



# Tirer profit des mesures d'absorbance UV pour optimiser la coagulation et la désinfection

*Nicolas Beauchamp, ing., Ph.D.*



*(Cégep de Saint-Laurent, Université Laval)*



Manuel Rodriguez, directeur

Christian Bouchard et Caetano Dorea, co-directeurs



Chaire de recherche en eau potable  
de l'Université Laval

# Introduction

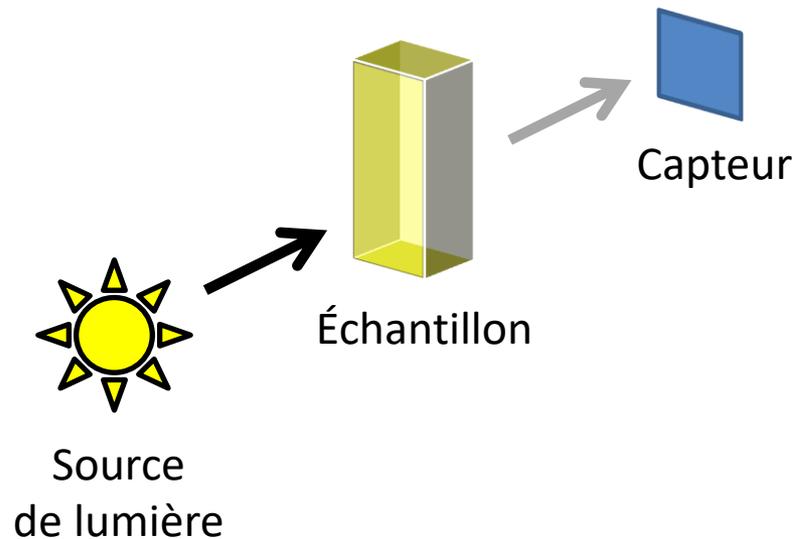
- ✓ Qu'est-ce que l'absorbance UV?
- ✓ Optimisation de la coagulation
- ✓ Suivi des sous-produits de la désinfection



# Qu'est-ce que l'absorbance UV?

## Mesure optique

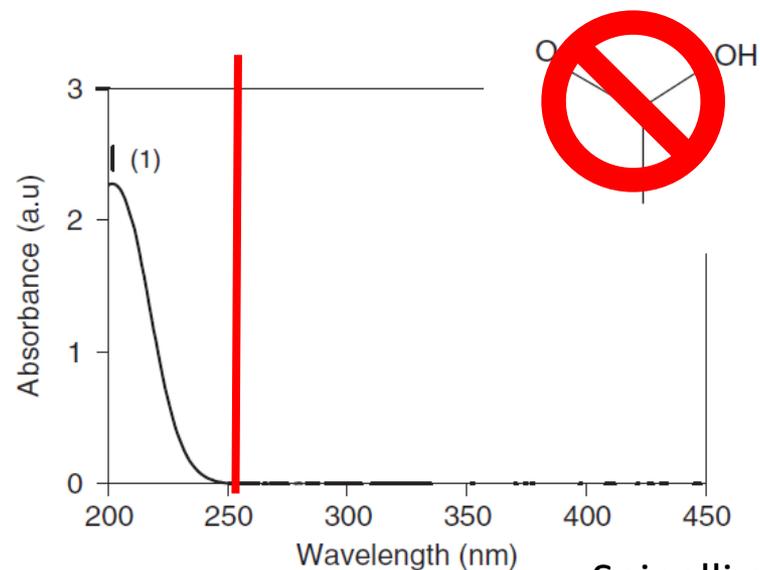
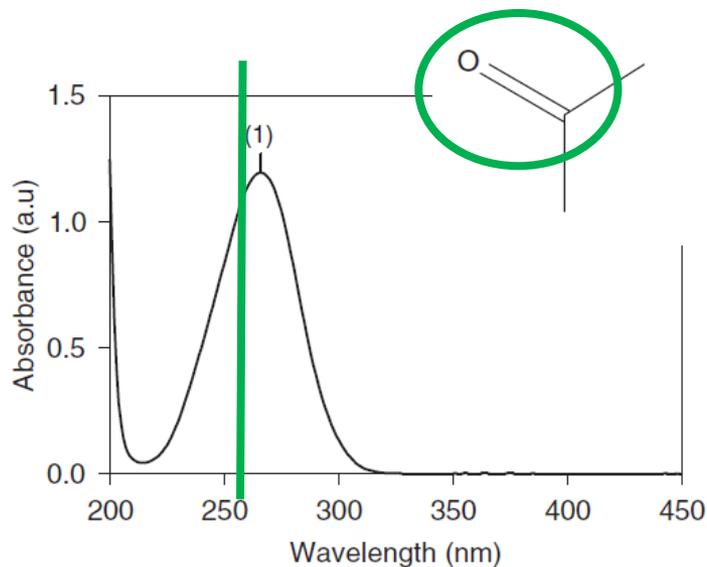
- Atténuation d'un rayonnement ultraviolet (200 à 380 nm, 254 nm historiquement utilisé)



# Qu'est-ce que l'absorbance UV?

## Mesure optique

- Atténuation d'un rayonnement ultraviolet (200 à 380 nm)
- Causé par certains groupements fonctionnels organiques



Spinelli et coll., 2007

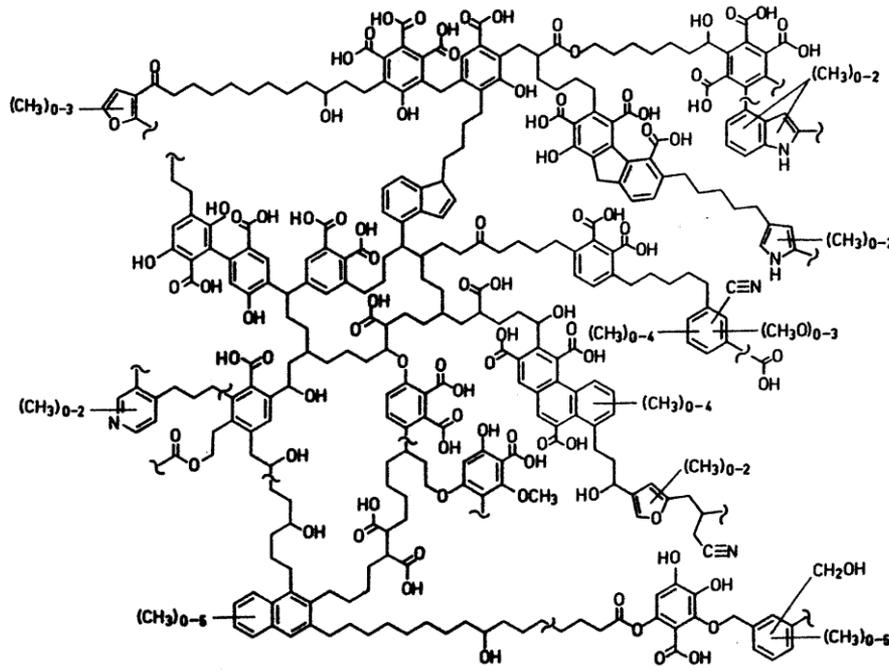


Chaire de recherche en eau potable  
de l'Université Laval

# Qu'est-ce que l'absorbance UV?

## Mesure optique

- Atténuation d'un rayonnement ultraviolet (200 à 380 nm)
- Causé par certains groupements fonctionnels organiques



Schulten et Schnitzer, 1993



# Qu'est-ce que l'absorbance UV?

## Mesure optique

- Atténuation d'un rayonnement ultraviolet (200 à 380 nm)
- Causé par certains groupements fonctionnels organiques
- Combiné au carbone organique dissous : SUVA (UV/COD)

UV/COD (L/(m.mg))	Type d'eau
$\geq 4$	Essentiellement des substances humiques aquatiques; hydrophobe; masses molaires élevées
2 à 4	Mélange de substances humiques aquatiques et de substances hydrophiles et hydrophobes
$< 2$	Essentiellement des substances non-humiques; hydrophile; masse molaire faible

