

Évaluation des risques écotoxicologiques liés aux effluents hospitaliers et recommandations de gestion

Ecotoxicological Risk Assessment of Hospital Wastewater and Management Recommendations

Yves Perrodin, Frédéric Orias, Clotilde Boillot, Aurélien Brackers de Hugo, Julien Jean, Muriel Panouillères and Evens Emmanuel

Volume 28, Number 1, 2015

URI: <https://id.erudit.org/iderudit/1030008ar>

DOI: <https://doi.org/10.7202/1030008ar>

[See table of contents](#)

Publisher(s)

Université du Québec - INRS-Eau, Terre et Environnement (INRS-ETE)

ISSN

1718-8598 (digital)

[Explore this journal](#)

Cite this article

Perrodin, Y., Orias, F., Boillot, C., Brackers de Hugo, A., Jean, J., Panouillères, M. & Emmanuel, E. (2015). Évaluation des risques écotoxicologiques liés aux effluents hospitaliers et recommandations de gestion. *Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science*, 28(1), 59–64. <https://doi.org/10.7202/1030008ar>

Article abstract

The ecotoxicological risk assessment of hospital effluents is necessary for their management, given their concentrations in pollutants toxic to aquatic organisms, such as disinfectants, detergents, or pharmaceutical residues. To do this, a battery of complementary ecotoxicity tests has been deployed at different sites of the Hospices Civils de Lyon. Monitoring ecotoxicity of effluents during a daily activity showed strong evolution of the latter depending on the activities of the site. Measurement of the ecotoxicity of the particulate fraction of the effluent demonstrated the major contribution of the latter to the total ecotoxicity of the effluent. Parallel to this experimental work, a theoretical study, on all pharmaceuticals consumed in Lyon hospitals, identified 14 priority medicines to be studied because of their particularly bioaccumulative nature, and their capacity therefore to lead to a significant impact on aquatic organisms and trophic chains. An ecotoxicological risk assessment of these pharmaceuticals was then undertaken, coupling the estimation of their concentration in the receiving medium, and the characterization of their ecotoxicity. This ecotoxicological risk assessment demonstrated the importance of bioaccumulative pharmaceuticals in the overall risk posed by hospital effluents. Based on these results, discussions have been initiated to reduce the risk via different treatments at source and/or pretreatment of these effluents before discharge into the urban sewage network.

ÉVALUATION DES RISQUES ÉCOTOXICOLOGIQUES LIÉS AUX EFFLUENTS HOSPITALIERS ET RECOMMANDATIONS DE GESTION

Ecotoxicological risk assessment of hospital wastewater and management recommendations

YVES PERRODIN*, FRÉDÉRIC ORLAS, CLOTILDE BOILLOT, AURÉLIEN BRACKERS DE HUGO, JULIEN JEAN,
MURIEL PANOILLERES, EVENS EMMANUEL

Laboratoire d'Écologie des Hydrosystèmes Naturels et Anthropisés, UMR 5023 CNRS/Université Lyon 1/ENTPE,
69518 Vaulx-en-Velin Cedex

Reçu le 15 novembre 2014, accepté le 30 janvier 2015

RÉSUMÉ

L'évaluation des risques écotoxicologiques des effluents hospitaliers est nécessaire pour leur gestion, étant donnée leur richesse en polluants potentiellement toxiques pour les organismes aquatiques, tels que les désinfectants, les détergents, ou les résidus médicamenteux. Pour ce faire, une batterie de tests d'écotoxicité complémentaires a tout d'abord été déployée sur différents sites des Hospices Civils de Lyon. Le suivi de l'écotoxicité des effluents au cours d'une journée moyenne d'activité a montré la forte évolution de ces derniers en fonction des activités du site. La mesure de l'écotoxicité de la fraction particulaire des effluents a démontré la contribution majeure de cette dernière à l'écotoxicité globale de l'effluent. Parallèlement à ces travaux expérimentaux, une étude théorique, portant sur l'ensemble des médicaments consommés dans les hôpitaux de Lyon, a mis en évidence 14 médicaments prioritaires à étudier en raison de leur caractère particulièrement bioaccumulables, et pouvant de ce fait conduire à un impact important sur les organismes et les chaînes trophiques. Une évaluation des risques écotoxicologiques de ces médicaments a ensuite été engagée, couplant l'estimation de leur concentration dans

