



UNIL | Université de Lausanne

Unicentre

CH-1015 Lausanne

<http://serval.unil.ch>

Year : 2019

INVESTIGUER LES CONSOMMATIONS ILLICITES AU SEIN DU MILIEU FESTIF ET DU MILIEU CARCÉRAL GRÂCE À L'ANALYSE DES EAUX USÉES

Benaglia Lisa

Benaglia Lisa, 2019, INVESTIGUER LES CONSOMMATIONS ILLICITES AU SEIN DU MILIEU FESTIF ET DU MILIEU CARCÉRAL GRÂCE À L'ANALYSE DES EAUX USÉES

Originally published at : Thesis, University of Lausanne

Posted at the University of Lausanne Open Archive <http://serval.unil.ch>

Document URN : urn:nbn:ch:serval-BIB_9D58471007EB0

Droits d'auteur

L'Université de Lausanne attire expressément l'attention des utilisateurs sur le fait que tous les documents publiés dans l'Archive SERVAL sont protégés par le droit d'auteur, conformément à la loi fédérale sur le droit d'auteur et les droits voisins (LDA). A ce titre, il est indispensable d'obtenir le consentement préalable de l'auteur et/ou de l'éditeur avant toute utilisation d'une oeuvre ou d'une partie d'une oeuvre ne relevant pas d'une utilisation à des fins personnelles au sens de la LDA (art. 19, al. 1 lettre a). A défaut, tout contrevenant s'expose aux sanctions prévues par cette loi. Nous déclinons toute responsabilité en la matière.

Copyright

The University of Lausanne expressly draws the attention of users to the fact that all documents published in the SERVAL Archive are protected by copyright in accordance with federal law on copyright and similar rights (LDA). Accordingly it is indispensable to obtain prior consent from the author and/or publisher before any use of a work or part of a work for purposes other than personal use within the meaning of LDA (art. 19, para. 1 letter a). Failure to do so will expose offenders to the sanctions laid down by this law. We accept no liability in this respect.

INVESTIGUER LES CONSOMMATIONS
ILLICITES AU SEIN DU MILIEU FESTIF ET
DU MILIEU CARCÉRAL GRÂCE À
L'ANALYSE DES EAUX USÉES

THÈSE DE DOCTORAT

Lisa Benaglia

Directeurs de thèse:

Professeur Pierre Esseiva et Professeur Olivier Delémont

Mai 2019

École des Sciences Criminelles

The logo for the University of Lausanne (Unil) is a stylized, cursive script in blue, consisting of the letters 'Unil'.

UNIL | Université de Lausanne

Faculté de droit,
des sciences criminelles
et d'administration publique

IMPRIMATUR

A l'issue de la soutenance de thèse, le Jury autorise l'impression de la thèse de Mme Lisa Benaglia, candidate au doctorat en science forensique, intitulée

« Investiguer les consommations illicites au sein du milieu festif et du milieu carcéral grâce à l'analyse des eaux usées »

Le Président du Jury



Professeur Olivier Ribaux

Lausanne, le 15 mars 2019

Resumé

L'épidémiologie basée sur l'analyse des eaux usées est un indicateur qui a été proposé en 2001 afin de mesurer la consommation en stupéfiants. Elle se base sur l'analyse d'échantillons d'eaux usées dans lesquels les traces des excréctions humaines sont mesurées. Cet indicateur a fait l'objet de nombreuses applications en milieu urbain, afin d'estimer les consommations illicites de la population générale. Peu d'études se sont toutefois intéressées à évaluer l'utilité de cet indicateur dans le cadre de l'étude de populations spécifiques. Cette problématique est considérée ainsi dans le présent travail par l'étude du milieu festif et du milieu carcéral, milieux dans lesquels la consommation de produits illicites est une réalité.

Les aspects techniques liés à l'analyse des eaux usées sont exposés dans un premier temps. En effet, cet indicateur fait intervenir une multitude de problématiques, telles que l'échantillonnage, la sélection des traces cibles, les techniques analytiques et le traitement des données, qui doivent donc être abordées dans le contexte de l'étude de populations de tailles réduites. En ce qui concerne l'échantillonnage, deux situations sont distinguées, selon que l'analyse des eaux usées est appliquée lors d'un évènement ou au sein d'un établissement. L'échantillonnage s'avère une problématique complexe, en particulier s'il doit être développé au niveau d'une canalisation en sortie de l'établissement sous étude. Si un évènement tel qu'un festival est investigué, développer une stratégie de prélèvement en entrée de la STEP (station d'épuration) de la ville où l'évènement a lieu est optimal, à condition que les eaux usées proviennent uniquement ou en majorité de la population attirée par cet évènement. Si les eaux usées proviennent en majorité de cette population d'intérêt, il est également nécessaire de prélever les eaux usées lorsqu'il n'y a pas d'évènement, afin d'évaluer si l'évènement a véritablement un impact sur les consommations illicites mesurées par l'analyse des eaux usées. Concernant l'étape de sélection des traces cibles, celle-ci s'avère cruciale car elle détermine la procédure analytique à mettre en place. Elle est par conséquent essentielle à la détection et à la mesure des concentrations des traces cibles dans les échantillons d'eaux usées. En matière d'analyse et de traitement des données, peu de différences sont observées par rapport à l'étude de la population générale, à l'exception de l'estimation de la taille de la population. En effet, un évènement tel qu'un festival et un établissement tel qu'une prison supposent l'existence de statistiques relatives aux nombres de festivaliers et de détenus

respectivement. Ces chiffres peuvent ainsi être comparés à la taille de la population estimée avec l'emploi d'un marqueur de population, permettant d'évaluer la validité de ce dernier. Sept Objectifs techniques sont proposés dans la phase d'application en réponse aux problématiques techniques soulevées ici.

Ensuite, une revue de la littérature a été réalisée afin de déterminer s'il est légal et éthiquement acceptable de prélever et d'analyser les eaux usées de populations spécifiques. Si les eaux usées sont prélevées au niveau d'une STEP, ou dans une canalisation en sortie d'un bâtiment, cela simplifie les problématiques liées à la protection des données et à la recherche sur l'être humain, car il est impossible d'identifier une personne lorsque ses urines sont mélangées de manière inextricable à d'autres contributions. En effet, le lien entre la personne et ses urines est perdu au moment où la personne tire la chasse d'eau d'une toilette, et que cette chasse d'eau se mêle aux autres contributions dans le réseau des eaux usées. En matière de propriété des eaux usées, si les eaux usées doivent être prélevées au niveau d'une STEP, il s'agit de demander l'autorisation à l'exploitant du réseau des eaux usées, c'est-à-dire à la ville. Dans une démarche transparente, l'autorisation doit également être demandée à l'établissement ou à l'évènement investigué. Si les eaux usées doivent être prélevées dans une canalisation en sortie d'un bâtiment, et que cette canalisation n'appartient pas au réseau domestique, alors les eaux usées appartiennent à l'établissement en question et l'autorisation de prélever les eaux usées doit être requise auprès de celui-ci.

Ce manuscrit se poursuit par une revue de la littérature concernant l'application de l'analyse des eaux usées en milieu festif pour évaluer les consommations illicites. Seules deux études ont pu être identifiées sur le sujet (Lai et al., 2013; Causanilles et al., 2017b). D'autres indicateurs existent pour évaluer les consommations illicites en milieu festif, à savoir les méthodes conventionnelles (sondages autoreportés et entretiens), les *drug checking* et l'analyse des urines contenues dans les toilettes portables. La stratégie de chaque indicateur, son déploiement ainsi que les résultats obtenus sont systématiquement traités dans le contexte de chaque indicateur précité, dans le but d'évaluer leurs convergences et divergences. Ainsi, une convergence de l'ensemble des indicateurs concernant la nature des consommations illicites en milieu festif a été mise en évidence. Les stupéfiants les plus consommés sont le cannabis, la cocaïne, la MDMA et l'amphétamine. La source d'inquiétude et de « renouveau » provient ces dernières années des NPS (*New Psychoactive Substances*), dont de nouveaux produits arrivent constamment sur le marché (European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction, 2016b). L'identification de ces nouveaux produits peut être favorisée à l'aide d'un screening des urines contenues dans les toilettes portables, offrant une meilleure sensibilité que l'analyse des eaux usées (Kinyua et al., 2016). Confronter les connaissances en matière de consommations illicites en milieu festif permet finalement de proposer une stratégie de déploiement de l'analyse des eaux usées en milieu festif en complément d'autres indicateurs, afin qu'elle fournisse une information utile sur la nature et

l'ampleur des consommations illicites caractéristiques de ce milieu. Cette stratégie de déploiement se décompose en trois axes, qui sont déclinés dans la phase d'application sous la forme de trois Hypothèses de recherche. Elle propose en premier lieu l'évaluation des consommations en stupéfiants lors d'un festival au cours de plusieurs éditions consécutives (Hypothèse 1). Dans un second temps, les consommations illicites caractérisées lors du festival sont comparées à celles observées lors d'un autre festival d'une part, et à celles de la population générale de la même zone géographique d'autre part (Hypothèse 2). Enfin, les consommations illicites évaluées par l'analyse des eaux usées sont confrontées aux données issues des méthodes conventionnelles, des *drug checking*, de l'analyse des urines contenues dans les toilettes portables, ou encore des saisies réalisées par la police, dans le but de compléter, nuancer ou répondre aux observations réalisées grâce à l'analyse des eaux usées (Hypothèse 3). Les résultats de l'analyse des eaux usées peuvent ainsi être utilisés pour guider la mise en place de mesures de prévention, de réduction des risques et de répression, adaptées au festival investigué.

S'en suit une revue de la littérature concernant l'application de l'analyse des eaux usées pour évaluer les consommations illicites, cette fois dans le cadre du milieu carcéral. Les indicateurs discutés sont l'analyse des eaux usées et les méthodes conventionnelles (sondages autoreportés, entretiens et analyse des urines des détenus). Seules cinq études traitent de l'application de l'analyse des eaux usées en milieu carcéral (Brewer et al., 2016; Postigo et al., 2011; van Dyken et al., 2014, 2016; Néfau et al., 2017). Suite à la confrontation des connaissances issues des différents indicateurs en matières de consommations illicites en milieu carcéral, l'analyse des eaux usées et les méthodes conventionnelles soulignent la consommation de cannabis et de substances utilisées dans le cadre de traitement de substitution, comme la méthadone. Des divergences sont observées, dans la mesure où les méthodes conventionnelles sont alarmantes vis-à-vis de la consommation d'héroïne, alors qu'elle n'a pas été détectée dans tous les établissements pénitentiaires où l'analyse des eaux usées a été appliquée. À l'inverse, cette dernière met en évidence une consommation faible mais régulière de cocaïne, qui est censée être délaissée d'après les méthodes conventionnelles. Une stratégie de déploiement de l'analyse des eaux usées en prison en complémentarité des méthodes conventionnelles est développée et déclinée dans la phase d'application sous la forme de trois Hypothèses de recherche. L'analyse des eaux usées est un indicateur à déployer sur le long terme dans une première phase au sein d'une prison, afin de connaître la nature et les quantités des substances illicites consommées et de monitorer les variations temporelles de ces consommations illicites (Hypothèse 1). Ensuite, les consommations illicites caractérisées au sein de la prison sont comparées à celles observées au sein d'une autre prison d'une part, et à celles de la population générale de la même zone géographique d'autre part. En outre, les méthodes conventionnelles montrent que comparer différentes prisons entre elles est une tâche très délicate. En étant conscient de cela, pour comparer des résultats issus de l'application de l'analyse des eaux usées en prison, les caractéristiques de la prison et des prisonniers sous étude doivent être

inclus dans chaque recherche (Hypothèse 2). Finalement, une fois que l'état des consommations illicites au sein de la prison est connu et bien établi, les méthodes conventionnelles, les données de prescription ou l'analyse du contenu des seringues peuvent être utilisées pour compléter, nuancer ou répondre aux observations effectuées par l'application de l'analyse des eaux usées (Hypothèse 3). Les résultats de l'analyse des eaux usées peuvent ainsi être employés pour guider la mise en place de mesures de prévention, de réduction des risques et de répression, adaptées à la prison sous étude

La phase d'application débute par la description du milieu festif investigué, le Paléo Festival, et du milieu carcéral étudié, la prison Coeliaque. La Question de recherche est introduite. Elle suggère que l'analyse des eaux usées est un indicateur utile permettant d'évaluer la nature et l'ampleur des consommations illicites en milieu festif et en milieu carcéral, à condition d'inscrire son application dans une démarche légale et utile, concrétisée par les stratégies de déploiement en milieu festif et en milieu carcéral proposées précédemment.

La méthodologie appliquée en commun aux deux milieux étudiés est par la suite exposée. Le choix des composés cibles est limité aux produits stupéfiants, à savoir les stupéfiants classiques (cannabis, cocaïne, héroïne, méthadone, MDMA, amphétamine et méthamphétamine), certains NPS (méphédron, méthylone, benzylopipezazine, MDPV) ainsi que le LSD et la kétamine. La procédure analytique développée propose l'utilisation d'une seule procédure d'extraction et de deux méthodes analytiques, une dédiée aux stupéfiants classiques et la seconde, aux autres substances. La méthode de traitement des données utilise les simulations statistiques par approche Monte Carlo. Le marqueur utilisé pour mesurer la taille de la population est l'ammonium, dont la concentration a été mesurée par colorimétrie.

L'analyse des eaux usées a été appliquée lors du Paléo Festival deux années consécutives. Les consommations de cannabis et des *club drugs* sont stables lors des deux éditions et l'usage de cannabis est important. Les NPS, le LSD et la kétamine n'ont jamais été quantifiés (Hypothèse 1). Les résultats ont ensuite été comparés à ceux d'un festival australien. Seule la comparaison des résultats avec ceux du festival australien a pu être réalisée car il s'agit de la seule étude ayant évalué quantitativement les consommations en stupéfiants lors d'un festival (Lai et al., 2013). Cette comparaison entre festivals a confirmé que la MDMA est très prévalente en milieu festif, de même que l'amphétamine dans une moindre mesure. Les consommations de cocaïne (en Suisse) et de méthamphétamine (en Australie) sont également élevées, mais leur usage semble lié à leur disponibilité, ou en d'autres termes, au pays où l'évènement festif se déroule. Les consommations mises en évidence lors du Paléo Festival ont par la suite été confrontées à celles de la population générale de Nyon et du canton de Vaud. La MDMA et l'amphétamine sont davantage consommées lors du Paléo Festival par rapport au temps normal, lorsqu'il n'y a pas de festival. L'estimation des quantités consommées s'avère toutefois relativement faible lors du Paléo Festival (Hypothèse 2). Si la MDMA et l'amphétamine sont davantage consommées lors du festival, cela suggère que leur

disponibilité est accrue et donc, qu'un marché de ces substances existe potentiellement sur le site du Paléo Festival. Cette dernière hypothèse a été évaluée par la consultation des saisies policières effectuées lors du Paléo Festival 2015, car celles-ci permettent parfois de connaître l'endroit où la personne arrêtée a acheté son produit. Malgré des données très limitées, il est observé que les personnes arrêtées ont en majorité acheté ces stupéfiants sur le site du Paléo Festival, ce qui soutient l'hypothèse de l'existence d'un marché de MDMA et d'amphétamine lors de cet événement (Hypothèse 3). L'ensemble de ce travail confirme les observations menées lors de la revue de la littérature. Il valide d'une part la stratégie de déploiement proposée en milieu festif et d'autre part, l'analyse des eaux usées comme indicateur des consommations illicites dans ce contexte. A posteriori, les résultats de l'analyse des eaux usées suggèrent que des campagnes de prévention ciblées sur les consommations de MDMA et d'AMPH pourraient être mises en place lors du Paléo Festival. Par ailleurs, mettre en place un *drug checking* sur le site du Paléo Festival serait une mesure de réduction adaptée, pour que les consommateurs de MDMA sous forme de pilule puissent faire tester leur produit. Cela impliquerait de plus que ces personnes remplissent un questionnaire concernant leurs consommations illicites, ce qui permettrait d'évaluer dans un second temps les résultats de l'analyse des eaux usées.

L'analyse des eaux usées a été appliquée au sein d'une prison dont l'anonymat a été préservé, qui a été nommée prison Coeliaque. L'échantillonnage a été réalisé dans la canalisation en sortie de l'établissement et, conformément aux observations exposées précédemment, cette tâche s'est avérée très complexe. En effet, le débit d'eau usée était très bas, d'où une fréquence d'échantillonnage trop faible. Cela a conduit à un échantillonnage non représentatif du débit des eaux usées, ce qui a affecté la qualité des résultats, qui n'ont pas pu être comparés à ceux d'autres recherches. La stratégie de déploiement de l'analyse des eaux usées proposée plus tôt a donc été simplifiée et revue sous l'angle d'une étude de faisabilité. L'existence de consommations illicites au sein de la prison a quand bien même été relevée. Celles-ci varient au cours du temps et aucune dynamique particulière n'a été remarquée. Des consommations régulières de méthadone et cocaïne ont été observées. L'amphétamine, la méthamphétamine et le cannabis ont été quantifiés irrégulièrement. La MDMA n'a jamais été détectée et l'héroïne, une seule fois (Hypothèse 1). Les quantités consommées de méthadone estimées par l'analyse des eaux usées ont ensuite été comparées aux données de prescription de méthadone afin d'évaluer la qualité de l'échantillonnage développé. Ce dernier s'est révélé représentatif de la consommation de méthadone une seule journée sur les dix ayant fait l'objet de prélèvements, soulignant sa mauvaise qualité (Hypothèse 3). Malgré les limitations dont souffre cette application, celle-ci offre des résultats qui correspondent aux observations réalisées suite à la revue de la littérature, notamment au niveau de la consommation de méthadone. De plus, la consommation de cocaïne n'est pas un phénomène isolé en milieu carcéral, comme le montrent les autres applications de l'analyse des eaux usées dans ce type de milieu. L'analyse des eaux usées souligne ainsi la nécessité de développer des mesures de

prévention et de réduction des risques ciblées sur la cocaïne au sein de la prison Cœliaque, comme par exemple la distribution de seringues propres. Dans l'idéal, un sondage autoreporté pourrait être également développé, ce qui permettrait d'obtenir des informations quant aux pratiques de consommation et éventuellement, de quelle manière les détenus se fournissent en stupéfiants.

Finalement, une discussion générale est proposée dans laquelle les perspectives d'applications futures et les recommandations sont exposées. L'application de l'analyse des eaux usées lors du Paléo festival et au sein de la prison Cœliaque a permis d'asseoir l'utilité de l'indicateur dans le cadre de l'étude de populations spécifiques. L'analyse des eaux usées pourrait être employée afin d'investiguer les consommations licites ou illicites d'autres populations, comme celles des jeunes athlètes qui viendront à Lausanne en 2020 lors des Jeux Olympiques de la Jeunesse. Les difficultés rencontrées au cours de ce travail et les connaissances accumulées serviront ainsi à mettre en œuvre une stratégie d'échantillonnage et une démarche d'application de l'analyse des eaux usées appropriées aux événements et les établissements qui seront étudiés dans le futur. De plus, parmi les recommandations émises, il est préconisé de reporter systématiquement les données de base mesurées chaque jour d'échantillonnage, c'est-à-dire les concentrations, les valeurs de débit et les erreurs-type associées à ces deux paramètres, ainsi que la taille de la population, les paramètres d'excrétion et les équivalents en masse des doses, si les résultats sont reportés sous forme de nombre de doses consommées. Le report des données doit absolument être uniformisé pour tous les composés au sein d'une même recherche. Ainsi, les résultats de l'analyse des eaux usées peuvent être exprimés de diverses manières, chacune étant toutefois davantage adaptée à ce que l'on souhaite démontrer.

Abstract

Wastewater-based epidemiology is an indicator of illicit drug use that was first proposed in 2001. It is based on the analysis of wastewater samples in which traces of human excretions are measured. This indicator has been the subject of numerous applications in urban areas, in order to estimate illicit drug use of the general population. Few studies have, however, examined the utility of this indicator to study specific populations. This issue is considered in this work by the study of the festive environment and the prison environment, in which illicit drug use appears to be a reality.

Firstly, technical aspects related to wastewater analysis are exposed. This indicator involves a multitude of issues, such as sampling, selection of target traces, analytical techniques and data processing, which must therefore be addressed in the context of the study of small populations. With regard to sampling, two situations are distinguished, depending on whether wastewater analysis is applied during an event or within an establishment. Sampling is a complex issue, especially if it has to be developed in a sewer at the outlet of the establishment under study. If an event such as a festival is investigated, developing a sampling strategy at the inlet of the WWTP (wastewater treatment plant) of the city where the event takes place is optimal, as long as wastewater comes only or mostly from the population attracted by this event. If most of the wastewater comes from this population of interest, it is also necessary to collect wastewater when there is no event, in order to assess whether the event has a real impact on the illicit consumption measured by wastewater analysis. Selecting target traces is a crucial step because it determines the analytical procedure to be put in place. It is therefore essential for the detection and the measurement of target trace concentrations in wastewater samples. In terms of analysis and data processing, few differences are observed from the general population, except for estimating the size of the population. Events such as a festival and institutions such as a prison keep records of the numbers of festival-goers and detainees respectively. These figures can thus be compared to the population size estimate performed with the use of a population marker, to evaluate the validity of the latter. Seven Technical Objectives are proposed in the application phase in response to the technical issues raised here.

Then, a review of the literature is conducted to determine whether it is legal and ethically

acceptable to collect and analyze wastewater from specific populations. If wastewater is collected at a WWTP, or in a sewer at the outlet of a building, it simplifies the issues related to data protection and research on humans, because it is impossible to identify a person when his urines are inextricably mixed with other contributions. The link between the person and his urine is indeed lost when the person flushes the toilet, and when this flush mingles with other contributions in the sewer network. If wastewater has to be collected at a WWTP, the authorization to sample wastewater must be granted by the operator of the sewer network, i.e. the city. In a transparent process, authorization must also be requested from the institution or the event being investigated. If wastewater has to be sampled in a sewer at the outlet of a building, and this sewer does not belong to the domestic network, then the wastewater belongs to the establishment in question, which must grant the authorization to collect it.

This manuscript continues with a review of the literature about the application of wastewater analysis in festive settings to assess illicit consumption. Only two studies were identified on this topic (Lai et al., 2013; Causanilles et al., 2017b). Other indicators exist to assess illicit consumption in festive settings, such as conventional methods (self-reported surveys and interviews), *drug checking* and analysis of urines contained in portable toilets. The strategy of each indicator, its deployment and the results obtained are systematically addressed in the context of each previously mentioned indicator, in order to assess their convergences and divergences. Thus, a convergence from all indicators concerning the nature of illicit consumption in a festive environment has been highlighted. The most used illicit drugs are cannabis, cocaine, MDMA and amphetamine. The source of concern in recent years has come from NPS (New Psychoactive Substances), with new products constantly coming onto the illicit drug market (European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction, 2016b). The identification of these new products may be performed through a screening analysis of the urines contained in portable toilets, providing greater sensitivity than wastewater analysis (Kinyua et al., 2016). Confronting knowledge about illicit consumption in a festive environment finally allows to propose a strategy for deploying wastewater analysis in such an environment in addition to other indicators, so that it provides useful information on the nature and the extent of illicit consumption, specific to this environment. This strategy of deployment is broken down into three axes, which are defined in the application phase as three research hypotheses. It first proposes to assess illicit drug consumption during a festival for several consecutive editions (Hypothesis 1). In a second time, illicit consumptions characterized during the festival are compared with those observed during another festival on the one hand, and those of the general population of the same geographical area on the other hand (Hypothesis 2). Finally, illicit consumptions assessed by wastewater analysis are confronted with data from conventional methods, *drug checking*, analysis of urines contained in portable toilets, and seizures made by the police, in order to complete, qualify or respond to observations made thanks to wastewater analysis (Hypothesis 3). Results of wastewater analysis may thus be used to guide the

implementation of prevention, harm reduction and repression measures, adapted to the festival being investigated.

This is followed by a review of the literature on the application of wastewater analysis to assess illicit consumption, this time within the prison environment. The indicators discussed are wastewater analysis and conventional methods (self-reported surveys, interviews and inmates urinalysis). Only five studies deal with the application of wastewater analysis in prisons (Brewer et al., 2016; Postigo et al., 2011; van Dyken et al., 2014, 2016; Néfau et al., 2017). Following the comparison of knowledge about illicit consumption in prison coming from different indicators, wastewater analysis and conventional methods highlight consumption of cannabis and of substances used in the context of substitution treatments, such as methadone. Discrepancies are observed, as conventional methods are alarming with regard to heroin use, whereas it has not been detected in any penitentiary establishments where wastewater analysis was conducted. On the contrary, the latter shows a low but steady consumption of cocaine, which is supposed to be discarded according to conventional methods. A strategy for deploying wastewater analysis in prison in addition to conventional methods is developed and defined in the application phase as three research hypotheses. Wastewater analysis is an indicator to be deployed in a first phase within a prison, to assess the nature and quantities of the consumed illicit drugs, and to monitor the temporal variations of these illicit consumptions (Hypothesis 1). Then, illicit consumptions characterized within the prison are compared with those observed within another prison on the one hand, and with those of the general population of the same geographical area on the other hand. In addition, conventional methods show that comparing different prisons with each other is a very delicate task. Being aware of this, to compare results from application of wastewater analysis in prison, the characteristics of each prison and prisoners under study must be considered, or at least described, in each research (Hypothesis 2). Finally, once the state of illicit consumptions within the prison is known and well established, conventional methods, prescription data or syringe content analysis may be used to supplement, qualify or respond to observations made thanks to wastewater analysis (Hypothesis 3). Results of the wastewater analysis may thus be used to guide the implementation of prevention, harm reduction and repression measures, adapted to the prison under study.

The application phase begins with the description of the investigated festive setting, the Paléo Festival, and the studied prison, the Celiac prison. The Research Question is introduced. It suggests that wastewater analysis is a useful indicator for assessing the nature and extent of illicit consumption in a festive setting and within a prison, as long as it is applied within a legal and logical framework, which is concretized by the strategies of deployment within the festive and prison settings previously proposed.

The methodology applied jointly to the two studied environments is then exposed. The choice of target compounds is limited to illicit drugs, namely classic illicit drugs (cannabis, cocaine,

heroin, methadone, MDMA, amphetamine and methamphetamine), some NPS (mephedrone, methylone, benzylpiperazine, MDPV) as well as LSD and ketamine. The analytical procedure developed proposes the use of a single extraction procedure and two analytical methods, one dedicated to classic illicit drugs, and the second one to other substances. The data processing method uses statistical simulations by Monte Carlo approach. The biomarker used to measure the size of the population is ammonium, the concentration of which has been measured by colorimetry.

Wastewater analysis was applied during the Paleo Festival two consecutive years. Consumption of club drugs is stable during both editions and cannabis use is important. NPS, LSD and ketamine were never quantified (Hypothesis 1). The results were then compared to those of an Australian festival. A comparison could only be performed with an Australian festival as it is the only festival during which a study has quantitatively assessed illicit drug use (Lai et al., 2013). This comparison has confirmed that MDMA is very prevalent in festive settings, as well as amphetamine to a lesser extent. Consumption of cocaine (in Switzerland) and methamphetamine (in Australia) are also high, but their use seems to be related to their availability, or in other words, to the country where the festive event takes place. The illicit drug use highlighted during the Paléo Festival was subsequently compared to that of the general population of Nyon and the canton of Vaud. MDMA and amphetamine are more consumed during the Paléo Festival compared to times when there is no festival. Consumption estimates, however, are relatively low during the Paléo Festival (Hypothesis 2). If MDMA and amphetamine are more consumed during the festival, this suggests that their availability is increased and therefore, that a market for these substances potentially exists during the Paléo Festival. This last hypothesis was assessed by consulting police seizures made during the Paleo Festival in 2015, as these sometimes help to know where the arrested person bought his product. Despite very limited data, it is observed that most of the arrest persons bought these drugs onsite of the Paléo Festival, which supports the hypothesis of the existence of a market of MDMA and amphetamine during this event (Hypothesis 3). This work confirms the observations collected during the review of the literature. It validates, on the one hand, the strategy of deployment proposed in a festive environment and, on the other hand, wastewater analysis as an indicator of illicit consumption in this context. A posteriori, results of wastewater analysis suggest that targeted prevention campaigns on MDMA and AMPH consumption may be implemented during the Paléo Festival. In addition, setting up a *drug checking* onsite of the Paléo Festival would be a suitable harm reduction measure, so that consumers of MDMA in pill form may have their product tested. This would also imply that these people fill out a questionnaire concerning their illicit consumption, which would subsequently allow to assess results of wastewater analysis.

Wastewater analysis was applied in a prison whose anonymity has been preserved. For the purpose of this study, this prison is referred to as the Celiac prison. Sampling was carried out in a sewer at the outlet of the prison building and, according to the previous observations, this

task was very complex. The wastewater flow was indeed very low, resulting in an insufficient low sampling frequency. This led to an unrepresentative sampling of the wastewater flow, which affected the quality of the results, which could not be compared to other studies. The strategy of deployment of wastewater analysis proposed earlier had therefore to be streamlined and was instead reviewed as a feasibility study. Nevertheless, the existence of illicit drug use within the prison was noted. It varies over time and no particular trends were noticed. Steady methadone and cocaine consumptions were observed. Amphetamine, methamphetamine and cannabis were quantified irregularly. MDMA was never detected and heroin was only detected once (Hypothesis 1). Consumption estimates of methadone calculated by wastewater analysis were then compared to methadone prescription data to assess the sampling quality. Sampling was representative of methadone consumption only one day out of the ten sampled, underlining its poor quality (Hypothesis 3). Despite the limitations of this application, it offers results that correspond to observations made after reviewing the literature, particularly regarding methadone consumption. In addition, cocaine use is not an isolated phenomenon in prison, as shown by other applications of wastewater analysis in this type of environment. Wastewater analysis thus underlines the need to develop prevention and harm reduction measures targeted on cocaine use within the Celiac prison, such as the distribution of clean syringes. Ideally, a self-reported survey could also be implemented, which would provide information on consumer practices and possibly how detainees provide themselves with illicit drugs.

Finally, a general discussion is proposed in which prospects of future applications and recommendations are presented. Application of wastewater analysis during the Paléo festival and within the Celiac prison has helped to establish the utility of the indicator in the context of the study of specific populations. Wastewater analysis could be used to investigate the licit or illicit consumptions of other populations, such as those of young athletes who will come to Lausanne in 2020 during the Youth Olympic Games. The difficulties encountered during this work and the accumulated knowledge will thus be used to implement a sampling strategy and an application of wastewater analysis suited to the events and establishments that will be studied in the future. In addition, among the recommendations made, it is recommended to systematically report the source data measured each sampling day, i.e. concentrations, flow rates and standard errors associated with these two parameters, as well as the size of the population, excretion parameters and mass equivalent of doses, if the results are reported as number of doses consumed. Reporting data must absolutely be standardized for all the compounds within a same research. Thus, results of wastewater analysis may be expressed in various ways, each however being more adapted to what one wishes to demonstrate.

