

# Traitement des métabolites du chlorothalonil

## Synthèse des résultats



**Casino de Montbenon – 8 février 2023**



**Pierre-Antoine Hildbrand**

Conseiller municipal en charge de la Direction Sécurité et économie



**Sébastien Apothéloz**

Chef du Service de l'eau



**Christophe Mechouk**

Chef de la division Etudes & Constructions du Service de l'eau



**Alexandra Hauret**

Ingénieure procédés et cheffe de projet du Service de l'eau



**Thi Luyen Savy**

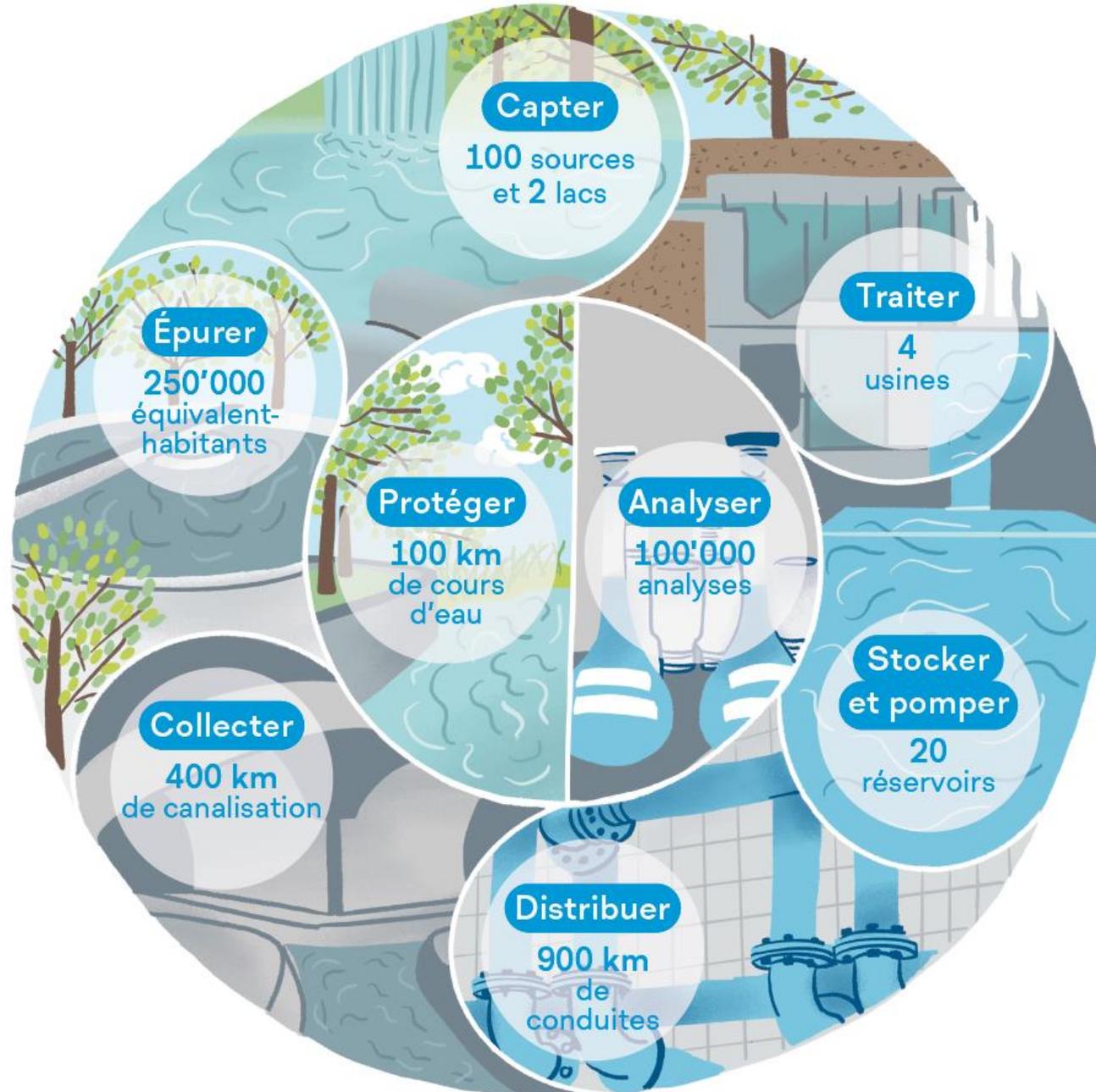
Ingénieure procédés de traitement du Service de l'eau

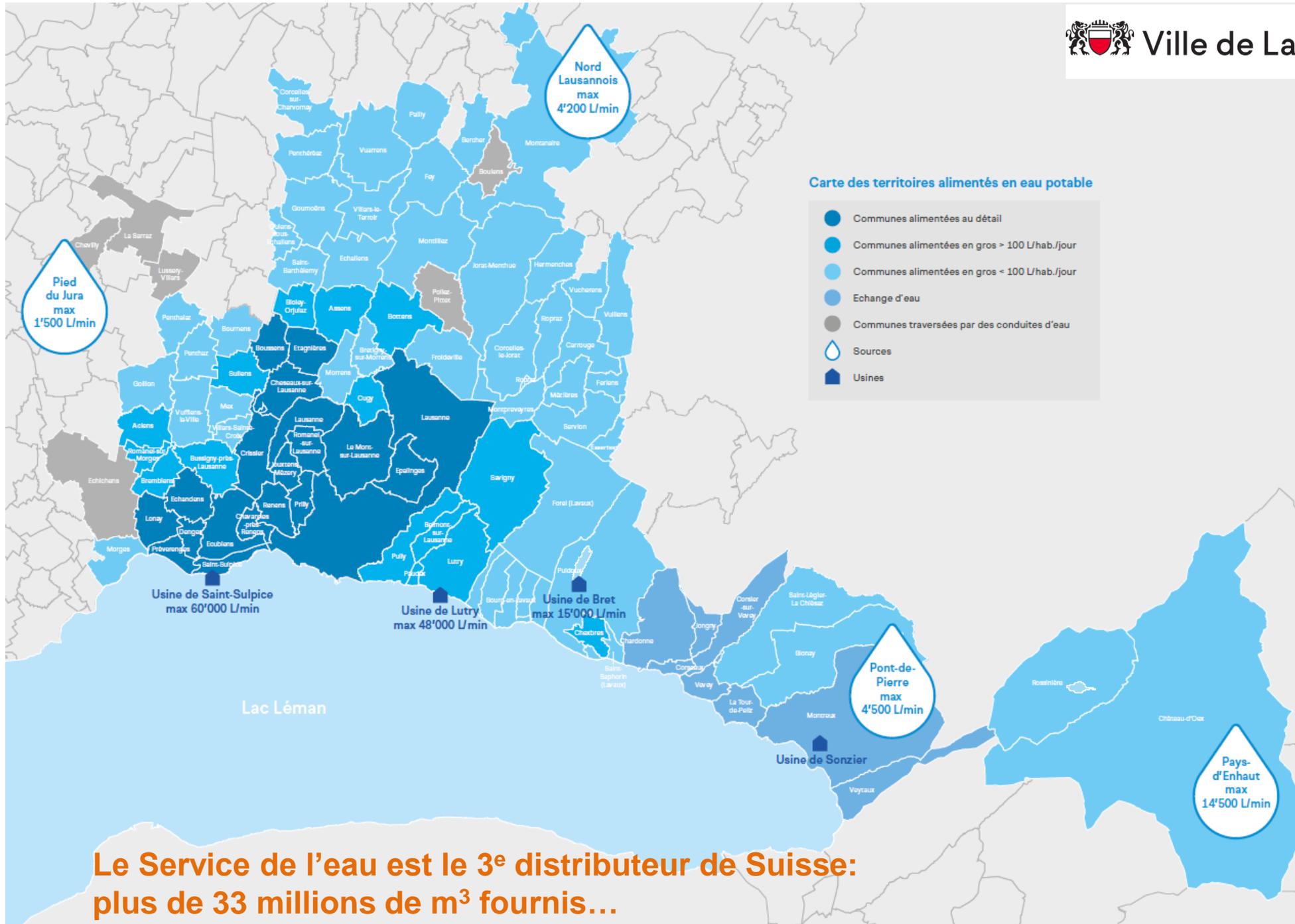


**Julien Ducry**

Inspecteur cantonal des eaux à l'Office de la consommation

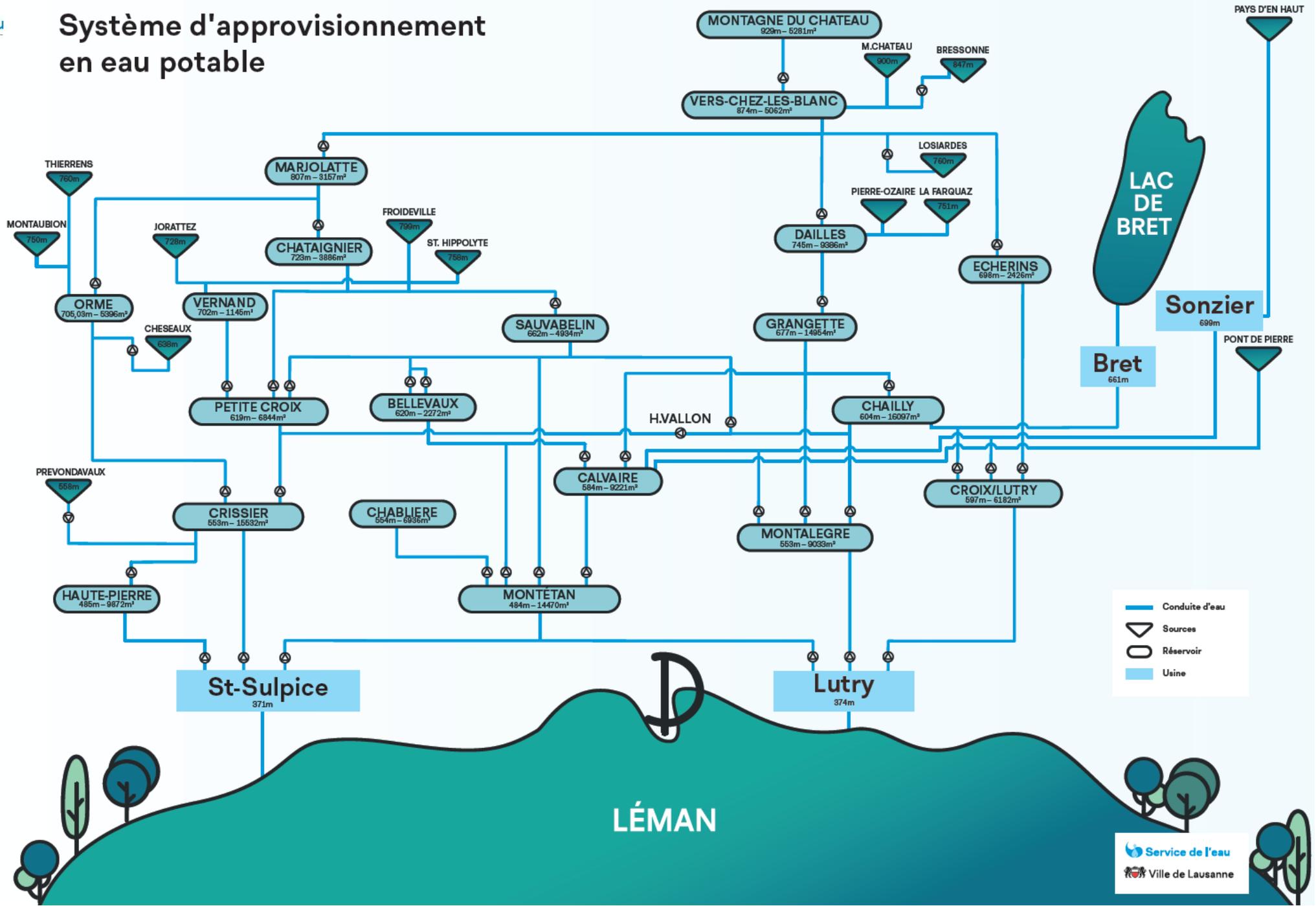
1. Accueil et introduction
2. Le chlorothalonil et ses métabolites : contexte
3. Les techniques de traitement du chlorothalonil
4. Les ressources à traiter
5. Les essais pilotes
6. Synthèse des résultats
7. Comparaison technico-économique des filières de traitement
8. Conclusions et perspectives



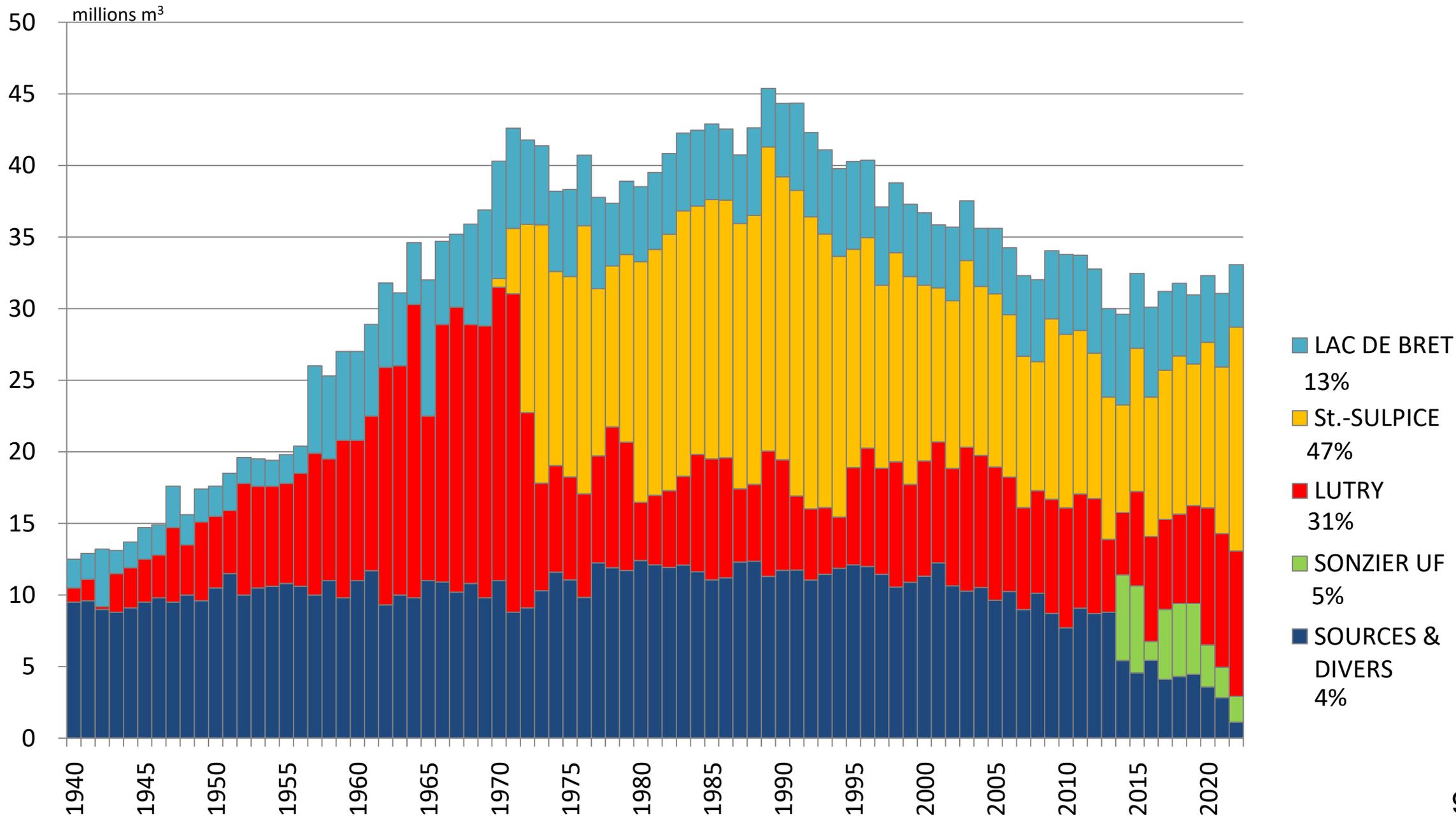


**Le Service de l'eau est le 3<sup>e</sup> distributeur de Suisse:  
plus de 33 millions de m<sup>3</sup> fournis...**

# Système d'approvisionnement en eau potable



# Production annuelle d'eau potable 1940-2022



# Un impact médiatique fort



La lenteur de réaction du canton face au chlorothalonil est pointée. Deux captages affectés à Lausanne



L'usage du lisier est souvent montré du doigt pour expliquer la pollution des eaux souterraines se répercutant sur les captages d'eau potable destinés à la population. ALAN WICHERT/AGF/REUTERS

## La contamination de l'eau inquiète



## Alerte aux pesticides dans l'eau potable

Les résidus du fongicide chlorothalonil contaminent plusieurs captages en Suisse. Les critiques montent contre la lenteur de Berne à identifier et interdire les produits dangereux

Sylvain Besson  
et Philippe Stalder



Suisse  
Publié le 04 février 2020 à 15:50 - Modifié le 04 février 2020 à 15:58

### Un autre résidu du chlorothalonil jugé indésirable dans l'eau potable



Chlorothalonil: interdit mais plus que jamais problématique pour les distributeurs d'eau potable On en parle / 12 min. / le 04 février 2020

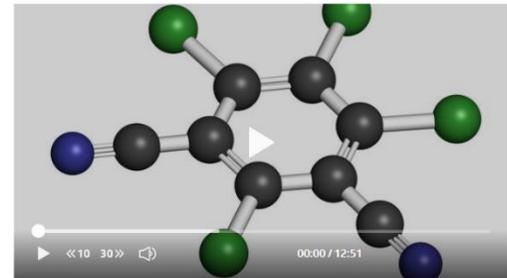
Depuis l'interdiction du chlorothalonil par la Confédération en décembre, tous les produits de dégradation de ce fongicide sont indésirables dans l'eau potable. Or, la concentration de deux d'entre eux dépasse souvent la norme dans les eaux souterraines du Plateau, a appris la RTS.



ACCUEIL INFO

Suisse  
Publié le 18 novembre 2022 à 06:43 - Modifié le 18 novembre 2022 à 11:46

### En Suisse, 700'000 personnes touchées par de l'eau contenant des résidus du chlorothalonil



700'000 Suisses touchés par de l'eau contenant des résidus de chlorothalonil On en parle / 12 min. / le 17 novembre 2022

C'est ce qui ressort d'un rapport publié en septembre dans le cadre du Protocole International "Eau et Santé". Pour la première fois, des données ont été récoltées sur les produits phytosanitaires et leurs produits de dégradation, les métabolites, présents dans l'eau.



PLANÈTE - POLLUTIONS

## Les eaux en Suisse largement contaminées par des produits de dégradation du chlorothalonil, un pesticide interdit en 2019

Syngenta, qui commercialisait le fongicide, a attaqué les autorités sanitaires fédérales pour leur communication sur la dangerosité des molécules.

