Eawag:
Swiss Federal Institute of Aquatic
Science and Technology

Filtre à CAG à la STEP de Furt (Bülach) et la STEP de Glarnerland (AVG)

Christa S. McArdell (christa.mcardell@eawag.ch)
Marc Böhler, Antonio Hernandez, Adriano Joss
Hansruedi Siegrist, Julian Fleiner, Christelle Oltramare

Départements Chimie de l’environnement et Technologie des procédés

Cours d’approfondissement PEAK-VSA V51/ 21, 22/23 juin 2021

Contexte et problématique

Le CAG est une alternative intéressante à l'ozonation ou au CAP dans le traitement des eaux usées

- Avantages:
  - peut être réactivé et réutilisé
  - a une plus faible empreinte CO_2 que le CAP
  - nécessite moins d'entretien et de maintenance
  - peut (évent.) être rempli dans des lits de filtre à sable existants
  - rétention supplémentaire de matières solides (filtration)
  - dégradation biologique supplémentaire
- Inconvénients:
  - une plus grande quantité de charbon par m^3 d'eaux usées qu'avec le CAP (mg CA/l) est généralement utilisé
  - questions techniques ouvertes (dimensionnement, temps pluvieux)

Questions:

- Le CAG est-il compétitif? Sous quelles conditions?
- De combien l'âge du CAG peut-il être prolongé avec une pré-ozonation?

Objectif d'épuration en Suisse

eawag aquatic research

80% d'élimination en moyenne des 12 substances de référence

Substance	
Amisulpride	Sélection d'au moins 4 substances
Carbamazépine	
Citalopram	
Clarithromycine	
Diclofénac	
Hydrochlorothiazide	
Métoprolol	
Venlafaxine	
Benzotriazole	Sélection d'au moins 2 substances
Méthylbenzotriazole	
Candésartan	
Irbésartan	

Nombre de prélèvements et dépassements
(selon l'ordonnance sur la protection des eaux OEaux 814.201):
Surveillance par les cantons

Taille des installations	Nombre de prélèvements 1re année	Nombre de prélèvements À partir de la 2e année (si l'année précédente est conforme)
2'000 EH	8 (*2)	4 (*1)
10'000 EH	12 (*2)	6 (*1)
50'000 EH	24 (*3)	12 (*2)

*Dépassements admissibles

Götz et al., AQUA&GAS (2015), 2, 34-40

Lieux d'étude et objectifs

CAG et O_3/CAG

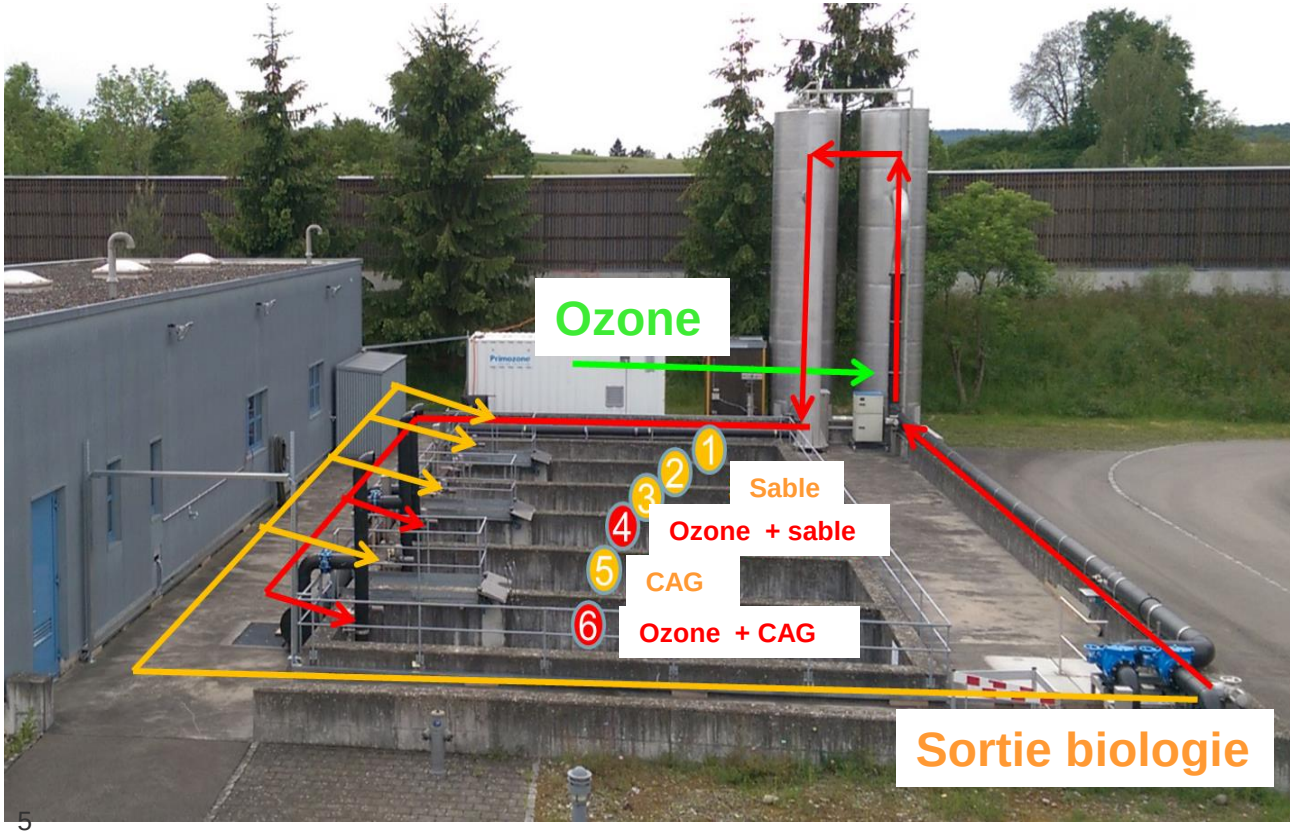
STEP de Furt/Bülach

- Eaux usées principalement communales
- CAG: influence du temps de contact
- Durée de vie avec pré-ozonation
- Comparaisons avec le filtre à sable
- À grande échelle

STEP de Glarnerland

- Eaux usées avec apports industriels
- CAG: diff. produits, 2 temps de contact
- Comparaison avec/sans pré-ozonation
- Influence du temps de pluie
- Échelle pilote

