore à 10°C (logs)
<i>E.coli</i>	10 (pH=7)	>10
<i>Clostridium perfringens</i> spores	0	1
<i>Legionella pneumophila</i>	4 (pH=7.8)	2
<i>Shigella sonnei</i>	4 (pH=7)	?
<i>Poliovirus type 1</i>	1 (pH=6)	5
<i>Enterovirus Coxsackie B</i>	3 (pH=7.8)	?
<i>Giarda lamblia</i>	0 (pH=7)	0
<i>Cryptosporidium parvum</i>	0 (pH=7)	0

selon Sosbey, Wat. Sci. Tech. 1989 et publications EPA ( Surface Water Treatment Rule et d'autres)

# Efficacité de la désinfection au chlore et au dioxyde de chlore

## Protection de réseau:

Inactivation après 24h avec une teneur résiduelle de 0.3 mg/l Cl<sub>2</sub> ou ClO<sub>2</sub>  
(ct = 432 mg min<sup>-1</sup> l<sup>-1</sup>)

Micro-organismes	Chlore à 10°C (logs)	Dioxyde de chlore (logs)
<i>E.coli</i>	>>10 (pH=7)	>>10
<i>Clostridium perfringens</i> spores	?	6
<i>Legionella pneumophila</i>	>10 (pH=7.8)	8
<i>Shigella sonnei</i>	>10 (pH=7)	?
<i>Poliovirus 1</i>	>10 (pH=6)	> 10
<i>Enterovirus Coxsackie B</i>	>10 (pH=7,8)	?
<i>Giarda lamblia</i>	0 (pH=7)	1
<i>Cryptosporidium parvum</i>	0 (pH=7)	0

selon Sosbey, Wat. Sci. Tech. 1989 et publications EPA (Surface Water Treatment Rule et d'autres)

## II. La reviviscence bactérienne

- De quoi s'agit-il?
- Biofilms
- Sources de nutriments
- Effets de la stagnation

## De quoi s'agit-il?

On parle de reviviscence bactérienne quand le nombre de germes dans l'eau potable après traitement est faible mais augmente de manière substantielle dans le réseau.

La reviviscence est mesurable:

➤ Approche classique:

Mesurer l'augmentation du nombre des colonies aérobies dans l'eau potable (HPC).

Limite légale: 300 ufc/ml.

➤ Approche moderne:

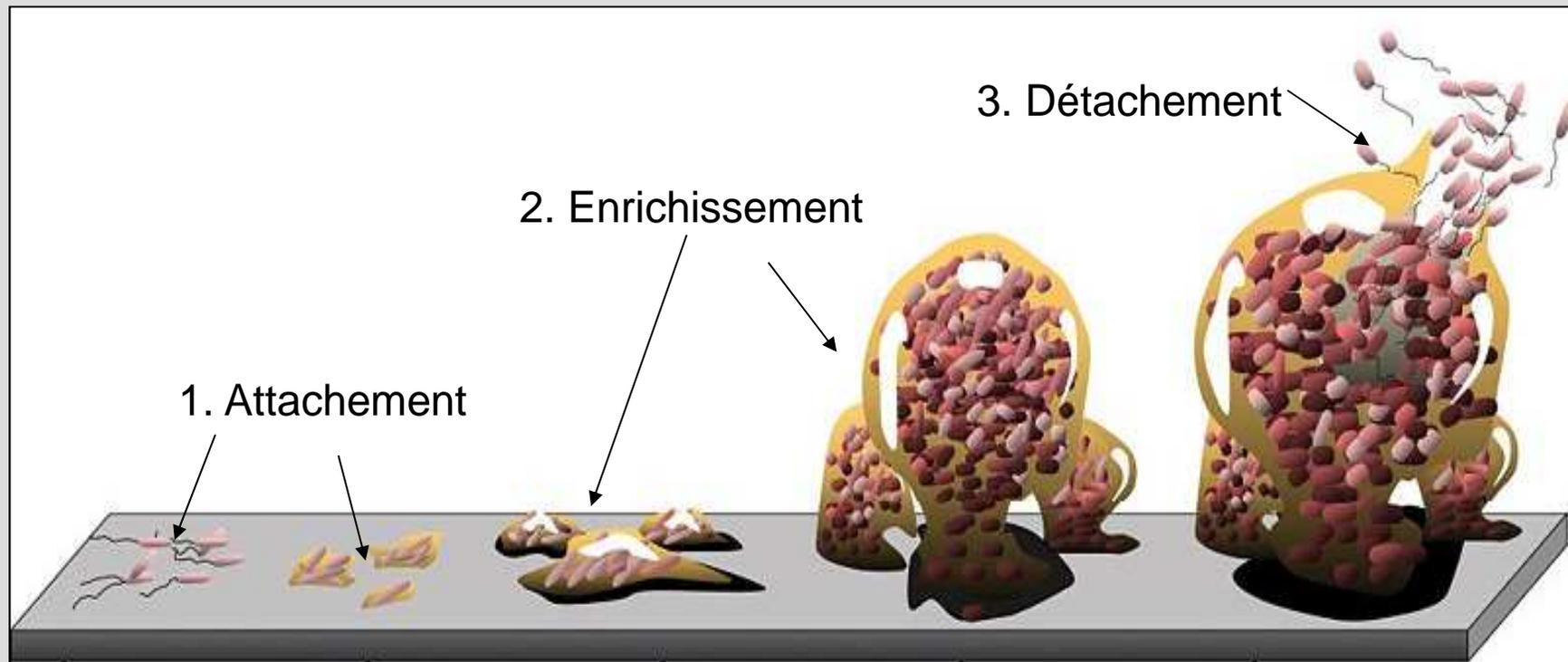
Mesurer l'augmentation du nombre de cellules dans l'eau.

Il n'y a pas de limites légale.

La reviviscence bactérienne est toujours le résultat de la formation de biofilms dans le réseau de distribution

# Biofilms : qu'est-ce qu'un biofilm?

Un biofilm est formé par une matrice, qui est constituée d'EPS (substances polymères extracellulaires) et des micro-organismes qui y sont incorporés. Le biofilm peut se produire à faible densité de population ou avec une croissance de multicouche (> 5 mm).



Source: Looking for Chinks in the Armor of Bacterial Biofilms Monroe D PLoS Biology Vol. 5, No. 11, e307 doi:10.1371/journal.pbio.0050307  
<http://biology.plosjournals.org/perlserv/?request=slideshow&type=figure&doi=10.1371/journal.pbio.0050307&id=89595>

## Biofilms : biofilm et biomasse

Les biofilms représentent une part importante de la biomasse (matière biologique) dans le réseau de distribution:

- **95%** de la biomasse totale *dans le biofilm*
- **5%** de la biomasse totale *dans l'eau*

Pratiquement chaque surface est colonisée par un biofilm.

Les facteurs limitant pour la formation et l'alimentation des biofilms sont les éléments nutritifs facilement disponibles

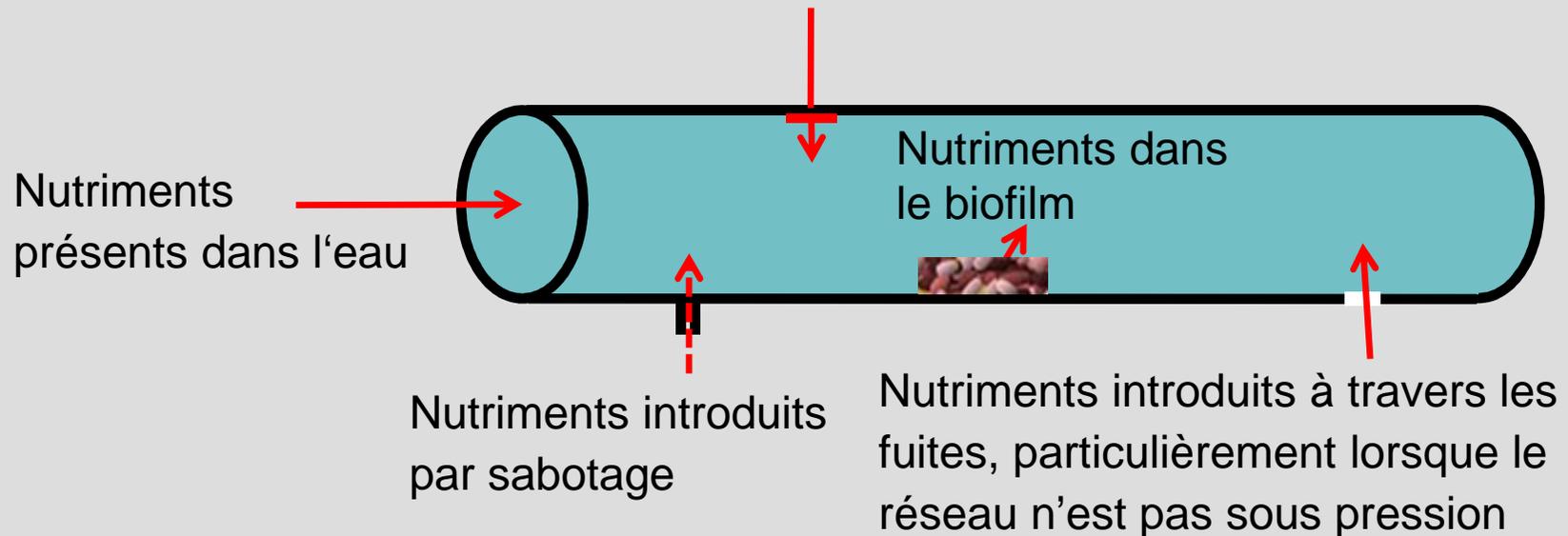
Les biofilms forment un potentiel continu pour la reviviscence bactérienne dans le réseau.

## Sources de nutriments

La quantité de biofilm est fortement tributaire de la disponibilité des éléments nutritifs.

D'où viennent ces éléments?

Migration de nutriments à partir des matériaux en contact avec l'eau potable (conduites plastiques, revêtements de réservoir aussi relinings, raccords, etc.)



## Les fuites

### Indicateurs de l'état du réseau de distribution WVZ

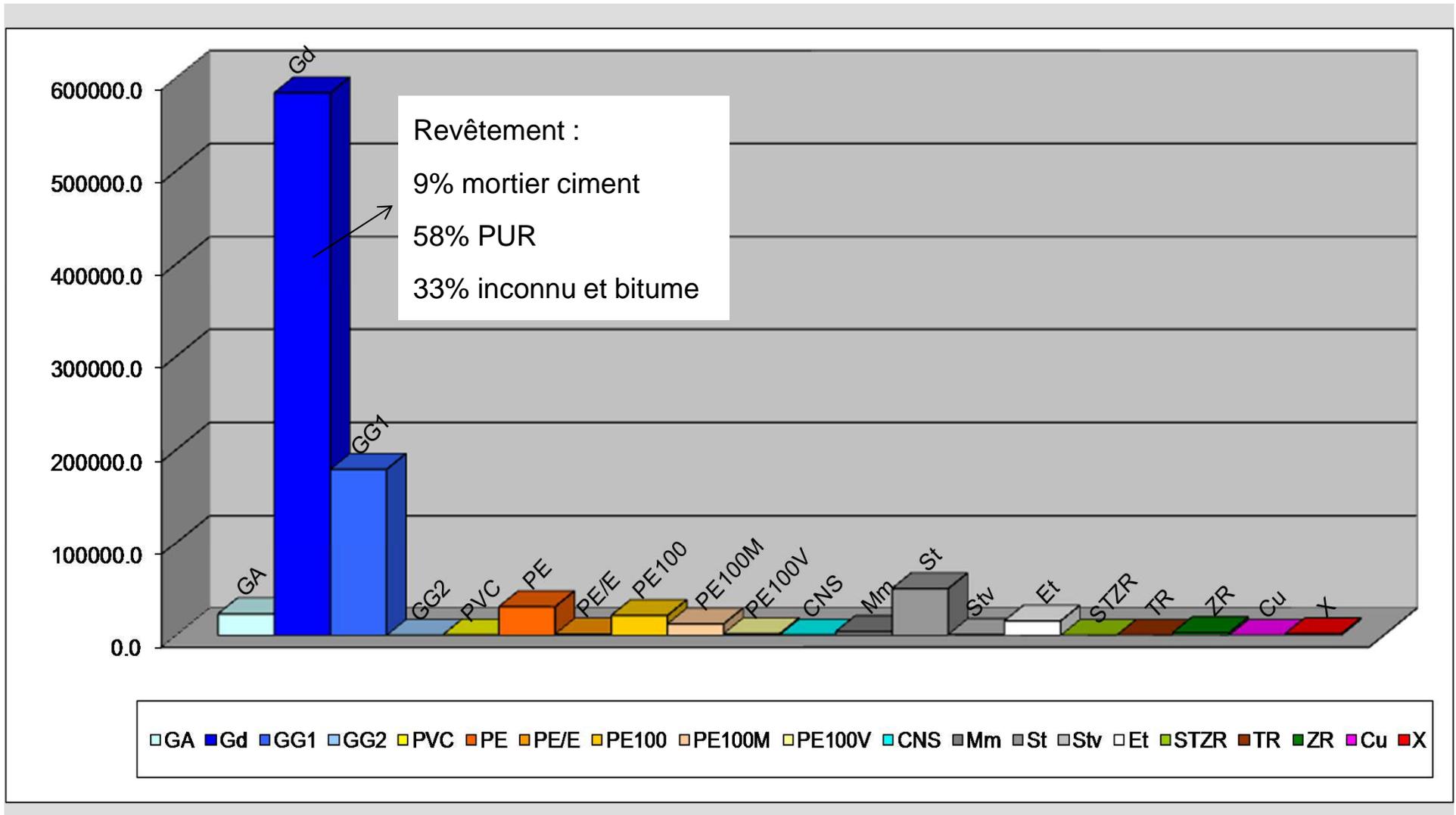
- Taux de perte d'eau dans la distribution: env. 5 %
- Nombre de ruptures de canalisations: env. 500/ans par 1500 km de conduites
- Pression dans le système de distribution: 4-11 bar