Par Stéphane Foucart

Publié le 21 septembre 2022 à 19h00, mis à jour le 22 septembre 2022 à 08h36 - Lecture 1 min. - [Read in English](#)

Ajouter à vos sélections



Fribourg Modifié le 6 juillet 2020 à 14:16

## Traces de chlorothalonil dans les eaux de plusieurs districts fribourgeois



Trop du fongicide chlorothalonil a été trouvé dans plus de 40% des eaux potables fribourgeoises. / 12h45 / 1 min. / le 6 juillet 2020

Pour Lausanne, six communiqués de presse :

- **30.08.19** Le chlorothalonil, une substance surveillée de près depuis des années par le Service de l'eau de la Ville de Lausanne ;
- **13.02.20** Le chlorothalonil et ses métabolites: point de situation n°2 ;
- **13.03.20** Le chlorothalonil et ses métabolites: point de situation n°3 ;
- **13.07.20** Le chlorothalonil et ses métabolites: point de situation n°4 – mise en place de pilotes de traitement sur le réseau d'eau potable de Lausanne ;
- **31.05.22** Le chlorothalonil et ses métabolites: point de situation n° 5 – succès des essais pilotes de traitement ;
- **06.07.22** Le chlorothalonil et ses métabolites: point de situation n°6 – correction du pH de l'eau contre les problématiques d'eau colorée dans quatre communes.



Ville de Lausanne

## Communiqué

### Le chlorothalonil, une substance surveillée de près depuis des années par le Service de l'eau de la Ville de Lausanne

Depuis fin juin 2019, l'Office fédéral de la sécurité alimentaire et des affaires vétérinaires considère que certains métabolites du chlorothalonil dans l'eau potable peuvent présenter un danger pour la santé du consommateur. Le seuil admis dans l'eau potable est donc de 0,1 µg/l. En sa qualité de distributeur d'eau, la Ville de Lausanne veille à fournir continuellement une eau potable irréprochable aux 380'000 consommateurs de l'agglomération. Les captages présentant un dépassement de la valeur maximale du pesticide ont été détournés pour être exclus du réseau d'eau potable lausannois.

Admis depuis les années 70 en Suisse, le chlorothalonil est un pesticide de la famille des fongicides utilisé notamment dans la culture des pommes de terre, des céréales, des légumes, de la vigne et des plantes ornementales. Ce pesticide a laissé des traces dans les eaux souterraines et certains de ses métabolites (produits de décomposition) y ont été décelés. En se basant sur l'état actuel des connaissances, l'Office fédéral de la sécurité alimentaire et les affaires vétérinaires (OSAV) a considéré qu'un risque pour la santé ne pouvait être exclu et certains métabolites du chlorothalonil ont dès lors été qualifiés comme « pertinents ».

Selon la législation fédérale en vigueur, pour chaque pesticide et ses métabolites pertinents, le seuil de 0,1 millionième de gramme par litre (µg/l) ne doit pas être dépassé. Pour réduire les risques liés à ces métabolites, des mesures simples et applicables sans délai peuvent être mises en œuvre, comme le mélange d'eaux potables issues de sources différentes. Si des mesures plus lourdes s'imposent telles que le traitement de l'eau, un délai de deux ans est fixé aux fournisseurs d'eau.

#### La situation particulière de Lausanne

En 2013 déjà, le laboratoire du Service de l'eau a pu identifier et quantifier les métabolites du chlorothalonil. Il a averti l'Office cantonal de la consommation (OFCO) qui a, à son tour informé l'OSAV. En 2016, deux captages situés dans les hauts de Lausanne (captages des Mossues) présentant des taux élevés d'un métabolite ont été détournés par principe de précaution et d'entente avec l'autorité cantonale.

En août 2019, la Ville a décidé – en accord avec l'OFCO – d'adopter des mesures supplémentaires en raison de dépassements ponctuels du seuil de 0,1 µg/l.

- Détournement de deux des quatre captages de Cheseaux ;
- Détournement du captage de la Fontaine à Basset (Chalet-à-Gobet) ;
- Dilution avec l'eau du Léman des captages de Thierrens et de Montaubion permettant d'atteindre un seuil largement inférieur à 0,1 µg/l.

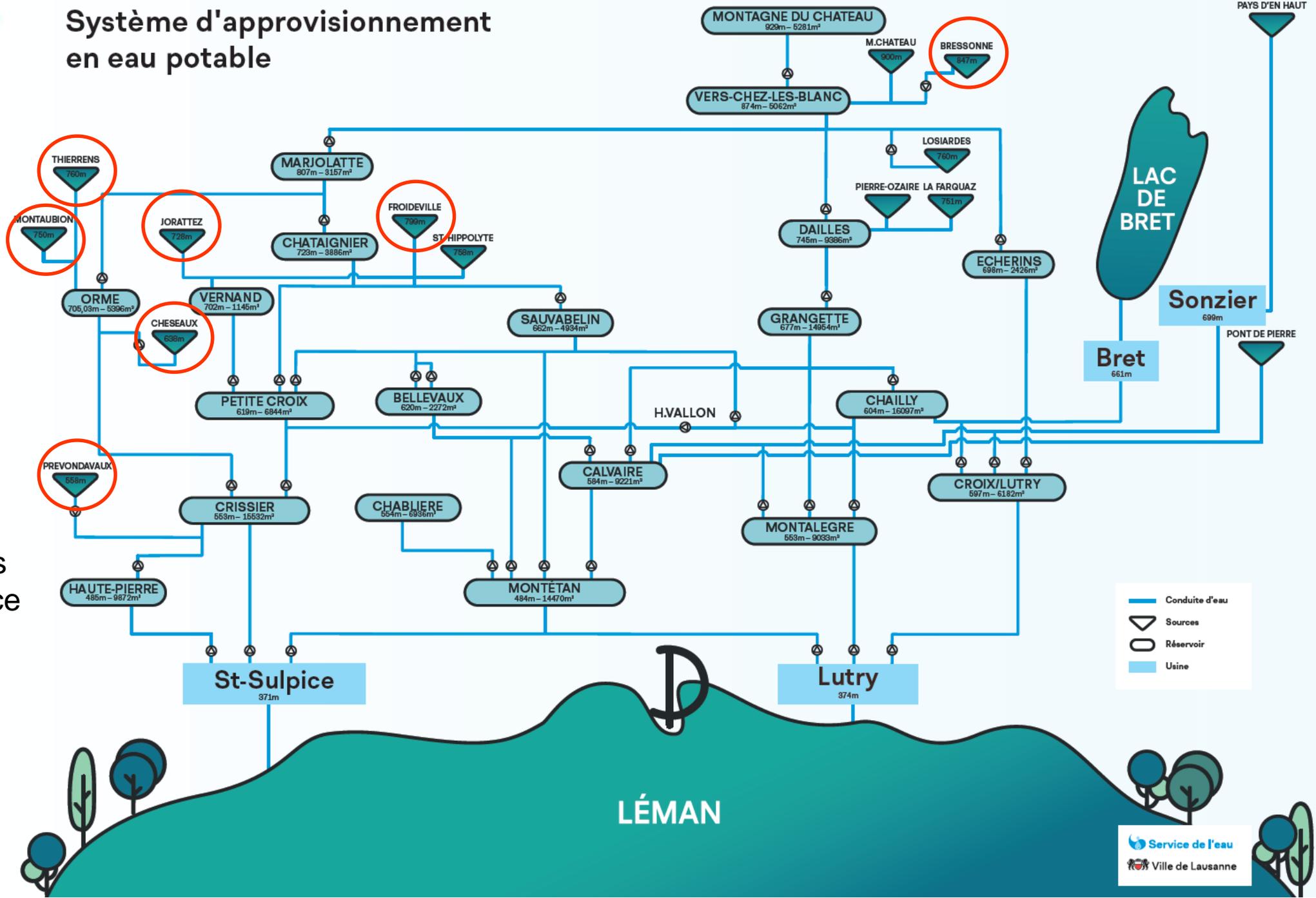
Direction de la sécurité  
et de l'économie  
Case postale 5354  
1002 Lausanne  
T +41 21 315 32 11  
sgse@lausanne.ch

1 / 2

- Dès 2014, des résidus de chlorothalonil et de ses produits de dégradation (métabolites) ont été détectés sur certaines adductions exploitées par le Service de l'Eau.
- En 2016, deux captages situés dans les hauts de Lausanne (captages des Mossues) présentant des taux élevés d'un métabolite ont été mis hors service par principe de précaution.
- En août 2019, la Ville de Lausanne a décidé – en accord avec l'OFCO – d'adopter les mesures suivantes :
  - mise hors service de deux des quatre captages de Cheseaux ;
  - mise hors service du captage de la Fontaine à Basset (Chalet-à-Gobet) ;
  - dilution avec l'eau du Léman des captages de Thierrens et de Montaubion permettant d'atteindre un seuil inférieur à 0,1 µg/L.
- Début 2020, décision a été prise de mettre également hors service les captages de Thierrens et de Montaubion et un des groupes de captages alimentant le réservoir de Vernand (adduction de Jorattez).

**Pertes en ressources pour le Service de l'eau: 5 % des volumes distribués, soit environ 2'000'000 m<sup>3</sup>/an.**

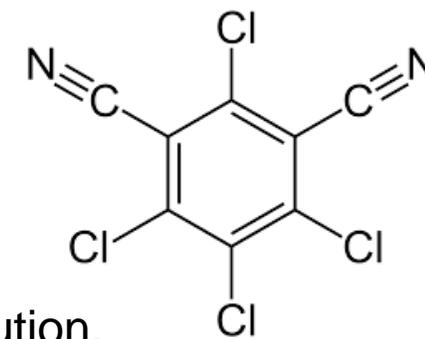
# Système d'approvisionnement en eau potable



○ Adductions hors service

1. Accueil et introduction
2. Le chlorothalonil et ses métabolites : contexte
3. Les techniques de traitement du chlorothalonil
4. Les ressources à traiter
5. Les essais pilotes
6. Synthèse des résultats
7. Comparaison technico-économique des filières de traitement
8. Conclusions et perspectives

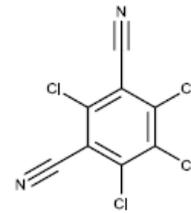
## Contexte



- Chlorothalonil employé comme pesticide depuis les années 1970.
- Depuis 2019 : classification comme cancérogène probable → par principe de précaution, classification comme potentiellement génotoxique avec ses métabolites.
- Janvier 2020 : interdiction d'emploi en Suisse.
- Limite réglementaire : 0,1 µg/L par substance (et 0,5 µg/L pour la somme).
- Stratégie du Service de l'eau de Lausanne : détournement des sources concernées par la problématique  
→ pertes en eau ~ 5% (2'000'000 m<sup>3</sup>/an).
- Crédit d'études 700'000 CHF → déterminer la solution technico-économique la plus adaptée. (adduction de Jorattez).

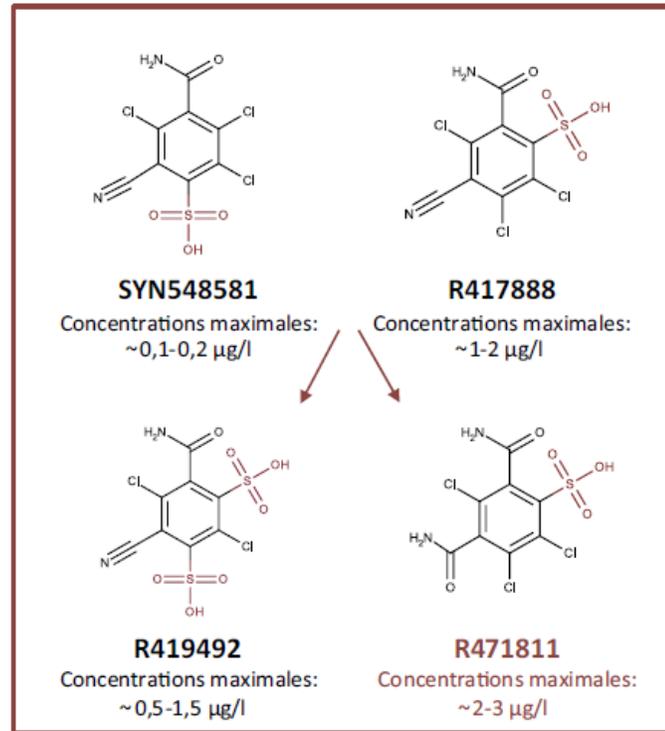


# Métabolites du chlorothalonil : principaux métabolites

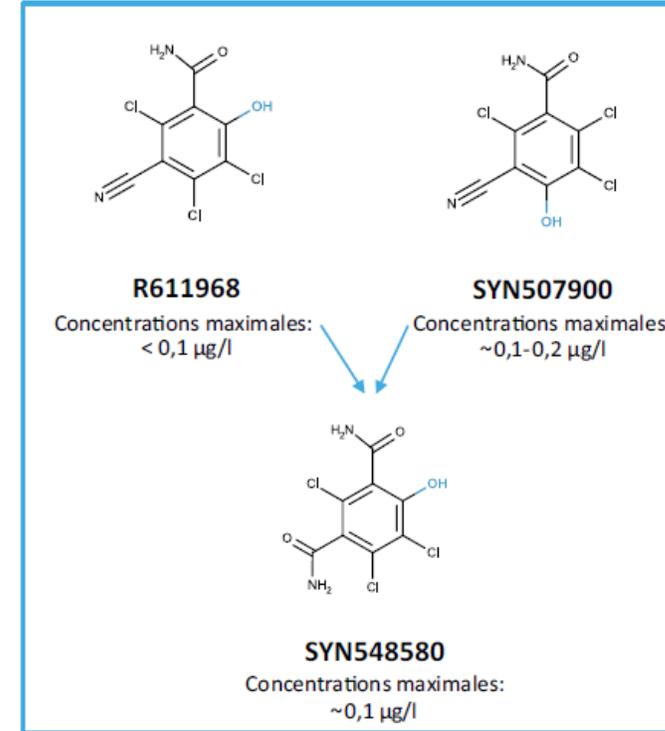


**Chlorothalonil**  
Improbable dans l'eau potable

## Acides sulfoniques



## Phénols



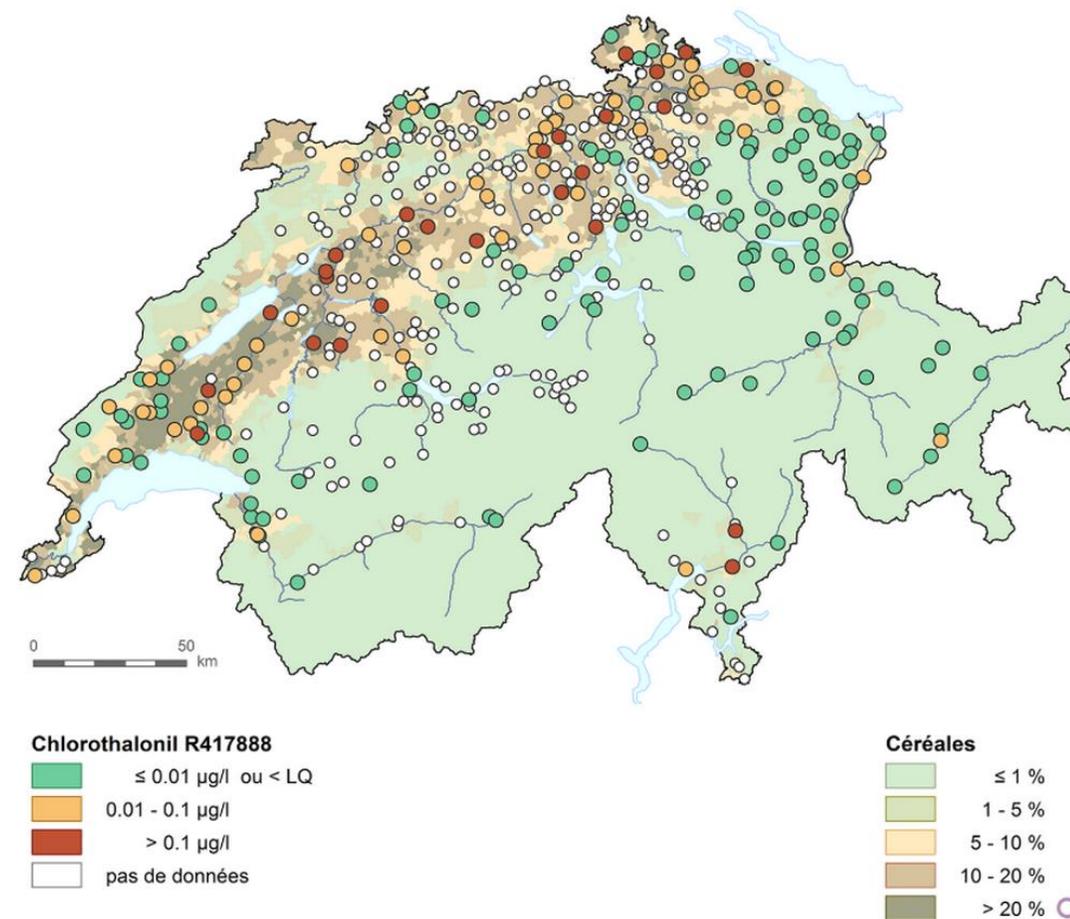
[Eawag, Factsheet, 2020]

Aujourd'hui, ses métabolites (produits de dégradation ou de transformation) sont fréquemment détectés dans l'eau destinée à la consommation.

Il semblerait que les analyses d'eaux de boisson puissent être limitées à celles des deux métabolites **R471811** et **R417888** (l'acide chlorothalonil-sulfonique).

Le **R471811** est le principal responsable de la dégradation de la qualité de l'eau, les concentrations mesurées étant généralement plus élevées pour ce composé. Il est suivi par le **R417888** et le **R419492**.

