

# Les techniques analytiques pour évaluer la santé des populations par les eaux usées

*Thomas Thiebault est géochimiste et maître de conférences à l'École pratique des hautes études-Paris Sciences & Lettres à Paris. Il s'intéresse au devenir des micropolluants organiques<sup>1</sup>, notamment aux techniques analytiques pour évaluer la santé des populations à partir des eaux usées.*

## Introduction

### Les eaux usées collectrices d'informations

Aujourd'hui, les eaux usées ne sont plus seulement

considérées comme un déchet à traiter, mais également comme une ressource, notamment en eau, en nutriments et en énergie. La composition géochimique des eaux usées est également riche d'informations sur l'état de santé et éventuellement même du bien-être des populations qui les excrètent.

---

1. Substances chimiques à faibles concentrations dans l'environnement, souvent issues de médicaments, pesticides ou produits ménagers.

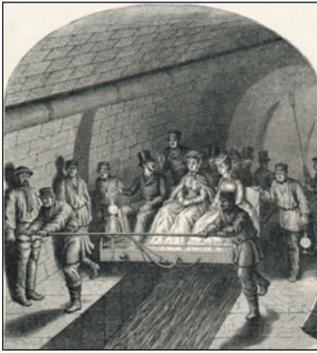


Figure 1

Visite du réseau d'égouts parisien par la bourgeoisie au XIX<sup>e</sup> siècle.

Source : Getty - Whitemay.

Cette idée n'est pas nouvelle : au milieu du XIX<sup>e</sup> siècle, Victor Hugo écrivait, dans *Les Misérables* : « L'égout, c'est la conscience de la ville. Tout y converge et s'y confronte. Dans ce lieu livide, il y a des ténèbres mais il n'y a plus de secrets. » C'est également le début d'une prise de conscience, les égouts comme l'intestin de la ville.

La construction du réseau des égouts parisiens date du XIX<sup>e</sup> siècle. Long de 16 kilomètres après la Révolution, il est de 2 600 kilomètres aujourd'hui. Quelques images sont présentées sur la **figure 1**. Le réseau d'assainissement parisien a la particularité d'être visitable, à hauteur d'homme. À une époque, c'était le nec plus ultra pour la haute bourgeoisie de visiter ce réseau ultra-moderne qui est un réseau unitaire<sup>2</sup>.

### Développement des réseaux d'assainissement

La progression de la collecte des eaux a été fortement améliorée dans un objectif de

2. Système transportant dans les mêmes canalisations eaux usées domestiques et eaux pluviales, parfois débordant lors de fortes pluies.

protection de la qualité des milieux aquatiques. La composition des eaux usées dépend de ce qui est excrété par la ville et ses résidents, c'est un cycle de « consommation-excrétion<sup>3</sup> » (**Figure 2**).

Par exemple, un produit pharmaceutique est consommé, métabolisé<sup>4</sup>, puis excrété en partie et transféré par les eaux usées dans les stations de traitement des eaux usées (STEU). Après un traitement plus ou moins marqué, il peut contaminer le milieu naturel. L'amélioration de la gestion des eaux usées a donc eu longtemps pour but de protéger le milieu naturel, avant un point de bascule dans les années 1970.

La **figure 3** montre, en rouge, l'évolution du volume d'eau usée collectée dans l'agglomération parisienne et, en vert, l'évolution du volume d'eau usée traitée avec, notamment, la mise en place de différentes tranches de stations

3. Processus où une substance consommée est absorbée, utilisée, transformée, puis excrétée par l'organisme.

4. Désigne une substance modifiée chimiquement par l'organisme pour faciliter son élimination.

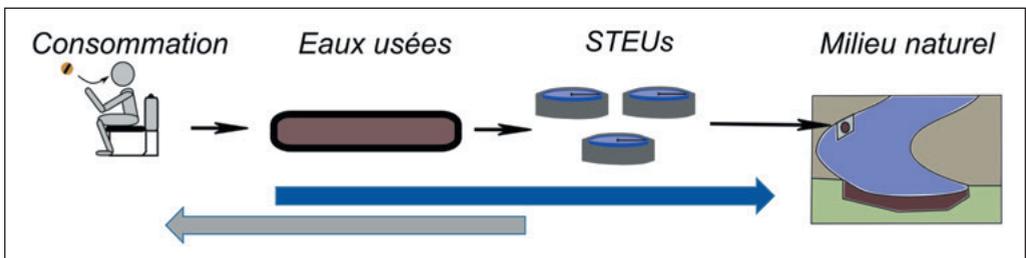


Figure 2

Cycle de consommation-excrétion.

d'épuration par le syndicat d'assainissement parisien depuis les années 1970. Cela a finalement permis d'avoir une collecte presque totale des eaux usées produites et, surtout, de protéger l'environnement. C'est le premier enjeu, notamment autour des pollutions de type nutriments et carbone pour éviter l'eutrophisation, mais évidemment aussi autour des micropolluants.

Depuis une vingtaine d'années, on essaie également de définir quels types d'informations sur les usages et pratiques des résidents obtenir à partir de l'analyse de ces eaux usées.

## 1 Typologie et collecte des eaux usées

### 1.1. Composition des eaux usées

En fonction des sources qui contribuent à l'eau usée brute analysée, on a la capacité d'obtenir des informations sur les différents usages. Une eau usée dans un réseau unitaire, comme c'est le cas pour l'agglomération parisienne aujourd'hui, collecte différents types d'eau telles les eaux-vannes<sup>5</sup> (principalement les eaux des toilettes) mais également les eaux grises<sup>6</sup>, qui sont toutes les eaux sanitaires utilisées au domicile, et qui représentent autour de 20-25 % de l'eau usée, selon que l'on est en temps sec ou en temps de pluie.

5. Eaux usées provenant principalement des toilettes, contenant matières fécales et urines.

6. Eaux usées provenant des évier, douches, lave-linge, mais sans déchets organiques solides.

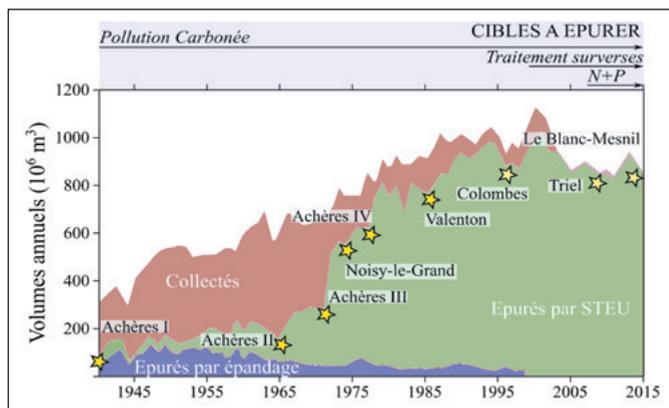


Figure 3

Évolution du volume de l'eau usée collectée (en rouge), épandue (en bleu) et épurée en station (en vert) de 1940 à nos jours.

