



Partie 2 – Quelle amélioration de l'élimination des micropolluants et à quel prix grâce aux traitements complémentaires ?





Evaluation multicritères des Procédés d'Oxydation Avancée et de l'adsorption sur Charbon Actif en Grain

S. Besnault

Suez Environnement : S. Martin, S. Baig, M. Esperanza, N. Noyon

Irstea : C. Miège, L. Dherret, A. Roussel-Galle, M. Coquery

Université Bordeaux : H. Budzinski, K. Le Menach





Objectifs

Evaluer des filières de traitement avancées pour l'élimination des micropolluants réfractaires à un coût raisonnable

- Ozone & Procédés d'Oxydation Avancée (POA), trouver le meilleur compromis dose/efficacité
- Adsorption sur Charbon Actif en Grain (CAG) sur le long terme (6 mois)
- Evaluation du coût et de l'impact environnemental



Méthodologie: Conditions opératoires

- Trois filières combinant des procédés à échelle pilote et échelle réelle

Traitement pleine échelle en amont	Traitement tertiaire (pilote)
Boue activée faible charge + filtre à sable + ozone pour la désinfection	Charbon Actif en Grain (Filtrisorb 400)
Boue activée faible charge + filtre à sable	Procédés d'Oxydation Avancée (O ₃ /H ₂ O ₂ /UV)
Bioréacteur à membrane	Procédés d'Oxydation Avancée (O ₃ /H ₂ O ₂ /UV)





Méthodologie: Conditions opératoires

– Pilote de charbon actif en grain (CAG)

- Charbon : Filtrasorb-400 (Chemviron)
- Vitesse de filtration: 5 m/h
- Pilote en fonctionnement 24/24 pendant 6 mois
- Après un filtre à sable et ozone pour la désinfection ($3 \text{ gO}_3/\text{m}^3$)
- Echantillonnage : Jour 2, Jour 20, Jour 93 & Jour 186



– Pilote de Procédés d'Oxydation Avancée (POA)



OZONIA

	Description	Dose d'ozone (gO_3/m^3)	Dose H_2O_2 (mg/L)	Dose UV (mJ/cm^2)	Temps de contact (min)
I	Ozone	5	0	0	2,71
II.1	Ozone peroxide 1/0,5	5	1,8	0	2,71
II.2	Ozone peroxide 1/1	5	3,5	0	2,71
II.3	Ozone peroxide 1/1,5	5	5,3	0	2,71
III.1	Ozone UV 1	5	0	398	5
III.2	Ozone UV 2	5	0	795	10
IV.1	UV peroxide 1	0	5	795	10
IV.2	UV peroxide 2	0	10	795	10