Installation à la STEP de Bülach



Habitants: 33’000
Équivalents-habitants: 45’000 EH
12´000 m^3/d_{TS}

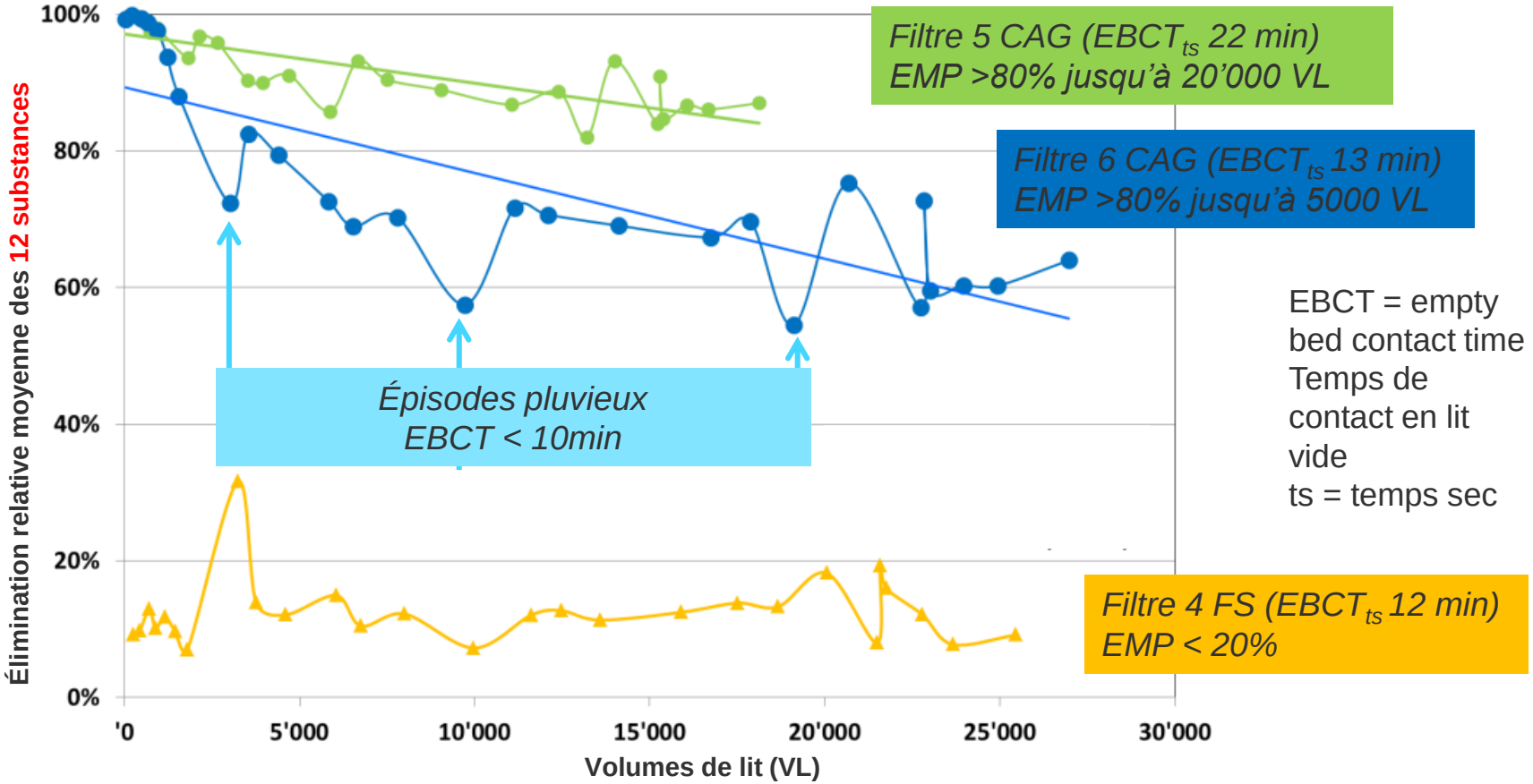
Peu d’industries

Traitement biologique conventionnel
COD rel. stable 5.4 mg/l par temps sec (TS)

CAG 5/6: Aquasorb 5010
1.18-2.36 mm
8x16 mesh

Phase 1a/1b: sans ozone
Phase 2: avec ozone
(CAG 6 et FS 4)

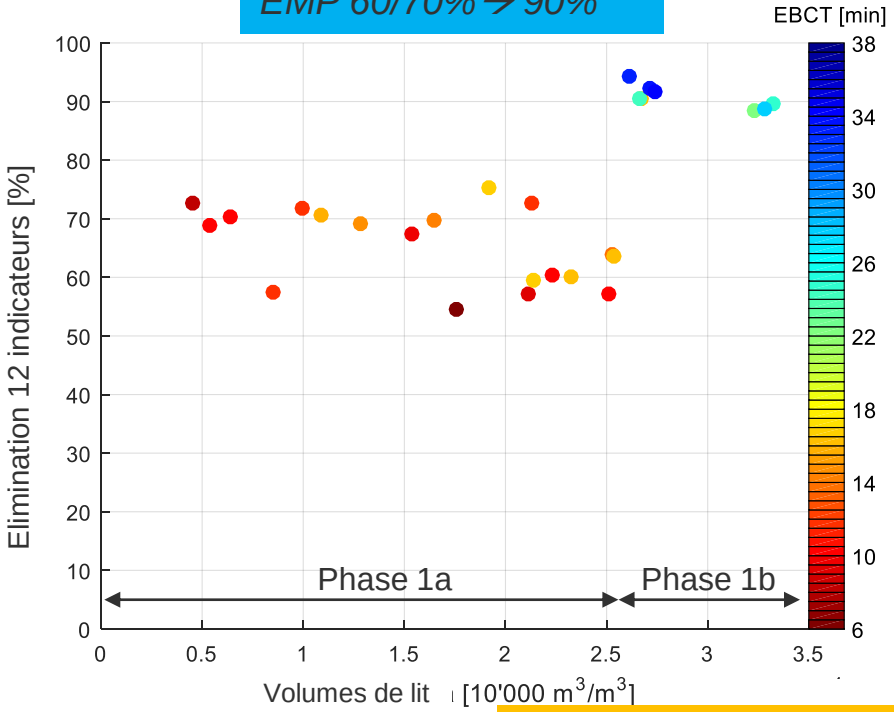
Micropolluants phase 1a Bülach



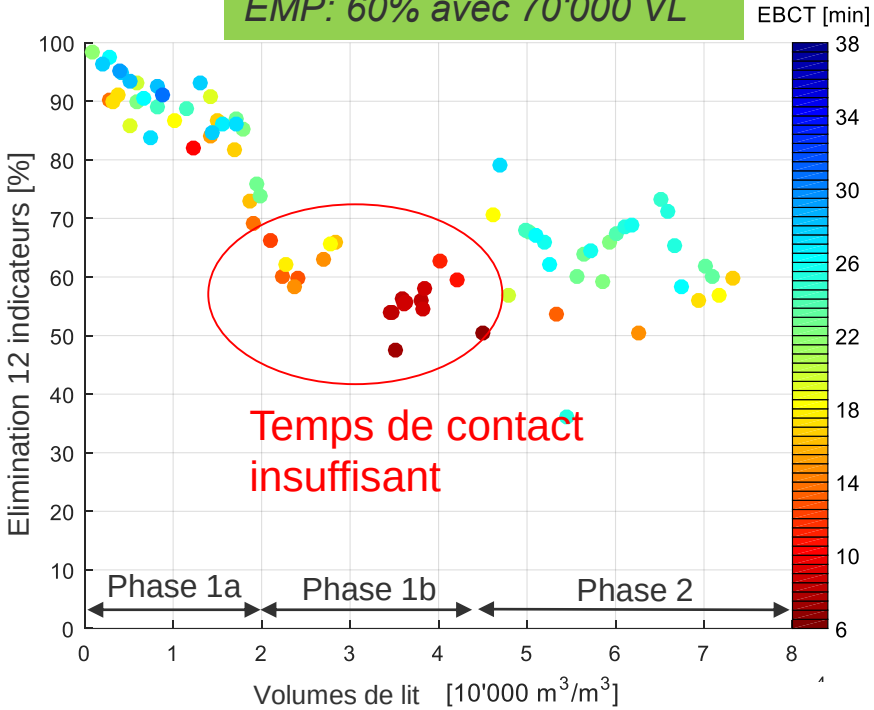
EBCT = empty bed contact time
Temps de contact en lit vide
ts = temps sec