Dans le cas d'un réseau unitaire, lorsqu'il pleut, les effluents industriels, qui vont aussi avoir une typologie de la contamination et de la composition organique et microbologique distincte, et les eaux de lessivage urbain<sup>7</sup> vont être mélangés avec ce que l'on a longtemps appelé les « eaux brunes<sup>8</sup> » pour former les eaux usées. Tous ces types d'eau sont collectés puis envoyés en station de traitement des eaux usées.

### 1.2. Traitement en stations d'épuration

Pour donner une idée de l'échelle, la station Seine-Aval, qui est située sur le site d'Achères<sup>9</sup>, et gérée par le SIAAP, fait quasiment un

7. Eaux de pluie entraînant les polluants accumulés sur les surfaces urbaines (routes, trottoirs).

8. Mélange d'eaux grises et d'eaux-vannes, souvent très polluées.

9. Grande station d'épuration traitant une partie des eaux usées de la région parisienne.



Figure 4

Station d'épuration d'Achères (Yvelines).

Source : Google Maps.

kilomètre de long (Figure 4) : c'est certes une très grosse station d'épuration, mais cela illustre que le traitement des eaux usées nécessite des systèmes très concentrés et industrialisés pour gérer de très grands volumes d'eau usée. Quand on se situe à l'amont de cette station d'épuration, un chimiste pourrait dire que l'on peut essentiellement observer toute la chimie utilisée dans la ville. Mais, dans l'absolu, un autre corps de métier pourrait dire la même chose pour d'autres aspects : l'eau usée est vraiment le vecteur collecteur de toutes les informations, de tous les rejets possibles de la ville.

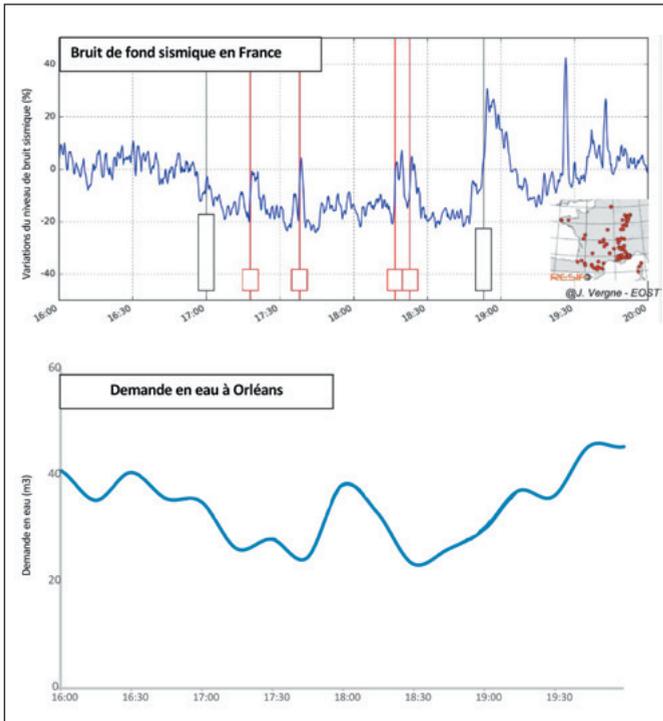


Figure 5

Corrélation, lors de la finale de la Coupe du monde 2018, entre le bruit de fond sismique en France et la demande en eau à Orléans.

## 2 Types d'informations issues des eaux usées

### 2.1. Informations anecdotiques sur les usages et pratiques

Certaines informations sont un peu anecdotiques, telle la corrélation observée à Orléans, en juillet 2018, lors d'un événement que certains d'entre vous ont peut-être vécu, la finale de la Coupe du monde de football entre la France et la Croatie, entre le bruit de fond sismique et la demande en eau (Figure 5) : on repère quatre moments forts au niveau du bruit sismique<sup>10</sup>, ainsi que quatre petits pics de la demande en eau potable, qui va devenir ensuite de l'eau usée, et qui correspondent en

10. Vibrations naturelles de faible intensité enregistrées en permanence par les sismographes.

fait aux quatre buts que nous avons mis. Lors des quatre buts de l'équipe de France, on observe une augmentation du bruit sismique. On note aussi que l'on consomme beaucoup plus d'eau avant et après le match, et lors de la mi-temps (**Figure 5**).

D'une certaine manière, pour des pratiques liées à un usage événementiel, ici, la demande en eau, on va avoir la capacité de retrouver les usages d'un point de vue quantitatif.

## 2.2. Informations spécifiques : l'exemple des substances illicites

Mais l'analyse des eaux usées révèle également des pratiques moins connues. Si on veut connaître la consommation de café, il suffit d'aller demander aux magasins combien ils ont vendu de café (ce qui n'est pas si simple, mais possible), mais il y a des produits pour lesquels les données des ventes n'existent pas, notamment les substances illicites. C'est notamment sur ces molécules que le rôle des eaux usées dans l'évaluation des usages dans la population s'est développé d'après l'idée d'un éminent chimiste américain en 2001, Christian Daughton<sup>11</sup> : il s'est demandé si le contenu en drogues illicites des eaux usées pouvait nous renseigner sur les usages qui en sont faits par la population. C'était le lancement de l'épidémiologie basée sur les eaux usées.

11. Chercheur américain ayant exploré l'impact environnemental des médicaments et des substances chimiques dans l'eau.

Puis, d'autres approches ont été utilisées, par exemple pour connaître l'exposition à la contamination atmosphérique. On a du mal à la caractériser d'un point de vue spatiotemporel, mais on y est exposé, on métabolise ces contaminations, puis on les excrète, notamment *via* les urines : l'idée est de regarder dans les eaux usées si l'on est en mesure d'estimer cette exposition.

## 2.3. La surveillance épidémiologique

Enfin, on est capable de faire de la surveillance épidémiologique, de détecter du matériel génétique dérivé d'agents pathogènes dans les eaux usées, ce qui nous permet d'estimer la circulation de l'épidémie dans la population, notamment durant la pandémie de SARS-Cov-2.

Évidemment, il y a des types d'eau qui ne vont pas nous intéresser pour certains usages. Typiquement, les eaux de lessivage urbain vont avoir tendance à plutôt charrier des métaux et des macrodéchets, qui ne présentent pas forcément d'intérêt pour évaluer la santé et le bien-être des populations.

Les rejets industriels permettent l'étude d'autres types de produits, comme certains biocides<sup>12</sup>, mais ils ne sont pas au cœur de l'épidémiologie basée sur les eaux usées, car n'étant souvent pas excrétés par les résidents ou les

12. Substances chimiques utilisées pour tuer ou contrôler les organismes nuisibles (bactéries, insectes, champignons).

travailleurs mais étant des résidus de processus industriels. Celle-ci s'est en effet principalement concentrée sur les eaux domestiques à travers l'étude des agents pathogènes, virus, micro-organismes, mais aussi des produits pharmaceutiques, des résidus de drogue ou encore du bol alimentaire.