Echantillonnage et analyse

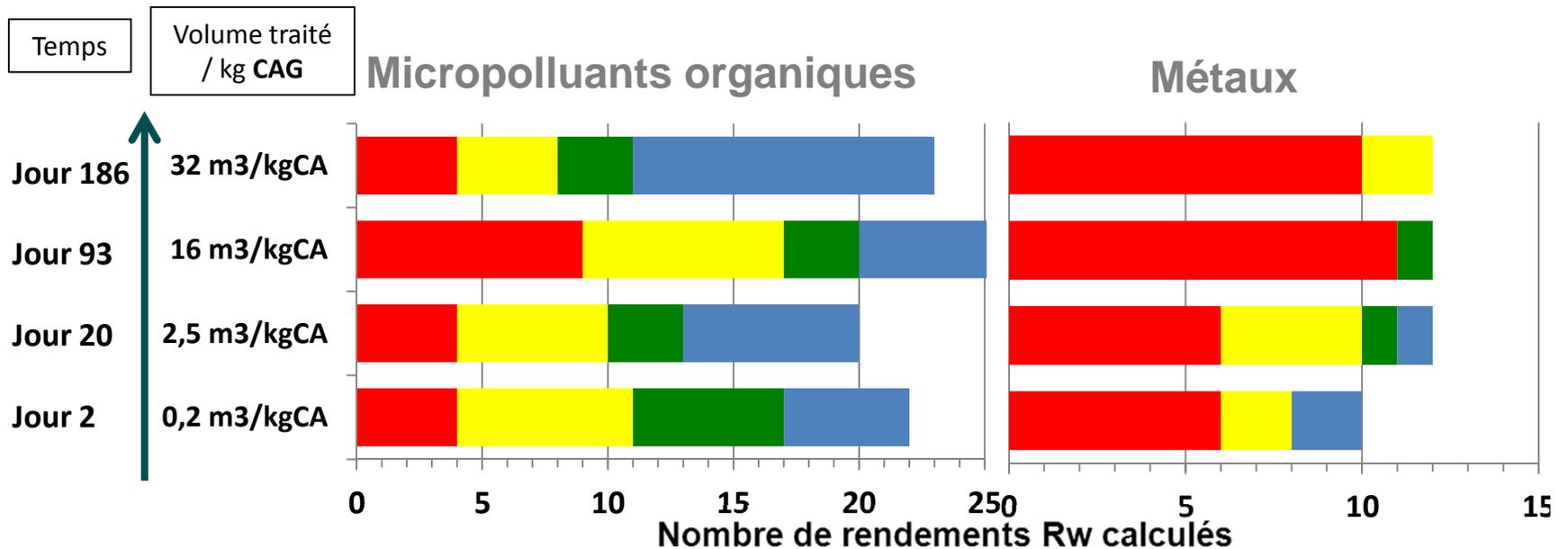




Résultats Charbon Actif en Grain

- Nombre de rendements R_w

< 30% ■ ; 30 à 70% ■ ; 70 à 90% : ■ ; > 90% : ■



- Le CAG est toujours efficace au bout de 6 mois (32 m³/kg CAG)



Résultats Charbon Actif en Grain

- Médicaments bien (>70%) ou très bien (>90%) éliminés pendant toute la durée des essais
- Pesticides urée et triazines très bien éliminés pendant toute la durée des essais
- Métaux adsorbés au début des essais (Cr, Zn, Pb); métaux relargués avant J20 (Ni, As, Mo)
- Certains micropolluants ne sont plus éliminés à la fin des essais (AMPA, glyphosate qui ne sont pas adsorbables)