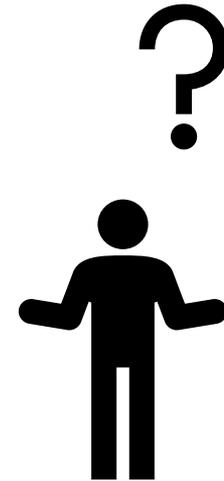
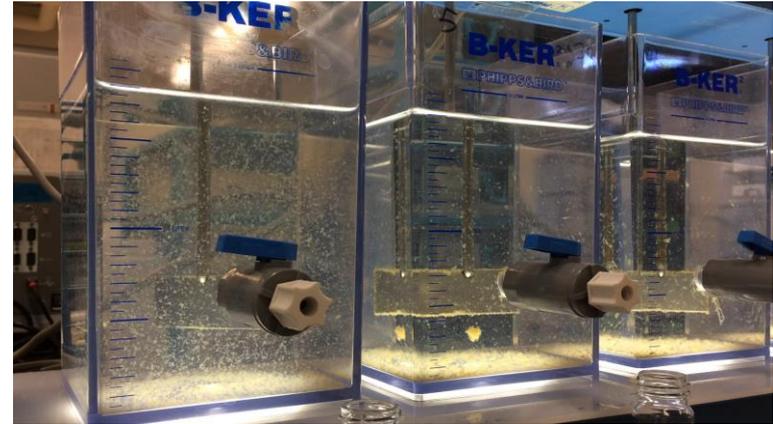
*Edzwald et Tobiason (1999)*



# Optimisation de la coagulation

## La coagulation, l'art du compromis!

- Enlèvement de la turbidité
- Enlèvement des pathogènes
- Enlèvement de la matière organique dissoute (UV)
- Enlèvement des précurseurs des sous-produits de la désinfection
- Minimiser l'aluminium résiduel
- Maximiser la durée de vie des filtres
- Diminuer de la demande en chlore
- Minimiser les coûts



# Optimisation de la coagulation

## L'importance de la matière organique dissoute en coagulation

Water type	pH	Alkalinity (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	Turbidity (NTU)	TOC (mg/L)	UV <sub>254</sub> (cm <sup>-1</sup> )	SUVA (m <sup>-1</sup> /mg/L)	Estimated particle <sup>b</sup> and NOM <sup>c</sup> charge (μeq/L)
High turbidity, low TOC river (Chattahoochee River, Atlanta GA)	6.4–7.1 Avg: 6.7	<30	3–60 Avg: 20	1.3–4.0 Avg: 2.8	0.03–0.05 Avg: 0.04	1.9–2.8 Avg: 2.2 25% humics <sup>a</sup>	Particles: 2 @ 20 NTU 6 @ 60 NTU NOM: 7
High TOC (color) reservoir (Ashley Reservoir, Pittsfield MA)	6.0–7.1 Avg: 6.6	<30	0.6–1.7 Avg: 1.2	6–8 Avg: 7.1	0.23–0.34 Avg: 0.31	3.8–4.8 Avg: 4.5 70% humics <sup>a</sup>	Particles: < 1 NOM: 50
Low TOC, low alkalinity reservoir (Hemlocks Reservoir, Fairfield CT)	6.7–7.6 Avg: 7.2	<30	0.3–2 Avg: 0.8	2.5–3.5 Avg: 3.1	0.07–0.12 Avg: 0.09	2.9–3.5 Avg: 3.0 40% humics <sup>a</sup>	Particles: < 1 NOM: 12
Low turbidity, low TOC, high alkalinity reservoir (Primary source, Colorado River)	7.7–8.4 Avg: 7.9	110–130	0.6–2.7 Avg: 1.7	2.9–3.5 Avg: 3.3	0.04–0.06 Avg: 0.05	1.4–2.0 Avg: 1.6 20% humics <sup>a</sup>	Particles: < 1 NOM: 7
Medium TOC, medium alkalinity lake <sup>d</sup> (Shoal Lake, Manitoba Canada)	(7.7–9.1) 7.9	(71–95) 74	(0.2–1.8) 1.4	(4–17) 6.5	0.13	2.7 40% humics <sup>a</sup>	Particles: < 1 NOM: 26

La matière organique domine  
le procédé de coagulation.

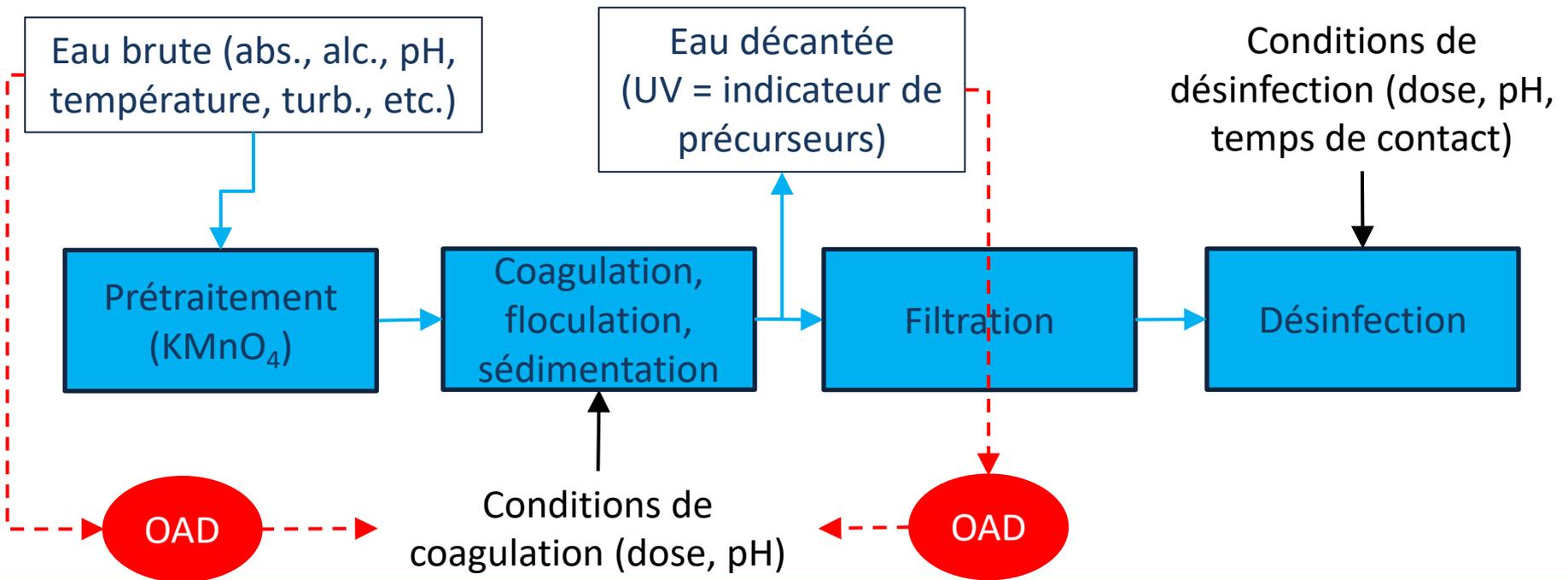
Pernitsky et Edzwald (2006)