### Après 20 ans d'expérience à Zurich:

Les conditions ci-dessus permettent le fonctionnement du réseau de distribution d'eau potable sans protection de réseau ou désinfection finale.

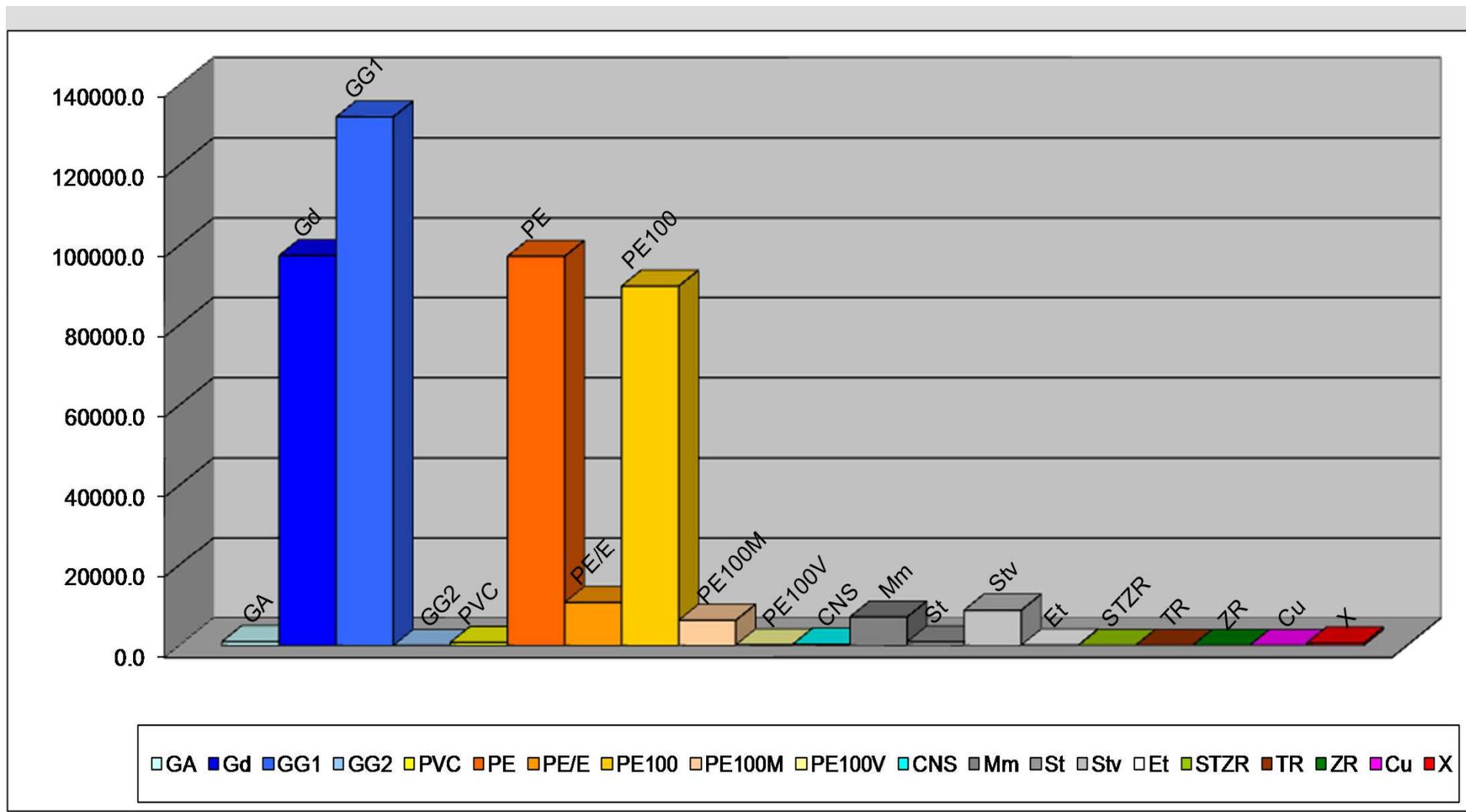
# Matériaux en contact avec l'eau potable

## Réseau principal de Zurich



## Matériaux en contact avec l'eau potable

### Réseau de raccordement de Zurich (maisons, hydrantes, fontaines)



# *Les matériaux en contact avec l'eau potable*

## *Expérience WVZ*

- Pas de problème avec la fonte grise et la fonte ductile (en partie avec couche mortier de ciment et PUR)
- Aucune détérioration bactériologique n'a été constatée chez WVZ dans les conduites en PE (seulement de petits diamètres pour un fort débit).
- Expériences négatives avec des in-liners. Ils ne sont plus utilisés chez WVZ.
- Les matériaux neufs sont plus critiques que les matériaux âgés.  
Les matériaux s'épuisent au fil du temps.

### **Carbone organique assimilable (COA)**

Nutriments utilisables immédiatement dans l'eau. Ils se forment en particulier après l'oxydation de l'eau avec du dioxyde de chlore, de l'ozone ou du chlore

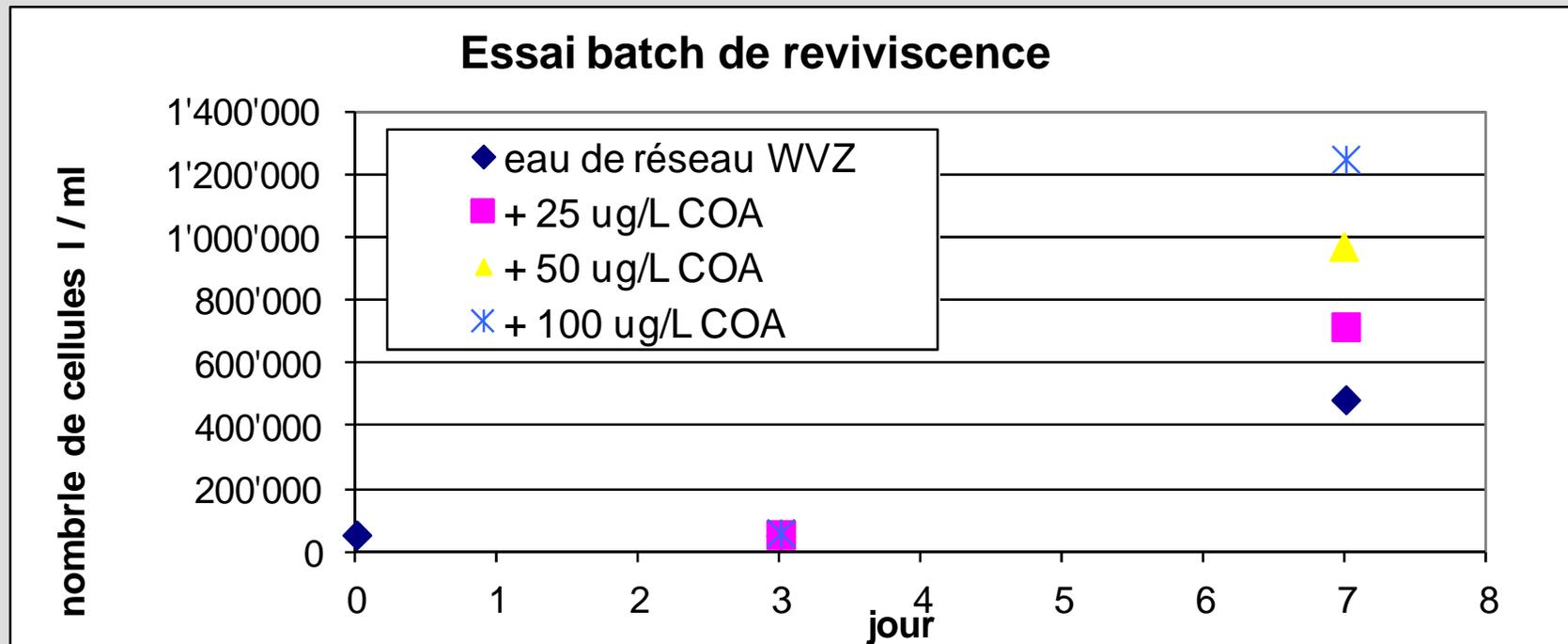
### **Carbone organique biodégradable (CODB)**

COA et carbone utilisable retardé (3 à 7 jours).

Important, par exemple, après la stagnation de l'eau potable dans le réseau de distribution.

# Reviviscence bactérienne après stagnation

L'étendue de la contamination est considérablement influencée par le type et la quantité de substances biodégradables.