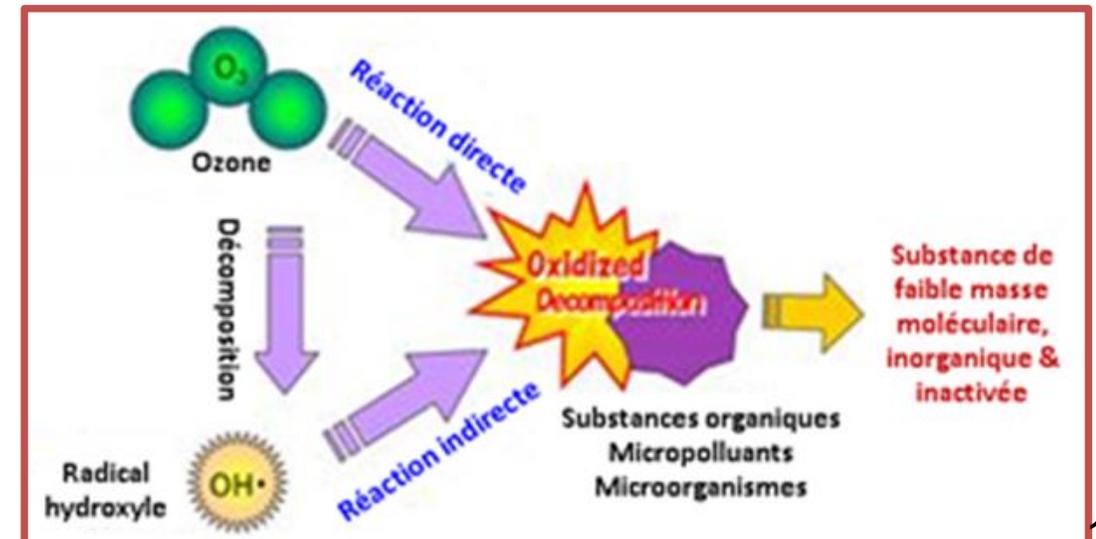
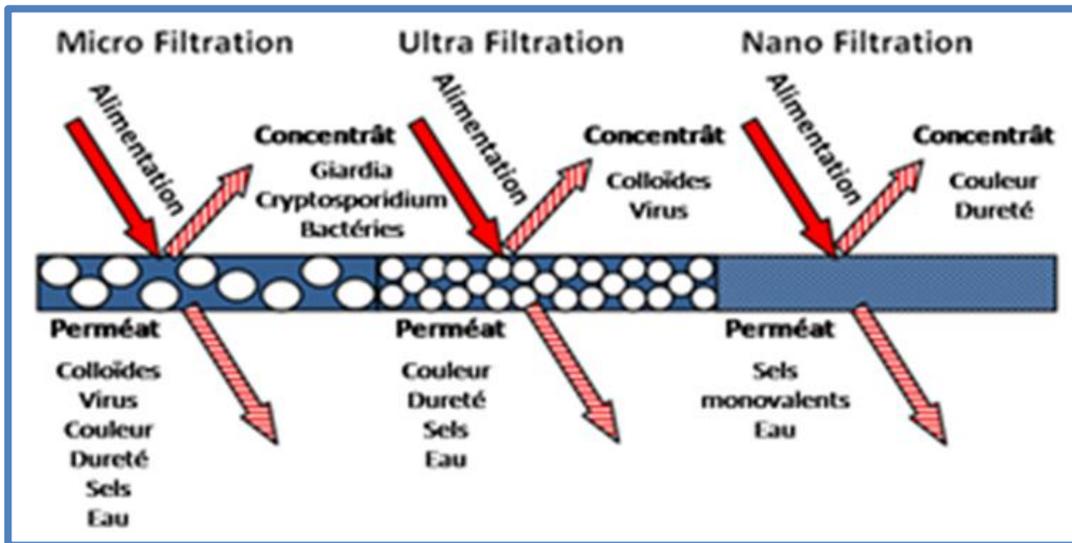
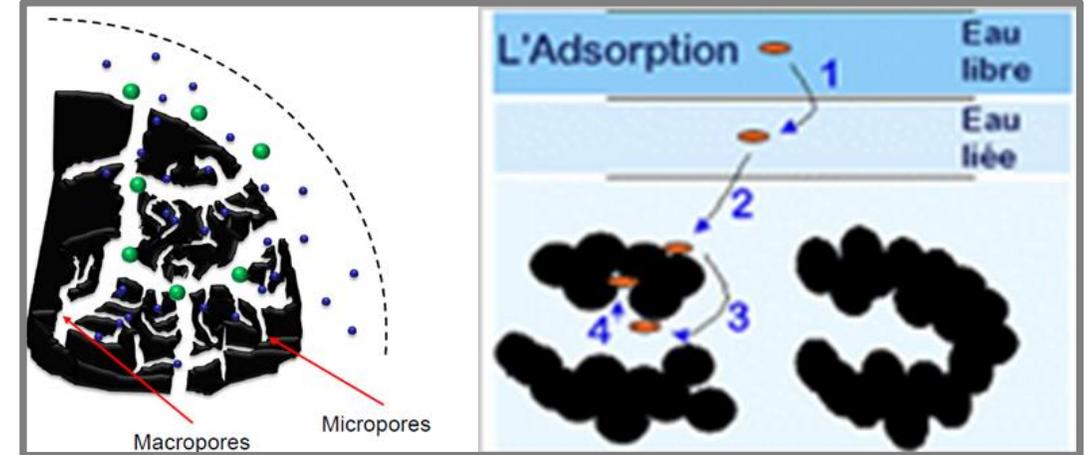
**Depuis le 12.12.2019, un seuil de 0,1 µg/L a été fixé pour les métabolites du chlorothalonil dans l'eau potable.**



Le chlorothalonil **R417888** dans les eaux souterraines du Plateau et de certaines grandes vallées. Concentration maximale par station de mesure NAQUA. LQ: limite de quantification analytique. Fondée sur les résultats de quelque 200 stations de mesure (étude pilote 2017-2018 et monitoring à long terme 2018). [OFEV]

1. Accueil et introduction
2. Le chlorothalonil et ses métabolites : contexte
3. Les techniques de traitement du chlorothalonil
4. Les ressources à traiter
5. Les essais pilotes
6. Synthèse des résultats
7. Comparaison technico-économique des filières de traitement
8. Conclusions et perspectives

- Adsorption sur charbon actif (CA) ;
- Oxydation par l'ozone ( $O_3$ ) ;
- Filtration membranaire (NF / OIBP).



	Acides sulfoniques				Phénols		
	R471811	R417888	R419492	SYN548581	SYN507900	SYN548580	R611968
Concentrations maximales (ordre de grandeur)	2-3 µg/l	1-2 µg/l	0,5-1,5 µg/l	0,1-0,2 µg/l	0,1-0,2 µg/l	~0,1 µg/l	<0,1 µg/l
Recharge artificielle de la nappe/filtration sur berge	Dépend fortement de la qualité de l'eau de surface et donc de la dilution obtenue						
Désinfection UV	-	-	-	-	+/-	+/-	+/-
Ozonation	-	-	-	-	++	++	++
Procédés d'oxydation avancée (radicaux OH)	-	-	-	-	+	+	+
Charbon actif	+/-	+	+/-	+	+	+	++
Osmose inverse	++	++	++	++	++	++	++

[Eawag, Factsheet, 2020]

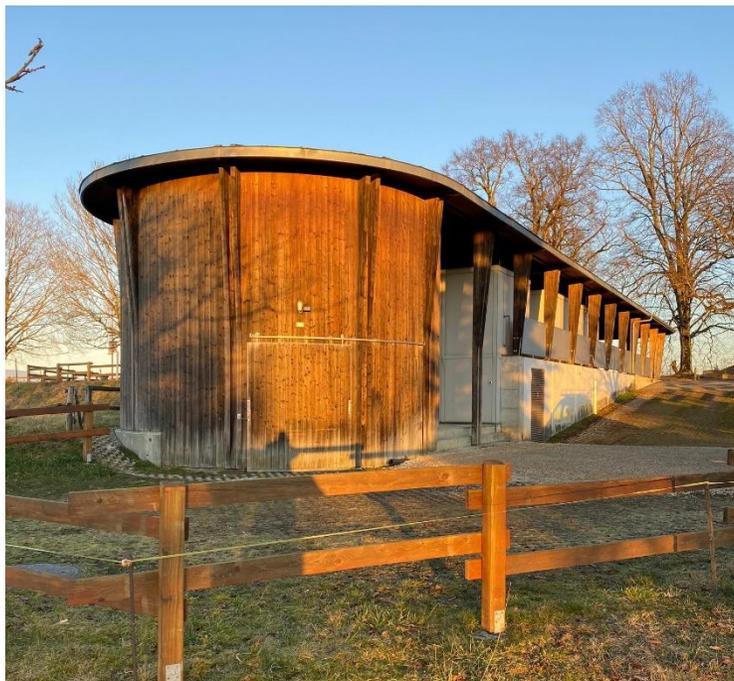
1. Accueil et introduction
2. Le chlorothalonil et ses métabolites : contexte
3. Les techniques de traitement du chlorothalonil
4. **Les ressources à traiter**
5. Les essais pilotes
6. Synthèse des résultats
7. Comparaison technico-économique des filières de traitement
8. Conclusions et perspectives

## Réservoir de l'Orme

Traitement des eaux de Thierrens

R417888 ~ 95 ng/L

R471811 ~ 225 ng/L



→ Peu de matière organique :