Micropolluants phases 1/2 Bülach

Filtre 6 CAG
$EBCT_{ts}$ 13 → 24 min
EMP 60/70% → 90%

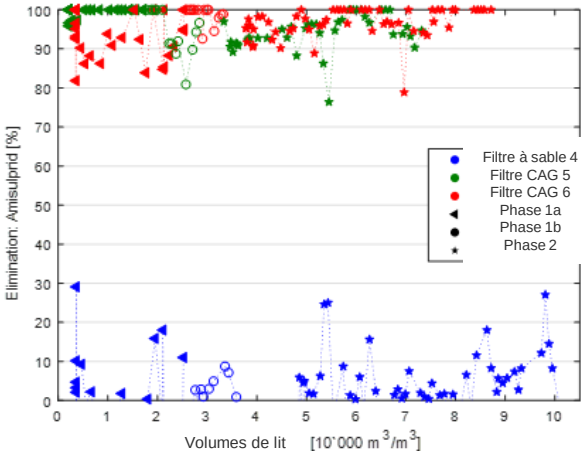


Filtre 5 CAG
$EBCT_{ts}$ 22 → 17 → 23 min
EMP: 60% avec 70'000 VL

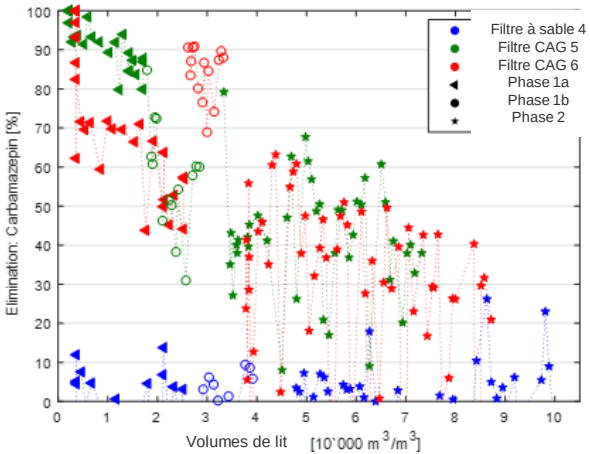


Temps de contact: paramètre important pour le dimensionnement

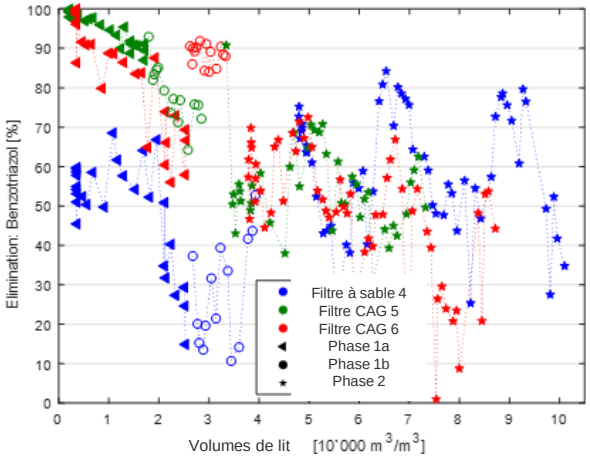
Comparaison CAG / filtre à sable



Forte sorption
Pas d'élimination via le filtre à sable
= faible biodégradation



Sorption moyenne
Filtre à sable: faible biodégradation



Faible sorption
Filtre à sable: bonne biodégradation

Groupe	Substances	Élimination tot.	Adsorption	Biodégradation
A	Amisulpride, citalopram	+++	+++	0
B	Carbamazépine, hydrochlorothiazide, métoprolol, venlafaxine	++	++	0
C	Benzotriazole, clarithromycine, diclofénac, méthylbenzotriazole	++	+	+ à ++
D	Candésartan, irbésartan	+	+	0

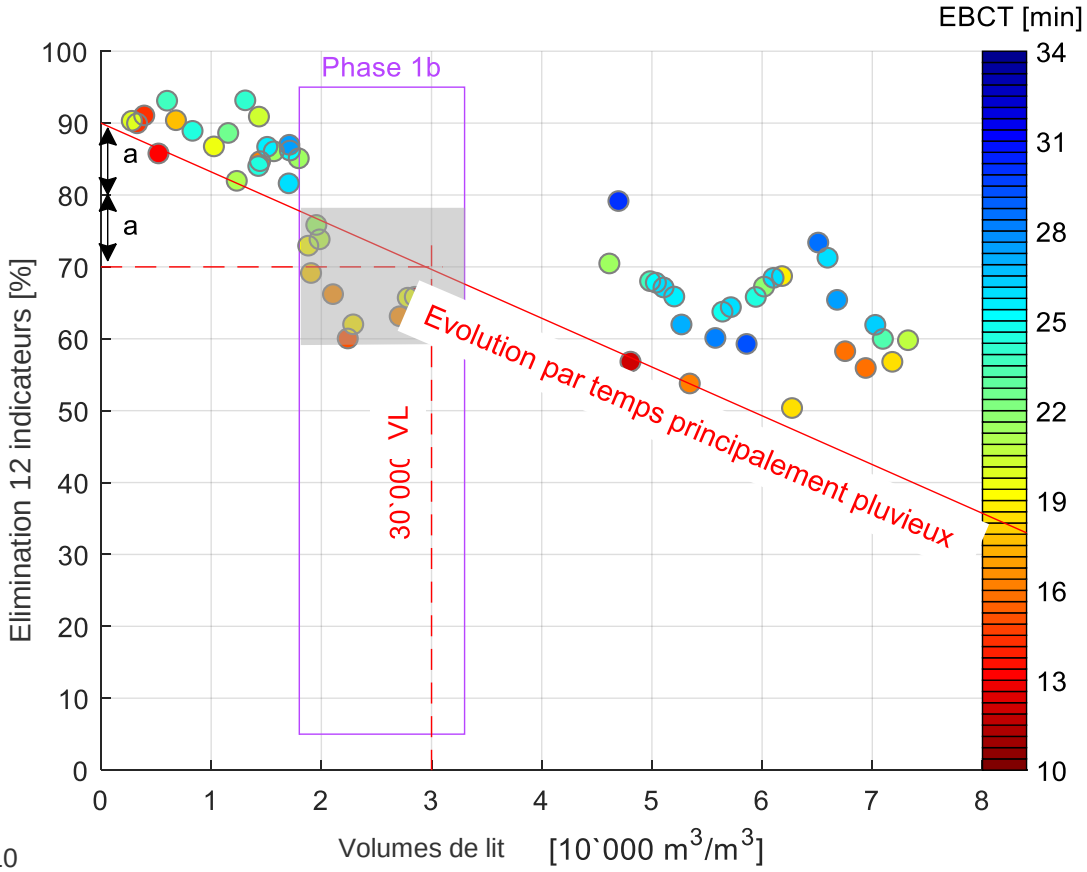
Exploitation des filtres à CAG

$c_{out,\varnothing}$; > 80% EMP
Objectif qualitatif

Exploitation parallèle des filtres à CAG:

- Un filtre individuel peut tomber à moins de 80% d'élimination des micropolluants (épisodes de pluie inclus)
- Compensation grâce à du CAG «frais»
- **Durée de vie plus longue / plus grand nombre de VL atteints par les différents filtres à CAG**

Durée de vie incluant les épisodes pluvieux à Bülach



CAG 5

- **Sans phase 1b ($EBCT_{ts}$<20 min)**
- **Temps principalement pluvieux**

$$c_{GAK} = \frac{385\ kg\ GAK/m3}{30000\ BV}$$

Durée de vie attendue: 30’000 VL
≈ 14 $gCAG/m^3_{eaux\ usées}$ (70%)
avec 4-6 mg COD/l

STEP de Glarnerland

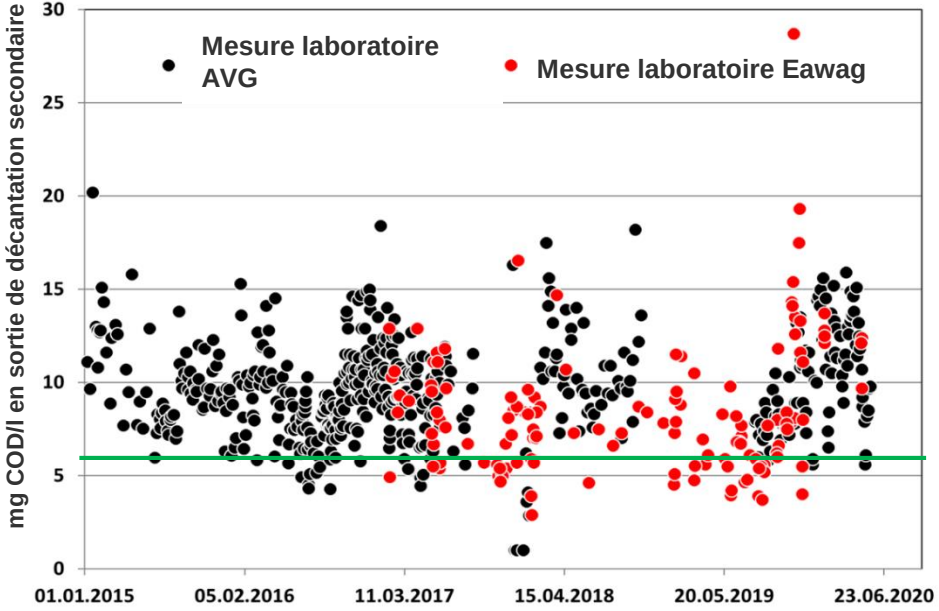
Aujourd'hui:
43'000 habitants
70'500 EH,
20'500 m^3/jour

