

Élimination des micropolluants par les stations d'épuration domestiques

Produits industriels, détergents, hydrocarbures, pesticides, médicaments : les stations d'épuration domestiques sont-elles efficaces pour éliminer toutes les substances chimiques issues des activités humaines retrouvées dans les milieux aquatiques ? Cet article présente les principales connaissances récemment acquises relatives au comportement et au devenir des micropolluants dans les différentes filières de traitement des eaux ainsi que les perspectives d'amélioration des procédés.

Produits industriels, plastifiants, détergents, hydrocarbures, pesticides, cosmétiques, médicaments, de nombreux polluants issus des activités humaines sont présents à l'état de trace dans les milieux naturels (eaux de surface, eaux souterraines, ou eaux dédiées à la consommation). Les concentrations mesurées sont en général très faibles, excédant rarement quelques dizaines de nanogrammes par litre. Les risques associés à une exposition chronique à ces substances sont encore largement discutés par les scientifiques. Néanmoins de nombreux travaux montrent qu'à faibles concentrations, certains micropolluants auraient des effets sur le fonctionnement des écosystèmes avec, notamment, des effets observés sur le comportement des organismes aquatiques et la santé humaine.

Les stations d'épuration (STEP) des eaux usées domestiques n'ont pas été conçues pour traiter les micropolluants. Elles sont considérées comme une des principales sources émettrices de micropolluants vers les milieux aquatiques. Aussi, la réglementation incite, depuis 2000, à la réduction des émissions en application des objectifs fixés par la directive cadre sur l'eau (DCE). Au niveau européen, une liste de substances dites « prioritaires » (dont les rejets sont à réduire) ou « prioritaires dangereuses » (dont les rejets sont à supprimer) a été publiée en 2001, liste mise à jour en 2008 et actuellement en cours de révision. En complément, au niveau national, une

circulaire¹ impose un suivi des émissions d'une centaine de micropolluants pour les STEP de plus de dix mille équivalents habitants. En parallèle, de nombreuses équipes de recherche étudient d'autres micropolluants, substances dites « émergentes », généralement pas encore réglementées (du fait d'un manque de connaissance sur les niveaux d'exposition et/ou sur leur toxicité pour les milieux aquatiques ; ex. : substances pharmaceutiques).

Sur le plan technique, deux principales voies permettraient de réduire les émissions de micropolluants :

- compléter le traitement des eaux usées par la mise en place d'une étape de traitement tertiaire ;
- réduire les usages par des actions de réduction à la source.

Dans ce processus, la qualité des informations collectées est un facteur « clef » du diagnostic et de la prise de décision. Dans le but d'améliorer la qualité des données sur les micropolluants dans les rejets, AQUAREF² a édité un guide technique qui détaille les précautions particulières à prendre lors de l'échantillonnage des eaux usées lors de la recherche des micropolluants.

Le présent article synthétise les principales connaissances générées dans la période 2006-2009 (projet « AMPERES »³) relatives au devenir des micropolluants en STEP domestiques. Puis, il présente les recherches en cours sur l'optimisation du traitement des micropolluants

1. Circulaire du 29 septembre 2010 du MEEDEM relative à la surveillance de la présence de micropolluants dans les eaux rejetées au milieu naturel par les stations de traitement des eaux usées.

http://www.bulletin-officiel.developpement-durable.gouv.fr/fiches/BO201021/met_20100021_0100_0021.pdf

2. AQUAREF : Laboratoire national de référence pour la surveillance des milieux aquatiques (<http://www.aquaref.fr>)

3. AMPERES = Analyse de micropolluants prioritaires et émergents dans les rejets et les eaux superficielles (ANR PRECODD 2006-2009) : <https://projetamperes.cemagref.fr/>

❶ Photos de deux procédés de traitement des eaux usées et des boues étudiés dans le projet AMPERES.
À gauche : décanteur tertiaire (traitement du phosphore), à droite : filière de traitement des eaux usées domestiques.



© J.-M. Choubert

par les procédés de traitement. Par une acquisition de connaissances nouvelles, à l'aide d'expérimentations de terrain et de modélisation, ces travaux anticipent les évolutions de la réglementation, comme par exemple, l'intégration de nouvelles substances dans la liste des substances prioritaires et la nécessité d'intensifier la réduction des rejets de micropolluants.

Devenir de micropolluants en station d'épuration

Les résultats du programme de recherche intitulé « AMPERES » (2006-2009), ont permis d'acquérir des connaissances nouvelles sur l'efficacité d'élimination d'une centaine de micropolluants par différentes filières de traitement des eaux usées. En outre, des techniques analytiques et d'échantillonnage robustes et compatibles avec les très faibles niveaux de concentrations des substances dans les eaux et les boues ont été développées.