COT < 0.6 mg/L

UV < 1.5 m<sup>-1</sup>

→ Eaux dures : TH ≈ 27-30 °f

→ Eaux peu turbides < 0.2 NTU



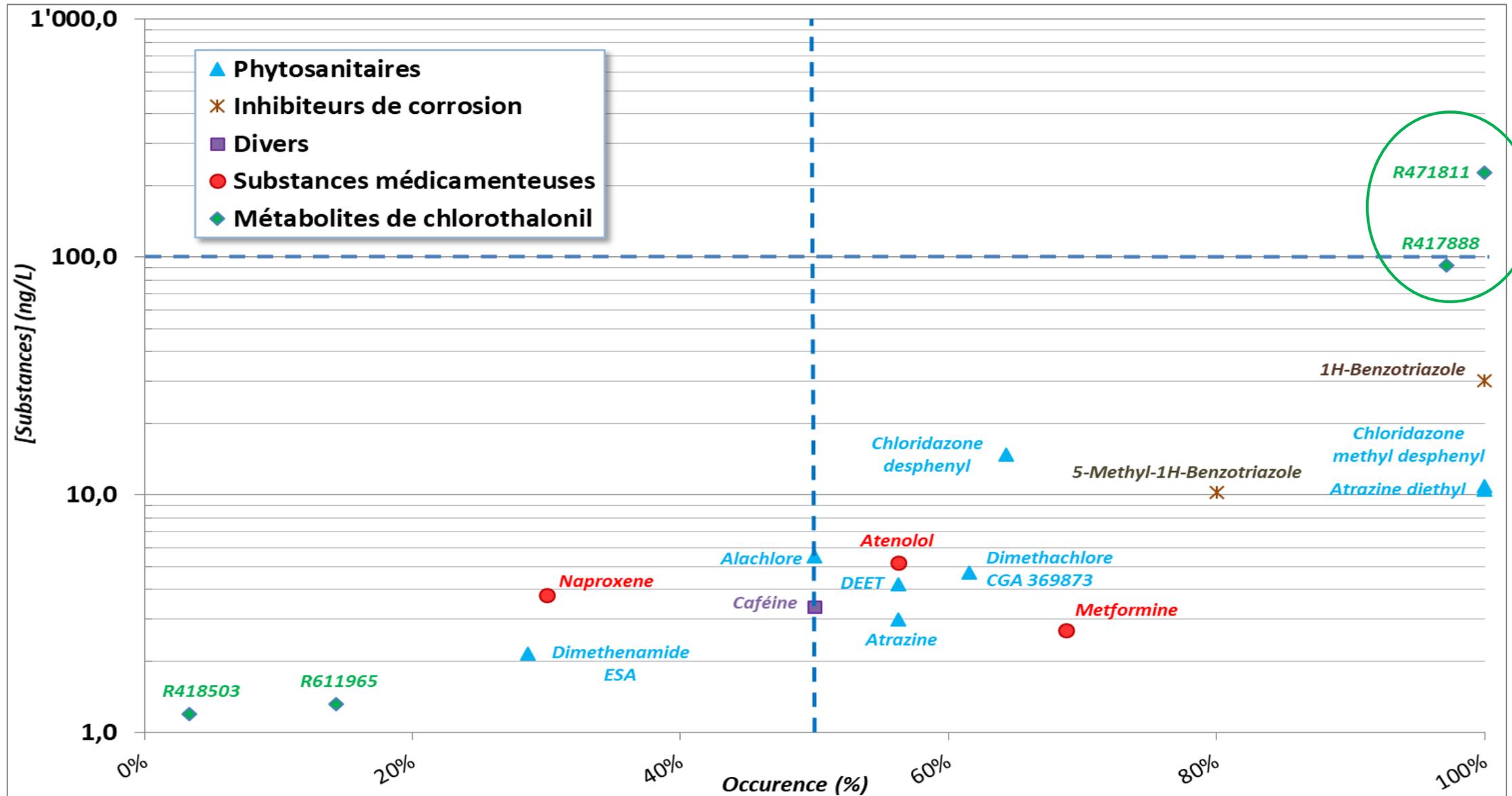
## Réservoir du Châtaignier

Traitement des eaux des Mossues

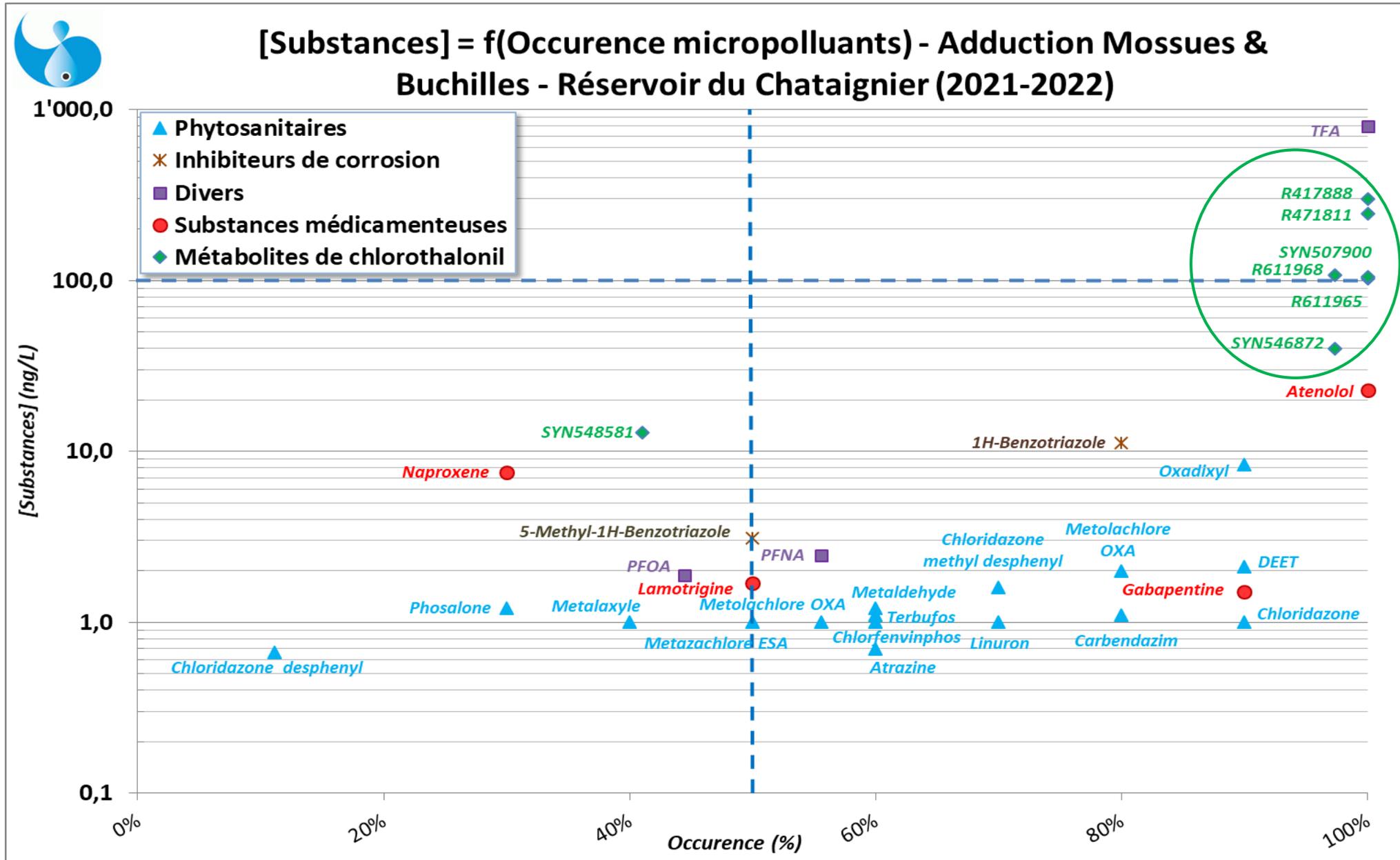
R417888 ~ 300 ng/L

R471811 ~ 250 ng/L

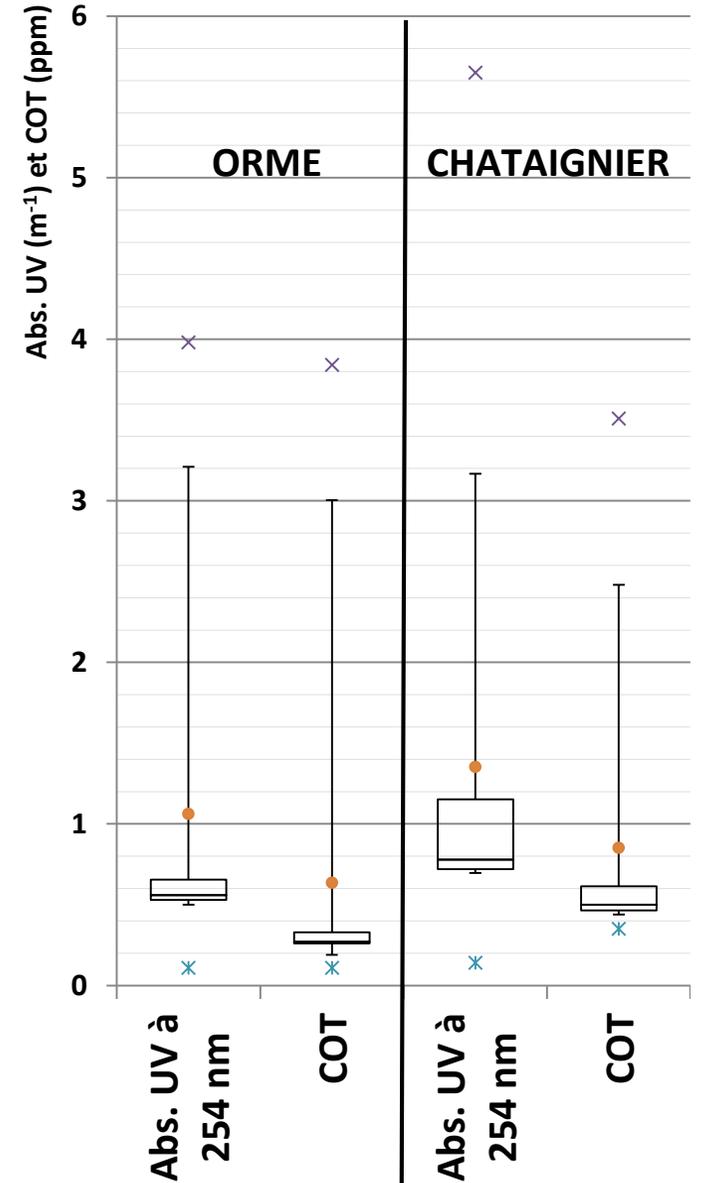
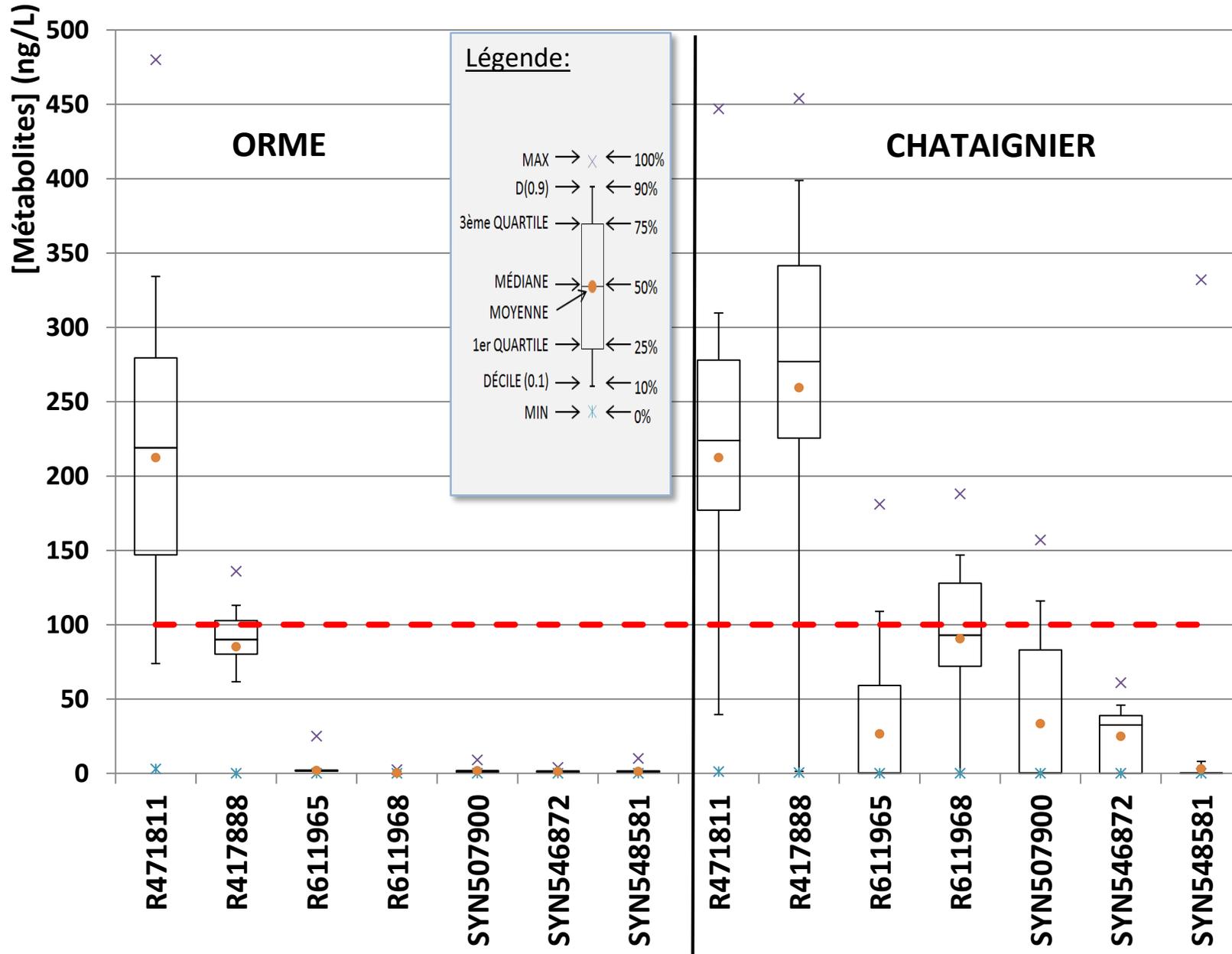
# Réservoir de l'Orme (Morrens) (nov. 20 – juin 22)



# Réservoir du Châtaignier (Mont-sur-Lausanne) (oct. 21 – déc. 22)



# Réservoirs de l'Orme (Morrens) et du Châtaignier (Mont-sur-Lausanne)



1. Accueil et introduction
2. Le chlorothalonil et ses métabolites : contexte
3. Les techniques de traitement du chlorothalonil
4. Les ressources à traiter
5. Les essais pilotes
6. Synthèse des résultats
7. Comparaison technico-économique des filières de traitement
8. Conclusions et perspectives

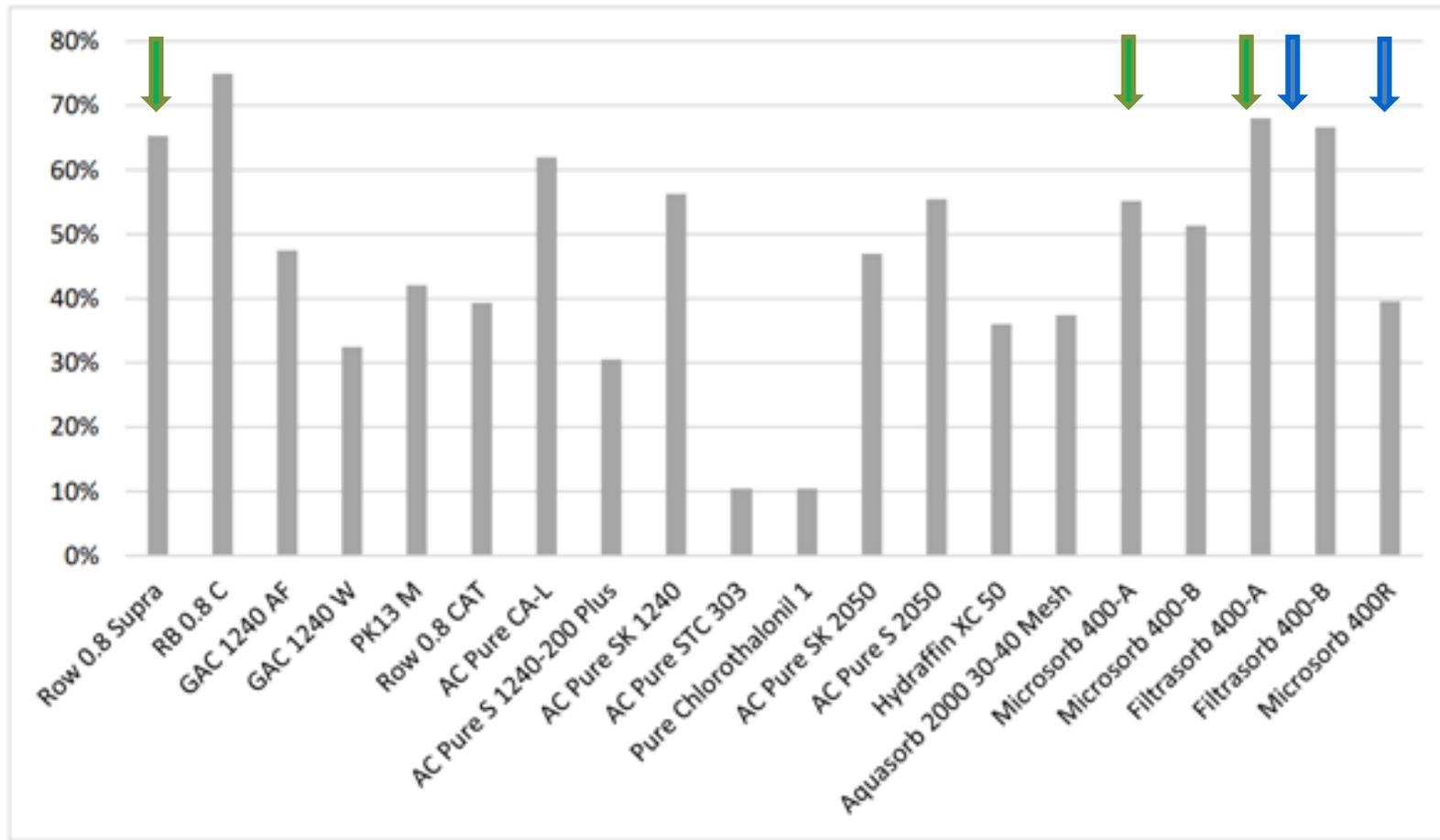


# Planning des essais

Nom de la tâche	Durée	Début	Fin	Semestre 2, 2020					Semestre 1		
				J	A	S	O	N	D	J	F
Essais préliminaires O3 et CA	66 jours	Mar 01.09.20	Mar 01.12.20								
Essais préliminaires NX Filtration	23 jours	Sam 01.08.20	Mar 01.09.20								
Essais SBA (compétition 811/ MO)	66 jours	Jeu 01.09.22	Jeu 01.12.22								
Orme - CAG	365 jours	Mer 06.10.21	Mar 28.02.23								
Orme - Opacarb FL	116 jours	Mar 06.10.20	Mar 16.03.21								
Orme - O3 + Opacarb FL	65 jours	Mar 22.06.21	Lun 20.09.21								
Orme - NF / OIBP	246 jours	Ven 22.01.21	Ven 31.12.21								
Châtaignier - Opacarb FL	138 jours	Jeu 21.10.21	Dim 01.05.22								
Châtaignier - O3 + Opacarb FL	170 jours	Jeu 09.06.22	Mer 01.02.23								
Châtaignier - NX Filtration	204 jours	Jeu 24.02.22	Mar 06.12.22								
Essais Corcelles-près-Payerne	369 jours	Ven 01.01.21	Mer 01.06.22								

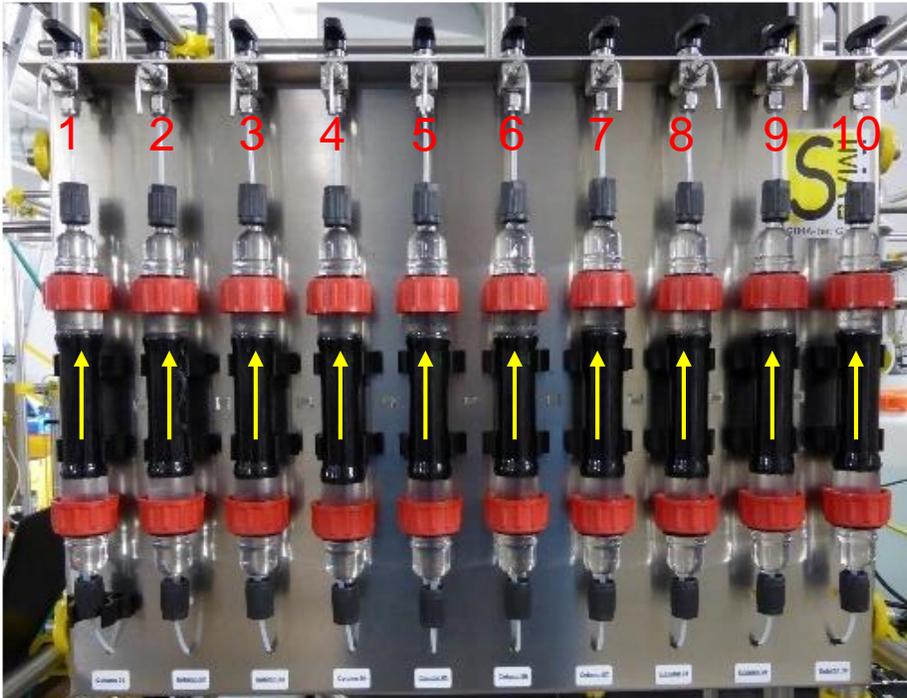


# Sélection préliminaire des charbons actifs (Dolder / RWB)



- Tests réalisés en laboratoire.
- Charbon actif broyé en dessous de 0,1 mm et mis en contact pendant 24h avec 200 mL d'eau du puits de la Vernaz à une dose de 5 mg/L.
- Analyse de 3 métabolites du chlorothalonil (R417888, R471811 et SYN507900) par LC-MS/MS.
- Aucune trace des métabolites R417888 et SYN507900 détectés après traitement.
- Charbons plus/moins adaptés pour l'adsorption du R471811.

- ❖ **Pilote colonnes CAG – SIMA-tec GmbH** (essais de comparaison des charbons et des paramètres d'exploitation) – réservoir de l'Orme – septembre 2021 à décembre 2022

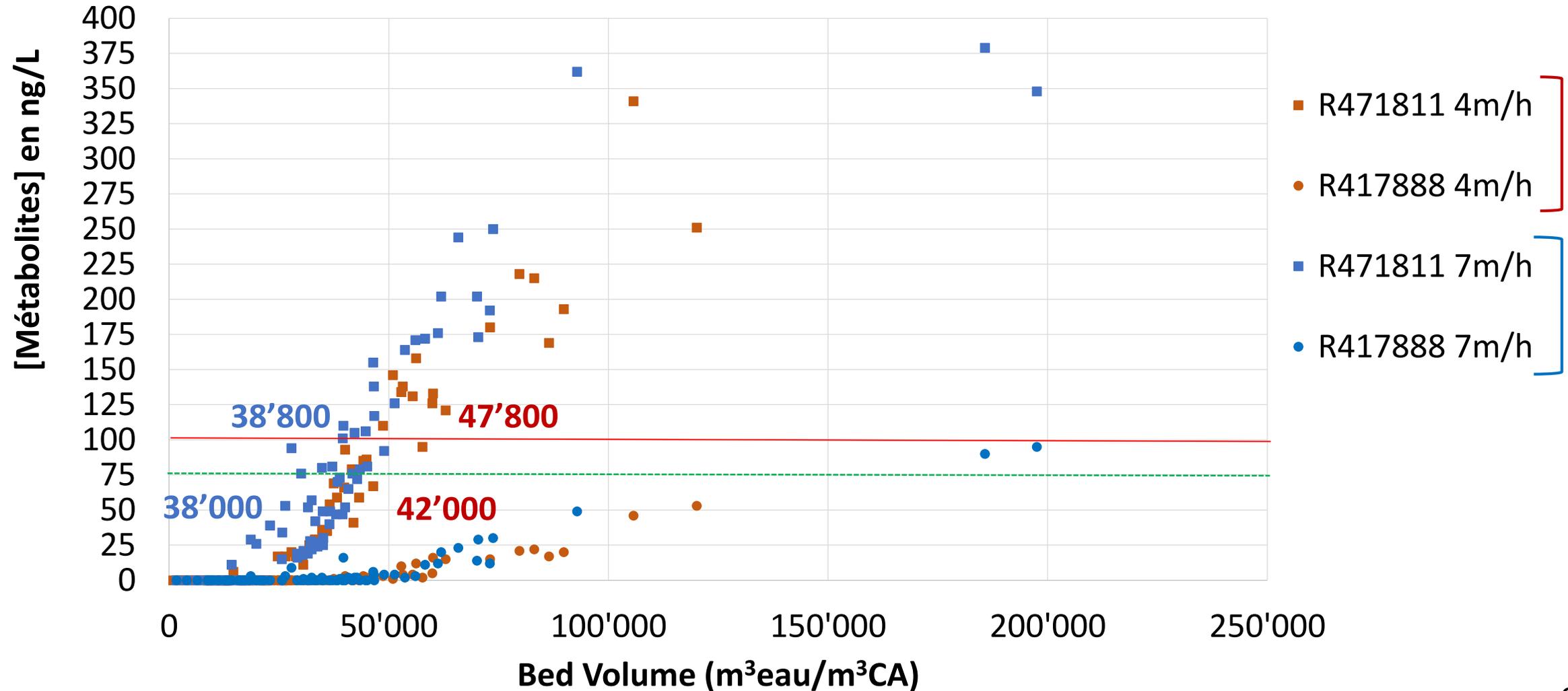


Paramètres de traitement	CAG ligne 1	CAG ligne 2
Vitesse de passage (m/h)	7	4
Temps de contact (min)	8	15