# Optimisation de la coagulation

## Stratégie de coagulation en temps réel basée sur l'UV254

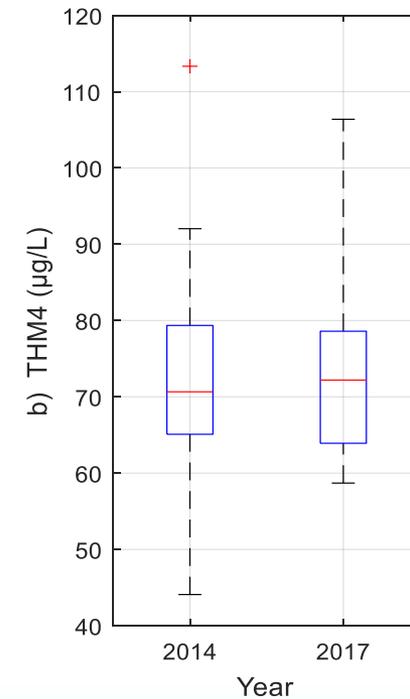
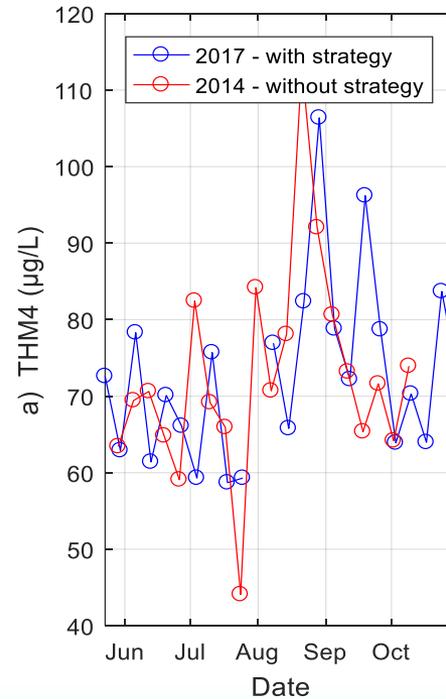
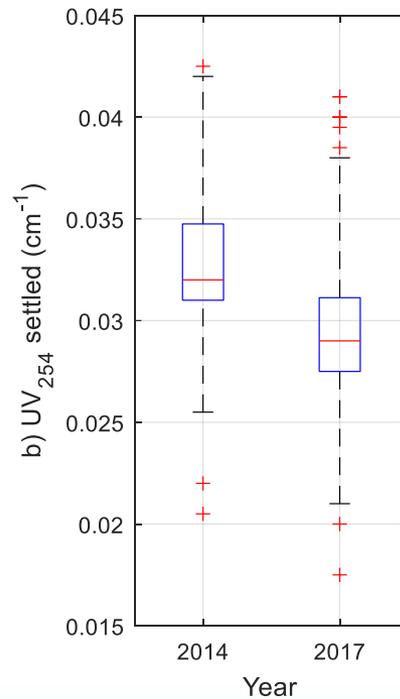
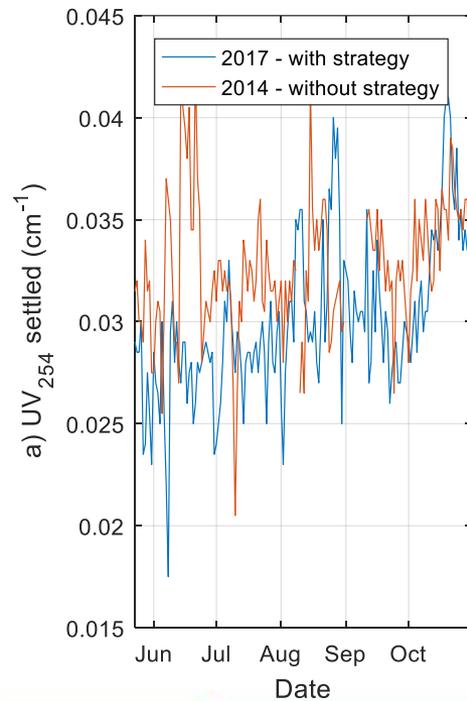
- ✓ Développer une stratégie d'opération adaptative et préventive du procédé de coagulation-floculation, afin de réduire les concentrations de SPD à l'usine et en réseau.



# Optimisation de la coagulation

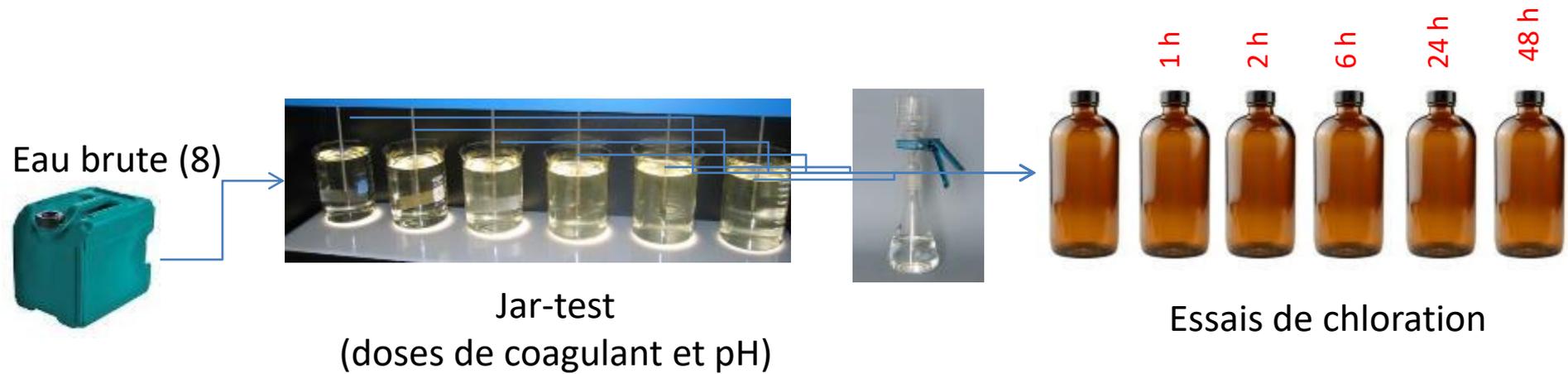
## Stratégie de coagulation en temps réel basée sur l'UV254

- ✓ Cible UV254 atteint 60 % du temps (2017 < 2014,  $p < 0,01$ )
- ✓ Réduction THM4 non statistiquement significative ( $p > 0,01$ )