Table des matières

1	Introduction	1
I	L'indicateur <i>analyse des eaux usées</i> et la trace qu'il exploite	7
2	Prélèvement des traces	9
2.1	Caractérisation des différents types de milieu	10
2.2	Type, mode et matériel requis	13
3	Description des traces	17
3.1	Production des traces	18
3.2	Persistance des traces	20
3.3	Sélection des traces cibles	22
4	Analyse des traces cibles	23
4.1	Prétraitements	24
4.2	Extraction	25
4.3	Techniques d'analyses instrumentales	26
5	De la trace <i>métabolite</i> à l'indice <i>consommation illicite</i>	27
5.1	Traitement des données	28
5.2	Mesurer la taille de la population	29
II	Inscrire l'application de l'analyse des eaux usées dans une démarche légale et utile	31
6	Dimensions légale et éthique	33
6.1	La propriété des eaux usées	34
6.2	La protection des données	35
6.3	La recherche sur l'être humain	36

7	Évaluer les consommations illicites en milieu festif :	
	à la croisée des indicateurs	39
7.1	Par l'analyse des eaux usées	40
7.1.1	Stratégie de l'analyse des eaux usées	40
7.1.2	Déploiement de l'analyse des eaux usées	41
7.1.3	La nature des consommations illicites en milieu festif d'après l'analyse des eaux usées	45
7.2	Par les méthodes conventionnelles	46
7.2.1	Stratégie des méthodes conventionnelles	46
7.2.2	Déploiement des méthodes conventionnelles	46
7.2.3	La nature des consommations illicites en milieu festif d'après les méthodes conventionnelles	47
7.3	Par les <i>drug checking</i>	49
7.3.1	Stratégie des <i>drug checking</i>	49
7.3.2	Déploiement des <i>drug checking</i>	49
7.3.3	La nature des consommations illicites en milieu festif d'après les <i>drug checking</i>	49
7.4	Par l'analyse des urines contenues dans les toilettes portables	51
7.4.1	Stratégie de l'analyse des urines contenues dans les toilettes portables	51
7.4.2	Déploiement de l'analyse des urines contenues dans les toilettes portables	51
7.4.3	La nature des consommations illicites en milieu festif d'après l'analyse des urines contenues dans les toilettes portables	52
7.5	L'étendue des connaissances sur les consommations illicites en milieu festif	53
7.5.1	Perspective longitudinale	53
7.5.2	Comparaison entre festivals	54
7.5.3	Comparaison avec la population générale	55
7.5.4	Triangulation des indicateurs	55
7.5.5	Proposition d'une stratégie de déploiement de l'analyse des eaux usées en milieu festif en complément des autres indicateurs	57
8	Évaluer les consommations illicites en milieu carcéral :	
	à la croisée des indicateurs	59
8.1	Par l'analyse des eaux usées	60
8.1.1	Stratégie de l'analyse des eaux usées	60
8.1.2	Déploiement de l'analyse des eaux usées	62
8.1.3	La nature des consommations illicites en milieu carcéral d'après l'analyse des eaux usées	63

8.1.4	L'étendue des consommations illicites en milieu carcéral d'après l'analyse des eaux usées	68
8.2	Par les méthodes conventionnelles	72
8.2.1	Stratégie des méthodes conventionnelles	72
8.2.2	Déploiement des méthodes conventionnelles	74
8.2.3	La nature des consommations illicites en milieu carcéral d'après les méthodes conventionnelles	75
8.2.4	L'étendue des consommations illicites en milieu carcéral d'après les méthodes conventionnelles	76
8.3	Discussion	80
8.3.1	Potentiel, limites et recommandations	80
8.3.2	Triangulation avec d'autres indicateurs	81
8.3.3	Proposition d'une stratégie de déploiement de l'analyse des eaux usées en milieu carcéral en complément des autres indicateurs	83
 III De la théorie à la pratique		 85
 9 Proposition d'application		 87
9.1	But général	88
9.2	Description du milieu festif étudié : le Paléo Festival	89
9.3	Description du milieu carcéral étudié : la prison Coëliaque	90
9.4	Déployer l'analyse des eaux usées : objectifs techniques	91
9.4.1	Prélèvement des traces	91
9.4.2	Description des traces	92
9.4.3	Analyse des traces cibles	92
9.4.4	De la trace <i>métabolite</i> à l'indice <i>consommation illicite</i>	93
9.5	Déployer l'analyse des eaux usées : hypothèses de recherche	95
9.5.1	Dans le cadre du Paléo Festival	95
9.5.2	Dans le cadre de la prison Coëliaque	96
 10 Méthodologie commune appliquée au Paléo Festival et à la prison Coëliaque		 97
10.1	Sélection des traces cibles	98
10.2	Développement de la méthode d'analyse	101
10.2.1	Standards et réactifs	101
10.2.2	Prétraitements	101
10.2.3	Extraction	102
10.2.4	Analyse instrumentale	103

10.3	Traitement des données	113
10.3.1	Simulations statistiques	113
10.3.2	Tests statistiques	113
10.4	Développement de la méthode de mesure d'ammonium	114
11	Paléo Festival	115
11.1	Dimension légale	116
11.2	Échantillonnage	117
11.3	Résultats et interprétation	119
11.3.1	Résultats de l'analyse des traces cibles et des simulations statistiques . . .	119
11.3.2	Mesure de la taille de la population	127
11.3.3	Hypothèse 1	138
11.3.4	Hypothèse 2	142
11.3.5	Hypothèse 3	155
11.4	Discussion	157
11.4.1	Échantillonnage	157
11.4.2	Mesure de la population	158
11.4.3	Tests statistiques	158
11.4.4	Hypothèses	159
12	Prison Coeliaque	161
12.1	Dimension légale	162
12.2	Échantillonnage	163
12.3	Résultats et interprétation	166
12.3.1	Résultats de l'analyse des traces cibles et des simulations statistiques . . .	166
12.3.2	Mesure de la taille de la population	169
12.3.3	Hypothèse 1	171
12.3.4	Hypothèse 3	175
12.4	Discussion	177
12.4.1	Échantillonnage	177
12.4.2	Hypothèses	178
13	Discussion générale	181
13.1	Démarche d'application de l'analyse des eaux usées	182
13.2	Recommandations et perspectives	184
13.2.1	Étudier une population spécifique	184
13.2.2	Considérations techniques	185
13.2.3	Expression des résultats	186

TABLE DES MATIÈRES

xxi

14 Conclusion

189

A

211

B

233

C

265

D

297

Chapitre 1

Introduction

« Les traces peuvent [...] consister en empreintes de toute nature ou en déplacements, fractures, ou dépôt d'une matière » (Reiss, 1911, p. 24).

Lorsqu'une substance pharmaceutique est consommée, l'organisme procède à sa métabolisation. Le métabolite produit par le corps est éliminé via les urines et les selles, qui sont à leur tour évacuées par une chasse d'eau. Les urines, les selles et l'eau constituent ainsi les vecteurs de transport du métabolite « déposé », ou, au sens de la citation précédente, de la trace.

Cette trace individuelle est transportée par les eaux usées et se mélange à d'autres excréments individuelles au fur et à mesure qu'elle progresse dans le réseau des égouts. Une trace collective se crée ainsi. Elle est le témoin de la consommation de la substance par la population ayant contribué aux eaux usées (Delémont et al., 2014). L'exploitation de cette trace collective constitue le sujet d'étude de l'épidémiologie basée sur l'analyse des eaux usées.

Le concept de l'épidémiologie basée sur l'analyse des eaux usées a été proposé au début des années 2000, afin d'évaluer un phénomène de société difficile à mesurer, celui de la consommation en stupéfiants (Daughton, 2001). Cet indicateur a été appliqué la première fois en 2005 afin d'apprécier l'usage de stupéfiants de la population de Milan (Zuccato et al., 2005). Cette première application a reçu une forte attention scientifique, qui s'explique certainement autant par le caractère inédit de la démarche que par la multitude des disciplines potentiellement concernées : l'ingénierie environnementale, les sciences criminelles, la chimie analytique ou encore la toxicologie. L'épidémiologie basée sur l'analyse des eaux usées a permis d'apprécier la nature et l'ampleur des consommations en stupéfiants, dont les dynamiques diffèrent dans le temps et dans l'espace (European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction, 2016a). En complémentarité d'autres indicateurs, elle aide également à comprendre la structure du marché des stupéfiants (Zobel et al., 2018).

L'ensemble des recherches réalisées jusqu'à aujourd'hui s'est principalement concentré sur l'application de l'analyse des eaux usées¹ en milieu urbain, dans le but d'étudier les consommations de la population d'une ville. Quelques études ont investigué les eaux usées rejetées par des populations définies, par exemple celles d'établissements particuliers ou celles fréquentant des événements ponctuels. Cette distinction entre établissement et événement est fondamentale, car si un établissement tel qu'une prison est accessible en tout temps, ce n'est pas le cas d'un événement comme un festival par exemple, qui exploite une infrastructure sur une période limitée.

Les motivations qui ont été avancées pour justifier la mise en œuvre de campagnes d'analyse des eaux usées auprès de populations spécifiques ont été examinées et certaines d'entre elles sont exposées ci-après. Postigo et al. (2011) ont appliqué l'analyse des eaux usées en prison car la consommation en stupéfiants dans ce type de milieu est considérable malgré les politiques de réduction des risques et de répression mises en place. Bijlsma et al. (2012) ont souhaité étudier les habitudes de consommations des voyageurs en développant l'analyse des eaux usées dans un aéroport. Heuett et al. (2015) ont justifié l'emploi de l'analyse des eaux usées sur le campus d'une université par le fait que la consommation en stupéfiants est élevée chez les étudiants au collège et à l'université. Enfin, Andrés-Costa et al. (2016) ont évalué la consommation d'alcool, réputée élevée, par l'analyse des eaux usées lors d'un festival en Espagne.

Il apparaît donc que l'analyse des eaux usées a été majoritairement employée dans le but de confirmer que certaines populations spécifiques se distinguent par des consommations illicites élevées, qui leurs sont caractéristiques. Citons comme exemples un festival (Lai et al., 2013), lors duquel des stupéfiants de type stimulant sont recherchés, une prison (Postigo et al., 2011), dans laquelle la présence de stupéfiants, tels que les opioïdes et les antidépresseurs, est évaluée, ou des centres de fitness dans lesquels des traces de stéroïdes notamment ont été investiguées (Schröder et al., 2010). Ces exemples démontrent effectivement que les composés recherchés ont été sélectionnés sur la base de connaissances préexistantes. Ainsi, si l'analyse des eaux usées est utilisée dans une perspective de validation des connaissances préalables, est-ce qu'elle apporte une nouvelle dimension ? En d'autres termes, est-ce que cet indicateur offre une information utile, c'est-à-dire nouvelle et de valeur (Bitzer et al., 2015), concernant les consommations illicites de populations spécifiques ? Cette problématique est considérée dans le présent travail par l'étude du milieu festif et du milieu carcéral, milieux dans lesquels la consommation de produits illicites est une réalité. La structure de ce manuscrit est décrite ci-après.

1. Ce terme sera utilisé indifféremment de l'expression épidémiologie basée sur l'analyse des eaux usées.

La première partie de ce manuscrit s'intitule **L'indicateur analyse des eaux usées et la trace qu'il exploite** et est composée de quatre Chapitres. Chaque Chapitre est dédié à la revue de la littérature d'un aspect technique de l'analyse des eaux usées.

- Tout d'abord, les eaux usées qui contiennent les traces des consommations illicites excrétées par la population que l'on souhaite étudier doivent être prélevées. À ce stade se posent donc deux questions — où et comment prélever la trace ? — qui feront l'objet du Chapitre 2.

⇒ Les **Objectifs techniques 1_{Paleo} et 1_{Coeliaque}** seront proposés pour répondre à la problématique de l'échantillonnage considérée dans ce Chapitre.

- Ensuite, il s'agit de définir les traces, ou métabolites, qui seront prélevées, analysées et interprétées dans le cadre de l'analyse des eaux usées. Quelles caractéristiques possèdent-elles ? Ces problématiques seront considérées au Chapitre 3.

⇒ L'**Objectif technique 2** sera proposé pour répondre à la problématique de la sélection des traces cibles considérée dans ce Chapitre.

- Les échantillons d'eaux usées sont ensuite transférés au laboratoire et font l'objet d'un prétraitement, suivi d'une extraction qui, comme son nom l'indique, permet d'extraire les traces de la matrice « eau usée ». Ces opérations sont appliquées avant l'analyse des traces. L'ensemble de la procédure analytique est discuté au Chapitre 4.

⇒ L'**Objectif technique 3** sera proposé pour répondre à la problématique de la procédure analytique considérée dans ce Chapitre.

- Les résultats de l'analyse des traces sont utilisés dans divers calculs afin d'évaluer les consommations illicites. Par ailleurs, il s'avère nécessaire d'évaluer la taille de la population ayant contribué aux eaux usées pour comparer les résultats dans le temps et dans l'espace. Ces thématiques sont abordées au Chapitre 5.

⇒ Les **Objectifs techniques 4, 5, 6_{Paleo}, 6_{Coeliaque} et 7_{Paleo}** seront proposés pour répondre aux problématiques du traitement des données et de la mesure de la taille de la population exposées dans ce Chapitre.

La deuxième partie s'intitule **Inscrire l'analyse des eaux usées dans une démarche légale et utile** et est composée de trois Chapitres.

- En premier lieu, une revue de la littérature a été réalisée afin de déterminer s'il est légal et éthiquement acceptable de prélever et d'analyser les eaux usées de populations spécifiques, et si c'est le cas, quelles précautions sont nécessaires. Ces problématiques sont abordées au Chapitre 6.
- Le Chapitre 7 commence par une revue de la littérature concernant l'application de l'analyse des eaux usées en milieu festif pour évaluer les consommations en stupéfiants. Seules deux études ont pu être identifiées sur le sujet (Lai et al., 2013; Causanilles et al., 2017b). La stratégie de l'analyse des eaux usées, son déploiement ainsi que les résultats obtenus seront discutés. D'autres indicateurs existent pour évaluer les consommations illicites en milieu festif, à savoir les méthodes conventionnelles (sondages autoreportés et entretiens), les *drug checking* et l'analyse des urines contenues dans les toilettes portables. Les problématiques explorées dans le cadre de l'analyse des eaux usées sont ensuite systématiquement traitées dans le contexte de chaque indicateur précité, dans le but d'évaluer les convergences et les divergences entre les différents indicateurs. Finalement, une stratégie de déploiement de l'analyse des eaux usées en milieu festif en complément des autres indicateurs est proposée, afin qu'elle fournisse une information utile sur la nature et l'ampleur des consommations illicites, caractéristiques de ce milieu. Ce Chapitre a fait l'objet d'une publication, voir Annexe A et Benaglia et al. (2019b).
- Le Chapitre 8 suit la même logique que le Chapitre précédent, mais dans le cadre du milieu carcéral. Les indicateurs discutés sont l'analyse des eaux usées et les méthodes conventionnelles (sondages autoreportés, entretiens et analyse des urines des détenus). Seules cinq études traitent de l'application de l'analyse des eaux usées en milieu carcéral (Brewer et al., 2016; Postigo et al., 2011; van Dyken et al., 2014, 2016; Néfau et al., 2017). Une stratégie de déploiement de l'analyse des eaux usées en prison en complémentarité des méthodes conventionnelles est développée dans ce Chapitre, qui a fait l'objet d'une publication (voir Annexe B et Benaglia et al. (2019a)).

⇒ Les stratégies de déploiement de l'analyse des eaux usées proposées aux Chapitres 7 et 8 sont déclinées dans la troisième partie sous la forme de **trois Hypothèses de recherche** pour chacun des milieux festif et carcéral investigués dans le cadre de ce travail. Elles proposent en premier lieu l'évaluation des consommations en stupéfiants lors d'un festival et au sein d'une prison au cours du temps (**Hypothèses 1**). Dans un second temps, les consommations illicites caractérisées lors du festival et au sein de la prison étudiés sont comparées à celles observées dans un autre milieu du même type d'une part, et à celles de la population générale de la même zone géographique (**Hypothèses 2**). Enfin, les consommations illicites évaluées par l'analyse des eaux usées sont confrontées aux données issues d'autres indicateurs pour compléter et nuancer les observations réalisées grâce à l'analyse des eaux usées (**Hypothèses 3**).

La troisième partie s'intitule **De la théorie à la pratique**. Elle traite de l'application concrète de la stratégie de déploiement de l'analyse des eaux usées proposée précédemment dans un milieu festif, au Paléo Festival, et dans un milieu carcéral, la prison Coeliaque.

- Le Chapitre 9 décrit le Paléo Festival et la prison Coeliaque. Il introduit la **question de recherche**, citée ci-dessous, les **Objectifs techniques 1 à 7** et les **trois Hypothèses de recherche** pour chaque milieu étudié.

Q_R L'épidémiologie basée sur l'analyse des eaux usées est un indicateur utile permettant d'évaluer la nature et l'étendue des consommations illicites en milieu festif et en milieu carcéral. Elle offre plusieurs niveaux de comparaison, que ce soit au cours du temps ou dans l'espace. Il s'agit ainsi d'appliquer lors d'un festival et au sein d'une prison les stratégies de déploiement proposées aux Chapitres 7 et 8, afin de développer les connaissances en matière de consommations illicites, caractéristiques de ces milieux.

- Le Chapitre 10 aborde la méthodologie appliquée en commun aux deux milieux étudiés, à savoir le choix des composés cibles, la procédure analytique et les méthodes de traitement des données et de mesure du biomarqueur sélectionné pour mesurer la taille de la population.

⇒ Les **Objectifs techniques 2, 3 et 5** sont atteints à ce Chapitre.

- Les résultats de l'application de la stratégie de l'analyse des eaux usées lors du Paléo Festival sont exposés et discutés au Chapitre 11. Ce Chapitre a fait l'objet d'une publication, voir Annexe C et Benaglia et al. (2019c).

⇒ Les **Objectifs techniques 1_{Paleo} , 6_{Paleo} et 7_{Paleo}** ainsi que les **Hypothèses 1_{Paleo} , 2_{Paleo} et 3_{Paleo}** sont discutés à ce Chapitre.

- Les résultats de l'application de la stratégie de l'analyse des eaux usées au sein de la prison Coeliaque sont exposés et discutés au Chapitre 12.

⇒ Les **Objectifs techniques $1_{Coeliaque}$ et $6_{Coeliaque}$** ainsi que les **Hypothèses $1_{Coeliaque}$ et $3_{Coeliaque}$** sont discutés à ce Chapitre. L'**Hypothèse $2_{Coeliaque}$** n'a pas pu être testée, pour des raisons qui seront exposées ultérieurement.

- Une discussion générale est proposée au Chapitre 13, dans laquelle les perspectives d'applications futures et les recommandations sont exposées.

⇒ L'**Objectif technique 4** est atteint à ce Chapitre.

Première partie

L'indicateur *analyse des eaux usées* et la trace qu'il exploite

Chapitre 2

Prélèvement des traces

L'eau, l'urine et les selles sont les vecteurs de transport des traces. L'analyse et la détection de ces traces sont postérieures à leur prélèvement. Elles sont par conséquent conditionnée par l'étape de l'échantillonnage.

L'échantillonnage est une source importante d'erreur, dont l'impact peut être bien plus important que celui de l'erreur liée à l'analyse. La théorie de l'échantillonnage développée par Pierre Gy, décrit les différents types d'erreurs liées à l'échantillonnage. Si celles-ci ne peuvent être entièrement supprimées, il est toutefois possible de les minimiser, afin de produire des échantillons représentatifs du lot hétérogène et dynamique que l'on souhaite analyser (Gy, 1992).

La matrice eau usée est caractérisée par un mélange complexe d'eau, de matériels dissous, en suspension et solides, qui varie dans le temps. Il s'agit donc bien d'une matrice hétérogène et dynamique. L'application de la théorie de l'échantillonnage à l'analyse des eaux usées a ainsi conduit à l'élaboration de directives, qui seront exposées dans ce Chapitre (Ort et al., 2010b).

« Pour déterminer le bruit de fond des expériences contrôlées, les conditions initiales et confirmer les observations elles-mêmes, un échantillonnage est nécessaire, afin d'améliorer la fiabilité des indicateurs. » (Crispino, 2006, p.137)

2.1 Caractérisation des différents types de milieu

L'échantillonnage dépend de la question que l'on se pose, de l'information que l'on souhaite recueillir. C'est une problématique qui est caractérisée par plusieurs éléments. Tout d'abord, les eaux usées doivent être prélevées à l'état brut (Ort et al., 2010b), puisque tout traitement physique ou chimique entraîne une modification de leur composition. L'échantillonnage doit être de plus développé à un endroit où le débit est le plus homogène possible. En effet, si deux cours d'eaux usées se rejoignent, les prélèvements doivent être effectués en aval de la jonction de ces derniers, après la zone de turbulences, pour que la matrice d'eau usée se soit homogénéisée. Ensuite, en fonction de la population que l'on souhaite cibler, il faut déterminer l'endroit du prélèvement.

Si la population d'intérêt est la population d'une ville et que les prélèvements sont réalisés à l'entrée de la station d'épuration (STEP) recueillant les eaux usées des habitants de cette ville, on parlera alors de **milieu ouvert**. Citons par exemple la ville de Lausanne, qui a fait l'objet de la première thèse sur l'analyse des eaux usées à l'École des Sciences Criminelles (Been, 2015). Dans certains cas, si la ville est grande, ses eaux usées peuvent être traitées par plusieurs STEPs. Chacune de ces STEPs constitue un milieu ouvert, dans lequel il s'agit d'effectuer des prélèvements afin de pouvoir obtenir une information sur la consommation totale de la ville étudiée.

Ce manuscrit s'attache cependant à étudier les consommations illicites de populations de tailles plus restreintes. Le milieu ouvert n'est donc pas pertinent. Afin de cibler les consommations d'une population particulière, il est nécessaire de déterminer où ses eaux usées circulent, puis de les prélever. Comme souligné auparavant, la situation est différente selon que la population d'intérêt est celle d'un établissement, comme une prison, ou celle d'un évènement, comme un festival.

Prenons le cas d'un évènement. Premier cas de figure : si cet évènement dispose de sa propre STEP, alors les prélèvements y seront effectués. Cette situation entraîne que les eaux usées prélevées proviennent exclusivement de la population d'intérêt. Il s'agit donc d'un **milieu fermé**. Puisqu'un évènement est éphémère, le fait qu'une STEP lui soit expressément associée est relativement rare. Les prélèvements pourraient éventuellement être réalisés au niveau d'une canalisation réunissant seulement et uniquement les eaux usées de cet évènement. Une telle situation n'a cependant pas été rencontrée dans les études ayant fait l'objet de publication. Deuxième cas de figure : si cet évènement ne dispose pas de sa propre STEP, comme cela est le plus souvent le cas, alors il faudra se résoudre à réaliser l'échantillonnage au niveau de la STEP de la ville où cet évènement a lieu. Cela signifie que les contributions aux eaux usées de la population de l'évènement sont mélangées à des contributions non pertinentes, c'est-à-dire à celles des habitants de la ville. En d'autres termes, les traces de la population de l'évènement, ou les traces pertinentes, sont contaminées par une autre source. Cette analyse doit être consciente puisqu'il

est impossible de supprimer cette source de « contamination » (Margot, 2014). C'est pour cette raison qu'il est nécessaire d'analyser les eaux usées avant ou après l'évènement, afin d'évaluer la consommation de la population de la ville, ou « contaminante ». Un tel milieu est caractérisé de **milieu semi-fermé**.

Dans l'idéal, la situation la plus favorable intervient lorsque la population pertinente est supérieure par rapport à la population de la ville. Ainsi, la contribution de la population d'intérêt peut être détectée et appréciée par rapport à celle de la population de la ville. Si l'évènement attire un nombre de personnes qui n'est pas supérieur au nombre d'habitants de la ville, alors il s'agit tout simplement de l'étude d'un milieu ouvert, ponctué d'un évènement particulier.

Prenons maintenant le cas d'un établissement. Cet établissement pourrait être relié à sa propre STEP, auquel cas celle-ci constitue le lieu d'échantillonnage. Les eaux usées prélevées contenant uniquement celles de la population de ce complexe, il s'agit d'un milieu fermé. Si le complexe sous étude n'est toutefois pas associé à une STEP, alors l'échantillonnage est développé au niveau d'une canalisation respectant l'intégrité du milieu fermé, c'est-à-dire au niveau d'une canalisation regroupant exclusivement les eaux usées de ce complexe.

Il est possible de se demander à ce stade, pour quelle raison lors d'un évènement, les eaux usées sont prélevées au niveau de la STEP de la ville si celui-ci ne dispose pas de sa propre STEP ? En effet, pourquoi ne pas réaliser l'échantillonnage au niveau d'une canalisation, permettant de rester dans le cas du milieu fermé ? Ici, la réponse est double. D'une part, développer l'échantillonnage au niveau d'une canalisation est une tâche compliquée, ce qui sera explicité de manière plus détaillée par la suite. D'autre part, l'étude d'un milieu semi-fermé offre une information sur les dynamiques de consommations liées à un évènement en particulier. Cette information ne peut pas être obtenue grâce à un autre type d'indicateur, comme nous l'expliquerons ensuite. De plus, la nature d'un évènement se déroulant au sein d'une ville coïncide intuitivement à un milieu semi-fermé, hybride, ni ouvert, ni fermé, dans lequel les personnes assistant à l'évènement circulent librement et se mélangent aux habitants de la ville.

Nous pouvons également nous poser la question suivante : pourquoi dans une structure, les eaux usées sont prélevées dans une canalisation en sortie de ce complexe si celui-ci ne dispose pas de sa propre STEP ? En d'autres termes, pourquoi ne serait-il pas possible d'avoir un milieu semi-fermé dans le cas de l'étude d'un complexe, à l'instar d'un évènement ? Car tout simplement, le milieu semi-fermé ne peut pas exister dans le cadre de l'étude d'une structure. En effet, comme la structure n'est pas éphémère, il est tout bonnement impossible d'établir la consommation qui provient de la population contaminante.

Le Tableau 2.1 indique les différentes situations qu'il est possible de rencontrer. À chaque situation est associée une référence qui sert d'exemple. Les évènements sont donc à géométrie variable, à l'inverse des structures dans lesquelles l'échantillonnage doit être développé de manière à réaliser la situation d'un milieu fermé.

TABLEAU 2.1 – Caractérisation du milieu en fonction du type de population investigué et du lieu de prélèvement

Type de population	Lieu de prélèvement	Remarque	Type de milieu	Référence
Évènement	STEP associée à l'évènement	Contient exclusivement les eaux usées de la population de l'évènement	Milieu fermé	Lai et al., 2013b
	STEP de la ville dans laquelle a lieu l'évènement	Contient les eaux usées de la population de l'évènement et de celle de la ville, la population de l'évènement est supérieure à la population de la ville	Milieu semi-fermé	Gul et al., 2016
Structure	STEP associée à la structure	Contient exclusivement les eaux usées de la population de la structure	Milieu fermé	Heuett et al., 2015
	Canalisation en sortie de structure	Contient exclusivement les eaux usées de la population de la structure	Milieu fermé	van Dyken et al., 2014

L'avantage de réaliser l'échantillonnage dans une STEP réside dans le fait que le débit d'eau qui arrive en entrée est important, ce qui entraîne des prises d'échantillons et des mesures de débit facilitées. De plus, certains des équipements nécessaires sont généralement disponibles dans une STEP puisque les analyses de qualité des eaux usées y sont routinières.

Prélever dans une canalisation ne présente pas réellement d'avantage technique. Localiser la canalisation pertinente prend du temps et requiert parfois jusqu'à la consultation des plans de canalisation pour parvenir à son identification. Une fois que cela est effectué, rien ne garantit qu'elle soit accessible et permette l'installation du matériel adéquat à la réalisation de l'échantillonnage. L'électricité doit être également disponible (Ort et al., 2010b). L'accès à la canalisation pourrait se situer dans un bâtiment, ce qui nécessite de pouvoir pénétrer en tout temps dans celui-ci (van Dyken et al., 2014), ou à l'extérieur dudit bâtiment sur la voie publique. Ces situations sont potentiellement problématiques, notamment au niveau du bruit que génère le prélèvement, si ce dernier est réalisé par le biais d'un préleveur automatique.

2.2 Type, mode et matériel requis

L'échantillonnage peut être de deux types : passif ou actif. Le Tableau 2.2 présente les avantages et les inconvénients liés aux modes d'échantillonnage discutés ci-dessous, ainsi que le matériel nécessaire à leur réalisation (Ort et al., 2010a,b; Harman et al., 2011; Estoppey, 2017).

L'échantillonnage passif consiste en l'accumulation des substances contenues dans le flux d'une matrice, sur ou dans un sorbant, qui peut être protégé par une couche protectrice membranaire. À l'origine, les capteurs passifs destinés à l'échantillonnage dans une matrice aqueuse ont été développés pour la captation des molécules hydrophobes, telles que les HAP (Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques), les PCB (Polychlorobiphényles), etc. Ces capteurs sont dits monophasiques. L'application de la technologie aux composés polaires a entraîné l'apparition des capteurs biphasiques, caractérisés par la présence d'une membrane protégeant le sorbant (Estoppey, 2017).

Le module doit être placé dans la matrice un certain temps pour permettre l'enrichissement. Celui-ci montre un régime initial linéaire, suivi par une phase curviligne, pour finalement atteindre un état d'équilibre, qui signifie que le sorbant ne peut plus s'enrichir en analyte. Tant que le capteur est en phase linéaire, il peut être laissé en immersion. Le résultat de l'immersion permet de calculer une concentration moyenne de la substance, pondérée en fonction du temps. L'accumulation des composés polaires étant plus rapide que celle des composés hydrophobes, cela justifie la présence de la membrane qui permet un taux d'échantillonnage plus lent (Seethapathy et al., 2008; Zabiegała et al., 2010).