### 3 Méthodologies analytiques et défis

#### 3.1. Approches quantitatives : la recherche de traceurs

La grande force des données issues des eaux usées est qu'elles peuvent être considérées comme quantitatives et objectives. Il y a une vingtaine d'années, quand on voulait savoir quels étaient les usages des drogues dans une ville, on faisait des enquêtes, sujettes à des réponses pouvant être plus ou moins objectives en fonction

de la population enquêtée, de la véracité ou de l'honnêteté des réponses fournies.

L'eau usée a cet avantage : elle ne ment pas si on arrive à analyser son contenu de manière robuste. L'autre gros point fort de l'eau usée, si l'on s'intéresse de manière générale au bien-être des populations, est que l'on est très proche des sources d'excrétion et que, heureusement, la majorité des molécules présentes dans les eaux usées brutes ne sont plus retrouvées dans le milieu naturel. Être dans les eaux usées brutes permet d'avoir des signaux beaucoup plus variés et à des concentrations beaucoup plus élevées, donc *a priori* plus faciles à détecter.

Le principe de l'épidémiologie basée sur les eaux usées est très simple (**Figure 6**) puisque l'on utilise une molécule à laquelle on est exposé : on la métabolise dans notre organisme, on l'excrète *via* les urines ou les excréments en fonction de ses propriétés physicochimiques, puis la molécule est collectée en station d'épuration et de traitement des eaux usées. On mesure une concentration de l'analyte<sup>13</sup> qui nous intéresse, dans cette eau usée brute, puis on la normalise, par rapport au débit<sup>14</sup>, par rapport à la dose consommée, par rapport à la population pour obtenir, par exemple, le nombre de doses consommées par jour et par

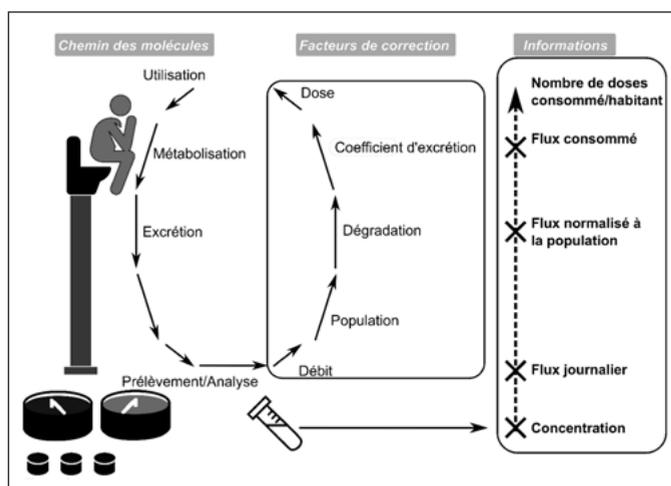


Figure 6

Principe de l'épidémiologie basée sur les eaux usées : remonter le cycle de vie du produit afin de déterminer sa consommation.

13. Substance spécifique recherchée ou mesurée dans un échantillon lors d'une analyse.

14. Ajustement des mesures en tenant compte de la quantité d'eau circulant dans un système.

1 000 habitants pour la molécule ciblée.

Le cas idéal de l'épidémiologie basée sur les eaux usées est d'avoir cette vision quantitative d'un usage, ou d'une pratique effectuée dans une zone de collecte. Évidemment, associé à cela, il y a une marge d'erreur : il faut avoir beaucoup d'humilité par rapport aux résultats que l'on produit, quand bien même on est assez confiant sur le fait qu'ils ont un sens.

Une étude bibliométrique montre que l'épidémiologie basée sur les eaux usées est restée assez confidentielle pendant une dizaine d'années (Figure 7). La première étude publiée sur les drogues illícites remonte à 2008. Ensuite, des études se sont intéressées aux produits pharmaceutiques, puis d'autres dérivés : le bol alimentaire, le stress oxydatif<sup>15</sup>...

C'est réellement la pandémie de Covid-19, avec l'analyse des matériels génétiques de SARS-CoV-2<sup>16</sup> dans les eaux usées, qui a fait exploser cette discipline. À un moment donné, l'action publique avait besoin aussi de s'armer, d'être outillée différemment qu'avec les tests, pour obtenir de l'information sur la population, aussi l'eau usée est-elle apparue comme particulièrement

15. Déséquilibre entre radicaux libres (les radicaux libres sont des molécules instables provoquant des dommages cellulaires, neutralisés par les antioxydants pour limiter leurs effets) et mécanismes de défense, pouvant endommager les cellules.

16. Virus responsable de la pandémie de Covid-19, transmis par l'air ou les surfaces contaminées.

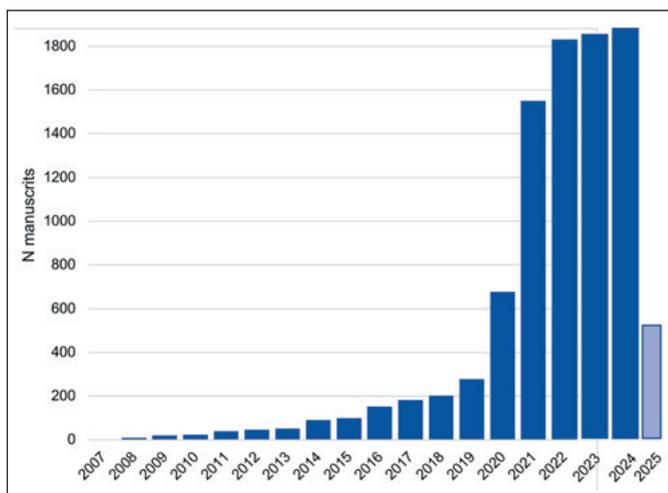


Figure 7

Étude bibliométrique du nombre de manuscrits portant sur l'épidémiologie basée sur les eaux usées.

prometteuse de ce point de vue. Il existe donc une expansion progressive dans les thématiques en démarrant sur les substances illicites, avec l'objectif de faire le lien avec des pratiques, puis une diversification des traceurs<sup>17</sup> que l'on suit dans les eaux usées pour arriver à une liste d'applications qui est de plus en plus large.

### 3.2. Application à la connaissance de la dynamique temporelle des usages : exemple d'un médicament et d'une drogue récréative

Dans le cas des contaminants organiques, la première étape consiste à mesurer la concentration d'une molécule

17. Substances indicatrices (médicaments, drogues) permettant de surveiller l'activité humaine ou sanitaire dans une population.

dans de l'eau usée. La **figure 8** présente l'exemple d'une équipe belge qui a mesuré la méthadone<sup>18</sup>, pendant un an, à l'entrée d'une station d'épuration à Bruxelles. On voit que la variation temporelle de la concentration exprimée en milligrammes par jour par 1 000 équivalents habitants est un peu erratique et n'a pas de valeur ajoutée très nette au-delà d'une variation autour d'une moyenne pour ce médicament.