		Jour 2	Jour 20	Jour 93	Jour 186
		0,2 m ³ /kg CA	2,5 m ³ /kg CA	16 m ³ /kg CA	32 m ³ /kg CA
Pesticides	Atrazine	70 à 90%	> 90%	> 90%	> 90%
	Diuron	NC	> 90%	> 90%	> 90%
	Simazine	NC	NC	70 à 90%	> 90%
	AMPA	> 90%	30 à 70%	< 30%	< 30%
	Glyphosate	NC	NC	30 à 70%	< 30%

< 30%  ; 30 à 70%  ; 70 à 90% :  ; > 90% : 



Principe des Procédés d'Oxydation Avancée

- Production in situ d'un oxydant secondaire plus puissant que le premier
- Radical hydroxyle HO

	O ₂	ClO ₂	Cl ₂	MnO ₄ ⁻	H ₂ O ₂	O ₃	HO°
E°(V)	1,23	1,27	1,36	1,67	1,77	2,07	2,80

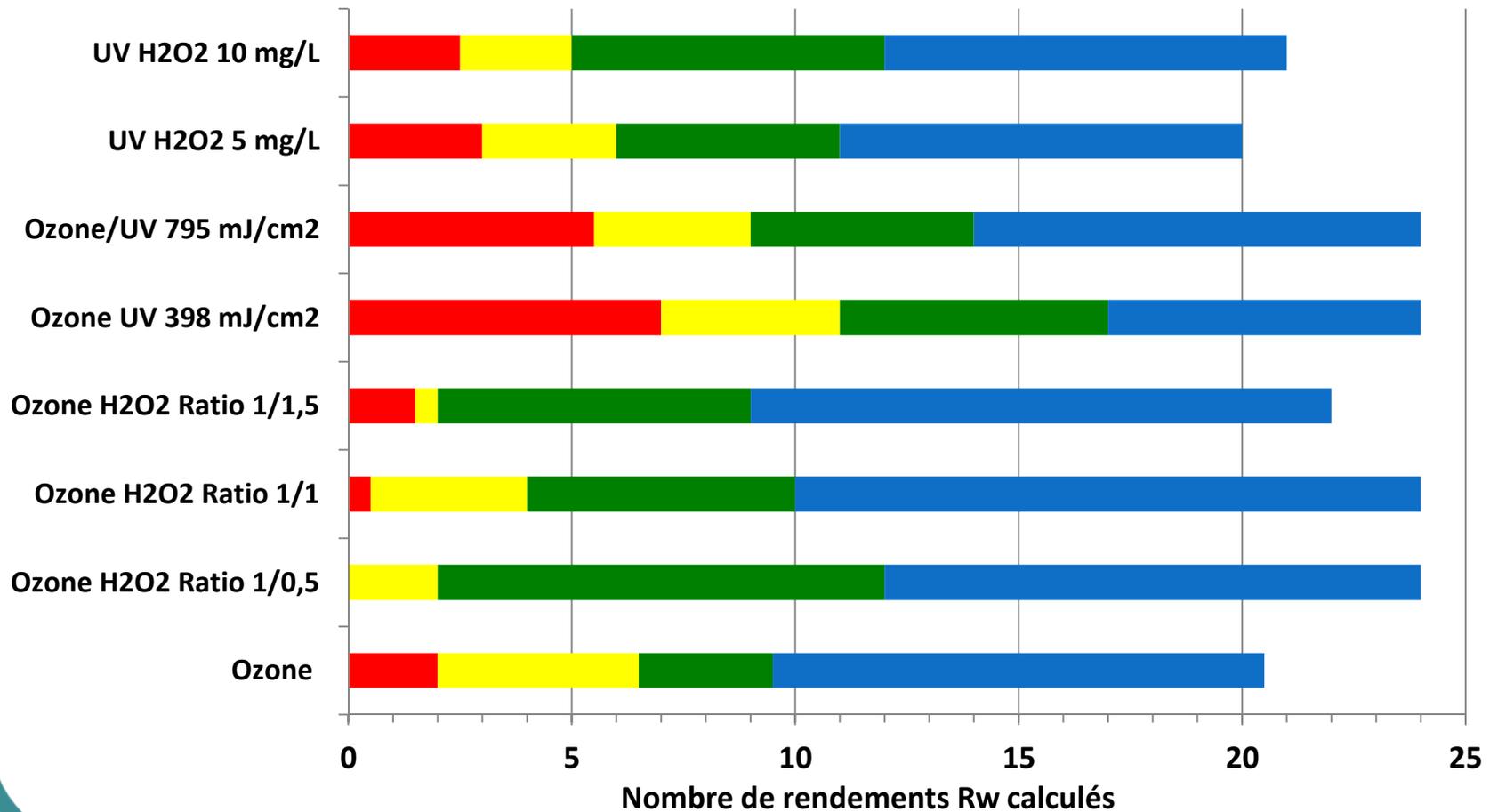
- Plusieurs voies possibles
- Exemple avec ozone et peroxyde d'hydrogène