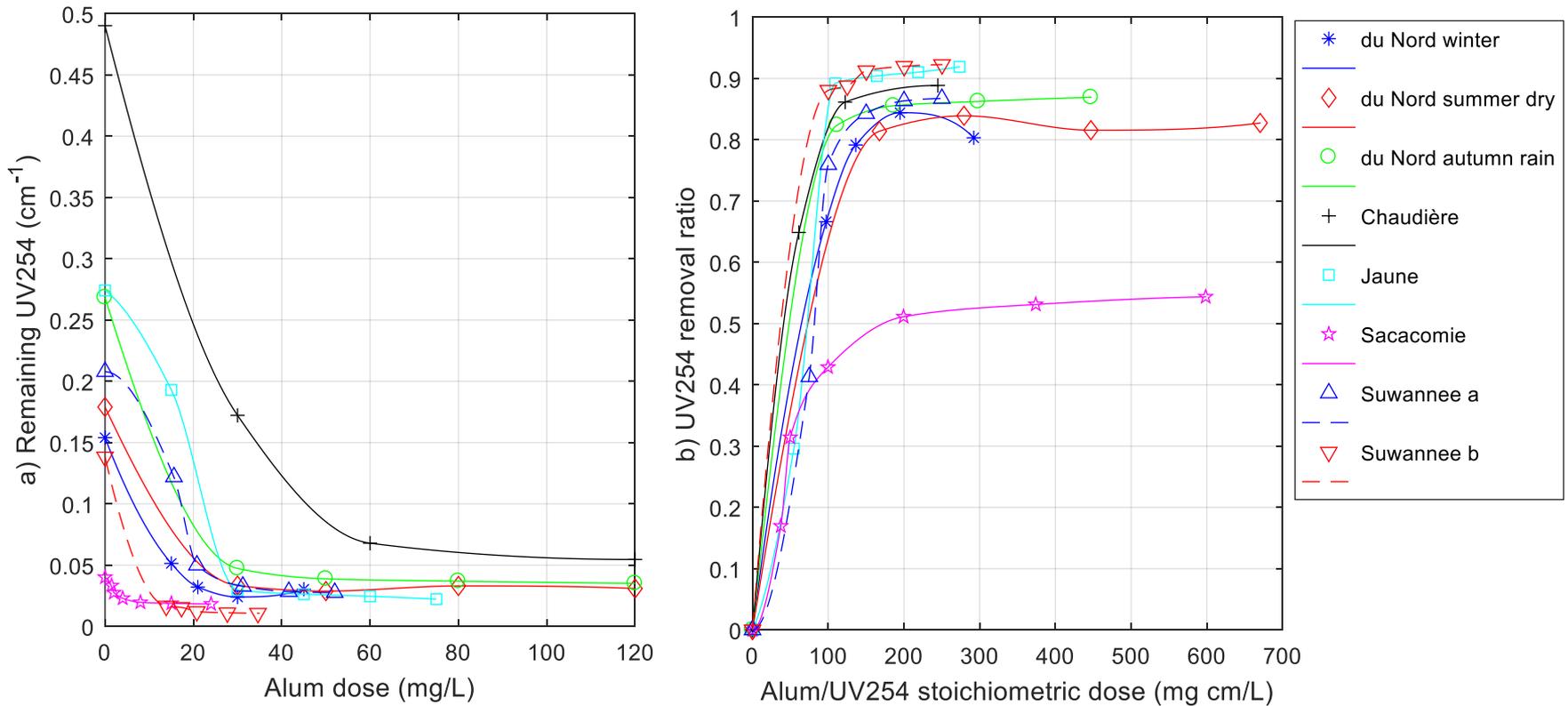
# Optimisation de la coagulation

## Résultats – laboratoire



# Optimisation de la coagulation

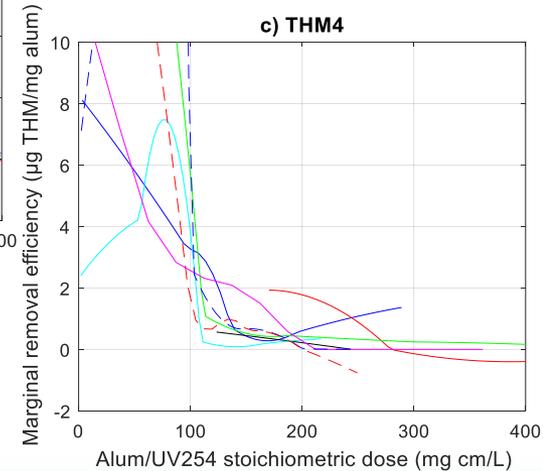
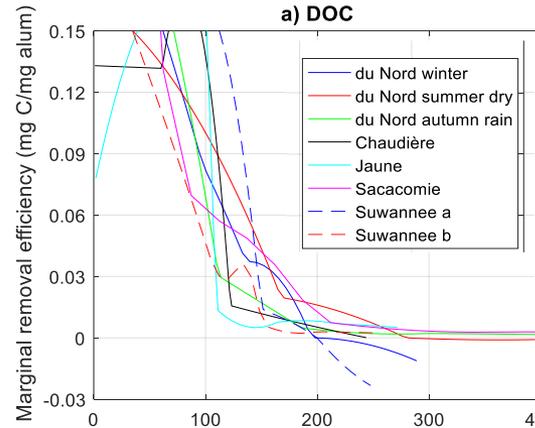
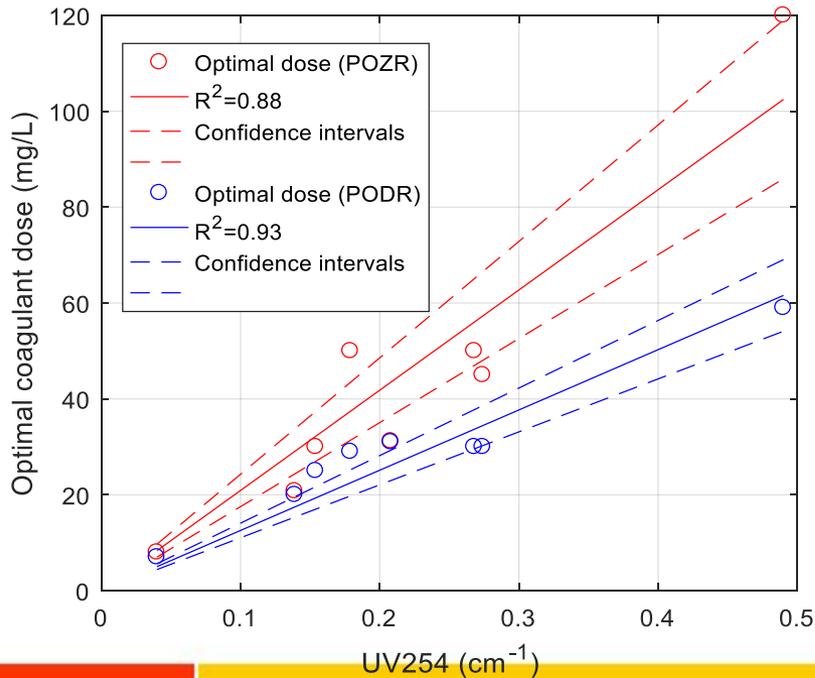
## Résultats – laboratoire



# Optimisation de la coagulation

## Résultats – laboratoire

- ✓ Point of diminishing return (USEPA, 0,03 mgC/mg alum)
- ✓ Point of zero return (0  $\mu\text{g}$  SPD/mg alum)



# Optimisation de la coagulation

## Conclusions

- ✓ Dose stœchiométrique maximisant l'enlèvement des précurseurs :

POZR :  $180 \pm 25$  mg cm/L

PODR :  $125 \pm 15$  mg cm/L

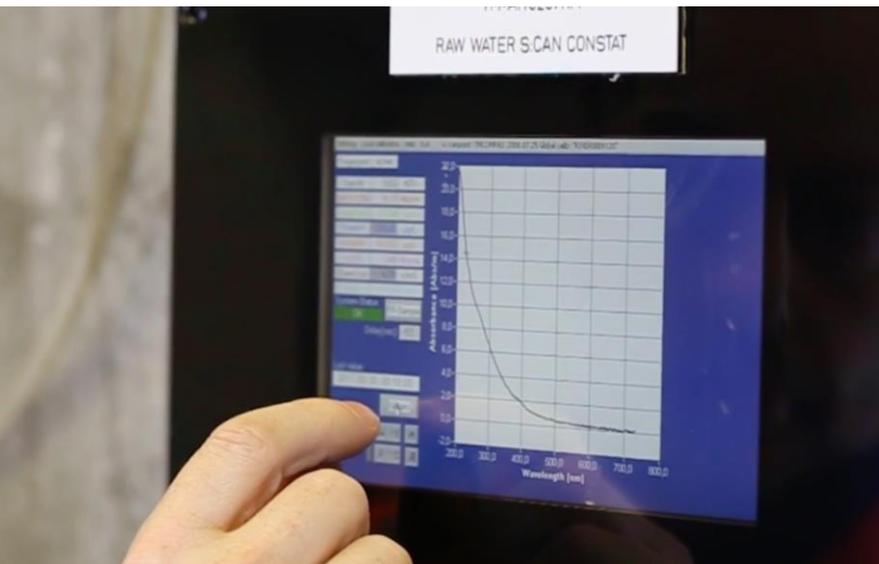
- ✓ Stable malgré les changements de qualité d'une même source dans le temps (journaliers, saisonniers).
- ✓ Enlèvement maximal de l'UV254 est une meilleure stratégie que la cible d'UV254 décantée ou filtrée.