Le projet AMPERES

En collaboration avec l'université de Bordeaux 1, Suez-Environnement et l'Agence de l'eau Rhône-Méditerranée et Corse, et avec le soutien de l'Agence nationale de la recherche (ANR), Irstea a réalisé et coordonné le projet de recherche AMPERES ayant pour objectifs principaux de :

- maîtriser des méthodes analytiques pour les substances prioritaires et émergentes dans des matrices complexes (eaux usées/boues),
- quantifier les flux émis et les performances de traitement par les STEP domestiques,
- identifier les traitements tertiaires efficaces.

Des échantillons d'entrée et de sortie de STEP, ainsi que des échantillons de boues et de retours en tête des filières boues associées, ont fait l'objet d'analyses chimiques sur les fractions solides et liquides. Au total, 127 substances ont été recherchées :

- 41 substances prioritaires DCE⁴ et 48 substances chimiques additionnelles comme d'autres métaux, produits de dégradation connus des détergents et pesticides, quelques autres substances d'intérêt récent (ex. : triclosan, bisphénol A),

- 38 substances dites « émergentes » (33 produits pharmaceutiques et 5 hormones) choisies d'après les données de consommation française, les concentrations retrouvées dans les milieux aquatiques et leur toxicité connue.

Les travaux ont permis d'évaluer les performances d'élimination de micropolluants par 21 stations d'épuration

4. Directive 2008/105/CE du Parlement européen et du Conseil établissant des normes de qualité environnementale dans le domaine de l'eau (2008).

❶ QUELQUES DÉFINITIONS

Le terme **substance** désigne tout élément chimique et ses composés, à l'état naturel ou fabriqué, y compris les additifs nécessaires à leur stabilité et les impuretés qui résultent du processus de fabrication.

La **volatilisation** concerne les substances dites volatiles qui sont transférables de l'eau vers l'atmosphère, comme les solvants et les hydrocarbures de faible masse molaire. Elle se produit lors de chute d'eau dans les canalisations ou de l'aération (forcée ou passive) durant le traitement.

La **sorption** est responsable du transfert des micropolluants de l'eau vers la phase particulaire des boues liquides. Phénomène très rapide par rapport aux autres processus et au temps de séjour dans le procédé de traitement, la sorption dépend de l'hydrophobicité d'une substance, c'est-à-dire de son affinité pour la matière organique.

La **biodégradation** consiste en la modification d'une substance par un processus bactérien. Il semblerait que les micropolluants soient transformés sans croissance bactérienne, pendant la conversion biologique paramètres majeurs (carbone, azote). On parle alors de processus de cométabolisme.

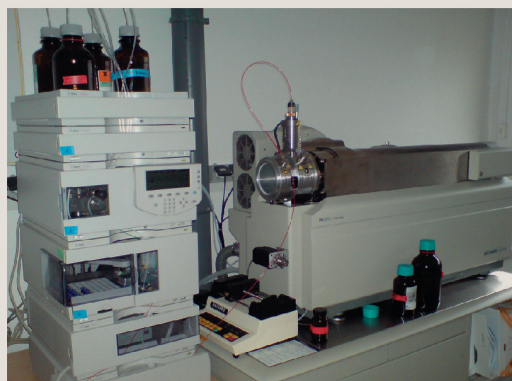
La **modélisation mathématique** consiste à créer une représentation virtuelle d'un système réel grâce à la résolution (par ordinateur) d'équations décrivant son fonctionnement. Cette représentation se prête à l'étude et à des expérimentations (appelées simulations), en présentant l'avantage de pouvoir multiplier les expériences avec un gain de temps, de moyens et d'efficacité par rapport à l'expérimentation sur le système réel.

② Illustration des étapes d'échantillonnage, de conditionnement et d'analyse.

Flacons à destination
des laboratoires
(par point de prélèvement)



Appareil
de chromatographie
en phase liquide avec
détection par spectrométrie
de masse en tandem
(LC-MSMS) pour l'analyse
des médicaments
et des pesticides



Échantillonneur automatique
réfrigéré avec tuyau Téflon
et flaconnage en verre

© J.-M. Choubert et C. Miège

▶ équipées de différents procédés de traitement (figure ①) : 12 filières secondaires, 6 traitements tertiaires et 6 types de filière boues.

Apports méthodologiques

Une méthodologie d'échantillonnage/ conditionnement spécifique

La méthodologie d'échantillonnage appliquée est basée sur le prélèvement d'échantillons moyens journaliers proportionnels au débit, conservés au froid. Les échantillons obtenus étaient conditionnés sur site et acheminés vers les laboratoires dans un délai inférieur à vingt-quatre heures. La spécificité des protocoles développés réside dans l'utilisation de matériels en verre et en téflon ayant préalablement subi une étape de nettoyage spécifique en vue de limiter le risque de contamination (figure ②).

L'homogénéisation des échantillons moyens était assurée par un système de mélange mécanique continu, conçu pour éviter la contamination, utilisant une pale d'agitation en téflon. Lorsque cette étape est mal réalisée, elle engendre de fortes différences de concentration en matières en suspension (MES) dans les flacons destinés aux laboratoires, ce qui induit un biais lors de l'analyse de composés adsorbés sur les MES.