Résultats POA

< 30% ■ ; 30 à 70% ■ ; 70 à 90% : ■ ; > 90% : ■ **Micropolluants organiques**



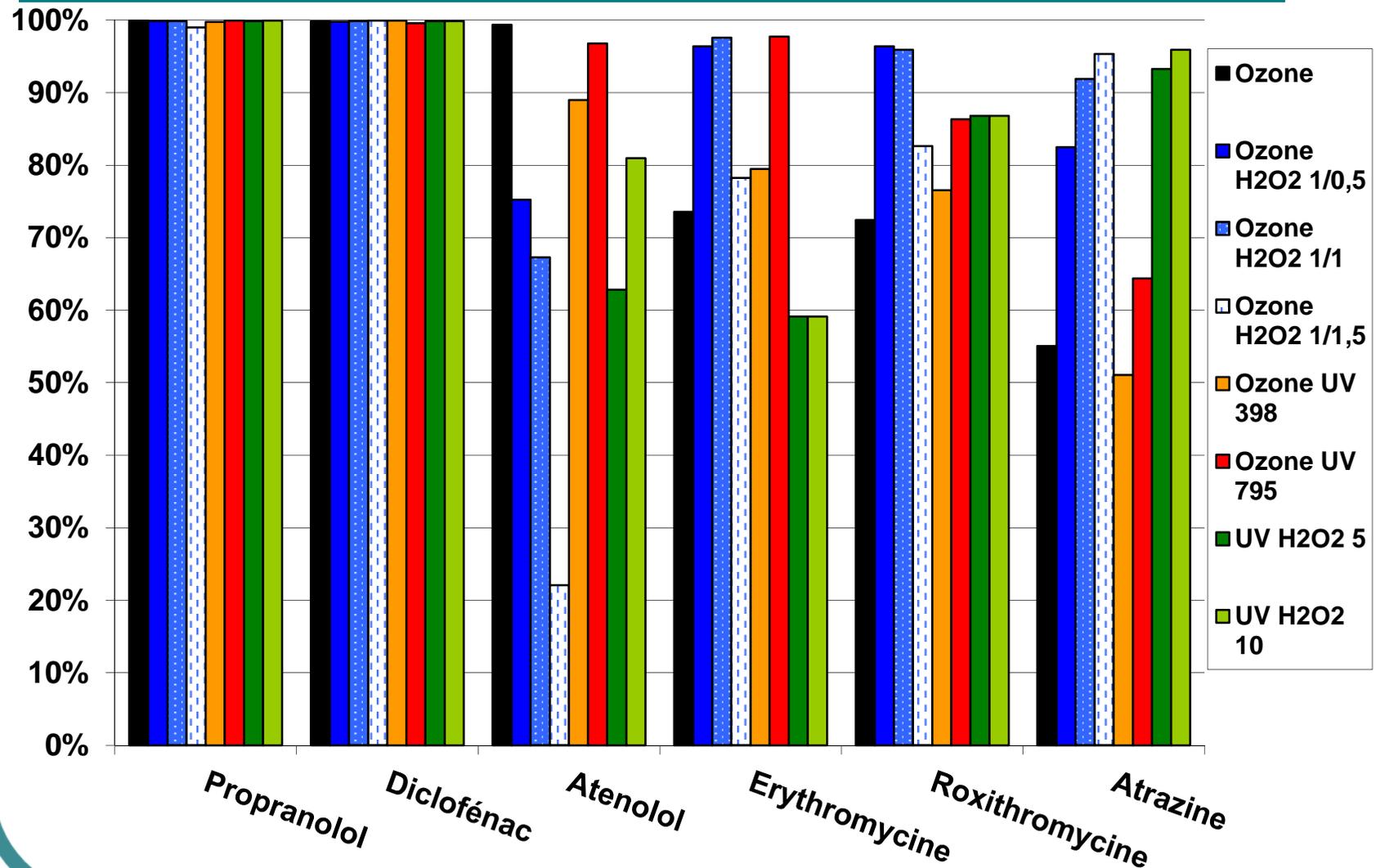


Résultats POA

- Pas d'impact notable du traitement en amont (BRM ou BA + FAS) sur les performances des POA → Présentation des rendements moyens pour les deux sites
- L'ozone ($5 \text{ gO}_3/\text{m}^3$, $t < 3 \text{ min}$) permet d'abattre à plus de 70% plus de 2/3 des micropolluants organiques analysés dans cette étude
- Ajout de H_2O_2 permet d'augmenter significativement (+ 20%) le nombre de substances bien éliminées (>70%) et donc de mieux éliminer les substances faiblement éliminées mais n'augmente pas le nombre de substances très bien éliminées (>90%)
- Ozone/UV et UV/ H_2O_2 n'ont pas permis d'augmenter le nombre de substances bien éliminées par rapport à ozone seul