# Optimisation de la coagulation

## Application commerciale

- Compass Coagulation Control (Aquatic Life)
- RealTech Coagulation Optimization



<https://www.lutra.com/compass/>



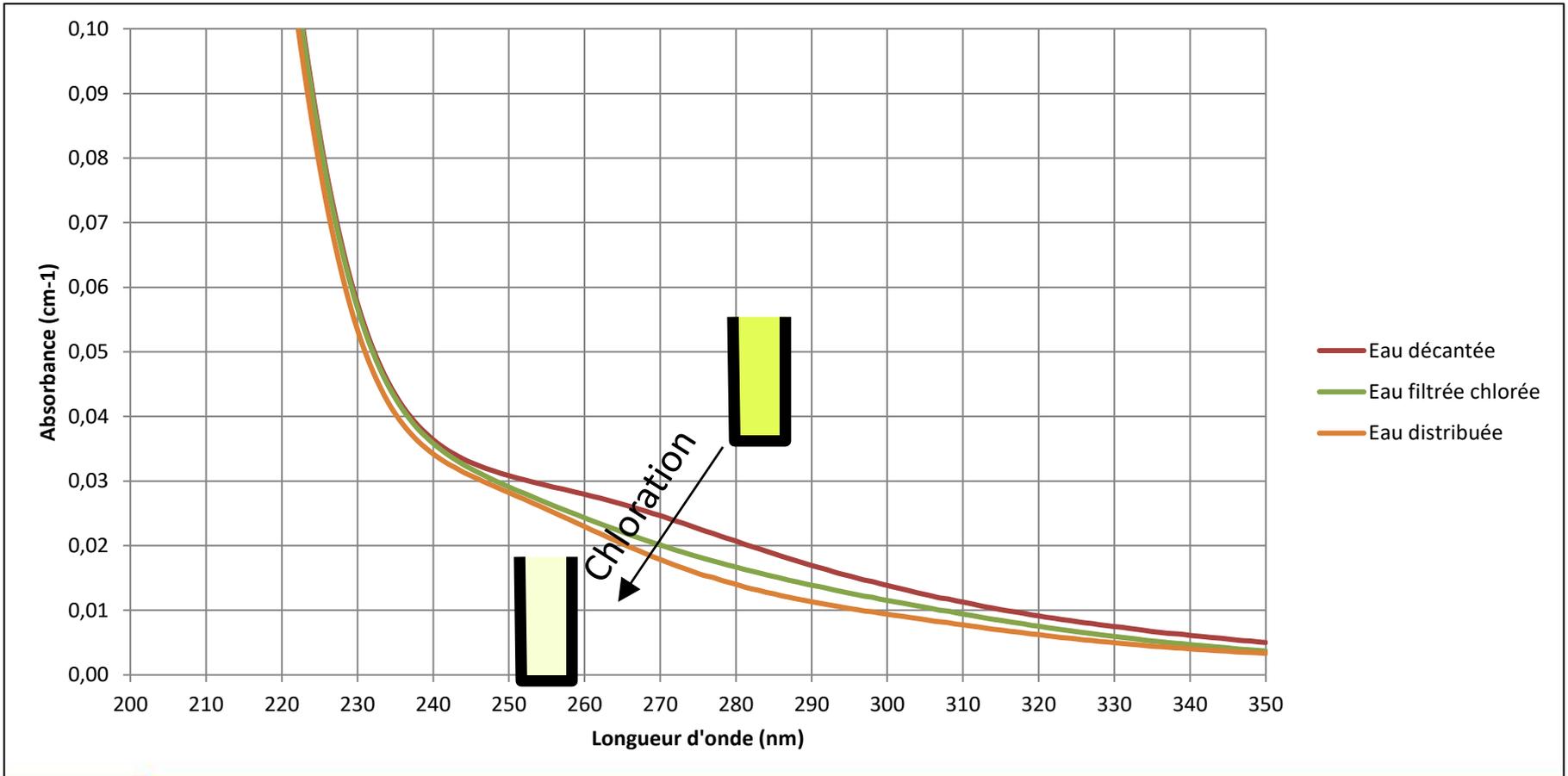
<https://realtechwater.com/applications/drinking-water/coagulation-optimization/>