Des analyses robustes aux très faibles concentrations dans les eaux et les boues

C'est principalement dû à un saut technologique dans l'analyse chimique que la mesure des concentrations en micropolluants organiques à des concentrations très

faibles dans des matrices complexes telles que les eaux usées est devenue possible. Dans le projet AMPERES, les développements ont porté sur l'optimisation des méthodes analytiques pour l'analyse des micropolluants dans les eaux résiduaires et les boues. Pour les eaux, les analyses étaient menées sur la phase dissoute et les MES séparément, de façon à améliorer la qualité de l'analyse pour les composés hydrophobes. Les performances des méthodes développées ont été établies en termes de limite de quantification (quelques nanogrammes par litre), rendement d'extraction, répétabilité et reproductibilité. Pour se prémunir des effets matrice qui peuvent induire des biais dans les résultats, il est indispensable d'utiliser des indicateurs de performances (ex. : étalons internes, dopages en concentration connue).

Des règles de calcul innovantes

Le calcul de rendements d'élimination n'a pas été effectué lorsque les concentrations mesurées en micropolluants étaient inférieures ou proches des limites de quantification (LQ), car l'incertitude de mesure était trop élevée pour donner une valeur fiable du rendement. Ces règles se démarquent de celles utilisées pour les paramètres majeurs car elles prennent en compte, de manière systématique, l'incertitude associée aux résultats d'analyses.

Principaux résultats du projet AMPERES

Les rendements d'élimination des micropolluants augmentent avec le niveau de traitement des paramètres conventionnels : traitement primaire < traitement secondaire éliminant le carbone < traitement secondaire

éliminant le carbone et l'azote, mis à part le cas des micropolluants sorbés aux MES éliminés par décantation ou filtration. Aucune différence significative de rendement n'a été observée entre les procédés à cultures libres ou fixées, dès lors que les objectifs de traitement des filières comparées sont identiques (traitement du carbone, de l'azote, rétention des MES). L'augmentation des rendements d'élimination a été mise en évidence pour certains micropolluants.

Élimination par les filières secondaires réalisant un traitement de l'azote

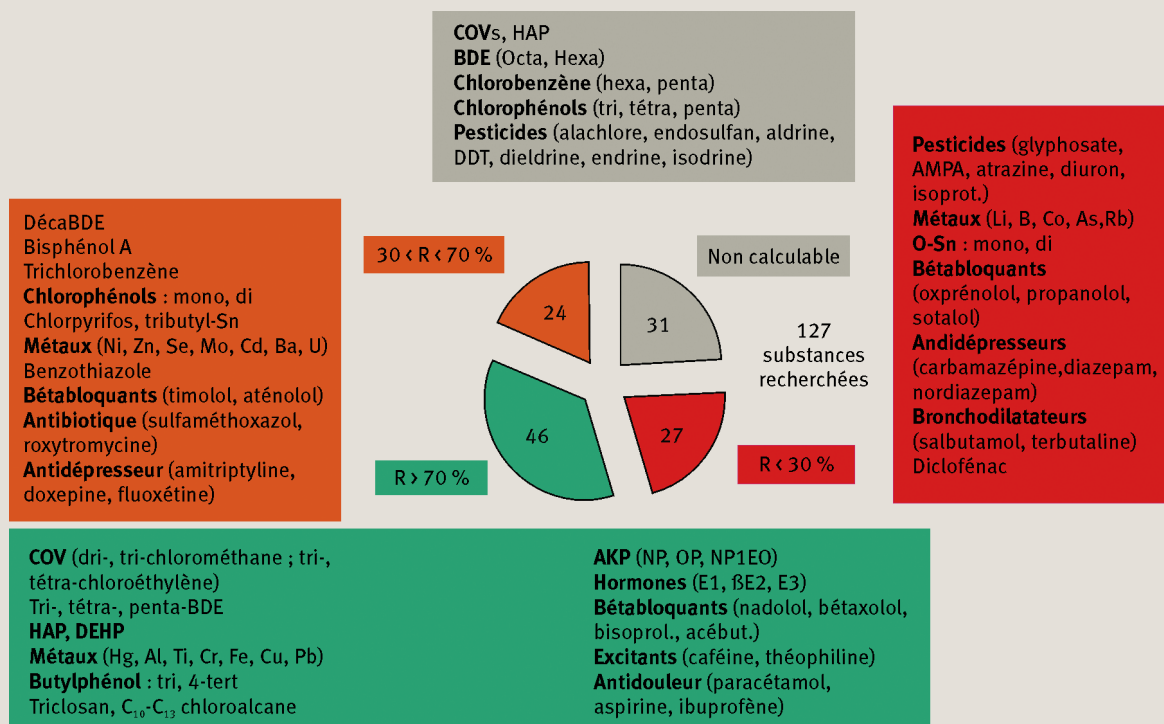
Une cartographie du devenir des micropolluants dans les stations d'épuration a été établie (figure 9). Environ 80 % du flux de micropolluants en entrée de STEP n'est plus retrouvé en sortie de traitement biologique conventionnel (ex. : type boues activées aération prolongée). Quarante-six des substances étudiées (la moitié des substances quantifiées en entrée de STEP) sont éliminées à plus de 70 %. Les rendements d'élimination de la filière eau sont de l'ordre de 50 à 85 % pour les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et certains métaux, de 75 à 85 % pour les alkylphénols et les diphenylétherbromés (PBDE), de 75 à 95 % pour les hormones oestrogéniques, les analgésiques/anti-inflammatoires, les composés semi-volatils et certains métaux.