L'autre exemple est celui de la MDMA<sup>19</sup>, le produit que l'on excrète quand on consomme de l'ecstasy<sup>20</sup>. On observe une dynamique qui apparaît plus cyclique. Cette cyclicité est liée à son usage récréatif avec une dynamique semaine/week-end et notamment un très grand pic de contamination à la

nouvelle année. Quand bien même on savait *ab initio*<sup>21</sup> que la MDMA était principalement consommée les week-ends du fait de son usage récréatif, la valeur ajoutée de l'épidémiologie basée sur les eaux usées est de permettre d'obtenir des données en temps quasi réel et de quantifier cette variabilité d'usage semaine/week-end ou liée à des événements particuliers.

Le premier défi est de trouver des traceurs spécifiques des usages.

Tous les usages ne sont pas pour autant simples à suivre dans les eaux usées, et l'un des premiers objectifs est d'identifier dans les eaux usées une molécule que l'on peut relier de manière spécifique à un traceur. Prenons le cas des opiacés<sup>22</sup> (**Figure 9**).

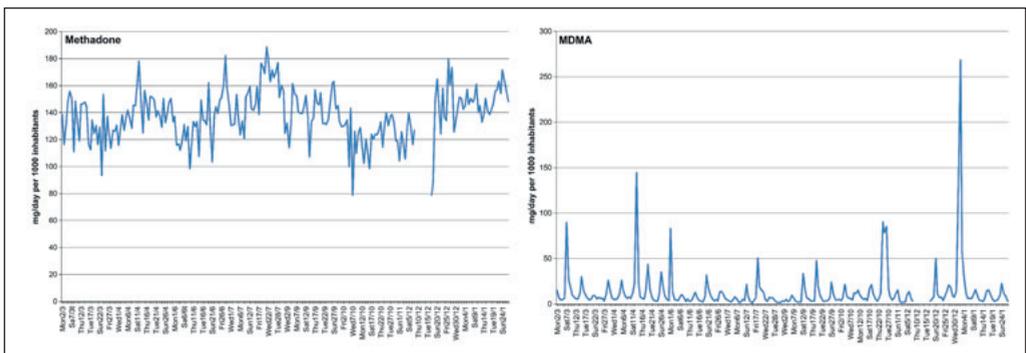
18. Médicament utilisé pour traiter la dépendance aux opiacés, limitant les symptômes de manque.

19. Drogue psychoactive provoquant euphorie et modification de la perception.

20. Forme synthétique de la MDMA, souvent consommée en soirée ou lors de festivals.

21. Terme latin signifiant « depuis le début », souvent utilisé en sciences pour désigner des calculs ou théories fondamentaux.

22. Substances dérivées de l'opium (naturelles ou synthétiques), souvent utilisées comme analgésiques puissants.



**Figure 8**

Évolution du taux de méthadone (à gauche) et de MDMA (à droite) dans les eaux usées de Bruxelles sur un an.

Adapté de Van Nuijs *et al.*, 2011 (Environment International, Elsevier).

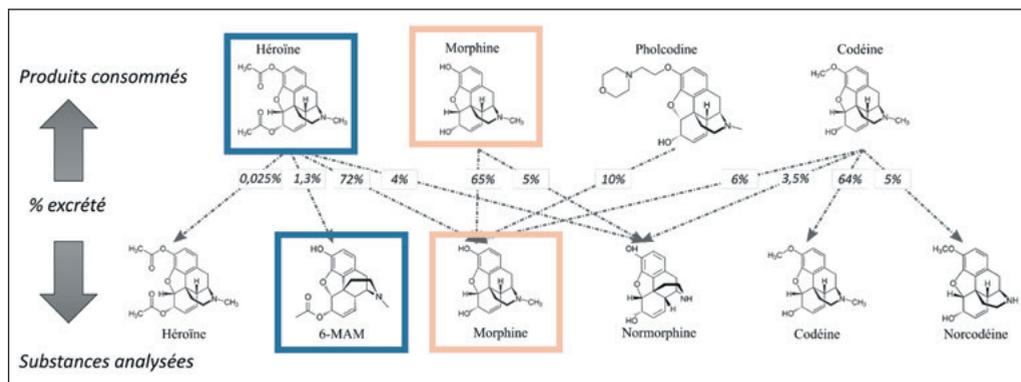


Figure 9

Produits opiacés consommés et métabolites finalement analysés.

Les opiacés sont un mélange entre des produits licites et illégitimes, par exemple l'héroïne<sup>23</sup>, qui est un produit illégitime, et la morphine<sup>24</sup>, la pholcodine<sup>25</sup> et la codéine<sup>26</sup>, trois produits licites consommés comme antalgiques. Chacun de ces produits est métabolisé, notamment par voie rénale<sup>27</sup>, en différents sous-produits qui s'entrecroisent. Si l'on souhaite recalculer la consommation d'héroïne, il n'y a que deux traceurs spécifiques : soit l'héroïne directement, soit la 6-monoacétylmorphine (6-MAM<sup>28</sup>), mais l'héroïne étant excrétée à 0,025 % de la dose

consommée, nous sommes clairement en dessous des limites de détection. On préfère donc analyser la 6-monoacétylmorphine pour estimer les consommations d'héroïne.

Cependant, si l'on souhaite estimer l'usage de la morphine, il n'y a aucun sous-produit qui soit spécifique de sa consommation. Il faut donc déconvoluer des signaux<sup>29</sup> entre diverses sources possibles, et ce sont des travaux qui sont toujours difficiles parce que l'on rajoute un facteur d'erreur.

Le deuxième défi est d'évaluer la stabilité des traceurs dans les eaux usées.

Un autre élément important à prendre en compte pour valider le traceur que l'on mesure est que les eaux usées sont un milieu très réactif dans lequel certaines molécules se dégradent très rapidement. Prenons trois molécules

23. Opiacé illégitime dérivé de la morphine, provoquant une dépendance grave et des effets euphorisants.

24. Analgésique, puissant opiacé utilisé pour traiter des douleurs intenses.

25. Médicament opiacé utilisé pour soulager la toux sèche.

26. Opiacé utilisé comme analgésique ou antitussif, présent dans de nombreux médicaments.

27. Chemin d'élimination des substances par les reins, *via* l'urine.

28. Métabolite intermédiaire de l'héroïne dans l'organisme, détecté dans des analyses toxicologiques.

29. Processus mathématique permettant de séparer des informations superposées dans un signal complexe.

comme exemple pour évaluer l'évolution de leur concentration relative dans une eau usée après 2 à 48 heures pour différents types d'eau usée (Figure 10).