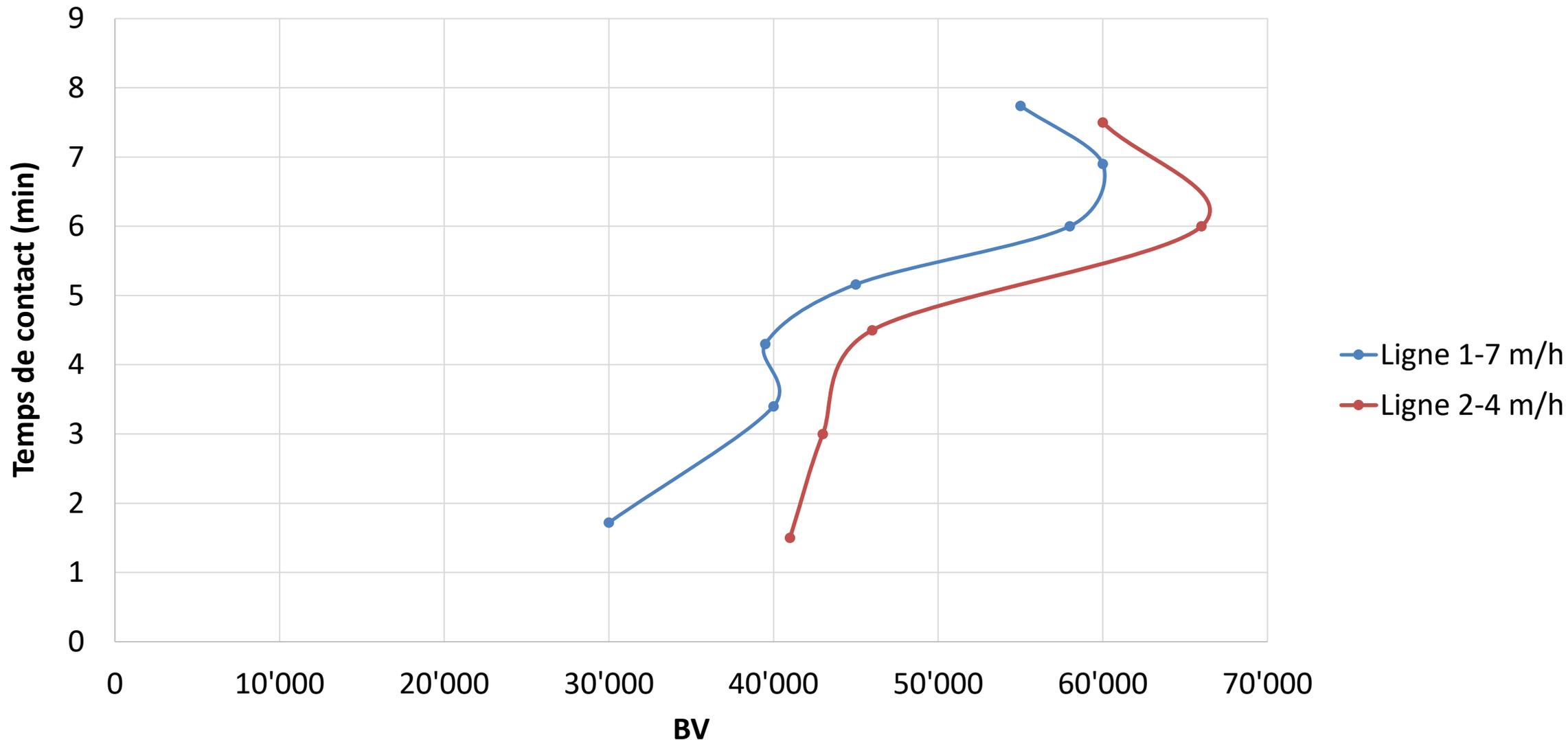


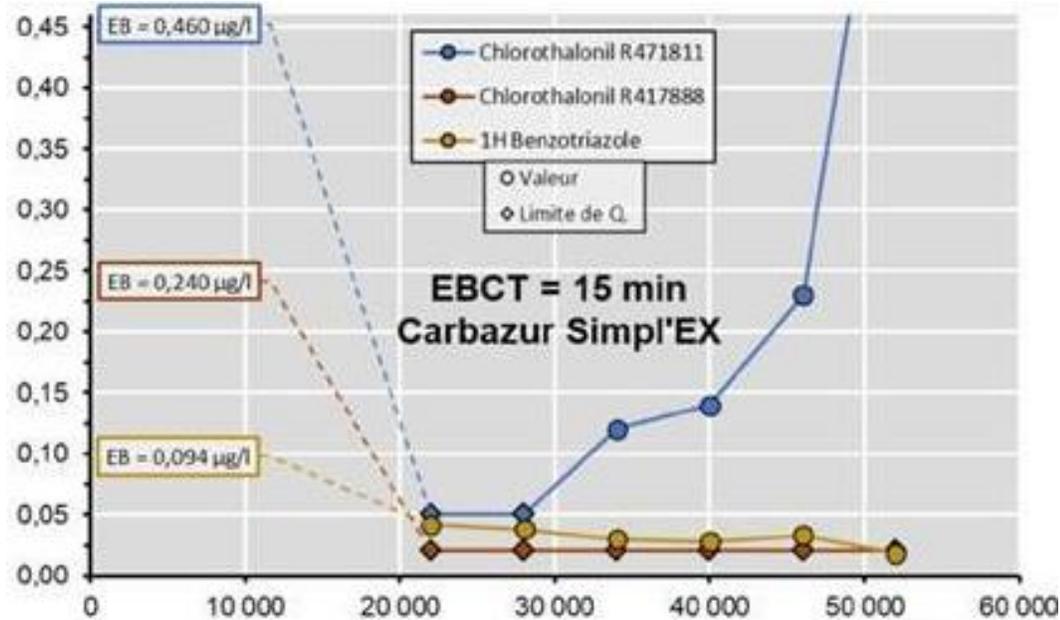
10 colonnes x 10 cm : 1m de CAG simulé  
Charbon Filtrasorb® 400 de Chemviron à base houille

Courbe de percée des métabolites  
[Métabolites] = f(BV)



## Influence du temps de contact : colonne CAG

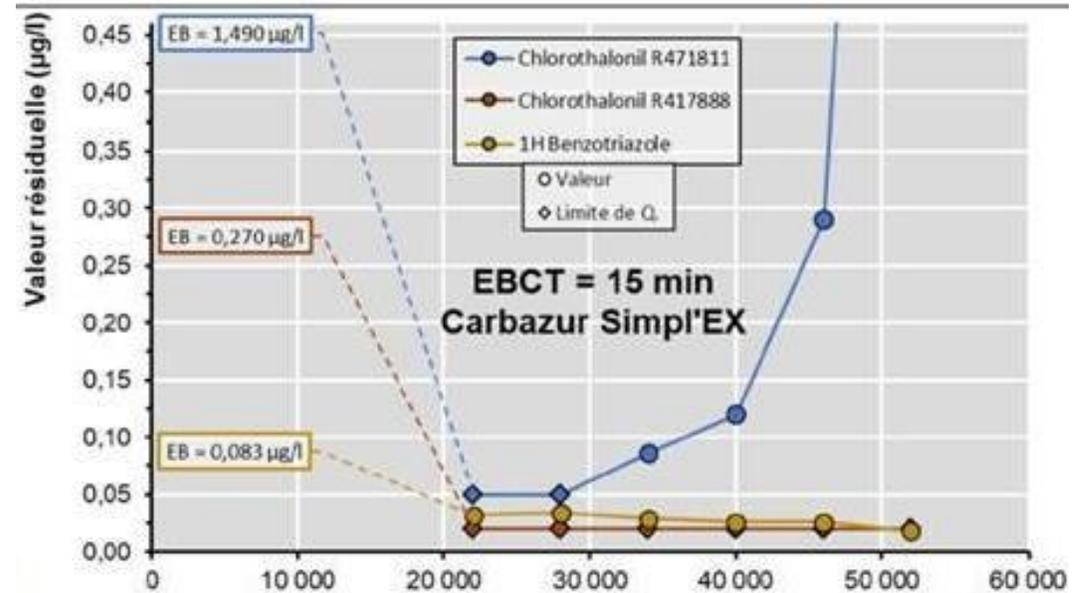




Châtaignier sans dopage  
52'000 BV CA interne

[COD] = 0.54 mg/L  
Abs. UV = 1.1 m<sup>-1</sup>  
[R471811] = 460 ng/L

BV ≈ 35'000



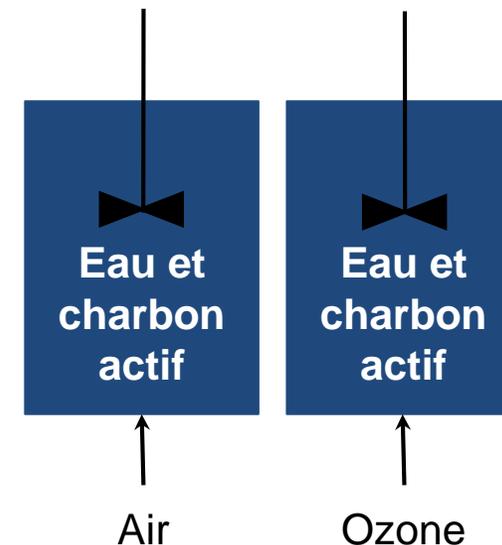
Châtaignier avec dopage  
52'000 BV CA interne

[COD] = 0.54 mg/L  
Abs. UV = 1.1 m<sup>-1</sup>  
[R471811] = 1'490 ng/L

BV ≈ 37'000

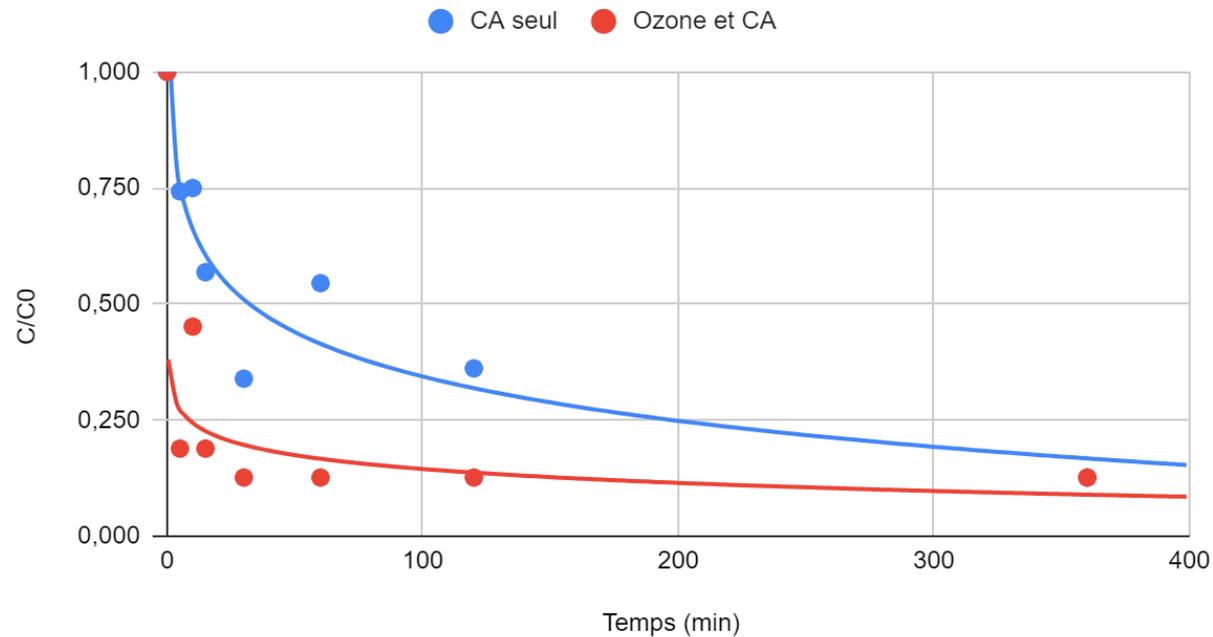
## ❖ Essais préliminaires

- Eau brute en provenance de l'Orme
- Couplage des procédés d'adsorption et d'ozonation
  - Volume d'eau : 15 L ;
  - Concentration de charbon actif : 1, 5, 10, 25 et 50 g/L ;
  - Vitesse d'agitation : 400 rpm ;
  - Injection d'ozone : 1 g/h.
- Analyses réalisées :
  - HPLC/MS/MS : laboratoire à Lausanne ;
  - Concentration d'ozone dissous : kit HACH ;
  - pH.

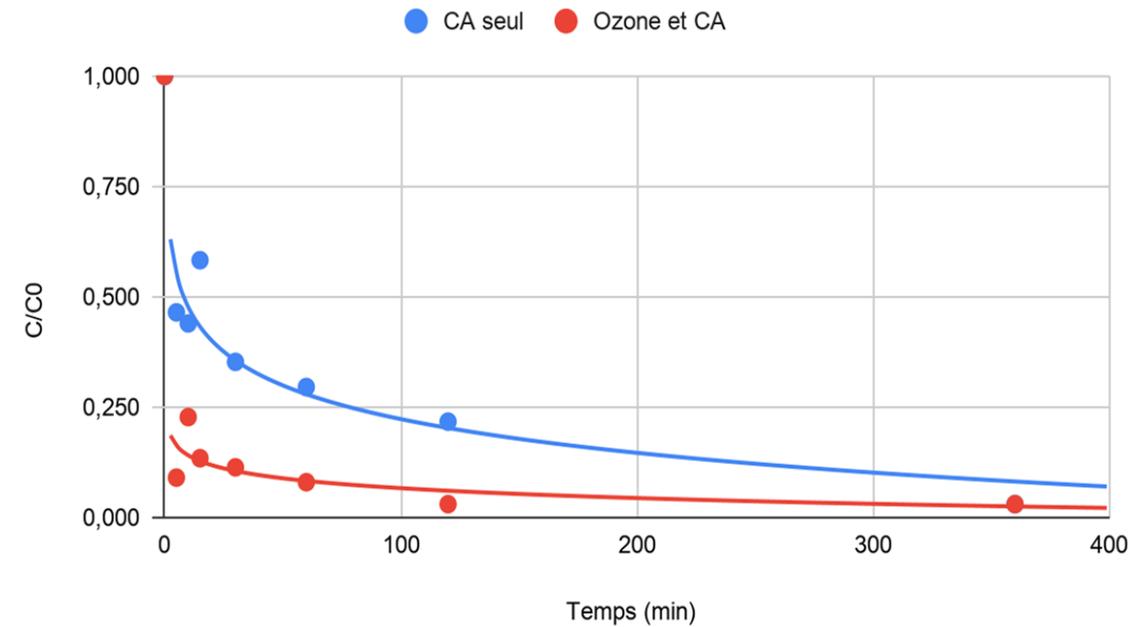


## ❖ Essais préliminaires

Concentration du charbon 1 g/L - R471811



Concentration du charbon 1 g/L - R417888



# Elimination par oxydation à l'ozone puis adsorption sur charbon actif

- ❖ Pilote Opacarb FL (essais **avec** et sans **ozone**) – OTV Veolia (apport de l'oxydation)
  - Réservoir de l'Orme – novembre 2020 à septembre 2021 ;
  - Réservoir du Châtaignier – octobre 2021 à décembre 2022.



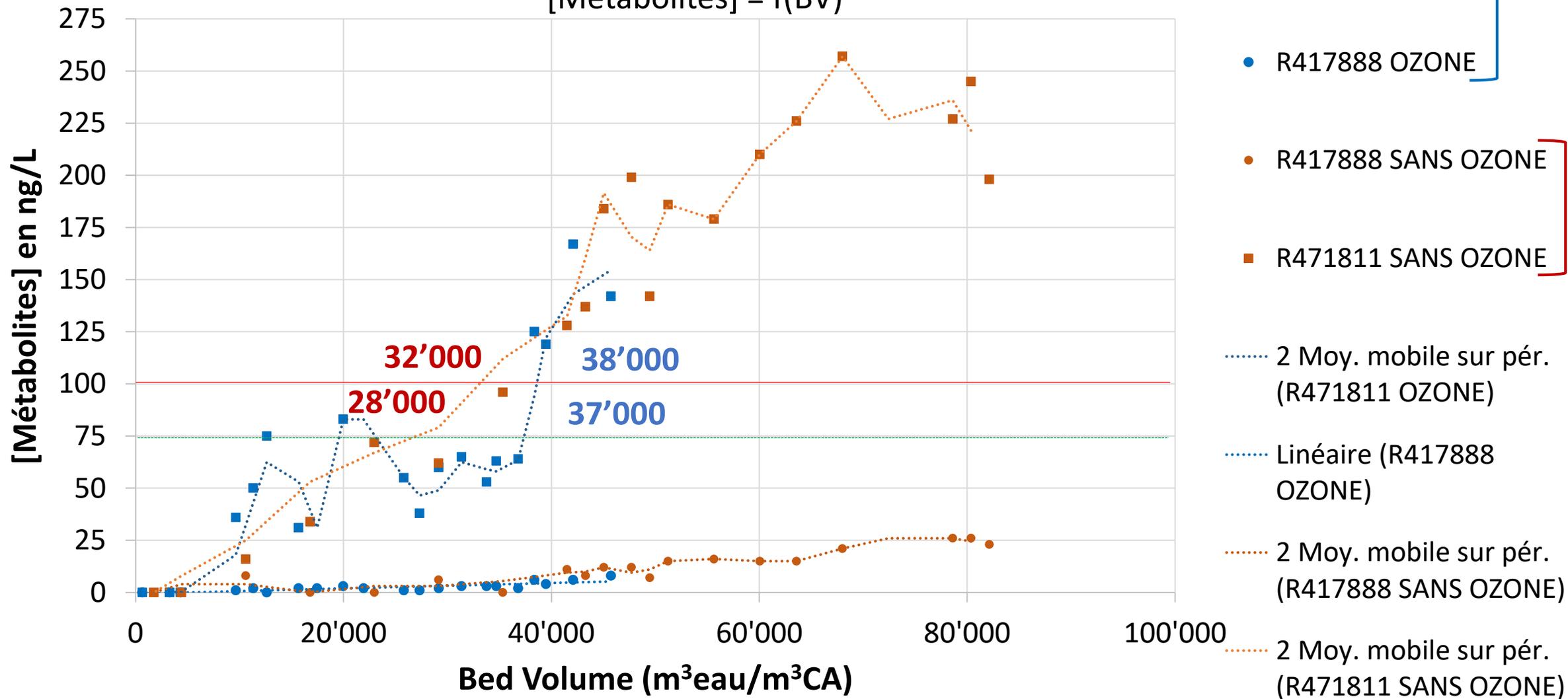
## Le pilote Opacarb® FL avec/sans ozonation

- Réacteur à CAμG fluidisé ;
- Emploi de micrograin : amélioration des cinétiques d'adsorption ;
- Pack lamellaire ;
- Renouvellement progressif du CAμG ;
- Adaptabilité du taux de traitement ;
- CAμG régénérable ;
- 2<sup>ème</sup> vie CAμG possible en EU ;
- Tc = 5 – 20 min ;
- $V_{\text{ascensionnelle}} = 20 - 40 \text{ m/h.}$

Configuration / paramètre	Réservoir de l'Orme		Réservoir de Châtaignier	
	Charbon actif seul	Ozone + charbon	Charbon actif seul	Ozone + charbon
Débit (m <sup>3</sup> /h)	4		2	
Vitesse (m/h)	40		20	
Temps de contact (min)	3.3 (à 10°C)	3.3 (à 10°C)	9 (à 9°C)	8 (à 15°C)
Type de charbon actif	Microsorb™ 400R aggloméré à base houille bitumineuse (Chemviron)			
Masse de charbon actif (kg)	50		100	
Dosage d'ozone (ppm)	-	1	-	0,92

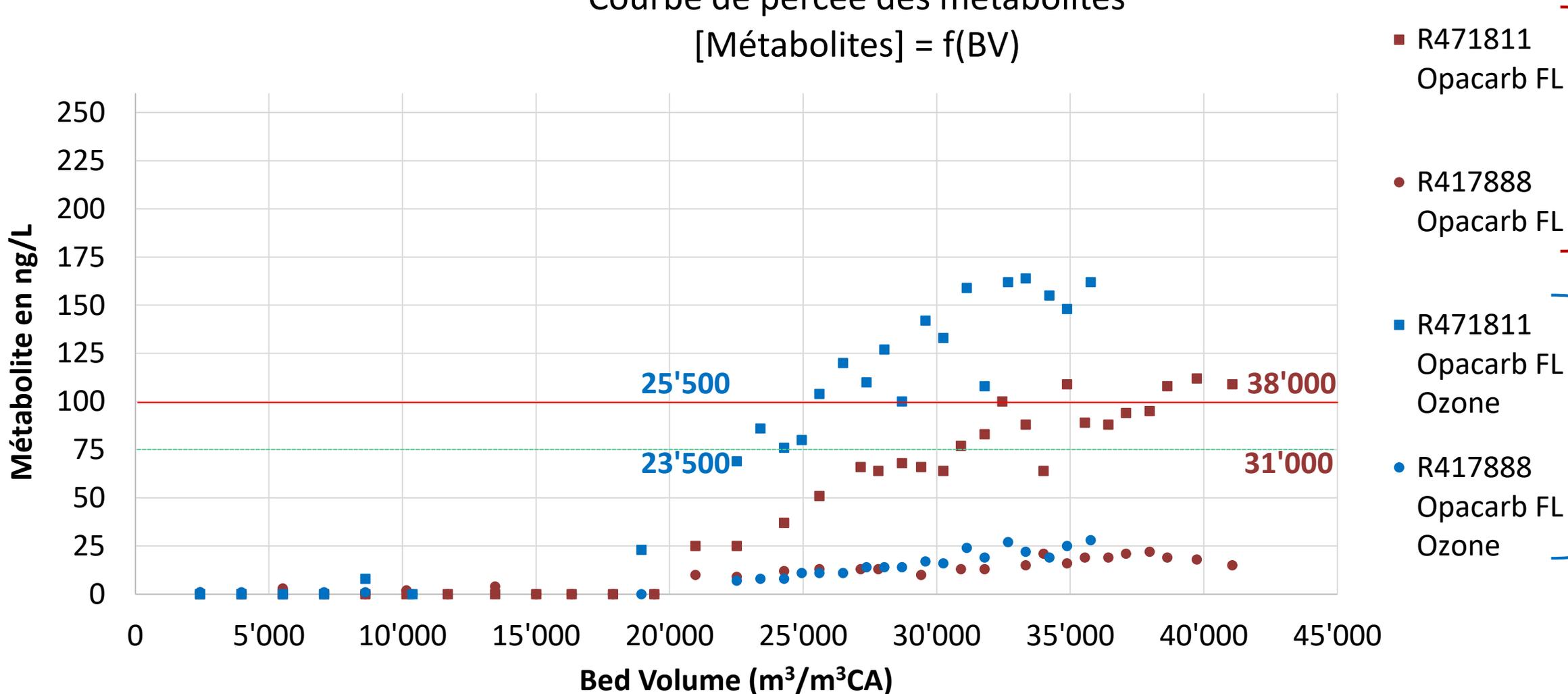
# Pilote Opacarb® FL avec/sans ozonation - Orme