La réduction du flux de micropolluants intervient majoritairement par sorption et donc transfert vers les boues ; c'est le cas pour les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), les polychlorobiphényles (PCB), les polybromodiphényléthers (PBDE), et la plupart des métaux (ex. : Hg, Ni, Cu, Cr, Zn, Cd, Pb). Certains micropolluants sont biotransformés (ex. : triclosan, hormones oestrogéniques, analgésiques/anti-inflammatoires) ou sont volatilisés (ex. : chloroforme). Pour la plupart des substances, il s'agit d'une combinaison de ces mécanismes.

À l'opposé, plusieurs substances ne sont pratiquement pas affectées par le passage à travers les procédés primaires et secondaires (rendement < 30 %). C'est le cas, par exemple, des pesticides polaires (glyphosate, diuron), des composés pharmaceutiques (carbamazépine, diclofénac, propranolol, sotalol), et de certains micropolluants issus de la transformation d'autres substances, comme l'acide nonylphénoxyacétique (produit de l'oxydation biologique des alkylphénols) et l'acide aminométhyl phosphorique (AMPA, issus de la dégradation du glyphosate et de détergents).

Ainsi, dans les eaux traitées de STEP, on retrouve fréquemment des métaux (Zn, Cu, Pb, As, Ni, Cr) et des substances organiques (diuron, atrazine, tributylphosphate, naphthalène, fluoranthène, DEHP, tributylé-
tain, 4-tert-butyl, nonyl- et octyl-phénol, chloroform,

9 Élimination des micropolluants par le procédé boues activées aération prolongée (6 STEP).



Les valeurs de rendement sont indiquées par un code couleur :

- en rouge : rendement inférieur à 30 % en rouge ;
- en orange : rendement compris entre 30 et 70 % ;
- en vert : rendement supérieur à 70 % ;
- en gris : rendement non calculable.

1 Rendements d'élimination de procédés de traitement en étage tertiaire.

Familles	Substances	Rendements d'élimination observés (%) pour les procédés tertiaires					
		Lagunage de finition	Décantation rapide	Filtration sur sable	Osmose inverse	Ozonation	Filtration sur charbon actif
Volatils	Di-tri-chlorométhane, tétrachloroéthylène						
Pesticides	Glyphosate, AMPA						
	Atrazine, simazine						
	Diuron, isoproturon						
Chlorophénols	Dichlorophénols, tribromophénols						
Phtalates	DEHP						
HAP	Fluoranthène						
Additifs	Benzothiazoles						
Métaux	Li, Ti, V, Se, Ba						
	As						
	Cu, Sn						
	B						
	Fe						
	Cr, Zn						
	Ni, Co, Rb, Mo, Sb, U						
	Hg						
	Ag, Cd						
	Pb, Al						
Alkylphénols	Nonylphénols, octylphénols, NP2EO						
	NP1EO						
	Acide nonylphénoxyacétique						
Hormones	Estrone, éthinyloestradiol						
Pharmaceutiques	Oxprenolol, bisoprolol, atenolol, sotalol, prazosin, diclofénac, gemfibrozil						
	Timolol, nadolol						
	Propranolol						
	Carbamazépine, diazépam, nordiazépam, alprazolam, fluoxétine, acébutolol, amitriptyline, métoprolol, roxythromicine						
	Kétoprofène, salbutamol						
	Aspirine						
	Sulfaméthoxazole, bromazépam						

Les valeurs de rendement sont indiquées par un code couleur :
 en rouge ■ : rendement inférieur à 30 % en rouge ■ : rendement compris entre 30 et 70 % ;
 en vert ■ : rendement supérieur à 70 % ; en gris ■ : rendement non calculable.

tétrachloroéthylène) ; ces résultats sont semblables à ceux de l'étude RSDE⁵. De plus, le projet AMPERES a montré que l'on mesurait de manière systématique une vingtaine de substances pharmaceutiques, dont trois avec une concentration supérieure à 0,1 µg/L (diclofénac, sotalol et carbamazépine).