Pour un édulcorant comme l'acésulfame<sup>30</sup>, et pour les durées testées, autour de 12 heures dans ce cas, la variabilité de la concentration de cette molécule dans l'eau usée est presque inexistante. On considère donc que c'est un bon traceur, un traceur robuste pour lequel la stabilité ne va pas impacter notre lecture des usages, c'est-à-dire que, pendant l'excrétion et le prélèvement pour analyse, la concentration varie peu.

À l'inverse, la méthadone va subir des dégradations très importantes, notamment par la biodégradation, à partir de 24 heures de temps de séjour dans l'eau usée. Il est donc nécessaire de prendre en compte un facteur de stabilité : si j'excrète un milligramme, mais que, 12 heures après,

il n'en reste que 0,1 milligramme et que je veux estimer l'usage initial fidèlement, il faut prendre en compte cette perte d'information qui est due à l'eau usée.

Le dernier cas est la benzoylecgonine<sup>31</sup>, qui est un produit de dégradation de la cocaïne<sup>32</sup> dans les eaux usées : sa concentration relative augmente avec le temps de séjour dans l'eau usée. Il est dans ce cas nécessaire d'utiliser un facteur de stabilité négatif, c'est-à-dire de diminuer la concentration observée car supérieure à la concentration excrétée, parce que cette molécule est métabolisée dans l'eau usée par dégradation du composé. Ce sont trois cas de figure différents qui démontrent qu'il est indispensable d'évaluer la stabilité des molécules qui nous intéressent avant d'espérer évaluer quantitativement les usages.

30. Édulcorant artificiel utilisé dans de nombreux produits alimentaires, parfois retrouvé dans les eaux usées.

31. Principal métabolite de la cocaïne, utilisé comme indicateur dans les analyses d'eaux usées.

32. Stimulant puissant et drogue illégale dérivée des feuilles de coca, provoquant une dépendance rapide.

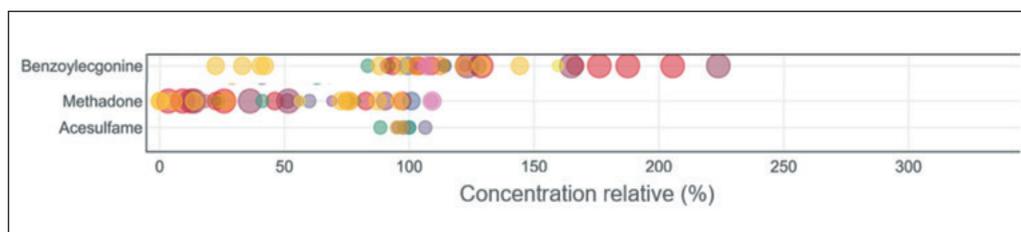


Figure 10

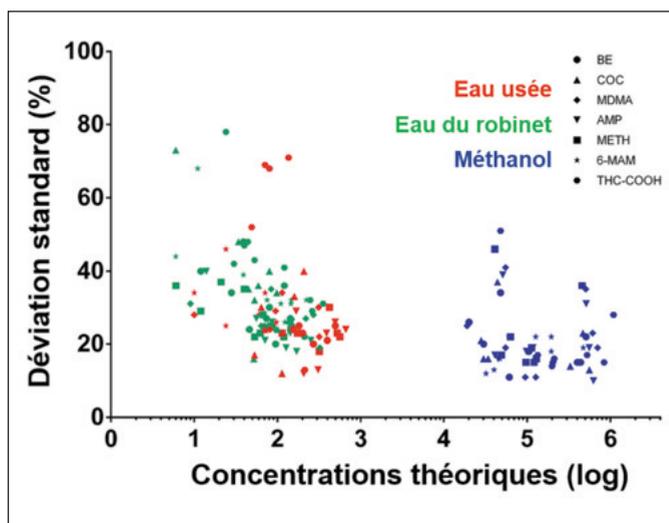
Stabilité de différentes espèces analysées en eau usée au cours du temps. Plus les bulles sont décalées vers la gauche par rapport au trait vertical des 100 %, plus ce produit va disparaître avec le temps, et inversement. Plus la bulle est grosse, plus le temps de résidence est long (entre 2 et 48 heures).

Adapté de Lin et al., 2021 (Environmental Science & Technology, American Chemical Society).

Le troisième défi est de pouvoir analyser les traceurs de manière robuste et répliquable.

La **figure 11** illustre les résultats d'une étude à l'échelle internationale. Chaque point représente l'analyse d'une substance illicite par un laboratoire, dans le cadre d'un réseau européen très développé aujourd'hui.

En représentant la concentration fixée pour chacun des échantillons en unité  $\log^{33}$  et la déviation standard<sup>34</sup> qui a été observée en triplant l'analyse au sein de chaque laboratoire, on remarque que moins la concentration est grande, plus le facteur d'erreur est élevé. En chimie, c'est relativement logique, mais même pour des concentrations très significatives pour certains composés et des matrices relativement simples comme l'eau du robinet, on peut avoir des facteurs d'erreur allant jusqu'à 40-50 % sur la concentration mesurée. Il faut donc éviter de discuter d'augmentations de 10 % sur des tendances quand l'erreur analytique est significative, surtout dans le cadre de comparaisons entre laboratoires utilisant des méthodologies différentes. L'humilité est donc toujours nécessaire et il faut s'assurer ne donner une conclusion que quand elle est significative, et avec beaucoup de précautions. Ce travail



**Figure 11**

Graphique représentant le pourcentage d'erreur en fonction de la concentration en différentes drogues illicites pour un réseau de laboratoires européens.

Adapté de Van Nuijs *et al.*, 2018 (Trends in Analytical Chemistry, Elsevier).

de validation est de longue haleine.

## 4 Applications et perspectives

Une fois ce travail de validation réalisé sur les molécules, on peut raisonnablement considérer que la mesure effectuée en eau usée reflète l'excrétion par les populations, et donc les usages de celle-ci. L'un des enjeux est également de montrer la complémentarité entre les mesures effectuées dans les eaux usées et les besoins d'évaluation de la santé des populations.

### 4.1. Santé publique et réglementation : suivi de l'évolution des pratiques

Le premier exemple concerne le suivi de la consommation de

33. Mesure logarithmique utilisée pour exprimer des réductions importantes (par exemple, en traitement des eaux).

34. Indicateur statistique mesurant la dispersion des données autour de leur moyenne.

drogues illicites. La **figure 12** concerne le cas d'une zone de collecte en Australie où la consommation de la méthamphétamine<sup>35</sup> a été suivie pendant six années et où, sur cette période, le flux en eau usée – et donc la consommation – a été multiplié par quatre. Il est impossible de dire si les consommateurs en consomment plus ou si davantage de consommateurs en font usage. Mais le constat est là : l'usage augmente. Et cela représente clairement une alerte pour les autorités de régulation et aussi, évidemment, pour les autorités de santé publique.

