Perchlorates : mesure des effets de perturbations endocriniennes dans des eaux souterraines contaminées

■ D. DU PASQUIER[1], S. JACOB[2], C. DOUCHÉ[3], S. GAUDRÉ[4], J.-J. HÉRIN[5], Y. VAN ES[6]

Mots-clés : perchlorate, eau souterraine, perturbation endocrinienne, bio-essais
Keywords: perchlorate, groundwater, endocrine disruption, bioassays

1. Contexte

L'évaluation des teneurs en perchlorates de l'ensemble des ressources du Nord – Pas-de-Calais a mis en évidence une contamination étendue de la nappe de la craie, principal aquifère de la région, contribuant pour 94 % à l'alimentation en eau potable de la population du Nord et du Pas-de-Calais [ARS, 2013]. Ainsi, à l'échelle de la région, sur une population de 4 millions, plus de 1 250 000 habitants sont desservis par une eau ayant une teneur en perchlorates supérieure à 4 µg/L.

Le 25 octobre 2012, par application du principe de précaution, les préfets du Nord et du Pas-de-Calais ont pris des arrêtés de restriction d'usage de l'eau pour les populations sensibles. Ces arrêtés reprennent les recommandations du ministère chargé de la Santé :

– plus de 4 µg/L de perchlorates dans l'eau : ne pas préparer de biberons pour les nourrissons de moins de 6 mois ;

– plus de 15 µg/L de perchlorates dans l'eau : ne pas consommer d'eau du robinet pour les femmes enceintes et allaitantes.

[1] Watchfrog – 1, rue Pierre-Fontaine – 91000 Évry.
[2] Veolia Eau – 1, rue de la Fontainerie – CS 30961 – 62033 Arras cedex.
[3] Communauté d'agglomération de Lens-Liévin – 21, rue Marcel-Sembat – 62300 Lens.
[4] Communauté d'agglomération d'Hénin-Carvin – 242, boulevard Albert-Schweitzer – 62110 Hénin-Beaumont.
[5] Communauté d'agglomération du Douaisis – 746, rue Jean-Perrin – 59500 Douai.
[6] Métropole européenne de Lille – 1, rue du Ballon – CS 50749 – 59034 Lille cedex.

Dans ce contexte, des travaux ont été engagés par un groupe de travail composé de représentants des collectivités des communautés d'agglomération du Douaisis, d'Hénin-Carvin, de Lens-Liévin, de la communauté urbaine d'Arras et de Veolia pour comprendre l'origine des perchlorates et définir des moyens de gestion adaptés.

Bien que nombre de ces travaux aient un caractère prospectif, il est apparu important au groupe de travail que les résultats obtenus puissent être partagés plus largement. Dans cet esprit, différentes publications sont prévues autour des cinq axes suivants :

1. Criblage analytique pour la recherche de l'origine de la pollution ;
2. Mesure des effets de perturbation endocrinienne dans les eaux souterraines ;
3. Étude du comportement des perchlorates dans les systèmes d'assainissement ;
4. Recherche de stocks d'armement enfouis par géophysique aéroportée ;
5. Méthode d'investigation des nouveaux contaminants. Cas des perchlorates.

La présente publication traite des résultats obtenus par le groupe de travail sur l'axe n° 2, la mesure des effets de perturbation endocrinienne dans les eaux souterraines.

1.1. L'évaluation des risques : un travail au long cours

Dans le cadre d'une utilisation industrielle, les ions perchlorates sont utilisés sous forme de perchlorates d'ammonium majoritairement dans les domaines

militaires et de l'aérospatial où ils ont de nombreuses utilisations : oxydant pour les propulseurs de fusées, roquettes, fabrication des dispositifs pyrotechniques, fusées éclairantes, poudre de certaines armes à feu, production de brouillard artificiel, etc.

Mais l'ion perchlorate est également une substance active physiologiquement dont les propriétés l'amènent à être utilisé pour le traitement médical de certaines maladies thyroïdiennes. En empêchant la captation d'iodure par la thyroïde, il limite la synthèse des hormones thyroïdiennes. Utilisé sous forme de perchlorate de potassium, les traitements impliquent des dosages de l'ordre de 100 à 400 mg/jour sous forme de comprimés [DAHAN *et al.*, 2001].

Les concentrations observées dans les ressources en eaux françaises varient quant à elles de quelques microgrammes à une centaine de microgrammes. Si les effets des perchlorates sont bien connus à des doses thérapeutiques de l'ordre de la centaine de milligrammes, leurs effets à des doses environnementales 100 à 1 000 fois inférieures le sont beaucoup moins. À la suite des saisines de la direction générale de la Santé, l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation de l'environnement et du travail (Anses) a rendu plusieurs avis entre 2011 et 2014 [ANSES, 2014, 2013, 2012, 2011].

L'Anses a ainsi émis le 18 juillet 2011 de premières recommandations spécifiques pour les populations les plus sensibles que sont les femmes enceintes et allaitantes ainsi que les nourrissons tout en préconisant d'améliorer la connaissance des expositions alimentaires aux perchlorates.