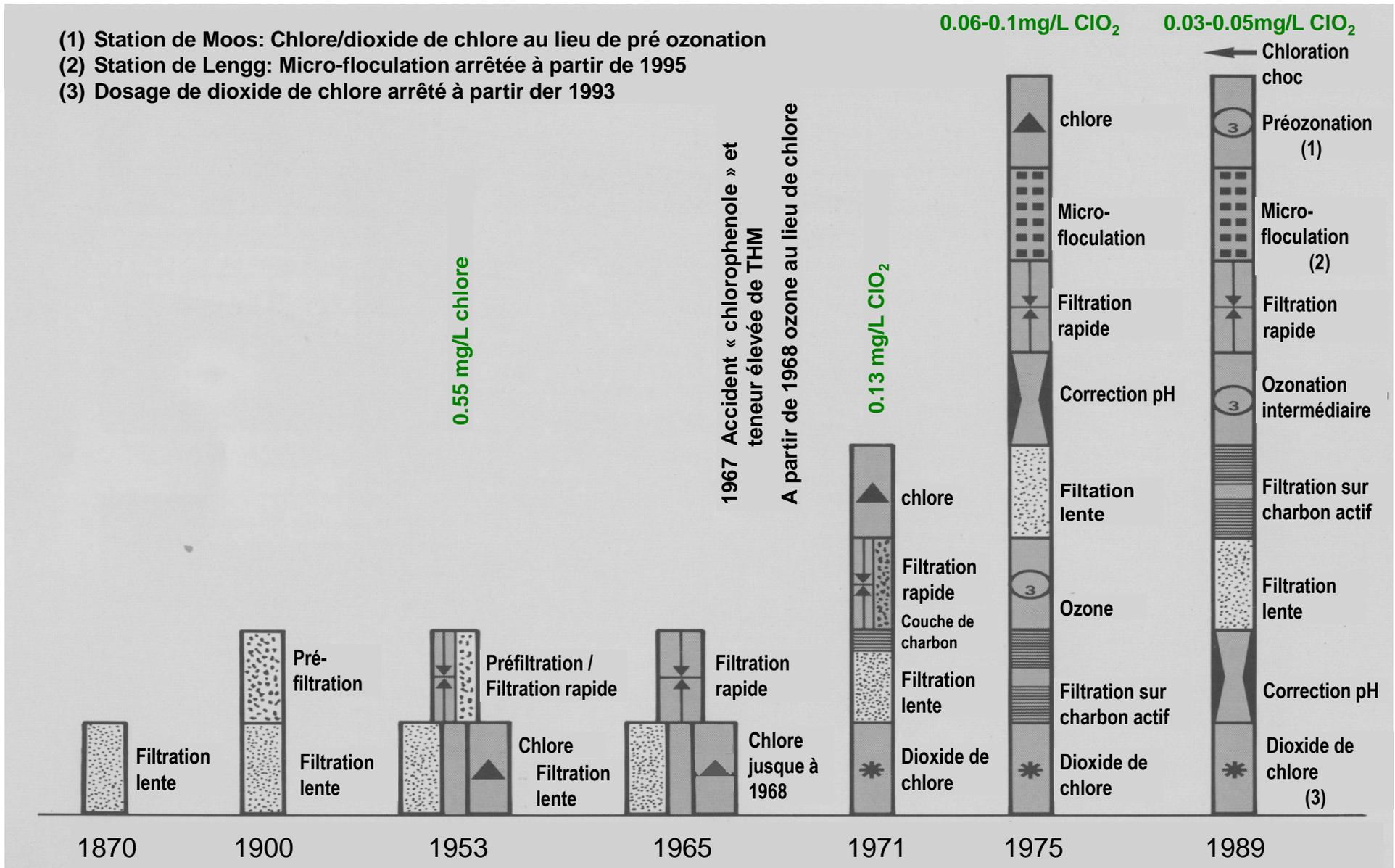


# III. Rétrospective historique

- Evolution du traitement et de la chloration
- Reviviscence bactérienne à Zurich
- HPC dans le réseau

# Evolution du traitement et de la chloration

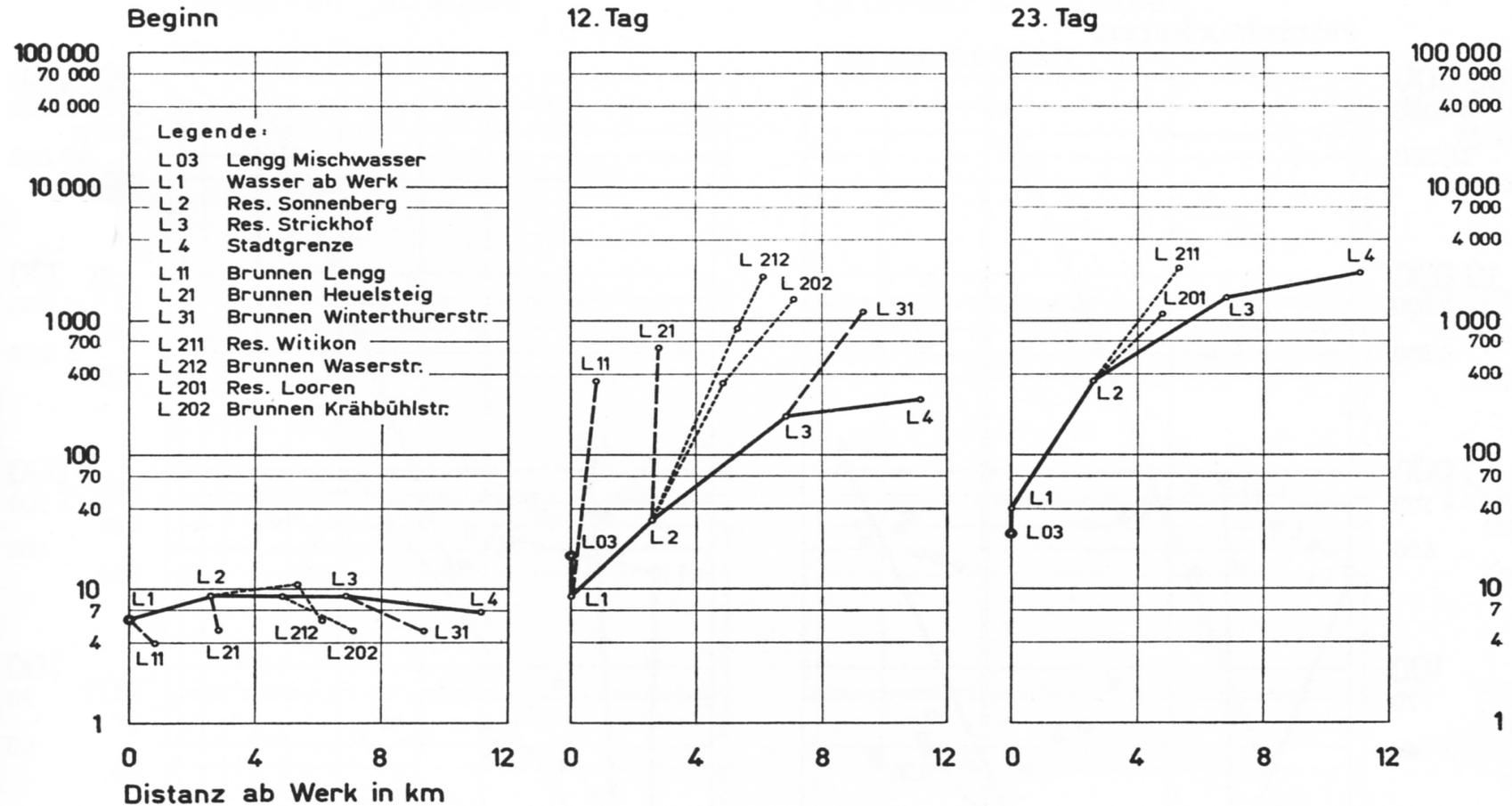
- (1) Station de Moos: Chlore/dioxyde de chlore au lieu de pré ozonation
- (2) Station de Lengg: Micro-floculation arrêtée à partir de 1995
- (3) Dosage de dioxyde de chlore arrêté à partir der 1993



# Reviviscence bactérienne à Zurich 1968 (Dietlicher 1970)

## Entwicklung der Gesamtkeimzahl im Leitungsnetz

### Serie 1



## Reviviscence bactérienne à Zurich en 1968

L'ozone est incorporé comme dernière étape de traitement.

La formation de COA a conduit à une contamination bactérienne importante du réseau de distribution.

Conclusion: citation K. Dietlicher, 1970

Wir hoffen, daß wir in Zukunft noch eine Chance haben, einige dieser Fragen gezielter abklären zu können. Wer werden unser Problem aber vorerst mit Chlor zudecken. Das ist eine praktische und sichere Lösung, und man kann wieder „auf beiden Ohren schlafen“. Das Problem bleibt aber trotzdem bestehen!

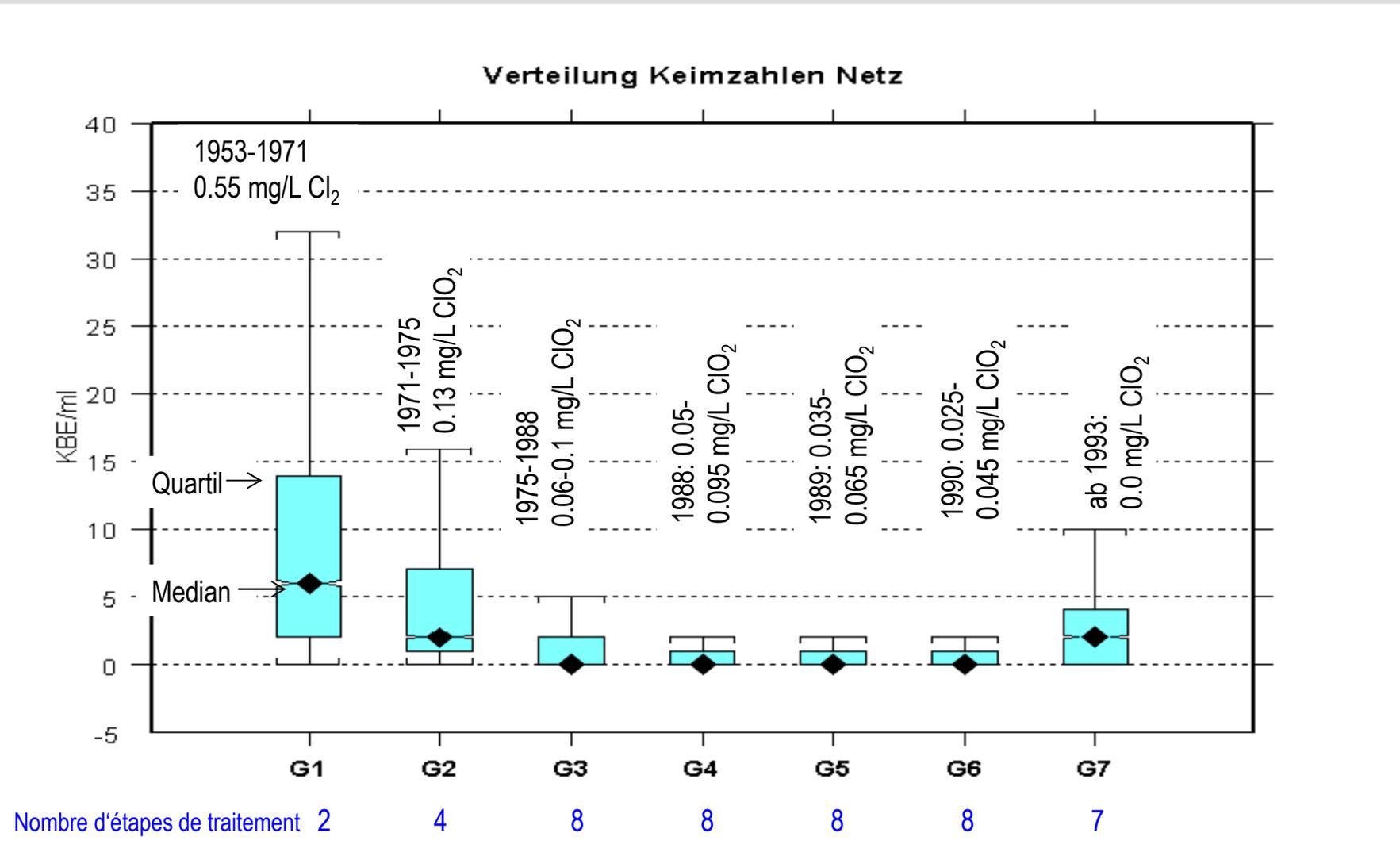
Après une ozonation, une filtration biologique pour dégrader le COA est indispensable (par exemple filtration sur charbon actif).