Concernant la santé publique aux États-Unis, le nombre d'overdoses<sup>36</sup> liées aux opiacés est actuellement en

augmentation constante : il a été multiplié par deux en quelques années (**Figure 13, à gauche**).

Sur la base de ces résultats, les zones à risque ont été cartographiées afin de comparer les usages et de sensibiliser spécifiquement certaines pharmacies sur leur latitude à délivrer des opiacés. On voit que le nombre d'overdoses reportées par quartier correspond à l'exposition aux opiacés déterminée dans les eaux usées (**Figure 13, à droite**). L'idée était de spatialiser un message de sensibilisation aux pharmacies et aux officines : « Attention, vous êtes dans une zone à risque, ne vendez vos opiacés qu'aux gens qui en ont réellement besoin. »

Une seconde possibilité permise par les eaux concerne la triangulation des informations<sup>37</sup>

35. Stimulant synthétique souvent consommé illégalement, connu pour ses effets addictifs puissants.

36. Consommation excessive d'une substance, souvent dangereuse voire mortelle.

37. Fait de croiser plusieurs sources de données pour obtenir des résultats plus fiables et complets.

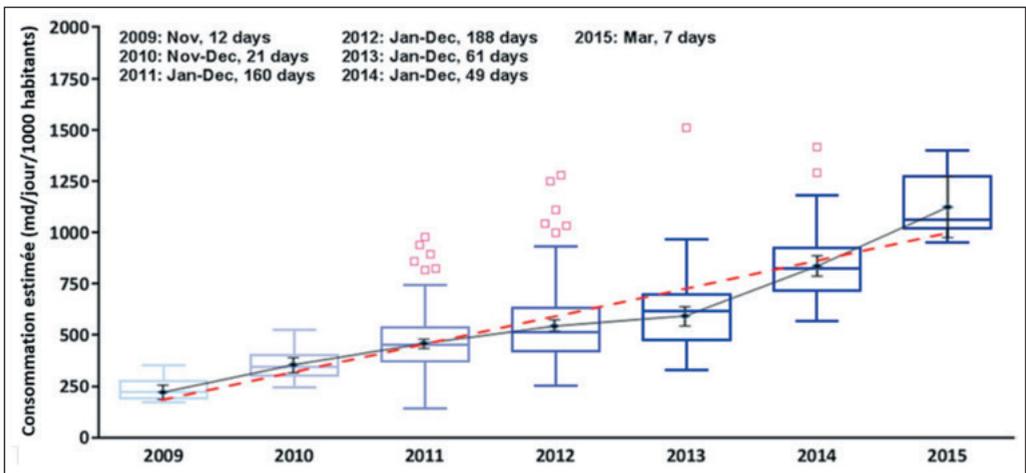


Figure 12

Évolution de la consommation de méthamphétamine dans une aire urbaine.

Adapté de Bruno *et al.*, 2018 (Science of the Total Environment, Elsevier).

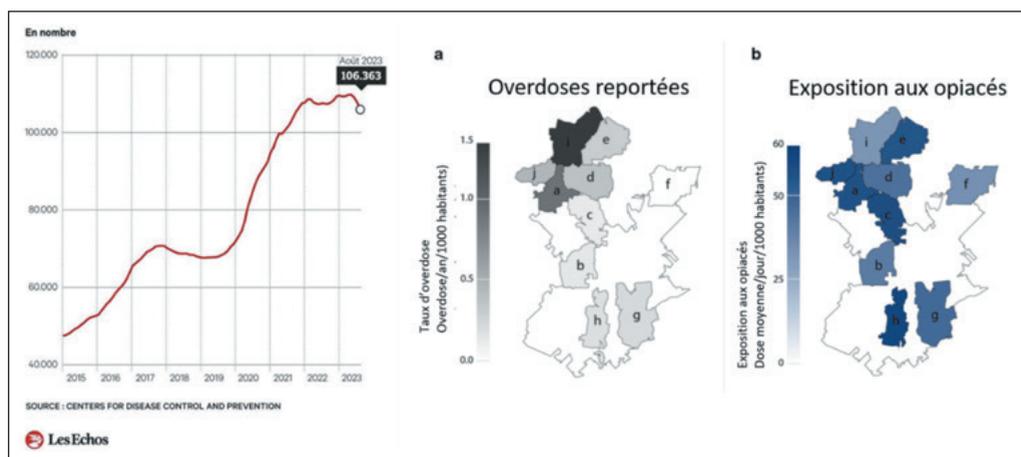


Figure 13

Nombre d'overdoses par an aux États-Unis (à gauche) et corrélation entre overdoses et exposition aux opiacés déterminées par les eaux usées (à droite).

Adapté de Endo *et al.*, 2020 (Journal of Medical Toxicology, Springer-Nature).

pour assurer un suivi des usages hors prescription, difficilement accessible par d'autres biais.

En France, nous disposons d'une base de données des usages des produits pharmaceutiques, Open Medic, qui concerne les usages de produits pharmaceutiques délivrés sur prescription en officine. Il en est de même en Espagne. On peut comparer ces données avec celles issues des eaux usées.

Des molécules ont été mesurées dans les eaux usées de deux villes, à Barcelone et à Gérone<sup>38</sup> (Figure 14). Pour certaines molécules (encadrées en orange), on constate une différence entre ce qui est mesuré dans les eaux usées et ce qui est prescrit. Cela permet de qualifier et de quantifier des usages hors

prescription, ce que nous n'aurions pas la capacité de faire autrement. Sur cet exemple, on retrouve le paracétamol<sup>39</sup> (ACE), ainsi que l'ibuprofène<sup>40</sup> (IBU), l'érythromycine<sup>41</sup> (ERY) et la codéine (COD) – sachant que les mésusages de paracétamol, par exemple, sont absolument dramatiques en France.

Quand la pandémie de Covid est arrivée, l'État a eu besoin de disposer d'un outil pour évaluer sa circulation. En France, le réseau Obépine<sup>42</sup> a alors été

39. Médicament couramment utilisé pour traiter la douleur et la fièvre, sans effet anti-inflammatoire.

40. Médicament anti-inflammatoire et analgésique utilisé pour traiter douleur, fièvre et inflammations.

41. Antibiotique utilisé pour traiter diverses infections bactériennes.

42. Réseau français, créé en 2020, surveillant la circulation de l'épidémie de Covid-19 dans les eaux usées pour suivre son évolution.