Courbe de percée des métabolites  
[Métabolites] = f(BV)



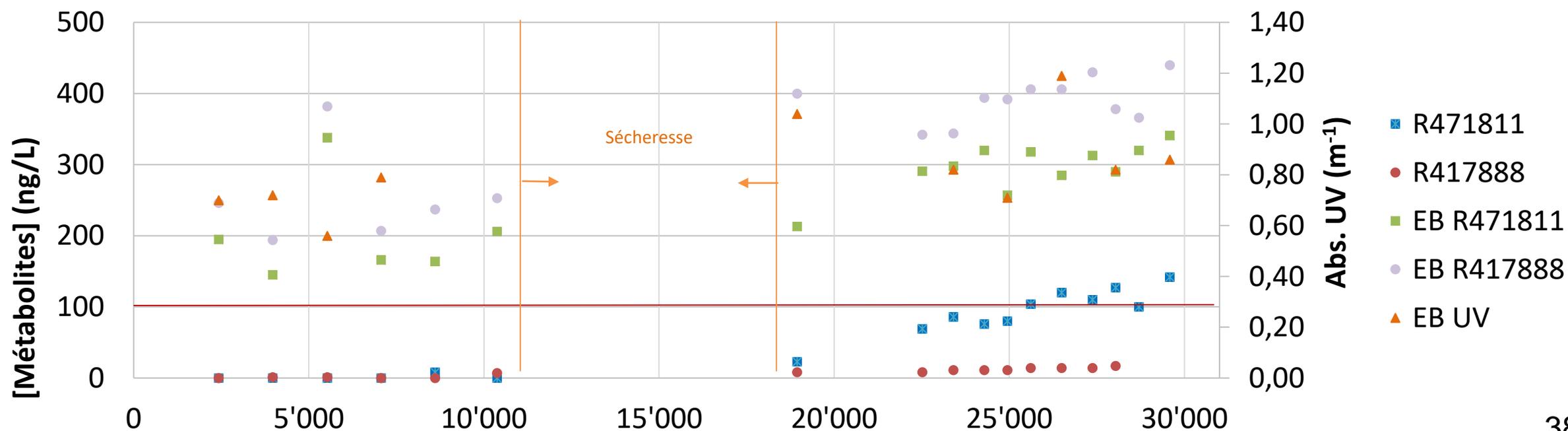
# Pilote Opacarb® FL avec/sans ozonation - Châtaignier

Courbe de percée des métabolites  
[Métabolites] = f(BV)



# Pilote Opacarb® FL avec/sans ozonation - Châtaignier

Variation charge EB (après sécheresse)	R471811	R417888	R611968	R611965	SYN507900	SYN546872	UV 254 (m <sup>-1</sup> )	COT (ppm)
Augmentation (%)	40	44	61	43	40	17	32	38
Concentration moyenne après la sécheresse (ng/L)	295	391	137	122	122	43	0,92	0,70
Concentration moyenne avant la sécheresse (ng/L)	211	271	85	85	87	36	0,7	0,51



# Bilan de l'adsorption avec/sans oxydation sur le R471811

Réservoir	Pilote	Temps de contact	BV (jusqu'à 100 ng/L)	µgR471811/gCharbon
Orme	Simatec Ligne 1 7 m/h	1,7	30'000	-
		3,4	35'000	-
		4,3	39'500	20
		5,2	44'000	20
		6	61'000	23
		6,9	60'000	23
		7,7	55'000	23
	Simatec Ligne 2 4 m/h	1,5	41'000	-
		3	43'000	-
		4,5	46'000	22
		6	62'000	25
		7,5	60'000	27
	Opacarb FL 40 m/h	3,3 (10°C)	32'000	11
	Opacarb FL avec ozone	3,3 (10°C)	38'000	14
Châtaignier	Opacarb FL 20 m/h	9	38'000	17
	Opacarb FL avec ozone	8	25'500	12
	SBA 0,3 m/h	15	35-37'000	-

# Elimination par adsorption sur charbon actif

- ❖ Pilote CarboPlus / colonne CAG / filtres LUCA (comparaison de mises en œuvre du charbon)  
– Corcelles-près-Payerne (RWB) – janvier 2021 à l'été 2022.



**Puits de la Vernaz :**  
[COD] = 0.60 mg/L  
UV = 1.16 m<sup>-1</sup>  
[R471811] = 760 ng/L  
[R417888] = 71 ng/L

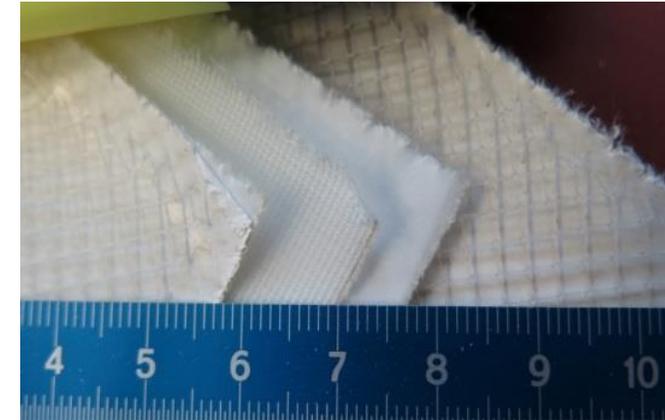
CAG ≈ 30m<sup>3</sup>/kg CA  
≈ 14'000 m<sup>3</sup> eau / m<sup>3</sup> CA\*

LUCA ≈ 50-55 m<sup>3</sup>/kg CA  
≈ 23-25'000 m<sup>3</sup> eau / m<sup>3</sup> CA\*

CAF ≈ 40 – 50 m<sup>3</sup>/kg CA  
≈ 18-23'000 m<sup>3</sup> eau / m<sup>3</sup> CA\*

\*Avec densité CA = 460 kg/m<sup>3</sup>

❖ **Pilote NF / OIBP** – Gastrolux, Wamax  
(essais de rétention sur différentes membranes) –  
Réservoir de l'Orme – janvier 2021 au décembre 2021.



- Membranes spiralées ;
- Barrière physique (pas de transformation) ;
- Pression d'alimentation conséquente → Energie ;
- Prétraitement impératif (affinage) ;
- Rétention de la minéralité ;
- Reminéralisation nécessaire ;
- Gestion des concentrâts.

	Surface de la membrane [m <sup>2</sup> ]	Flux du permeat gpm [m <sup>3</sup> /j]	Rejet minimum de sel [%]
<i>Keensen</i>	7.9	2'200 (8.3)	99.5
<i>ESPA-4</i>	7.43	2'350 (8.9)	99.2
<i>Hydranautics</i>			(99.0 minimum)
<i>FilmTec™ NF90</i>	7.6	2'000 (7.6)	98.7
<i>FilmTec™ NF270</i>	7.6	2'500 (9.5)	> 97.0

❖ **Pilote NF / OIBP** – Gastrolux, Wamax  
(essais de rétention sur différentes membranes) –  
Réservoir de l'Orme – janvier 2021 au décembre 2021.

- Filtration sur 2 étages (2 + 1 membranes) ;
- Essais préliminaires/sommaires ;
- Pas de contrôle de la répartition des débits sur les étages ;
- Seul réglage possible : recirculation du concentrât final en tête de filière ;
- Masses molaires R417888 et R471811 ~ 330 et 348 g/mol ;
- Emploi de membranes bénéficiant de certifications (ACS, Kiwa...).



# Le pilote NF/OIBP fibres spiralées conventionnelles

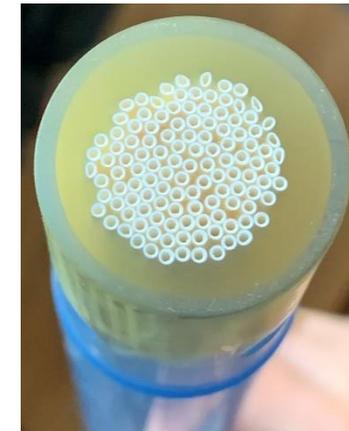
Paramètres	Unité	Norme	EB moyen Orme	Perméat Keensen	Perméat Hydranautics	Perméat NF90	Perméat NF270
<b>Absorbance UV 254 nm</b>	/ m	-	<b>0,59</b>	0,07 (87%)	0,06 (90%)	0,12 (80%)	0,17 (68%)
<b>Carbone organique total</b>	mg C/l	VI: ≤ 2	<b>0,29</b>	0,05 (88%)	0,03 (87%)	0,06 (79%)	0,04 (85%)
<b>Conductivité</b>	µS/cm	VE: 200 - 800	<b>557</b>	32 (94%)	31 (94%)	39 (93%)	295 (47%)
<b>Dureté carbonatée</b>	°f	-	<b>26,5</b>	1,3 (95%)	1,3 (95%)	1,7 (94%)	13,3 (51%)
<b>Dureté totale</b>	°f	-	<b>29,2</b>	<b>0,9 (97%)</b>	<b>0,9 (97%)</b>	<b>1,8 (94%)</b>	<b>15 (50%)</b>
<b>Hydrogénocarbonates</b>	mg/l	-	<b>320</b>	12,5 (96%)	11,9 (96%)	17,1 (95%)	158,9 (51%)
<b>pH</b>		VE: 6.8-8.2	<b>7,43</b>	6,68 (11%)	7,04 (6%)	6,84 (4%)	7,29 (0%)
<b>R417888</b>	ng/L	< 100 ng/L	<b>92</b>	< LD (100%)	< LD (100%)	< LD (100%)	< LD (100%)
<b>R471811</b>	ng/L	< 100 ng/L	<b>226</b>	< LD (100%)	< LD (100%)	< LD (100%)	< LD (100%)

- ❖ **Pilote membranes fibres creuses** – NX Filtration (comparaison avec membranes spiralées classiques) – réservoir du Châtaignier – février 2022 à novembre 2022.

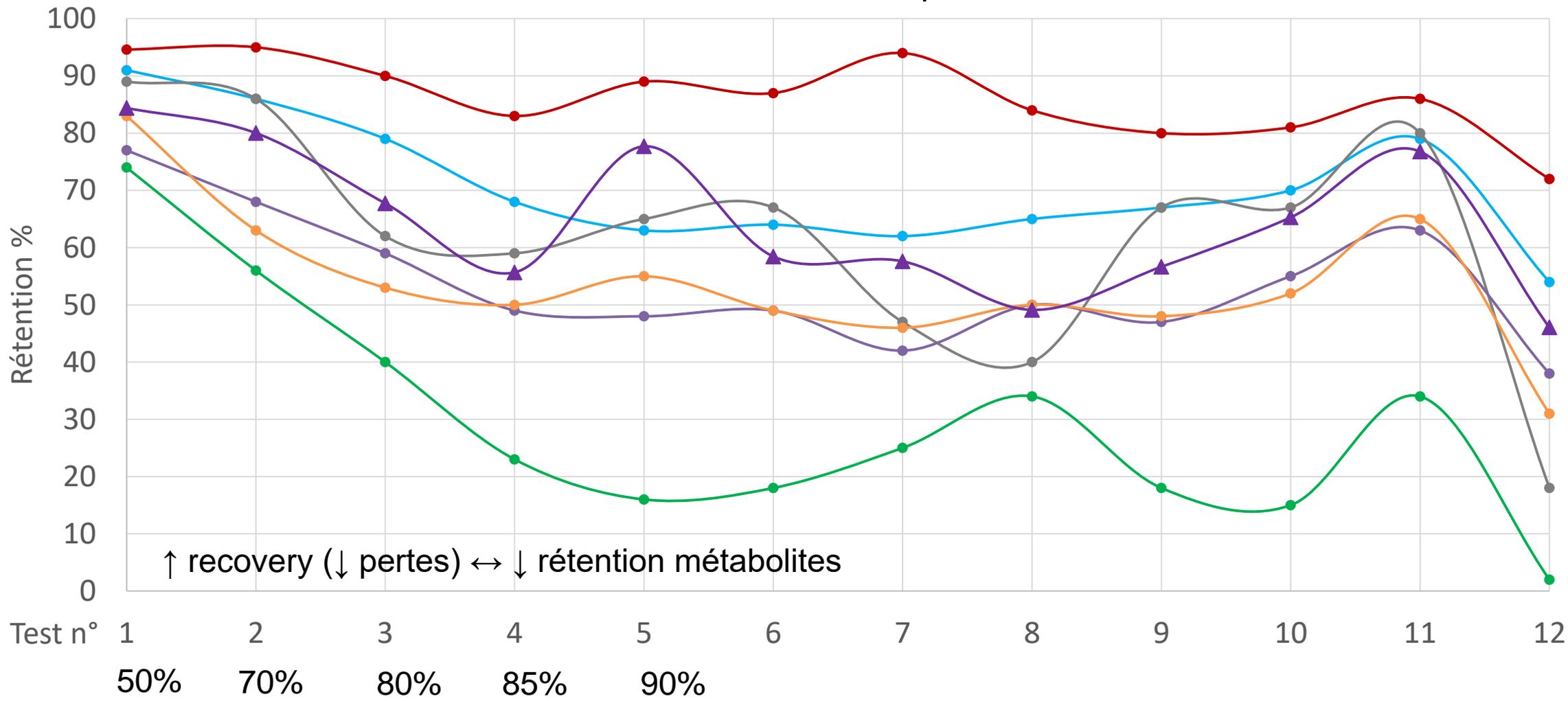


	Phase 1 Variation de recovery					Phase 2 Variation de flux / vitesse		Phase 3 Variation du cycle de filtration et de la vitesse				
Test n°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Flux (L/m <sup>2</sup> /h)	20	20	20	20	20	20	25	20	20	20	20	20
Vélocité (m/s)	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2
Récupération (%)	50	70	80	85	90	85	85	85	85	80	70	90
Cycle de filtration (h)	2	2	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4

- Membranes en fibres creuses ;
- Barrière physique (pas de transformation) ;
- Diminution des pressions d'alimentation ;
- Besoin en reminéralisation moindre ;
- Possible positionnement en direct sur l'eau brute (préfiltration) selon qualité EB ;
- Rétrolavages possibles et emploi de Javel ;
- Gestion des concentrâts.