# Protection du réseau ou désinfection finale de 1953 à nos jours

Année	Désinfectant	Site	Dosage	Groupe
1953	Cl <sub>2</sub>	SWW Moos	0,55 mg/L	G1
1971	ClO <sub>2</sub>	SWW Lengg SWW Moos	0,13 mg/L 0,13 mg/L	G2
1975	ClO <sub>2</sub>	SWW Lengg SWW Moos	0,10 mg/L 0,06 mg/L	G3
1988	ClO <sub>2</sub>	SWW Lengg SWW Moos	0,095 mg/L 0,050 mg/L	G4
1989	ClO <sub>2</sub>	SWW Lengg SWW Moos	0,065 mg/L 0,035 mg/L	G5
1990	ClO <sub>2</sub>	SWW Lengg SWW Moos	0,045 mg/L 0,025 mg/L	G6
1993	ClO <sub>2</sub>	SWW Lengg SWW Moos	0,0 mg/L* 0,0 mg/L	G7
			* avec de courtes exceptions	

# HPC dans le réseau à partir de 1953 à 1999

Klein et Forster. J. Water SRT Aqua 48: 53-581(1999)



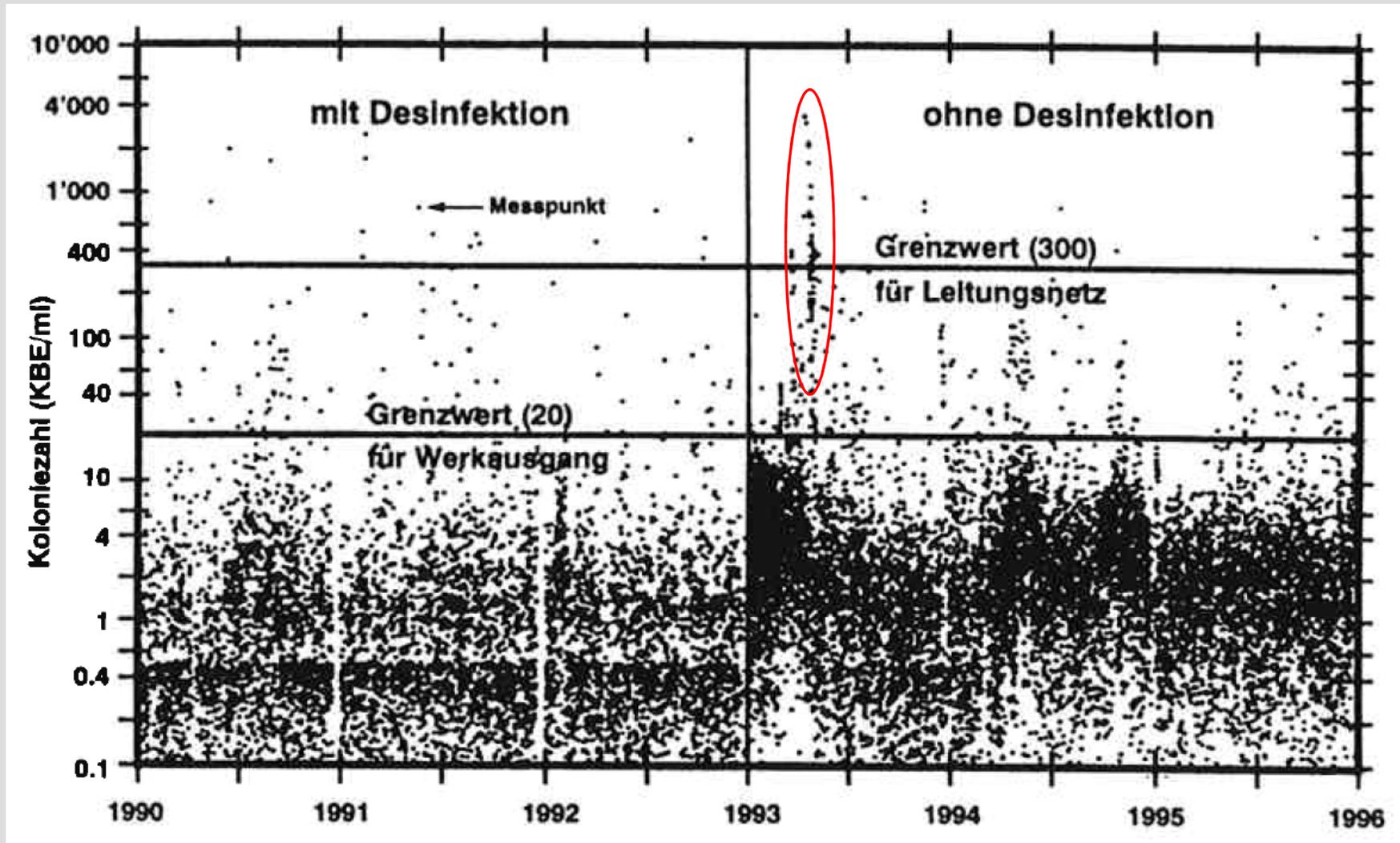
# Variation hebdomadaire des HPC (mediane)

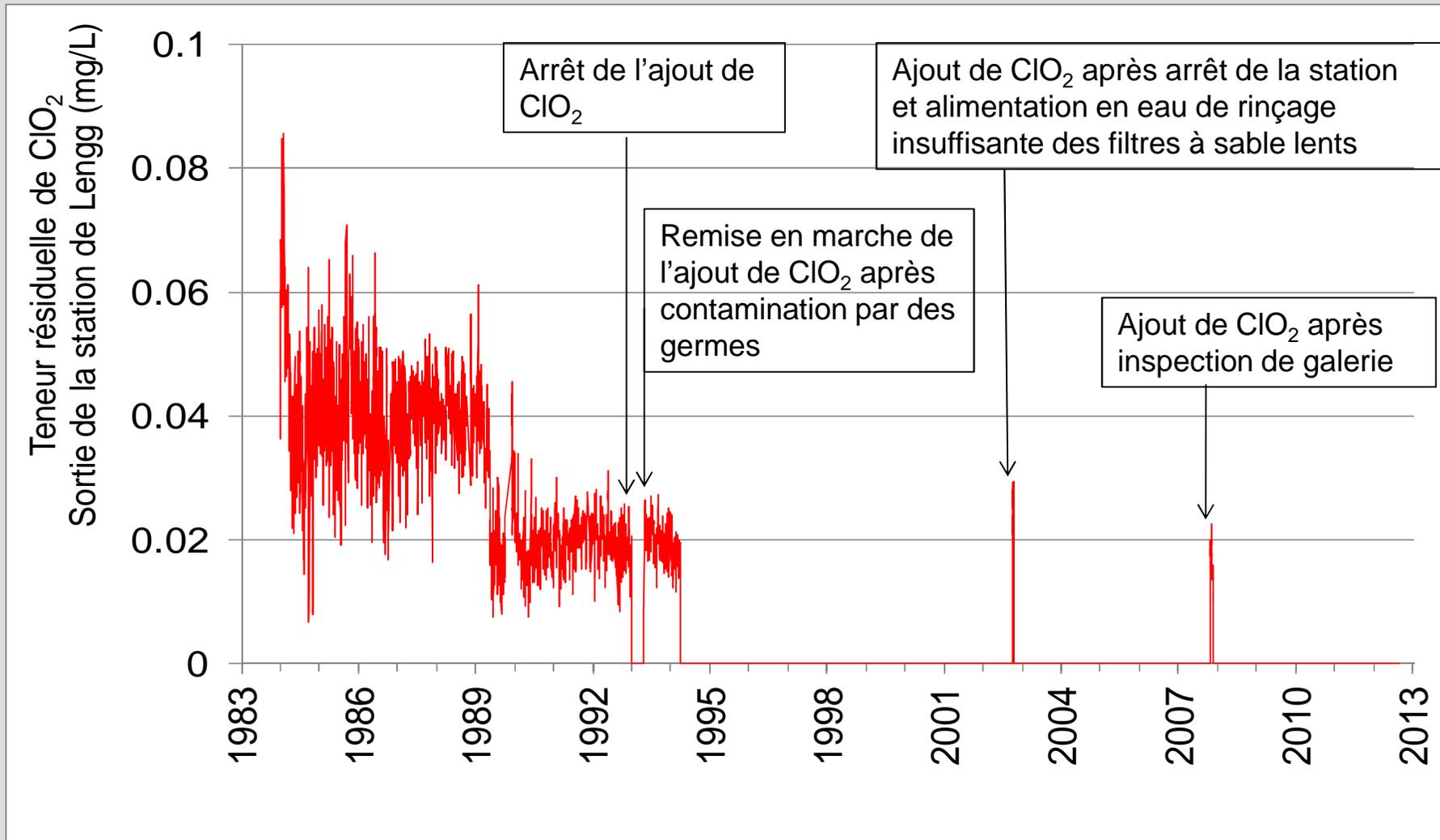
	Sortie de la station (1)		Réseau de distribution (2)	
Protection de réseau	avec	sans	avec	sans
HPC (ufc/ml ; 72h/20°C)	0 - 4	0 - 7	0 - 3	0 - 5

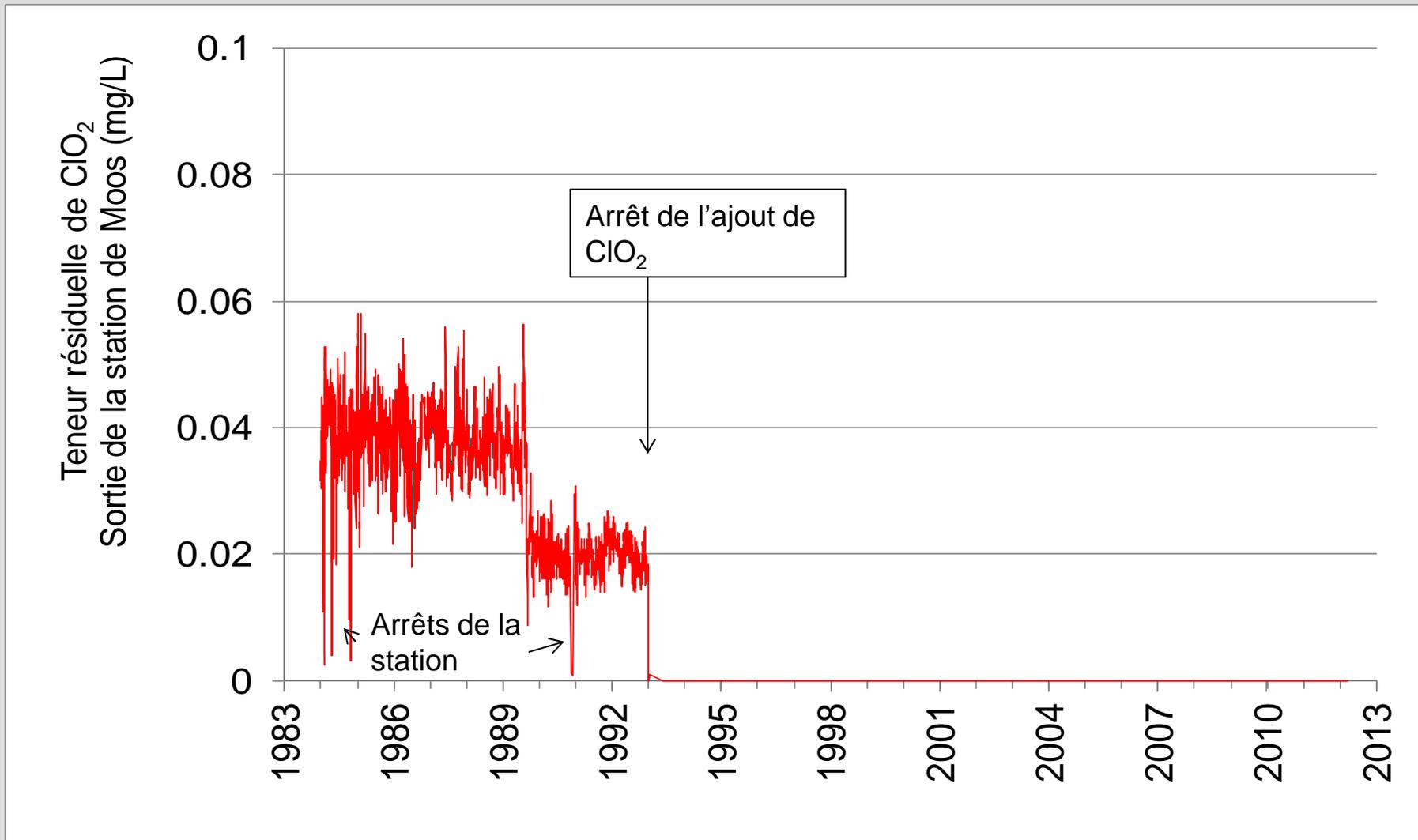
(1) Valeur médiane de 12-28 échantillons par semaine  
(2) Valeur médiane de 66 échantillons par semaine (22 points de mesure dans le réseau)

# HPC dans le réseau randomisé

(valeur+RAN(parmi 0- bis1))+0.5)