Cette technologie a par exemple été appliquée dans le cadre de l'analyse des eaux usées en utilisant des POCIS (Polar Organic Chemical Integrative Sampler) qui sont un type de capteur passif biphasique, pour la recherche de micropolluants classiques (Alvarez et al., 2004; Jones-Lepp et al., 2004), mais aussi pour celle de stupéfiants (Harman et al., 2011; Boles and Wells, 2014). Au-delà du choix du type de capteur en fonction des composés cibles, les conditions environnementales, telles que la vitesse de l'eau, le biofilm et la température, ont une influence sur la capture des composés (Estoppey, 2017).

L'échantillonnage actif quant à lui est généralement réalisé au moyen d'une pompe installée sur un compartiment réfrigéré (préleveur). Il peut être soit continu, soit discret. Le mode continu est défini par le détournement d'une portion du débit d'eau, soit à débit constant, soit proportionnel au débit (par la suite désigné FP, pour *flow proportional*). Le mode discret peut être soit proportionnel au temps (prendre un volume constant à des intervalles de temps réguliers, abrégé TP, pour *time proportional*), soit au volume (prendre un volume constant à des temps d'intervalles variables après qu'une certaine quantité d'eau est passée, VP dans le texte, pour *volume proportional*), soit au débit (prendre un volume dépendant du débit à des intervalles de temps réguliers), ou ponctuel. Ce dernier mode ne requiert aucun matériel, si ce n'est un contenant pour transporter le liquide (Ort et al., 2010b).

Intuitivement, l'échantillonnage discret fait intervenir la notion d'intervalle et donc de fréquence. Plus la fréquence d'échantillonnage est faible, moins l'échantillon est représentatif. En

effet, comme notre matrice est dynamique et constamment en mouvement, il convient de prélever aussi souvent que possible. Malheureusement, il s'avère que ce n'est pas toujours possible à cause des limitations techniques du préleveur. La fréquence peut cependant être diminuée dans certains cas, si l'on sait que la concentration du composé auquel on s'intéresse est par exemple stable dans le temps. A ce moment là, un échantillon ponctuel serait représentatif. Ainsi intervient une seconde notion, celle de l'occurrence du composé en question. S'il est impossible de prévoir la quantité de chasses d'eau qui en contiendra, ce qui est typiquement le cas des stupéfiants, par sécurité, une fréquence élevée d'échantillonnage est recommandée afin de minimiser l'incertitude (Ort et al., 2010a).

Il a été fait mention des modes continu FP et discret FP ou VP. Comme il s'agit de prendre des échantillons proportionnels au débit ou au volume, cela signifie que non seulement il faut pouvoir mesurer ces derniers, mais il faut pouvoir le faire à un endroit proche du point de prélèvement. Selon le réseau d'égouts, les eaux usées circulent par gravité ou dans un milieu pressurisé, le second cas offrant une mesure de débit généralement plus précise que le premier. De plus, l'incertitude liée au débit augmente lorsque le débit diminue. Il s'agit de reporter adéquatement l'erreur liée à cette mesure (Ort et al., 2010b).

Le résultat de l'échantillonnage actif (hormis ponctuel) est généralement un échantillon composite, puisque composé de tous les sous-échantillons effectués au cours de la période de prélèvement. La majorité du temps, c'est la consommation au cours d'une journée qui est étudiée, d'où la production de composites 24-h. Quant à la durée de l'étude d'un site, les phénomènes de consommation étant variables dans le temps, les variations saisonnières devraient être considérées au-delà des variations journalières et hebdomadaires. Ainsi, plus l'échantillonnage est long dans la durée, plus les dynamiques de consommations peuvent être observées en détail. Un échantillonnage stratifié aléatoire est conseillé plutôt que des prélèvements réalisés consécutivement jour après jour lorsqu'une ville ou une structure est étudiée (Ort et al., 2014). Si un événement est investigué, puisque celui-ci est limité dans le temps, il n'y a cependant pas d'autre alternative que d'échantillonner chaque jour consécutivement, et ce, pendant toute la durée de l'évènement.

Ainsi, chaque technique souffre de limitations et en fonction de la question, la stratégie la plus adaptée doit être déterminée. Par exemple, si l'on souhaite identifier l'ensemble des micropolluants présents dans les eaux usées lors d'une journée en particulier, un échantillonnage continu à débit constant serait optimal. Les capteurs passifs présenteraient une alternative intéressante à l'échantillonnage actif dans un cas de suivi simultané de plusieurs sites.

⇒ Les **Objectifs techniques 1_{Paleo}** et **1_{Coeliaque}** liés aux stratégies d'échantillonnage développées dans le présent travail sont proposés au Chapitre 9, et les choix effectués sont explicités aux sous-chapitres 11.2 et 12.2.

TABLEAU 2.2 – Avantages, inconvénients et matériel requis des différents modes d'échantillonnage

Type d'échantillonnage	Mode	Avantages	Inconvénients	Matériel nécessaire
Passif	-	Concentration in situ Aucun paquet d'eau manqué Pas de transport d'eau Pas d'alimentation électrique requise	Immersion totale requise Influence des facteurs environnementaux Pas de suivi à court terme Détermination du taux d'échantillonnage pour chaque nouveau composé	Capteur passif
Actif	Continu, débit constant	Aucun paquet d'eau manqué Pas de mesure de débit requise	Ne pondère pas sous-échantillons par rapport au débit Pas un échantillon au sens statistique Implique grand volume d'échantillon ou faible débit d'eau Croissance de biofouling dans tuyau du préleveur sur le long terme	Préleveur
	Continu, FP	Aucun paquet d'eau manqué	Pas un échantillon au sens statistique Implique grand volume d'échantillon ou faible débit d'eau Croissance de biofouling dans tuyau du préleveur sur le long terme	Préleveur Débitmètre
	Discret, TP	Pas de mesure de débit requise	Ne pondère pas sous-échantillons par rapport au débit car fréquence et volume constants	Préleveur
	Discret, VP	Alternative au mode discret FP	Ne pondère pas sous-échantillons par rapport au débit car volume constant Stabilité du volume des sous-échantillons requise	Préleveur Débitmètre
	Discret, FP	Pondère sous-échantillon en fonction du débit	Variation linéaire du volume des sous-échantillons requise	Préleveur Débitmètre
	Discret, échantillon ponctuel	Bon marché	Pas représentatif	Contenant

Chapitre 3

Description des traces

Les traces de la consommation humaine, dissoutes dans les eaux usées, sont latentes, c'est-à-dire invisibles à l'œil nu. En reprenant le concept de Dulong et al. (2004), l'invention de ces traces nécessite d'apprendre à les percevoir. Autrement dit, la reconnaissance requiert la connaissance. Le phénomène de production et la persistance des traces qui guident la sélection des traces cibles sont ici discutés, afin d'acquérir le savoir indispensable à leur invention.

« Pour qu'une trace acquière une présence, il est donc nécessaire qu'elle soit perçue par une personne compétente à lire ce type de trace, donc exercée à la voir comme signe d'un type d'évènement, et que cet observateur soit dans un contexte où sa capacité est aiguisée par l'intérêt qu'il porte justement à ce type d'évènement. » (Dulong et al., 2004, p. 263)

3.1 Production des traces

Lorsqu'un produit pharmaceutique est absorbé, celui-ci se distribue dans le corps. L'organisme procède à sa métabolisation, partielle ou complète. La métabolisation produit des molécules plus polaires que la substance mère. Celles-ci deviennent donc davantage solubles dans les urines, ce qui permet de favoriser l'élimination (Daughton and Ternes, 1999). La métabolisation conduit dans certains cas à la formation de conjugués glucuronides ou sulfates (Ternes, 1998; Heberer, 2002).

« [La trace] contient une information sur sa source » (Margot, 2014, p. 74) dans le sens où l'organisme *altère* et *produit* la trace à partir de la substance consommée. La production et l'altération sont deux types de relation décrits par Kwan (1977) qui existent entre une trace et sa source. La source du métabolite est ainsi à considérer selon deux niveaux : le métabolite constitue une altération de la substance mère, produit par l'individu qui a consommé celle-ci. Il y a donc la source en tant que substance, et la source en tant qu'individu. Malheureusement, les traces pertinentes, issues de la consommation de la substance d'intérêt, peuvent être contaminées par celles d'une autre substance. Cela est lié au fait que la métabolisation de certaines substances mères aboutit à la production d'un même métabolite. C'est par exemple le cas de l'amphétamine, qui est le métabolite de la consommation d'amphétamine, mais également un métabolite de la consommation de méthamphétamine.

La trace existe dans l'eau usée car elle a été tour à tour produite puis altérée par le corps humain. Ces phénomènes d'altération et de production, qui s'enchevêtrent au sein de l'organisme, conditionnent l'excrétion. Les données d'excrétion sont issues de l'étude de la pharmacodynamie d'un produit. Si elles existent, ces études ne sont pas nombreuses, sont basées sur un nombre limité de personnes et proposent des pourcentages d'excrétion relativement variables. En effet, le métabolisme diffère selon les personnes, selon la dose administrée, selon la voie d'absorption et selon le temps écoulé après la consommation. Il s'agit donc de combiner les différents résultats dans l'optique de proposer un pourcentage d'excrétion plus robuste. Afin d'éviter de prendre une simple moyenne des valeurs d'excrétion pour un métabolite donné (Zuccato et al., 2008), une approche systématique au moyen d'une méta-analyse peut être mise en place (Borenstein et al., 2007). C'est notamment la stratégie choisie par Khan and Nicell (2011, 2012) qui ont employé la moyenne pondérée par le nombre d'individus considérés dans chaque recherche. Par extension, il est aussi possible de calculer la moyenne pondérée des valeurs d'excrétion pour un métabolite donné, en fonction de la voie d'administration. Ces pourcentages en fonction de chaque mode d'absorption sont ensuite combinés en fonction de la fréquence d'usage dudit mode (Castiglioni et al., 2013). Une alternative à la pondération avec le nombre de sujets considérés par l'étude a été proposée en effectuant la pondération avec l'inverse de la variance des données d'excrétion (Marin-Martinez and Sanchez-Meca, 2010). Ce choix statistique a été appliqué pour déterminer les taux d'excrétion du composé parent et du métabolite de la cocaïne, de l'héroïne, de la MDMA

(3,4-méthylène-dioxy-méthamphétamine), de l'amphétamine, de la méthamphétamine, de la méthadone et du cannabis (Been et al., 2015, 2016a,c). Cependant, les valeurs d'excrétion n'ont pas été différenciées en fonction du mode d'absorption, ou alors certaines voies d'administration n'ont pas été considérées.

D'autre part, l'excrétion est très importante dès l'absorption, et décroît ensuite pour perdurer quelques jours, comme c'est le cas par exemple de la cocaïne, dont l'excrétion se prolonge jusqu'à 48 heures après l'absorption. Cela signifie que les traces résiduelles issues des consommations des jours précédents sont inévitablement présentes dans les prélèvements d'une journée d'échantillonnage. Il peut ainsi être important de considérer les heures de début et de fin d'échantillonnage, en fonction des pics d'excrétion attendus.

Après l'excrétion de la substance mère et de ses métabolites via les urines et les selles dans l'eau, la trace individuelle est évacuée par les toilettes. Puis, toutes les chasses d'eau qui les contiennent se mélangent au fur et à mesure qu'elles progressent dans le réseau des égouts. Il existe ainsi une multitude de sources, réunies sous une source unique. Une seconde production intervient ici, celle d'une trace générale, générée par l'ensemble des individus ayant consommé un composé en particulier et ayant contribué aux eaux usées. Rappelons ici que cette trace générale pertinente, c'est-à-dire issue de la population d'intérêt, peut être contaminée par d'autres contributions. L'épidémiologie basée sur l'analyse des eaux usées s'intéresse à l'exploitation de cette trace générale, afin d'évaluer la consommation de l'ensemble de la population contributrice.

3.2 Persistance des traces

« La trace nous vient du passé et est imparfaite » (Margot, 2014, p. 75). La trace individuelle est produite, se déplace dans l'espace via les eaux usées, se mélange aux autres traces individuelles, est prélevée et subit une procédure analytique adaptée à son analyse. Depuis l'instant de production de la trace individuelle jusqu'au moment où la trace générale est analysée, un certain temps s'écoule. Elle est donc potentiellement dégradée. Il s'avère ainsi nécessaire d'apprécier la notion de persistance de cette trace, qui peut être considérée sous l'angle de sa propension à la dégradation dans la matrice aqueuse.

Les processus de dégradation sont de deux types : les transferts de masse, comme par exemple la compartimentation, et les réactions de transformation qui peuvent être de nature chimique ou biologique (Daughton and Ternes, 1999; Beausse, 2004; Castiglioni et al., 2006).

Le premier processus est relatif à la sorption, décrite par deux mécanismes, l'absorption ou l'adsorption (Verlicchi and Zambello, 2015). Par exemple, certains composés montrent une faible solubilité dans l'eau, ce qui conduit à leur sorption dans d'autres compartiments que la phase aqueuse, d'où une excrétion préférentielle par les selles plutôt que par l'urine (Daughton and Ternes, 1999). Certaines études ont essayé de prévoir la sorption d'un composé en fonction de sa lipophilie ou de son affinité avec la phase solide (Beausse, 2004; Gheorghe et al., 2008). La sorption dépend également du pH (Senta et al., 2014) et donc varie probablement en fonction des eaux usées étudiées, puisque le pH des eaux usées diffère d'un endroit à un autre. Une des conclusions est que la sorption ne peut pas être prédite d'après un seul paramètre et qu'elle est le résultat d'un concours de conditions (Verlicchi and Zambello, 2015).

Illustrons le second processus. Comme cela a été mentionné auparavant, certains métabolites sont excrétés conjugués sous forme de glucuronides. Or, les bactéries *Escherichia coli*, éliminées en grande quantité via les selles, sont capables de synthétiser de grandes quantités de l'enzyme β -glucuronidase, ce qui provoque la déconjugaison des glucuronides, qui sont donc instables dans les eaux usées. Cela a pour conséquence l'augmentation de la concentration du composé libre (Ternes, 1998; Heberer, 2002; Castiglioni et al., 2006). C'est ce qui pourrait notamment expliquer le fait d'observer une concentration de morphine supérieure en sortie de STEP par rapport à sa valeur en entrée (Boleda et al., 2009). Comme le conjugué glucuronide n'est pas stable et qu'en se déconjuguant il contribue à augmenter la concentration du composé libre, le pourcentage d'excrétion du composé libre du corps humain ne peut pas s'appliquer. Une solution serait de s'assurer que la proportion du métabolite sous sa forme conjuguée soit entièrement déconjuguée et d'additionner les pourcentages d'excrétion du conjugué et du composé libre, ce qui sera considéré au Chapitre suivant.

De nombreuses études de stabilité, i. e. permettant d'étudier la dégradation d'une substance, ont donc été menées pour un éventail de composés, qui ont été soumis à des conditions de pH, de température, d'oxydoréduction, ..., diverses et variées (Bisceglia et al., 2010; Baker

and Kasprzyk-Hordern, 2011; Senta et al., 2014). Des recherches différentes ont parfois soumis les mêmes composés à des conditions similaires aboutissant malheureusement à des résultats discordants. Une revue systématique a rassemblé les données existantes et fait la distinction entre la stabilité dans la canalisation et celle dans l'échantillon (McCall et al., 2016). S'il s'avère que la stabilité de certains composés est univoque pour des conditions données et même parfois tous paramètres et milieux confondus, ce n'est pas le cas pour d'autres. D'autre part, étudier la stabilité dans les canalisations n'est pas une chose aisée et il a été souligné dans cette dernière revue systématique que certains paramètres n'ont jamais été considérés, comme par exemple l'effet des sédiments.

La stabilité des analytes dans les canalisations est influencée par les conditions régnant dans le réseau des égouts (en particulier le pH) et par le temps que mettent les eaux usées à parcourir ce réseau, depuis la chasse d'eau jusqu'au moment où elles sont prélevées. Il est impossible de contrôler le pH à l'intérieur des canalisations, ce qui signifie donc que le temps de résidence des eaux usées dans le réseau des égouts est le facteur déterminant. Il faudrait ainsi idéalement vérifier qu'il est inférieur au temps de dégradation du composé.

Concernant la stabilité de l'échantillon, il convient de considérer les différentes étapes que traverse ce dernier : le prélèvement, le stockage, la préparation et l'analyse. L'échantillon doit ainsi être stabilisé tout au long de ce processus. En effet, s'il n'est pas possible d'agir sur la stabilité des analytes dans les canalisations, il est cependant envisageable de favoriser leur stabilité dans l'échantillon, ce qui sera considéré au Chapitre suivant.

3.3 Sélection des traces cibles

Idéalement, le métabolite recherché dans les eaux usées doit être stable, mais également excrété en quantité suffisante. Les études pharmacodynamiques permettent de prévoir quel produit d'élimination est majoritaire. Cela a son importance car si un produit est éliminé en petite quantité, sachant que les urines et les selles vont se mélanger à une grande quantité d'eau usée, il sera très difficile de le détecter et encore plus de le quantifier. Il est donc nécessaire de concentrer l'échantillon ou, si ce n'est pas suffisant, d'opter pour un autre métabolite.

Au-delà d'être produit en assez grande quantité, le métabolite doit être spécifique à la consommation de la substance mère. Il constitue la preuve que la substance mère a été absorbée et excrétée par le corps humain. Il « contient [en effet] une information sur l'action qui l'a produit » (Margot, 2014, p. 75). Malheureusement, certaines substances mères, comme l'amphétamine par exemple, sont les métabolites majoritaires de leur propre consommation (Baselt, 2011). Leurs autres métabolites, comme la 4-hydroxyamphétamine pour l'amphétamine, sont produits en trop faibles quantités pour être identifiés et quantifiés dans les eaux usées. Il est par conséquent impossible d'exclure que la présence d'une de ces substances dans les eaux usées provienne d'un déversement volontaire dans les toilettes, ou d'une source industrielle, notamment liée à la production de médicament, plutôt que de la consommation. Cela signifie que non seulement les traces pertinentes peuvent être contaminées par une autre source, i.e. une autre population, ou une autre substance, mais également par une activité autre que la consommation. Il est nécessaire toutefois de s'accommoder de ces contaminations, puisqu'elles ne peuvent pas être exclues (Margot, 2014).

D'autre part, les composés d'intérêt ne seront pas forcément analysables en l'état et une étape d'extraction sera requise (Madrid and Zayas, 2007).

Cette étape de sélection des métabolites d'intérêt ou des traces cibles est donc cruciale car elle détermine la procédure analytique à mettre en place. Par conséquent, elle est essentielle à la détection et à la mesure des concentrations des traces cibles dans l'échantillon d'eau usée.

⇒ L'**Objectif technique 2** lié à la sélection des traces ciblées dans le présent travail est proposé au Chapitre 9, et les choix effectués sont explicités au sous-chapitre 10.1.

Chapitre 4

Analyse des traces cibles

Pour les différentes sections de ce Chapitre, une discussion détaillée de la littérature ne sera pas effectuée car toutes les recherches portant sur l'analyse des eaux usées utilisent les mêmes technologies, que ce soit les eaux usées d'une prison, d'un festival ou d'une ville. Quelques adaptations devront sans doute être proposées, mais cela se fera au cas par cas en fonction du site d'étude. Des détails supplémentaires peuvent en particulier être trouvés dans les thèses du Dr. Frederic Béen (analyse des eaux usées) et du Dr. Nicolas Estoppey (capteurs passifs) (Been, 2015; Estoppey, 2017).

Si l'échantillonnage mis en place est passif, alors il n'y a pas d'eau à transporter puisque les composés sont concentrés sur la phase sorbante. Il s'agit d'effectuer directement l'extraction. Dans le cas de l'échantillonnage actif, l'eau prélevée est transportée au laboratoire et la préparation de l'échantillon composite est effectuée. Ce Chapitre discute ainsi de la procédure analytique qui peut être mise en place d'après la littérature, à partir de la phase de prélèvement des échantillons.

« Tout homme laisse, de son passage, des traces visibles ou invisibles que la chimie fera apparaître » (Goddefroy, 1931, p. 8)

4.1 Prétraitements

Lors de la phase d'échantillonnage, un additif sous forme de poudre, comme le métabisulfite de sodium, peut être ajouté dans les bouteilles, qui sont elles-mêmes stockées dans un préleveur réfrigéré. Le métabisulfite de sodium est utile car il limite l'activité microbienne et donc la dégradation potentielle (González-Mariño et al., 2010).

Lors de la préparation des échantillons collectés, l'eau usée est filtrée et peut être acidifiée à pH 2, ce qui contribue à une meilleure stabilité (Baker and Kasprzyk-Hordern, 2011). Il est important de filtrer les échantillons avant l'ajout d'acide, car comme cela a été précisé auparavant, la sorption des composés dépend du pH. Par exemple, il a été montré que le THC-COOH, métabolite de la consommation de cannabis, montrait une adsorption très importante sur les particules en suspension à pH 2 par rapport à une adsorption presque inexistante à un pH de 7.5, typique des eaux usées (Khan and Nicell, 2012; Senta et al., 2014). Ainsi, filtrer avant d'acidifier permettrait de retirer les particules en suspension et d'éviter la partition subséquente du THC-COOH sur celles-ci. Le THC-COOH peut également s'adsorber sur les parois du contenant. Pour éviter cela, une petite quantité de méthanol peut être ajoutée à la phase aqueuse afin de favoriser la solubilisation du THC-COOH.

Dans le cadre de l'analyse des eaux usées, c'est la phase aqueuse qui est analysée, au détriment de la phase solide ou des particules en suspension, dont l'étude se révèle bien plus fastidieuse. Afin d'étudier la matière en suspension dans l'eau usée, les résidus présents sur et dans les filtres sont analysés (Baker et al., 2012; Senta et al., 2013).

L'excrétion sous forme de conjugués a été évoquée auparavant. Récemment, la déconjugaison des conjugués glucuronides par ajout d'enzymes dans l'échantillon a été proposée afin de ne pas négliger la proportion des métabolites de la consommation du tabac excrétés sous forme conjuguée (Rodríguez-Álvarez et al., 2014).

Un ajout de standards deutérés est généralement effectué à ce stade. Comme ces composés deutérés sont structurellement identiques aux molécules cibles, à part pour les atomes de deutérium qui remplacent ceux d'hydrogène, ils se comportent théoriquement de façon similaire. Ils peuvent ainsi servir de référence et être utilisés pour normaliser leurs homologues non deutérés dans la phase de la mesure des concentrations.

D'autre part, les échantillons sont maintenus à basse température afin d'améliorer la stabilité des analytes. Cela est réalisé par une conservation au congélateur au laboratoire, et par l'utilisation de préleveurs réfrigérés sur le site même où sont effectués les prélèvements (Senta et al., 2014).

4.2 Extraction

Dans le cas d'un échantillonnage passif, il s'agit d'extraire les composés concentrés sur la phase sorbante grâce à une extraction par solvant le plus souvent.

Si un échantillonnage actif a été mené, une concentration des analytes présents dans l'échantillon filtré et éventuellement acidifié peut se révéler nécessaire. Cela est réalisé par le biais d'une extraction liquide-liquide (LLE) ou par phase solide (SPE). La SPE a fait l'objet de développements importants ces dernières années. Elle est largement utilisée dans le cadre des analyses d'eaux usées et consiste en une étape d'extraction, suivie d'une étape d'éluion. Elle se réalise par l'intermédiaire d'une cartouche, constituée d'une phase qu'il conviendra d'adapter en fonction des traces cibles (Kasprzyk-Hordern et al., 2007; Gheorghe et al., 2008). Le choix de la phase adsorbante conditionne aussi la possibilité ou non d'acidifier les échantillons au préalable. L'utilisation de la SPE requiert l'ajustement de plusieurs paramètres comme le volume de la phase et d'échantillon, les solvants d'extraction, de nettoyage, d'éluion ainsi que leur débit. Généralement, les fabricants des cartouches fournissent des procédures de base, qui peuvent être adaptées. Une fois l'étape d'éluion effectuée, il s'agit soit d'injecter l'éluat tel quel, ou alors de l'évaporer à sec partiellement ou totalement et de reconstituer dans le solvant d'injection.

Deux types d'adsorbants sont généralement utilisés pour la recherche de stupéfiants dans les eaux usées, les cartouches Oasis HLB (Boleda et al., 2007; Berset et al., 2010; Vuori et al., 2014) et Oasis MCX (Kasprzyk-Hordern et al., 2009; Kinyua et al., 2015; Du et al., 2015) de Waters (Milford, Massachusetts, États-Unis) car elles fournissent les meilleurs rendements d'extraction (Baker and Kasprzyk-Hordern, 2011). L'adsorbant de la MCX requiert l'ionisation des composés basiques pour leur extraction, ce qui implique un pH acide de l'échantillon (égal à 2 généralement), pH qui a l'avantage de stabiliser les analytes dans l'échantillon, contrairement à la HLB qui nécessite un pH neutre.

Inévitablement, l'extraction fait intervenir la notion de rendement, qu'il s'agit d'évaluer pour chaque composé et matrice étudiés. Comme une méthode est généralement développée pour un éventail de composés, le choix des différents paramètres d'extraction constitue un compromis qui vise à maximiser le rendement d'extraction de l'ensemble de ceux-ci.

4.3 Techniques d'analyses instrumentales

Les techniques analytiques mises en œuvre reposent toujours sur une étape séparative par chromatographie, en phase liquide le plus souvent, ou en phase gazeuse, couplée à une détection par spectrométrie de masse en tandem (LC-MS/MS ou GC-MS/MS). Les paramètres chromatographiques, comme la colonne, les solvants, le gradient, . . . , doivent donc être adaptés, autant que les paramètres de masse, tels que la source d'ionisation, la polarité, la température de source, . . . , en fonction des composés que l'on souhaite analyser. Le type de détecteur dépend aussi de l'application. Si l'on sait ce que l'on recherche, alors un analyseur en masse de type quadripolaire sera utilisé. Si l'on souhaite réaliser un screening, alors des analyseurs en masse à haute résolution (HRMS) sont nécessaires, comme les temps de vol par exemple (TOF). De nombreux hybrides couplant différents types d'analyseurs en masse sont apparus sur le marché ces dernières années (de Hoffmann and Stroobant, 2007).

Lorsqu'un analyseur quadripolaire est utilisé, l'acquisition est généralement réalisée en mode MRM (*multiple reaction monitoring*). L'ion moléculaire protoné ou déprotoné est sélectionné comme précurseur pour tous les composés selon le mode d'ionisation respectivement positif ou négatif. Deux transitions par composé (transition de quantification et transition de confirmation) sont alors utilisées comme requis par la directive du Conseil Européen (96/23/EC) concernant la détection par spectrométrie de masse (Commission of the European Communities, 2002) et le critère général pour les analyses forensiques (Rivier, 2003). Ainsi, pour chaque analyte, la transition la plus intense est sélectionnée pour la quantification alors que la seconde est utilisée pour la confirmation. Le critère appliqué pour identifier la présence du stupéfiant est basé sur le temps de rétention de l'analyte, sur la présence des deux transitions MRM et finalement sur le ratio entre l'aire de l'ion de confirmation et celle de l'ion de quantification pour lequel une tolérance de $\pm 20\%$ en aire relative est admise.

Pour être détectée, la concentration de la substance doit être supérieure à la limite de détection (LOD). Pour être quantifiée, la concentration de la substance doit être supérieure à la limite de quantification (LOQ). Une substance peut ainsi être détectée, sans pouvoir être quantifiée. Ces deux limites sont définies lors de l'étape de la validation, à l'instar d'autres paramètres, et permettent d'évaluer la performance de la méthode analytique (Polettini, 2006).

Un échantillon sera généralement analysé en triplicat. Le résultat analytique est exprimé par la moyenne des trois concentrations de la trace cible dans l'échantillon en nanogrammes par litre (ng/L), sur laquelle l'erreur-type (écart-type divisé par racine de n , n étant le nombre de réplicats réalisés, ici 3) obtenue à partir de l'analyse en triplicat sera admise (Jones et al., 2014).

⇒ L'**Objectif technique 3** lié à la procédure analytique développée dans le présent travail est proposé au Chapitre 9, et les choix effectués sont explicités au sous-chapitre 10.2.

Chapitre 5

De la trace *métabolite* à l'indice *consommation illicite*

La concentration de chaque composé recherché dans l'échantillon d'eau usée est obtenue suite à l'analyse. Comment cette donnée peut être utilisée afin de pouvoir évaluer les consommations illicites qui prennent place dans le milieu sous étude ?

La démarche traditionnellement employée dans le cadre de l'analyse des eaux usées a été adoptée. Cette démarche n'a pas fait l'objet d'une attention particulière dans la présente étude, si bien qu'il a été décidé de n'en esquisser que les principes généraux dans les paragraphes suivants. De plus amples détails peuvent être trouvés dans le document sur l'analyse des eaux usées rédigé par l'Observatoire européen des drogues et des toxicomanies (OEDT, EMCDDA en anglais) ainsi qu'à la thèse du Dr. Frederic Béen (European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction, 2016a; Been, 2015).

« La transformation de la trace en indice indique la reconnaissance de la pertinence de la trace pour, finalement, contribuer à expliquer un cas particulier. » (Margot, 2014, p. 176)

5.1 Traitement des données

Afin d'évaluer la quantité totale de substance parvenue en une journée à l'endroit du prélèvement, il est nécessaire de multiplier la concentration déterminée au moyen de l'analyse par le débit journalier mesuré à cet endroit. Cela permet d'obtenir les **charges absolues**, exprimées en milligrammes ou grammes par jour (mg/jour ou g/jour). Ces valeurs correspondent aux quantités de substances évacuées par la population d'intérêt sur la journée de mesure.

Les **quantités de substances consommées** (g/jour) peuvent être estimées en multipliant les charges absolues par un facteur de correction. Ce dernier tient compte du taux d'excrétion estimé de la substance concernée et du ratio de la masse molaire de cette dernière par rapport à celle de son métabolite.

En estimant l'équivalent en masse d'une dose moyenne, c'est-à-dire la quantité de substance par personne qu'il est nécessaire de consommer pour parvenir à l'effet désiré, il est finalement possible d'estimer le **nombre de doses journalières** (doses/jour) qui sont consommées.

Si des comparaisons longitudinales (au cours du temps) ou transversales (entre différents endroits) sont effectuées, il faut pouvoir garantir qu'une variation des quantités consommées mesurées par le biais des eaux usées correspond réellement à une différence de la consommation effective, et non à une variation du nombre de personnes qui consomment. Ce problème peut être résolu en normalisant les charges absolues, les quantités estimées ou les doses consommées par la taille de la population qui contribue aux eaux usées. Cela permet d'obtenir respectivement les **charges per capita** (g/jour/1000hab), les **quantités consommées per capita** (mg/jour/1000hab) et les **doses consommées per capita** (doses/jour/1000hab).