Élimination par les procédés tertiaires

Les procédés tertiaires d'affinage (décantation rapide, filtration sur sable, lagunage de finition) se sont avérés peu efficaces pour compléter l'élimination des substances mal retenues par les procédés biologiques (tableau ①). En revanche, les procédés tertiaires avancés (oxydation à l'ozone, filtration sur charbon actif ou par osmose inverse) ont des rendements supérieurs à 70 %, assurant un traitement complémentaire de certains pesticides et composés pharmaceutiques polaires. Quelques substances subsistent néanmoins dans les eaux traitées à des concentrations d'environ 1 µg/L comme l'AMPA ou l'acide nonylphénoxyacétique. À noter également qu'aucune amélioration de rendement n'a été observée pour les métaux, hormis avec l'osmose inverse (tableau ①). L'intégration optimale de ces procédés dans des filières de traitement reste à trouver pour arriver au meilleur compromis coût/efficacité/impact environnemental.

Vers la réduction des flux de micropolluants rejetés par les stations d'épuration

La réduction des émissions de micropolluants dans l'environnement passe à la fois par la réduction des déversements de substances chimiques dans les réseaux d'assainissement (réduction à la source) et par l'amélioration des traitements en STEP.

Action amont : la réduction à la source

La réglementation environnementale REACH⁶ a renforcé les exigences vis-à-vis des industriels de la chimie. Un diagnostic préalable, évaluant la biodégradabilité de nouvelle substance, est désormais nécessaire (selon le tonnage), pour en obtenir l'autorisation de mise sur le marché. En outre, dans les procédés de fabrication industrielle, de nombreuses actions visent à réduire les quantités de produits chimiques utilisés (traitement de surface, mécanique automobile, imprimeries, peintures, raffinage...)⁷.

Afin de réduire les émissions de substances chimiques par les activités répondant aux besoins des particuliers générant des eaux usées « assimilées domestiques »⁸, de nombreuses actions sont également en cours : activités de services contribuant aux soins d'hygiène des personnes (ex. : laveries, salons de coiffure/beauté),

activités pour la santé humaine (ex. : hôpitaux, cabinets médicaux/dentaires), métiers de bouche (ex. : restaurants, transformation/ventes de plats à emporter), activités sportives ou d'accueil du public (ex. : stades, gare...), d'hôtelleries, de services aux particuliers (ex. : commerce de détail)...

Enfin, la réduction des usages de produits chimiques est aussi soutenue au niveau des particuliers en encourageant leur comportement « éco-citoyen » (ex. : utilisation de produits ménagers à tensio-actifs végétaux et d'auxiliaires mécaniques de lavage ; collecte en déchetterie des emballages usagés de peintures, désherbants, dissolvants, acides, huiles).

Le changement de pratiques et de comportements permettra à terme de diminuer les concentrations en micropolluants en entrée de STEP. Reste à solutionner le cas des micropolluants véhiculés majoritairement par transfert atmosphérique (ex. : HAP, pesticides) ou des substances à large consommation humaine (ex. : produits pharmaceutiques et cosmétiques).

Action aval : l'amélioration des procédés de traitements

Les possibilités d'amélioration du traitement résident soit dans la modification de certains points de conception des filières de traitement actuelles (dimensionnement, exploitation), soit dans la mise en place de procédés tertiaires avancés. Si différentes solutions technologiques commencent à se dessiner pour traiter les micropolluants, les conditions opératoires les plus appropriées ne sont pas encore maîtrisées.

Objectifs

Le projet ARMISTIQ⁹ (2010-2013) vise à améliorer la connaissance et la maîtrise de technologies de traitement des micropolluants des eaux usées et des boues. Le projet concerne :

- les micropolluants partiellement biodégradables dans les traitements conventionnels (boue activée aération prolongée). Le travail porte sur l'acquisition de connaissances sur les processus de dégradation biologiques et de sorption sur les boues liquides. Il couple des mesures en conditions maîtrisées sur une STEP, à la modélisation dynamique en vue d'une optimisation par simulations prédictives ;
- les micropolluants réfractaires aux traitements conventionnels (par exemple, certains pesticides et médicaments hydrophiles). Différentes voies de traitement tertiaire sont étudiées utilisant le processus d'oxydation (ozonation, peroxyde, ultra-violet), d'adsorption sur matériaux spécifiques (charbon actif, argile expansée, zéolite) ou de photo/phyto-dégradation ;