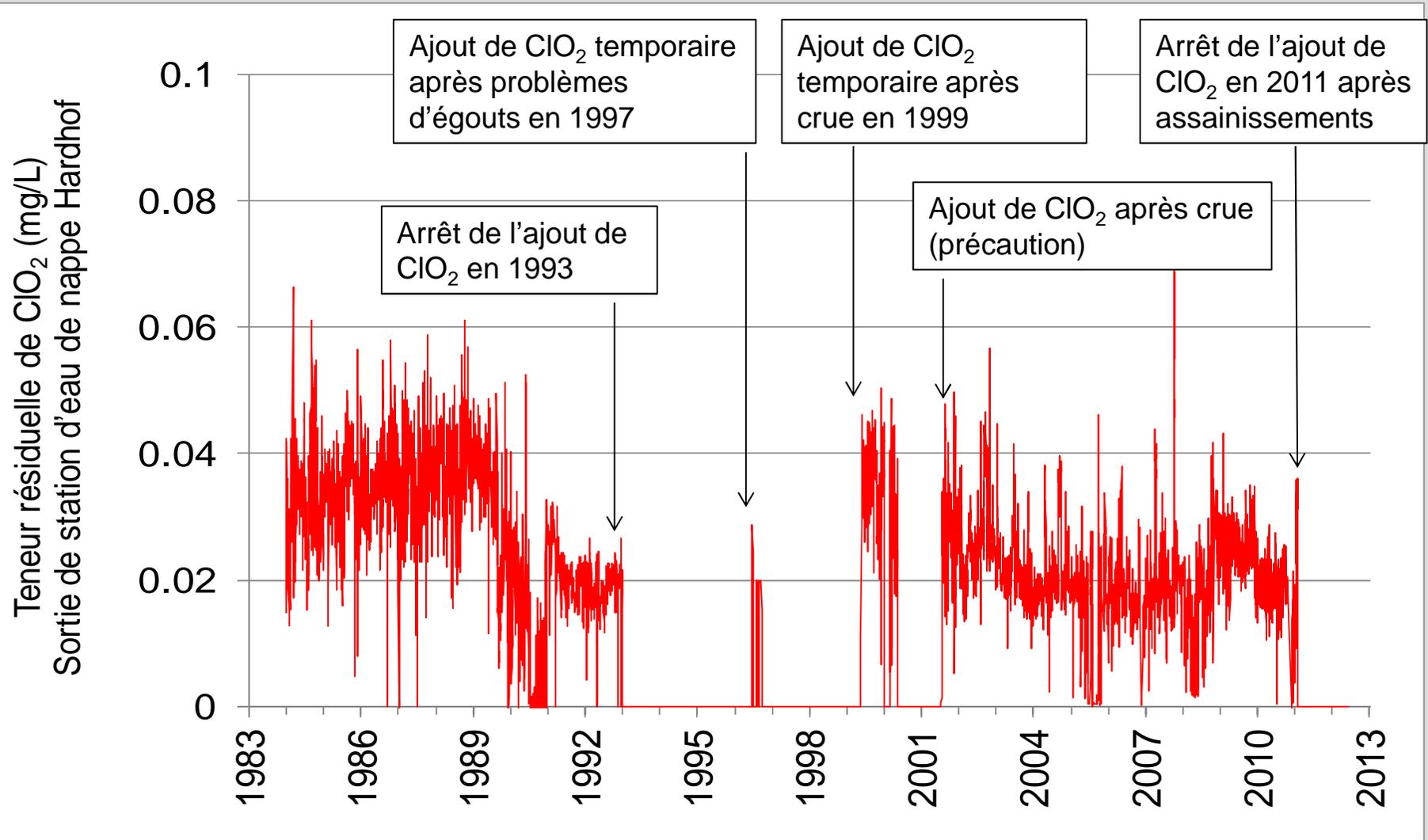






# Rétrospective de la chloration

# Station de Hardhof



# IV. Quantification des biofilms et des nutriments

## Quantification des substances nutritives et de la biomasse par la mesure de:

- COA: carbone organique assimilable
- CODB: carbone organique biodégradable
- TC: nombre total de cellules (méthode MSDA)
- HPC: germes aérobies mésophiles (3d/30°C)
- HPC R2A: nombre de colonies sur R2A Agar, 7d/20°C
- BFR: Biofilm Formation Rate avec mesure de l'ATP (adénosine triphosphate dans la biomasse; pg ATP/cm<sup>2</sup> jour)
- BPP: Biofilm Production Potential (pg ATP/cm<sup>2</sup>)
- DVGW W270: Mesure volumétrique de la croissance de micro-organismes sur les matériaux en contact avec l'eau potable
- BIOMIG/Kötsch EAWAG: Combinaison de test de migration avec mesure COA.

# Réacteur à biofilm

Réacteur à biofilm sur place  
(IWW Mülheim, D)

L'exposition d'éprouvettes standardisées  
sous des conditions environnementales  
contrôlées (température, débit, vitesse  
d'écoulement, taux de nutriments).  
Mesure des HPC, du nombre de cellules  
et de l'ATP sur les éprouvettes.



# Eau potable sans chlore au Pays-Bas

Drink. Water Eng. Sci., 2, 1–14, 2009

[www.drink-water-eng-sci.net/2/1/2009/](http://www.drink-water-eng-sci.net/2/1/2009/)

© Author(s) 2009. This work is distributed under the Creative Commons Attribution 3.0 License.

---

**Drinking Water  
Engineering and Science**

---

## **The Dutch secret: how to provide safe drinking water without chlorine in the Netherlands**

**P. W. M. H. Smeets<sup>1,2</sup>, G. J. Medema<sup>1</sup>, and J. C. van Dijk<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Kiwa Water Research, Groningenhaven 7, 3433 PE Nieuwegein, The Netherlands

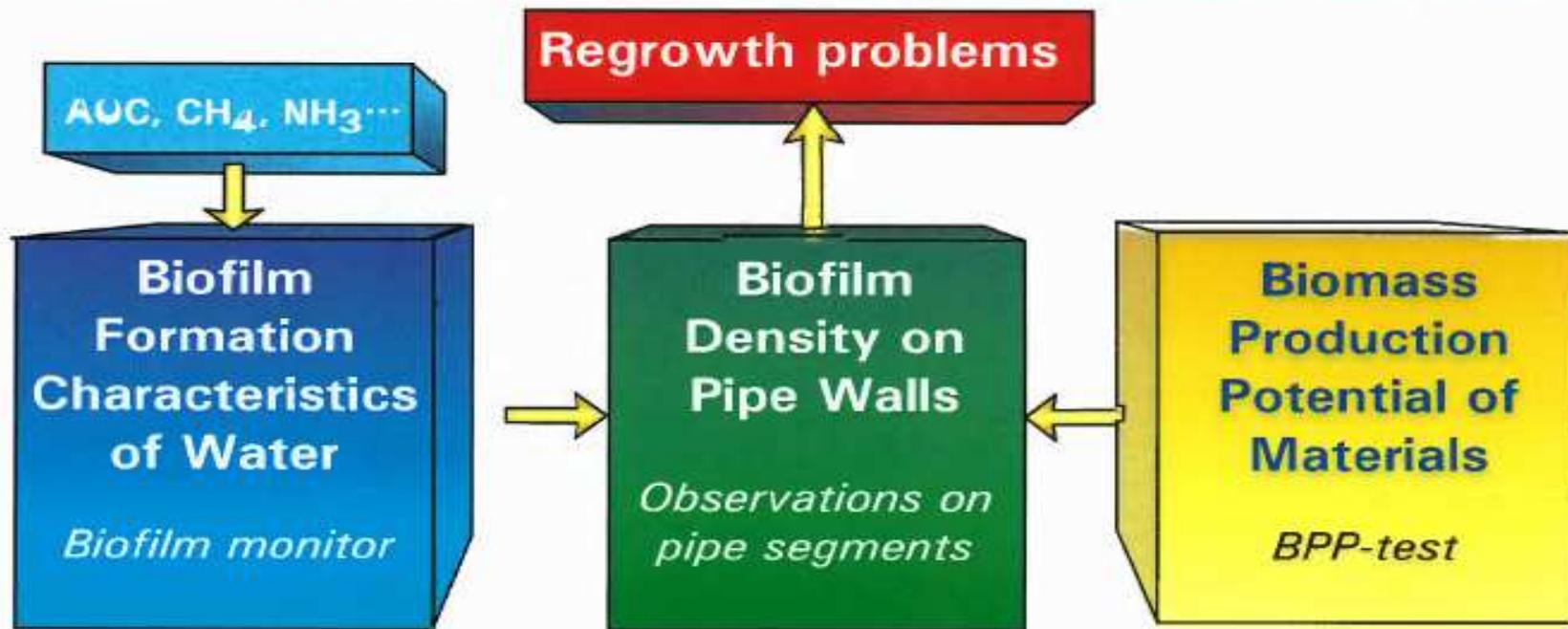
<sup>2</sup>Technical University Delft, P.O. Box 5048, 2600 GA Delft, The Netherlands

Received: 26 August 2008 – Published in Drink. Water Eng. Sci. Discuss.: 27 October 2008