le milieu récepteur, et la caractérisation de leur écotoxicité. Cette évaluation des risques écotoxicologiques a montré l'importance des médicaments bioaccumulables dans le risque global présenté par les effluents hospitaliers. Sur la base de l'ensemble de ces résultats, des réflexions ont été engagées en vue de la réduction des risques, via le traitement à la source et/ou le prétraitement de ces effluents avant rejet au réseau urbain.

Mots-clés: *Effluents hospitaliers, écotoxicité, résidus médicamenteux, bioaccumulation, évaluation des risques*

ABSTRACT

The ecotoxicological risk assessment of hospital effluents is necessary for their management, given their concentrations in pollutants toxic to aquatic organisms, such as disinfectants, detergents, or pharmaceutical residues. To do this, a battery of complementary ecotoxicity tests has been deployed at different sites of the Hospices Civils de Lyon. Monitoring ecotoxicity of effluents during a daily activity showed strong evolution of

the latter depending on the activities of the site. Measurement of the ecotoxicity of the particulate fraction of the effluent demonstrated the major contribution of the latter to the total ecotoxicity of the effluent. Parallel to this experimental work, a theoretical study, on all pharmaceuticals consumed in Lyon hospitals, identified to 14 priority medicines to be studied because of their particularly bioaccumulative nature, and their capacity therefore to lead to a significant impact on aquatic organisms and trophic chains. An ecotoxicological risk assessment of these pharmaceuticals was then undertaken, coupling the estimation of their concentration in the receiving medium, and the characterization of their ecotoxicity. This ecotoxicological risk assessment demonstrated the importance of bioaccumulative pharmaceuticals in the overall risk posed by hospital effluents. Based on these results, discussions have been initiated to reduce the risk via different treatments at source and/or pretreatment of these effluents before discharge into the urban sewage network.

Key words: *Hospital wastewater, ecotoxicity, pharmaceutical residues, bioaccumulation, risk assessment*

1. INTRODUCTION

Les effluents hospitaliers se distinguent des effluents urbains classiques par leur richesse en détergents et désinfectants, leur radioactivité, leur forte teneur en germes multi-résistants aux antibiotiques, et la présence de résidus médicamenteux spécifiques des activités hospitalières. L'ensemble de ces caractéristiques est à l'origine, depuis une dizaine d'années, de nombreux travaux de caractérisation. Dans ce contexte, notre laboratoire s'est penché en priorité sur la caractérisation de l'écotoxicité des effluents, en général très forte, notamment en raison de l'usage massif de désinfectants et de certains détergents toxiques dans les hôpitaux. Cet article présente les différentes étapes de cette caractérisation, depuis la sélection d'une batterie de bio-essais appliquée en premier lieu aux effluents des Hospices Civils de Lyon, jusqu'aux travaux plus récents sur la bioaccumulation des résidus médicamenteux dans les chaînes trophiques des milieux aquatiques récepteurs. Sur cette base, des recommandations de gestion sont effectuées à destination des gestionnaires.