Dans le même temps, un bilan des pathologies a été amorcé par la Cellule de l'Institut de veille sanitaire en région Nord (CIRE du Nord) et une étude de faisabilité d'étude épidémiologique commanditée auprès des services de l'Institut de veille sanitaire pour évaluer l'incidence sur les populations françaises actuellement exposées aux perchlorates [ANSES, 2012].

Ainsi, depuis 2011, différents travaux ont été menés par les instances sanitaires françaises afin d'améliorer les connaissances sur les concentrations en perchlorates dans les eaux françaises, sur les teneurs en perchlorates des laits infantiles vendus en France, sur la contamination des denrées alimentaires, mais également sur les données épidémiologiques françaises d'exposition des nourrissons aux perchlorates et les maladies thyroïdiennes recensées.

Parmi l'ensemble de conclusions citées par l'avis du 8 avril 2014, l'Anses indique que l'état des connaissances actuelles ne permet pas de quantifier les risques liés à des dépassements des valeurs de gestion de 4 µg/L et 15 µg/L dans les eaux potables, bien que des dépassements modérés (inférieurs à une centaine de µg/L) chez les nouveau-nés et les femmes enceintes ne semblent pas être associés à des effets cliniquement décelables [ANSES, 2014].

Différentes études sont ainsi toujours en cours au sein des instances sanitaires françaises pour améliorer les connaissances et pouvoir dans le futur passer d'une gestion des risques basée sur un principe de précaution à une gestion des risques basée sur une connaissance plus aboutie des risques aux faibles doses dans les eaux françaises.

1.2. L'implication des services d'eaux

Dans le cadre des arrêtés de restriction des usages de l'eau du 25 octobre 2012, les préfets ont demandé aux services d'eaux du Nord et du Pas-de-Calais concernés de mettre en place tous les moyens possibles pour diminuer les concentrations en perchlorates dans les eaux distribuées.

Les solutions de traitements des perchlorates n'étant pas agréées par les autorités sanitaires françaises, les premiers efforts des collectivités ont porté sur des études d'échanges d'eaux entre collectivités.

Cependant, en région Nord-Pas-de-Calais, l'étendue de la contamination en perchlorates est telle que les collectivités touchées sont entourées de collectivités qui le sont également. Cette situation rend souvent impossible – ou très onéreuse – la mise en place d'échanges d'eau avec des collectivités dont les eaux ne sont pas contaminées et qui se trouvent dès lors très éloignées géographiquement.

Avant d'étudier plus avant l'opportunité de traitements spécifiques des perchlorates présents dans les ressources, certaines collectivités impliquées, membres de ce groupe de travail, ont souhaité avoir une approche différente d'étude de la qualité de leurs eaux brutes.

En effet, qu'il s'agisse de sources de contaminations industrielles ou d'un passif de contamination de la Première Guerre mondiale – hypothèse la plus probable pour la majorité des collectivités touchées en région Nord-Pas-de-Calais [HUBE, 2013] – la présence de perchlorates dans la nappe pourrait être concomitante à d'autres substances présentes à l'état de traces et non mesurées aujourd'hui.

Or celles-ci pourraient avoir des effets sur le système thyroïdien, synergiques ou antagonistes à ceux du perchlorate. Aussi, un des axes de travail des collectivités a porté sur la mesure globale des effets physiologiques des eaux brutes par le biais de biomarqueurs.

L'utilisation de biomarqueurs permet dans ce cas de mesurer un effet global de la matrice eau et de comparer les effets de différentes ressources en eau en s'affranchissant du biais qu'est le manque de connaissance de l'ensemble des substances en présence.

Enfin, dans l'hypothèse d'un agrément futur des traitements d'élimination des perchlorates, l'utilisation de biomarqueurs d'effets doit permettre de vérifier l'efficacité qu'auraient d'éventuels traitements des perchlorates sur la qualité globale de l'eau et de mesurer s'ils permettent véritablement d'éliminer le potentiel d'effet perturbateur endocrinien des eaux brutes utilisées pour la production d'eau potable.

Pour évaluer l'effet de la présence de perchlorate dans les eaux, cette étude a mis en œuvre des modèles biologiques à des stades de développement précoces (têtards) pour mesurer l'effet de perturbation thyroïdienne.

2. Matériel et méthodes

2.1. Mesures chimiques

Les analyses des perchlorates ont été réalisées par chromatographie ionique selon la norme NF EN ISO 10304-4 dont la limite de quantification (LQ) est de 1 µg/L.

2.1.1. Eaux brutes

Trois ressources ont été choisies en fonction de leurs concentrations en perchlorates mesurées par chromatographie ionique. Il s'agit, pour chacune, d'eaux de forages situés dans la nappe de la craie, et situés dans un rayon de 15 km :

– forage 1 (F < LQ) : concentration en perchlorates habituellement inférieure à la limite de quantification de 1 µg/L ;

– forage 2 (F15) : concentration en perchlorates de 15 µg/L ;

– forage 3 (F30) : concentration en perchlorates de 30 µg/L.

Chacun de ces forages a fait l'objet d'un prélèvement ponctuel réfrigéré avant analyse des concentrations en perchlorates et mesure du potentiel de perturbation thyroïdienne.