38. Ville située dans le nord-est de l'Espagne, en Catalogne.

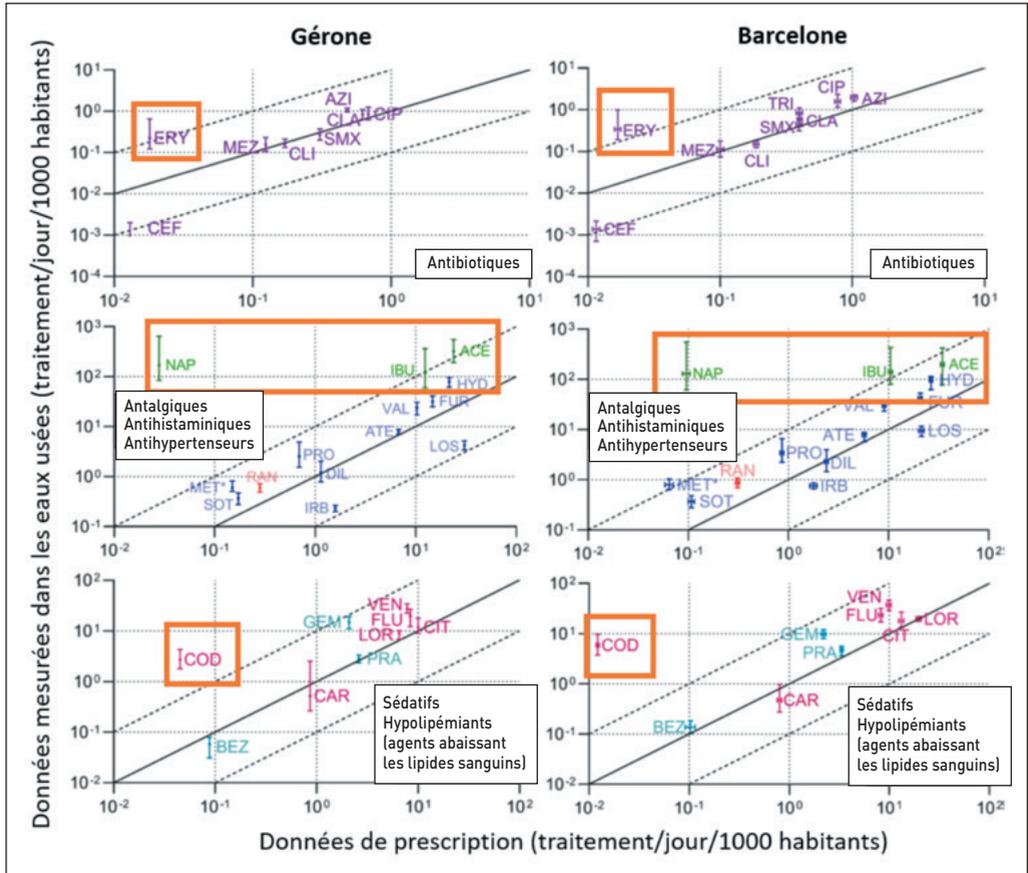


Figure 14

Comparaison entre la consommation de médicaments mesurée par les eaux usées et les doses prescrites en officine.  
Adapté de Escolà-Casas *et al.*, 2021 (Environment International, Elsevier).

initié par plusieurs équipes de recherche, notamment de Sorbonne Université, de l'université de Lorraine et Eau de Paris. Ce réseau avait pour ambition de suivre 40 % de la population française, à travers un prélèvement bihebdomadaire effectué dans 150 stations de traitement des eaux usées. La carte de ce réseau de surveillance (Figure 15) a permis de proposer un indicateur de la contamination en matériel génétique de SARS-CoV-2 dans les eaux usées,

avec des mises à jour hebdomadaires des tendances en accès libre.

Pour le cas d'Orléans, on peut voir sur la figure 16 qu'il y avait une bonne correspondance entre l'évolution de cet indicateur de présence de SARS-CoV-2 dans les eaux usées et le taux d'hospitalisations ou le taux d'incidence dans la population. La force de cet outil était qu'il permettait de manière peu onéreuse d'anticiper les tendances parfois latentes : une réémergence

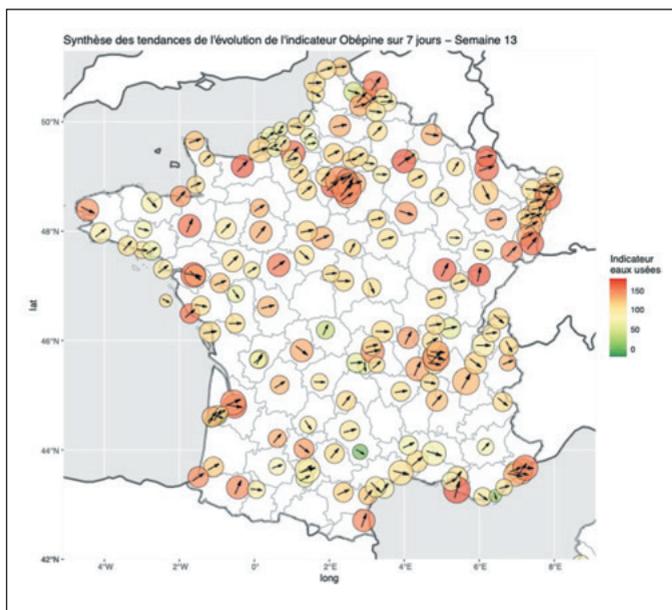


Figure 15

Carte représentant le réseau d'analyse Obépine (reseau-obepine.fr).

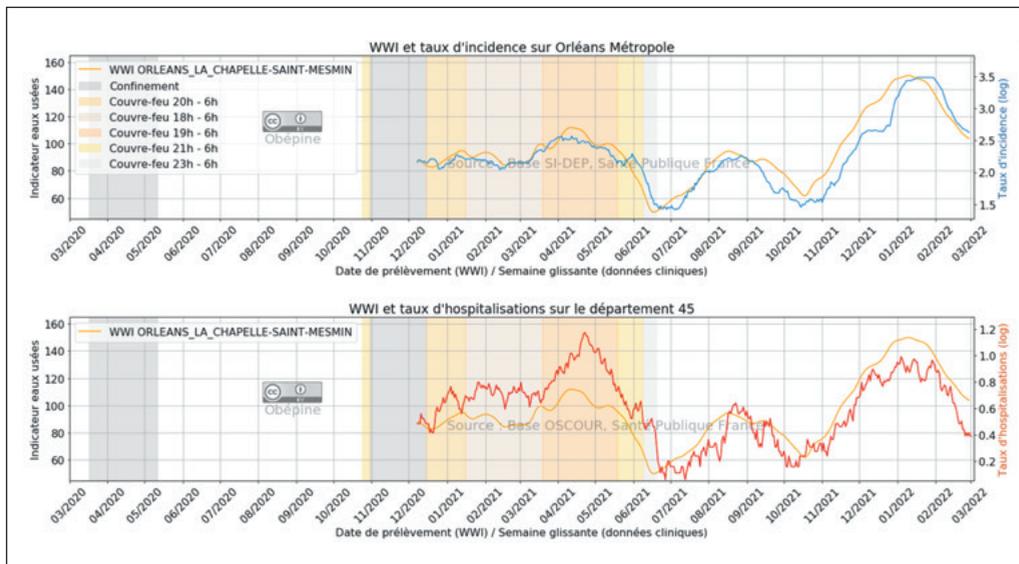


Figure 16

Corrélation entre le taux d'incidence (en bleu), le taux d'hospitalisations (en rouge) et les relevés de présence du virus SARS-CoV-2 dans les eaux usées (en jaune).