2. MATÉRIELS ET MÉTHODES

2.1 Caractérisation de l'écotoxicité des effluents hospitaliers

Pour améliorer la connaissance de ces effluents sur le plan de leur écotoxicité, et de l'évolution de celle-ci au cours

d'une journée normale d'activités, différentes campagnes de prélèvements ont tout d'abord été effectuées sur les rejets d'hôpitaux des Hospices Civils de Lyon (HCL) (BOILLOT *et al.*, 2008; EMMANUEL *et al.*, 2005). Les modalités de prélèvements retenues pour la caractérisation de ces rejets, lors d'une campagne réalisée en 2006, furent les suivantes: (i) un échantillon moyen-24h, prélevé au cours de la période 13 h – 13 h, (ii) cinq échantillons « périodiques », correspondant à des échantillons moyens sur cinq périodes de la journée : 13 h – 17 h, 17 h – 23 h, 23 h – 5 h, 5 h – 9 h et 9 h – 13 h.

Les organismes cibles retenus dans la batterie de bioessais étaient les suivants : le microcrustacé *Daphnia magna* (inhibition de la mobilité en 24 h et 48 h), la bactérie *Vibriofischeri* (inhibition de la luminescence en 15 et 30 min), l'algue *Pseudokichmeriella subcapitata* (inhibition de la croissance en 72 h), le microcrustacé *Ceriodaphnia dubia* (inhibition de la mobilité en 24 h et 48 h, inhibition de la croissance en sept jours et inhibition de la reproduction en sept jours), le rotifère *Brachionus calyciflorus* (inhibition de la reproduction en 48 h) et la lentille d'eau *Lemna minor* (inhibition de la croissance en sept jours).

2.2 Etablissement d'une liste de médicaments bioaccumulables prioritaires

L'établissement de cette liste a été effectué en deux étapes (JEAN *et al.*, 2012). Le premier travail a consisté en l'établissement de la liste de l'ensemble des médicaments consommés dans l'ensemble des hôpitaux des HCL. Ce travail a été effectué en collaboration avec la pharmacie centrale des HCL. Dans un deuxième temps, nous avons identifié parmi ceux-ci, et à l'aide de bases de données internationales, les médicaments dont le facteur de bioconcentration (BCF) théorique était supérieur à 1000. Enfin, à l'aide de trois critères de sélection supplémentaires (quantité consommée, biodégradabilité, et écotoxicité), nous avons sélectionné une liste finale de 14 molécules considérées comme prioritaires à caractériser expérimentalement (JEAN *et al.*, 2012).

2.3 Évaluation des risques écotoxicologiques

Dans l'objectif d'évaluer les risques écotoxicologiques liés à cette catégorie particulière de résidus, nous avons développé trois méthodes complémentaires : (i) une méthode basée sur le calcul du quotient de risque « PEC/PNEC » (Predicted Environmental Concentration/Predicted No Effect Concentration) pour chacun des principaux polluants présents dans les effluents. Cette méthode a notamment été appliquée à l'effluent d'un hôpital des HCL (EMMANUEL *et al.*, 2005 ; BOILLOT *et al.*, 2008); (ii) une méthode basée sur le calcul d'un quotient de risque « % d'effluent présent

dans le milieu/% d'effluent acceptable ». Cette méthode a été appliquée au même effluent que précédemment; (iii) une méthode couplant le calcul des concentrations en polluants bioaccumulables dans les organismes, aboutissant à l'estimation d'un Body Residue (BR), et la réalisation d'essais d'écotoxicité (cytotoxicité et génotoxicité) sur des cultures cellulaires des mêmes organismes, permettant le calcul d'un Critical Body Residue (CBR). Cette dernière approche a été appliquée à un des médicaments prioritaires, le « mitotane », pour un scénario d'étude correspondant aux rejets de l'ensemble des hôpitaux de Lyon dans le fleuve Rhône.