Résultats rendements d'élimination POA





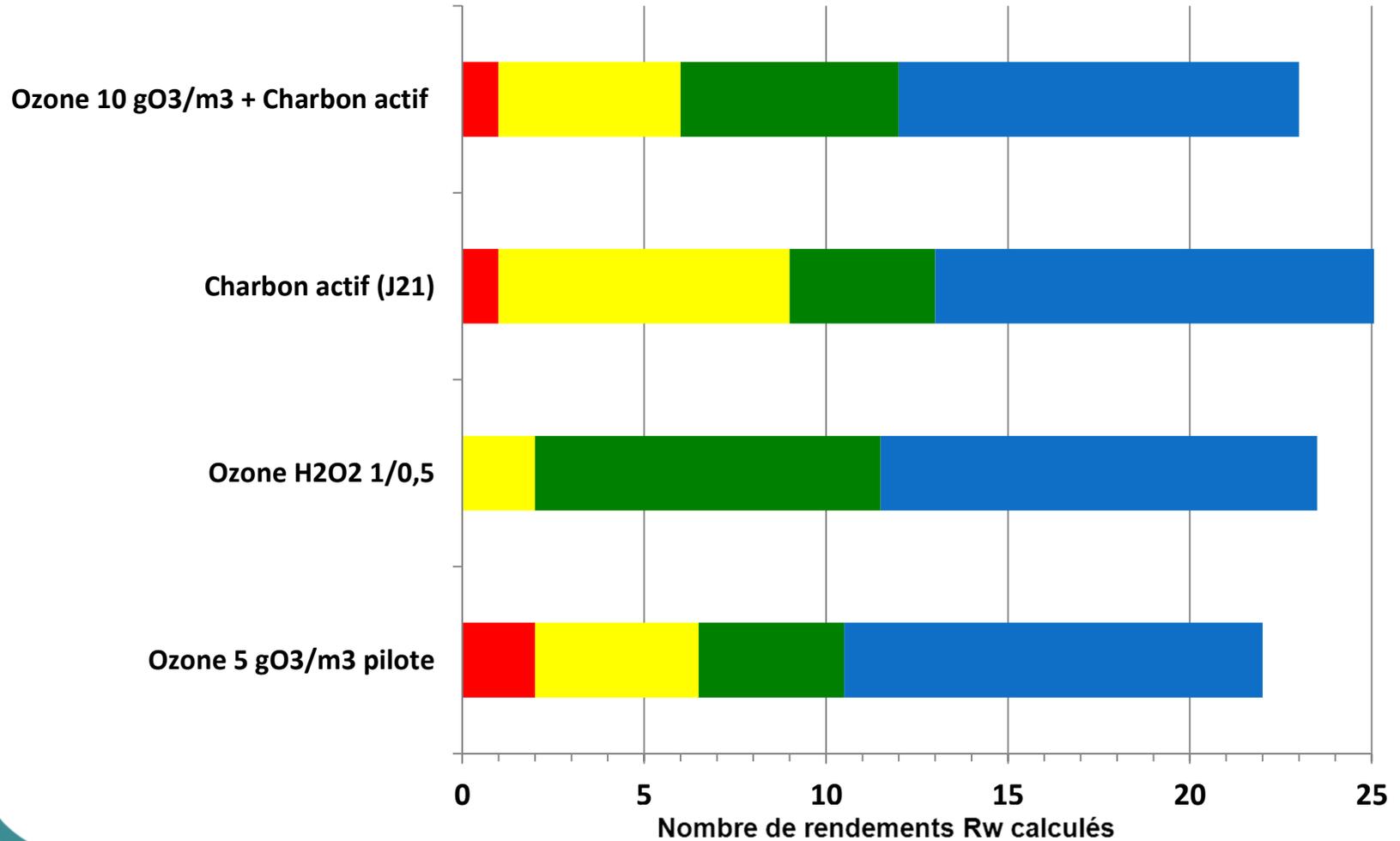
Résultats rendements d'élimination POA

- Certains micropolluants comme le diclofénac et le propranol sont très bien éliminés quelle que soit la combinaison appliquée
- L'atenolol en revanche est très bien éliminé par l'ozone moléculaire et moins bien par les procédés radicalaires (disponibilité de l'ozone moléculaire réduite)
- Roxythromycine et erythromycine ne sont pas complètement éliminées par l'ozone moléculaire
- L'ajout de peroxyde permet d'augmenter le rendement d'élimination
- Baisse du rendement avec H_2O_2 en excès



Synthèse des rendements par procédés

< 30% ■ ; 30 à 70% ■ ; 70 à 90% : ■ ; > 90% : ■ **Micropolluants organiques**





Synthèse des rendements par procédés

- L'ozone ($5 \text{ gO}_3/\text{m}^3$, $t < 3 \text{ min}$) et le charbon actif en grain permettent d'abattre à plus de 70% plus de 2/3 des micropolluants organiques analysés dans cette étude
- L'ajout de H_2O_2 permet d'augmenter significativement (+ 20%) le nombre de substances bien éliminés (>70%) et donc de mieux éliminer les substances faiblement éliminées mais n'augmente pas le nombre de substances très bien éliminées (>90%)
- Le pré-traitement à l'ozone n'a pas permis d'augmenter significativement le nombre de micropolluants bien ou très bien éliminés par rapport au charbon actif en grain seul



Synthèse des rendements par familles de micropolluants organiques

< 30% ■ ; 30 à 70% ■ ; 70 à 90% : ■ ; > 90% : ■

Famille	Charbon actif en grain	Ozone	O ₃ +H ₂ O ₂
Médicaments Betabloquants (4)	■	■	■
Médicaments Antibiotiques (10)	■	■	■
Autres médicaments (4)	■	■	■
HAP (19)	■	■	■
Alkylphénols (6)	■	■	■
Pesticides urée et triazine (4)	■	■	■
Pesticides (glyphosate, AMPA) (2)	■	■	■