Chaire de recherche en eau potable  
de l'Université Laval

# Suivi des sous-produits de la désinfection

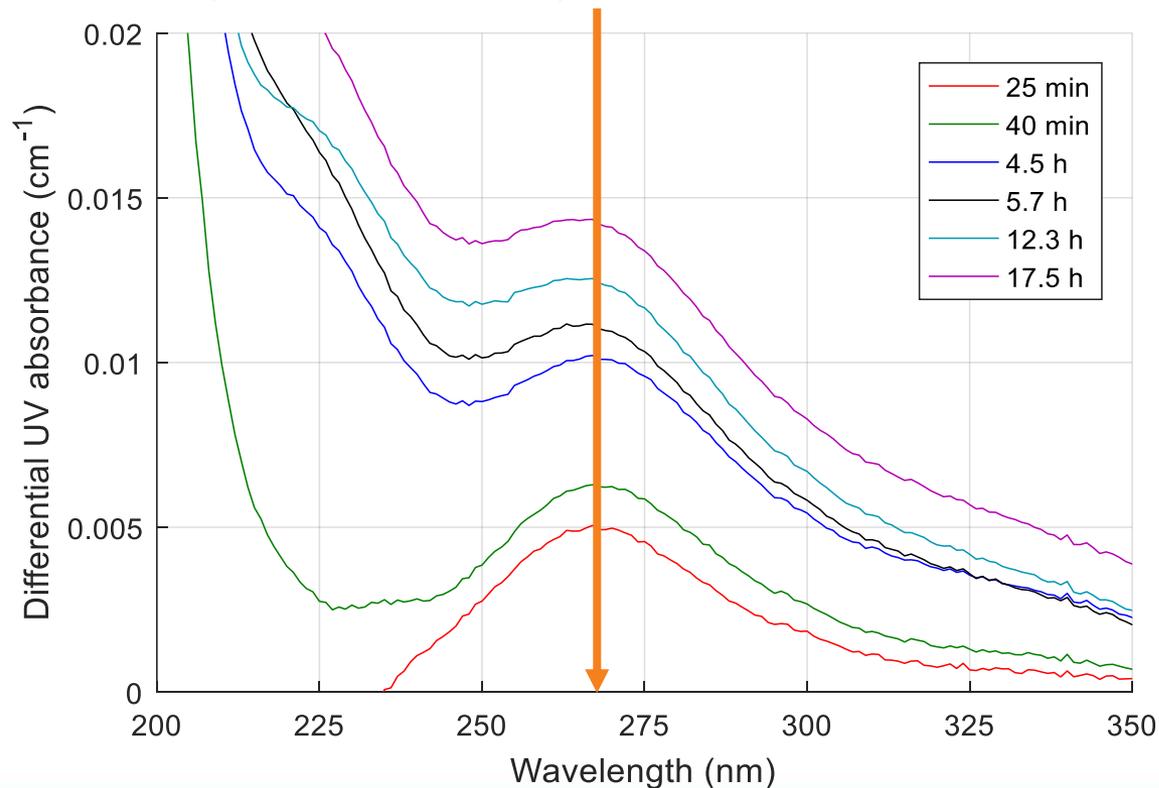
## Spectre d'absorbance UV



# Suivi des sous-produits de la désinfection

## Spectre d'absorbance différentielle UV

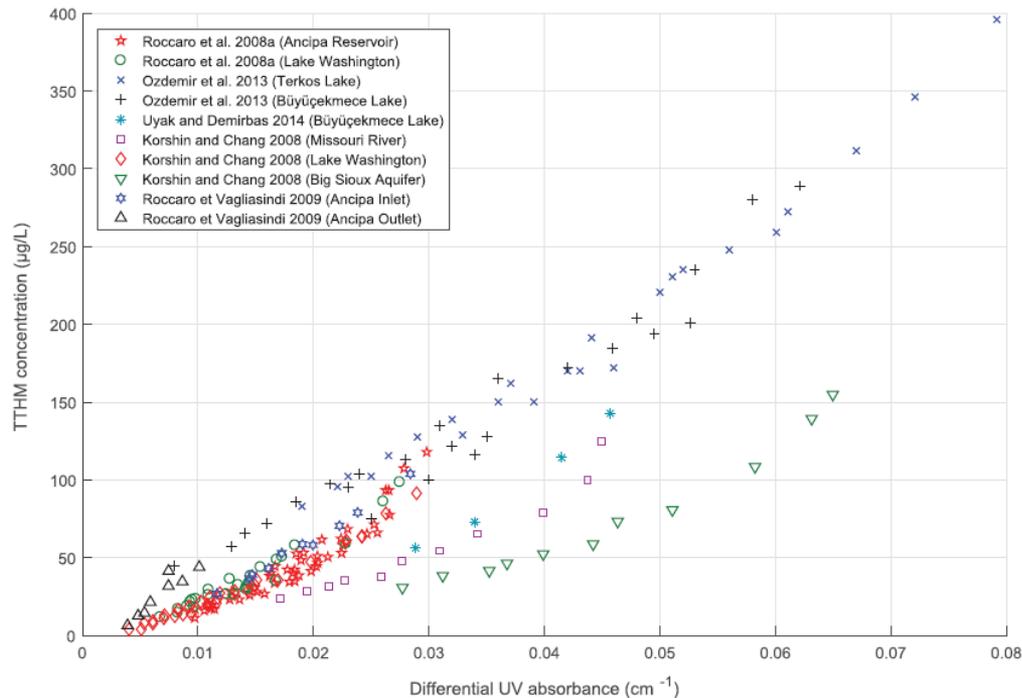
- Pic à 272 nm (1996 à 2015)



# Suivi des sous-produits de la désinfection

## Spectre d'absorbance différentielle UV

- Pic à 272 nm : relation universelle?



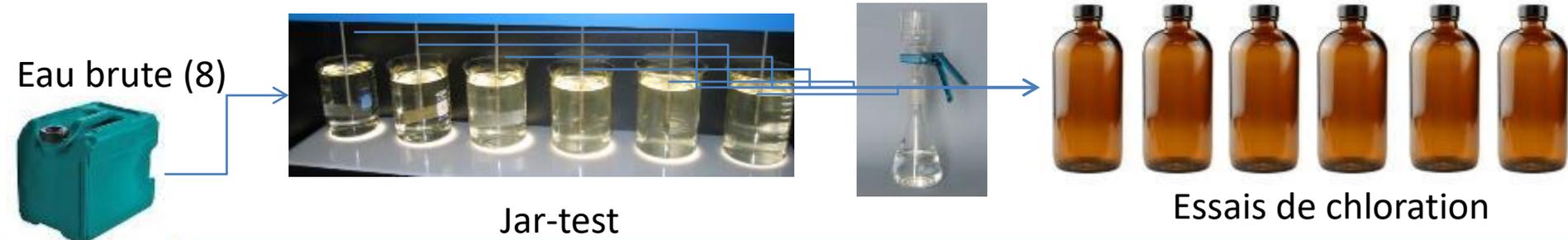
- Autres longueurs d'ondes pertinentes?



# Suivi des sous-produits de la désinfection

## Méthodologie

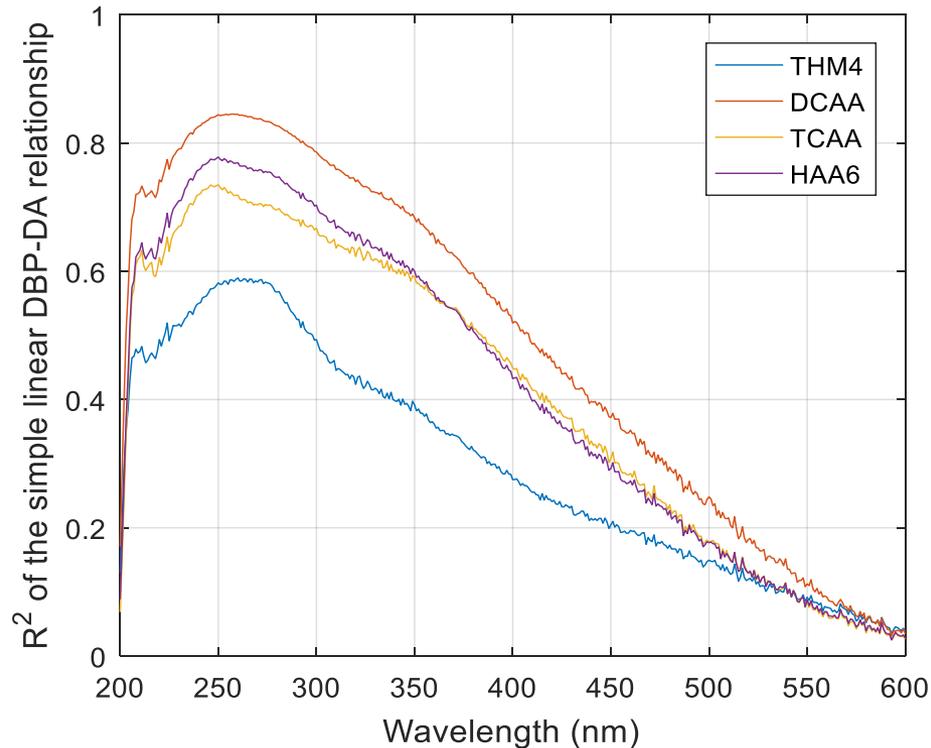
1. Jar-tests et essais de chloration
2. Sélection des longueurs d'ondes pour régression
  - a) Par régression multilinéaire
  - b) Par régression LASSO
3. Calibration et validation des relations SPD- $\Delta A$  multilinéaires



# Suivi des sous-produits de la désinfection

## Résultats

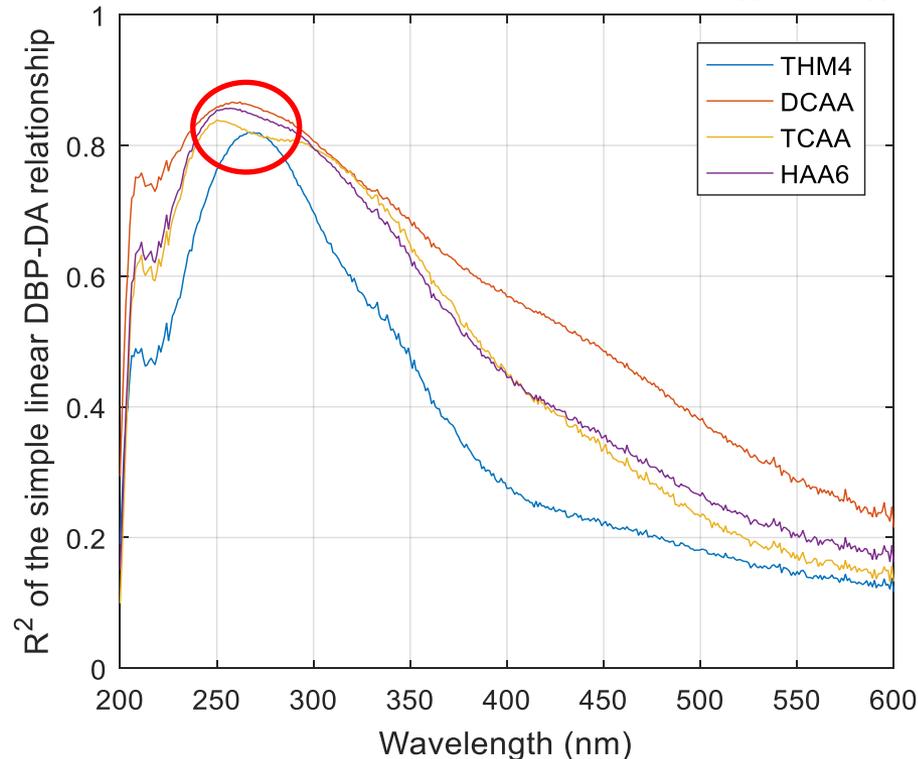
### 1. Relation linéaire simple SPD = fct ( $\Delta A_x$ )