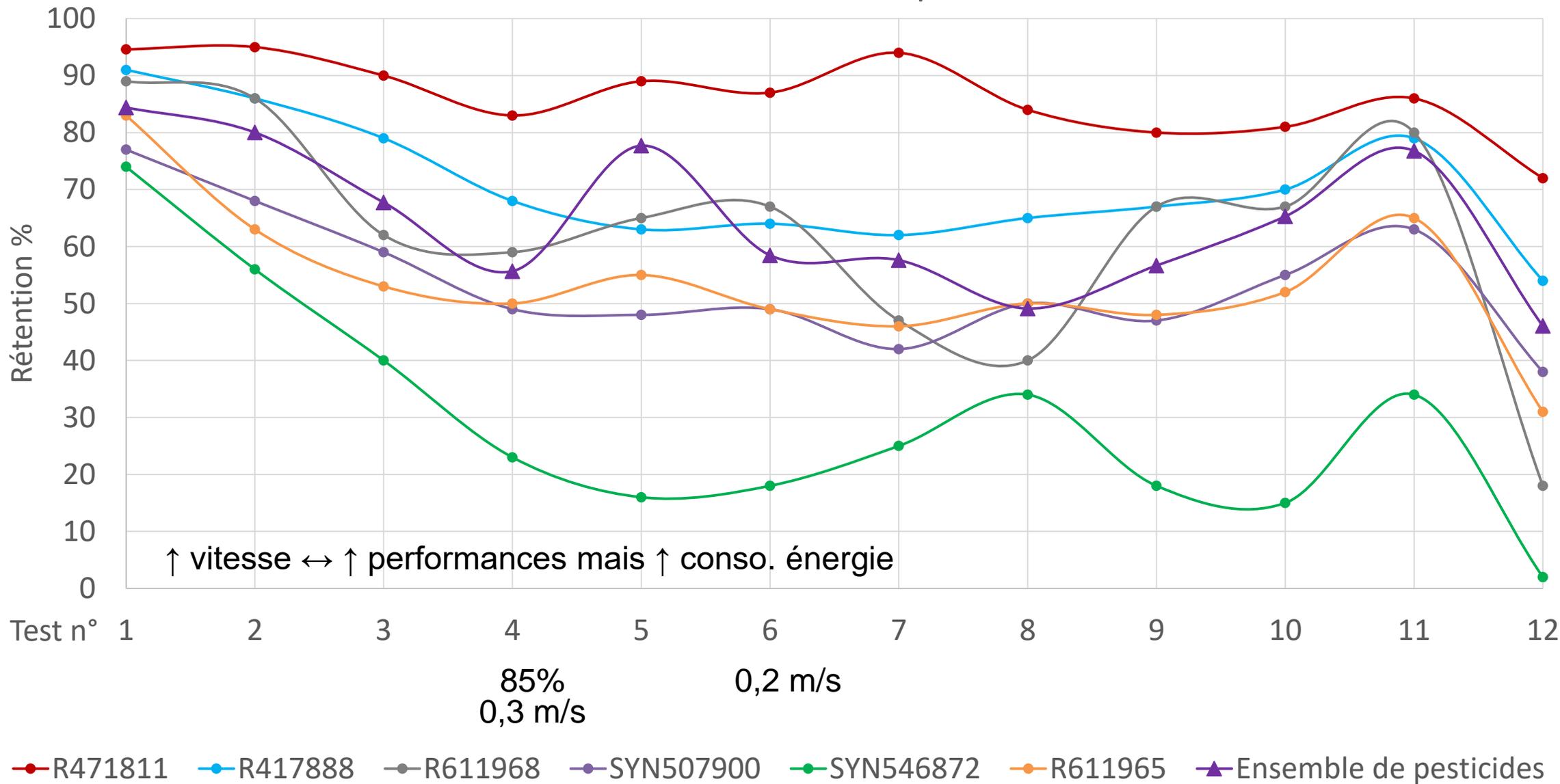


## Rétention des métabolites et pesticides

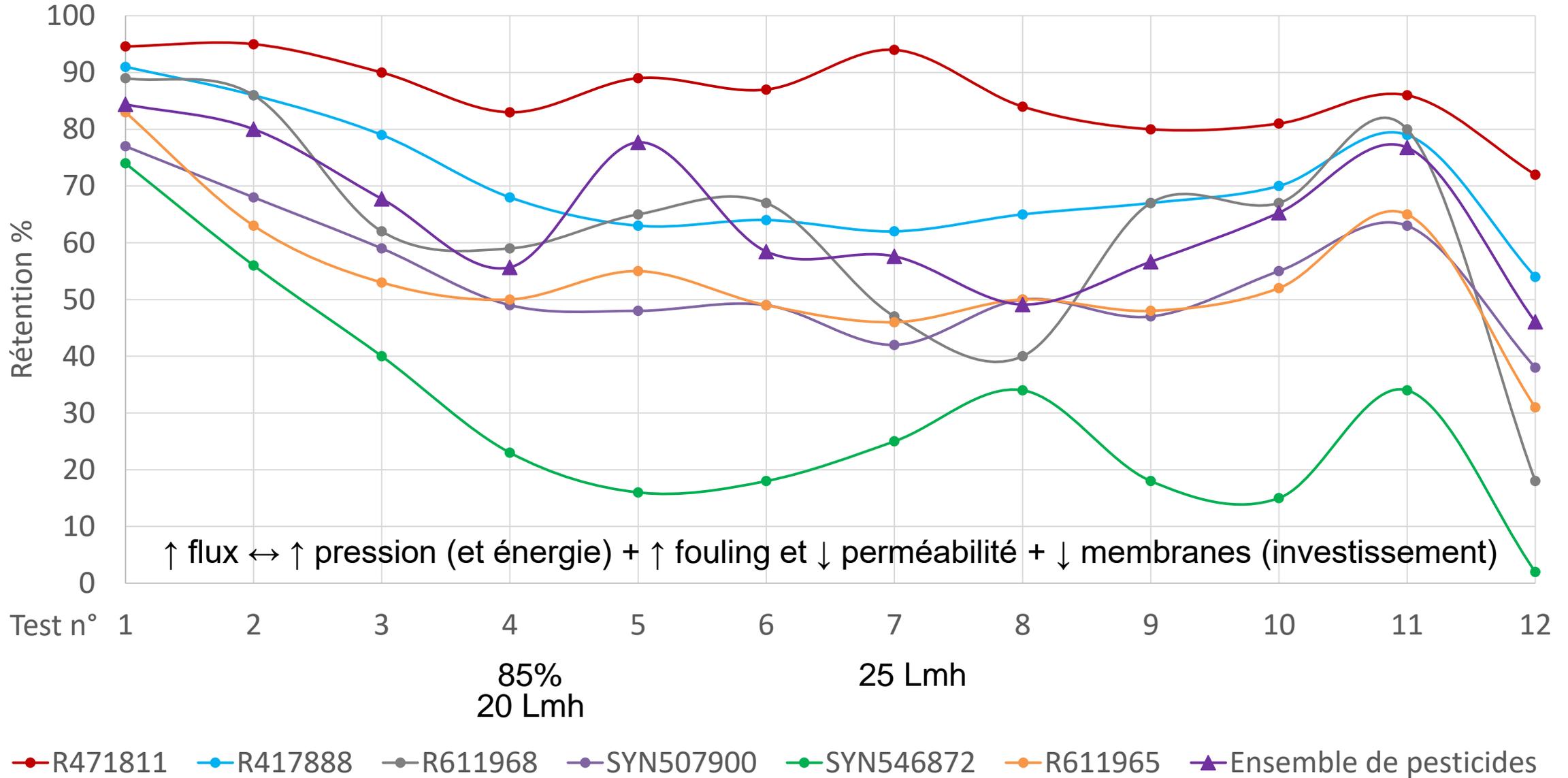


● R471811  
 ● R417888  
 ● R611968  
 ● SYN507900  
 ● SYN546872  
 ● R611965  
 ▲ Ensemble de pesticides

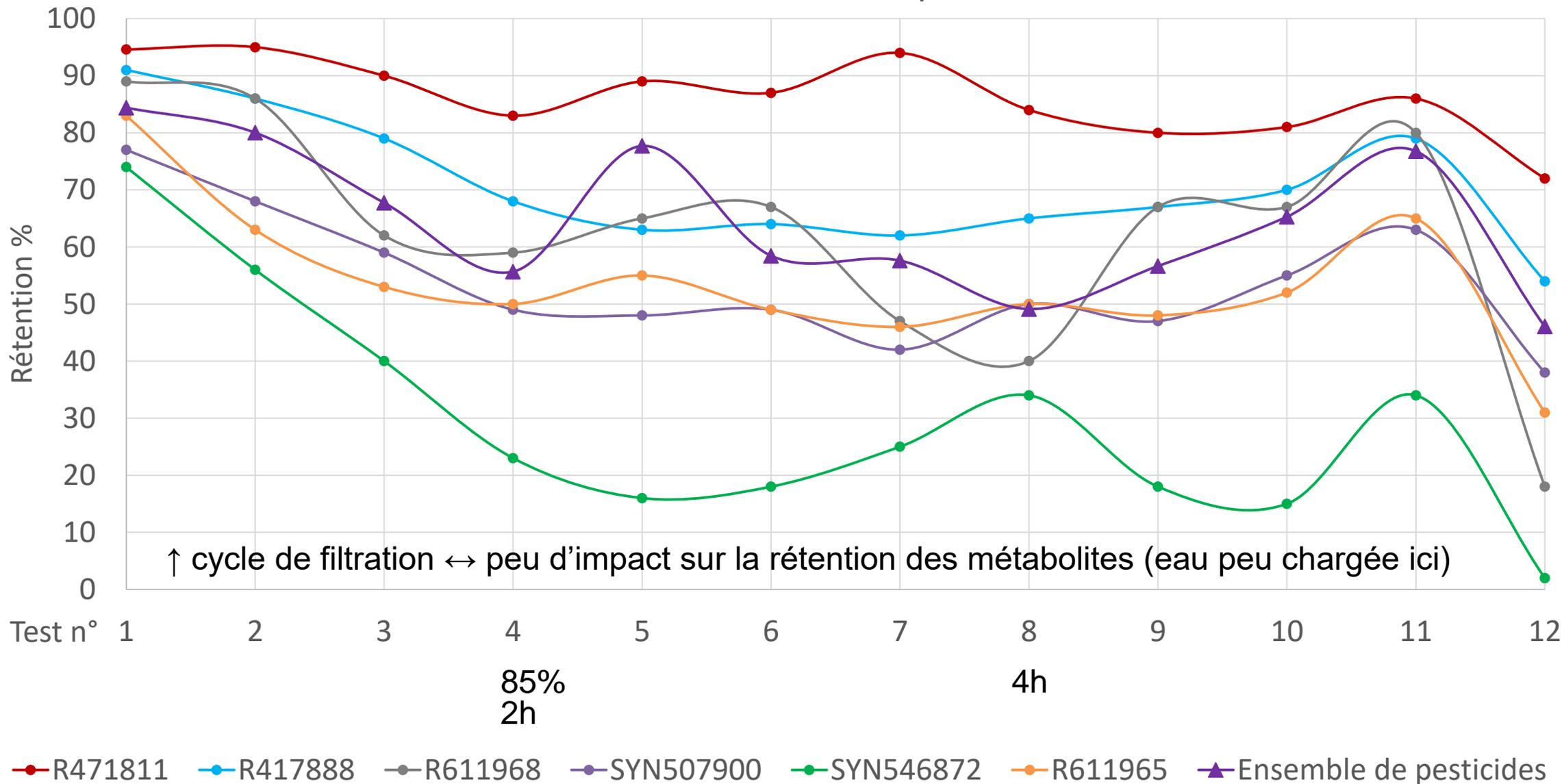
## Rétention des métabolites et pesticides



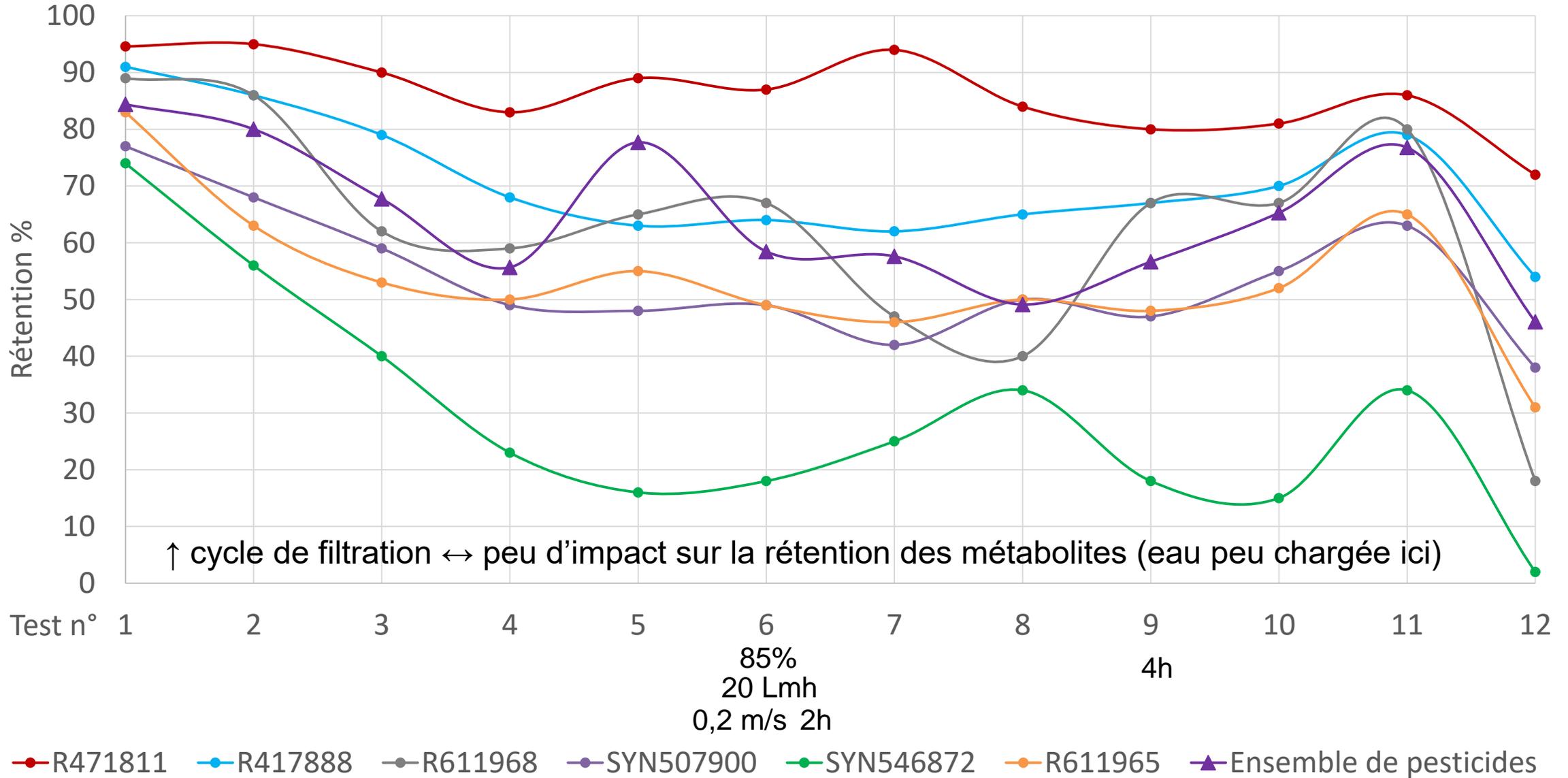
## Rétention des métabolites et pesticides



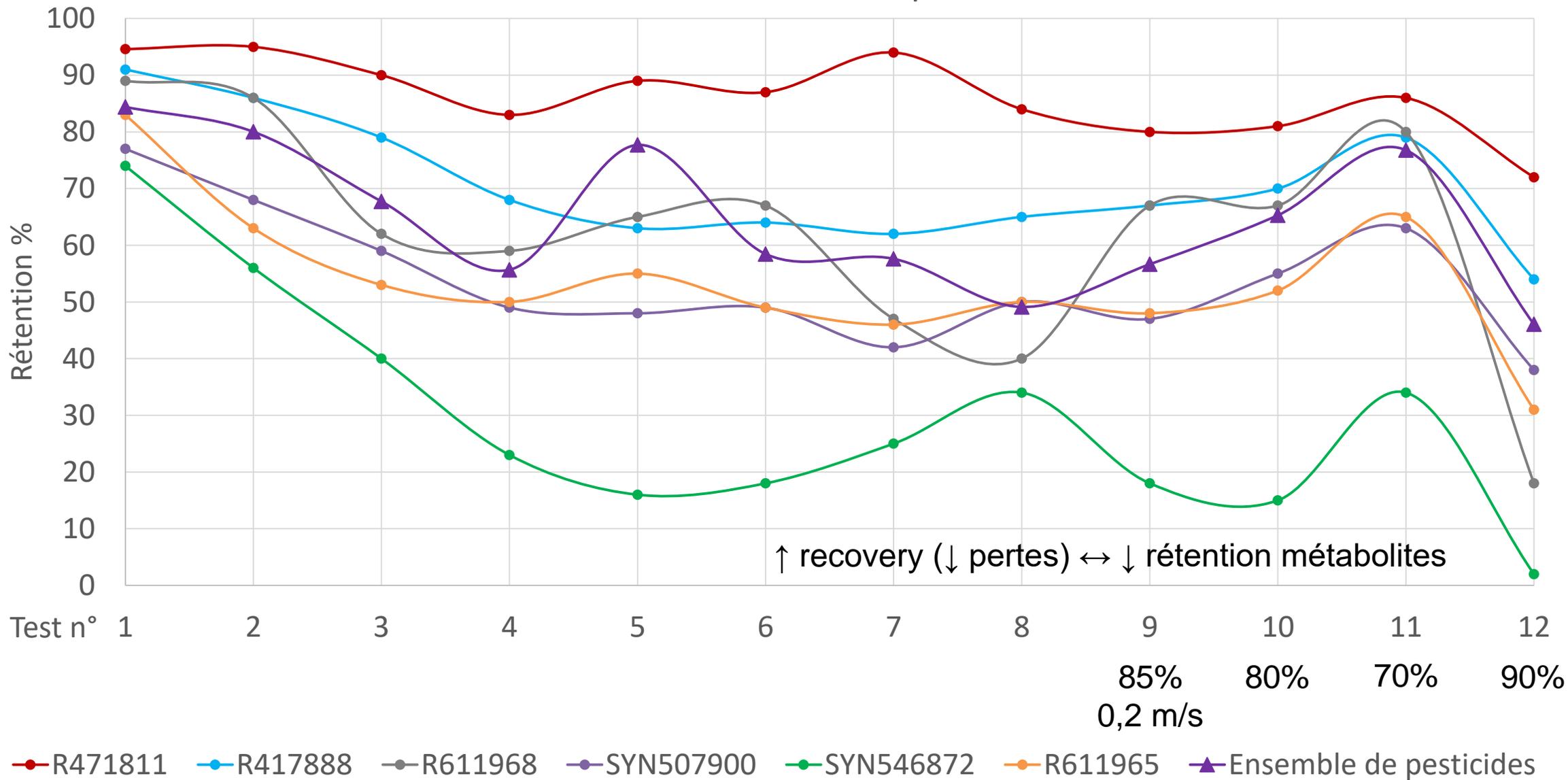
## Rétention des métabolites et pesticides



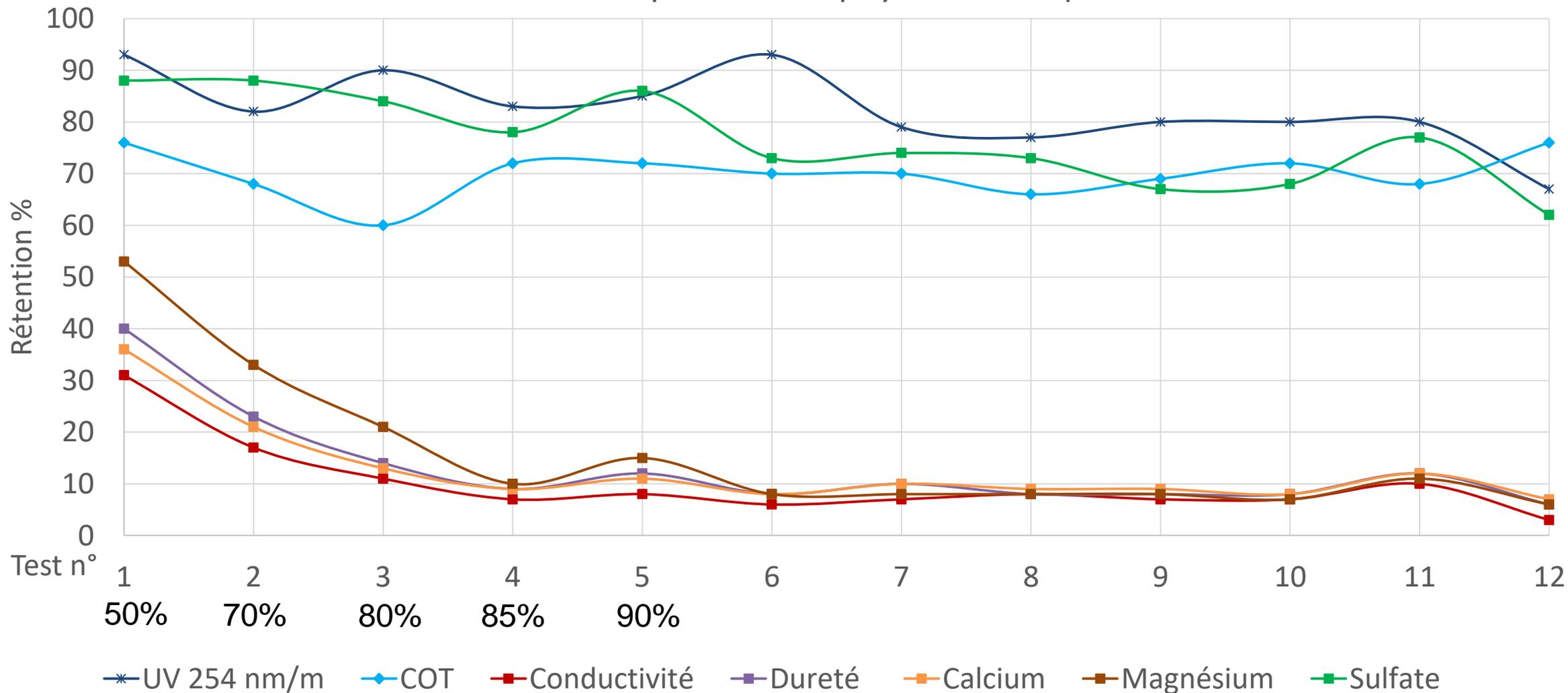
## Rétention des métabolites et pesticides



## Rétention des métabolites et pesticides



## Rétention des paramètres physico-chimiques



- Rejet au milieu naturel (< 100 ng/L).
- Rejet à une station d'épuration (écoulement existant suffisamment dimensionné et proximité géographique).
- Traitement insitu (traitement thermique ou membranaire) :
  - Traitement du concentrât via une autre file membranaire (par exemple via un rejet du concentrât à la STEP et réinjection du perméat dans la 1<sup>ère</sup> file de NF) dans l'optique de réduire les eaux sales à traiter ;
  - Distillation membranaire ;
  - Electrodialyse ;
  - Echange d'ions ;
  - Evapoconcentration.