L'ensemble de la littérature consultée nous indique que les résultats de l'analyse des eaux usées sont généralement reportés sous forme des charges per capita, des quantités consommées per capita, ou même éventuellement du nombre de doses consommées (European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction, 2016a).

Chaque étape de calcul nécessite l'intégration de paramètres (débit, taux d'excrétion, population contributrice, etc), chacun associé à une marge d'erreur, contribuant en cascade à une incertitude sur chaque résultat obtenu. Ces incertitudes sont souvent estimées par des simulations statistiques de type Monte Carlo ou des approches par modélisation de réseaux bayésiens (Jones et al., 2014).

⇒ Aucun objectif technique n'a été dédié au développement d'une méthode de traitement de données dans le présent travail, car les méthodes précédemment implémentées ont été employées. Celles-ci sont explicitées au sous-chapitre 10.3.

5.2 Mesurer la taille de la population

Comme nous l'avons précédemment mentionné, le calcul des charges ou des quantités consommées per capita requiert la normalisation des charges ou des quantités consommées absolues par la taille de la population contributrice. Une mesure de la taille de la population doit donc être effectuée ; plusieurs approches sont envisageables pour cela.

En général, lorsque les prélèvements sont réalisés à l'entrée de la STEP d'une ville, les données de recensement ou la capacité de conception de la STEP (nombre de personnes que la STEP est censée couvrir) sont employées comme estimateur de la taille de la population. Cependant, ces chiffres sont statiques et ne renseignent en rien sur les fluctuations journalières de la population, liées aux pendulaires et au tourisme notamment. Ainsi, un autre moyen serait justement d'utiliser une information, ou un marqueur, présent dans les eaux usées, excrété par toutes les personnes, et qui pourrait être mesuré conjointement à l'analyse des échantillons d'eau usée prélevés. Cela constitue le premier critère d'un biomarqueur permettant l'estimation de la population (Daughton, 2012). D'autres critères existent, comme le fait que le biomarqueur doit être spécifique au métabolisme humain, qu'il nécessite peu de préparation pour être apte à l'analyse, que son excrétion varie peu au sein d'un même individu et entre les individus. Ainsi, plusieurs marqueurs urinaires, endogènes et exogènes, directement mesurables dans les eaux usées ont été considérés, tels que la créatinine (Brewer et al., 2012) ou l'ammonium (Been et al., 2014).

Il n'y a pas de consensus à l'heure actuelle concernant l'estimateur de population à privilégier. Cependant, le consortium européen SCORE (Sewage Analysis CORE group Europe) qui œuvre avec le support de l'OEDT pour l'amélioration de l'analyse des eaux usées, utilise la capacité de conception de la STEP (European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction, 2018). Cette option est cohérente si les échantillons sont prélevés pour chacune des villes lors d'une semaine normale, c'est-à-dire en dehors des périodes de vacances, en l'absence d'événements majeurs, afin d'obtenir une image représentative de la consommation de la population générale. Si l'intérêt est cependant d'évaluer la consommation produite lors d'un événement précis, alors cet estimateur de la population n'est pas valable. En effet, un événement peut attirer des dizaines de milliers de personnes, entraînant une hausse significative de la population contributrice effective qu'il est impératif de prendre en compte.

Lorsque les prélèvements ne sont pas faits à la STEP, mais au niveau d'une canalisation par exemple, aucun chiffre concernant la taille de la population n'est disponible, à moins que la structure étudiée suppose l'enregistrement des allées et venues des personnes, comme une prison par exemple. Dans le cas d'un événement, comme un festival, le nombre de spectateurs est généralement également disponible. Si ce n'est pas le cas, alors il sera nécessaire d'utiliser

un marqueur urinaire afin d'évaluer le nombre de personnes contribuant aux eaux usées. Si des données concernant la taille de la population évoluant au sein de la structure ou de l'évènement sont disponibles et qu'un marqueur est également mesuré dans les eaux usées afin d'en estimer la taille, il est possible de comparer les valeurs entre elles afin d'évaluer si elles convergent ou non.

⇒ Les **Objectifs techniques 5, 6_{Paleo}, 6_{Coeliaque} et 7_{Paleo}** liés à l'approche développée dans le présent travail pour mesurer la taille de la population sont proposés au Chapitre 9, et les choix effectués sont explicités aux sous-chapitres 10.4, 11.3.2 et 12.3.2.

Deuxième partie

Inscrire l'application de l'analyse
des eaux usées dans une démarche
légale et utile

Chapitre 6

Dimensions légale et éthique

Les eaux usées contiennent les contributions urinaires et fécales, soit du matériel biologique, produit de manière individuelle par chaque être humain. Une réflexion sur les dimensions juridique et éthique liées à l'analyse des eaux usées est donc essentielle, et ce, particulièrement lors de l'étude de populations réduites et spécifiques. Ce Chapitre s'articule autour de trois volets : celui de l'appartenance des eaux usées, de la protection des données et de la recherche sur l'être humain.

6.1 La propriété des eaux usées

La propriété des eaux usées a été peu discutée dans le cadre de l'épidémiologie basée sur les eaux usées. À notre connaissance, seul l'article de Hering aborde cette question en étudiant l'atteinte aux droits civiques et à la vie privée des personnes (quatrième amendement) que l'analyse des eaux usées pourrait engendrer aux États-Unis (Hering, 2009). Une fois que les urines et les selles d'une personne pénètrent dans le réseau des eaux usées, leur « propriétaire » perd ses droits dessus. Le réseau des eaux usées appartient en effet à un exploitant et les eaux usées circulent dans ce réseau. De ce fait, les eaux usées appartiennent à cet exploitant. Analyser les eaux usées au niveau d'une STEP requiert ainsi l'autorisation de ce dernier. Cependant, se pose la question de quand les eaux usées pénètrent dans le réseau des eaux usées. Hering précise que la canalisation issue d'une maison, avant qu'elle soit connectée au réseau domestique, appartient au propriétaire de la maison. Prélever des eaux usées à cet endroit pourrait donc violer les droits du propriétaire, à moins que celui-ci donne son accord. L'auteur ne donne pas de conclusion définitive sur ce point qui, à son avis, devrait être tranché au cas par cas. Son raisonnement se fonde sur l'interprétation de la loi et de la jurisprudence américaines. Plus généralement, il est nécessaire de retenir que la situation est différente, selon que les eaux usées sont prélevées au niveau d'une STEP, ou au niveau d'une canalisation issue d'une propriété individuelle.

6.2 La protection des données

La loi fédérale¹ sur la protection des données « vise à protéger la personnalité et les droits fondamentaux des personnes qui font l'objet d'un traitement de données » (art.1 LPD). D'après l'art. 3 de la LPD, les données personnelles se définissent comme « toutes les informations qui se reportent à une personne identifiée ou identifiable » (LPD, 1993). Cela signifie que pour que la loi s'applique, la donnée traitée doit permettre d'identifier la personne. Il s'agira donc de s'interroger au cas par cas sur la possibilité d'identifier une personne en analysant les eaux usées à l'endroit où l'échantillonnage est développé.

Reprenons la distinction précédente entre le prélèvement au niveau d'une STEP ou au niveau d'une canalisation issue d'une propriété individuelle. À ce jour, l'identification d'une personne est impossible lorsque l'échantillonnage est réalisé dans une STEP, car ses urines sont mélangées de manière inextricable à d'autres contributions. Si les prélèvements sont réalisés bien plus en amont dans le circuit des eaux usées, la situation peut être différente. Ainsi, dans le cas d'une canalisation en sortie d'une maison individuelle ou d'un appartement, ses habitants pourront être identifiés. Mais, dès le moment où la canalisation dans laquelle le prélèvement est effectué est desservie par plusieurs propriétés individuelles, comme par exemple un bâtiment, alors le lien entre une personne et ses urines se perd. En effet, au moment où la personne tire la chasse d'eau d'une toilette, située dans un appartement donné, et que cette chasse d'eau pénètre dans le réseau général de ce bâtiment, sa contribution se mêle à de nombreuses autres contributions, conduisant par analogie à la situation observée à la STEP.

À noter que prélever les eaux usées en sortie d'une propriété individuelle de type appartement ou maison, permettant donc d'isoler un individu, va à l'encontre du principe de l'épidémiologie basée sur l'analyse des eaux usées. En effet, par définition, cet indicateur s'attache à fournir une information concernant l'excrétion d'un groupe. De plus, nous nous intéressons dans le cadre de ce manuscrit aux eaux usées excrétées en milieu festif et en milieu carcéral. Cette situation ne devrait donc pas être rencontrée.

1. Il est fait mention ici de la loi fédérale. En fonction du lieu d'application, si celui-ci se situe en Suisse, il est nécessaire de consulter la loi cantonale correspondante.

6.3 La recherche sur l'être humain

L'épidémiologie basée sur l'analyse des eaux usées consiste à étudier la consommation humaine. La recherche sur l'être humain fait intervenir la notion d'éthique. Dans le cadre de l'analyse des eaux usées, celle-ci a été davantage discutée que la dimension strictement légale (Hall et al., 2012; Prichard et al., 2014). En substance, la recherche est considérée comme éthique si elle respecte trois principes qui trouvent leur origine dans le rapport de Belmont (Harms, 1978) :

- L'autonomie : les participants à la recherche sont informés et sont capables de donner leur aval pour participer.
- La bienfaisance : elle sous-entend que la recherche doit avoir un potentiel bénéfique et utile aux participants. Elle a comme corollaire la non malfeasance qui implique que les chercheurs doivent éviter d'exposer les participants à un risque.
- La justice : elle signifie qu'une distribution équitable des bénéfices et des fardeaux doit être observée.

Afin que ces trois principes fondamentaux soient inscrits dans un contexte formel, ils sont, en Suisse, traduits dans l'article 118b de la Constitution suisse (Constitution suisse, 2000), ainsi que dans la loi fédérale relative à la recherche sur l'être humain (LRH, 2014). Or, conformément à son art. 2 al. 2b, la LRH « ne s'applique pas à la recherche pratiquée sur du matériel biologique anonymisé ». D'après l'art. 25 de l'Ordonnance relative à la recherche sur l'être humain, « pour anonymiser du matériel biologique et des données personnelles liées à la santé, toutes les informations qui, combinées, permettent de rétablir l'identité de la personne sans efforts disproportionnés doivent être rendues définitivement méconnaissables ou être détruites » (ORH, 2018). En l'occurrence, comme nous l'avons vu à la section précédente, le lien entre la personne et ses urines est perdu au moment où la personne tire la chasse d'eau d'une toilette, et que cette chasse d'eau se mêle aux autres contributions dans le réseau des eaux usées. Ainsi, si les eaux usées sont prélevées au niveau d'une STEP ou en sortie d'un bâtiment, la LRH ne s'applique pas.

Toutefois, même si cette loi ne s'applique pas, il est indispensable de respecter les trois principes évoqués plus haut. L'entité qui mène la recherche doit afficher une transparence totale envers l'entité investiguée. Il est notamment important de pouvoir garantir l'anonymat à cette dernière, notamment dans la phase de publication scientifique. Cela s'avère particulièrement important lors de l'étude d'une population carcérale, afin qu'elle ne soit pas stigmatisée davantage. Concernant l'étude d'un festival, nous supposons que c'est son image, plus que sa population, qui pourrait être affectée par les résultats de la recherche. Nous suggérons cependant de jouer la prudence, et de systématiquement anonymiser l'établissement étudié.

Remarque

Les Chapitres 7 et 8 traitent de l'application de l'analyse des eaux usées lorsqu'elle est appliquée respectivement en milieu festif et en milieu carcéral afin d'y évaluer les consommations illicites. Une structure systématique a été employée dans la mesure du possible. Cependant, le Chapitre concernant le milieu carcéral est davantage étoffé et développé, malgré le fait que davantage d'indicateurs permettant d'évaluer les consommations illicites existent en milieu festif. En effet, bien que la littérature concernant les consommations illicites en prison manque cruellement de données, elle est toutefois plus riche que celle abordant le sujet en milieu festif, et ce, pour l'ensemble des indicateurs disponibles. La structure a donc été simplifiée dans le Chapitre 7, tout en poursuivant cependant le même objectif.

Chapitre 7

Évaluer les consommations illicites en milieu festif : à la croisée des indicateurs

Le milieu festif est caractérisé par une consommation importante de produits illicites, c'est-à-dire de produits stupéfiants, généralement indissociable du monde de la nuit. Il peut soit s'agir d'établissements comme des discothèques, attirant un public plutôt local, voire régional, soit de larges manifestations telles que des festivals, parfois de renommée internationale, pouvant accueillir plusieurs milliers de personnes.

Plusieurs indicateurs sont utilisés pour évaluer les consommations illicites en milieu festif. Traditionnellement, les consommations illicites en milieu festif sont étudiées par le biais d'entretiens ou par l'estimation de la prévalence par le biais de sondages autoreportés. Plus récemment, les laboratoires d'analyse de drogues (*drug checking*), l'épidémiologie basée sur les eaux usées et l'analyse des urines contenues dans les toilettes portables ont été proposés.

Ce Chapitre illustre l'état des connaissances en matière de consommations illicites en milieu festif en fonction de chaque indicateur précité. Il commence par une revue de la littérature concernant l'application de l'analyse des eaux usées en milieu festif. Plusieurs problématiques sont alors soulevées, telles que la stratégie de recherche, son déploiement ainsi que les résultats obtenus. Celles-ci sont ensuite systématiquement traitées dans le contexte de chaque indicateur. Les convergences et les divergences concernant le type de d'information que donne chaque indicateur, et son résultat sont par la suite discutées. Finalement, une stratégie de déploiement de l'analyse des eaux usées en milieu festif en complément des autres indicateurs est proposée, afin qu'elle fournisse une information utile sur la nature et l'ampleur des consommations illicites, caractéristiques de ce milieu.

7.1 Par l'analyse des eaux usées

7.1.1 Stratégie de l'analyse des eaux usées

L'analyse des eaux usées permet d'évaluer la nature et la quantité des substances consommées. La stratégie de cet indicateur peut requérir de définir quelles substances seront ciblées, auquel cas celles-ci peuvent être quantifiées, ou alors de réaliser une méthode de screening, c'est-à-dire que seule l'identification des substances est réalisée. Pour identifier quelle stratégie a été utilisée dans la littérature, une revue de la littérature concernant les applications de l'analyse des eaux usées en milieu festif est exposée ci-après. Une combinaison de mots-clés, liés à la consommation de stupéfiants (*drug**), à l'analyse des eaux usées (*wastewater, sewage*) et au milieu festif (*festival, festivity, night**) a été recherchée dans les bases de données Scopus et Web of Science et dans la littérature grise, en anglais et en français. Cinq *peer-reviewed* articles traitant spécifiquement de l'application de l'analyse des eaux usées en milieu festif ont été trouvés (Lai et al., 2013; Jiang et al., 2015; Mackulak et al., 2015; Andrés-Costa et al., 2016; Causanilles et al., 2017b). Deux de ces articles ont porté sur l'exploitation de l'analyse des eaux usées pour estimer respectivement la consommation de tabac (Mackulak et al., 2015) ou la consommation d'alcool (Andrés-Costa et al., 2016). Ils ne seront donc pas traités dans cette sous-partie puisque les substances investiguées ne sont pas illicites en milieu festif. L'article de Jiang et al. (2015) n'est pas discuté ultérieurement car le but de cette recherche était avant tout environnemental. Parmi les deux articles restants, Lai et al. (2013) ont ciblé une liste de substances, ce qui signifie que si ces celles-ci pouvaient être identifiées dans l'échantillon d'eau usée, alors elles étaient quantifiées, c'est-à-dire que leur concentration pouvait être mesurée. Causanilles et al. (2017b) ont analysé les échantillons d'eau usée avec une méthode de screening, seule l'identification des substances a donc été effectuée. Le Tableau 7.1 liste les substances qui ont été recherchées et quantifiées ou seulement qualifiées dans les deux recherches précitées.

TABLEAU 7.1 – Aperçu synthétique portant sur les produits recherchés et quantifiés dans les eaux usées de festivals

		Pays du festival et référence		
		Australie (Lai et al., 2013b)		Pays-Bas (Causanilles et al., 2017)
Groupe de substance	Composé (parent/métabolite)	Recherché	Quantifié	Qualifié ^b
Produits cocaïniques	Cocaïne	x	x ^a	x
	<i>Benzoylcgonine</i>	x	x ^a	x
Amphétamine et produits dérivés	MDMA	x	x ^a	x
	Amphétamine	x	x ^a	x
	Méthamphétamine	x	x ^a	
Cannabinoïdes	THC-COOH	x	x ^a	x ^a
	Méphédron	x	x	
NPS	Méthylone	x	x	
	Benzylpipérazine	x	x	

a : trouvé dans 100% des échantillons
b : la technique analytique employée est un screening, seule l'identification des produits a été réalisée

Au total, quatre groupes de stupéfiants ont été identifiés dans la Tableau 7.1. Dans les deux pays où se situent deux festivals investigués, toutes les substances de ces groupes sont des stupéfiants. Au sein d'un groupe, il y a un ou plusieurs produits parents (indiqué en gras) qui peuvent être associés à un métabolite (indiqué en italique). En effet, cette distinction est importante, car comme cela a été expliqué précédemment, le métabolite est la preuve de l'excrétion par l'organisme et donc, de la consommation humaine du composé parent. S'il n'est pas possible de cibler un métabolite, alors le composé parent est recherché. Pour les produits cocaïnes, le produit parent est la cocaïne. Son métabolite majeur est la benzoylecgonine. Le groupe des amphétamines et dérivés, plus étendu, contient plusieurs parents, qui sont tous leurs propres métabolites, ce qui explique qu'ils soient à la fois en gras et en italique. En effet, lorsque ces produits sont consommés, ils sont excrétés inchangés, de façon majoritaire (Baselt, 2011). L'amphétamine est également le métabolite de la méthamphétamine. Le groupe des cannabinoïdes se compose uniquement du THC-COOH, métabolite du THC, qui est le principe actif du cannabis. Le groupe des NPS (New Psychoactive Substances) se limite à la méphédronne, la méthylone et la benzylpipérazine. Tous ces composés sont à la fois parents et métabolites à la fois.

7.1.2 Déploiement de l'analyse des eaux usées

Aucun établissement festif tel qu'une discothèque n'a été investigué à notre connaissance. Indirectement, la consommation de la population festive de plusieurs villes d'Europe a été appréciée en appliquant l'analyse des eaux usées quotidiennement pendant une ou plusieurs semaines (European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction, 2018). Il est par exemple observé que la consommation de MDMA augmente pendant le week-end. Il est donc possible de voir une différence entre la consommation de la semaine et celle du week-end, période de la semaine où la majorité des événements festifs ont lieu. Par la suite, les recherches portant sur l'analyse des eaux usées des festivals seront considérées.

L'analyse des eaux usées en festival a pour but d'évaluer la consommation des festivaliers. Cela signifie que l'échantillonnage doit permettre de recueillir les eaux usées issues de ces derniers. Le Tableau 7.2 contient les informations liées à l'échantillonnage des eaux usées développé dans les recherches précitées. Les deux autres recherches effectuées en festival, portant sur le tabac et l'alcool, ont été incluses car la problématique de l'échantillonnage y est similaire. Les discussions suivantes porteront ainsi sur ces quatre recherches, qui ont appliqué l'analyse des eaux usées lors de neuf festivals de musique.

Qui est échantillonné ?

L'endroit où est développé l'échantillonnage détermine la population investiguée. Les prélèvements des huit festivals sur les neuf investigués ont été réalisés dans la STEP de la ville où le festival a lieu. Cela signifie que les eaux usées récoltées contiennent à la fois les contributions des festivaliers, mais également celles des habitants de la ville. Dans ce cas, il est nécessaire d'évaluer la consommation avant et/ou après le festival, c'est-à-dire la consommation des habitants de la ville ou « de référence », afin de pouvoir apprécier l'impact du festival (Mackulak et al., 2015; Andrés-Costa et al., 2016). Afin de savoir si l'on se retrouve dans la situation favorable du milieu semi-fermé, dans lequel la population pertinente, ici celle du festival, est supérieure par rapport à la population contaminante, ici celle de la ville, il faut évaluer le nombre de personnes constituant chacune de ces populations, indiqués dans le Tableau 7.2. L'information n'a été toutefois reportée que pour cinq festivals sur les huit pour lesquels l'échantillonnage a été développé dans la STEP de la ville où a eu lieu le festival. Il est possible de voir que l'on se retrouve dans la situation favorable du milieu semi-fermé dans deux festivals, à savoir ceux se déroulant dans les villes de Zubri et d'Amsterdam. Dans la recherche de Lai et al. (2013), les prélèvements n'ont pas été réalisés à l'entrée de la STEP de la ville où le festival a lieu car le festival dispose de sa propre STEP. Cela est idéal, car les contributions arrivant à cette STEP proviennent donc uniquement des festivaliers. Nous nous retrouvons donc dans le cas du milieu fermé. Dans ce cas, il n'est pas possible d'évaluer la consommation en temps normal, car elle n'existe pas. Il a donc été choisi de comparer l'usage observé lors du festival à celui d'une agglomération proche. Conformément aux discussions menées précédemment, il est possible de voir que la situation du milieu semi-fermé dans le cas d'évènements de type festival est majoritaire par rapport à la situation du milieu fermé. De plus, il est observé que les milieux semi-fermés développés dans la littérature ne sont pas toujours idéaux, car la population des festivaliers n'est supérieure à la population de la ville que dans deux des cinq festivals étudiés pour lesquels l'information est disponible.

Le type d'échantillonnage est reporté dans le Tableau 7.2. Cette information n'est reportée que dans deux des recherches publiées, quand bien même elle s'avère fondamentale afin d'assurer la validité de l'échantillonnage. Les types d'échantillonnage mis en œuvre par Lai et al. (2013) et Causanilles et al. (2017b) sont représentatifs de la matrice hétérogène et dynamique des eaux usées, comme cela a été expliqué précédemment. Dans toutes les études considérées, à l'exception de Andrés-Costa et al. (2016) qui n'ont pas reporté l'information, la phase d'échantillonnage débouche sur la constitution de composites 24-h.

En plus de définir le type de milieu, la taille de la population contribuant aux eaux usées est nécessaire pour calculer les charges per capita et les quantités consommées per capita. Or, comme cela a été observé, Mackulak et al. (2015) n'ont reporté cette information que pour quatre des six festivals investigués et Andrés-Costa et al. (2016) ne l'ont pas reportée. Dans le cas de Lai et al. (2013) cependant, puisque les prélèvements sont réalisés à la STEP qui traite uniquement les eaux usées des festivaliers, c'est le nombre de ces derniers qui a été pris en compte.

Où échantillonner ?

Les festivals dont les eaux usées ont été étudiées se situent en Australie (Lai et al., 2013), en République Tchèque et en Slovaquie (Mackuľak et al., 2015), en Espagne (Andrés-Costa et al., 2016) et aux Pays-Bas (Causanilles et al., 2017b). Trois recherches ont donc appliqué l'analyse des eaux usées lors d'un festival au niveau national (Causanilles et al., 2017b; Lai et al., 2013; Andrés-Costa et al., 2016) et une recherche lors de plusieurs festivals se déroulant au sein de deux pays différents (Mackuľak et al., 2015).

TABLEAU 7.2 – Aperçu synthétique portant sur les festivals investigués et les échantillonnages développés

		Pays du festival et référence								
		Australie (Lai et al., 2013b)	République Tchèque (Mackuľak et al., 2015)	République Tchèque (Mackuľak et al., 2015)	Slovaquie (Mackuľak et al., 2015)	Slovaquie (Mackuľak et al., 2015)	Slovaquie (Mackuľak et al., 2015)	Slovaquie (Mackuľak et al., 2015)	Espagne (Andrés-Costa et al., 2016)	Pays-Bas (Causanilles et al., 2017)
Échantillonnage	Lieu	STEP traitant uniquement les eaux usées du festival	STEP de Valašské Meziříčí (ville où le festival a lieu)	STEP de Zubří (ville où le festival a lieu)	STEP de Piešťany (ville où le festival a lieu)	STEP de Piešťany (ville où le festival a lieu)	STEP de Bratislava (ville où le festival a lieu)	STEP de Skalica (ville où le festival a lieu)	3 STEPs de Valencia (ville où le festival a lieu)	STEP principale d'Amsterdam (ville où le festival a lieu)
	Type	Continu, débit constant (2010) Continu, proportionnel au débit (2011)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	Discret, proportionnel au débit
	Composite	24-h	24-h	24-h	24-h	24-h	24-h	24-h	n.a.	24-h
Habitants	Ne s'applique pas	27'000	5'700	30'000	30'000	450.000	13'500	335'825 (STEP 1) 982'264 (STEP 2) 154'421 (STEP 3)	769'000	
Festivaliers et/ou visiteurs	16'700 (2010) 14'700 (2011)	20'000	10'000	20'000	13'000	n.a.	n.a.	n.a.	300'000	
Population moyenne	Ne s'applique pas	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
Type de festival	Tous publics	Folk et country	Métal	Rock et métal	Musique électronique	n.a.	n.a.	Tous publics	Tous publics	

7.1.3 La nature des consommations illicites en milieu festif d'après l'analyse des eaux usées

Lors de deux années consécutives d'un festival en Australie, des stupéfiants classiques (cannabis, cocaïne, MDMA, méthamphétamine) ont été détectés tous les jours à des quantités variables et des NPS (benzylpipérazine ou BZP, méphédrone, méthylone) de façon irrégulière. D'une année à l'autre, aucune différence statistique n'est observée entre les consommations de MDMA, de cannabis et de cocaïne. Par contre, une différence statistiquement significative des consommations de méthamphétamine et de BZP est constatée entre 2010 et 2011. Il s'avère que les consommations de méthamphétamine et de BZP sont significativement supérieures en 2010 par rapport à 2011. Les stupéfiants les plus consommés sont, dans l'ordre décroissant, cannabis (70 doses/jour/1000hab en moyenne), MDMA (18 doses/jour/1000hab en moyenne), méthamphétamine (12 doses/jour/1000hab en moyenne en 2010, 3 doses/jour/1000hab en moyenne en 2011) et pour finir la cocaïne (1 dose/jour/1000hab en moyenne). La MDMA est le seul stupéfiant qui présente une consommation supérieure à celle mesurée dans une ville proche (Lai et al., 2013).

Causanilles et al. (2017b) ont réalisé l'analyse des eaux usées deux années consécutives lors d'un festival à Amsterdam aux Pays-Bas. Ils ont pu identifier tous les composés présents dans le Tableau 7.1, à l'exception de la méthamphétamine et des 3 NPS. Nous ne savons cependant pas si ces composés n'ont pas été identifiés parce qu'ils n'ont pas été recherchés ou parce qu'ils n'étaient pas présents dans les eaux usées. La présence d'autres substances a été mise en évidence, à savoir la kétamine, le LSD, certains NPS (cathinones et des phénéthylamines synthétiques), mais également la méthadone, l'héroïne et certains antidépresseurs. Il n'est cependant pas possible d'évaluer l'impact de ce festival sur les consommations illicites de référence d'Amsterdam, car cette étude ne différencie pas les situations avant et pendant le festival.

7.2 Par les méthodes conventionnelles

7.2.1 Stratégie des méthodes conventionnelles

Les méthodes conventionnelles se concentrent sur les consommateurs et leurs usages. Elles impliquent un contact avec le consommateur, pendant lequel sa consommation festive est évaluée en lui posant directement des questions à travers un entretien (McCaughan et al., 2005) ou un sondage par l'utilisation d'un questionnaire (Palamar et al., 2016). Ces indicateurs directs prennent du temps à être développés et peuvent créer un biais de désirabilité sociale, c'est-à-dire que la personne interrogée adapte ses réponses, de manière consciente ou non, afin de se présenter plus favorablement (Aebi and Jaquier, 2008).

Sondages autoreportés

Un sondage autoreporté permet de récolter des données sociodémographiques, d'identifier les substances consommées et d'évaluer la prévalence vie, dernière année et/ou dernier mois (European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction, 2006). La prévalence dernière semaine ou dernier jour n'a pas été rencontrée dans la littérature. Les quantités et les fréquences de consommation sont parfois investiguées (Chinet et al., 2007). Les sondages offrent ainsi l'historique de consommation de la personne interrogée, mais échouent à en fournir l'état actuel, voire même récent.

Entretiens

Les entretiens sont généralement mis en œuvre afin d'explorer un phénomène spécifique, comme par exemple établir la typologie des jeunes adultes consommateurs d'ecstasy se rendant à des rave party (McCaughan et al., 2005). Puisqu'ils sont principalement utilisés dans le contexte d'étude qualitative, le but est de comprendre le phénomène tel qu'il est perçu par ceux qui sont impliqués, dans le cas présent les usagers festifs, sans se soucier de la comparabilité des données.

7.2.2 Déploiement des méthodes conventionnelles

Le déploiement des méthodes conventionnelles implique de considérer l'échantillonnage et le niveau territorial investigué.

Qui est échantillonné ?

L'étude de la population festive implique d'avoir accès à cette dernière. L'échantillon de personnes constitué pour une telle étude est donc généralement réalisé dans un contexte festif. La question de la représentativité de l'échantillon dans le cas d'études quantitatives de la population festive est souvent abordée par les auteurs (Tossmann et al., 2001; Wilson et al., 2010). Il

faudrait en effet connaître l'ensemble de la population festive pour en tirer un échantillon représentatif, ce qui est difficilement réalisable. Au-delà de la problématique de la représentativité de l'échantillon, les questionnaires utilisés entre les différentes études ne sont pas les mêmes, en plus d'être réalisés à des moments différents, dans des contextes festifs différents. Comparer les prévalences entre différentes études doit donc être réalisé avec prudence, ce que souligne d'ailleurs l'OEDT dans son rapport comparant les prévalences de produits stimulants entre différents pays d'Europe (European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction, 2006). Dans le cadre d'étude qualitative, la représentativité de l'échantillon n'est pas requise puisque le but est de comprendre le phénomène tel qu'il est perçu par les personnes concernées, sans se soucier de la comparabilité des données. La nécessité d'évaluer la consommation de stupéfiants à l'aide d'outils complémentaires a donc été exposée (Németh et al., 2011; Nordfjærn et al., 2016).

Où échantillonner ?

Les méthodes conventionnelles sont généralement déployées lors de plusieurs événements festifs au niveau national (Chinet et al., 2007; McCaughan et al., 2005; Palamar et al., 2016). Les agences européennes et mondiales compilent ces « micro-données » pour fournir une prévalence de la population festive du pays. Cela permet ensuite de comparer les populations festives de différents pays, offrant une perspective internationale (European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction, 2006). Cette comparaison entre pays offre une vision intéressante car chaque pays est défini par des politiques et pratiques différentes concernant les stupéfiants, que ce soit au niveau répressif, préventif ou de réduction des risques. Cependant, depuis quelques années, l'apparition de sondages en ligne, tel que le Global Drug Survey, a permis de toucher plus facilement la population festive en outrepassant les barrières des frontières nationales (Winstock et al., 2017).