Revised: 11 March 2009 – Accepted: 11 March 2009 – Published: 16 March 2009

# Reviviscence bactérienne (selon van der Kooji)

## The Unified Biofilm Approach for assessing the biological stability of drinking water and materials

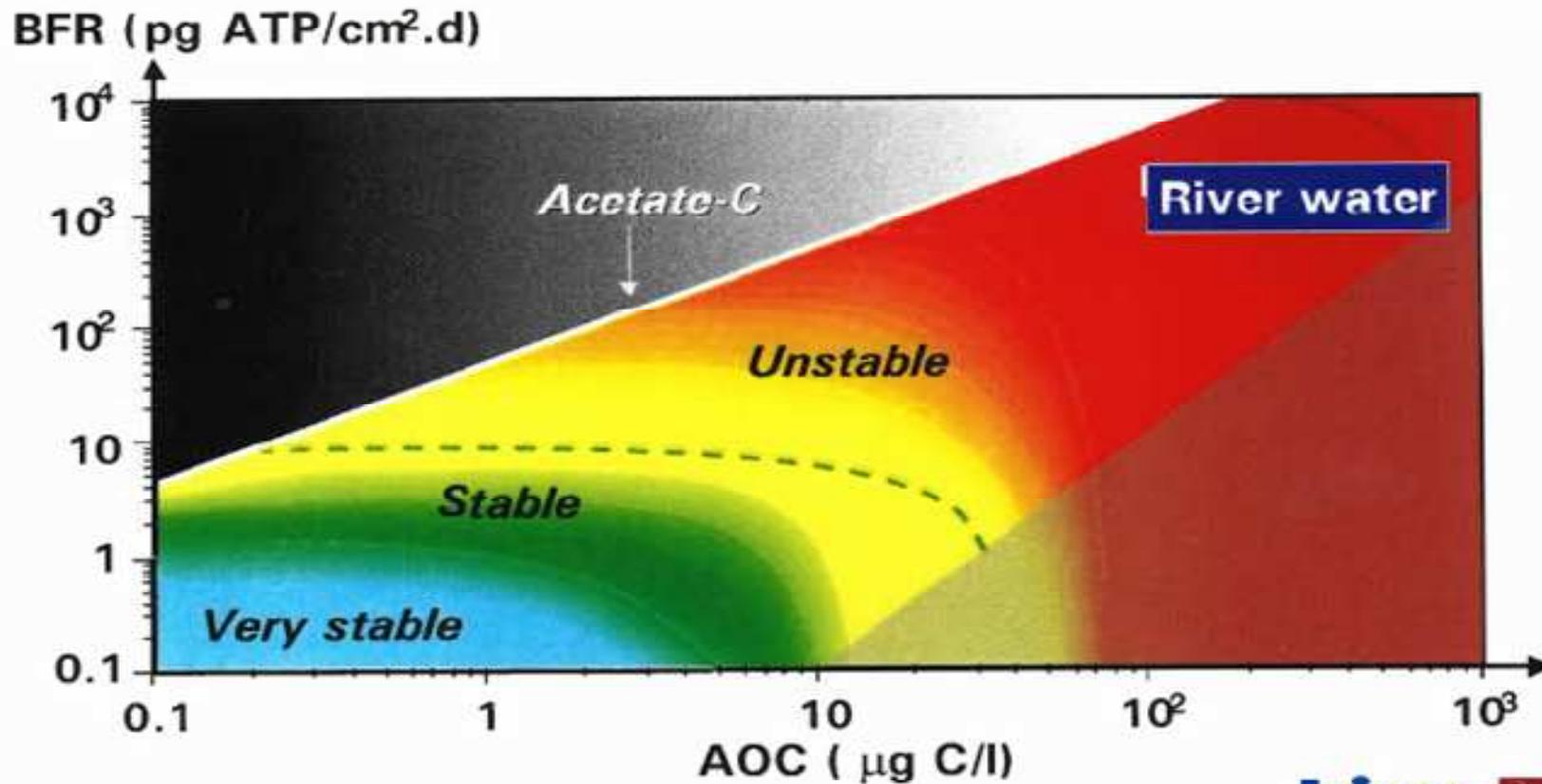


© Kiwa Water Research, D. van der Kooij, 1994/2002

**kiwa** Partner for progress

# Eaux biologiquement stables (selon van der Kooji)

## Biological stability: two dimensions

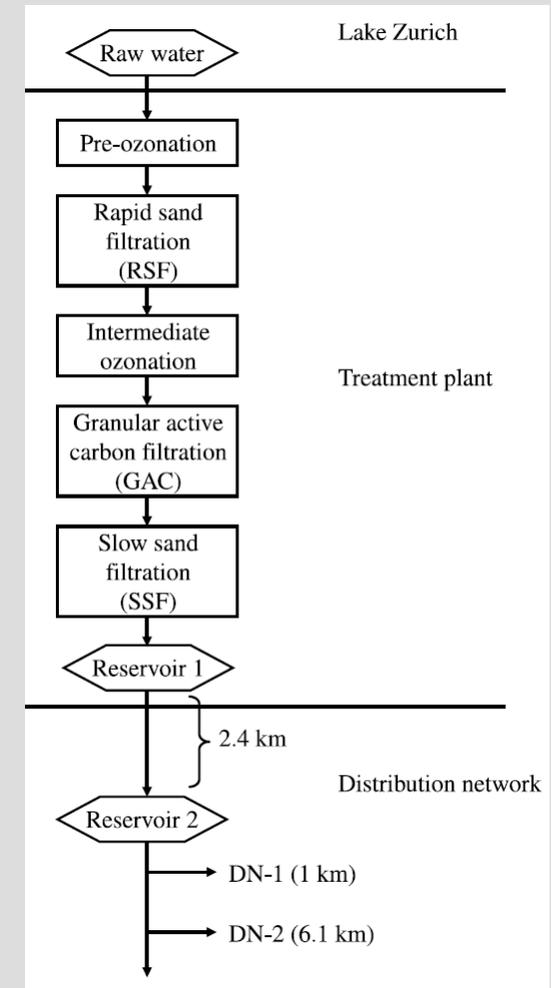
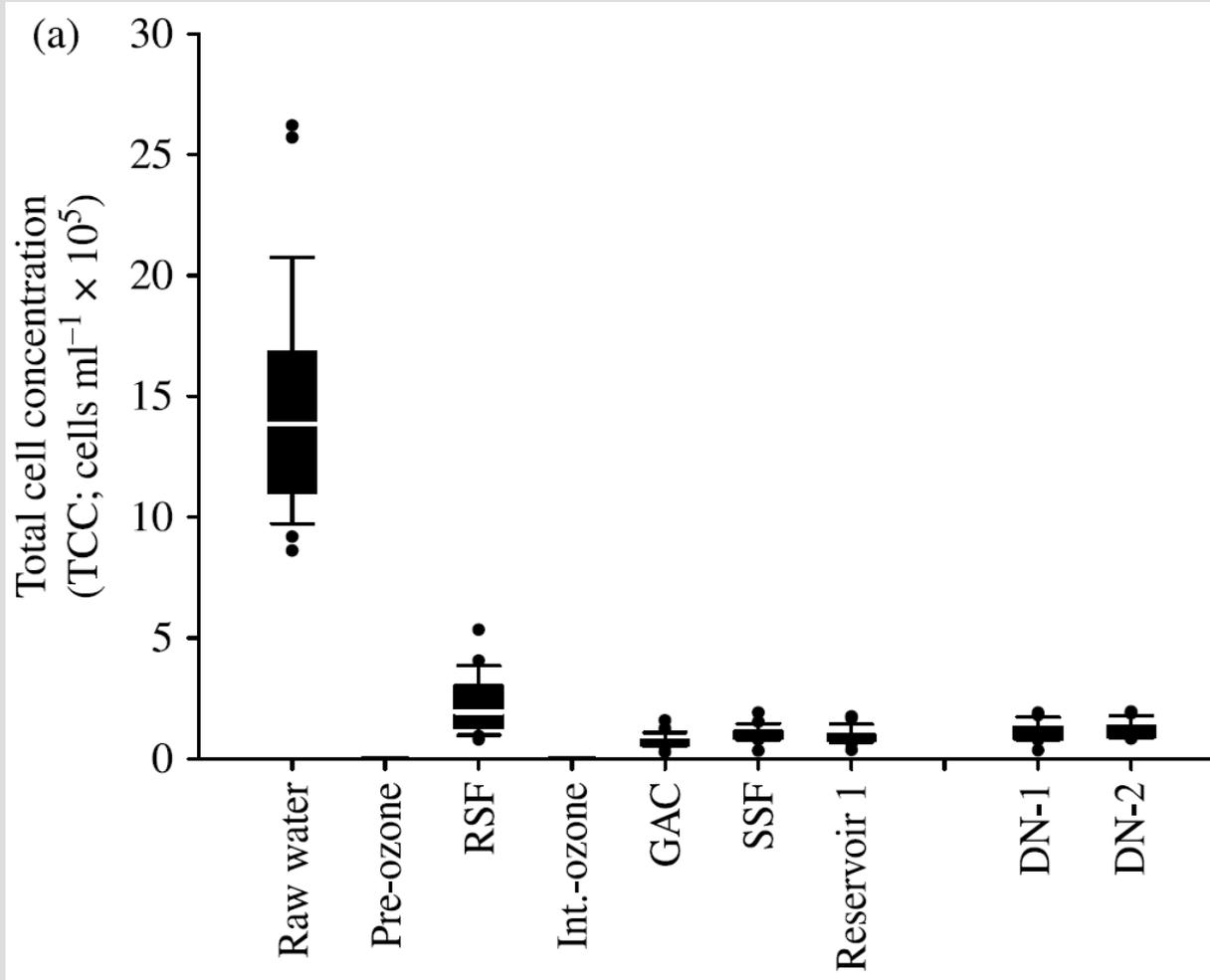


© Kiwa Research & Consultancy, D van der Kooij, 2000

**kiwa**  
Partner for progress

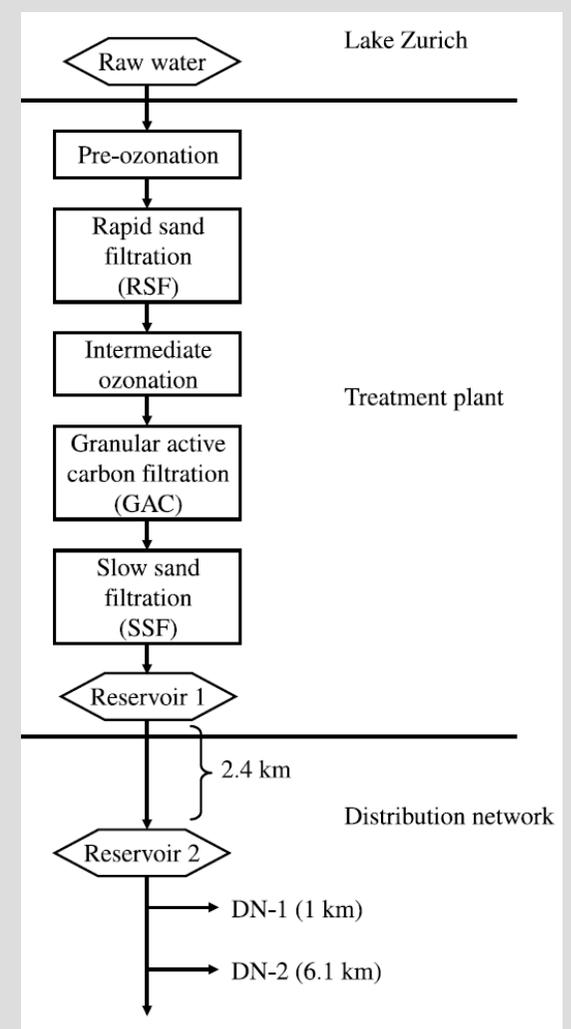
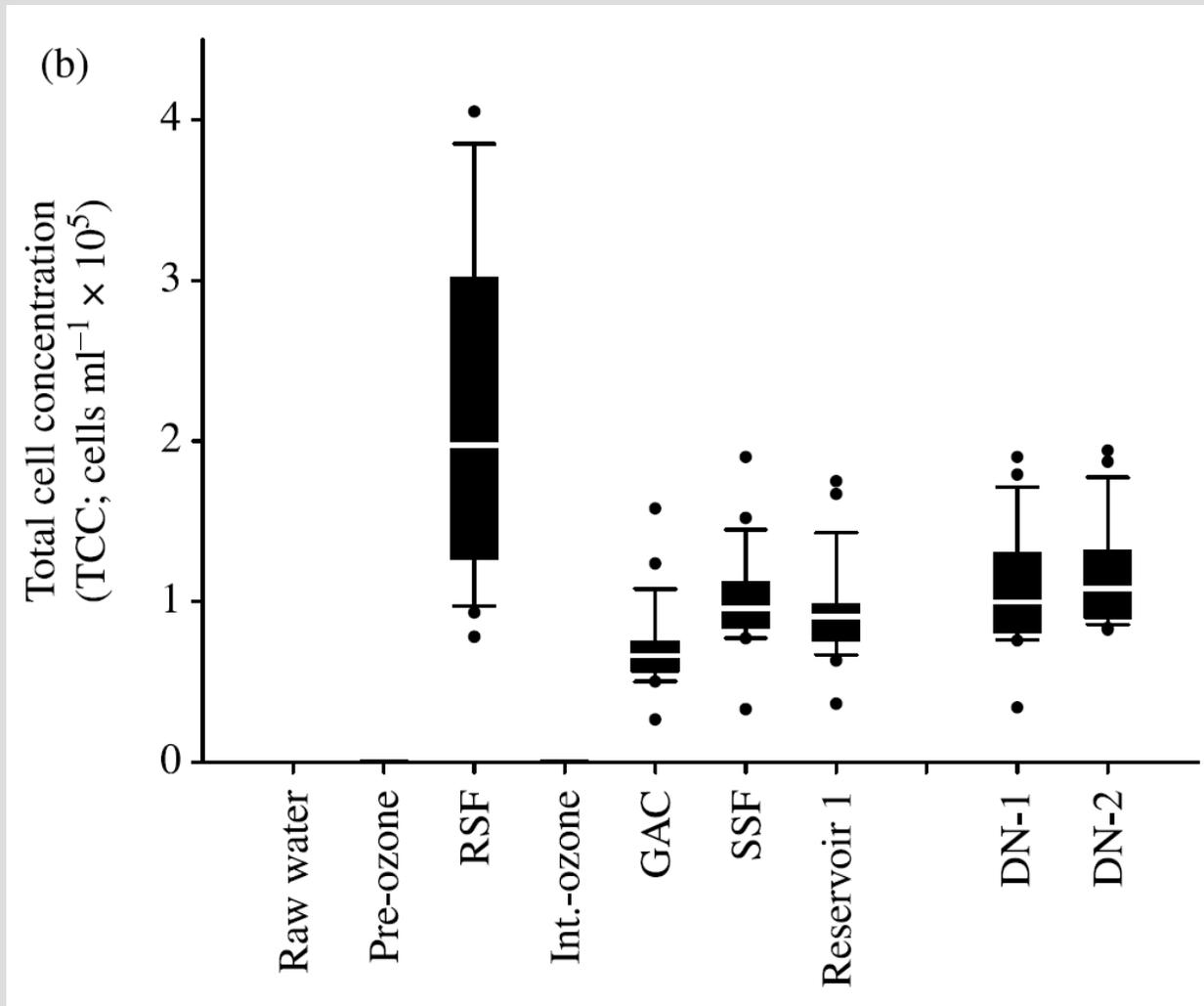
# Nombre de cellules

Filière de Lengg et canalisation à 1 et 6.1 km (Hammes et al. 2010)