Objectif d'optimisation pour 2040:
70'000 habitants
105'000 EH

COD: 5-20 mg/l (fortes variations), env. 40% d'industrie
Exploitations industrielles: papier, produits de cimenterie, produits pharmaceutiques, ennoblissement de textiles
Traitement biologique: procédé S::Select® (boues granulaires avec hydrocyclones)

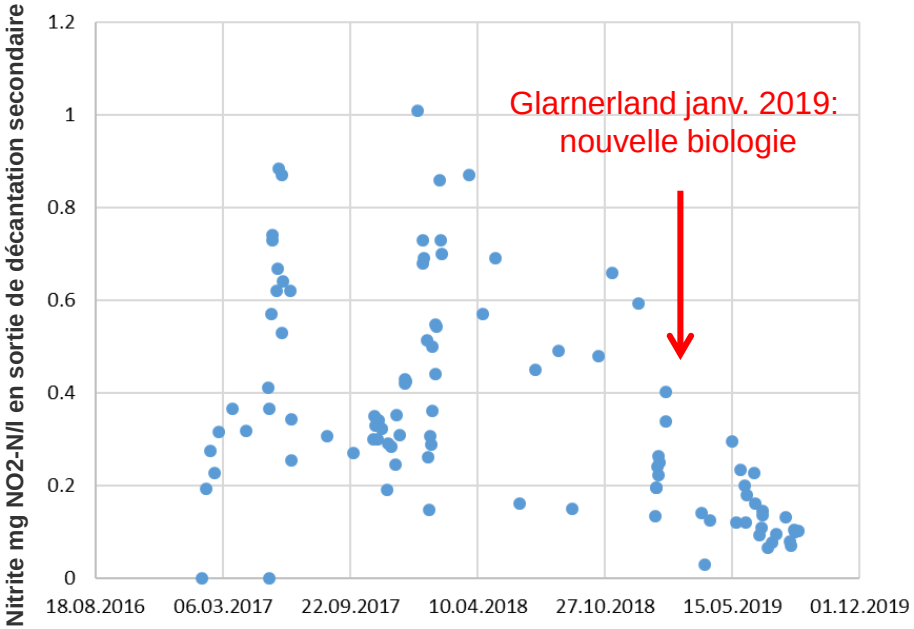
COD et nitrite à la STEP de Glarnerland

COD en sortie de décantation secondaire:



Bülach: COD 5.4 mg/l

Nitrite en sortie de décantation secondaire:

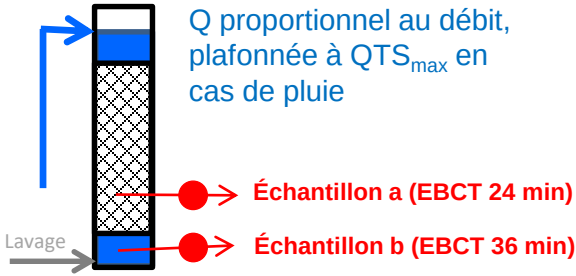


Bülach: généralement < 0.2 mg NO_2-N/l

Installation pilote à la STEP de Glarnerland

Préozonation (env. 0.2 g O_3/ g COD)

5 colonnes de CAG



CAG et O_3/CAG:

- CSC «HC HK 1000»
- CarboTech «Pool W 1-3»
- Norit «1020 EN»
  (uniquement jusqu'à 20'000 VL)

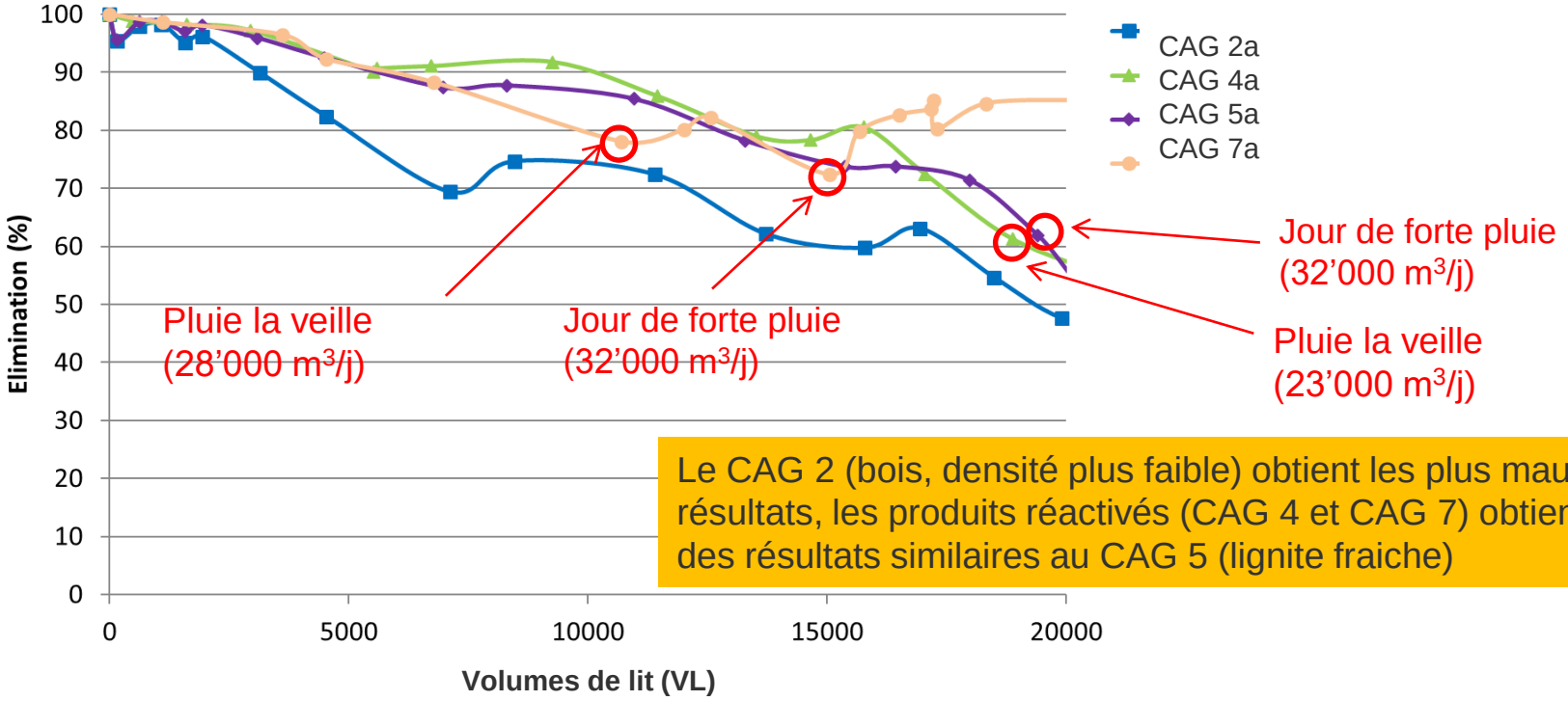
Uniquement CAG:

- Jacobi «Aquasorb 5010»

Granulométrie: 0.85-2 mm
(10x20 mesh)

Comparaison des différents matériaux CAG (Glarnerland)