5. Action de recherche de substances dangereuses dans l'eau (installations classées).

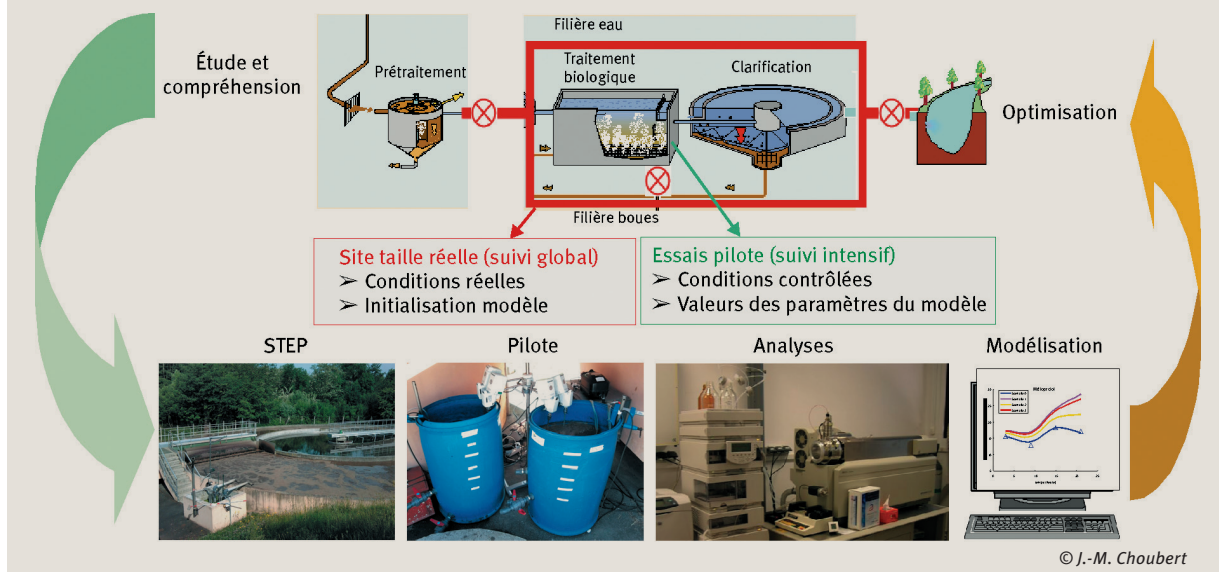
6. Règlement européen sur l'enregistrement, l'évaluation, l'autorisation et les restrictions des substances chimiques (juin 2007).

7. Plans nationaux d'actions : Micropolluants 2010-2013 ; Assainissement 2012-2018 ; Résidus de médicaments dans les eaux 2011, ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement, ministère du Travail, de l'Emploi et de la Santé.

8. Arrêté du 21 décembre 2007 relatif aux modalités d'établissement des redevances pour pollution de l'eau et pour modernisation des réseaux de collecte, Journal officiel, 142 p.

9. ARMISTIQ = Amélioration de la réduction des micropolluants dans les stations de traitement des eaux usées domestiques (soutien ONEMA 2010-2013), coordonné par Irstea et réalisé avec l'université de Bordeaux 1 et Suez-Environnement

4 Schéma de la démarche associant mesures en STEP (2 900 EH) et en réacteurs fermés (200 litres), et modélisation dynamique.



© J.-M. Choubert

- les micropolluants hydrophobes transférés dans les boues. Les performances de plusieurs procédés de traitement des boues avant valorisation agricole sont étudiées (i.e. digestion anaérobie, compostage, séchage thermique ou solaire en serre, lits de séchage plantés).

Moyens mis en œuvre

Dans le cadre du projet ARMISTIQ, les travaux menés consistent en l'évaluation des performances d'élimination de micropolluants par des installations « pilotes » installées sur STEP, ou bien par des installations taille réelle. Différentes campagnes d'échantillonnage sont réalisées sur les mêmes installations avec différentes conditions de fonctionnement : concentrations en boues et température pour le procédé boues activées, dose d'oxydants et temps de séjour hydraulique (traitements tertiaires), température de chauffage et aération (traitement des boues). Les résultats permettront de définir des conditions de fonctionnement « optimales », et de préciser les limites et les coûts de la mise en œuvre de ces procédés. Ces avancées favoriseront la prise de décision éclairée sur la définition de priorités d'actions quant à la réduction ou à la substitution des micropolluants à la source. En complément, le projet ECHIBIOTEB¹⁰ met en œuvre des échantillonneurs intégratifs et des tests biologiques pour combiner approche chimique et mesure d'effets biologiques, afin d'affiner le diagnostic de performances de traitement des procédés tertiaires et de traitement des boues.

Une approche orientée processus associant expérimentation et modélisation

En vue de limiter la mise en place de procédés tertiaires avancés, un des volets du projet ARMISTIQ vise à identifier les points d'amélioration du procédé

boues activées aération prolongée. L'approche consiste à travailler à la fois à l'échelle du réacteur de laboratoire (conditions contrôlées) et à l'échelle de la STEP, en associant mesures expérimentales et modélisation (figure 4).

Très utilisée par les chercheurs et les ingénieurs dans le monde entier, la modélisation dynamique est un outil permettant d'explorer différents scénarios de fonctionnement d'une STEP et de trouver la meilleure stratégie de fonctionnement. Pour les micropolluants, la modélisation des processus de sorption et de biodégradation est en cours (thèse Irstea).

Les paramètres du modèle sont déterminés à l'aide de tests en réacteurs fermés (figure 5). Le coefficient de sorption (K_d) est mesuré après dopage de la boue en micropolluants à une dizaine de $\mu\text{g/L}$ (J1). Les paramètres cinétiques de biodégradation (k_s et k_x) sont mesurés à partir de l'évolution des concentrations dans différentes conditions (J2 à J4).