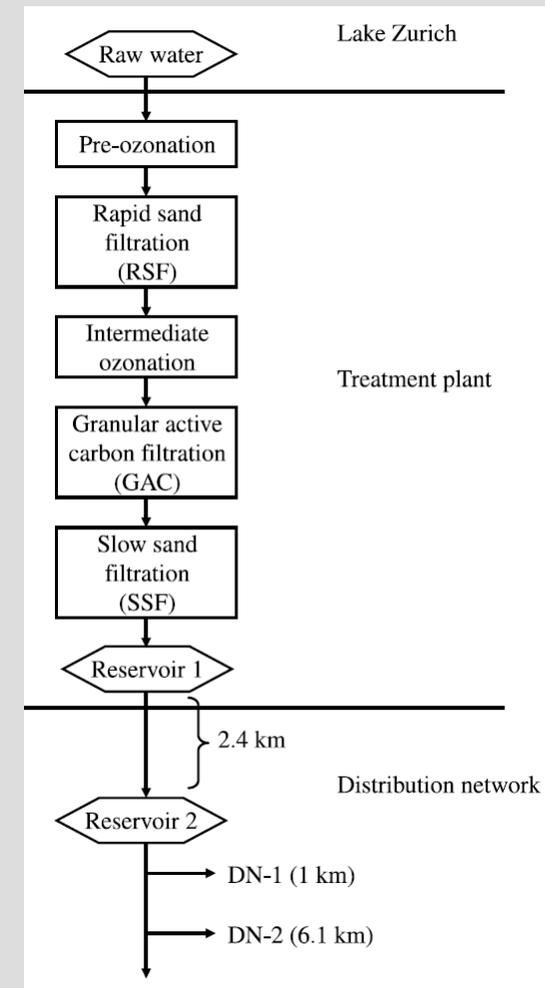
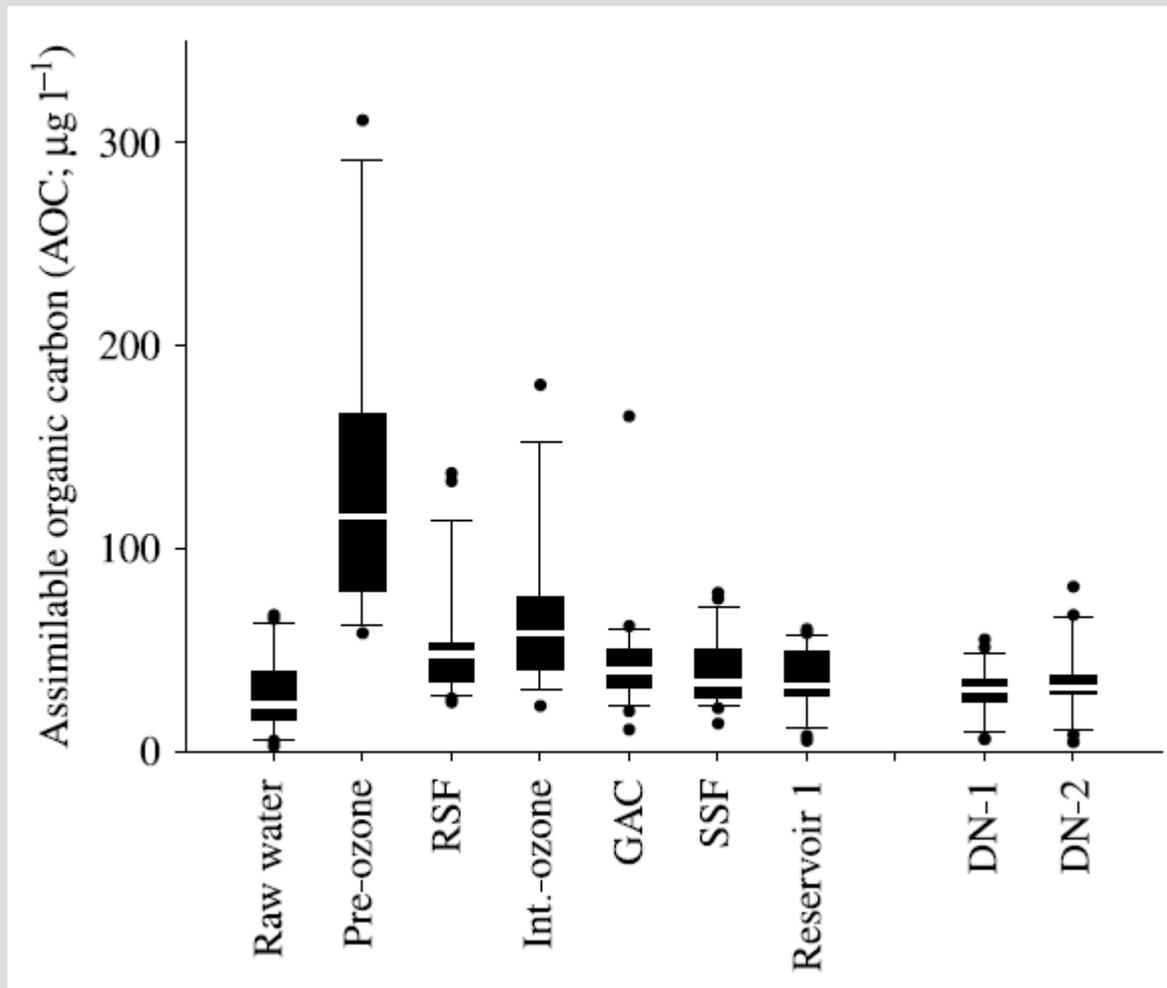
# Nombre de cellules

Filière de Lengg et canalisation à 1 et 6.1 km (Hammes et al. 2010)



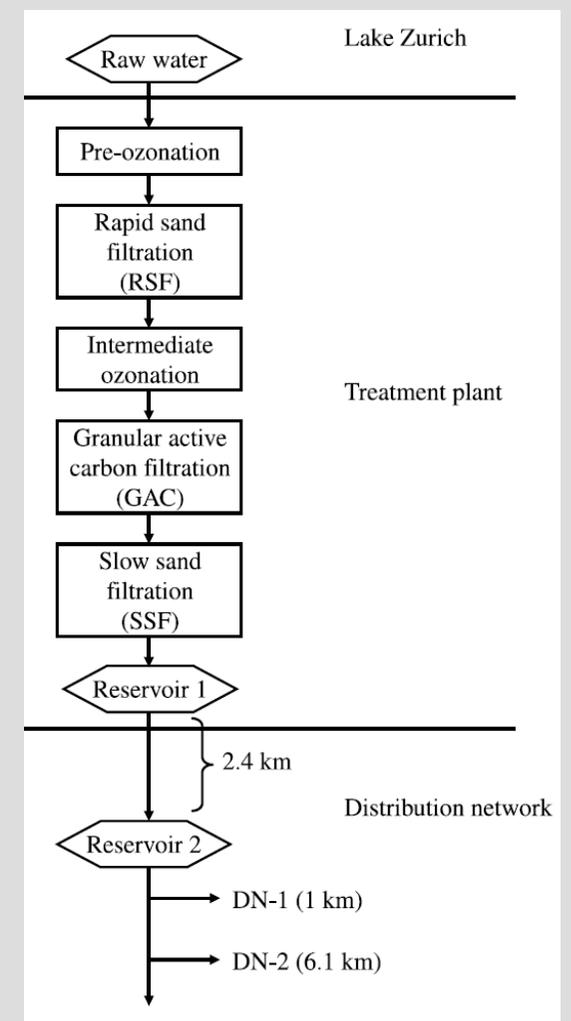
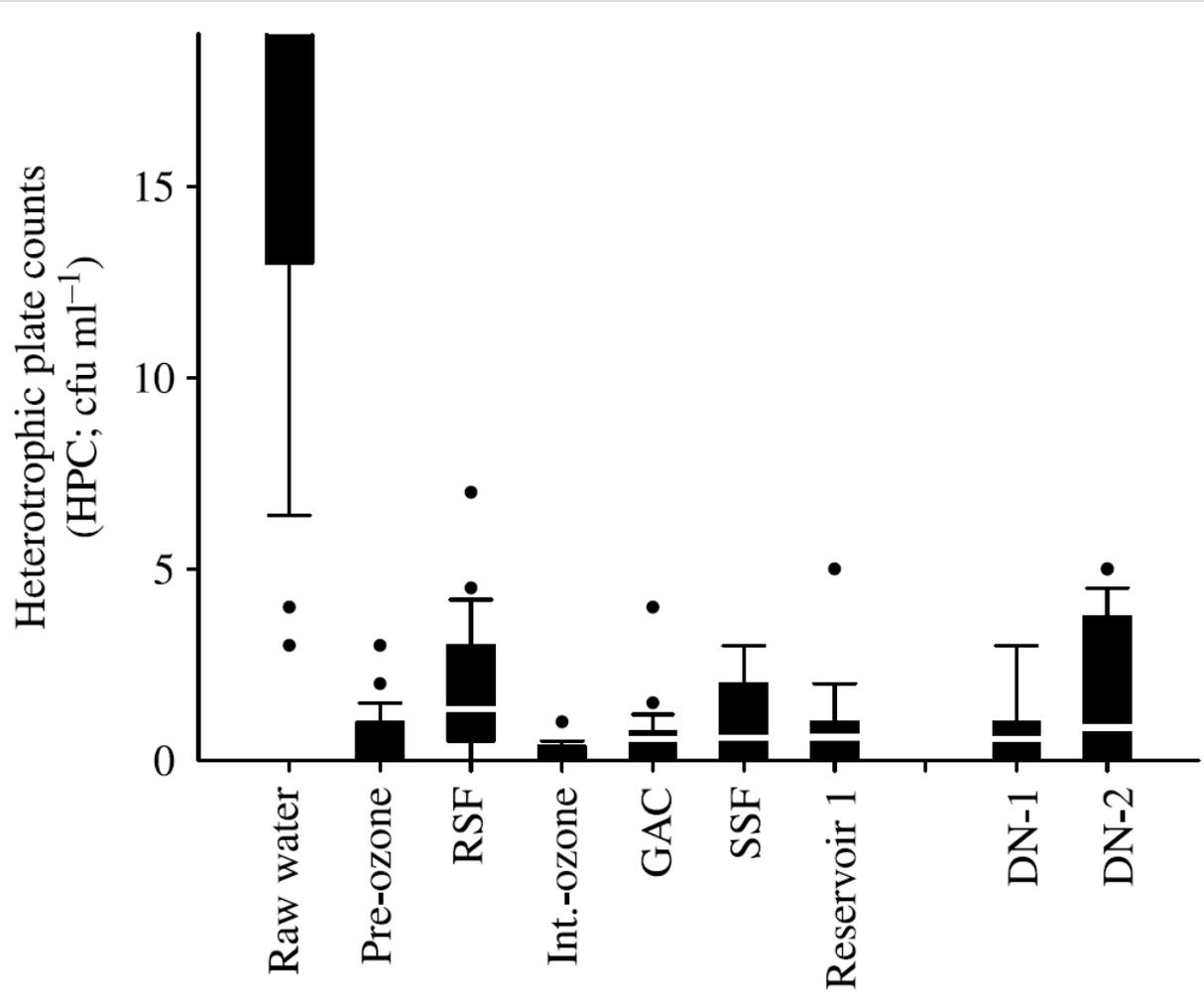
# Carbone Organique Assimilable

Filière de Lengg et canalisation à 1 et 6.1 km (Hammes et al. 2010)