Evapoconcentrateur - KLC MASTER-Line KMU LOFT FRANCE

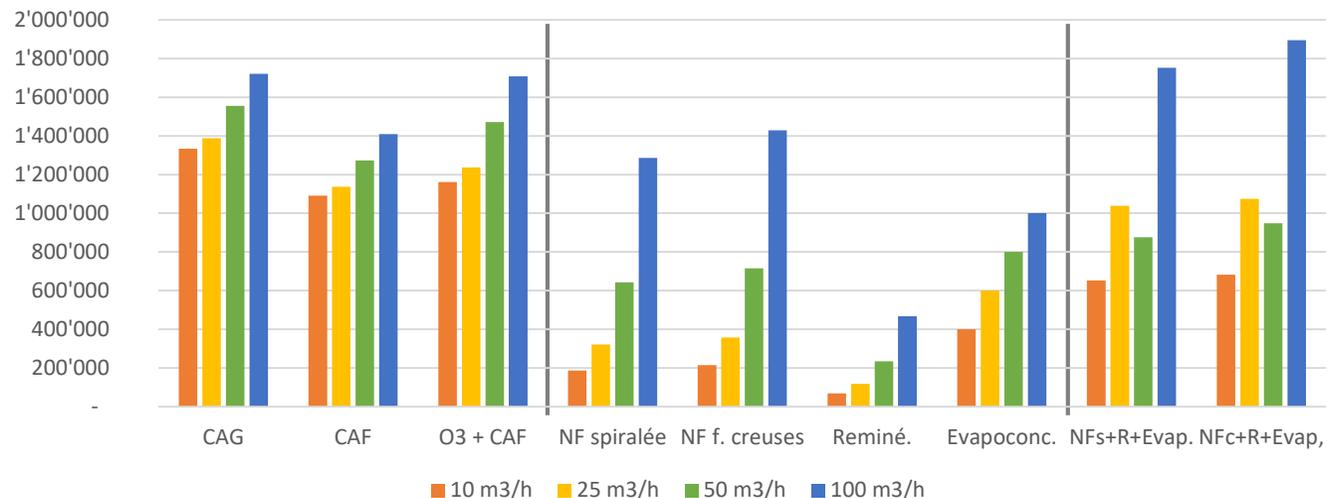
→ Concentration et réduction des concentrâts à évacuer vers un centre de traitement spécialisé.

1. Accueil et introduction
2. Le chlorothalonil et ses métabolites : contexte
3. Les techniques de traitement du chlorothalonil
4. Les ressources à traiter
5. Les essais pilotes
6. Synthèse des résultats
7. Comparaison technico-économique des filières de traitement
8. Conclusions et perspectives

- Traitement possible sur charbon actif :
  - Renouvellement régulier du média  
(30 - 40'000 voire 60'000 BV avec des faibles vitesses) ;
  - Prolongement durée de vie du charbon avec emploi d'ozone en amont de l'ordre de 15-20% sur l'Orme (en cours de confirmation à Châtaignier).
  
- Très bon rendement d'élimination sur membranes nanofiltration et OIBP :
  - NF spiralée (< 270 Da) → 100% élimination métabolites  
et élimination de la dureté  $\geq 50\%$  ;
  
  - NF fibres creuses (400 Da) → Elimination 72-95% R471811 et 54-90% R417888 et  
élimination de la dureté 10-40% selon configuration retenue ;
  
  - Trouver la solution la plus avantageuse / moins contraignante  
(prétraitement, remise à l'équilibre, traitement des concentrâts).

1. Accueil et introduction
2. Le chlorothalonil et ses métabolites : contexte
3. Les techniques de traitement du chlorothalonil
4. Les ressources à traiter
5. Les essais pilotes
6. Synthèse des résultats
7. Comparaison technico-économique des filières de traitement
8. Conclusions et perspectives

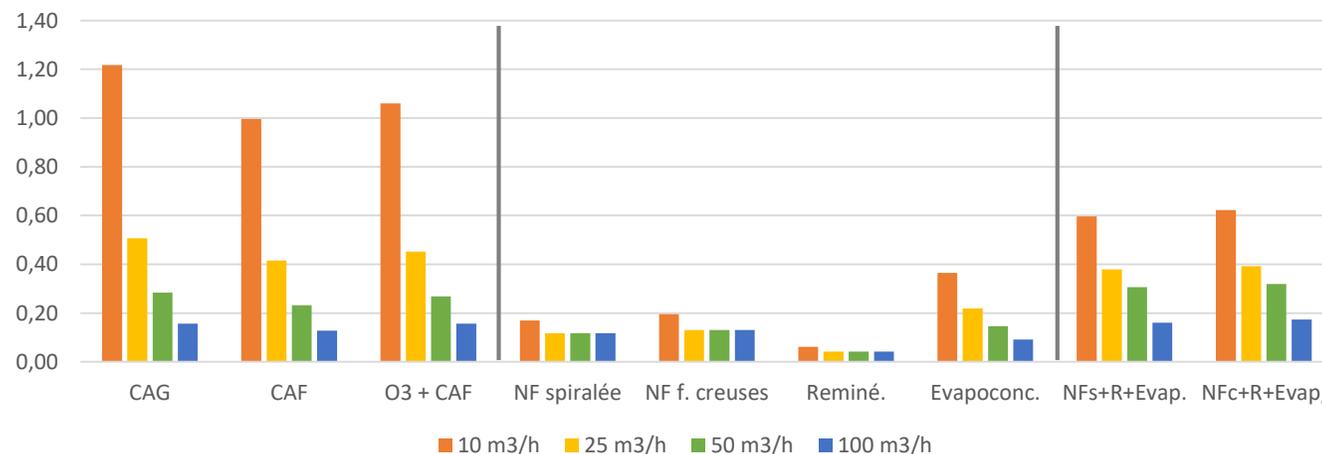
Coûts d'investissement - hors cuves stockage (CAPEX en CHF)



Avec :

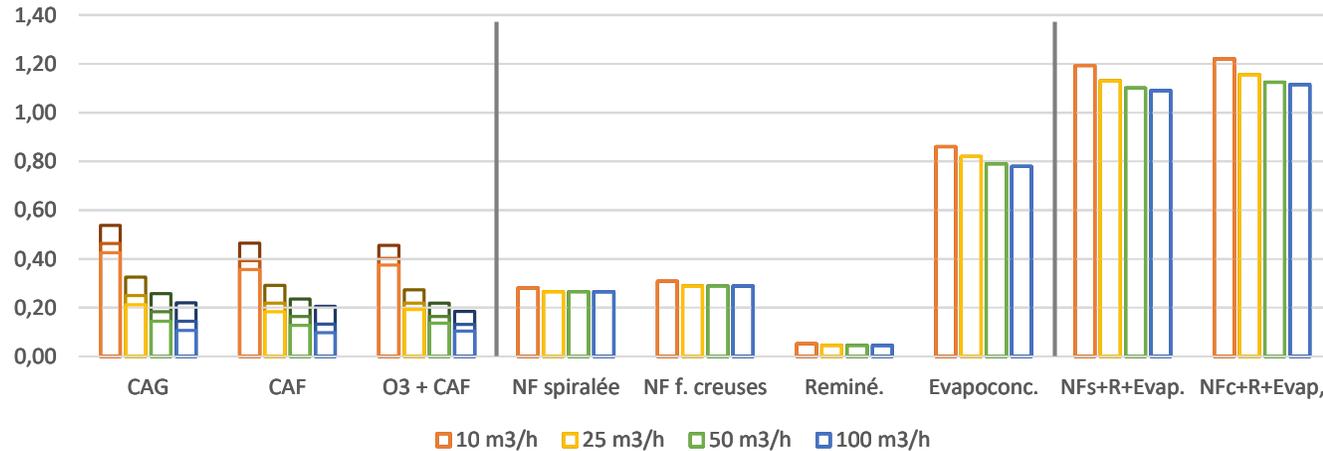
- CAG : 55% GC et 45% équipements ;
- CAF : 45% GC et 55% équipements ;
- NF (conventionnelle et fibres creuses) : 30% GC et 70% équipements.

Coûts d'investissement sur 30 ans - hors cuves stockage (CAPEX en CHF/m3)



# OPEX (exploitation – valeurs juin 2022) sur 30 ans

Coûts d'opération sur 30 ans (OPEX en CHF/m<sup>3</sup>) avec une énergie à 0,15 CHF/kWh



Coûts énergie : 0.15 ou 0.30 CHF/kWh ;  
 Coûts CAG : 1'500 CHF/m<sup>3</sup> ;  
 Coûts CA<sub>μ</sub>G : 3'600 CHF/T ;  
 Coûts réactifs chimiques : 350 - 400 CHF/m<sup>3</sup> selon le type de réactif et la concentration ;  
 Coûts membranes : 2'500 CHF par membrane spiralée classique de 37 m<sup>2</sup> et 4'800 CHF par membrane fibres creuses de 50 m<sup>2</sup> en considérant un renouvellement des membranes tous les 7 ans d'exploitation.

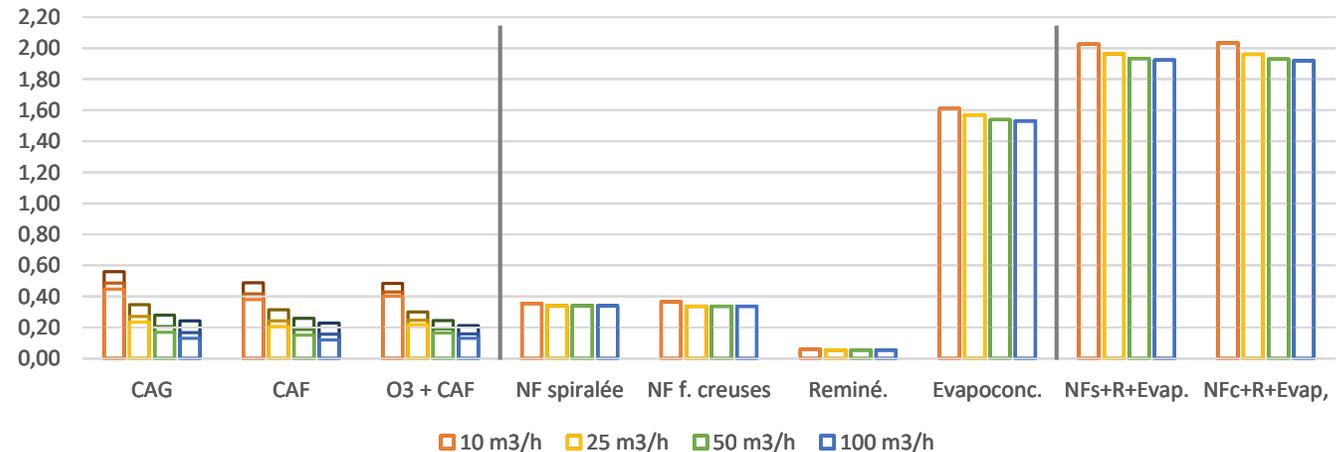
## Pour CA, calcul avec :

- 40'000 BV (250 ng/L R471811) ;
- 20'000 BV (500 ng/L R471811) ;
- 10'000 BV (1'000 ng/L R471811).

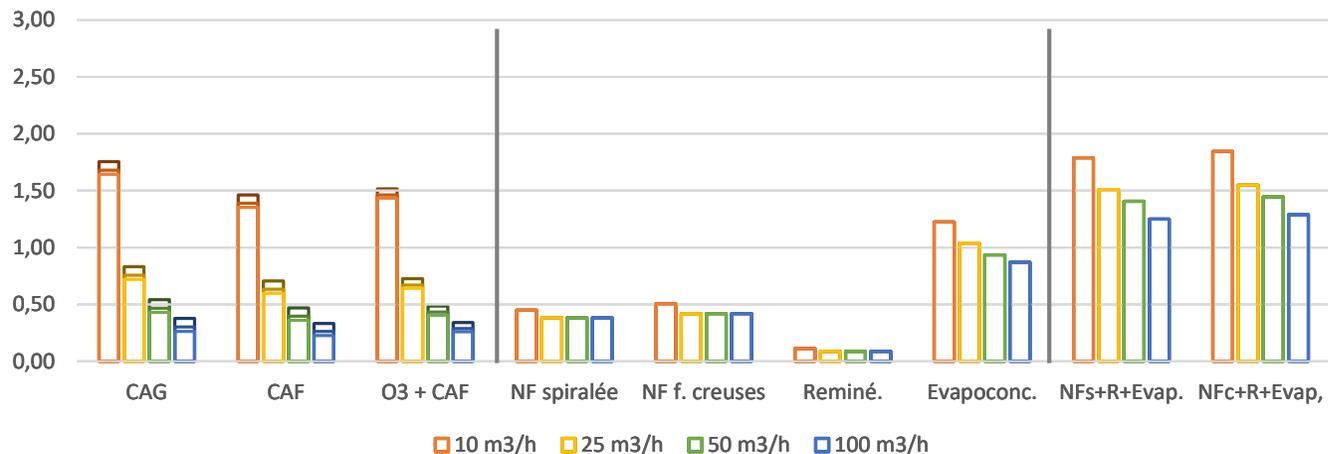
## Evapoconcentration :

Consommation en énergie non défavorable considérée pour le calcul : 50 kWh/m<sup>3</sup>

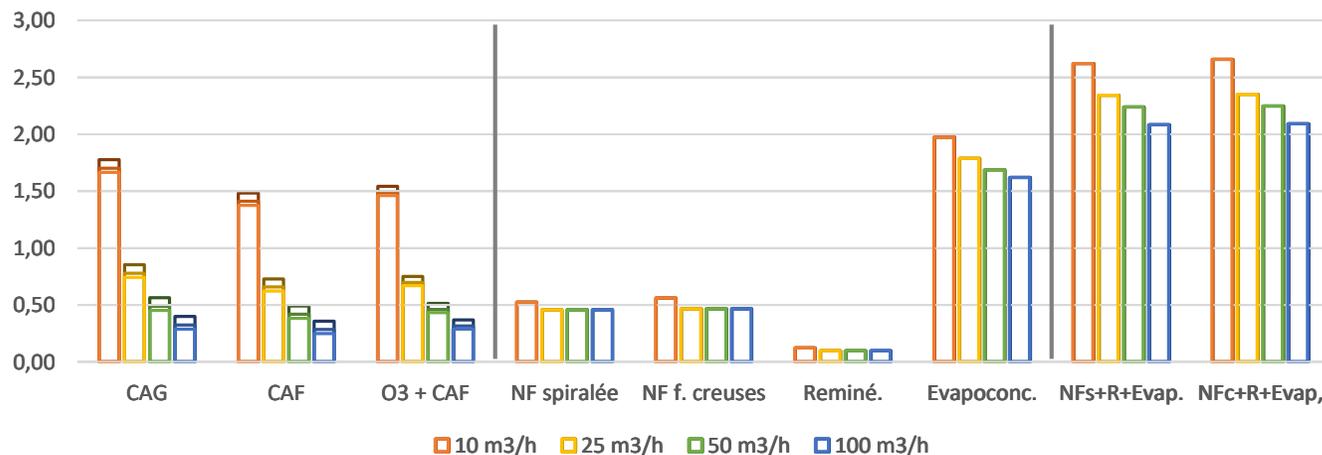
Coûts d'opération sur 30 ans (OPEX en CHF/m<sup>3</sup>) avec une énergie à 0,30 CHF/kWh



Coûts d'investissement et d'opération sur 30 ans (OPEX/CAPEX) en CHF/m<sup>3</sup> avec une énergie à 0,15 CHF/kWh



Coûts d'investissement et d'opération sur 30 ans (OPEX/CAPEX) en CHF/m<sup>3</sup> avec une énergie à 0,30 CHF/kWh



Pour CA, calcul avec :

- 40'000 BV (250 ng/L R471811) ;
- 20'000 BV (500 ng/L R471811) ;
- 10'000 BV (1'000 ng/L R471811).

1. Accueil et introduction
2. Le chlorothalonil et ses métabolites : contexte
3. Les techniques de traitement du chlorothalonil
4. Les ressources à traiter
5. Les essais pilotes
6. Synthèse des résultats
7. Comparaison technico-économique des filières de traitement
8. Conclusions et perspectives

# Faisabilité des filières d'élimination des métabolites du chlorothalonil

	Peu 811	Beaucoup 811
Peu 888	CA (voire O3+CA)	NF fibres creuses (surtout petites install.)
Beaucoup 888	CA (voire O3+CA)	NF conventionnelle (surtout petites install.)

- Etude au cas par cas selon concentrations en métabolites, problématiques de traitement locales et contraintes géographiques (traitement des concentrâts).
- Solutions mixtes pour optimiser les coûts et limiter les traitements complémentaires.
- **Pour une famille de quatre personnes :**

Consommation moyenne de **630 L/ jour** (selon M. Prix 2017) soit environ **230 m<sup>3</sup>/logement/an**.

Pour un prix de l'eau potable à **1,68 CHF/m<sup>3</sup>**, cela représenta un montant de **390 CHF/an**.

<b>+ 30 cts CHF / m<sup>3</sup></b>	<b>+ 50 cts CHF / m<sup>3</sup></b>	<b>+ 1,00 CHF / m<sup>3</sup></b>	<b>+ 1,50 CHF / m<sup>3</sup></b>
+ 69 CHF / an	+ 115 CHF / an	+ 230 CHF / an	+ 345 CHF / an

- Publication du rapport de comparaison technico-économique ;
- Finalisation des essais ozone/CA → mars 2023 ;
- Poursuite de la veille technologique ;
- Etudes technico-économiques sur des unités de traitement de petits débits (< 10 m<sup>3</sup>/h) voir modulaires ;
- Etude de faisabilité pour traiter les eaux de Thierrens.

De multiples partenariats entre le public et le privé



# Merci de votre attention



**Casino de Montbenon – 8 février 2023**