Données issues du réseau Obépine.

dans les eaux usées permettait de se préparer à prendre des décisions du point de vue de la santé publique.

#### 4.2. Autres utilisations potentielles de l'analyse des eaux usées

Pour sortir un peu des drogues et des agents pathogènes, quand bien même c'est extrêmement intéressant et très utile d'un point de vue social et public, des chercheurs australiens ont essayé de développer une approche de type « dites-moi ce que vous excrétez et je vous donnerai votre profil socio-économique et votre âge ».

Le résultat statistique de la synthèse de ces études est présenté sur la **figure 17**.

L'axe vertical indique une corrélation avec le statut socioéconomique. Plus une molécule est vers le bas, plus elle est corrélée avec un statut socioéconomique désavantagé. C'est l'inverse vers le haut, plus avantage d'un point de vue socioéconomique, et pour des profils plus jeunes et des profils plus âgés selon l'axe horizontal, respectivement vers la gauche et vers la droite.

Cette étude a démontré que les personnes moins jeunes consomment plus de morphine

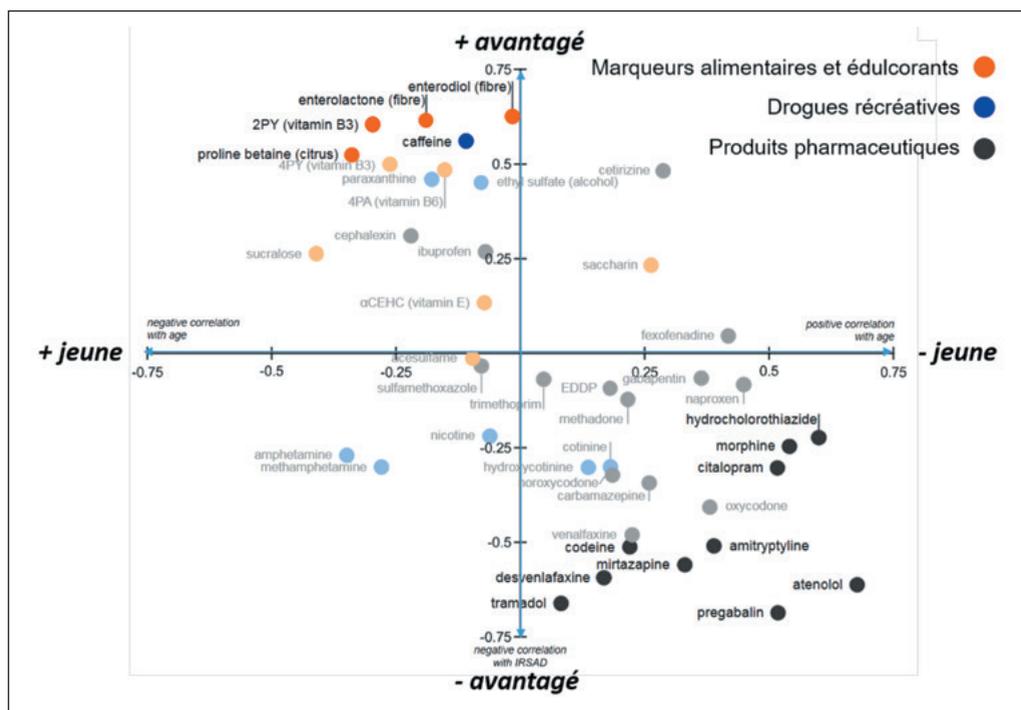


Figure 17

Impact de l'âge et du profil socioéconomique sur la présence de molécules dans les eaux usées.

Adapté de Choi et al., 2019 (Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, National Academy of Sciences).

et plus d'antihypertenseurs<sup>43</sup>, ce qui, jusqu'à preuve du contraire, est assez logique du point de vue des pathologies que l'on développe lorsqu'on avance dans l'âge. Ensuite, on retrouve, pour ceux ayant un niveau socioéconomique plus désavantagé, des usages de molécules spécifiques, notamment des opiacés, que l'on peut relier avec des mésusages de certains produits. Ils ont aussi pu relier le fait d'être plutôt avantagé d'un point de vue socioéconomique avec

un bol alimentaire contenant beaucoup de produits non carnés comme des dérivés de fibres<sup>44</sup> et également d'autres types de produits. Cette première approche démontre à la fois des tendances préalablement identifiées, mais propose également une grille de lecture nouvelle montrant la dépendance de la composition des eaux usées avec la composition socioéconomique des zones urbaines qui les produisent.

43. Médicaments utilisés pour réduire la pression artérielle élevée.

44. Composants végétaux non digestibles favorisant le transit intestinal et la santé digestive.

## Conclusion

Ces travaux sur l'utilisation de l'analyse des eaux usées pour évaluer la santé des résidents forment un ensemble cohérent mais à des degrés de maturité différents en fonction des usages que l'on souhaite suivre.

Si l'on revient à Victor Hugo, qui disait qu'un égout est cynique et qu'il dit tout, on peut considérer aujourd'hui que le quoi et le pourquoi d'aller mesurer la composition des eaux usées sont assez bien clarifiés. Les analyses des eaux usées sont un outil en soutien à des actions de santé publique, à de la sensibilisation, et fournissent des données quantitatives objectives permettant notamment de suivre en temps réel différentes pratiques pour lesquelles d'autres données sont difficiles à mobiliser, surtout à cette échelle spatiotemporelle.

Cependant, le comment pose problème : il y a des choses que l'on sait bien mesurer, à l'instar des produits pharmaceutiques et des drogues illicites. Mais on a besoin d'autres types de données à mobiliser pour comparer

des charges virales<sup>45</sup> ou pour les études du bol alimentaire et des micro-organismes, voire du bien-être.

Certains sujets sont encore à l'étape de la preuve de concept, comme l'évaluation du système immunitaire dans les eaux usées, l'évaluation du microbiote intestinal<sup>46</sup> des résidents dans les eaux usées ou encore leur stress oxydatif. Le potentiel des études possibles reste très important pour sortir de la seule analyse des drogues illicites qui a longtemps été l'apanage de l'épidémiologie basée sur les eaux usées pour aller vers des usages moins clivants et moins discriminants dans la population, et aussi augmenter la portée de ces analyses pour permettre une évaluation plus globale de la santé des populations.

---

45. Quantité de virus présente dans un échantillon biologique, indicateur de l'intensité d'une infection.

46. Ensemble des micro-organismes vivant dans l'intestin, jouant un rôle clé dans la digestion et l'immunité.