2.4 Étude expérimentale de la bioaccumulation (cas du tamoxifène)

La première étape de ces travaux a porté sur l'étude de la bioconcentration du tamoxifène, correspondant également à un des médicaments prioritaires ci-dessus, chez une micro-algue verte unicellulaire, *Pseudokirchneriella subcapitata*, représentant le premier maillon de chaînes trophiques. Pour étudier la dynamique de bioconcentration de cette molécule dans les micro-algues, nous avons exposé ces dernières pendant sept jours à une solution de 100 µg/L de tamoxifène¹⁵N

(isotope stable dans les conditions du test) (DELLA GRECA et al., 2006; JEAN et al., 2012). A t = 0, 12 h, 24 h, 48 h, 144 h et 168 h, les algues ont été centrifugées, puis plongées dans l'azote liquide et lyophilisées. Le ratio isotopique des lyophilisats a ensuite mesuré par analyseur élémentaire couplé à un spectromètre de masse à ratio isotopique (EA-IRMS) pour évaluer l'enrichissement en ¹⁵N, synonyme de présence de tamoxifène.

3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1 Caractérisation de l'écotoxicité des effluents hospitaliers

3.1.1 Échantillon moyen

Pour l'échantillon moyen étudié, on constate que les réponses de chacun des bioessais sont très différentes (Figure 1). Les CE20 (Concentration Efficace pour 20 % des organismes) mesurées sont comprises entre 0,7 % (reproduction de *B. calyciflorus*) et supérieure à 100 % (croissance de la lentille d'eau *L. minor* relativement au nombre de frondes). Les CE20 sont cependant majoritairement inférieures à 20 %. L'effluent

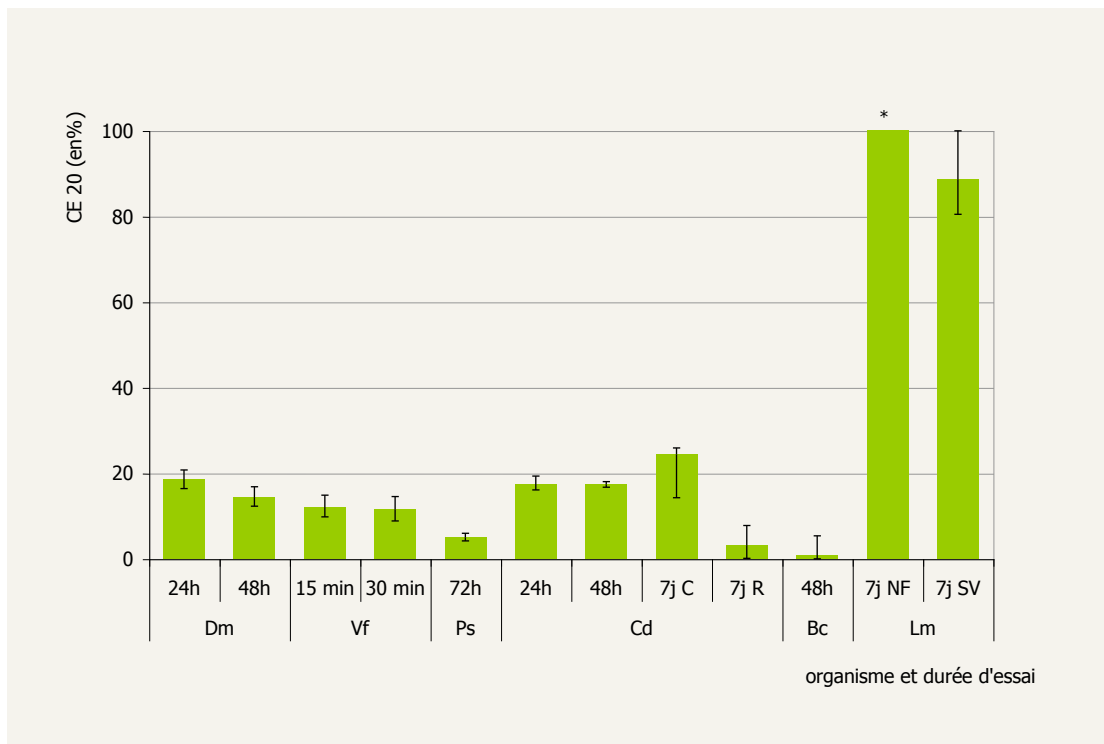


Figure 1. Écotoxicité de l'échantillon moyen pour les différents organismes testés (d'après BOILLOT et al., 2008) [Dm : *Daphnia magna*, Vf : *Vibrio fischeri*, Ps : *Pseudokirchneriella subcapitata*, Cd : *Ceriodaphnia dubia*, C : croissance, R : reproduction, BC : *Brachionus calyciflorus* ; Lm : *Lemna minor* ; NF : nombre de frondes ; SV : surface verte ; * : CE20 non-atteinte].