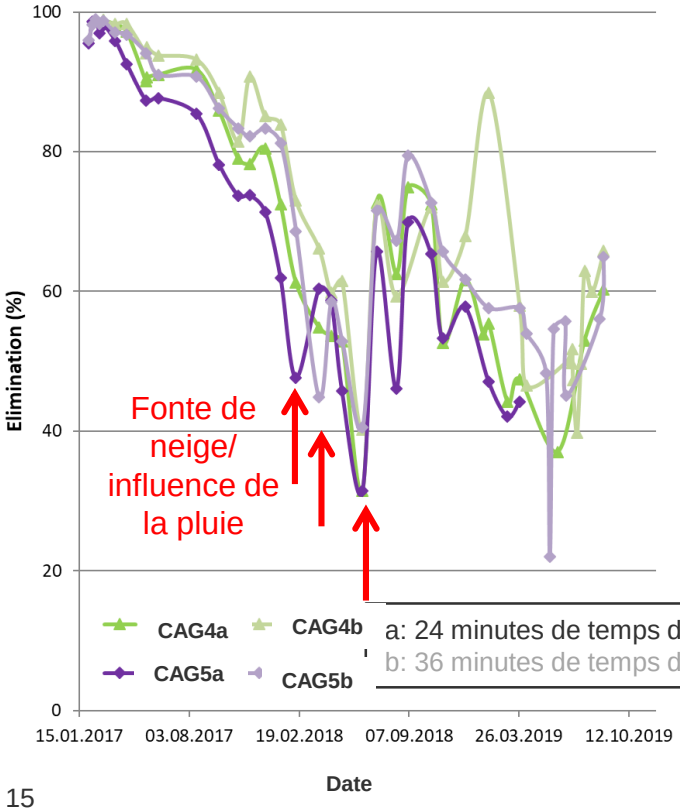
CAG 2 (HC HK 1000, charbon frais), CAG 4 (Pool W 1-3, produit réactivé), CAG 5 (Aquasorb 5010, charbon frais), CAG 7 (Norit 1020 EN, produit réactivé)



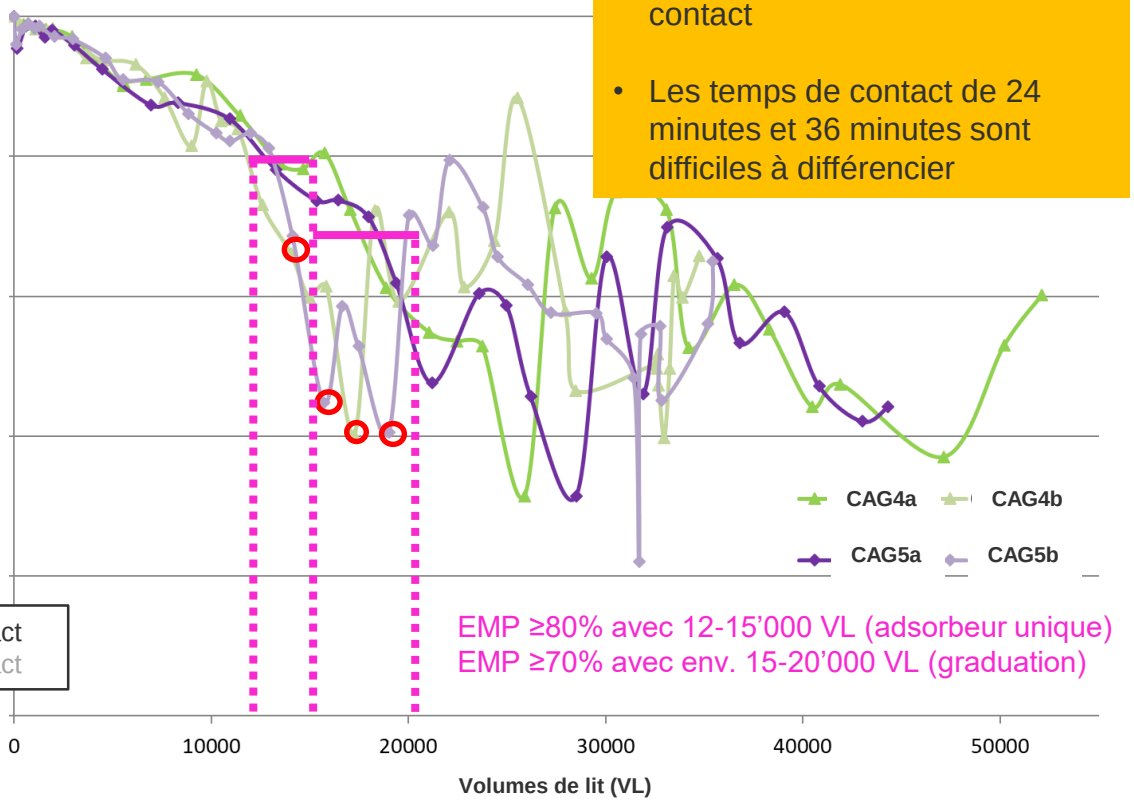
Le CAG 2 (bois, densité plus faible) obtient les plus mauvais résultats, les produits réactivés (CAG 4 et CAG 7) obtiennent des résultats similaires au CAG 5 (lignite fraiche)

Comparaison des temps de contact (Glarnerland)

- La pluie influence plus fortement les perçages que le temps de contact
- Les temps de contact de 24 minutes et 36 minutes sont difficiles à différencier



a: 24 minutes de temps de contact
b: 36 minutes de temps de contact

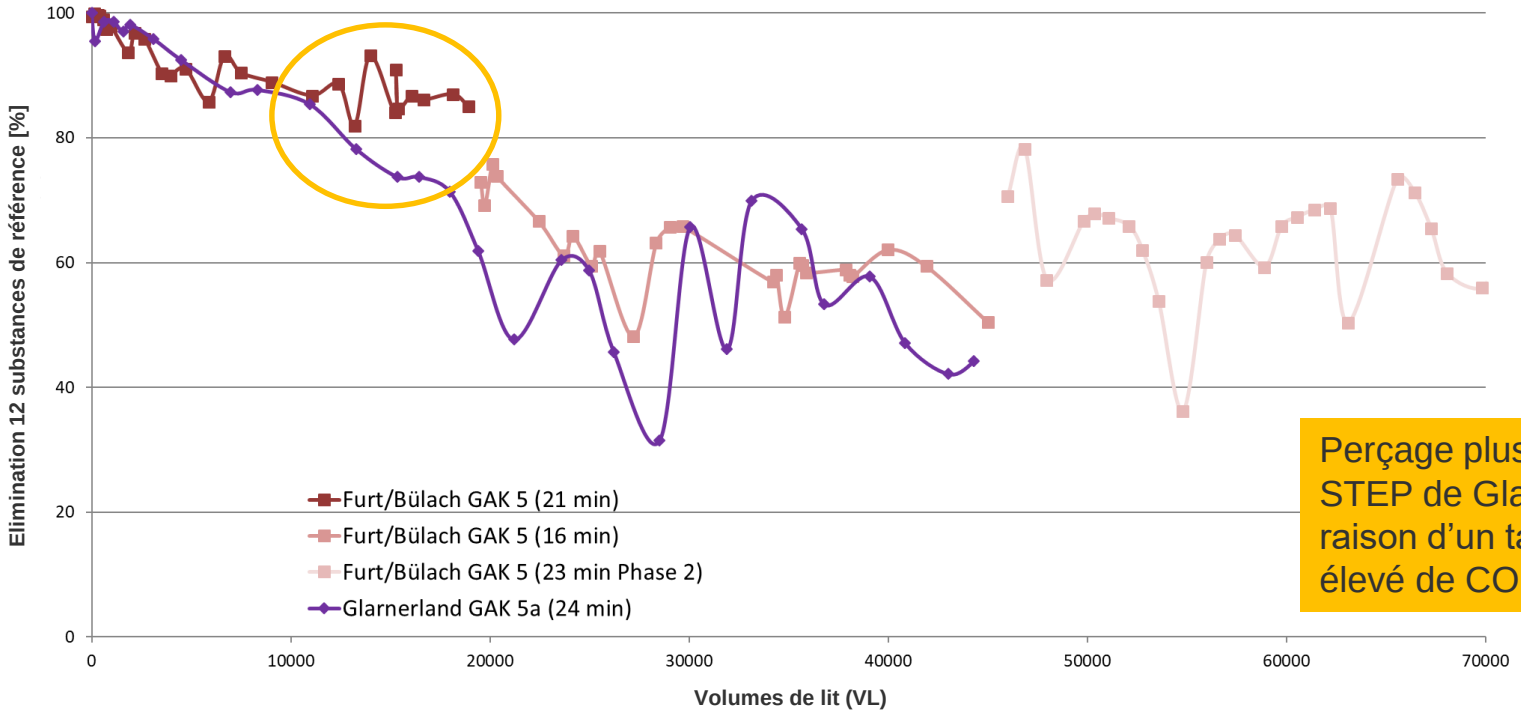


EMP ≥80% avec 12-15'000 VL (adsorbeur unique)
EMP ≥70% avec env. 15-20'000 VL (graduation)