2.1.2. Traitement de l'eau

Afin d'étudier l'efficacité d'un traitement des perchlorates par résine spécifique, l'eau du forage 3 a également été analysée biologiquement après passage au travers d'une résine spécifique des perchlorates dont les caractéristiques sont décrites dans le *tableau I*. En parallèle, une mesure biologique est réalisée sur de l'eau d'Évian après passage sur résine. Cette mesure permet de vérifier l'impact que pourrait avoir la résine sur les résultats en cas de relargage.

Granulométrie	**600 ± 50 µm**
Coef. uniformité	1,3
Masse volumique	1,04
Forme ionique d'échange	Cl
Groupe fonctionnel	Groupe bifonctionnel amine quaternaire
Régénération	Non

Tableau I. Caractéristiques de la résine utilisée

2.2. Tests biologiques de perturbation thyroïdienne

Sans un minimum d'hormones thyroïdiennes le têtard de l'amphibien xénope ne peut pas se métamorphoser correctement. C'est le critère qui a été retenu par les experts internationaux de l'OCDE pour définir la perturbation thyroïdienne (test OCDE 231 [OCDE, 2009]). Le Muséum d'histoire naturelle et la société WatchFrog ont développé des modèles qui intègrent un marqueur génétique spécifique de l'action des hormones thyroïdiennes sur la métamorphose [FINI, 2007 ; TURQUE *et al.*, 2005].

13es assises nationales DE L'ASSAINISSEMENT NON COLLECTIF

AINTEREXPO

19 > 20 OCTOBRE 2016

BOURG-EN-BRESSE
DÉPARTEMENT DE L'AIN

@Reseau_Eau

www.assises-anc.com #AssisesANC

© Patrick Fouvelet

Un évènement

Co-organisé avec

En partenariat avec

Sous le parrainage de

Partenariat presse

En parallèle de la réaction naturelle du têtard exposé à des perturbateurs thyroïdiens, le biomarqueur est une étiquette génétique qui traduit cette réaction en une émission de fluorescence *(figure 1)*. Le test est donc quantitatif, et la variation de fluorescence est proportionnelle à l'effet des polluants. Ce test fait l'objet de la norme expérimentale AFNOR n° XP T90-716-1 [AFNOR, 2015]. Il est actuellement en cours de validation par l'OCDE dans l'objectif de l'intégrer à la stratégie qu'elle recommande pour l'évaluation de la perturbation endocrinienne [OCDE, 2012 et 2014]. Ces modèles peuvent également être utilisés dans des dispositifs de mesure en ligne de la perturbation endocrinienne [CASTILLO, 2015 ; DU PASQUIER, 2015].

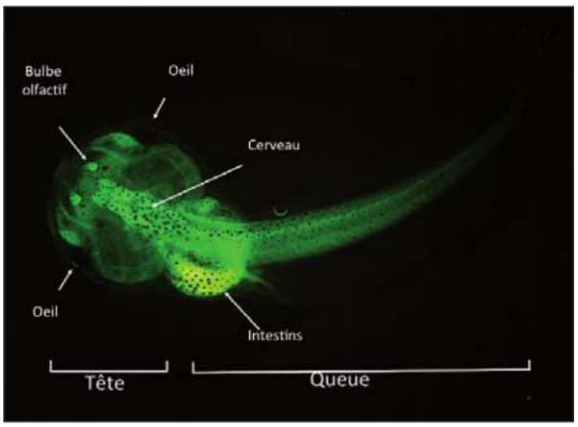


Figure 1. Image d'une larve de xénope fluorescente intégrant un biomarqueur de la perturbation thyroïdienne. L'image représente la partie dorsale de la larve sous un éclairage spécifique qui permet de révéler la fluorescence verte. La fluorescence la plus importante est émise par les tissus les plus sensibles à l'hormone thyroïdienne comme le cerveau et les bulbes olfactifs

Le test consiste à placer les larves au contact des échantillons d'eaux pendant 96 h. La fluorescence induite est comparée à celle de témoins négatifs (eau minérale) et positifs (eau minérale dopée avec l'hormone triiodothyronine T3). La dose de T3 utilisée pour ce témoin positif (3,25 µg/L) est une dose connue pour avoir des conséquences physiologiques nocives sur les amphibiens (témoin positif : « Évian + T3 »). Un échantillon induisant une fluorescence atteignant ce niveau induira des conséquences physiologiques nocives pour l'animal. Dans le cadre de cette étude, un groupe témoin composé d'eau d'Évian dopée avec 60 µg/L de perchlorate a été utilisé. Cette dose a été établie par l'OCDE lors des essais multilaboratoires de validation du test OCDE 231 comme étant capable de provoquer des modifications de la glande thyroïdienne des têtards [OCDE, 2009].