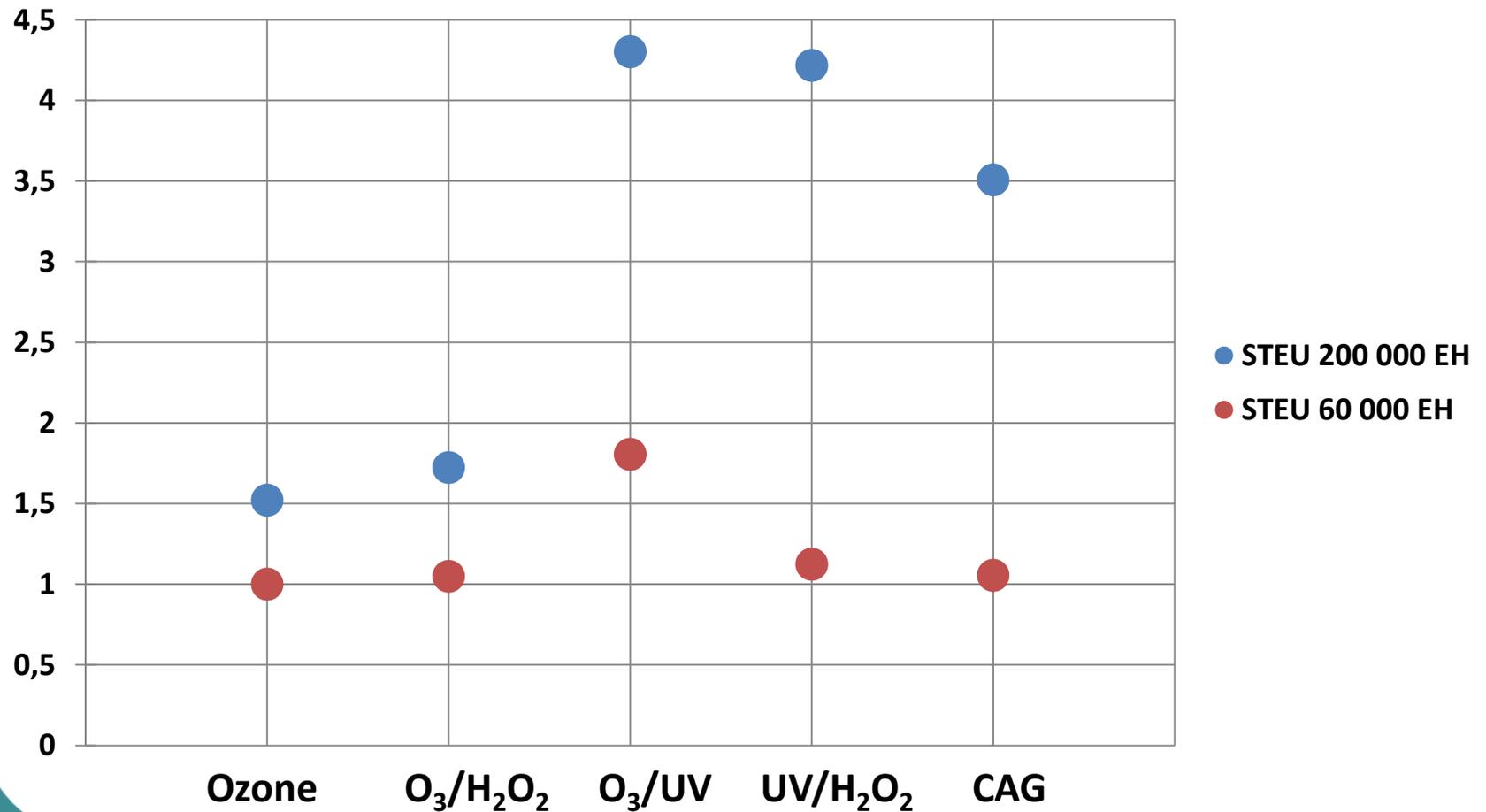
Evaluation économique

- Filières étudiées extrapolées à **taille réelle** afin d'évaluer le coût et l'impact environnemental des procédés pour deux tailles de STEU (60 000 EH et 200 000 EH)
- Pour pouvoir comparer les différentes filières entre elles, un scénario a été défini: 50% des micropolluants organiques de l'étude éliminés à plus de 90%. Cet objectif a été atteint pour toutes les combinaisons étudiées sauf ozone/UV