Comparaison de la STEP de Glarnerland avec la STEP de Furt/Bülach

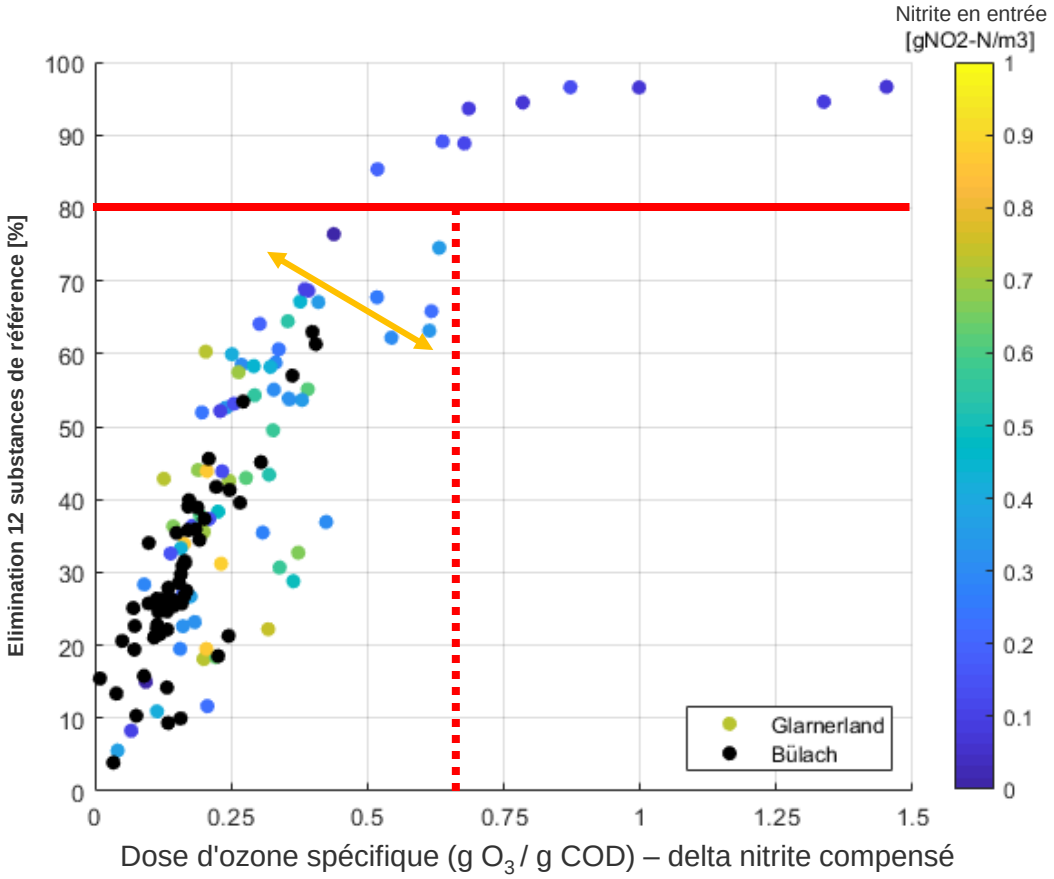
CAG Aqua-Sorb 5010

Furt/Bülach: granulométrie 1.18-2.36 mm, COD 5.3 mg/l
Glarnerland: granulométrie 0.85-2 mm, COD Ø 8.4 mg/l



Perçage plus rapide à la STEP de Glarnerland en raison d'un taux plus élevé de COD

Ozonation STEP de Glarnerland et de Bülach

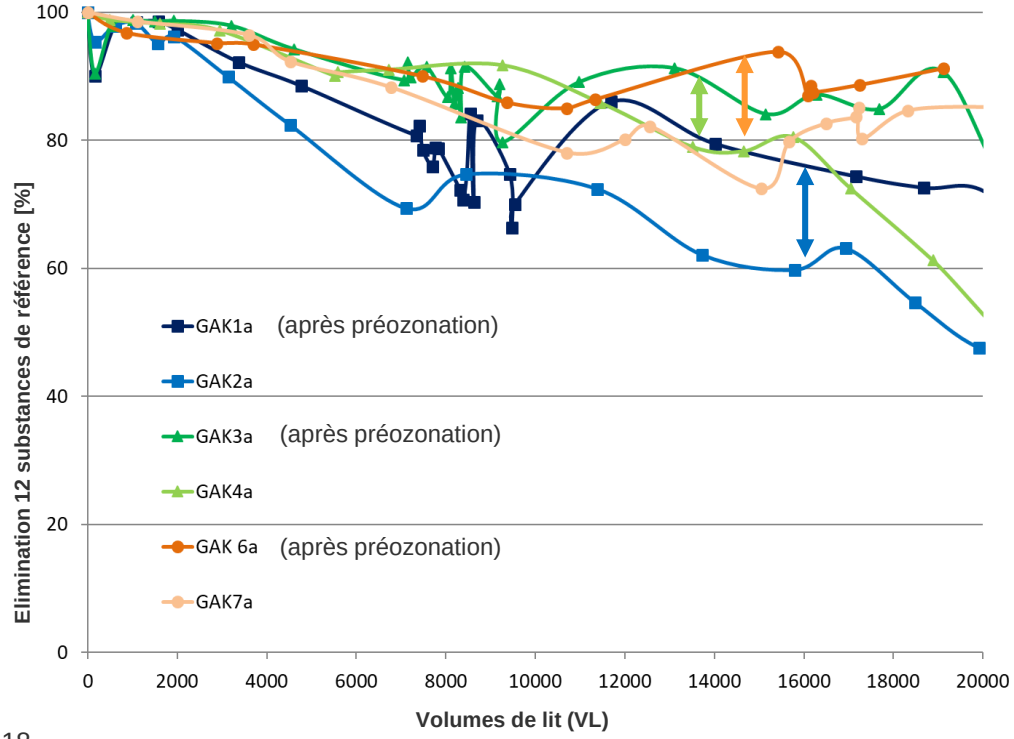


- Diffusion plus forte avec des doses d'ozone spécifiques peu élevées
- À Glarnerland, diffusion influencée par des valeurs de nitrite élevées et des valeurs de COD variables

Élimination de 80% garantie à Glarnerland seulement à partir de 0.7 g O_3 / g COD
-> pas économique

Comparaison CAG sans / avec préozonation

CAG 1/2 (HC HK 1000, charbon frais), CAG 3/4 (Pool W 1-3, produit réactivé), CAG 6/7 (Norit 1020 EN, produit réactivé)



Le CAG sans préozonation (2,4,7) est beaucoup moins bon que le CAG après préozonation (1,3,6)

Pourquoi les scénarios avec / sans préozonation présentent-ils des différences?

eawag aquatic research

Influence de la concentration en entrée:

aucune (sous une certaine valeur seuil)

Voyez figure 2 montrant des concentrations des MP à la sortie du filter à CAG pendant different concentrations à l'entrée dans:
Zietzschmann et al. (2016) Wat. Res 92, 180-187
http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2016.01.056

Influence de la matière organique:

- déterminante
- est plus hydrophile (hydrosoluble) après l'ozonation et est composé de plus petites molécules, la sorption sur le CAG est donc moins bonne

  ⟶ peu de compétition avec les MP après l'ozonation

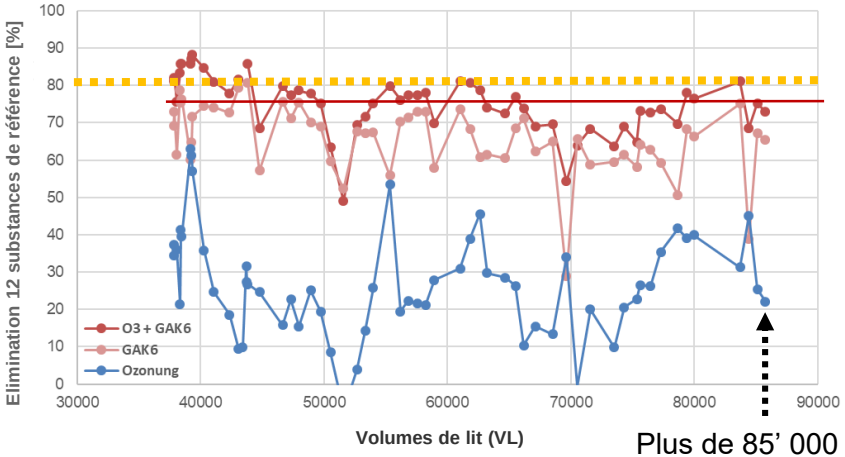
Voyez figure 2 montrant des signals LC-OCD sans/avec ozonation dans:
Zietzschmann et al. (2015) Wat. Res 84, 153-160
http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2015.07.031

Influence supplémentaire de la biodégradation du COD / des MP?