# Suivi des sous-produits de la désinfection

## Résultats

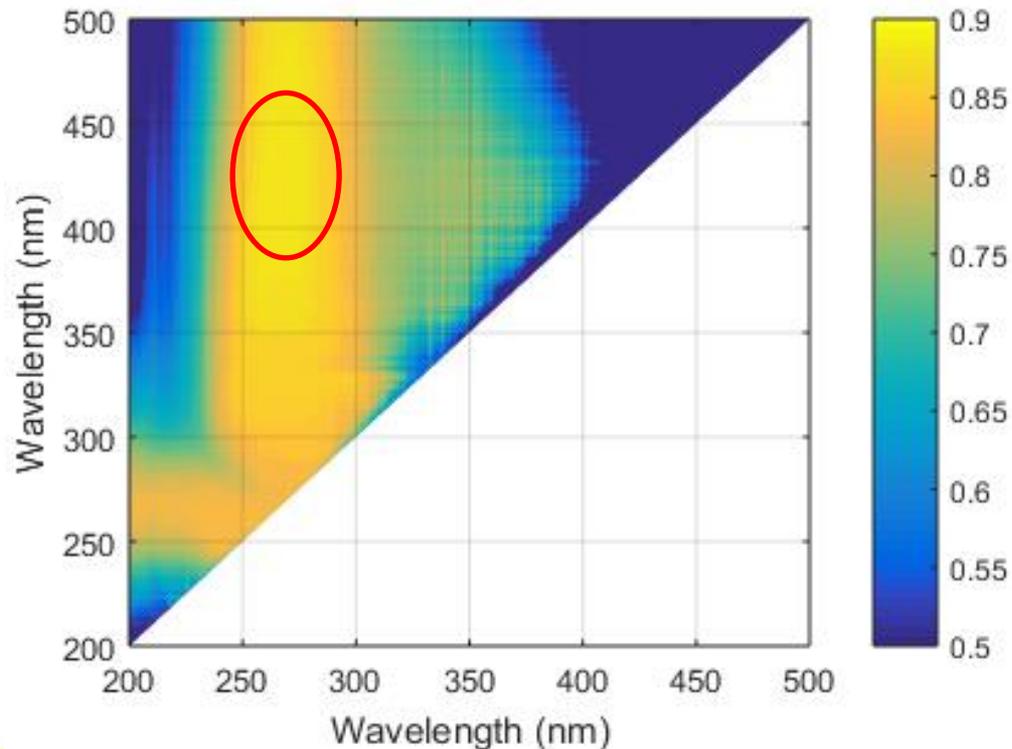
### 2. Relation multilinéaire SPD = fct ( $A_x$ , $\Delta A_x$ )



# Suivi des sous-produits de la désinfection

## Résultats

### 3. Relation multilinéaire THM4 = fct ( $A_x$ , $\Delta A_x$ , $A_y$ , $\Delta A_y$ )



# Suivi des sous-produits de la désinfection

## Résultats

$$THM4 = (4.4 \pm 1.9) - (1000 \pm 150) \times A270 + (6400 \pm 500) \times \Delta A270 - (6000 \pm 500) \times \Delta A425$$

$$DCAA = -(0.0 \pm 0.3) - (60 \pm 40) \times A255 + (1800 \pm 200) \times \Delta A255 - (2200 \pm 300) \times \Delta A425$$

$$TCAA = -(0.2 \pm 0.3) - (250 \pm 30) \times A250 + (3500 \pm 200) \times \Delta A250 - (1200 \pm 300) \times \Delta A425$$

$$HAA6 = (0.7 \pm 2.5) - (510 \pm 90) \times A250 + (6600 \pm 420) \times \Delta A250 - (6200 \pm 1300) \times \Delta A425$$



# Suivi des sous-produits de la désinfection

## Résultats

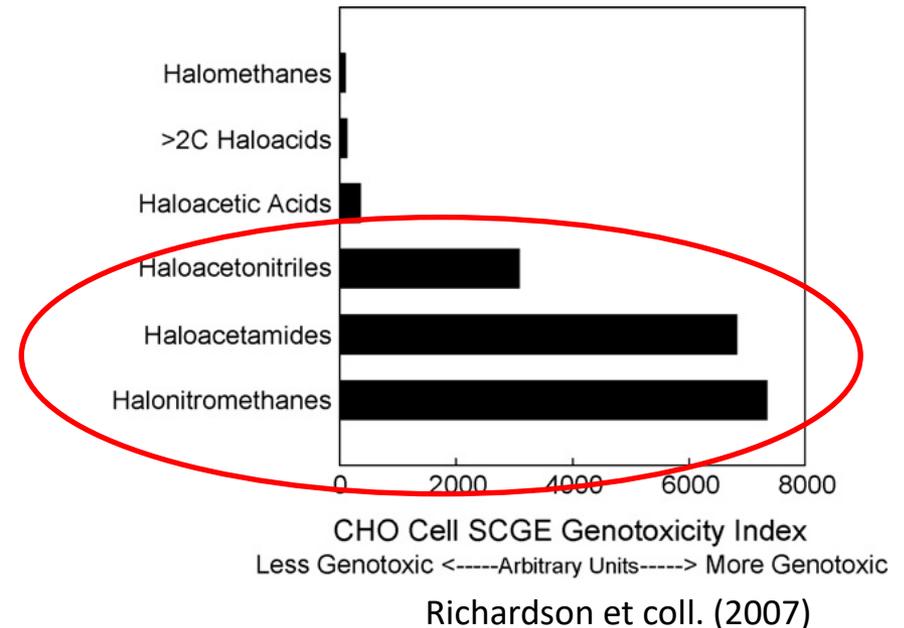
- ✓ Paramètres de régression  $A_x$ ,  $\Delta A_x$  et  $\Delta A_{425}$ , pour tous les SPD étudiés
- ✓ p-value des paramètres de régression  $< 0,01$
- ✓ Performance équivalente sur les données de validation
- ✓ Limites :
  - ✓ pH de chloration constant  $\approx 7,0$
  - ✓ Filtration en laboratoire  $0,7 \mu\text{m}$  en fibre de verre
  - ✓ Eaux brutes pratiquement sans bromure ( $[\text{Br}^-] \leq 15 \mu\text{g/L}$ )



# Recherches futures

## Suivi des concentrations de SPD par $\Delta A$

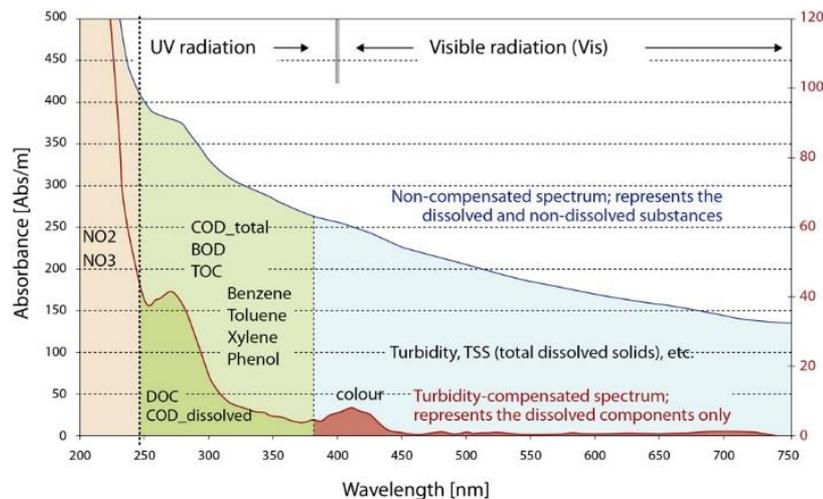
- ✓ SPD non réglementés (HAN, CPK, HK)