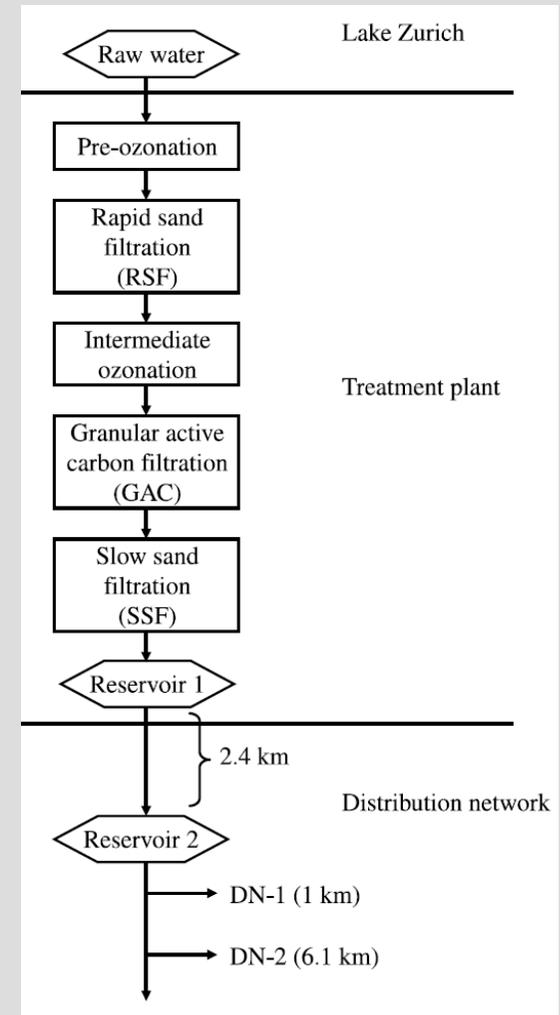
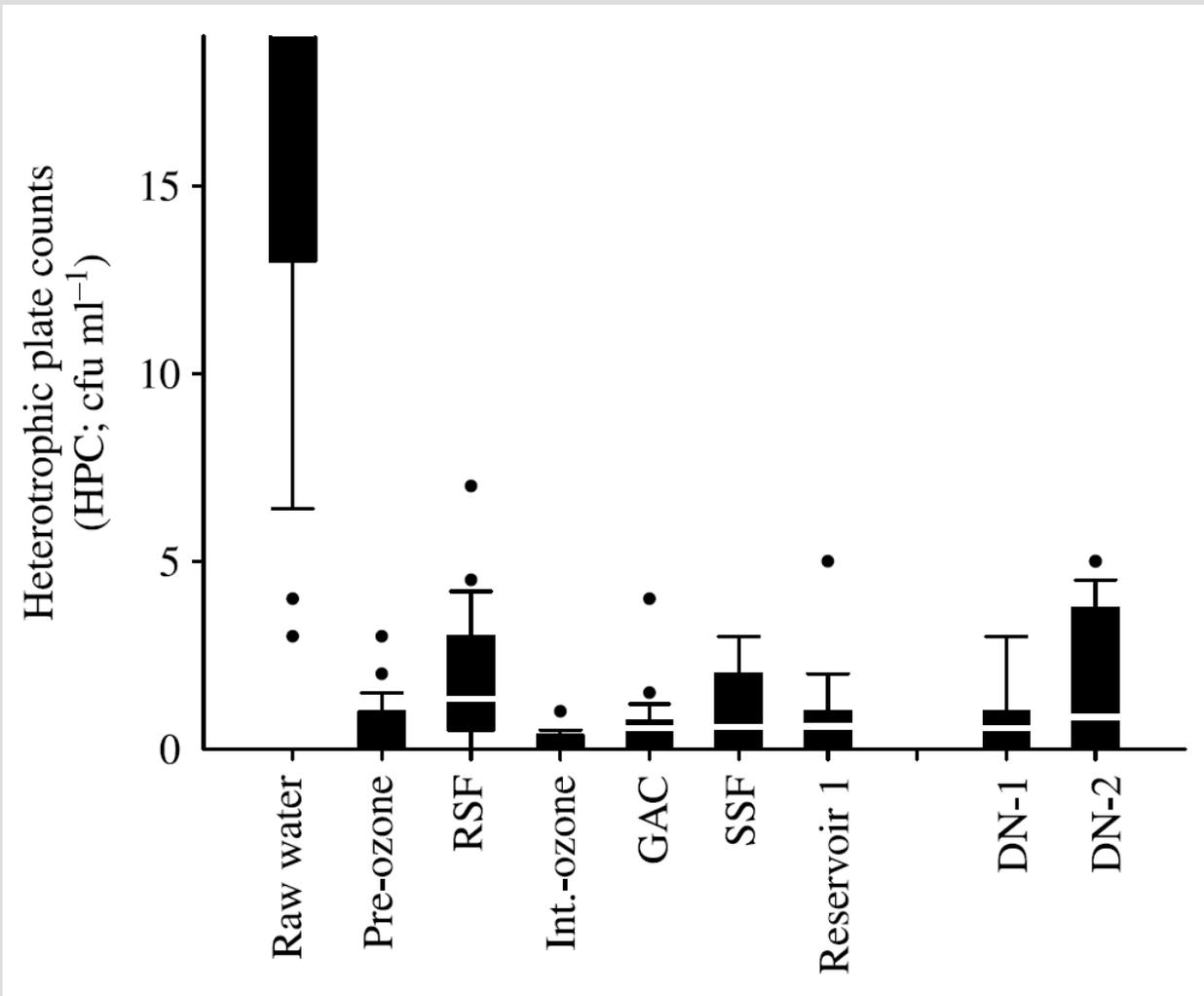


# HPC

Filière de Lengg et canalisation à 1 et 6.1 km (Hammes et al. 2010)



# COD, filière de Lengg et canalisation à 1 et 6.1 km (Hammes et al. 2010)

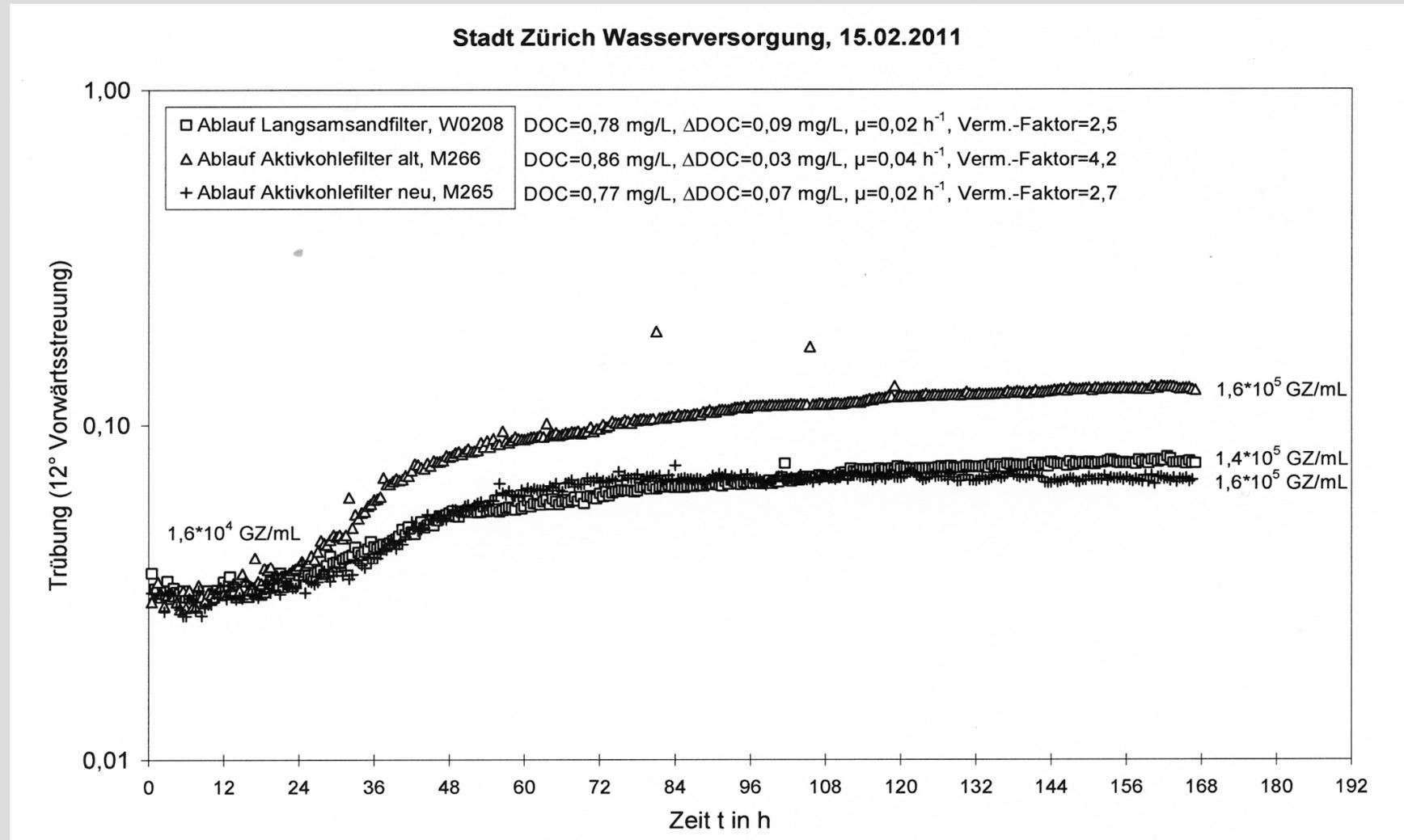


# COA (CODB): Procédé selon Hambsch & Werner; Technologie Zentrum Wasser (TZW), Karlsruhe

Mesurer la croissance des germes par l'augmentation de la turbidité dans l'eau.

1. Stérilisation de l'échantillon par filtration.
2. Addition des substances nutritives anorganiques
3. Inoculation de l'échantillon avec des bactéries autochtones (obtenues par la filtration préalable)
4. Mesurer la turbidité
5. Calcul du COA
6. Contrôle positif et négatif

# COA/CODB (procédé selon Hambsch)



# V. Conclusions et recommandations (1)

L'ajout de chlore ou de dioxyde de chlore peut être supprimé si l'on respecte les conditions suivantes:

- Tous les micro-organismes pathogènes doivent être inactivés ou retenus par le traitement (traitement multi-barrière de l'eau de surface ou procédé d'infiltration dans le terrain).
- L'apport de nutriments dans l'eau doit être faible  
 $COA < 50\mu\text{g/l}$  d'équivalents d'acétate (méthode SLMB).
- Les matériaux des conduites ne doivent émettre que peu de substances nutritives
- La contamination du réseau de distribution par l'extérieur doit être empêchée  
maintien de la pression, pas de sous pression.

## V. Conclusions et recommandations (2)

- En cas de rupture de conduites, il faut travailler de manière très propre et rincer les tuyaux avant utilisation (nouveaux tubes scellés avec couvercle).
- La dose de chlore doit être réduite progressivement, avec une surveillance intense des HPC.
- Le monitoring en ligne et la surveillance en laboratoire doivent être élargis de sorte que les défauts soient détectés suffisamment tôt (turbidité, HPC, particules, intégrité de la membrane, ozone résiduel, absorbance UV, etc.)
- Suivis réguliers des zones de stagnation, p.ex. hydrants, bras morts, zones en matériaux critiques (in-liners, également relinings, revêtements de réservoir, etc.)

# VI. Bibliographie

- Smeets, P. W. N. H. et al., The Dutch secret: how to provide safe drinking water without chlorine in the Netherlands, Drink. Wat. Eng. Sci., 2, 1-14 (2009) et littérature citée .
- Klein, H.P. et al., Network operation without safety chlorination in Zürich, J. Water SRT – Aqua, 48: 53-58 (1999).
- Gauthier, F., Biofilms et qualité biologique de l'eau potable au cours de sa distribution, Mémoire de DESS , Université de Picardie – Amiens, (2002) et littérature citée . <http://www.u-picardie.fr/beauchamp/duer/biofilms.pdf>.
- Van der Kooij, D. et al., Distributing Drinking Water without disinfectant, highest achievement or height of folly, J Water SRT - Aqua **48** 31-37 (1999).
- Sosbey, M. D., Inactivation of Health-Related microorganisms in water by disinfection processes, Wat. Sci. Technol. **21**:179-195 (1989).
- Dietlicher, K., Wiederverkeimung ozonisierter Schnellfiltrate im Rohrnetz, Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene, Heft Nr. 31 (Stuttgart 1970).
- Hammes, F. et al., Assessing biological stability of drinking water without disinfectant residuals in a full-scale water supply system, J. Wat. SRT – Aqua **59**:31-40 (2010).



Merci pour votre  
attention



**Stadt Zürich**  
Wasserversorgung

Distribution de l'eau potable sans chloration à Zurich  
Hans-Peter Kaiser und Oliver Köster

7 Février 2013, Page 50