Soixante larves par groupe (dix par puits contenant 8 mL d'échantillon) sont incubées à 21 °C dans l'obscurité pendant 96 heures. Un renouvellement des milieux est effectué toutes les 24 heures. La lecture de la fluorescence est réalisée après 96 heures d'incubation avec l'échantillon. Après avoir été rincées, les larves sont placées individuellement dans les puits d'une plaque 96 puits adaptée à la quantification en fluorescence. Une image de chaque larve est ensuite acquise par un système d'imagerie robotisée *(figure 2)* composé d'un macrofluorimètre (Leica) et d'une caméra CCD à haute sensibilité (Orca, Hamamatsu). La fluorescence de chaque larve est déterminée par l'analyse des images. Les moyennes de fluorescence de chaque groupe de larve sont calculées et comparées à celle du témoin à l'aide de tests statistiques adaptés. Si un échantillon présente un effet prothyroïdien, il induira une fluorescence supérieure au témoin Évian, inversement, si un échantillon présente un effet antithyroïdien, il induira une fluorescence inférieure au témoin Évian. Les valeurs brutes sont normalisées sur celles du témoin Évian qui définit le niveau de fluorescence de base des larves.

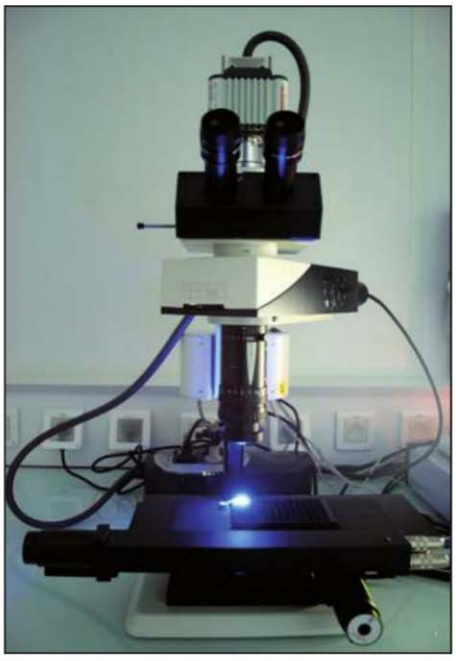


Figure 2. Quantification de la fluorescence des larves au macrofluorimètre

3. Résultats et discussions

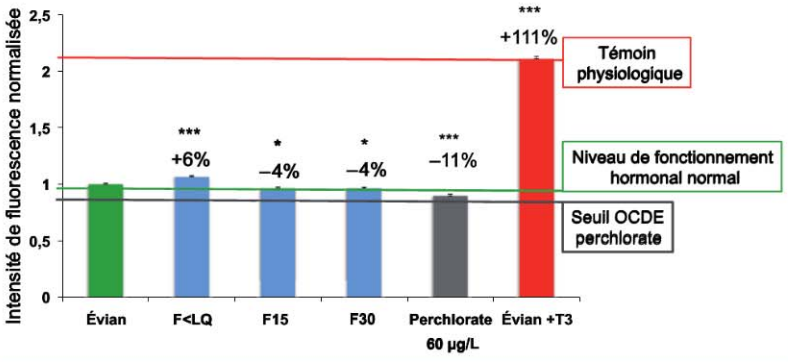
3.1. Résultats obtenus avec les différentes eaux brutes

La *figure 3* représente les moyennes de fluorescence déterminées pour différents groupes de larves après 96 h d'exposition aux eaux brutes sélectionnées. Pour les échantillons F30 et F15, les diminutions de fluorescence observées sont statistiquement significatives mais de faible amplitude (4 % de variation). Elles n'atteignent pas le seuil défini par le témoin perchlorate à 60 µg/L qui se situe à 11 % de diminution dans ce test. Ces résultats suggèrent un effet très limité sur la physiologie de l'animal. Pour l'échantillon F < LQ, une faible augmentation de fluorescence significative est observée qui montre que l'échantillon a un léger effet prothyroïdien qui pourrait être expliqué par la présence d'autres molécules. L'amplitude de variation étant très faible comparativement à celle du témoin physiologique (6 % d'induction contre 111 % pour le témoin positif), cela montre que l'exposition à cet échantillon n'aura pas d'effet nocif sur la physiologie de l'animal. On peut observer que les niveaux de fluorescence induits par les trois eaux brutes, et par le témoin perchlorate, sont en cohérence avec les concentrations de perchlorate présentes dans chaque échantillon.

Les niveaux de variation de fluorescence observés avec ces eaux brutes sont de l'ordre de ceux observés lors de la réponse physiologique d'adaptation à des matrices différentes. À titre de comparaison, des niveaux de variation similaires peuvent être obtenus lors de l'exposition à des substances entraînant une réponse physiologique sans conséquence perturbatrice comme le sucrose.

Le perchlorate a fait l'objet d'un essai multilaboratoire lors de la validation de la ligne directrice OCDE 231 [OCDE, 2009]. Les résultats publiés montrent que la concentration de 60 µg/L, choisie ici comme seuil, n'a pas de conséquences sur la métamorphose de l'animal. À cette concentration, seuls des effets légers à modérés, selon les laboratoires impliqués, ont pu être observés sur la thyroïde par analyse histologique. Cette étude de l'OCDE a également montré que des concentrations de 125 à 500 µg/L sont nécessaires pour affecter la métamorphose. Les amplitudes de modulation de l'activité de l'axe thyroïdien que nous observons ici avec les différents échantillons étant inférieures à celles obtenues avec 60 µg/L de perchlorate, elles sont loin de celles liées à des conséquences physiologiques néfastes comme une modification de la métamorphose.