Ecotoxicity of the average sample for the different organisms tested.

est donc toxique, voire très toxique pour les organismes testés en regard de la classification proposée par SANTIAGO *et al.* (2002) pour la classification de la qualité écotoxicologique des effluents de station d'épuration (STEP). Les essais menés par ailleurs sur échantillons bruts et filtrés, à l'aide des deux bioessais qui le permettent (*Daphnia magna* et *Lemna minor*) révèlent la forte toxicité liée à la phase particulière des effluents étudiés. La toxicité des échantillons bruts est en effet, jusqu'à dix fois supérieure à celles des échantillons filtrés (résultats non présentés ici).

3.1.2 Échantillons « périodiques »

Les résultats montrent l'évolution de l'écotoxicité des échantillons périodiques au cours d'une journée normale

d'activités de l'hôpital étudié (Figure 2). L'échantillon correspondant à la période d'activité 9 h – 13 h s'est révélé le plus écotoxique.

3.2 Établissement d'une liste de médicaments prioritaires

Parmi les 960 médicaments consommés au sein des HCL, la procédure de hiérarchisation décrite ci-dessus (JEAN *et al.*, 2012) a tout d'abord abouti à une liste de 80 molécules les plus bioaccumulables (BCF > 1000). Dans un deuxième temps, l'ajout des critères complémentaires (quantité consommée, biodégradabilité et écotoxicité) a permis la sélection de 14 molécules dites « prioritaires » (Tableau 1).

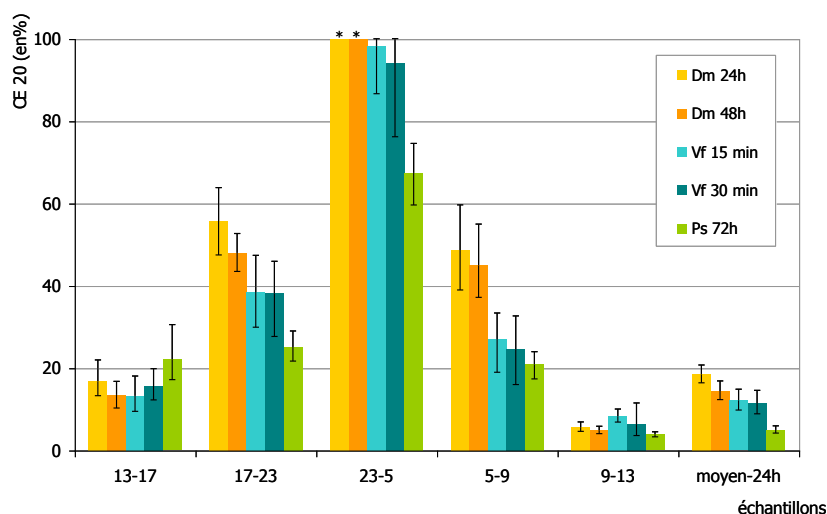


Figure 2. Écotoxicité des effluents au cours d'une journée d'activités (d'après BOILLOT *et al.*, 2008).
Hospital wastewater ecotoxicity along a mean day.

Tableau 1. Les 14 médicaments prioritaires des effluents hospitaliers (d'après JEAN *et al.*, 2012). ATC = Classe anatomique, thérapeutique et chimique.

Table 1. 14 priority pharmaceuticals in hospital wastewater.