Durée de vie du CAG avec la préozonation

Bülach: dose d'ozone$_{moyenne}$: 0.17 g O_3 / g COD

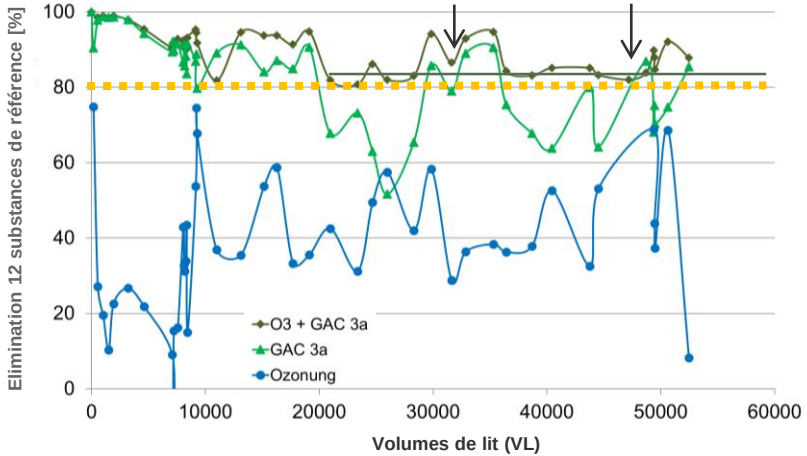
Régulation: delta UV-O_3 / CAG



Plus de 85' 000 VL
(≈4.5 mg CA / l)

Glarnerland: dose d'ozone$_{moyenne}$: 0.2 g O_3 / g COD

Régulation: delta UV-O_3 delta UV-O_3 / CAG



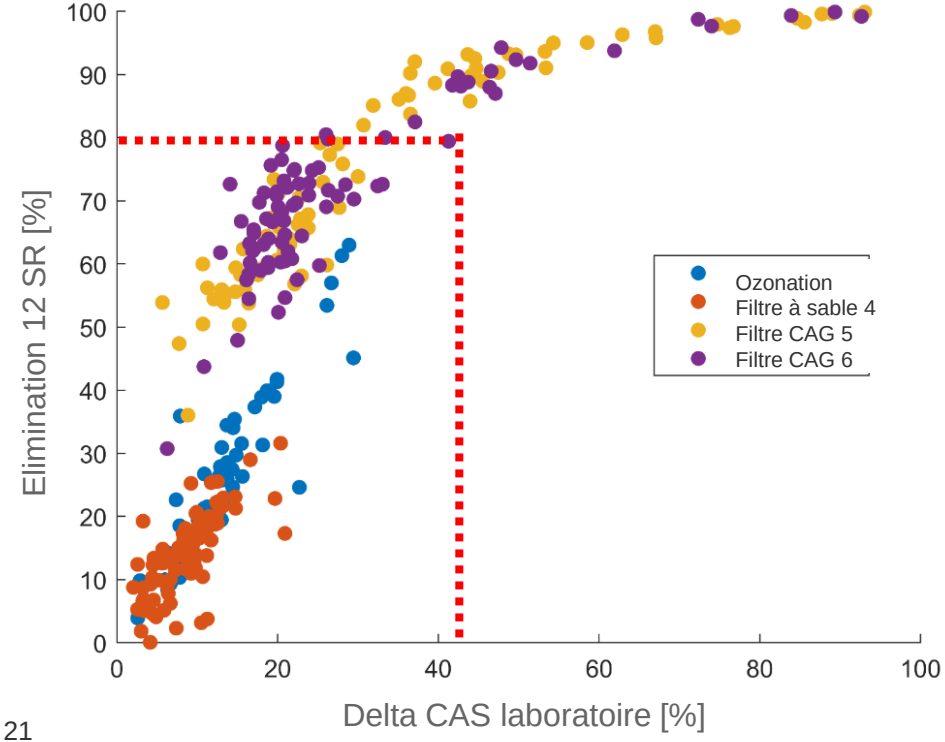
0.2 g O_3 / g COD en préozonation permet d'éliminer 80% des MP jusqu'à env. 85'000 VL (Bülach) / en. 50'000 VL (GL)

- Possibilité de compenser les variabilités du volume d'eau arrivant (également en cas de situations extrêmes)
- Durée de vie du CAG plus élevée avec la préozonation
- Coûts d'investissement plus élevés, mais coûts d'exploitation plus faibles
- Le CAG est une bonne barrière pour les sous-produits formés durant l'ozonation

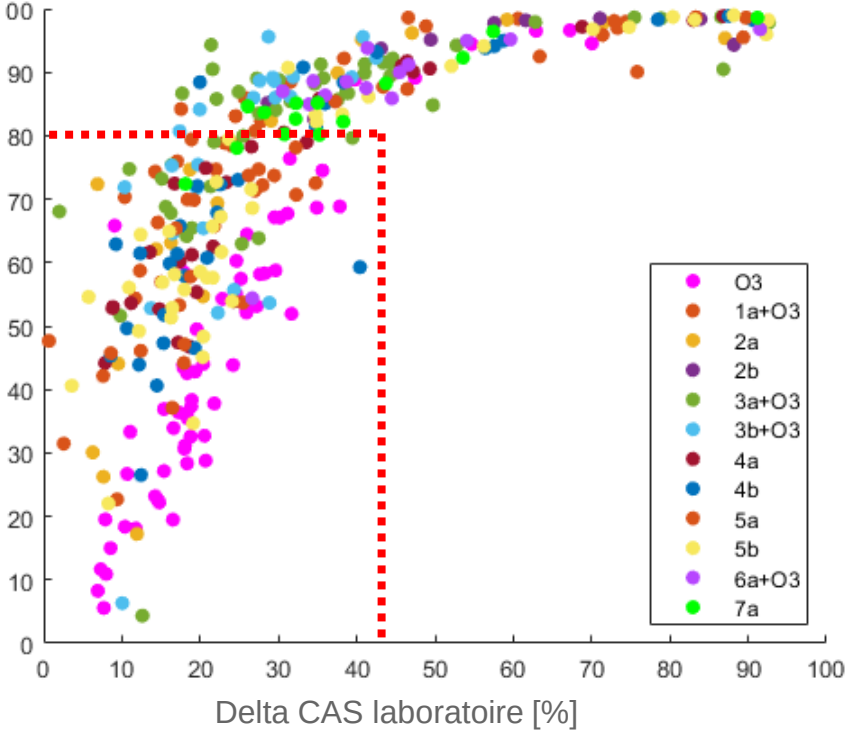
Mesure CAS

Surveillance: Si diminution UV > 42-45%
→ Élimination MP > 80%
Mais pas suffisamment précis pour le système de régulation