On ne peut exclure que d'autres substances présentes dans les eaux analysées puissent également influer sur la sensibilité du système thyroïdien au perchlorate. L'intérêt des tests biologiques utilisés ici est précisément que les bio-indicateurs intègrent l'effet



Échantillons :

Évian : *Témoin neutre contenant uniquement de l'eau d'Évian*

F<LQ : *Échantillon d'eau brute dont la concentration en ClO_4 est < à la limite de quantification de 1 µg/L*

F15 : *Échantillon d'eau brute dont la concentration en ClO_4 est de 15 µg/L*

F30 : *Échantillon d'eau brute dont la concentration en ClO_4 est de 30 µg/L*

Perchlorate 60 µg/L : *Témoin contenant de l'eau d'Évian et 60 µg/L de perchlorates*

Évian + T3 : *Témoin positif contenant de l'eau d'Évian + 3,25 µg/L d'hormone T3 (seuil d'effet nocif)*

Les barres d'histogramme représentent la moyenne de l'intensité de fluorescence de chaque groupe de têtards normalisée sur la valeur du groupe Évian. Les barres d'erreur représentent l'écart standard à la moyenne (SEM). Pour chaque groupe, le pourcentage indiqué est le pourcentage de variation de fluorescence par rapport au groupe Évian. Les étoiles indiquent si la fluorescence obtenue est significativement différente de celle de l'Évian et avec quelle valeur de p : * : $p < 0,05$, ** : $p < 0,01$, *** : $p < 0,001$, NS : non significatif.

Figure 3. Résultats de l'analyse du potentiel thyroïdien des trois eaux brutes

de toutes les molécules présentes. Ainsi, les résultats indiquent que même en présence de perchlorates les échantillons ont des effets thyroïdiens très limités.

3.2. Étude de l'impact du traitement de l'eau brute par une résine spécifique

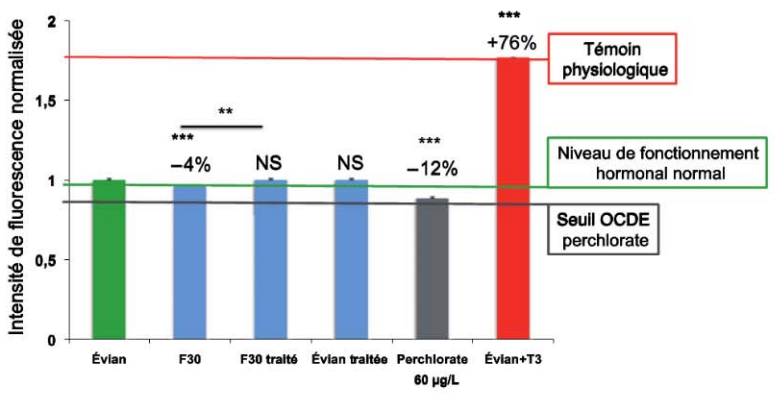
Afin d'étudier l'efficacité d'un traitement des perchlorates par résine spécifique, l'eau du Forage 3 (échantillon F30) a été analysée chimiquement et biologiquement après passage au travers d'une résine spécifique des perchlorates.

L'analyse chimique de l'eau brute (contenant initialement 30 µg/L de perchlorates) après passage sur cette résine a montré l'absence de perchlorates détectables dans l'échantillon final ([ClO_4] < 1 µg/L). Les résultats des tests biologiques sont présentés sur la *figure 4*. L'échantillon F30 non traité induit une diminution significative de la fluorescence. Son passage sur la résine spécifique permet de retrouver un niveau de fluorescence statistiquement identique à celui du témoin Évian. Ce résultat montre l'efficacité du traitement pour éliminer le potentiel endocrinien de l'échantillon. La résine étant spécifique du perchlorate, la diminution de fluorescence observée pour l'échantillon non traité était vraisemblablement liée à cette molécule. L'absence de modulation de fluorescence par l'échantillon « Évian traité » par cette résine montre qu'il n'y a pas de molécules relarguées lors du traitement qui auraient une action sur l'axe thyroïdien.

Notons qu'une différence de résultats est observée pour les témoins Évian + T3 entre les essais menés sur les différentes ressources (*figure 3* : +111 %) et ceux menés sur l'efficacité du traitement (*figure 4* : + 76 %). En effet, ces deux essais ayant été réalisés avec des larves issues de reproducteurs différents, leurs réponses diffèrent du fait de la variabilité biologique entre individus.

Conclusions

Cette étude montre qu'un effet sur l'équilibre thyroïdien est détectable par les bio-indicateurs utilisés à des concentrations de perchlorates supérieures à 15 µg/L sur les eaux brutes étudiées. Les variations de fluorescence observées sont cohérentes avec les concentrations en perchlorates trouvées dans chacun des échantillons. Les intensités de perturbations mesurées restent faibles et sans conséquence physiologique attendue pour le têtard. À titre d'exemple, elles sont comparables à des niveaux de variation pouvant être obtenus lors de l'exposition à des substances entraînant une réponse physiologique sans conséquence perturbatrice (comme une eau sucrée).