7.2.3 La nature des consommations illicites en milieu festif d'après les méthodes conventionnelles

Les stupéfiants dont les consommations sont les plus fréquemment reportées en cadre festif sont la MDMA, les amphétamines, la kétamine, le LSD et le GHB. Ces substances ont ainsi acquis la dénomination de *club drugs* ou *party drugs* (Parks and Kennedy, 2004; Smith et al., 2002). L'usage de cannabis et cocaïne est également très important (Bellis et al., 2000; McCaughan et al., 2005; Wilson et al., 2010). La consommation de NPS existe mais dans une moindre mesure (Hill and Thomas, 2011). Les NPS, apparus sur le marché il y a quelques années, posent un problème de santé public grave dans le sens où leurs effets et les risques qu'ils génèrent sont mal connus (United Nations Office On Drugs And Crime, 2016). Ils présentent plusieurs avantages pour les consommateurs curieux : ils sont moins chers et possèdent une variété d'effets stimulants ou hallucinogènes (van Amsterdam et al., 2015). L'ensemble des stupéfiants cités précédemment

est généralement consommé en association avec le tabac et/ou l'alcool (Banken, 2004; Parks and Kennedy, 2004). On parle alors de polyusage qui peut être occasionnel, ou journalier (Chinet et al., 2007).

La MDMA possède un statut particulier. Caractérisée d'entactogène, elle promeut grandement l'empathie, les émotions et augmente la perception du son (Nichols, 1986). Son usage est particulièrement associé à la musique de type électronique (Davison and Parrott, 1997; Solowij et al., 1992). De façon surprenante, les résultats du Global Drug Survey montrent que d'après les consommateurs, les effets des NPS se rapprochent de en premier lieu à ceux du LSD, plutôt que ceux de la MDMA (Winstock et al., 2017).

L'association entre la consommation d'une substance et un type de musique a par ailleurs fait l'objet de plusieurs études (Forsyth et al., 1997; Van Havere et al., 2011; Palamar et al., 2016). Toutefois, si le type de musique lors d'un festival influence la nature des consommations illicites, il n'est probablement pas le seul facteur explicatif. Le type de population, la politique sécuritaire, l'état du trafic des stupéfiants, entre autres, pourraient effectivement jouer un rôle. Le type de musique des festivals où l'analyse des eaux usées a été appliquée a tout de même été rajouté au Tableau 7.2 afin de réaliser des comparaisons appropriées. Cette information est manquante pour deux des six festivals étudiés par Mackulak et al. (2015).

7.3 Par les *drug checking*

7.3.1 Stratégie des *drug checking*

Les laboratoires d'analyse de drogues (*drug checking* ou *drug testing*) sont une mesure de réduction des risques et de prévention qui existe dans plusieurs pays d'Europe et qui a originellement été proposé par les Pays-Bas (Spruit, 2001). Chaque personne peut faire tester sa substance pour la qualifier et mesurer sa pureté. Elle effectue également une consultation avec un professionnel de la prévention avec qui elle remplit un questionnaire regroupant des données sociodémographiques ainsi que des informations concernant sa consommation (Brunt et al., 2017).

7.3.2 Déploiement des *drug checking*

Qui est échantillonné ?

Les personnes venant faire tester leurs substances recherchent à caractériser la nature et la pureté du produit stupéfiant qu'elles possèdent, en vue de le consommer en sécurité. La population touchée est donc probablement exclusivement une population de consommateurs de produits stupéfiants. Cela est particulièrement intéressant car cet indicateur permet d'entrer en contact avec une population spécifique difficile d'accès.

Où échantillonner ?

Les services de *drug checking* peuvent être fixes ou mobiles. Les *drug checking* fixes sont disponibles hors du contexte festif, en tout temps. Les *drug checking* mobiles se déplacent sur les sites d'évènements festifs. Ils existent dans plusieurs pays d'Europe (Hungerbuehler et al., 2011).

7.3.3 La nature des consommations illicites en milieu festif d'après les *drug checking*

Les *drug checking* se situant en Espagne, au pays Basque, aux Pays-Bas, en Suisse, en Autriche, en Belgique et au Portugal ont révélé entre 2008 et 2013 que les produits les plus souvent analysés sont la cocaïne, la MDMA et les amphétamines. Le polyusage est aussi reporté par la majorité des répondants comme étant typique d'une soirée, la cocaïne, la MDMA ou l'amphétamine étant consommées avec l'alcool et/ou le cannabis (Hungerbuehler et al., 2011).

En Suisse, il s'avère que la substance la plus analysée dans les *drug checking* fixes est la cocaïne, alors que dans les mobiles, la substance la plus analysée est la MDMA (Safer Nightlife Suisse, 2016). Une hypothèse qui pourrait être faite sur la base ces résultats est que la cocaïne est un stupéfiant consommé plus régulièrement, hors d'un contexte récréatif et donc, que ses consommateurs l'apportent à un *drug checking* fixe afin de la faire tester, plutôt que d'attendre

un évènement festif pour la faire tester dans un *drug checking* mobile. Cela montre que les laboratoires fixes et mobiles ne touchent pas le même public (Hungerbuehler et al., 2011).

Une base de données regroupant les résultats des analyses effectuées par ces *drug checking* suisses fixes et mobiles est disponible en ligne (saferparty.ch, 2017). Les alertes actuelles concernent majoritairement des pilules contenant de la MDMA et plus rarement des NPS sous forme de poudres, pilules ou buvards. Le questionnaire soumis aux personnes qui viennent faire tester leur substance est également disponible en ligne ainsi qu'auprès de stands d'information en milieu festif. Les stupéfiants qui sont le plus consommés sont pour la prévalence vie et la prévalence au cours des douze derniers mois, le cannabis, la MDMA, les amphétamines, la cocaïne et le LSD (Safer Nightlife Suisse, 2016).

7.4 Par l'analyse des urines contenues dans les toilettes portables

7.4.1 Stratégie de l'analyse des urines contenues dans les toilettes portables

L'analyse du contenu de toilettes portables a récemment été proposée comme nouvel indicateur de la consommation de stupéfiants (Archer et al., 2013). Cet indicateur a été utilisé jusqu'à présent dans un but qualitatif, c'est-à-dire d'identification de substances. Théoriquement, il serait possible d'estimer les quantités consommées à partir des traces retrouvées dans les urinoirs si l'on dispose du volume total d'urine contenu dans l'urinoir.

7.4.2 Déploiement de l'analyse des urines contenues dans les toilettes portables

Qui est échantillonné ?

De la même façon que l'analyse des eaux usées, cet indicateur permet d'obtenir une information sur la consommation d'un groupe de personnes en préservant leur anonymat. Elle en diffère par le fait que les échantillons récoltés sont constitués d'urines pures car il n'y a pas de système de chasse d'eau. Les échantillons sont donc beaucoup plus concentrés, permettant d'atteindre une meilleure sensibilité (Archer et al., 2013; Kinyua et al., 2016). Par ailleurs, comme les urines ne sont pas mélangées à l'eau, la stabilité des analytes pourrait en être améliorée (Archer et al., 2013). Cet indicateur est par ailleurs intéressant dans le sens où, en faisant l'hypothèse que les toilettes portables sont uniquement utilisées par les hommes (type pissoir), il serait possible d'évaluer une consommation exclusivement masculine.

Il existe plusieurs types de toilettes portables. Dans le cas de toilettes chimiques, des agents chimiques (désodorisants, algicides, etc.) sont ajoutés aux urinoirs. Ceux-ci pourraient éventuellement être une cause de dégradation des analytes présents dans les urines. Le nettoyage des urinoirs doit également être pris en considération. En effet, si les urinoirs sont juste vidés et replacés à un endroit différent, sans être nettoyés, des traces de consommations humaines antérieures pourraient éventuellement contaminer les nouvelles urines.

Où échantillonner ?

Cet indicateur a été appliqué dans un quartier nocturne de Londres (Archer et al., 2013, 2014b), une discothèque de Londres (Archer et al., 2014a), dans un secteur festif de neuf villes anglaises (Archer et al., 2015) ainsi que dans deux festivals se déroulant en Angleterre et en Belgique (Kinyua et al., 2016).

7.4.3 La nature des consommations illicites en milieu festif d'après l'analyse des urines contenues dans les toilettes portables

Les techniques analytiques mises en œuvre pour l'analyse des urines contenues dans les toilettes portables visent à un screening de toutes les substances, sans détermination préalable de traces cibles. Cela entraîne qu'une grande variété de substances sera mise en évidence. De plus, comme les échantillons récoltés sont constitués d'urines pures, offrant donc une meilleure sensibilité d'analyse, les stupéfiants type NPS, qui sont consommés par peu de personnes et dont la quantité consommée pour parvenir à l'effet souhaité est très faible par rapport aux stupéfiants classiques comme la MDMA (European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction, 2016b), peuvent être identifiés plus facilement que dans des échantillons d'eaux usées, où les urines sont diluées dans une grande quantité d'eau. Toutes les substances recherchées et quantifiées dans les eaux usées indiquées dans le Tableau 7.1 ont ainsi été identifiées dans les toilettes portables, à savoir les stupéfiants classiques et la méphédronne. La méthylone, la BZP et d'autres NPS ont été identifiés irrégulièrement. Archer et al. (2014b) ont montré que la méphédronne était le NPS qui étaient le plus souvent détecté au cours des six mois de leur étude.

7.5 L'étendue des connaissances sur les consommations illicites en milieu festif

Le type et la nature des informations obtenues ont été exposés pour chaque indicateur. Il s'agit à présent de confronter ces derniers tant au niveau technique, afin d'évaluer les forces et les faiblesses de chacun, qu'au niveau du résultat obtenu, afin d'apprécier les convergences ou les divergences concernant les consommations illicites en milieu festif. Cela permet d'évaluer dans quelle mesure ces indicateurs sont complémentaires entre eux.

7.5.1 Perspective longitudinale

Les festivals possèdent un caractère éphémère. Étudier la population festive est donc délicat car celle-ci n'est pas systématiquement accessible, à l'inverse de la population carcérale par exemple. Cependant, un festival sera généralement réédité chaque année. Au-delà de ce caractère éphémère, les événements festifs sont donc cycliques.

L'analyse des eaux usées permet ainsi d'étudier les tendances des consommations de stupéfiants lors d'éditions consécutives d'un festival donné. Lai et al. (2013) ont montré que d'une année sur l'autre, lors d'un festival en Australie, aucune différence statistiquement significative n'est observée entre les consommations de MDMA, de cannabis et de cocaïne. Par contre, il s'avère que les consommations de méthamphétamine et de BZP sont significativement supérieures en 2010 par rapport à 2011. Ces différences sont dues au fait que la population évoluant au sein d'un festival peut changer, ou changer sa consommation. La disponibilité de la substance peut aussi expliquer l'émergence ou la disparition d'un produit.

Apprécier l'usage illicite au cours du temps au sein d'un même événement festif à l'aide des méthodes conventionnelles s'avère beaucoup plus délicat de par la nature des questions posées. En effet, l'information de prévalence vie ou dernier mois ne renseigne en rien sur l'usage lors d'un événement festif en particulier (Chinet et al., 2007). Les méthodes conventionnelles ne sont donc pas adaptées à l'étude d'un même festival au cours du temps. Par contre, dans le cas théorique d'une étude de cohorte, l'évolution temporelle des consommations illicites dans le même groupe de festivaliers pourrait être appréciée. C'est donc l'échantillon interrogé qui serait étudié temporellement, contrairement à l'analyse des eaux usées qui cible l'évènement en lui-même.

Les *drug checking* permettent de qualifier les stupéfiants qui circulent en milieu festif au cours du temps et de quantifier leur pureté. Cet indicateur a montré que la prévalence des NPS avait augmenté entre 2008 et 2013 en Espagne, Suisse, Belgique, Autriche, Portugal et aux Pays-Bas (Brunt et al., 2017).

Enfin, l'analyse des urines contenues dans les toilettes portables, si ces dernières sont situées toujours au même endroit, offre une image qualitative des consommations illicites associées au lieu où l'urinoir se trouve. Archer et al. (2014b) ont observé que la méphédrone était le NPS

défecté le plus régulièrement dans les toilettes portables. La méphédronne est effectivement un NPS qui s'est implanté de manière permanente dans le paysage festif, poussant de nombreux pays à légiférer sur son interdiction au même titre que d'autres stupéfiants, tels que la MDMA (European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction, 2011). Son effet serait similaire à celui de l'ecstasy (Dalibon, 2013).

7.5.2 Comparaison entre festivals

Au-delà des comparaisons temporelles, les consommations illicites observées au sein d'un festival peuvent être comparées à celles d'autres festivals.

Il n'est pas possible de comparer les quantités consommées obtenues par l'analyse des eaux usées entre différents festivals puisqu'une seule recherche de type quantitatif a été réalisée jusqu'à présent (Lai et al., 2013). Les quantités consommées des produits stupéfiants en milieu festif doivent donc être davantage étudiées à l'aide de cet indicateur.

Comparons à présent les résultats obtenus à l'aide de sondages autoreportés. Pour la MDMA, la prévalence 30 derniers jours de personnes assistant à des soirées techno en Suisse Romande est de 22.7% (Chinet et al., 2007). Ce chiffre est similaire à celui de Tossman et al. (2001) de 27.8%, déterminé auprès d'un public similaire, mais à Zürich (Suisse Alémanique). Pour la cocaïne, ces chiffres s'élèvent respectivement à 20.7% et 12% et pour les amphétamines, à 9.9% et 17.6%. Il est intéressant de noter que les prévalences 30 derniers jours sont similaires pour la MDMA entre la Suisse Romande et Zürich, mais pas pour la cocaïne, ni pour les amphétamines. Cela confirme le statut particulier de la MDMA au sein de la scène festive, que d'autres stimulants, tels que la cocaïne ou les amphétamines, peuvent posséder, mais à un niveau régional et/ou national. Ces deux recherches confirment également la consommation très importante de cannabis au vu des prévalences 30 derniers jours de 53.8% (Chinet et al., 2007) et de 63.6% (Tossman et al., 2001). Une comparaison intéressante peut enfin être faite au niveau des chiffres de prévalences 30 derniers jours pour l'héroïne, qui sont de respectivement 2.5% et 2.2%.

Les *drug checking* révèlent que la pureté de la cocaïne et de l'amphétamine est faible en Autriche et élevée en Espagne et aux Pays-Bas. Les Pays-Bas et la Suisse sont davantage touchés par la MDMA sous forme de pilule, alors que la MDMA sous forme de cristal prévaut en Espagne et au Portugal (Hungerbuehler et al., 2011).

Les diverses études ayant analysé les urines contenues dans les toilettes portables montrent que la méphédronne et les stupéfiants classiques, tels que la cocaïne, la MDMA, l'amphétamine, la méthamphétamine et le cannabis sont toujours détectés, alors que d'autres NPS révèlent un usage sporadique.

7.5.3 Comparaison avec la population générale

Les consommations illicites de la population festive de plusieurs villes d'Europe ont été appréciées en appliquant l'analyse des eaux usées quotidiennement pendant une ou plusieurs semaines (European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction, 2018). Il a par exemple été montré que la consommation de MDMA augmente drastiquement pendant le week-end par rapport à la semaine. Sur la base de ces résultats, nous pouvons supposer que la population festive consomme davantage de MDMA que la population générale.

Lors d'un festival cependant, afin de pouvoir évaluer son effet sur la consommation, il est important d'évaluer l'usage lorsqu'il n'y a pas de festival. La comparaison entre l'usage lors du festival et l'usage habituel (Mackulak et al., 2015; Andrés-Costa et al., 2016) ou celui d'une agglomération proche (Lai et al., 2013) permet de prendre conscience des produits favorisés par la population festive et donc d'apprécier l'impact d'un événement festif particulier sur la population générale. Lai et al. (2013) ont montré dans leur étude que la MDMA est le seul stupéfiant qui présente une consommation supérieure à celle de la ville proche. Cela souligne de nouveau le statut particulier de la MDMA au sein du milieu festif.

La prévalence 30 derniers jours de la population générale en Suisse est de 0.16% pour la MDMA et de 0.12% pour la cocaïne (Addiction Suisse, 2018). En comparaison, les prévalences 30 derniers jours pour la MDMA et la cocaïne des personnes assistant à des soirées techno en Suisse Romande sont de respectivement de 22.7% et 20.7% (Chinet et al., 2007). Celles-ci témoignent d'un usage drastiquement supérieur, ce qui correspond aux observations menées au niveau européen par l'OEDT et ce, pour l'ensemble des produits stimulants et hallucinogènes. En effet, les prévalences vie et dernier mois pour les stupéfiants stimulants et les hallucinogènes sont systématiquement plus élevées dans la population festive que dans la population générale (European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction, 2006). Cela est dû au fait que lors d'une enquête en population générale, l'ensemble de la population est visé, les jeunes, les moins jeunes, les gens qui consomment et ceux qui ne consomment pas. Par contre, si un sondage auto-reporté est mis en place lors d'une soirée techno, la probabilité d'interroger des consommateurs sera plus élevée, d'où une prévalence d'usage supérieure à celle de la population générale.

7.5.4 Triangulation des indicateurs

L'analyse des eaux usées, les méthodes conventionnelles, les *drug checking* et l'analyse des urines contenues dans les toilettes portables sont des indicateurs offrant des informations différentes. L'analyse des eaux usées permet de monitorer les tendances et les quantités consommées quotidiennement au sein d'un festival. Elle ne donne cependant aucune information sur la granularité de la consommation. En effet, elle ne permet pas de différencier l'usage festif de l'usage problématique, d'où la nécessité d'utiliser des indicateurs impliquant l'interaction avec les consommateurs, tels que les méthodes conventionnelles et les *drug checking*. Les méthodes

conventionnelles informent sur les caractéristiques des usagers et de leurs usages, comme les quantités consommées individuelles, les fréquences et les modes de consommations. Les *drug checking* offrent l'évaluation de ce qui circule au sein d'un contexte festif particulier et permettent d'approcher exclusivement une population de consommateurs. Ils ne sont cependant pas beaucoup répandus. De plus, l'analyse des urines contenues dans les toilettes portables se révèle un indicateur intéressant dans la détection de stupéfiants de type NPS, qui sont consommés par peu de personnes et dont les doses consommées sont très faibles. Les échantillons étant en effet constitués d'urines pures, la sensibilité d'analyse est donc améliorée par rapport à des échantillons d'eau usée. Enfin, les saisies policières, qui n'ont pas été discutées auparavant par manque de littérature, constituent un autre indicateur et reflètent l'action policière par rapport à une stratégie spécifique. Les saisies policières réalisées dans un contexte festif particulier pourraient être analysées afin d'obtenir la pureté des produits saisis et les informations relatives au lieu d'achat du produit.

La triangulation des indicateurs autorise également la confrontation des informations de même type et d'apprécier ainsi les convergences et divergences, notamment concernant la nature des produits consommés. L'ensemble des indicateurs révèle que les produits illicites les plus consommés en milieu festif sont le cannabis, la cocaïne, la MDMA et l'amphétamine. Les NPS, moins disponibles, révèlent un usage plus sporadique, à l'exception de la méphédrone qui semble être consommée de manière relativement stable. Une convergence au niveau de la nature des substances consommées est donc observée en milieu festif. Cela s'observe particulièrement bien d'après les substances indiquées dans le Tableau 7.1, qui ont été recherchées dans les eaux usées : on recherche ce que l'on s'attend à trouver, c'est-à-dire les stupéfiants, mais également l'alcool et le tabac. Le milieu festif semble donc perçu « correctement » par la recherche. La source d'inquiétude et de « renouveau » provient ces dernières années des NPS, dont de nouveaux produits arrivent constamment sur le marché (European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction, 2016b). De nouveau, il s'agirait donc d'identifier ces nouveaux produits à l'aide d'un screening dans les urines contenues dans les toilettes portables, offrant une meilleure sensibilité que l'analyse des eaux usées (Kinyua et al., 2016).

Enfin, si une telle demande existe pour ces *club drugs*, comment l'offre est-elle organisée ? Est-ce que les consommateurs achètent leur produit à l'endroit où ils font la fête ? Ou hors du contexte récréatif ? Le milieu festif révèle encore de nombreuses zones d'ombre. Une étude de la structure et des produits de ce marché devrait être réalisée, comme c'est le cas au niveau du canton de Vaud, en Suisse (Zobel et al., 2018).

7.5.5 Proposition d'une stratégie de déploiement de l'analyse des eaux usées en milieu festif en complément des autres indicateurs

L'analyse des eaux usées promet la comparabilité dans le temps. Ce potentiel doit être exploité en développant des campagnes d'analyse des eaux usées plus longues, par exemple lors de plusieurs éditions consécutives d'un festival, afin d'évaluer les tendances des consommations de produits psychotropes sur le long terme.

Ensuite, les résultats obtenus suite à l'application de l'analyse des eaux usées au sein de différents milieux festifs peuvent être comparés, afin de déterminer si les consommations illicites sont similaires ou différentes au niveau géographique. Pour ce faire, il faudra d'une part rechercher les mêmes substances reportées dans le Tableau 7.1 pour permettre la comparaison entre ces divers événements ou établissements festifs et d'autre part, élargir la liste des substances aux opiacés notamment, afin de vérifier qu'ils ne sont pas consommés en milieu festif. L'analyse des eaux usées permettent d'estimer les quantités consommées, cela doit donc être également exploité dans de futures recherches.

L'usage de stupéfiants au sein d'un festival pourrait ensuite être comparé à celui de la population générale de la ville dans laquelle le festival a lieu, si l'échantillonnage développé est de type semi-fermé (i.e. si les prélèvements ont été réalisés dans la STEP de la ville où a lieu le festival). Si l'échantillonnage appliqué est de type fermé (i.e. si le festival dispose de sa propre STEP), l'usage au sein du festival peut être comparé à l'usage d'une agglomération proche. Cela permettra d'évaluer l'ampleur de la consommation en stupéfiants de la population festive et de la population générale.

Une fois que l'analyse des eaux usées a permis de connaître l'état des consommations illicites au sein d'un festival, d'autres indicateurs peuvent être déployés en fonction des résultats. Par exemple, dans le festival investigué par Lai et al. (2013), la MDMA est le seul stupéfiant à présenter une consommation supérieure par rapport à la ville proche. Cela suggère la nécessité de développer une campagne de prévention ciblée sur ce stupéfiant lors des éditions consécutives de ce festival, ainsi que de mettre en place un *drug checking* pour que les consommateurs puissent tester leur pilule par exemple. De plus, au niveau répressif, la police pourrait être informée afin d'axer la stratégie policière sur le marché de la MDMA.

Le Tableau 7.3 propose ainsi une stratégie de déploiement de l'analyse des eaux usées en milieu festif en combinaison d'autres indicateurs. La mise en œuvre d'une telle stratégie offrirait une information utile en matière de consommations de stupéfiants en milieu festif, dans le but notamment de produire des réponses adaptées au niveau préventif, de réduction des risques et répressif.

TABLEAU 7.3 – Stratégie de déploiement de l'analyse des eaux usées lors d'un festival

Objectif poursuivi	Remarque
État des consommations illicites lors d'un festival	<ul style="list-style-type: none"> • Nature des substances consommées • Évolution des charges absolues et per capita • Volumes consommés absolus et per capita
Perspective longitudinale	Évolution des consommations illicites au cours du temps pour un festival donné
Comparaison entre festivals	Similarités et différences des consommations illicites entre différents festivals
Comparaison avec la population générale	<ul style="list-style-type: none"> • Déterminer l'impact du festival sur les consommations illicites par rapport au temps normal (uniquement dans le cas d'un milieu semi-fermé) • Similarités et différences des consommations illicites lors du festival par rapport à une agglomération proche (dans le cas d'un milieu fermé)
Triangulation avec d'autres indicateurs (Méthodes conventionnelles, <i>drug checking</i> , analyse d'urines contenues dans les toilettes portables, saisies)	<ul style="list-style-type: none"> • Convergences et divergences des résultats • Caractéristiques des usagers et de leurs usages • Production de renseignement • Évaluation des politiques de prévention, répression et réduction des risques

⇒ Les objectifs décrits dans le Tableau 7.3 seront traduits sous la forme de trois **Hypothèses de recherche**, qui sont énoncées au sous-chapitre 9.5.1, et qui seront testées aux sous-chapitres 11.3.3, 11.3.4 et 11.3.5.

Chapitre 8

Évaluer les consommations illicites en milieu carcéral : à la croisée des indicateurs

Les consommations d'alcool et de stupéfiants sont strictement prohibées en prison. Elles sont néanmoins une réalité, souffrant d'un sérieux manque de données.

Traditionnellement, les usages d'alcool et de stupéfiants en milieu carcéral sont évalués par l'estimation de la prévalence au moyen de sondages autoreportés ou d'entretiens, et par l'analyse d'urine des détenus (European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction, 2012). Ces indicateurs, qualifiés de méthodes conventionnelles, peuvent être utilisés en combinaison. Parallèlement à ces indicateurs dont l'usage est largement répandu, l'épidémiologie basée sur l'analyse des eaux usées a été peu appliquée en milieu carcéral.

Ce Chapitre s'attache à dresser l'état des connaissances en ce qui concerne les consommations illicites en milieu carcéral en fonction de chaque indicateur. Il commence par une revue de la littérature concernant les applications de l'analyse des eaux usées en milieu carcéral. Plusieurs problématiques seront soulevées, telles que la stratégie de recherche, son déploiement et le résultat obtenu. Ces problématiques sont ensuite traitées dans le cadre des méthodes conventionnelles. Les convergences et divergences concernant la méthodologie et les résultats obtenus par l'analyse des eaux usées et les méthodes conventionnelles sont ensuite discutées. Pour conclure, une stratégie de déploiement de l'analyse des eaux usées en prison en complémentarité des méthodes conventionnelles est proposée.

8.1 Par l'analyse des eaux usées

8.1.1 Stratégie de l'analyse des eaux usées

De la même façon qu'au Chapitre précédent, une revue de la littérature concernant les applications de l'analyse des eaux usées en prison a été réalisée afin de savoir quelles stratégies ont été employées. Une combinaison de mots-clés, liés aux consommations illicites (*drug**, *drug use*, *alcohol*), à l'analyse des eaux usées (*wastewater*, *sewage*) et au milieu carcéral (*prison**, *inmate**) a été recherchée dans les bases de données Scopus et Web of Science et dans la littérature grise, en anglais et en français. Quatre articles *peer reviewed* (Brewer et al., 2016; Postigo et al., 2011; van Dyken et al., 2014, 2016) et un rapport français (Néfau et al., 2017) traitant spécifiquement de l'application de l'analyse des eaux usées en milieu carcéral ont été identifiés. Chacune de ces cinq recherches a ciblé une liste de substances, ce qui signifie que si ces substances pouvaient être quantifiées dans les échantillons d'eaux usées, leurs concentrations pouvaient être mesurées. Le Tableau 8.1 présente les produits qui ont été recherchés et quantifiés dans ces cinq recherches (une prison est faite de deux bâtiments séparés, qui sont indiqués tels que 2a et 2b). Ce Tableau suit la même logique que le Tableau 7.1 concernant la codification des substances et seules les substances n'ayant pas été précédemment explicitées sont discutées ici.

Au total, sept groupes de produits pharmaceutiques peuvent être identifiés. Dans les quatre pays où se situent les prisons investiguées, toutes les substances de ces groupes sont des stupéfiants. Certains d'entre eux font l'objet d'un usage médical contrôlé, à savoir l'éphédrine, la morphine, la codéine, la méthadone, l'oxazépam, l'alprazolam et la buprénorphine. Concernant la famille des opioïdes, elle compte l'héroïne comme composé parent, la 6-MAM son métabolite spécifique, la codéine et la morphine, qui sont tous deux leurs propres parent/métabolite. La morphine est particulière dans le sens où elle est le métabolite de l'héroïne et de la codéine également. La buprénorphine et la méthadone sont des produits utilisés dans le cadre de traitements de substitution à l'héroïne. L'EDDP est le métabolite de la méthadone. En plus du THC-COOH, métabolite de la consommation de cannabis, la substance mère le THC et son autre métabolite l'OH-THC ont été recherchés. Les groupes des benzodiazépines et des NPS se limitent respectivement à l'oxazépam et à l'alprazolam d'une part, et à la méphédrone, la méthylone et la 4-MEC d'autre part. Tous ces composés sont à la fois parents et métabolites à la fois. Quant aux autres substances, il s'agit du LSD et de ses deux métabolites (OH-LSD et nor-LSD) et de la kétamine et de son métabolite la nor-kétamine. La présence d'alcool a été considérée via la recherche de la cocaéthylène, une molécule se formant suite aux de consommations de cocaïne combinée à l'alcool.