STEP de Bülach

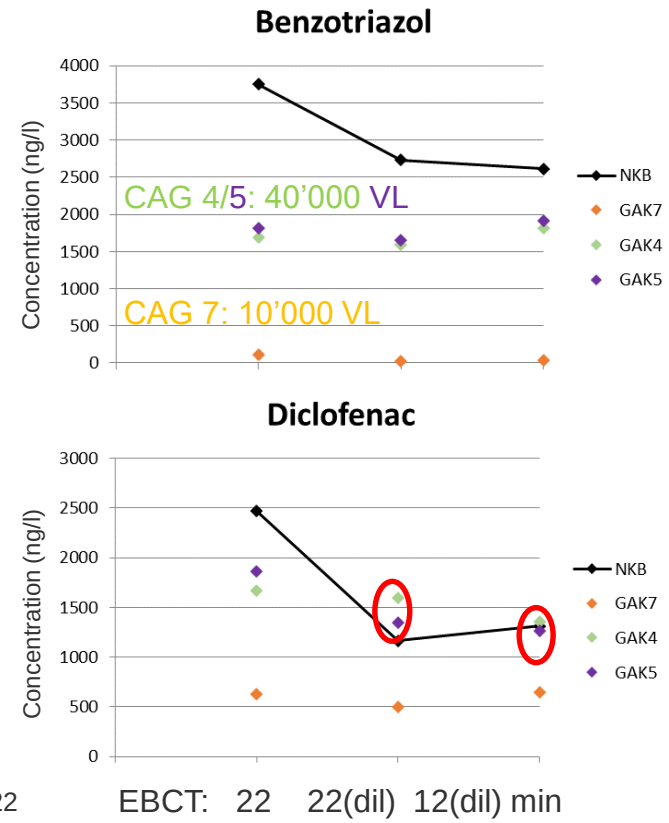


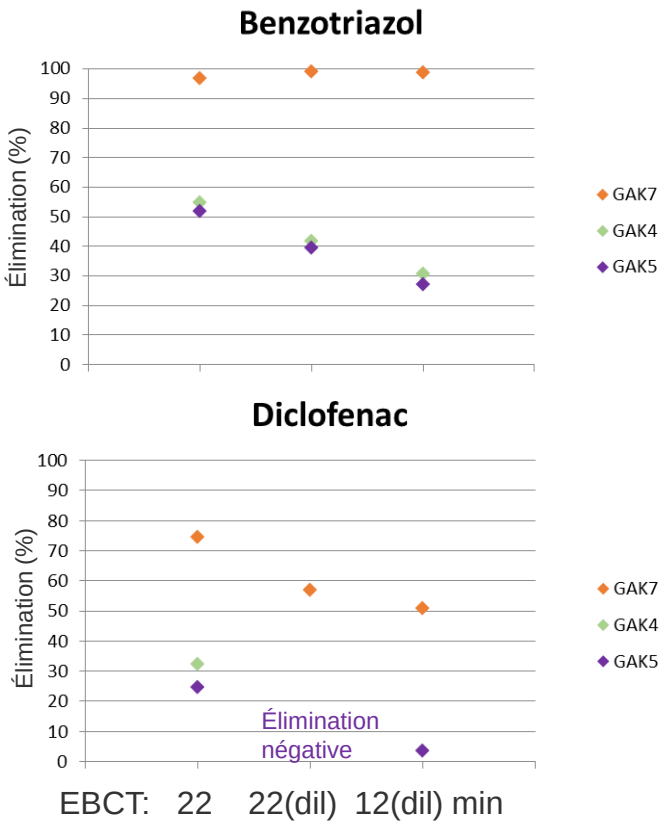
STEP de Glarnerland

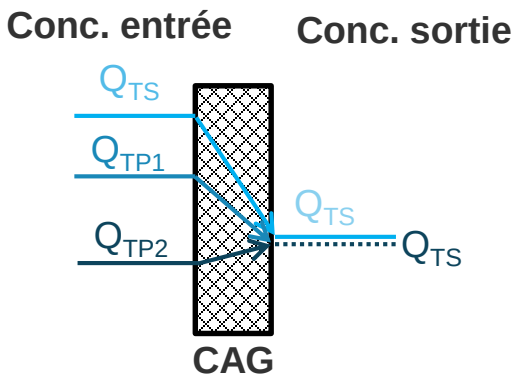


Simulation d'un événement pluvieux

Essai: non dilué / dilué avec de l'eau potable / temps de contact réduits (échantillons composites de 24h)







Une dilution et des temps de contact réduits engendrent une réduction de la sorption

Récapitulatif

- La filtration sur CAG est un procédé d'élimination des micropolluants efficace, rentable et durable.
- Des temps de contact de 20 à 35 min. nécessitent une consommation de CAG comparable aux applications de CAP (STEP de Furt/Bülach).
- Durées de vie (avec un renouvellement de CAG échelonné dans le temps):
  - STEP de Bülach env. 30'000 volumes de lit
  - STEP de Glarnerland avec apports industriels majeurs: env. 15'000-20'000 volumes de lit
- La compétition de la fraction adsorbable du COD (p. ex. substances aromatiques) est pertinente.
- Outre les processus de sorption, la dégradation biologique contribue également à l'élimination pour certaines substances.
- Les produits réactivés de CAG et la lignite fraiche n'ont montré aucune différence significative.
- La performance d'élimination est réduite en cas de pluie.
- La mesure du ΔCAS_{254} est le signal le plus prometteur pour une surveillance en ligne.
- Le moment optimal pour remplacer les différentes cellules doit être évalué à l'aide des volumes de lit.
- Une dose d'ozone spéc. basse (0.2 g O_3 / g COD) en préozonation permet d'obtenir des durées de vie de CAG deux fois plus longues qu'avec la seule filtration sur CAG.

Publications

sur www.eawag.ch>Bibliothèque et www.micropoll.ch

https://www.dora.lib4ri.ch/eawag/islandora/object/eawag%3A21003
https://www.dora.lib4ri.ch/eawag/islandora/object/eawag%3A21845
https://www.dora.lib4ri.ch/eawag/islandora/object/eawag%3A21543

Eawag
Überlandstrasse 133
Postfach 611
8600 Dübendorf
Schweiz
www.eawag.ch

Schlussbericht

Elimination von Spurenstoffen durch granulierte Aktivkohle-Filtration (GAK)

Grosstechnische Untersuchungen auf der ARA Furt, Bülach

SCHLUSSBERICHT

Pilotversuche zur erweiterten Abwasserbehandlung mit granulierter Aktivkohle (GAK) und kombiniert mit Teilozonung (O_3/GAK) auf der ARA Glarnerland (AVG)

Ergänzende Untersuchungen zur PAK-Dosierung in die biologische Stufe mit S::Select®-Verfahren in Kombination mit nachfolgender GAK

VSA

Plattform
„Verfahrenstechnik Mikroverunreinigungen“

Eawag:
Das Wasserforschungsinstitut des ETH-Bereichs

Konsenspapier
zum Ergebnis des Workshops vom 9.12.2019 an der Eawag

Hinweise zur Planung und Auslegung
von diskontinuierlich gespülten GAK-Filtern zur Elimination organischer Spurenstoffe aus kommunalem Abwasser

Dieses Dokument fasst den aktuellen Wissensstand basierend auf den Ergebnissen des Workshops zur granulierten Aktivkohlefiltration vom 9.12.19 zusammen. Es kann bei Bedarf mit neuen Erkenntnissen ergänzt werden. Die Autoren erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

Merci aux partenaires de projet

eawag aquatic research

WWTP Bülach-Furt, www.buelach.ch

Stadt Bülach

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Umwelt BAFU

VSA

WABAG

HUNZIKER BETATECH

Kanton Zürich
Baudirektion
Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft

AWEL / WWEA: Office of Waste, Water, Energy and Air

tbfpartner
Planer und Ingenieure

OZONIA

Abwasserverband Morgental

Stadt Zürich
Tiefbau- und Entsorgungsdepartement

CDALED
Consorzio Depurazione Acque Lugano e Dintorni

CSD INGENIEURE
VON GRUND AUF DURCHDACHT

real
recycling - entsorgung
abwasser - luzern

umwelt-zentralschweiz.ch

WWTP Glarnerland, www.glarnerland.ch

avo

HUNZIKER BETATECH
EINFACH.
MEHR.
IDEEN.

suez

OZONIA

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Umwelt BAFU