Evaluation économique

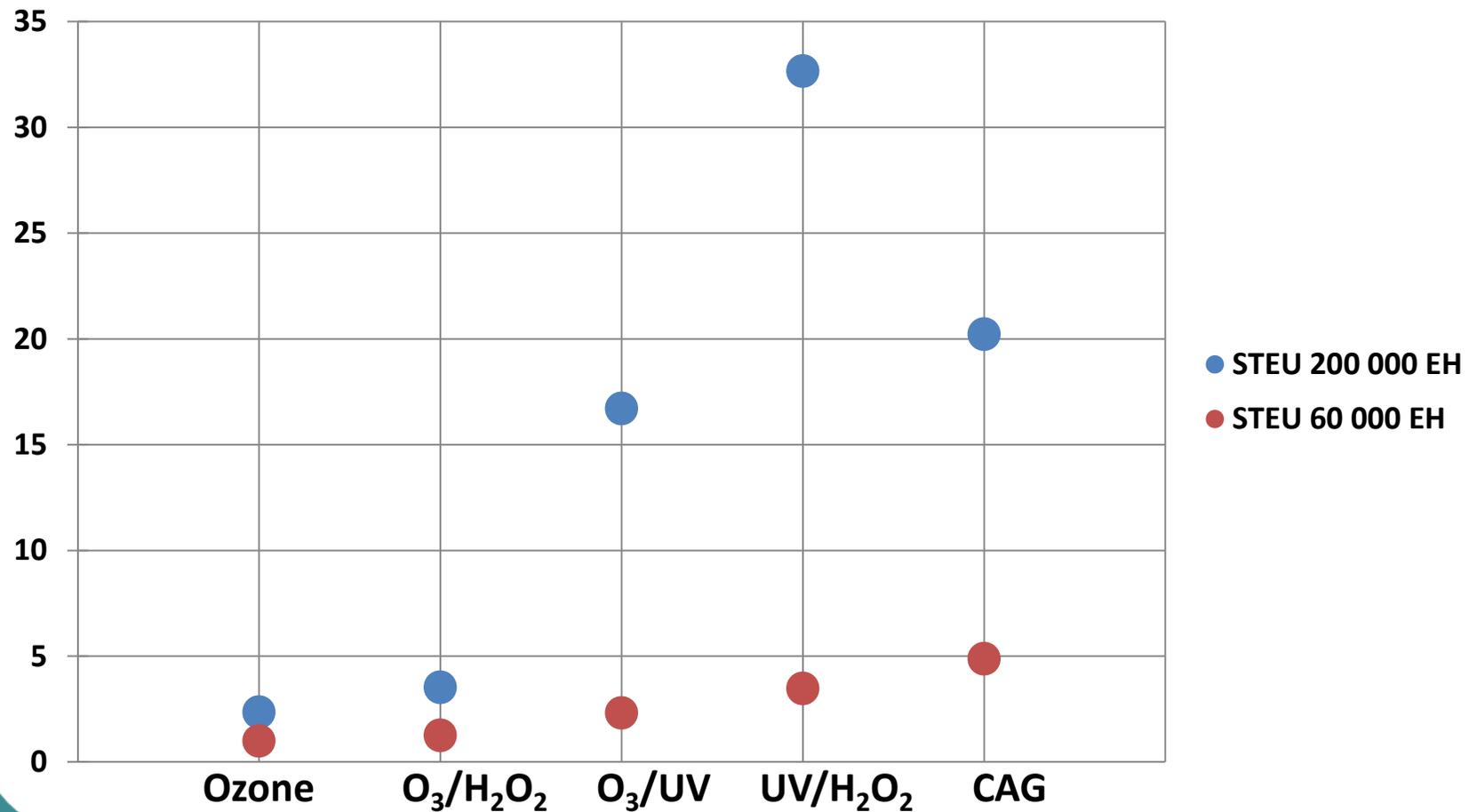
Coûts d'investissement (CAPEX) normalisés par rapport à la technologie la moins chère





Evaluation économique

Coûts de fonctionnement par an (OPEX) normalisés par rapport à la technologie la moins chère





Evaluation économique

- Un design optimisé permet d'aboutir à l'ordre de compétitivité (CAPEX + 20 OPEX) : ozone seul > ozone/ H₂O₂ > ozone/UV > H₂O₂/UV, CAG.
- L'application de POA est à apprécier au cas par cas en fonction des micropolluants à traiter (performance optimisée pour les antibiotiques et les pesticides en comparaison à O₃ seul par exemple)
- Globalement, pour aboutir à une rétention >90% de la moitié des micropolluants organiques étudiés, une filière tertiaire avancée conduirait à un coût global spécifique de traitement de **0,02 à 0,2 €/m³ traités**, ce qui correspond à 2 à 20 €/EH/an selon les technologies étudiées