TABLEAU 8.1 – Aperçu synthétique portant sur les produits recherchés et quantifiés dans les eaux usées de prisons

Groupe de substance	Composé (parent/métabolite)	Pays de la prison et référence														
		Espagne (Postigo et al., 2011)		Australie (van Dyken et al., 2014)		n.a (Brewer et al., 2016)		Australie (van Dyken et al., 2016)		France (1) (Néfau et al., 2017)		France (2a) ^c (Néfau et al., 2017)		France (2b) ^c (Néfau et al., 2017)		
		Recherché	Quantifié	Recherché	Quantifié	Recherché	Quantifié	Recherché	Quantifié	Recherché	Quantifié	Recherché	Quantifié	Recherché	Quantifié	
Produits cocaïniques	Cocaïne	x	x ^a			x	-	x	-	x	x	x	x	x	x	
	Benzoylcgonine	x	x ^a			x	-	x	-	x	x	x	x	x	x	
	Cocaéthylène	x	-							x	- ^b	x	- ^b	x	- ^b	
Amphétamine et produits dérivés	MDMA	x	x					x	-	x	-	x	x	x	-	
	Amphétamine	x	x	x	x			x	- ^b							
	Méthamphétamine	x	x	x	x ^a	x	x ^a	x	x							
	MDA (3,4-méthylène-dioxy-amphétamine)							x	-							
	MDEA (3,4-méthylène-dioxy-éthylamphétamine)							x	-							
	Ephédrine	x	x ^a													
	Héroïne	x	x								x	-	x	-	x	-
Opioides	6-MAM (6-monoacétylmorphine)	x	x							x	-	x	-	x	-	
	Morphine	x	x ^a	x	x			x	- ^b	x	-	x	-	x	-	
	Codéine			x	x ^a			x	x ^a					x	-	
	Méthadone	x	x ^a	x	x			x	x ^a	x	x ^a	x	x ^a	x	x ^a	
	EDDP (2-étylidène-1,5-diméthyl-3,3-diphényl-pyrrolidine)	x	x ^a	x	x			x	x ^a	x	x ^a	x	x ^a	x	x ^a	
	Buprénorphine							x	x ^a	x	-	x	x	x	-	
	THC	x	x					x	-							
Cannabinoïdes	THC-COOH	x	x ^a	x	x			x	-	x	x ^a	x	x ^a	x	x ^a	
	OH-THC	x	-													
Benzodiazépines	Oxazépam									x	x ^a	x	x ^a	x	x ^a	
	Alprazolam	x	x ^a													
NPS	Méphédrone							x	-	x	-	x	-	x	-	
	Méthylone							x	x							
	4-MEC (4-méthyl-N-éthylcathinone)									x	-	x	-	x	-	
Autres	LSD (Acide lysergique diéthylamide)	x	x													
	OH-LSD	x	x													
	Nor-LSD	x	-													
	Kétamine			x	x			x	x							
	Nor-kétamine			x	x			x	x							

- : cherché mais pas quantifié ;

a : trouvé dans 100% des échantillons ;

b : pas indiqué si quantifié ou non ;

c : même prison mais deux bâtiments séparés

8.1.2 Déploiement de l'analyse des eaux usées

L'analyse des eaux usées en prison a pour but d'évaluer la consommation des prisonniers. Cela signifie que l'échantillonnage doit permettre de prélever les eaux usées déversées par ces derniers, ou les eaux usées en sortie de prison. Le Tableau 8.2 contient les informations relatives à l'échantillonnage mis en place dans les cinq recherches précitées. Les deux recherches de van Dyken et al. (2014, 2016) ont porté sur la même prison ; le nombre de produits recherchés a augmenté dans la seconde recherche. Une recherche a appliqué l'analyse des eaux usées de deux prisons, dont une se composant de deux bâtiments distincts qui ont donc fait l'objet de prélèvements séparés (Néfau et al., 2017). Les deux autres recherches ont chacune investigué une prison (Brewer et al., 2016; Postigo et al., 2011). Les discussions suivantes porteront ainsi sur ces cinq recherches, qui ont appliqué l'analyse des eaux usées dans cinq prisons.

Qui est échantillonné ?

L'endroit de l'échantillonnage détermine la population investiguée. Sur les cinq prisons étudiées, quatre échantillonnages ont été réalisés dans une canalisation en sortie de prison et un seul dans une station d'épuration. Cela signifie que dans ces cinq recherches, les eaux usées prélevées contiennent uniquement les eaux usées provenant de la prison sous étude. Il s'agit donc de cinq milieux fermés, au sens du Tableau 2.1. Les types d'échantillonnage sont reportés dans le Tableau 8.2. Cette information manque dans la recherche de Postigo et al. (2011), alors qu'elle est fondamentale pour assurer la validité des résultats. Parmi les échantillonnages mis en place, le plus représentatif de la matrice des eaux usées est le mode discret proportionnel au débit appliqué par Néfau et al. (2017). Les modes continu débit constant (Brewer et al., 2016) et discret proportionnel au volume (van Dyken et al., 2014, 2016) présentent l'inconvénient de ne pas pondérer les sous-échantillons par rapport au débit. Ils offrent donc une image moins représentative que celle fournie par le mode discret proportionnel au débit, en supposant que les volumes des sous-échantillons suivent une variation linéaire. Les échantillons composites ont tous été réalisés sur 24 heures. Brewer et al. (2016) ont en plus effectué des échantillons composites horaires.

Même si l'échantillonnage mis en place dans chacune de ces prisons constitue un milieu fermé, les eaux usées prélevées contiennent celles des prisonniers, mais également celles du personnel pénitentiaire, du service médical et des visiteurs. Ces personnes utilisent les toilettes de la prison, même si ce ne sont pas les mêmes qu'utilisent les prisonniers, et leurs excréments urinaires se mêlent aux urines pertinentes, celles des détenus. Il est donc impossible de certifier que les consommations illicites proviennent exclusivement des prisonniers.

La taille de la population permet de calculer les valeurs per capita. L'avantage d'appliquer l'analyse des eaux usées au sein d'une prison réside dans le fait qu'il s'agit d'un milieu surveillé, dans lequel les variations de la population contributrice, agglomérant les variations du nombre de détenus, de celui du personnel pénitentiaire et de celui des visiteurs, peuvent être suivies avec

une bonne précision au cours du temps, contrairement à une ville ou un festival. Puisque chaque entrée et sortie est enregistrée dans une prison, cette information devrait toujours être disponible. Les nombres de détenus, du personnel pénitentiaire et de visiteurs sont indiqués dans le Tableau 8.2, mais il est possible de voir que ces chiffres ne sont pas toujours reportés par les auteurs. Lorsque ces chiffres sont disponibles, nous constatons que le nombre de détenus est supérieur aux nombres du personnel pénitentiaire et des visiteurs. De plus, les détenus contribuent généralement aux eaux usées pendant 24 heures, contre quelques heures pour le personnel pénitentiaire et les visiteurs. Pour faire écho au paragraphe précédent, cela est d'importance car cela signifie que les urines pertinentes, celles des détenus, sont en plus grande proportion par rapport à celles du personnel pénitentiaire et des visiteurs et donc, qu'elles devraient avoir un impact plus important sur les concentrations mesurées.

Où échantillonner ?

Les prisons dont les eaux usées ont été analysées se situent en Espagne (Postigo et al., 2011), en Australie (van Dyken et al., 2014, 2016) et en France (Néfau et al., 2017) (une prison est de localisation inconnue (Brewer et al., 2016)). L'analyse des eaux usées a donc été déployée dans une seule prison (Brewer et al., 2016; Postigo et al., 2011; van Dyken et al., 2014, 2016) ou dans plusieurs prisons au niveau national (Néfau et al., 2017). Aucune agrégation des données n'a jusqu'à présent été réalisée au niveau national ou international, ce qui est normal étant donné le faible nombre d'études.

Un détail qui manque dans toutes les publications est le type de prison investiguée (voir Tableau 8.2). Cette information est pourtant essentielle car l'analyse des eaux usées est appliquée au niveau de la structure, de la prison elle-même. Or, les prisons sont caractérisées par des populations carcérales différentes, des régimes de détention et de fonctionnement différents. Si une prison accueille par exemple des prisonniers en détention préventive, une situation très dynamique au niveau de la composition carcérale se crée. S'il s'agit d'une prison dans laquelle des peines longues sont purgées, alors les mouvements de personnes devraient être davantage limités.

8.1.3 La nature des consommations illicites en milieu carcéral d'après l'analyse des eaux usées

Le Tableau 8.3 contient les paramètres relatifs aux calculs des quantités consommées pour chacune des recherches et lorsque c'est disponible, le nombre moyen et/ou l'intervalle en doses par jour pour 1000 habitants et en mg par jour pour 1000 habitants. Puisque seules les quantités en doses par jour étaient disponibles pour les deux recherches de van Dyken et al. (2014, 2016), les quantités en doses par jour pour 1000 habitants ont été calculées en utilisant la population moyenne journalière (indiquée dans le Tableau 8.2, respectivement 494 en 2014 et 437 en 2016).

TABLEAU 8.3 – Paramètres concernant les calculs des quantités consommées et résultats

Substance	Paramètres	Pays de la prison et référence						
		Espagne (Postigo et al., 2011)	Australie (van Dyken et al., 2014)	n.a (Brewer et al., 2016)	Australie (van Dyken et al., 2016)	France (1) (Néfaud et al., 2017)	France (2a) ^c (Néfaud et al., 2017)	France (2b) ^c (Néfaud et al., 2017)
Cocaïne	Substance utilisée pour l'estimation	Benzoylécgonine		Benzoylécgonine	Benzoylécgonine	Benzoylécgonine	Benzoylécgonine	Benzoylécgonine
	Taux d'excrétion (%)	45		n.a.	n.a.	45	45	45
	Dose (mg)	100		n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	Quantités estimées (doses/jour/1000hab)	3		<LOQ	<LOQ	2-4	1-2	2
	Quantités estimées (mg/jour/1000hab)	300		<LOQ	<LOQ	188-282	90-135	128-192
MDMA	Substance utilisée pour l'estimation	MDMA			MDMA	MDMA	MDMA	MDMA
	Taux d'excrétion (%)	26			n.a.	65	65	65
	Dose (mg)	100			n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	Quantités estimées (doses/jour/1000hab)	0.1-1.4			<LOQ	0	n.a.	<LOQ
	Quantités estimées (mg/jour/1000hab)	10-140			<LOQ	0	n.a. (2.8 mg/jour)	<LOQ
Amphétamine	Substance utilisée pour l'estimation	Amphétamine	Amphétamine		Amphétamine			
	Taux d'excrétion (%)	30	n.a.		n.a.			
	Dose (mg)	30	n.a.		n.a.			
	Quantités estimées (doses/jour/1000hab)	2.3 (1 échantillon seulement)	n.a.		n.a.			
	Quantités estimées (mg/jour/1000hab)	69 (1 échantillon seulement)	n.a.		n.a.			
Méthamphétamine	Substance utilisée pour l'estimation	Méthamphétamine	Méthamphétamine	Méthamphétamine	Méthamphétamine			
	Taux d'excrétion (%)	43	39	n.a.	39			
	Dose (mg)	30	30	30	30			
	Quantités estimées (doses/jour/1000hab)	0.7-2.2 (2 échantillons seulement)	2-8	6-32	2-25			
	Quantités estimées (mg/jour/1000hab)	21-66 (2 échantillons seulement)	51-243	180-960	5-730			
Ephédrine	Substance utilisée pour l'estimation	Ephédrine						
	Taux d'excrétion (%)	75						
	Dose (mg)	25						
	Quantités estimées (doses/jour/1000hab)	46						
Héroïne	Substance utilisée pour l'estimation	6-MAM				Morphine	Morphine	Morphine
	Taux d'excrétion (%)	1.3				42	42	42
	Dose (mg)	30				n.a.	n.a.	n.a.
	Quantités estimées (doses/jour/1000hab)	27-120				<LOQ	<LOQ	<LOQ
Codéine	Substance utilisée pour l'estimation		Codéine		Codéine			
	Taux d'excrétion (%)		10		10			
	Dose (mg)		100		100			
	Quantités estimées (doses/jour/1000hab)		103-182		25-275			
			10324-18219		2465-27494			

TABLEAU 8.3 suite – Paramètres concernant les calculs des quantités consommées et résultats

Méthadone	Substance utilisée pour l'estimation	Méthadone	EDDP	EDDP	EDDP	EDDP	EDDP
	Taux d'excrétion [%]	27.5	55	3-55	23	23	23
	Dose [mg]	25	50	53	n.a.	n.a.	n.a.
	Quantités estimées [doses/jour/1000hab]	156	6-14	2-18	6-15	18-43	7-16
	Quantités estimées [mg/jour/1000hab]	3900	346-747	144-929	255-606	718-1707	262-623
Buprénorphine	Substance utilisée pour l'estimation			Buprénorphine	Buprénorphine	Buprénorphine	Buprénorphine
	Taux d'excrétion [%]			1-5	95	95	95
	Dose [mg]			17	n.a.	n.a.	n.a.
	Quantités estimées [doses/jour/1000hab]			32-167	<LOQ	n.a.	<LOQ
	Quantités estimées [mg/jour/1000hab]			558-2858	<LOQ	n.a. (24mg/jour)	<LOQ
Cannabis	Substance utilisée pour l'estimation	THC-COOH	THC-COOH		THC-COOH	THC-COOH	THC-COOH
	Taux d'excrétion [%]	2.5	0.6		0.6	0.6	0.6
	Dose [mg]	30	30		34	34	34
	Quantités estimées [doses/jour/1000hab]	33	43-91		973-2432	711-1777	1103-2758
	Quantités estimées [mg/jour/1000hab]	990	1291-2441		33000-83000	24000-60000	38000-94000
Alprazolam	Substance utilisée pour l'estimation	Alprazolam					
	Taux d'excrétion [%]	20					
	Dose [mg]	1					
	Quantités estimées [doses/jour/1000hab]	129					
	Quantités estimées [mg/jour/1000hab]	129					
Oxazépam	Substance utilisée pour l'estimation				Oxazépam	Oxazépam	Oxazépam
	Taux d'excrétion [%]				n.a.	n.a.	n.a.
	Dose [mg]				n.a.	n.a.	n.a.
	Quantités estimées [doses/jour/1000hab]				n.a.	n.a.	n.a.
	Quantités estimées [mg/jour/1000hab]				n.a.	n.a.	n.a.
Méthylone	Substance utilisée pour l'estimation			Méthylone			
	Taux d'excrétion [%]			20.3			
	Dose [mg]			100-200			
	Quantités estimées [doses/jour/1000hab]			7-11			
	Quantités estimées [mg/jour/1000hab]			1229	(1 échantillon seulement)		
LSD	Substance utilisée pour l'estimation	LSD					
	Taux d'excrétion [%]	<1					
	Dose [mg]	0.25					
	Quantités estimées [doses/jour/1000hab]	n.a.					
	Quantités estimées [mg/jour/1000hab]	n.a.					
Kétamine	Substance utilisée pour l'estimation		Nor-kétamine	Nor-kétamine			
	Taux d'excrétion [%]		1.6	1.6			
	Dose [mg]		n.a.	60			
	Quantités estimées [doses/jour/1000hab]		n.a.	0-5			
	Quantités estimées [mg/jour/1000hab]		n.a.	0-245			

Dans les eaux usées d'une prison de Catalogne, entre juin 2008 et janvier 2009, une consommation journalière de méthadone, alprazolam, éphédrine, cannabis et cocaïne a été mise en évidence (Postigo et al., 2011). Les quantités consommées estimées sont de respectivement 156, 129, 46, 33 et 3 doses/jour/1000hab. La morphine a été quantifiée tous les jours mais les résultats ne sont pas reportés. L'héroïne, la MDMA, l'amphétamine, la méthamphétamine et le LSD ont été quantifiés de façon irrégulière. La cocaéthylène n'a jamais été quantifiée, ce qui a été justifié par l'absence de consommation d'alcool.

Une recherche effectuée pendant un mois dans les eaux usées d'une prison accueillant des prisonniers masculins (localisation inconnue) a révélé que la méthamphétamine a été retrouvée dans tous les échantillons, contrairement à la cocaïne qui n'a jamais été quantifiée (Brewer et al., 2016). La consommation moyenne journalière de méthamphétamine s'élève de 6 à 32 doses/jour/1000hab.

Sept composés ont été recherchés dans les eaux usées d'une prison en Australie pendant une semaine (van Dyken et al., 2014). Les résultats montrent que la codéine et la méthamphétamine sont détectées tous les jours, à une quantité moyenne journalière de 142 et 4 doses/jour/1000hab. La méthadone et le cannabis ont été quantifiés presque tous les jours (11 et 61 doses/jour/1000hab respectivement). L'amphétamine et la morphine ont été retrouvées de façon irrégulière et la kétamine a été retrouvée en traces. Les quantités estimées ne sont pas disponibles pour ces substances.

Dans la même prison d'Australie, la cocaïne, la MDMA, la MDA, la MDEA, la méphédronne, la méthylone et la buprénorphine ont été ajoutées à la liste des produits recherchés lors d'une seconde étude s'étalant sur deux périodes de douze jours (van Dyken et al., 2016). Les résultats ont permis de révéler une consommation journalière de buprénorphine, méthadone, codéine, méthamphétamine et un usage sporadique de kétamine et de méthylone. La cocaïne, la MDMA, la MDA, la MDEA, le cannabis et la méphédronne n'ont pas été quantifiés. Les résultats concernant l'amphétamine et la morphine ne sont toujours pas reportés.

Les eaux usées de deux prisons de France ont été analysées (Néfaud et al., 2017), sans qu'il ne soit précisé la durée pendant laquelle chaque site a été échantillonné. Le cannabis, la méthadone et l'oxazépam ont été quantifiés dans tous les échantillons. La cocaïne a été retrouvée en faible quantité dans la majorité des prélèvements. Les quantités consommées mesurées suggèrent que la consommation de cannabis est la plus élevée, suivie par celles de méthadone et de cocaïne. La présence de MDMA et de buprénorphine a été mise en évidence sur un des deux sites (2a). Les résultats de la cocaéthylène ne sont pas reportés. L'héroïne, la morphine et les NPS n'ont jamais été quantifiés.

8.1.4 L'étendue des consommations illicites en milieu carcéral d'après l'analyse des eaux usées

L'analyse des eaux usées permet de considérer l'étendue des consommations illicites au sein d'une prison au cours du temps, entre différentes prisons et en regard de la population générale. Chacune de ces dimensions est appréciée ci-après.

Perspective longitudinale

La durée des campagnes de prélèvements développées dans les quatre recherches où l'information est disponible sont relativement courtes. Déployer l'analyse des eaux usées sur le long terme permettrait d'apprécier des patterns de variations plus fins. En effet, dans la prison espagnole, il est possible d'observer des tendances hebdomadaires ainsi que des variations de consommation sur la période d'étude de six mois (Postigo et al., 2011). D'autre part, dans la prison australienne qui a fait l'objet de trois périodes d'échantillonnage (une semaine en janvier 2013, deux périodes de douze jours entre mai et juin 2013), le cannabis n'est plus quantifié lors des deuxième et troisième périodes. De plus, entre les périodes 2 et 3, une augmentation des consommations de méthamphétamine et de méthadone a été observée (van Dyken et al., 2014, 2016).

Comme cela a été mentionné, l'analyse des eaux usées fournit une information sur la consommation des personnes au sein de la prison. C'est donc la structure, la prison elle-même qui est le sujet d'étude. Si la composition de la population carcérale change ou change sa consommation, des différences seront inévitablement observées. Ces différences peuvent être engendrées par l'arrivée ou la relâche de prisonniers, ou parce que les personnes qui consommaient ne le font plus, comme par exemple une interruption du traitement de substitution administré à un ou plusieurs prisonniers. La disponibilité d'une substance, ou son trafic, peut être une raison pour une substance d'apparaître ou disparaître.

Comparaison entre prisons

Les cinq prisons qui ont fait l'objet d'étude se situent en Espagne, en Australie et en France et une dont la localisation est inconnue. Si le nombre d'études est limité, comparer les résultats obtenus dans ces cinq prisons peut révéler si une substance apparaît comme problématique dans toutes les prisons confondues ou si au contraire, les résultats sont différents en fonction des prisons. Malheureusement, aucune substance n'a été recherchée en commun dans l'ensemble des cinq prisons investiguées, ce qui complique les velléités de comparaison.

Nous constatons cependant que le cannabis, la méthadone, la buprénorphine et les benzodiazépines ont été retrouvés dans les eaux usées des prisons lorsqu'ils ont été recherchés, à l'exception du cannabis dans la recherche de van Dyken et al. (2016) et la buprénorphine dans une des deux prisons investiguées par Néfau et al. (2017). L'analyse des eaux usées confirme ainsi que le cannabis est un des stupéfiants les plus consommés en prison. Le cannabis est strictement illicite en

prison, alors que la méthadone, la buprénorphine et les benzodiazépines sont normalement des substances utilisées dans le cadre de traitements. L'éphédrine est un médicament également prescrit, ce qui explique qu'elle ait été retrouvée dans les eaux usées. La consommation de méthadone dépend grandement du nombre de personnes sous traitement de substitution et éventuellement du trafic illicite. Dans un démarche comparative, on observe que les quantités consommées estimées de cannabis et de méthadone varient grandement entre les différents établissements (voir Tableau 8.3). Si ces résultats suggèrent une disparité des consommations entre les prisons, il convient de préciser que la méthodologie de calcul des quantités consommées diffère selon les recherches, et peut donc contribuer en partie à ces différences. En effet, si les paramètres sont cohérents pour le cannabis (sauf le taux d'excrétion de 2.5% pour le THC-COOH comparé au 0.6% dans les autres études), ils ne le sont pas pour la méthadone.

L'héroïne et son métabolite ont été recherchés dans deux études, en Espagne et en France. Dans la prison en Espagne, ils ont été détectés irrégulièrement. En France, ils ne l'ont jamais été et ce, dans les deux établissements pénitentiaires visés. Au premier abord, il est donc possible de dire que la consommation d'héroïne semble marginale, voire inexistante dans ces deux prisons. Soulignons cependant le caractère délicat de l'analyse de l'héroïne et de son métabolite dans les eaux usées. L'héroïne est très rapidement hydrolysée dans le corps, ce qui fait qu'elle sera excrétée en très petite quantité (Baselt, 2011). De plus, étant donné qu'elle n'est pas stable dans les eaux usées, elle n'est pas forcément détectée. Son métabolite la 6-MAM présente également des problèmes de stabilité dans les eaux usées (Been et al., 2015). Ainsi, le fait de ne pas retrouver l'héroïne et son métabolite n'est pas un signe que la consommation est absente. Soulignons également que la méthadone a été recherchée et retrouvée dans ces trois prisons. Comme la méthadone est prescrite aux détenus dans le cadre d'un traitement de substitution à l'héroïne, nous pouvons supposer que l'héroïne est tout-de-même consommée, ce qui est effectivement observé dans la prison espagnole.

En Australie, une consommation sporadique de méthylone et de kétamine a été mise en évidence et la méphédronne n'a jamais été détectée. En France, la méphédronne n'a jamais été quantifiée non plus, au même titre que la 4-MEC. La MDMA a cependant été trouvée dans l'une des prisons, sur le site 2a. Il est donc possible de voir que les substances caractérisées de récréatives, c'est-à-dire davantage associées à un usage festif, sont absentes ou consommées sporadiquement.

La cocaïne a été quantifiée dans trois des cinq prisons où sa présence a été investiguée. Si elle a été retrouvée en faible quantité, les quantités consommées sont similaires entre les différentes prisons. L'amphétamine a été quantifiée dans les deux prisons où elle a été recherchée (elle a également été recherchée par van Dyken et al. (2016), mais les résultats ne sont pas reportés). Il est donc possible de voir que la consommation de stimulants existe en milieu carcéral, même si la présence d'amphétamine dans les eaux usées pourrait s'expliquer par la consommation de

méthamphétamine, dont elle est le métabolite.

La méthamphétamine a été retrouvée dans les trois prisons dans lesquelles elle a été recherchée. Dans la prison australienne et dans celle dont la localisation est inconnue, la consommation est importante alors qu'elle semble marginale dans la prison espagnole. Il est fait mention dans un rapport que la consommation de méthamphétamine est très importante et a dépassé celle de cannabis chez les prisonniers à leur entrée en prison en 2015 par rapport aux années précédentes en Australie (Australian Institute of Health and Welfare, 2016). Si la consommation de méthamphétamine est très importante avant l'entrée en prison, il semble naturel que les détenus cherchent à s'en procurer lors de la détention, ce qui est effectivement confirmé par les eaux usées.

La présence d'alcool a été investiguée indirectement par le biais de la cocaéthylène, mais cette dernière n'a jamais été détectée.

Il est également nécessaire de relever une considération d'ordre méthodologique. La synthèse relative à la création du Tableau 8.3 s'est avérée être une tâche particulièrement délicate du fait de la diversité des manières de reporter les données. Postigo et al. (2011) ont par exemple reporté la fréquence de détection, la concentration moyenne et maximale, le nombre de doses consommé chaque jour per capita et le nombre de doses moyen consommé par jour per capita sur la période investiguée. van Dyken et al. (2014, 2016) ont reporté les charges absolues, les quantités consommées en absolu chaque jour et le nombre de doses consommées en absolu chaque jour. Brewer et al. (2016) ont reporté les fréquences de détection, les charges absolues, l'intervalle du nombre de doses consommées par jour, en absolu et per capita. Néfau et al. (2017) ont fourni les concentrations, les quantités consommées absolues et per capita. Cela est un bref résumé, car les informations disponibles ne sont pas reportées de la même manière pour tous les composés au sein d'une recherche donnée. Le Tableau 8.3 illustre de plus que l'équivalent en masse d'une dose n'est pas constant pour un stupéfiant donné d'une recherche à une autre (méthadone et cannabis). Dans une optique de comparaison entre différentes prisons, il serait ainsi utile d'uniformiser le report du format des données au sein d'une même recherche, tout en reportant de manière systématique l'ensemble des données source, c'est-à-dire les concentrations et les paramètres liés aux estimations des quantités consommées, afin d'être capable de reproduire les différents calculs.

Comparaison avec la population générale

Postigo et al. (2011) ont comparé la consommation de leur population carcérale à celle de la population générale de Barcelone. L'usage en prison s'avère inférieur pour tous les produits étudiés, sauf pour le cannabis et l'éphédrine. Cela montre que même si les prisonniers sont une population caractérisée par des prévalences d'abus plus élevées que la population générale, cela ne signifie pas que la consommation qui a lieu en prison même est supérieure par rapport à l'extérieur.

Si des produits sont problématiques dans la population générale, il serait intéressant de voir s'ils le sont aussi en prison. La méthamphétamine est par exemple un problème en Australie comme cela a été souligné auparavant et il s'avère qu'elle a en effet été détectée dans les eaux usées d'une prison australienne (van Dyken et al., 2014, 2016). Nous pouvons faire l'hypothèse que la disponibilité exceptionnelle d'un produit à l'extérieur d'une prison influence probablement sa consommation à l'intérieur de celle-ci.

8.2 Par les méthodes conventionnelles

8.2.1 Stratégie des méthodes conventionnelles

Les méthodes conventionnelles se concentrent sur la consommation d'un individu. Elles impliquent donc un contact avec le prisonnier, pendant lequel sa consommation est mesurée directement en le questionnant, ou indirectement en prélevant et en analysant ses urines, ou en combinant ces méthodes. Ces indicateurs directs sont peu chers, mais ils prennent du temps à être développés et peuvent créer un biais de désirabilité sociale (Aebi and Jaquier, 2008). Quant aux tests d'urine, ils sont faciles à mettre en œuvre, mais sont invasifs et peuvent être trafiqués MacPherson (2004).

Sondages autoreportés

La majorité des études ayant évalué la consommation d'alcool et de stupéfiants des détenus sont issues de sondages autoreportés. Un sondage autoreporté se définit comme un sondage dans lequel une série de questions est posée à un individu pour savoir s'il a, durant une période temporelle donnée, commis ou non certains actes délictueux (Aebi and Jaquier, 2008). Auprès de la population carcérale, les sondages autoreportés ont généralement été considérés comme valides (Chaiken and Chaiken, 1982; Nurco et al., 1991). Ils permettent en particulier de récolter des données sociodémographiques et d'identifier les substances consommées, la fréquence et la prévalence vie et/ou dernière année et/ou dernier mois précédant la période d'incarcération et/ou lors de celle-ci (European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction, 2017; World Health Organization, 2014). Les sondages offrent ainsi l'historique de consommation de la personne interrogée, mais échouent à en fournir l'état actuel, voire même récent.

Entretiens

Les entretiens ont également été utilisés afin d'évaluer les consommations illicites en milieu pénitentiaire, mais dans une moindre mesure. Ils sont généralement mis en œuvre afin d'explorer une problématique spécifique, comme la consommation de cannabis (Ritter et al., 2013) ou de cannabinoïdes synthétiques (Ralphs et al., 2017). Les entretiens sont principalement menés dans le contexte d'étude qualitative, avec comme objectif de comprendre le phénomène tel qu'il est perçu par ceux qui y sont confrontés, dans le cas présent les prisonniers et/ou le personnel pénitentiaire, sans se soucier de la comparabilité des données.

Analyses d'urine

Les établissements pénitentiaires peuvent également mettre en place des tests obligatoires ou volontaires de dépistage, réalisés par analyse d'urine. Ces tests fournissent une information sur la consommation récente d'un grand éventail de substances comme l'alcool, les stupéfiants, les benzodiazépines et les stéroïdes anabolisants (Borrey et al., 2003; Fraser et al., 2001; Lood et al., 2012). Tous les produits n'ont pas les mêmes fenêtres de détection, la consommation de cannabis est par exemple détectable sur une période de temps assez longue après sa consommation, car ses métabolites sont stockés dans les graisses avant d'être relargués progressivement via les urines et les selles. Quant à l'héroïne, elle est métabolisée très rapidement puis excrétée par la voie urinaire majoritairement (Baselt, 2011). Les tests d'urine ne donnent pas d'information sur l'historique de consommation de la personne dépistée à l'inverse des sondages autoreportés.

Méthodes mixtes

De nombreuses études ont montré que lorsqu'une personne est interrogée sur des comportements stigmatisés ou illégaux dans le cadre d'un sondage autoreporté, celle-ci peut volontairement fausser ses déclarations (Brener et al., 2003; Tourangeau and Yan, 2007). Afin de consolider les réponses au sondage ou d'évaluer l'exactitude des réponses données, certaines recherches ont couplé les indicateurs cités précédemment. Par exemple, les sondages autoreportés ont été couplés aux entretiens en profondeur (Borrill et al., 2003; Ritter and Elger, 2013) ou aux analyses d'urine (DeJong and Wish, 2000; Edgar and O'Donnell, 1998). C'est notamment la stratégie choisie par le programme ADAM II entre 2007 et 2013 (Arrestee Drug Abuse Monitoring II), faisant suite aux programmes DUF (Drug Use Forecasting, 1987 - 1999) et ADAM (2000 - 2003), mené sur plusieurs sites aux États-Unis, auprès d'individus masculins majeurs arrêtés depuis moins de 48 heures (Hunt, 2013). Grâce à la combinaison de ces deux indicateurs, il a été observé que la validité des sondages autoreportés auprès des personnes fraîchement arrêtées varie en fonction de l'ethnie, de la substance considérée, de l'âge du répondant, du temps, du nombre d'arrestations antérieures et de l'historique de participation à un programme de substitution (Hunt et al., 2015; Peters et al., 2015). Il est par ailleurs intéressant de noter que les personnes fraîchement arrêtées ont tendance à sous-reporter leur consommation de stupéfiants alors que les prisonniers ont tendance à l'exagérer par comparaison aux résultats des analyses d'urine, même si des limitations méthodologiques peuvent compromettre ces comparaisons (MacPherson, 2004). Il est toutefois vrai que le biais de désirabilité sociale n'est pas le même entre, d'une part, une personne fraîchement arrêtée ou d'autre part, un prisonnier en détention préventive et un prisonnier condamné. Alors que les premiers ont de bonnes raisons de se faire voir sous leur meilleur jour, un prisonnier condamné se retrouve dans une position où il n'a plus rien à perdre. De plus, un prisonnier condamné pourrait même exagérer sa consommation dans le but de bénéficier d'un programme de substitution.