Pour les micropolluants biodégradables, on observe une dégradation en conditions aérobie, intense en présence de carbone et d'azote (cométabolisme), d'intensité moindre en présence d'azote seul, et très faible en phase endogène (fraction dissoute S_{mp}). On observe peu de dégradation de la fraction particulaire (X_{mp}).

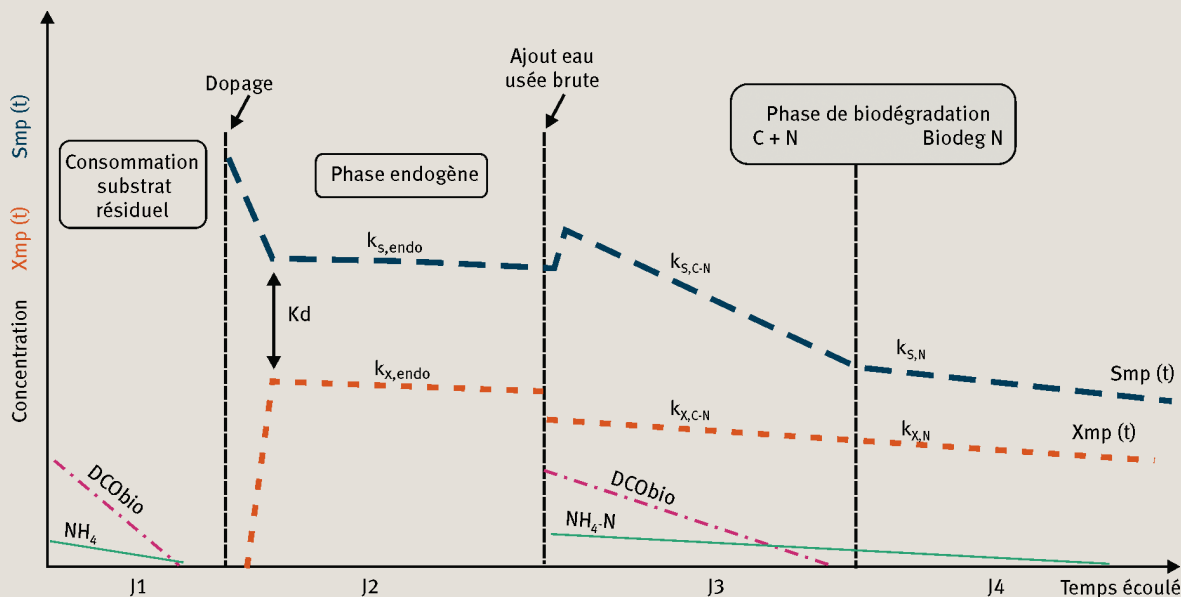
Le modèle dynamique sera utilisé pour évaluer la marge d'optimisation possible. L'étude porte sur les stratégies de fonctionnement permettant d'atteindre les rendements d'élimination les plus élevés pour les substances visées : par exemple, l'augmentation de la concentration en boue pour optimiser la sorption, l'alternance de phases aérobie/anoxie pour optimiser la biodégradation, l'étude de l'effet de surcharges hydrauliques.

Conclusions et perspectives

La recherche de micropolluants dans les eaux usées et les boues est récente à l'échelle de l'histoire de l'épuration des eaux usées. Les évolutions importantes

10. ECHIBIOTEB = Méthodologies innovantes pour l'analyse chimique et biologique des substances des eaux traitées et boues (ANR ECOTECH 2010), coordonné par Irstea et mené en collaboration avec université de Bordeaux 1, Suez-Environnement, INERIS, université Paris-Sud, Envolution.

⑤ Évolution des concentrations en micropolluants dans les phases dissoute (S_{mp}) et particulaire (X_{mp}) de la boue placée en réacteur fermé (200 litres) pendant 4 jours. Une cinquantaine de micropolluants sont étudiés (ex. : des HAP, alkylphénols, substances pharmaceutiques et pesticides).



© J.-M. Choubert

dans le domaine des méthodes d'échantillonnage, de l'analyse, ainsi que la mise en place de programmes de surveillance dans le contexte de la réglementation européenne (DCE) ont fortement contribué à mieux connaître les sources de rejets via les eaux usées et les boues.

Les résultats présentés démontrent que les STEP domestiques, bien que non conçues dans l'objectif de traiter les micropolluants, en éliminent un grand nombre avant rejet des eaux traitées vers les milieux naturels. Les rendements d'élimination d'une filière eau sont d'autant plus importants que le traitement des paramètres conventionnels est poussé. En pratique, une grande partie des micropolluants est transférée vers les boues, mais une vingtaine des substances étudiées (certains pesticides et médicaments hydrophiles) sont toujours présentes dans les eaux traitées à des concentrations supérieures à 1 $\mu\text{g/L}$. Outre la réduction à la source, l'efficacité des traitements tertiaires avancés (oxydation chimique, adsorption ou osmose inverse) a été démontrée ; néanmoins, il reste une optimisation technico-économique à trouver pour ces procédés.