Code ATC	Médicaments	Code ATC	Médicaments
C	Amiodarone	N	Dextropropoxyphène
J	Ritonavir	D	Itraconazole
L	Tamoxifène	N	Amitriptyline
G	Ethinylestradiol	A	Hexétidine
J	Téthyromycine	G	Norgestimate
G	Mifépristone	C	Nicardipine
L	Mitotane	R	Desloratadine

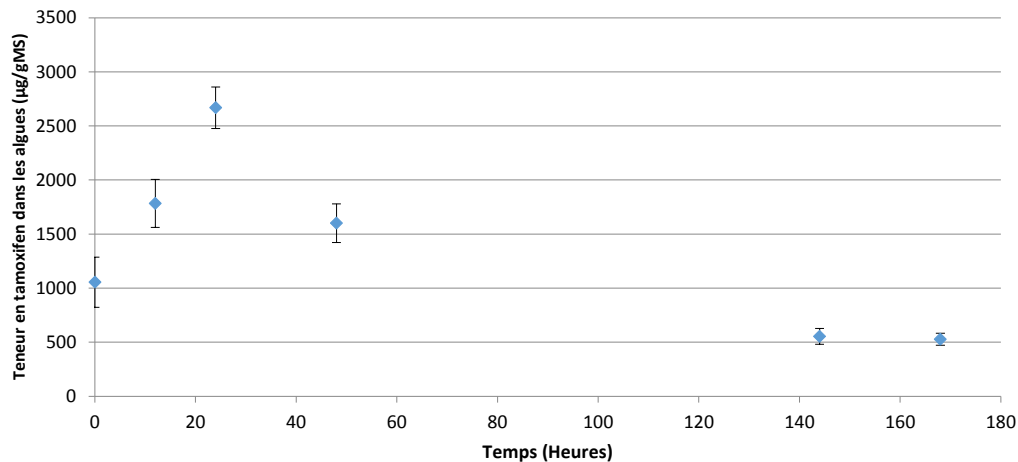


Figure 3. Teneur en tamoxifène dans les micro-algues en fonction du temps ($\mu\text{g/g}$) (concentration nominale dans l'eau de $100 \mu\text{g/L}$).
Tamoxifen content in microalgae as a function of time ($\mu\text{g/g}$).

3.3 Évaluation des risques écotoxicologiques

L'application de la méthode « PEC/PNEC » à chacune des molécules identifiées dans l'effluent de l'hôpital étudié a conduit à un quotient de risque de 0,109 (BOILLOT et al., 2008). L'application de la méthode « %/% » à l'effluent de l'hôpital étudié a conduit à un quotient de risque de 0,029 (BOILLOT, 2008). L'application de la méthode « BR/CBR » au mitotane, pour un scénario d'exposition correspondant au rejet de l'ensemble des effluents des hôpitaux de la ville de Lyon dans le fleuve Rhône (BRACKERS de HUGO, 2013), a conduit à un quotient de risque de 0,056 lorsque le critère pris en compte pour la mesure de la toxicité du mitotane est la cytotoxicité, et à un quotient de risque de 6,8 lorsque le critère pris en compte est la génotoxicité. Ces valeurs sont nettement plus importantes que le quotient de risque calculé pour la même molécule avec l'approche classique « PEC/PNEC » ($Q = 0,0006$), montrant ainsi l'intérêt de la prise en compte des molécules bioaccumulables dans l'évaluation des risques.

3.4 Étude expérimentale de la bioconcentration (cas du tamoxifène)

Dans la figure 3, nous présentons la dynamique de bioconcentration du tamoxifène dans les algues pour une concentration initiale dans l'eau de $100 \mu\text{g/L}$. Ces résultats

nous montrent que, immédiatement après contact (moins d'une heure), la bioconcentration du tamoxifène dans les algues est très importante (jusqu'à 10 000 fois plus que dans l'eau). On observe ensuite une teneur dans les algues qui augmente encore jusqu'à un maximum de 2,6 mg de tamoxifène par gramme d'algues sèches. Ensuite, en raison de la dilution dans la biomasse, la teneur en tamoxifène dans les algues diminue puis se stabilise, mais à des teneurs qui restent élevées ($500 \mu\text{g/g}$) (ORIAS et al., 2013).