Échantillons :
Évian : *Témoin neutre contenant uniquement de l'eau d'Évian*
F30 : *Échantillon d'eau brute dont la concentration en ClO_4 est de 30 µg/L*
F30 traité : *Échantillon F30 après traitement sur résine spécifique perchlorate. [ClO_4] < 1 µg/L*
Évian traitée : *Eau d'Évian après passage sur une résine spécifique perchlorate*
Perchlorate 60 µg/L : *Témoin contenant de l'eau d'Évian et 60 µg/L de perchlorates*
Évian + T3 : *Témoin positif contenant de l'eau d'Évian + 3,25 µg/L d'hormone T3 (effet nocif)*

Le trait surmonté de deux étoiles indique que les niveaux de fluorescence des groupes F30 et F30 traité sont significativement différents. Se reporter à la *figure 3* pour la signification des autres informations portées sur les histogrammes.

Figure 4. Résultats de l'analyse du potentiel thyroïdien de l'eau brute F30 avant et après passage sur une résine de traitement

Le traitement de ces eaux brutes par passage sur une résine spécifique des perchlorates permet d'obtenir une eau dans laquelle les perchlorates sont en dessous de la limite de détection du test chimique et pour laquelle le test biologique montre une absence d'effet thyroïdien. Cette étude a également montré que la résine spécifique des perchlorates utilisée ne relargue pas de composés ayant une activité sur le système thyroïdien.

Les essais *in vivo* sont adaptés à une évaluation des ressources en eau potable comme première évaluation des risques toxiques et afin de comparer des eaux entre elles. Ces résultats ne peuvent bien entendu pas donner lieu à une interprétation concernant d'éventuels effets sur l'homme. Cependant, l'absence d'impacts observés sur des organismes aquatiques particulièrement sensibles aux perturbations thyroïdiennes est très rassurante en ce qui concerne la toxicité des eaux testées lors de cette étude. La mesure biologique des effets de perturbations du système endocrinien est une mesure novatrice qui peut être utilisée de manière pertinente dans le domaine de l'eau. Elle complémente utilement les analyses chimiques habituellement utilisées. Cette technique a permis ici une mesure rapide de l'efficacité d'un traitement potentiel de ressources contaminées par des perchlorates et une meilleure compréhension de la qualité physiologique des eaux testées.

Bibliographie

AFNOR (2015) : Norme XP T 90-716-1. Qualité de l'eau – Mesure par fluorescence *in vivo* des effets perturbateurs endocriniens des eaux naturelles et eaux résiduaires – Partie 1 : Mesure des effets sur l'axe thyroïdien d'embryons d'amphibiens *(Xenopus laevis)*.

ANSES (2014) : *Avis relatif à la présence d'ions perchlorate dans le lait infantile et dans l'eau destinée à la consommation humaine en France*. Saisine n° 2011-SA-0208 et n° 2011-SA-0336. 8 avril 2014. 55 p.

ANSES (2013) : *Avis relatif à la contamination des denrées alimentaires par les ions perchlorate »*. Saisine n° 2013-SA-0120. 24 octobre 2013. 12 p.

ANSES (2012) : *Avis relatif aux études épidémiologiques portant sur les associations entre une exposition aux ions perchlorate dans l'eau de boisson et la fonction thyroïdienne dans des populations spécifiques*. Saisine 2012-SA-0119. 20 juillet 2012. 16 p.

ANSES (2011) : *Avis relatif à l'évaluation des risques sanitaires liés à la présence d'ions perchlorate dans les eaux destinées à la consommation humaine*. Saisine n° 2011-SA-0024. 18 juillet. 22 p.

ARS NPdC (2013) : Cartographie des teneurs en perchlorates dans l'eau de distribution au 24/09/2013. Agence régionale de santé Nord Pas-de-Calais. Disponible sur : http://www.ars.nordpasdecalais.sante.fr/fileadmin/NORD-PAS-DE-CALAIS/votre_sante/environnement/eau/Perchlorate/Carte_perchlorate_24_09_2013.pdf (30/06/2016)

CASTILLO L., MAITRO A., MOUGEL V, DU PASQUIER D., LEMKINE G. (2015) : « Développement d'un outil de suivi sur site de l'effet perturbateur endocrinien potentiellement induit par les rejets de station d'épuration ». *TSM ;* 10 : 20-31.

DU PASQUIER D., LEMKINE G., MEYNEROL K., SAUVIGNET P., BORSATO J., GONCALVES A., ROCHE V. (2015) : « Intérêt de la mesure biologique dans le suivi des performances de traitement des polluants "émergents" en eaux résiduaires municipales ». *TSM ;* 10 : 33-42

DAHAN A., DUHAMEL C., BONNET H., SARRUT B. (2001) : *Perchlorate de potassium et pathologies thyroïdiennes*. Centre national hospitalier d'information sur le médicament. Dossier CNHIM 2001, XXII, 3.