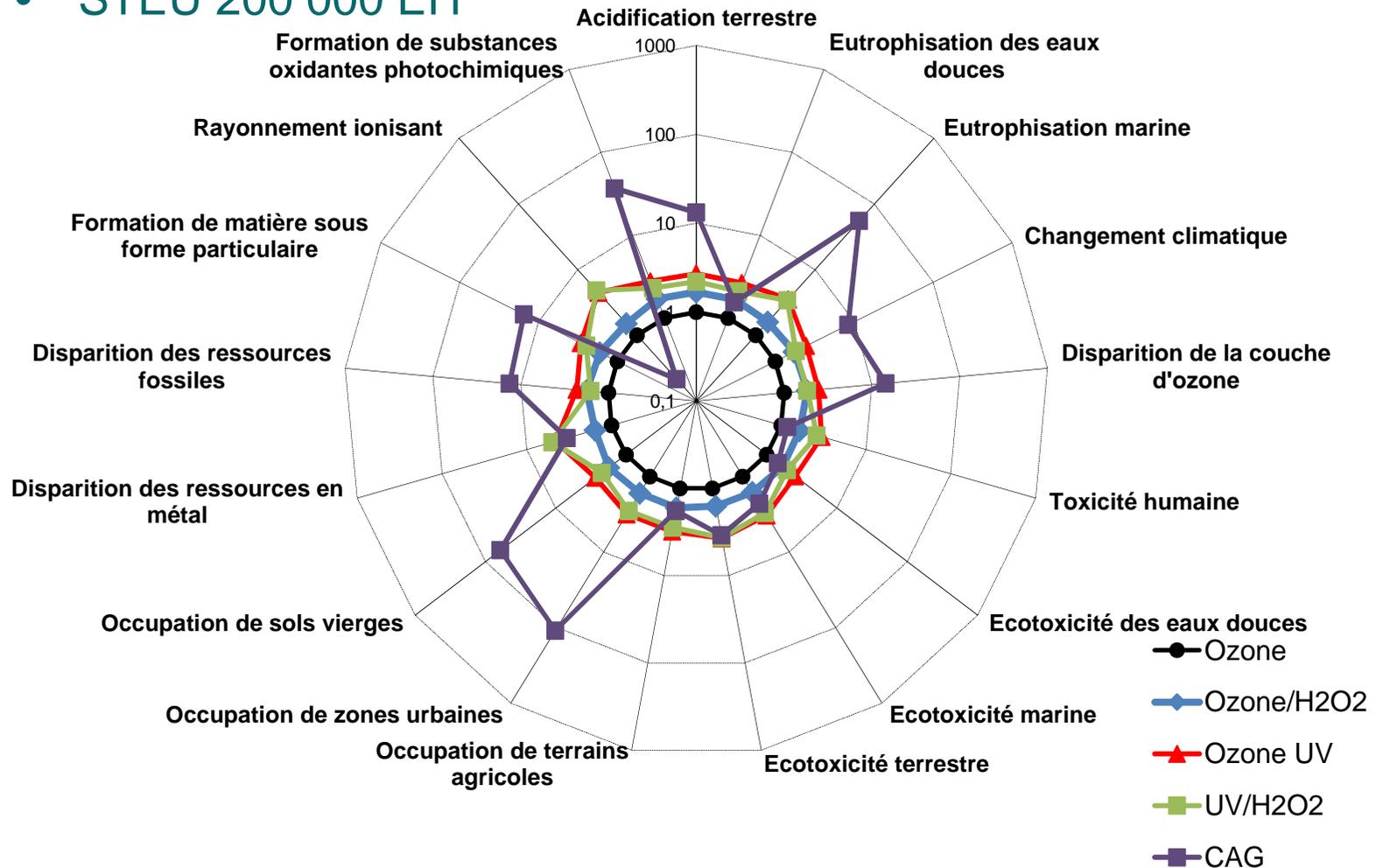


Evaluation environnementale

- Basée sur la méthodologie de l'**Analyse de Cycle de Vie** mais seule l'**exploitation** a été prise en compte
- Logiciel SIMAPRO® 7.3, méthode ReCIPE
- 17 impacts environnementaux dont 4 pour la toxicité, 3 pour l'occupation des sols, 3 pour la disparition des ressources, 2 pour l'eutrophisation et 1 pour le changement climatique
- 5 procédés pour deux tailles de STEU (60 000 et 200 000 EH)

Evaluation environnementale

- STEU 200 000 EH





Evaluation environnementale

- Pour la STEU de 200 000 EH, le CAG est plus impactant que tous les autres procédés (sauf rayonnements ionisants) en particulier en ce qui concerne les impacts d'occupation des sols (fin de vie du charbon en décharge)
- On peut classer les POA par ordre d'impact croissant : ozone < ozone/H₂O₂ < ozone/UV ~ UV/H₂O₂
- Pour la STEU moyenne (60 000 EH) en revanche, le CAG est comparable aux autres procédés en terme d'impact environnemental



Conclusions

- L'application d'ozone ou de charbon actif en grain permet un abattement complémentaire (>70%) pour plus de 2/3 des micropolluants organiques analysés dans cette étude. L'ajout de H₂O₂ permet d'augmenter (+ 20%) ce nombre de substances bien éliminées.
- Cette efficacité a été obtenue dans des conditions compatibles avec une application en STEU:
 - Pas de renouvellement du charbon actif en grain pendant 6 mois (après FAS et ozone pour la désinfection)
 - Dose d'ozone et temps de séjour faibles (5 gO₃/m³, 3 min) après BRM ou BA + FAS
- Le choix de la technologie appliquée doit être fait en fonction des micropolluants ciblés à traiter et de la matrice de l'eau à traiter.
- Le traitement avancé a un coût spécifique de **0,02 à 0,2 €/m³** traités selon les technologies étudiées pour atteindre les objectifs définis dans cette étude



Merci de votre attention

Pour en savoir plus :

- Rapports détaillés Action A du projet ARMISTIQ (2014)
- Numéro spécial TSM (2015)