8.2.2 Déploiement des méthodes conventionnelles

Qui est échantillonné ?

La stratégie d'échantillonnage est cruciale. L'échantillonnage peut être développé sur une base probabiliste, ce qui signifie que l'échantillon est représentatif (Niveau and Ritter, 2008; Plourde and Brochu, 2002), ou selon une procédure non-probabiliste (Borrill et al., 2003; Ralphs et al., 2017). Parfois, l'étendue de la recherche requiert une procédure d'échantillonnage adaptée afin d'assurer la représentativité de l'échantillon (Hunt, 2013), alors que cela n'est pas requis dans le cas d'une étude qualitative. La représentativité d'un échantillon dépend du but de la recherche et peut être défini en termes d'une combinaison de variables, comme l'âge, le sexe, l'ethnie et le statut légal du prisonnier. Par exemple, l'étude peut viser les consommations des prisonniers condamnés (Stewart, 2009), de ceux en détention préventive (Niveau and Ritter, 2008), ou les deux (Borrill et al., 2003). Ces trois facteurs, âge, sexe et statut légal ont donc été ajoutés au Tableau 8.2, car ils permettent de caractériser la population carcérale évoluant au sein de la prison sous étude. Le statut légal du prisonnier n'a jamais été reporté dans les cinq études ayant appliqué l'analyse des eaux usées. Le sexe a été reporté par trois des cinq études et l'âge, par une seule étude.

Où échantillonner ?

À l'instar de l'analyse des eaux usées, les méthodes conventionnelles sont déployées dans une seule prison (Borrey et al., 2003; Ritter et al., 2013) ou dans plusieurs prisons au niveau national (Fraser et al., 2001; Strang et al., 2006). Les agences européennes et mondiales compilent ces « micro-données » pour fournir une prévalence de la population carcérale au sein d'un même pays. Cela permet ensuite de comparer les populations carcérales de différents pays, offrant ainsi une perspective internationale (European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction, 2017; Fazel et al., 2006, 2017; United Nations Office On Drugs And Crime, 2015). Cette vision reposant sur la comparaison entre pays offre une information intéressante car chaque pays est défini par des politiques et pratiques différentes concernant les stupéfiants, que ce soit au niveau répressif, préventif ou de réduction des risques.

8.2.3 La nature des consommations illicites en milieu carcéral d'après les méthodes conventionnelles

Les usagers de stupéfiants sont surreprésentés parmi les personnes qui vont en prison (De Maere et al., 2000; World Health Organization, 2014). De plus, notons qu'en Europe par exemple, la plupart des prisonniers sont incarcérés pour des crimes liés aux stupéfiants (Aebi et al., 2016).

Q'est ce qui est consommé ?

La prévalence de consommation d'alcool parmi les prisonniers et les prisonnières est très élevée (Fazel et al., 2006, 2017; World Health Organization, 2014). Une revue systématique de 24 publications, réunissant presque 20'000 prisonniers (condamnés et en détention préventive) d'âge moyen 30.2 ans, comptant 64% d'hommes, a montré qu'à leur entrée en prison, un quart d'entre eux avait un problème lié à l'abus d'alcool (Fazel et al., 2017). Lors des trois derniers mois d'incarcération, 16% d'un échantillon composé de 317 prisonniers provenant de dix institutions pénitentiaires du Québec (trois institutions de sécurité minimale, cinq de sécurité intermédiaire et deux de haute sécurité) ont déclaré avoir consommé de l'alcool (Plourde and Brochu, 2002).

Le stupéfiant le plus consommé en prison est le cannabis (United Nations Office On Drugs And Crime, 2016). Les prévalences lors de l'incarcération montrent clairement que les stimulants comme la cocaïne, les amphétamines et la MDMA sont délaissés au profit du cannabis, de l'héroïne et des tranquillisants (Bullock, 2003). Comme cela a été mentionné précédemment, l'héroïne présente la caractéristique d'être détectable pendant moins longtemps dans le sang et les urines par rapport au cannabis notamment (Dolan et al., 2007). Cela implique que l'analyse d'urine pourrait être négative plus rapidement pour l'héroïne que pour n'importe quel autre stupéfiant. Cependant, il apparaît que la consommation d'héroïne est relativement faible par rapport à celle de cannabis (Plourde and Brochu, 2002; United Nations Office On Drugs And Crime, 2016).

Les stupéfiants peuvent pénétrer dans l'enceinte d'une prison par le biais de complicités de membres du personnel pénitentiaire, pendant les visites ou à travers le périmètre du mur. Parce que les stupéfiants qui ont des effets calmants sont favorisés au sein des murs, le personnel pénitentiaire ne s'opposerait pas à ce trafic. C'est en effet un moyen de calmer les prisonniers et d'apaiser leurs souffrances. Si le personnel ne semble pas s'opposer à la consommation de cannabis, cela est toutefois moins vrai pour l'héroïne (Crewe, 2005).

Dans une prison belge, environ 20% des urines testées contenaient des traces d'un ou plusieurs benzodiazépines et/ou de stupéfiants lors de l'arrivée des prisonniers. Une augmentation des tests d'urine positifs aux benzodiazépines a été observée après quinze jours d'emprisonnement (Borrey et al., 2003). La consommation de benzodiazépines n'est pas nécessairement illicite, puisqu'ils peuvent être prescrits.

Comment est-ce consommé ?

En fonction des produits consommés, les modes d'administration utilisés sont une problématique importante en termes de prévention et de réduction des risques. Le cannabis est normalement fumé, mais peut aussi être ingéré. Si l'on considère l'héroïne, elle est fumée, inhalée ou injectée. Ce dernier mode pose un problème car la voie intraveineuse est associée à un risque élevé de maladies telles que le SIDA, l'hépatite C, etc.

En réponse à la voie intraveineuse, des mesures de réduction des risques telles que la distribution de seringues propres peuvent être proposées. Cependant, les moyens de prévention, de réduction des risques et de traitement sont considérablement réduits en prison. Puisque la distribution de seringues n'est souvent pas proposée en prison, les prisonniers sont réduits à échanger et réutiliser leurs seringues (European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction, 2012; United Nations Office On Drugs And Crime, 2015). Parallèlement, les traitements de substitution aux opiacés ne sont pas disponibles dans toutes les prisons du monde (United Nations Office On Drugs And Crime, 2016; Walmsley, 2016). Lorsqu'ils sont disponibles, un examen médical est réalisé à l'entrée en prison du détenu afin d'établir quels traitements sont en cours afin qu'ils soient poursuivis ou mis en place. De plus, la nécessité de fournir des traitements alternatifs à la méthadone, comme la buprénorphine, a été avancée (Dolan et al., 2007). La buprénorphine est particulièrement indiquée en cas de dépendance à la codéine (Mattick et al., 2014).

8.2.4 L'étendue des consommations illicites en milieu carcéral d'après les méthodes conventionnelles

Perspective longitudinale

Les sondages autoreportés et les entretiens s'intéressent aux caractéristiques des usagers et de leurs usages. Le sujet de l'étude n'est donc pas la prison, mais l'individu. C'est ainsi l'évolution des consommations illicites lors de l'emprisonnement au niveau individuel qui peut être appréciée.

La consommation d'alcool et de stupéfiants par les prisonniers peut être une habitude antérieure à l'incarcération ou prise lors de l'incarcération. L'usage est en effet très prévalent avant l'emprisonnement (Liriano and Ramsay, 2003; Niveau and Ritter, 2008; Strang et al., 2006). On peut donc se demander si le fait d'être incarcéré change quelque chose par rapport à l'extérieur. Une recherche menée dans dix établissements pénitentiaires au Québec a notamment montré que les prisonniers ayant consommé lors des trois derniers mois d'emprisonnement avaient changé leur consommation en termes de produit, fréquence et quantité par rapport à leur consommation préalable à l'incarcération. En effet, 52% de ces détenus ont déclaré avoir changé de produit, 79% avoir consommé moins souvent et 65% avoir absorbé des quantités plus faibles (Plourde and Brochu, 2002). Une chute drastique de la consommation de tous les stupéfiants au fur et à mesure de l'incarcération a été observée de la même manière dans d'autres recherches (Borrey et al., 2003;

Borrill et al., 2003; Bullock, 2003; Strang et al., 2006). L'injection d'héroïne est une réalité en prison et est davantage probable si le détenu a consommé par voie intraveineuse récemment avant d'être incarcéré. À part les opiacés, la cocaïne, les amphétamines et les stéroïdes anabolisants sont également injectés lors de l'incarcération, mais dans une moindre mesure (Calzavara et al., 2003; Strang et al., 2006).

Les raisons données pour justifier la consommation de stupéfiants sont diverses : alors que certains détenus admettent consommer de l'héroïne seulement lorsqu'ils sont en prison afin d'oublier la sévérité de leur incarcération, d'autres reportent qu'ils profitent de leur temps en prison pour se sevrer (Crewe, 2005). Concernant les prisonniers qui commencent à consommer en prison, la plupart le font pour se détendre (Crewe, 2005; Plourde and Brochu, 2002). C'est aussi le cas des prisonniers qui ont commencé à consommer avant d'être en prison. Or, ces derniers déclaraient consommer avant leur incarcération principalement pour oublier ou s'amuser (Plourde and Brochu, 2002).

L'emprisonnement marque donc la modification des quantités consommées, possiblement l'arrêt de la consommation d'un stupéfiant, ou au contraire, son commencement, ou un déplacement sur une autre substance, potentiellement plus dangereuse (European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction, 2015). Il bouleverse également les raisons qui peuvent motiver la consommation. L'emprisonnement a donc un impact sur la consommation des prisonniers (Plourde and Brochu, 2002). Cette distinction au sein des sondages de la période « précédant l'incarcération » à la période « en prison » concernant la consommation en stupéfiants est très claire dans les divers rapports européens et internationaux. Par contre, elle n'existe pas pour la consommation d'alcool (European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction, 2012, 2017). Tous ces rapports mentionnent en effet que l'alcool est très prévalent chez les prisonniers et qu'il est indispensable d'en détecter la dépendance à l'arrivée d'un détenu. Bullock (2003) a observé que très peu de prisonniers admettent consommer de l'alcool lors de leur incarcération. Il est possible de se demander pourquoi un détenu ne continuerait pas à consommer de l'alcool au sein de la prison, contrairement aux stupéfiants. Ici, nous pouvons supposer qu'il est plus facile de faire pénétrer en prison des stupéfiants que de l'alcool, et ce, car ils sont plus faciles à dissimuler. Si un détenu est alcoolique et ne peut pas combler ses besoins en prison, alors il pourrait se tourner vers la consommation de stupéfiants ou d'alcool frelaté (World Health Organization, 2014).

Comparaison entre prisons

Comparer différentes prisons entre elles permet d'évaluer dans quelle mesure les prisons sont concernées par des problématiques similaires en matière de consommation en stupéfiants. Des convergences sont ainsi notées en termes des substances consommées, principalement le cannabis et l'héroïne, et au niveau de la persistance des consommations illicites en prison. Ce qui diffère significativement toutefois sont les chiffres de prévalence, qui varient de façon importante entre

les différentes études. Tel est le cas, en guise d'exemple, de trois différentes études dans lesquelles respectivement 56%, 75% et 29% des détenus ont reporté avoir consommé au moins un produit illicite lors de leur incarcération (Bullock, 2003; Edgar and O'Donnell, 1998; Plourde and Brochu, 2002). Si ces différences sont le reflet de réelles disparités, au-delà des caractéristiques des prisonniers et du type de l'établissement pénitentiaire, il n'en demeure pas moins que la comparabilité des résultats issus des méthodes conventionnelles est très délicate.

Les agences européennes et internationales réunissent les « micro-données », i.e. les résultats issus de différentes études ponctuelles réalisées au niveau local ou national, leurs données peuvent être utilisées afin d'illustrer ce point. L'OEDT reporte des intervalles de prévalence vie parmi les prisonniers avant leur incarcération de divers pays d'Europe (European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction, 2012). L'intervalle pour le cannabis s'étend de 12% en Croatie à 70% au Royaume-Uni. Ces 12 et 70% pour ne citer qu'eux, proviennent de recherches effectuées lors d'années différentes, respectivement 2010 d'une part et 2005-2006 d'autre part, à l'aide de méthodes différentes, sur des échantillons de prisonniers provenant de types d'institution différents, et purgeant des peines de durées différentes. De plus, les raisons conduisant à l'emprisonnement dépendront grandement des politiques criminelles mises en place dans chaque pays. À moins que l'ensemble des facteurs caractérisant la population carcérale et le type d'institution pénitentiaire ne soient contrôlés, comparer plusieurs prisons entre elles est une tâche extrêmement délicate.

Il n'existe pas de protocole uniformisé en Europe pour la récolte de données sur l'usage d'alcool et de stupéfiants parmi la population carcérale. Si les données de l'OEDT reflètent une réelle différence de consommation entre pays, celle-ci peut également s'expliquer par des méthodologies de collecte hétérogènes (Carpentier et al., 2012). Au-delà de la rareté des études de prévalence en prison, il est difficile d'avoir un aperçu au niveau national puisque si une étude est réalisée, elle est effectuée au niveau local, dans une prison donnée. Les périodes d'investigation sont également différentes selon les prisons. D'autre part, les questionnaires utilisés, le type de population (sexe, ethnie, etc), le statut légal du prisonnier (détention provisoire, condamné) et le type de prison (centres de détention pour mineurs, établissements dédiés aux courtes peines, ceux dédiés aux longues peines, etc) considérés peuvent être différents. Cela affecte donc forcément la comparabilité des données (Borrill et al., 2003; Fazel et al., 2017). Ce problème de comparabilité a été souligné plusieurs fois dans la littérature (European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction, 2014a, 2017; Fazel et al., 2017; World Health Organization, 2014).

Conscient de cette faiblesse, l'OEDT a proposé en 2014 un questionnaire européen uniformisé sur la consommation d'un grand nombre de substances en prison (tabac, alcool, stupéfiants, NPS, benzodiazépines, stéroïdes anabolisants, etc). Le but était ensuite de développer un guide pour la mise en œuvre de ce sondage (European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction, 2014b). Les données sociodémographiques comme le sexe, l'âge, la nationalité ainsi que les données liées à l'emprisonnement sont présentes, comme par exemple le statut légal du prisonnier.

La distinction de la période précédant l'incarcération à la période en prison est maintenant présente pour l'alcool, alors qu'elle manquait auparavant. Au sein de chacune de ces périodes, les prévalences vie, dernière année, et dernier mois sont évaluées, ainsi que les fréquences d'usage au cours du dernier mois. Les consommations d'amphétamine et de méthamphétamine sont également distinguées, alors qu'elles sont encore aujourd'hui parfois confondues sous le nom générique de consommation d'amphétamines (European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction, 2017). Il est donc intéressant de constater que les facteurs qui ont montré affecter la comparabilité entre les données sont maintenant considérés. Cependant, aucune information relative aux quantités consommées n'est présente. Il serait intéressant d'avoir cette information afin d'évaluer si les quantités consommées sont moindres par rapport à l'extérieur du fait de la disponibilité réduite au sein de la prison, comme cela a été suggéré dans certaines publications (Borrill et al., 2003; Plourde and Brochu, 2002). D'autre part, le questionnaire ne contient pas d'information quant au type de prison étudié.

Comparaison avec la population générale

La consommation d'alcool parmi les prisonniers hommes et femmes s'est systématiquement avérée être plus élevée que celle de la population générale (Fazel et al., 2006, 2017; World Health Organization, 2014).

L'OEDT reporte des intervalles de prévalence vie supérieurs dans la population carcérale par rapport à la population générale pour le cannabis (12-70% contre 1.6-33%), la cocaïne (6-53% contre 0.3-10%), l'héroïne (15-39% contre moins d'1%) et les amphétamines (1-45% contre 0-12%) (European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction, 2012). Cela implique que le phénomène d'usage de produits stupéfiants est sur-représenté parmi les prisonniers et qu'il est nécessaire de l'étudier (European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction, 2012).

La comparaison entre les prévalences d'usage de la population carcérale et celles de la population générale est réalisée dans de nombreuses recherches, et cette supériorité drastique des premières sur les secondes justifie la nécessité d'étudier les consommations illicites de la population carcérale. Mais cette comparaison fait-elle du sens? Nous avons effectivement vu que les consommateurs de drogues sont surreprésentés parmi les prisonniers. Ainsi, comparer la population générale à une population déjà caractérisée par des consommations d'alcool et stupéfiants importantes est biaisé. Ce qui serait certainement plus pertinent à considérer, c'est l'impact de l'emprisonnement sur les consommations en alcool et en stupéfiants des détenus. Pour cela, il faudrait utiliser comme population de référence une population qui minimise le biais susmentionné. Une population fraîchement incarcérée, comme celle étudiée dans le cadre des programmes DUF, ADAM et ADAM II, pourrait être typiquement choisie comme population de référence pour évaluer l'impact de l'incarcération sur les consommations illicites.

8.3 Discussion

L'analyse des eaux usées est un indicateur complexe à mettre en place au niveau méthodologique et l'interprétation des résultats qui en découle n'est pas toujours aisée. Elle offre cependant le potentiel intéressant d'augmenter le savoir sur les consommations illicites qui ont lieu en prison. Il est donc nécessaire de fournir une séquence de travail logique à appliquer en prison afin d'en maximiser son utilité.

8.3.1 Potentiel, limites et recommandations

Les sondages autoreportés échouent à capturer une image récente, voire actuelle de la consommation. Les tests d'urine sont censés être davantage objectifs que les sondages, mais ils sont invasifs et peuvent être soumis à de nombreuses manipulations afin d'éviter un résultat positif. L'analyse des eaux usées pallie ces deux désavantages en fournissant une image quasi instantanée de la consommation, tout en préservant la sphère privée des prisonniers. Au contraire des méthodes conventionnelles, elle ne requiert aucun contact avec l'individu, d'où l'objectivité de la méthode, qui a largement été soulignée European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction (2016a); Gracia-Lor et al. (2017).

L'analyse des eaux usées informe sur les tendances de consommation au sein d'une prison, en offrant des mesures journalières. La nature des consommations illicites et leur évolution dans le temps peuvent donc être évaluées. Cela souligne une des qualités de l'analyse des eaux usées, qui est celle de la comparabilité au cours du temps.

L'analyse des eaux usées permet aussi d'estimer les volumes consommés, rarement investigués par les sondages autoreportés et les entretiens. Les quantités consommées sont parfois exprimées en nombre de doses, ce qui implique de fixer l'équivalent en masse pure d'une dose. Par exemple, d'après le Tableau 8.3, une dose de cocaïne est équivalente à 100mg, une dose de méthamphétamine à 30mg. Mais ces doses sont les doses observées pour la population générale. Or, les méthodes conventionnelles ont montré que les quantités consommées diminuaient lors de l'incarcération, en tout cas pour les stupéfiants, car ceux-ci sont moins disponibles. Ainsi, en utilisant les doses issues de la population générale, il est probable que ces recherches sous-estiment le nombre réel de doses consommées. C'est pour cette raison que les quantités en mg/jour/1000hab ont été inclus dans le Tableau 8.3, en plus des chiffres en doses/jour/1000hab. Des sondages ou entretiens devraient explorer cette notion de doses pendant l'incarcération.

L'analyse des eaux usées promeut la comparabilité dans le temps, mais également entre différentes prisons, i.e. dans l'espace. Comme les méthodes conventionnelles le montrent, comparer différentes prisons entre elles est une tâche très délicate. En étant conscient de cela, pour comparer des résultats issus de l'application de l'analyse des eaux usées en prison, les caractéristiques de la prison (type d'établissement pénitentiaire) et des prisonniers (nombre, âge, sexe, statut lé-

gal) sous étude doivent être prises en compte ou, pour le moins, précisées dans chaque recherche. Ensuite, des efforts doivent être menés pour harmoniser les paramètres de calcul des quantités consommées, tels que les pourcentages d'excrétion et les équivalents en masse d'une dose. De plus, l'ensemble des données source, comme les concentrations et les valeurs de débits, doivent être reportées pour reproduire les différentes étapes de calcul, ainsi que les paramètres utilisés pour calculer les quantités consommées, si aucun consensus n'existe sur ces derniers. D'autre part, les résultats de l'analyse des eaux usées doivent être reportés de manière uniforme au sein d'une même recherche pour tous les composés cibles, voire même dans toutes les recherches, afin de favoriser les comparaisons.

⇒ Cette problématique de l'expression des résultats de l'analyse des eaux usées a été formulée sous forme de l'**Objectif technique 4**, qui est proposé au Chapitre 9, et discuté au sous-chapitre 13.2.3.

L'analyse des eaux usées a donc le potentiel d'offrir des informations utiles concernant les consommations illicites en milieu carcéral, mais elle ne révèle pas l'impact de l'incarcération sur les prisonniers, ainsi que les caractéristiques des usagers et de leurs usages. Elle doit donc être utilisée comme un indicateur complémentaire aux méthodes conventionnelles, qui fournissent des connaissances quant à la granularité de la consommation, grâce à une approche individuelle.

8.3.2 Triangulation avec d'autres indicateurs

Combiner les résultats issus des différents indicateurs offre des informations complémentaires, mais également des données de cadrage. Il est donc possible d'évaluer les convergences ou divergences au niveau des valeurs obtenues. Les méthodes conventionnelles et l'analyse des eaux usées montrent que les substances utilisées dans le cadre de traitement de substitution, comme la méthadone et la buprénorphine, ainsi que les benzodiazépines, sont consommées. Le cannabis est un stupéfiant largement consommé en prison, mais les valeurs de prévalence ainsi que les volumes consommés varient fortement entre les différentes études. Ces différences peuvent être en partie expliquées par des raisons méthodologiques. L'alcool est un produit qui ne semble pas être consommé en milieu carcéral ainsi que la MDMA, la kétamine et la méthylone, qui n'ont été que rarement quantifiées et en très faibles quantités dans les eaux usées. Quant aux divergences, l'analyse des eaux usées suggère une consommation faible mais régulière de cocaïne et de méthamphétamine. La cocaïne est, d'après les méthodes conventionnelles, délaissée en milieu carcéral. Concernant l'héroïne, elle n'a pas été détectée dans tous les établissements pénitentiaires investigués, alors que les méthodes conventionnelles appuient que sa consommation est commune en prison. Davantage d'études sont nécessaires afin d'explorer ces divergences.

Combiner l'analyse des eaux usées avec les méthodes conventionnelles appliquées au sein d'une

prison a été réalisé dans deux recherches. Les résultats de l'analyse des eaux usées ont en effet été comparés à ceux des analyses d'urine. Brewer et al. (2016) ont montré que l'occurrence de la méthamphétamine dans les eaux usées était cohérente avec le nombre de tests d'urine déclarés positifs effectués sur les détenus. D'autre part, des échantillons horaires ont été réalisés pendant trois jours pour essayer de lier la variation de méthamphétamine dans les eaux usées avec les heures de visite, mais aucune tendance particulière n'a été observée. Dans la seconde recherche de van Dyken et al. (2016), les résultats de l'analyse des eaux usées ont été comparés à ceux des tests d'urine afin de déterminer l'efficacité de ce dernier indicateur. Il est apparu que les analyses d'urine obligatoires n'ont pas mis en évidence certaines substances qui ont été pourtant quantifiées par l'analyse des eaux usées. Cependant, cette comparaison souffre de limitations, car le nombre de tests d'urine réalisés était limité et les jours lors desquels ils ont été réalisés ne coïncidaient pas avec la campagne de prélèvement des eaux usées.

Combiner l'analyse des eaux usées avec d'autres données peut également être utilisé à des fins de renseignement. En effet, en comparant les résultats de l'analyse des eaux usées avec les données de prescription, la présence de trafic illicite au sein de la prison sous étude a pu être évaluée. Dans la première étude de van Dyken et al. (2014), le nombre de doses estimé sur la base de l'analyse des eaux usées a été comparé aux données de prescription de méthadone. Les résultats ont suggéré une absence de trafic illégal. Dans la seconde étude des mêmes auteurs, les quantités consommées de méthadone et de buprénorphine ont été comparées de nouveau aux données de prescription. Le trafic illégal de buprénorphine au sein de l'établissement apparaît plus important que celui de méthadone (van Dyken et al., 2016). En France, la consommation de méthadone estimée à partir de l'analyse des eaux usées s'est avérée cohérente avec les quantités de méthadone prescrites. La même chose a été observé pour la buprénorphine. Ici, d'intéressantes convergences ont été observées en comparant l'analyse des eaux usées et les données de prescription, corroborant la validité de l'analyse des eaux usées en tant qu'indicateur de la consommation de stupéfiants (Néfau et al., 2017).

Au-delà de la triangulation de l'analyse des eaux usées avec d'autres indicateurs, quelles mesures peuvent être prises? En effet, que faire de l'héroïne quantifiée dans la prison espagnole ainsi que de la méthamphétamine dans la prison australienne? Est-ce que des mesures de prévention et de réduction des risques sont mises en place? Par exemple, est-ce que des distributions de seringues propres sont envisagées pour encadrer le mode d'administration intraveineux? En complémentarité de l'analyse des eaux usées comme méthode d'évaluation des consommations illicites en prison, l'analyse du contenu des seringues est proposée. Cela suppose toutefois l'existence d'un programme de distribution de seringues propres au sein de l'établissement. Cet indicateur fournirait une vue d'ensemble sur les substances qui sont injectées et d'adapter les mesures de prévention et de réduction des risques au sein de la prison en question. De plus, évaluer la présence d'un trafic illicite d'une substance grâce aux données de prescription permet

de guider les mesures de répression sur cette substance en question.

D'autre part, le nombre de personnes qui contribuent aux eaux usées peut être estimé en analysant un biomarqueur présent dans les prélèvements d'eaux usées. L'avantage d'analyser les eaux usées issues d'une prison est qu'il y a un certain contrôle sur le nombre de personnes contribuant aux eaux usées, contrairement à une ville, comme cela a été expliqué auparavant. Le nombre de personnes enregistré dans la prison peut ainsi être comparé au nombre de personnes estimé par l'analyse d'un biomarqueur présent dans les eaux usées. Cela pourrait ainsi permettre d'évaluer la validité du biomarqueur utilisé.

8.3.3 Proposition d'une stratégie de déploiement de l'analyse des eaux usées en milieu carcéral en complément des autres indicateurs

Après avoir discuté le potentiel et les limites de l'analyse des eaux usées et la nécessité de la trianguler avec d'autres sources de données, une démarche logique pour appliquer l'analyse des eaux usées en prison peut être proposée. Cette stratégie est décrite dans le Tableau 8.4.

L'analyse des eaux usées est un indicateur à déployer dans une première phase au sein d'une prison, afin de connaître la nature et les quantités des substances illicites consommées. Elle doit être appliquée sur le long terme, pour monitorer les variations temporelles de ces consommations illicites.

Ensuite, comparer différentes prisons entre elles permet d'évaluer dans quelle mesure les prisons sont concernées par des problématiques similaires en matière de consommation en stupéfiants, d'abord à un niveau national, puis international. À ce propos, les composés reportés au Tableau 8.1, qui ont été recherchés dans les cinq études déjà publiées, devront être ciblés, afin que des comparaisons puissent être menées.

Comparer par la suite les consommations illicites au sein de la prison à celles de la population générale peut être réalisé, afin d'établir les niveaux de consommations illicites entre eux.

Une fois que l'état des consommations illicites au sein de la prison est connu et bien établi, d'autres indicateurs peuvent être développés pour évaluer les résultats de l'analyse des eaux usées. Par ailleurs, les résultats de l'analyse des eaux usées peuvent être utilisés pour guider la mise en place de mesures de prévention, de réduction des risques et de répression, adaptées à la prison sous étude. L'analyse des eaux usées s'avère ainsi un indicateur précieux en termes de politiques sanitaire, criminelle, sociale et pénitentiaire en prison, en complémentarité de sa triangulation avec d'autres indicateurs.

TABLEAU 8.4 – Stratégie de déploiement de l'analyse des eaux usées en milieu carcéral

Objectif poursuivi	Remarque
État des consommations illicites dans une prison	<ul style="list-style-type: none"> • Nature des substances consommées • Évolution des charges absolues et per capita • Volumes consommés absolus et per capita
Perspective longitudinale	Évolution des consommations illicites au cours du temps pour une prison donnée
Comparaison entre prisons	Similarités et différences des consommations illicites entre différentes prisons (à réaliser avec prudence)
Comparaison avec la population générale	Similarités et différences des consommations illicites au sein de la prison par rapport à une agglomération proche
Triangulation avec d'autres indicateurs (Méthodes conventionnelles, données de prescription, analyse du contenu des seringues)	<ul style="list-style-type: none"> • Convergences et divergences des résultats • Caractéristiques des usagers et de leurs usages • Production de renseignement • Évaluation des politiques de prévention, répression et réduction des risques

⇒ Les objectifs décrits dans le Tableau 8.4 seront traduits sous la forme de trois **Hypothèses de recherche**, qui sont énoncées au sous-chapitre 9.5.2, et qui seront testées aux sous-chapitres 12.3.3 et 12.3.4.

Troisième partie

De la théorie à la pratique

Chapitre 9

Proposition d'application

9.1 But général

Les deux parties précédentes de ce manuscrit ont développé les aspects techniques de l'analyse des eaux usées et les connaissances qu'elle est susceptible d'apporter lors d'un festival et au sein d'une prison, en complément des autres indicateurs existants sur les consommations illicites. Le but général ou la question de recherche qui est poursuivie dans le cadre de cette thèse est introduite ici.

Q_R L'épidémiologie basée sur l'analyse des eaux usées est un indicateur utile permettant d'évaluer la nature et l'étendue des consommations illicites en milieu festif et en milieu carcéral. Elle offre plusieurs niveaux de comparaison, que ce soit au cours du temps ou dans l'espace. Il s'agit ainsi de déployer lors d'un festival et au sein d'une prison la stratégie de travail proposée précédemment, afin de développer les connaissances concernant les consommations illicites dans ces milieux.

9.2 Description du milieu festif étudié : le Paléo Festival

Le Paléo Festival est un festival qui se déroule entre le milieu et la fin du mois de juillet en plein air. Il dure habituellement du mardi au dimanche, ou une semaine entière, s'il s'agit d'une année particulière. Il se situe à l'extérieur de la ville de Nyon, dans le canton de Vaud, plutôt en milieu rural, entre les villes de Genève et de Lausanne.

Il dispose d'un camping et si les concerts commencent chaque jour en milieu d'après-midi, le site comporte un village accessible dès la fin de la matinée. Les concerts terminent vers 2 ou 3h du matin et le site ferme ses portes à 5h. Le camping ouvre ses portes un jour avant le début du festival et ferme le lendemain du dernier soir du festival.