Nos futures recherches visent à optimiser les performances des procédés tertiaires vis-à-vis des micropolluants réfractaires au traitement biologique, à mieux comprendre et améliorer certaines filières de traitement conventionnel (ex. : boues activées) pour les micropolluants partiellement dégradés, et à définir des voies de réduction des concentrations en micropolluants hydrophobes lors du traitement des boues. En complément des efforts déjà réalisés pour mettre en conformité les STEP, ainsi que des actions de réduction à la source, les éléments techniques présentés pourront servir de base pour répondre aux évolutions réglementaires nationales et européennes sur les rejets de STEP.

Une acquisition de connaissances opérationnelles doit désormais être déployée sur les procédés de traitement faisant appel à la capacité épuratoire des sols (zone de rejet végétalisée, assainissement non-collectif). Ces procédés représentent un potentiel de traitement à faible empreinte environnementale, mais dont l'efficacité vis-à-vis des micropolluants est encore peu connue.

Les travaux déjà menés sur l'efficacité des STEP ouvrent un premier champ d'investigation incluant l'identification et la caractérisation des processus de transformation des micropolluants. De nouvelles techniques d'investigation pourront être déployées (ex. : traçage isotopique, recherche de produits de dégradation). Un second volet d'investigation concerne la mise au point d'outils d'identification des émetteurs de micropolluants. ■

Les auteurs

Jean-Marc CHOUBERT, Maxime POMIÈS, Cécile MIÈGE et Marina COQUERY

Irstea, centre de Lyon, UR MALY, Milieux aquatiques, écologie et pollutions, 5 rue de la Doua, CS 70077, 69626 Villeurbanne Cedex

✉ jean-marc.choubert@irstea.fr

✉ maxime.pomies@irstea.fr

✉ cecile.miege@irstea.fr

✉ marina.coquery@irstea.fr

Samuel MARTIN-RUEL

CIRSEE, Suez Environnement, 38 rue du Président Wilson, 78230 le Pecq

✉ samuel.martin@suez-env.com

Hélène BUDZINSKI

Université Bordeaux 1, CNRS, EPOC/LPTC, 351 Cours de la libération, 33405 Talence Cedex

✉ h.budzinski@epoc.u-bordeaux1.fr

Christelle WISNIEWSKI

UMR Qualisud, UFR des Sciences Pharmaceutiques et Biologiques, Université Montpellier 1, 15 avenue Charles Flahault, BP 14491, 34093 Montpellier Cedex 5

✉ christelle.wisniewski@univ-montp1.fr



QUELQUES RÉFÉRENCES CLÉS...

- CHOUBERT, J.-M., MARTIN RUEL, S., BUDZINSKI, H., MIÈGE, C., ESPERANZA, M., SOULIER, C., LAGARRIGUE, C., COQUERY, M., 2011, Rendements d'élimination de micropolluants par les filières d'épuration conventionnelles et avancées : apports méthodologiques et résultats du projet de recherche AMPERES, *Techniques Sciences et Méthodes*, n° 1/2, p. 44-62.
- COQUERY, M., POMIÈS, M., MARTIN RUEL, S., BUDZINSKI, H., MIÈGE, C., ESPERANZA, M., SOULIER, C., CHOUBERT, J.-M., 2011, Concentrations et flux de micropolluants dans les eaux usées brutes et les rejets de stations d'épuration : méthodologie et principaux résultats du projet AMPERES. *Techniques Sciences et Méthodes*, n° 1/2, p. 25-43.
- EYMERY, F., CHOUBERT, J.-M., LEPOT, B., GASPERI, J., LACHENAL, J., COQUERY, M., 2012, Pratiques d'échantillonnage et de conditionnement en vue de la recherche de micropolluants prioritaires et émergents en assainissement collectif et industriel, Guide technique AQUAREF, Première version, 85 p. http://www.aquaref.fr/system/files/Guide_Technique_prelevementRejetMicropol_2011_V1_1.pdf
- GABET, V., MIÈGE, C., CHOUBERT, J.-M., MARTIN RUEL, S., COQUERY, M., 2010, Occurrence and removal of estrogens and beta blockers by various processes in wastewater treatment plants, *Science of the Total Environment*, 408 (19), p. 4257-4269.
- SOULIER, C., GABET, V., LARDY, S., LEMENACH, K., PARDON, P., ESPERANZA, M., MIEGE, C., CHOUBERT, J.-M., MARTIN RUEL, S., BRUCHET, A., COQUERY, M., BUDZINSKI, H., 2011, Zoom sur les substances pharmaceutiques : présence, partition, devenir en station d'épuration. *Techniques Sciences et Méthodes*, n° 1/2, p. 63-77.

► Consulter l'ensemble des références sur le site de la revue www.set-revue.fr



Station d'épuration de Saint-Fons.