FINI J.B., LE MÉVEL S., TURQUE N., PALMIER K., ZALKO D., CRAVEDI J.P., DEMENEIX B.A. (2007) : « An *in vivo* multiwell-based fluorescent screen for monitoring vertebrate thyroid hormone disruption ». *Environ. Sci. Technol. ;* 41 : 5908-14.

HUBE D. (2013) : *Potentialités d'un marquage des eaux souterraines par des substances pyrotechniques en relation avec les zones de combat de la Première Guerre mondiale - Le cas des perchlorates*. Rapport final. BRGM. BRGM/RP-62008-FR. 26 p., 3 fig.

OCDE (2009) : *OCDE 231 Ligne directrice de l'OCDE pour les essais de produits chimiques. Essai de métamorphose des amphibiens (EMA)*, 7 sept. 2009.

OCDE (2012) : *Conceptual framework for testing and assessment of endocrine disrupters*. Disponible sur http://www.oecd.org/env/ehs/testing/OECD%20Conceptual%20Framework%20for%20Testing%20and%20Assessment%20of%20Endocrine%20Disrupters%20for%20the%20public%20website.pdf

OCDE (2014) : *New scoping document on the* in vitro *and* in vivo *assays for the identification of modulators of thyroid hormone signaling.*

TURQUE N., PALMIER K., LE MÉVEL S., ALLIOT C., DEMENEIX B.A. (2005) : « A rapid, physiologic protocol for testing transcriptional effects of thyroid-disrupting agents in premetamorphic *Xenopus tadpoles* ». *Environ Health Perspect. ;* 113(11) : 1588-93.

Résumé

D. DU PASQUIER, S. JACOB, C. DOUCHÉ, S. GAUDRÉ, J.-J. HÉRIN, Y. VAN ES

Perchlorates : mesure des effets de perturbations endocriniennes dans des eaux souterraines contaminées

Une part importante des ressources souterraines du Nord de la France est contaminée en perchlorates. Cette publication présente les résultats d'une étude visant à mesurer les effets de perturbation endocrinienne d'eaux souterraines contaminées, et à évaluer l'impact d'un traitement d'élimination des perchlorates par résine échange d'ions spécifique. Ces effets sont évalués par le biais de biomarqueurs mesurant l'activité de perturbation du système thyroïdien développés par la société Watchfrog. Cette étude est l'une des composantes d'un travail plus large mené par les communautés d'agglomérations du Douaisis, d'Hénin-Carvin, de Lens-Liévin, de la communauté urbaine d'Arras et Veolia pour comprendre l'origine des perchlorates dans les eaux souterraines du Nord-Pas-de-Calais (France) et définir des moyens de gestions adaptés.

Abstract

D. DU PASQUIER, S. JACOB, C. DOUCHÉ, S. GAUDRÉ, J.-J. HÉRIN, Y. VAN ES

Perchlorates: measuring endocrine disrupting effects of contaminated groundwater

In the northern part of France, perchlorates have been detected in numerous water supply wells. The objective of this study is to measure the endocrine disruption potential of different water resources and to compare it to water treated for perchlorate removing using ion exchange resins.
The evaluation of potential for thyroid disruption is measured by specific biomarkers developed by the Watchfrog society. This study is part of a larger work arranged by communities of municipalities of Douaisis, Henin-Carvin, and Lens Lievin, by the urban community of Arras and Veolia to improve our knowledge about perchlorates origin in water supply wells in Nord-Pas-de-Calais (France) and define adapted management measures.

Logiciel 3R 2014

Les nouvelles recommandations pour le dimensionnement de la réhabilitation par chemisage et tubage des réseaux d'assainissement sont disponibles.
Ce logiciel permet la vérification du dimensionnement mécanique, selon ces techniques, d'ouvrages (circulaires ou non) en tenant compte de trois états de dégradation de l'existant.
Il comprend :

- Un manuel d'utilisation ;
- Le texte de la méthode ;
- Cinq modules de dimensionnement mécanique : chemisage circulaire, tubage circulaire, chemisage non circulaire, tubage (avec coulis) non circulaire, tubage avec enroulement hélicoïdal ;
- Un module de dimensionnement hydraulique.

Ce logiciel comprend : le manuel d'utilisation, le texte de la méthode de dimensionnement, 5 modules de dimensionnement mécanique (chemisage circulaire, tubage circulaire, chemisage non circulaire, tubage (avec coulis) non circulaire, tubage (avec enroulement hélicoïdal) et 1 module de dimensionnement hydraulique.

Commandez-le sur http://www.astee.org/production/logiciel-3r-2014/

ATP-métrie : une technologie en orbite

Trois litres d'eau par personne et par jour. Trois litres seulement pour se laver le corps, les cheveux et les dents, boire, cuisiner… C'est à cette stricte contrainte que sont astreints les astro- nautes au sein de la Station Spatiale Internationale (ISS). Une eau perpétuellement recyclée, qui doit en permanence être surveillée, voire décontaminée. Une problématique à laquelle la société GL Biocontrol s'attaque actuellement. Intégrée au sein du consortium Biowyse, elle a 3 ans pour fournir une machine «on-line», permettant l'analyse automatisée des bactéries dans l'eau et adaptée à l'habitat spatial..