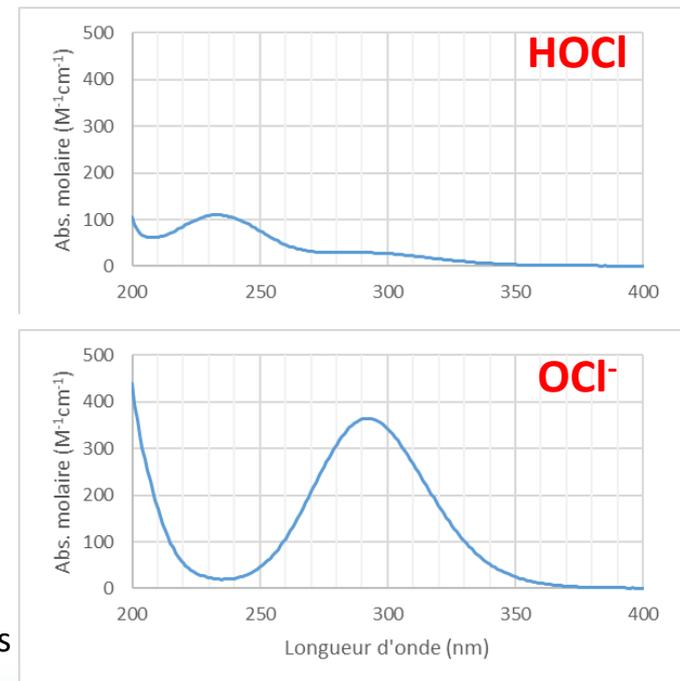
# Recherches futures

## Suivi des concentrations de SPD par $\Delta A$

- ✓ Autres oxydants?
- ✓ Suivi en continu à l'échelle réelle?



<https://www.s-can.at/fr/a-propos#measuring-principles>



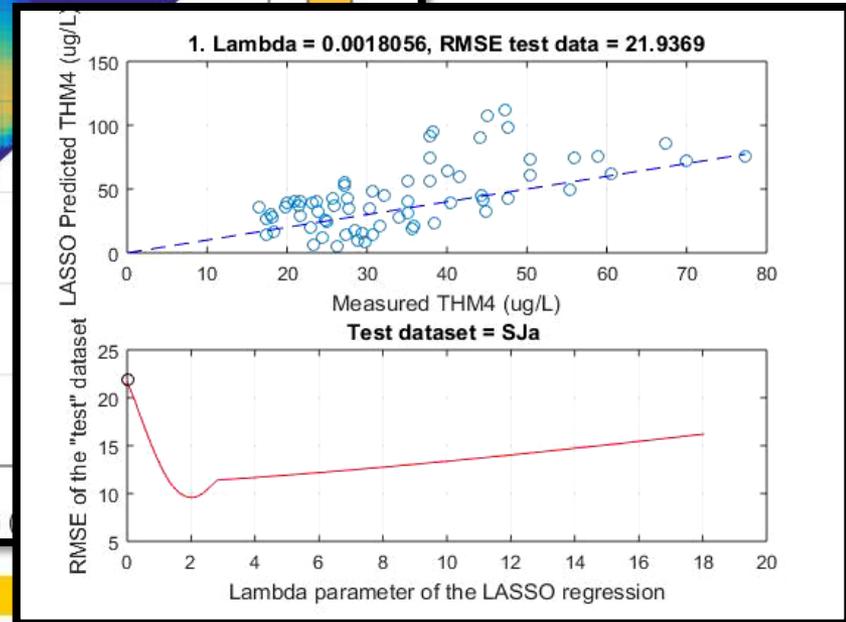
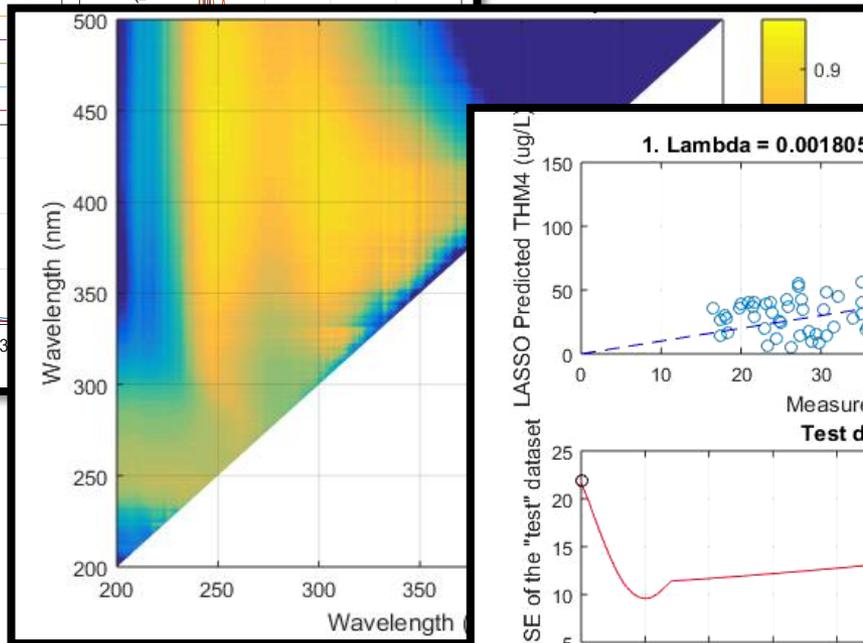
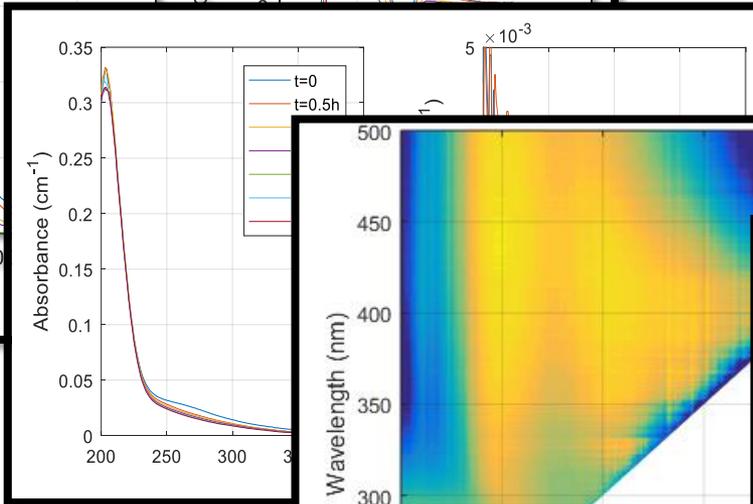
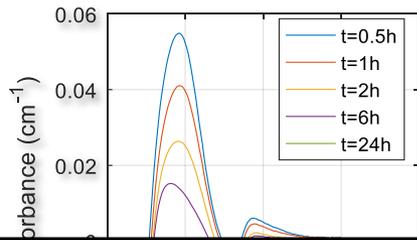
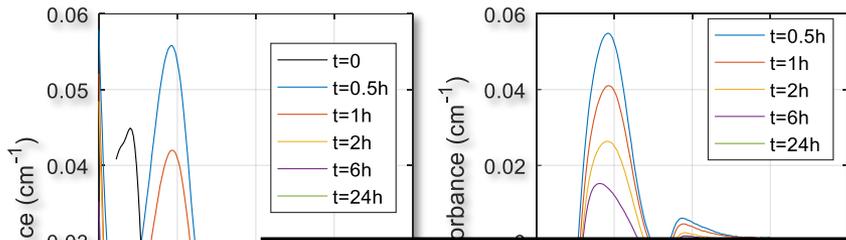
# Réflexion finale

- ✓ 2000 : Walkerton, Ontario
- ✓ 2014 : Flint, Michigan
- ✓ 2016 : Havelock North, Nouvelle-Zélande

**Le suivi en continu de la qualité microbiologique et physicochimique de l'eau traitée, la prochaine révolution en eau potable?**



# Questions et commentaires



# Remerciements

- ✓ Mes co-auteurs
- ✓ Sabrina Simard, Michel Bisping
- ✓ Le personnel des usines d'eau potable
- ✓ CRSNG, Fond Marthe-et-Robert-Ménard, Centr'Eau pour le financement du projet