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Les travaux effectués ont montré la forte écotoxicité des effluents hospitaliers, leur variabilité au cours d'une journée normale d'activité, ainsi que les risques qu'ils présentent pour les écosystèmes aquatiques. Concernant les résidus médicamenteux, ils ont mis en évidence la nécessité de la prise en compte des médicaments bioaccumulables lors de l'évaluation des risques écotoxicologiques. Sur la base de l'ensemble de ces résultats, des réflexions ont été engagées en vue de la réduction des risques, via le traitement à la source (remplacement de certains désinfectants toxiques, réduction des consommations de détergents, collecte des urines dans certains services,...) et/ou le prétraitement avant rejet au réseau urbain (décantation des particules,...). Le développement de ces recherches est en

cours au sein des HCL ainsi que sur le site pilote SIPIBEL, situé en Savoie (74), et récemment créée en collaboration avec d'autres partenaires scientifiques, ainsi qu'avec divers acteurs en charge de la gestion de ce type d'effluents.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient le Ministère de l'Écologie (MEDDE) ainsi les Hospices Civils de Lyon, pour leur soutien logistique et financier au cours de ces travaux.

ORIAS, F., L. SIMON et Y. PERRODIN (2013). Transferts trophiques des résidus pharmaceutiques issus des effluents hospitaliers : étude de la bioconcentration et de la biomagnification par marquage isotopique. *Colloque d'Écophysiologie Animale (CEPA)*, 7 et 8 novembre 2013, Lyon, France.

SANTIAGO, S., K. BECKER VAN SLOOTEN, N. CHÈVRE, M. PARDOS, C. BENNINGHOFF, et E. THYBAUD (2002) *Guide pour l'utilisation des tests écotoxicologiques, avec les daphnies, les bactéries luminescentes et les algues vertes, appliqués aux échantillons de l'environnement*, Suisse, 55 p.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BOILLOT, C. (2008). *Évaluation des risques écotoxicologiques liés aux rejets d'effluents hospitaliers dans les milieux aquatiques*. Thèse de Doctorat, INSA de Lyon et ENTPE, France, 312 p.

BOILLOT, C., C. BAZIN, F. TISSOT-GERRAZ, J. DROGUET, M. PERRAUD, J.C. CÈTRE, D. TRÉPO et Y. PERRODIN (2008). Daily physico-chemical and ecotoxicological fluctuations of a hospital effluent. *Sci. Total Environ.*, 403, 113-129.

BRACKERS DE HUGO, A., S. BONY, A. DEVAUX et Y. PERRODIN (2013). Ecotoxicological risk assessment linked to the release by hospitals of bio-accumulative pharmaceuticals in aquatic media: the case of the mitotane. *Chemosphere*, 93, 2365-2372.

DELLA GRECA, M., M.R. IESCE, M. ISIDORI, A. NARDELLI, L. PREVITERA, et M. RUBINO (2007). Phototransformation products of tamoxifen by sunlight in water. Toxicity of the drug and its derivatives on aquatic organisms. *Chemosphere*, 67, 1933-1939.

EMMANUEL, E., Y. PERRODIN, J.M.B. BLANCHARD, G. KECK et P. VERMANDE (2005). Ecotoxicological risk assessment of hospital wastewater: a proposed framework for raw effluents discharging into urban sewer network. *J. Hazardous Mater.*, 117, 1-11.

JEAN, J., C. PIVOT, D. TREPO, M. PERRAUD, J. DROGUET, F. LOCHER et Y. PERRODIN (2012). Identification and prioritization of bioaccumulable pharmaceutical substances discharged in hospital effluents. *J. Environ. Manag.*, 103, 113-121.