Gravité, espace restreint, poids limité… du fait de contraintes très spécifiques et du risque de contamination, la présence d'eau au sein de l'ISS est limitée au strict minimum. La société **GL Biocontrol**, basée à Montpellier, spécialisée en gestion des risques microbiologiques dans les eaux, est depuis quelques mois confrontée à l'étude approfondie de cette problématique.

« Nous avons été contactés fin 2014 par une filiale du groupe Thales, Thales Alenia Space, retrace Nicolas Fabre, dirigeant technique de GL Biocontrol. *Ils étaient intéressés par la technologie manuelle que nous avons développée pour contrôler la qualité microbiologique des eaux : l'ATP-métrie quantitative. Mais nous ignorions dans quel cadre ».*

> « Une automatisation de notre méthode d'ATP-métrie, qui sera, à terme, adaptée à l'habitat spatial »

Focus sur l'ATP-métrie quantitative

Cette technique, mise au point par la société en 2009, permet de quantifier le nombre de bactéries dans les eaux. Elle est aujourd'hui la plus simple et la plus rapide sur le marché. *« Au départ, l'ATP-métrie quantitative était une mesure utilisée en laboratoire. Nous l'avons simplifiée et adaptée au terrain,* détaille Clément Faye, ingénieur de recherches. *Le kit que nous vendons a plusieurs avantages : il est facile à utiliser, l'obtention du résultat est très rapide, – soit environ 2 minutes –, et permet de descendre très bas en seuil de détection. C'est probablement le produit le plus sensible du marché ».*

À la conquête de l'espace

Des arguments qui ont retenu l'attention du groupe Thales. Alors à la recherche de partenaires industriels pour répondre un appel à projet lancé par la commission européenne dans le cadre d'Horizon 2020, Thales Alenia Space leur a alors proposé de se joindre à leur consortium, « Biowyse ». *« Le thème de l'appel à projet était* « Comment gérer le niveau de contamination de l'air, de l'eau et des surfaces dans la Station Spatiale Internationale ». *Ils attendaient de nous une automatisation de notre méthode d'ATP-métrie, et qu'elle puisse, à terme, être adaptée à l'habitat spatial ».*

Des bactéries plus agressives

« Nous avons appris en septembre 2015 que le projet Biowyse avait été retenu par la Commission Européenne, explique Nicolas Fabre. *Depuis, nous travaillons sur des problématiques spécifiques à la station spatiale orbitale».*

Les astronautes qui y évoluent sont en effet limités à 3 litres d'eau par jour et par personne. Une donnée qui contraint la vie des astronautes, et la mise au point du projet pour GL Biocontrol « *Il faut s'imaginer tout faire avec seulement 3 litres d'eau : se laver, boire… ou tout simplement avoir un niveau d'hygiène satisfaisant* ».

L'enjeu pour l'entreprise est de taille. «*Toutes les eaux, tous les fluides présents dans la station, dont les déchets liquides, la sueur, la condensation… sont recyclés en permanence, traités puis réutilisés. Les bactéries y sont en outre plus agressives car elles n'ont pas à « lutter » contre la gravité. On ne peut pas prendre de risque avec la santé des astronautes* ».

Trois années, deux modules

GL Biocontrol a désormais trois ans pour développer une machine permettant de prévenir ce type de problèmes.

« Il faut que les astronautes puissent prendre la décision de lancer une désinfection et intervenir à bord de la station plus en amont qu'aujourd'hui », note Clément Faye. « *Notre travail consiste à imaginer et construire deux modules issus de la technologie d'ATP-métrie : un de contrôle de l'eau, un de surveillance de l'encrassement des surfaces. En plus du suivi, ces modules piloteront le traitement de l'eau en temps réel* ». Des modules qui seront livrés fonctionnant sur terre mais pensés pour être adaptés à la microgravité.

Un challenge à relever

Des exigences en matière de poids, taille, puissance électrique… contraignent également le projet. « *Mais c'est un challenge très motivant ! Et la machine pourra peut-être servir plus tard dans le cadre de projets vers la Lune ou Mars* ». Une forme de reconnaissance pour l'entreprise : « *Notre technologie intéresse, que ce soit pour la partie surfaces ou celle sur l'eau, et de grands acteurs du secteur nous ont fait confiance. GL Biocontrol est un des intervenants majeurs de ce projet* ».

Deux ingénieurs viennent d'être recrutés afin de travailler spécifiquement sur le projet Biowyse. Quant à la future machine, sa version terrestre de contrôle automatique et en temps réel des eaux sera commercialisée dans les mois à venir.

P. Da Silva

FOCUS

Biowyse, un consortium européen

Biowyse est à la fois le nom du projet développé et le nom donné au consortium, qui regroupe 9 entreprises. Parmi elles :
- Thales Alenia Space (Italie),
- Fondation Européenne de la Science (France),
- GL Biocontrol (France),
- Aquisense Technologies (Angleterre),
- Liewenthal Electronics (Estonie)...