Chaque soir, environ 50'000 personnes sont présentes au festival, qui attire tous les types de publics, autant les familles que les plus âgés et les personnes friandes de musique électronique grâce à sa programmation éclectique. Le public est fidèle au festival, dont la notoriété est reconnue.

Le festival dispose d'installations sanitaires directement reliées au réseau d'égouts de la ville de Nyon. De plus, à certains endroits du camping, des toilettes portables sont à disposition. Leur vidange est effectuée à la STEP de Nyon, à un rythme qui dépend de leur remplissage. Cela signifie que toutes les eaux usées du festivals parviennent à la STEP de Nyon. Les prélèvements seront donc effectués à l'entrée de celle-ci. Au niveau des eaux usées brutes, où le prélèvement devra être effectué, les eaux usées pénètrent dans une conduite pressurisée dans laquelle une mesure de débit à haute résolution est réalisée. Ces mesures nous ont été transmises. Lors de l'édition 2014 du festival, les données du débit correspondaient à des valeurs horaires, c'est-à-dire 24 valeurs de débit pour évaluer le débit journalier. En 2015, lors d'une semaine sans festival et du festival, un programme développé par l'informaticien de la STEP de Nyon a permis d'obtenir des mesures de débit toutes les cinq minutes. Cela a abouti à 288 mesures de débit au cours de 24h, au lieu des 24 mesures lors de 2014.

Le festival ne dispose pas de *drug checking*. Les données relatives aux saisies effectuées par la police ont été récoltées lors de la seconde année de campagne des prélèvements.

9.3 Description du milieu carcéral étudié : la prison Cœliaque

La prison Cœliaque¹ est une petite prison. L'établissement accueille des détenus de sexe masculin. Les peines lourdes y sont purgées, il n'y a pas de détention provisoire. Nous pouvons donc supposer que le nombre de prisonniers sera relativement stable et que les variations du nombre de personnes seront liées au rythme de travail des collaborateurs de la prison, ainsi qu'au nombre de visiteurs. Une vingtaine de personnes travaillent à la prison, outre le service sanitaire. Le nombre de détenus ne peut pas être divulgué car cette information pourrait permettre l'identification de la structure.

Nous remarquons que cette prison ne fait pas partie des établissements pénitentiaires suisses qui distribuent du matériel stérile aux détenus.

L'étude du réseau des canalisations d'eaux usées a permis d'identifier une conduite regroupant toutes les eaux usées du bâtiment dans l'enceinte du bâtiment, et qu'un point d'accès à cette conduite était également présent dans l'enceinte. C'est donc à cet endroit qu'un système de prélèvement a été déployé.

La service pénitentiaire a fourni les données de prescription de méthadone afin de pouvoir les comparer aux résultats de l'analyse des eaux usées.

1. Il s'agit d'un nom fictif, afin de conserver l'anonymat de la prison.

9.4 Déployer l'analyse des eaux usées : objectifs techniques

L'analyse des eaux usées a été déployée lors du Paléo Festival et au sein de la prison Cœliaque. Pour ce faire, il a été nécessaire de développer la méthodologie discutée à la Partie I. Certains aspects techniques seront communs au festival et à la prison, alors que d'autres seront spécifiques à chacun de ces environnements.

9.4.1 Prélèvement des traces

Les revues de littérature menées aux Chapitres 7 et 8 montrent que l'échantillonnage passif n'a jamais été utilisé en milieu festif et en milieu carcéral et que c'est l'échantillonnage actif qui a toujours été privilégié. Cela est sans doute dû au fait que l'échantillonnage actif permet de monitorer au jour le jour les consommations illicites, et ainsi, d'évaluer les tendances tout au long d'un événement festif ou au cours du temps au sein d'une prison. Cette granularité de mesure n'est pas possible avec un échantillonnage passif, qui a donc été délaissé dans le cadre de cette recherche, au profit d'un échantillonnage actif. Comme cela a été précisé auparavant, l'échantillonnage dépend de l'endroit où il peut être déployé. Cela signifie donc que l'objectif technique lié à cette problématique est spécifique à chacun des deux milieux étudiés. Idéalement, un échantillonnage actif discret proportionnel au débit sera privilégié, ou proportionnel au volume si le critère de la linéarité du volume prélevé ne peut pas être rempli par le préleveur.

Objectif technique 1_{Paleo}

Mettre en place un échantillonnage actif des eaux usées à l'entrée de la STEP de Nyon.

⇒ L'Objectif technique 1_{Paleo} est discuté au sous-chapitre 11.2.

Objectif technique $1_{Coeliaque}$

Mettre en place un échantillonnage actif au niveau de la canalisation dans laquelle circulent l'ensemble des eaux usées de la prison Cœliaque.

⇒ L'Objectif technique $1_{Coeliaque}$ est discuté au sous-chapitre 12.2.

9.4.2 Description des traces

Les composés pertinents sont les substances illicites consommées en milieu festif et en milieu carcéral. En milieu festif, il s'agit des stupéfiants et en milieu carcéral, de l'alcool et des stupéfiants. La stabilité de ces composés dépend du temps de résidence des eaux usées du site étudié. Quant aux pourcentages d'excrétion, les valeurs utilisées par le Dr. Frederic Béen dans le cadre de sa thèse ont été utilisées (Been, 2015). Cet objectif technique, commun aux deux milieux étudiés, a donc été de définir la liste des composés à rechercher et leurs paramètres associés.

Objectif technique 2

Définir les composés pertinents à rechercher en milieu carcéral et en milieu festif dans les eaux usées.

⇒ L'**Objectif technique 2** est discuté au sous-chapitre 10.1.

9.4.3 Analyse des traces cibles

L'École des Sciences Criminelles dispose d'un robot SPE et d'une LC-QTRAP. La LC-QTRAP est un système équipé d'une chromatographie en phase liquide et couplée à un spectromètre de masse en tandem. Ce dernier est hybride et constitué d'un triple quadripôle, dont le troisième est une trappe linéaire, permettant l'accumulation des ions. Cette accumulation des ions permet en plus du temps de rétention et des deux transitions MRM d'obtenir un nouveau critère d'identification du composé, qui est le spectre de masse du composé cible (de Hoffmann and Stroobant, 2007). Du fait de la diversité des composés ciblés, il a été nécessaire de développer plusieurs méthodes afin d'optimiser la qualité d'analyse. Cet objectif a été commun aux deux milieux étudiés.

Objectif technique 3

Développer une méthode d'analyse des composés cibles retenus dans les eaux usées.

⇒ L'**Objectif technique 3** est discuté au sous-chapitre 10.2.

9.4.4 De la trace *métabolite* à l'indice *consommation illicite*

Traitement des données

Une problématique soulevée par l'approche fondamentale est celle liée à l'expression des résultats. Est-il possible d'uniformiser le report des résultats de l'analyse des eaux usées? Si oui, comment faut-il les reporter? Par exemple, un résultat en nombre de doses par jour absolu ou per capita est délicat car les doses peuvent varier d'une population à une autre. De plus, l'équivalent en masse d'une dose varie également entre études. Exprimer les quantités consommées par jour en valeur absolue ou per capita est ainsi éventuellement plus simple. D'autre part, une campagne d'échantillonnage est généralement déployée sur plusieurs jours, consécutifs lors d'un festival, ou stratifiés dans le cas d'un établissement carcéral. Quelles données fournir? Une moyenne de consommation par jour? L'intervalle des quantités mesurées? La quantité totale consommée lors du festival? L'information n'est pas la même selon le lieu considéré et ce que l'on souhaite étudier. Ainsi, cet objectif a été réfléchi de manière conjointe pour les deux milieux.

Objectif technique 4

Suggérer une manière de reporter les résultats de l'analyse des eaux usées

⇒ L'Objectif technique 4 est discuté au sous-chapitre 13.2.3.

Mesurer la taille de la population

La taille de la population est une donnée qui permet, entre autre, de normaliser les valeurs absolues pour obtenir leur équivalent per capita. Une estimation de la taille de la population a été réalisée en utilisant l'ammonium comme biomarqueur. Une approche analogue a été proposée par le Dr. Frederic Béen dans le cadre de sa thèse, et été reconsidérée plus en profondeur ici (Been, 2015). Ce biomarqueur est particulièrement intéressant puisqu'il est introduit dans le réseau des eaux usées principalement via les toilettes (Butler et al., 1995). Cela suggère qu'il provient en majorité des contributions humaines, contrairement à d'autres biomarqueurs qui sont davantage influencés par des sources externes (Daughton, 2012).

L'ammonium est analysé de façon routinière dans certaines STEP, mais pas dans celle de la ville de Nyon. Les prélèvements dans le cadre de la prison ont été réalisés au niveau d'une canalisation, ce qui signifie que les mesures d'ammonium n'étaient pas disponibles. Il a donc été nécessaire de développer une technique de mesure de l'ammonium dans les échantillons d'eaux usées commune au Paléo Festival et à la prison.

Objectif technique 5

Développer une méthode de mesure de l'ammonium dans les eaux usées

⇒ L'Objectif technique 5 est discuté au sous-chapitre 10.4.

Lors du Paléo Festival, les prélèvements ont été réalisés à la STEP de Nyon. Les STEP en Suisse utilisent un équivalent habitant en ammonium par défaut de 7 g/jour/hab par défaut (Station d'épuration de Nyon, 2016; Been et al., 2014). Ce chiffre a cependant été adapté en fonction de la STEP de Nyon. Un équivalent habitant représentatif de celle-ci a pu être estimé par la consultation des bilans d'épuration vaudois publiés annuellement (Direction générale de l'environnement, 2015, 2014, 2013, 2012, 2011). Une telle démarche n'a pu être entreprise à la prison Coeliaque puisque les prélèvements ont été réalisés au niveau d'une canalisation. La valeur par défaut de 7 g/jour/hab a donc été employée.

Objectif technique 6_{Paleo}

Déterminer l'équivalent habitant en ammonium associé à la STEP de Nyon

⇒ L'**Objectif technique 6_{Paleo}** est discuté au sous-chapitre 11.3.2.

Enfin, les résultats de l'ammonium ont été confrontés aux données de population disponibles pour chacun des deux milieux étudiés. Le comité d'organisation du Paléo Festival a fourni les nombres de festivaliers et de personnel présents lors de chaque jour du festival, lors des éditions 2014 et 2015. Les nombres de détenus, du personnel pénitentiaire et de visiteurs présents chaque journée d'échantillonnage ont été fournis par la direction de la prison Coeliaque. La confrontation de ces données à la taille de la population estimée avec l'ammonium a permis d'évaluer la validité de ce biomarqueur comme indicateur de la taille de la population. Cet objectif a été étudié séparément pour les deux milieux considérés.

Objectif technique 7_{Paleo}

Évaluer l'utilisation de l'ammonium comme marqueur de population en confrontant la taille de la population obtenue par la mesure de l'ammonium aux données fournies par le festival

⇒ L'**Objectif technique 7_{Paleo}** est discuté au sous-chapitre 11.3.2.

Objectif technique 6_{Coeliaque}

Évaluer l'utilisation de l'ammonium comme marqueur de population en confrontant la taille de la population obtenue par la mesure de l'ammonium aux données fournies par la prison

⇒ L'**Objectif technique 6_{Coeliaque}** est discuté au sous-chapitre 12.3.2.

9.5 Déployer l'analyse des eaux usées : hypothèses de recherche

9.5.1 Dans le cadre du Paléo Festival

Les hypothèses de recherche proposées sont liées aux objectifs exposés dans la stratégie de déploiement de l'analyse des eaux usées en milieu festif, énoncée au Tableau 7.3.

L'analyse des eaux usées permettra dans un premier temps d'apprécier les consommations illicites lors du Paléo Festival 2014. Une autre campagne de prélèvements a été réalisée lors de l'édition 2015 du Paléo Festival, dans le but d'étudier les similarités et les différences de consommations illicites dans ce cadre festif au cours du temps. Cette appréciation temporelle est le sujet de l'**Hypothèse 1** liée au Paléo Festival.

⇒ L'**Hypothèse 1**_{Paleo} est discutée au sous-chapitre 11.3.3.

Afin de caractériser l'ampleur de la consommation en stupéfiants au sein du Paléo Festival, une comparaison avec les consommations illicites observées lors d'un festival en Australie sera considérée. En matière de quantités consommées, seule la comparaison avec ce festival australien sera menée puisqu'il s'agit de la seule étude quantitative sur le sujet (Lai et al., 2013). Ensuite, les consommations lors des deux éditions successives du Paléo Festival seront comparées à celles de la population générale. Puisque les prélèvements ont été réalisés à la STEP de la ville de Nyon, ville dans la périphérie de laquelle se tient le festival, l'impact du festival sur les consommations observées en temps normal sera apprécié. Pour ce faire, une campagne d'échantillonnage lors d'une semaine normale, sans festival, a été effectuée. De plus, les résultats du projet MARSTUP, visant l'étude de la structure et des produits du marché des stupéfiants dans le canton de Vaud, seront utilisés pour comparer les consommations mises en évidence lors des Paléo Festivals 2014 et 2015 à celles de l'ensemble du canton de Vaud. Confronter les consommations lors du festival à celles de Nyon et du canton de Vaud équivaut à comparer les consommations de la population festive à celles de la population générale. L'ensemble des comparaisons discuté dans ce paragraphe constitue l'**Hypothèse 2** liée au Paléo Festival.

⇒ L'**Hypothèse 2**_{Paleo} est discutée au sous-chapitre 11.3.4.

Enfin, les résultats obtenus par l'analyse des eaux usées seront confrontés aux saisies effectuées sur le site du Paléo Festival en 2015. Cela permettra d'évaluer si l'action policière menée lors du Paléo Festival complète les connaissances relatives aux consommations illicites mises en évidence par l'analyse des eaux usées. Ce travail constitue l'**Hypothèse 3** liée au Paléo Festival.

⇒ L'**Hypothèse 3**_{Paleo} est discutée au sous-chapitre 11.3.5.

9.5.2 Dans le cadre de la prison Cœliaque

Les hypothèses de recherche proposées sont liées aux objectifs exposés dans la stratégie de déploiement de l'analyse des eaux usées en milieu carcéral, énoncée au Tableau 8.4.

L'analyse des eaux usées a été déployée dans la prison Cœliaque afin d'évaluer la nature des produits consommés au sein de cet établissement pénitentiaire. L'étude s'est poursuivie pendant cinq mois dans le but d'apprécier l'évolution temporelle de ces consommations illicites. Ces interrogations sont le sujet de l'**Hypothèse 1** liée à la prison Cœliaque.

⇒ L'**Hypothèse 1**_{Cœliaque} est discutée au sous-chapitre 12.3.3.

En matière de quantités consommées, les résultats seront comparés à ceux des cinq études ayant déployé l'analyse des eaux usées en milieu carcéral. La comparaison entre la consommation au sein de la prison et celle de l'agglomération proche sera réalisée afin d'apprécier les consommations de la population carcérale par rapport à celles de la population générale. Ces comparaisons constituent l'**Hypothèse 2** liée à la prison Cœliaque.

⇒ L'**Hypothèse 2**_{Cœliaque} n'a pas pu être testée et les raisons en sont exposées au sous-chapitre 12.2.

Enfin, une comparaison des quantités consommées de méthadone estimées par l'analyse des eaux usées par rapport à la quantité totale prescrite aux détenus sera entreprise. Elle permettra d'évaluer la qualité de déploiement de l'analyse des eaux usées au sein de la prison Cœliaque. Ce travail caractérise l'**Hypothèse 3** liée à la prison Cœliaque.

⇒ L'**Hypothèse 3**_{Cœliaque} est discutée au sous-chapitre 12.3.4.

Chapitre 10

Méthodologie commune appliquée au Paléo Festival et à la prison Cœliaque

10.1 Sélection des traces cibles

Si l'on se réfère au Tableau 7.1, quatre groupes de substances illicites ont été recherchés dans les eaux usées des festivals, à savoir les produits cocaïniques (cocaïne, benzoylecgonine), les amphétamines et dérivés (MDMA, amphétamine, méthamphétamine), les cannabinoïdes (THC-COOH) et les NPS (méphédronne, méthylone, BZP). Ces mêmes groupes ont aussi été recherchés dans les eaux usées des prisons, tout comme la cocaéthylène, la MDA, la MDEA, l'éphédrine, l'OH-THC, la 4-MEC. D'autres groupes ont également été considérés, à savoir les opioïdes (héroïne, 6-MAM, morphine, codéine, méthadone, EDDP, buprénorphine), les benzodiazépines (oxazépam, alprazolam), le LSD, la kétamine et leurs métabolites respectifs (voir Tableau 8.1).

Afin de pouvoir comparer les résultats de la présente recherche à ceux des précédentes études, les produits cocaïniques (cocaïne et benzoylecgonine), les amphétamines et dérivés (MDMA, amphétamine, méthamphétamine), le THC-COOH, les NPS (méphédronne, méthylone, BZP), les opioïdes (héroïne, 6-MAM, morphine, méthadone, EDDP), le LSD et la kétamine ont été sélectionnés comme traces cibles. La MDPV (méthylène-dioxypyrovalérone) a été ajoutée à la classe des NPS car elle est, au même titre que la méphédronne et la méthylone, une cathinone synthétique qui a fait son apparition sur la scène festive européenne (European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction, 2011). La HMMA (3-méthoxyméthamphétamine, métabolite de la MDMA) a été incluse dans la liste afin de pouvoir calculer les ratios de concentration entre la substance mère et le métabolite. C'est également pour cette raison que la cocaïne, la 6-MAM et l'EDDP ont été conservés. Intuitivement, les ratios devraient être stables pour une STEP donnée. S'ils ne le sont pas, il pourrait s'agir d'un problème d'analyse de la substance mère ou du métabolite, ou alors que la substance mère ou le métabolite ou les deux ne sont pas stables dans les eaux usées par exemple. La morphine est quant à elle utilisée afin d'évaluer la consommation d'héroïne (Been et al., 2015; Zobel et al., 2017).

L'OH-THC et le THC ont été délaissés au profit du THC-COOH, l'OH-LSD et le nor-LSD au profit du LSD et la nor-kétamine au profit de la kétamine, car ils sont excrétés en trop petites quantités (Baselt, 2011; European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction, 2014a). Il a été décidé d'exclure la MDA, la MDEA, l'éphédrine, la 4-MEC, la codéine, la buprénorphine et les benzodiazépines de la liste des composés cibles pour concentrer le raisonnement sur les substances précitées.

Enfin, l'alcool, bien qu'illicite en prison, n'a pas été recherché jusqu'à présent dans les eaux usées en milieu carcéral. L'analyse de l'alcool dans les eaux usées requiert un autre type d'analyse que les substances précitées. Il a donc été exclu afin de limiter l'étude strictement aux produits stupéfiants.

Le Tableau 10.1 présente les traces cibles retenues pour cette étude, ainsi que leurs abréviations qui seront employées par la suite. Il précise pour chaque produit stupéfiant la substance mère, le métabolite sélectionné pour réaliser l'estimation des quantités et les éventuelles problé-

matiques liées à la recherche de ce dernier dans les eaux usées, par exemple si l'un s'excrète sous forme conjuguée ou si un autre est enclin à la sorption (Baselt, 2011; Khan and Nicell, 2012; Esseiva et al., 2011; Murphy and Huestis, 2005; Postigo et al., 2008; Zuccato et al., 2008). Les pourcentages d'excrétion indiqués sont issus du travail de thèse du Dr. Frederic Béen (Been, 2015).

Pour les NPS, le composé qui a été recherché était la substance mère excrétée telle quelle, car ce sont généralement des produits dont la pharmacodynamie et pharmacocinétique sont mal connues. C'était aussi le cas de certains stupéfiants classiques, comme la MDMA et l'amphétamine par exemple. En effet, nous rappelons qu'ils sont le métabolite de leur propre consommation. Cela pose évidemment un problème : il est impossible d'exclure que la présence d'une de ces substances dans les eaux usées provienne d'un déversement volontaire dans les toilettes plutôt que de la consommation.

Concernant le cannabis, les estimations de quantités basées seulement sur le pourcentage d'excrétion urinaire du THC-COOH aboutissent à des surestimations aberrantes (Been et al., 2016c). Il est donc nécessaire de combiner les données des eaux usées à des données épidémiologiques afin de fournir des résultats cohérents. Dans le cadre de ce manuscrit, nous avons par conséquent pris le parti de ne reporter que les charges absolues et per capita.

Concernant la stabilité des analytes, il est important de tenir compte du temps de parcours des eaux usées entre le moment auquel la chasse d'eau est tirée et le moment auquel elle parvient au point de prélèvement. Ce temps de parcours doit idéalement être inférieur au temps que met la substance avant de commencer à se dégrader (Khan and Nicell, 2011, 2012). Dans le cas du Paléo Festival, les eaux usées arrivent à la STEP de Nyon par gravité. Le temps de résidence des eaux usées dans le réseau varie en moyenne entre dix et trente minutes, ce qui signifie que la stabilité des composés ne devrait pas être affectée. Concernant la prison Coeliaque, le point de prélèvement étant très proche du bâtiment, le temps de résidence d'une chasse d'eau avant d'arriver au point de prélèvement était très court. Il a donc été considéré que la stabilité des composés n'était pas affectée.

La sélection des composés cibles a permis de remplir l'**Objectif technique 2**.

TABLEAU 10.1 – Substance active, métabolite associé et données d'excrétion

Substance mère	Métabolite utilisé pour l'estimation	Taux d'excrétion	Remarque
Cocaïne (COC)	Benzoylécgonine (BE)	31 ± 3.4%	Présence non négligeable de benzoylécgonine dans la cocaïne car c'est un produit de dégradation de la cocaïne (Esseiva et al., 2011)
MDMA	MDMA	16 ± 1.8%	Impossible de distinguer un déversement direct d'une consommation
Amphétamine (AMPH)	Amphétamine	29 ± 0.93%	Impossible de distinguer un déversement direct d'une consommation
Méthamphétamine (MAMPH)	Méthamphétamine ! Amphétamine	29 ± 2.6% 5.5 ± 1.5%	<ul style="list-style-type: none"> Impossible de distinguer un déversement direct d'une consommation Se métabolise en partie en amphétamine (Baselt, 2011)
Héroïne (HER)	Morphine (MOR)	48 ± 2.4%	<ul style="list-style-type: none"> Morphine s'excrète par les urines sous forme libre majoritairement et en petite proportion sous forme conjuguée Excrétion minoritaire par les selles (Baselt, 2011; Murphy and Huestis, 2005) Produit de transformation de 6-MAM et codéine (Baselt, 2011) Contribution thérapeutique (Been et al., 2015; Zuccato et al., 2008)
Méthadone (MET)	Méthadone	20 ± 2.6%	Impossible de distinguer un déversement direct d'une consommation
Cannabis	THC-COOH	0.039 ± 0.018%	<ul style="list-style-type: none"> THC entièrement métabolisé dans le corps humain et par conséquent pas recherché (Baselt, 2011) Excrétion majoritaire par voie fécale du THC-COOH sous forme libre Excrétion minoritaire par les urines du THC-COOH sous forme conjuguée principalement Sont enclins à la sorption (Khan and Nicell, 2012)
Méphédronne (MEPH)	Méphédronne	n.a.	Impossible de distinguer un déversement direct d'une consommation
Méthylone	Méthylone	n.a.	Impossible de distinguer un déversement direct d'une consommation
BZP	BZP	n.a.	Impossible de distinguer un déversement direct d'une consommation
MDPV	MDPV	n.a.	Impossible de distinguer un déversement direct d'une consommation
LSD	LSD	n.a.	<ul style="list-style-type: none"> Excrété en très faible quantité par le corps (Baselt, 2011; Postigo et al., 2008) Impossible de distinguer un déversement direct d'une consommation
Kétamine (KET)	Kétamine	n.a.	Impossible de distinguer un déversement direct d'une consommation

10.2 Développement de la méthode d'analyse

10.2.1 Standards et réactifs

Les solutions standards de COC, BE, HER, 6-MAM, MOR, MDMA, HMMA, AMPH, MAMPH, THC-COOH, MEPH, méthylone, BZP, LSD, MDPV à 1mg/mL et leurs analogues deutérés (COC- d_3 , BE- d_3 , HER- d_3 , 6MAM- d_3 , MOR- d_3 , MDMA- d_3 , AMPH- d_3 , MAMPH- d_3 , THC-COOH- d_3 , MEPH- d_3 , méthylone- d_3 , BZP- d_3 , LSD- d_3) à 0.1 mg/mL dans l'acétonitrile, éthanol ou méthanol ont été achetées chez Lipomed (Arlesheim, Suisse). La solution de HMMA- d_3 a été achetée chez ReseaChem (Burgdorf, Suisse) sous forme de poudre puis dissoute à raison de 0.1 mg/mL dans du méthanol. La MDPV- d_8 a été achetée chez LGC Standards (Wesel, Allemagne) en solution de 0.1 mg/mL dans du méthanol. La KET et la KET- d_4 ont été achetées auprès de Sigma-Aldrich (Buchs, Suisse) en solution de respectivement 1 et 0.1 mg/mL dans du méthanol.

Une solution stock de stupéfiants (COC, BE, HER, 6-MAM, MOR, MDMA, HMMA, AMPH, MAMPH, THC-COOH) et une solution stock de leurs analogues deutérés à 1 $\mu\text{g/mL}$ ont été préparées dans du méthanol et conservées au congélateur. Avant chaque procédure d'établissement d'une courbe de calibration, des solutions de travail de 100 et 10 ng/mL étaient préparées fraîchement ainsi qu'une solution deutérés de 20 ng/mL, toutes dans de l'eau + 0.1% acide formique : méthanol (90 : 10 volume : volume).

Une solution stock des NPS (MEPH, méthylone, BZP, MDPV, LSD, KET)¹ à 5 $\mu\text{g/mL}$ et une solution stock de leurs analogues deutérés à 0.1 $\mu\text{g/mL}$ ont été préparées dans du méthanol et conservées au congélateur. Avant chaque procédure d'établissement d'une courbe de calibration, des solutions de travail de 50 et 5 ng/mL étaient préparées fraîchement ainsi qu'une solution de deutérés de 8 ng/mL, toutes dans de l'eau + 0.1% acide formique : méthanol + 0.1% acide formique (90 : 10 volume : volume).

L'eau Ultra Chromasolv, l'eau avec 0.1% d'acide formique Ultra Chromasolv, le méthanol Ultra Chromasolv et le méthanol avec 0.1% d'acide formique Ultra Chromasolv sont de haute qualité analytique. Ces produits ainsi que l'hydroxyde d'ammonium 25% et l'acide chlorhydrique 37% ont été achetés chez Sigma-Aldrich (Buchs, Suisse). L'eau Evian a été utilisée comme matrice d'eau propre.

10.2.2 Prétraitements

Une fois l'échantillon composite préparé², il est filtré sous vide sur Büchner à travers un filtre en microfibre de verre 0.7 μm GF/F (Whatman, Kent, Royaume-Uni) afin de retirer les particules en suspension. La mesure d'ammonium est réalisée à ce moment là selon une procédure explicitée

1. Le LSD et la KET ne sont pas des NPS, mais pour simplifier le nom de la méthode dans le texte, le mot NPS a été employé

2. La préparation de l'échantillon composite est propre aux procédures d'échantillonnage développées. Celle-ci varie entre le Paléo Festival et la prison Coeliaque et sera donc exposée ultérieurement dans leur Chapitre respectif.

ultérieurement.

L'échantillon est ensuite ajusté à une valeur de pH 2, d'une part pour stabiliser les analytes, et d'autre part pour le préparer à l'extraction SPE. Une fois filtré et acidifié, 150 mL d'échantillon sont placés dans une bouteille en verre ou en plastique.

À ce stade, chaque échantillon est dopé avec la solution stock deutérés des stupéfiants classiques de 0.1 $\mu\text{g}/\text{mL}$ à une concentration de 250 ng/L (37.5 μL) et avec la solution stock deutérés des NPS et autres de 0.1 $\mu\text{g}/\text{mL}$ à une concentration de 16.7 ng/L (25 μL). Dans le cas où l'extraction ne peut pas être immédiatement réalisée, l'échantillon est conservé au congélateur à -22°C .

10.2.3 Extraction

Les cartouches MCX peuvent être employées pour tous les composés d'intérêt cités dans le Tableau 10.1 (González-Mariño et al., 2012; Bade et al., 2017; Kankaanpää et al., 2014; Lai et al., 2013), même si certains présentent de meilleurs rendements d'extraction avec les cartouches HLB, comme c'est le cas pour l'héroïne par exemple (environ 90% avec la HLB, contre environ 15% avec la MCX) (Baker and Kasprzyk-Hordern, 2011). Extraire l'ensemble des composés sur la même cartouche permet de ne préparer qu'un seul échantillon et d'ainsi d'économiser du temps lors des étapes de prétraitement, d'extraction et d'élution.

Une cartouche se caractérise par le volume du tube, la masse d'adsorbant et la granulométrie des particules. Plus le volume d'échantillon à extraire est élevé, plus le volume du tube est important. Un volume de tube de 3mL est utilisé pour des échantillons ne dépassant pas 1L (Castiglioni et al., 2006; Kasprzyk-Hordern et al., 2009). Concernant la masse d'adsorbant contenue dans la cartouche, elle devrait être sélectionnée pour que la quantité totale d'analyte dans l'échantillon ne soit pas supérieure à 5% de la masse totale de l'adsorbant (Simpson, 2000). Il ne s'agit cependant que d'une estimation, les différentes études publiées préconisant généralement des cartouches de 60 mg indépendamment du volume de l'échantillon (Castiglioni et al., 2006; Kasprzyk-Hordern et al., 2009; Baker and Kasprzyk-Hordern, 2011). La granulométrie de la cartouche est un paramètre rarement reporté dans la littérature (Senta et al., 2015; Bade et al., 2017) et une taille de grain de 30 μm a été sélectionnée pour notre recherche. Aussi, les cartouches Oasis MCX de chez Waters avec un volume de tube de 3 mL, une masse d'adsorbant de 60 mg et une granulométrie de 30 μm ont été adoptées.

La procédure SPE est entièrement effectuée par l'automate GX-274 ASPEC (Gilson, Middleton, Wisconsin, États-Unis). Le Tableau 10.2 indique l'ensemble des paramètres relatifs aux paramètres appliqués à l'extraction et à l'élution. 100 mL d'échantillon sont extraits. Après séchage, la cartouche est stockée au congélateur dans de l'aluminium si la procédure d'élution ne peut pas être menée dans l'immédiat.

Après l'étape d'élution, l'éluat obtenu est de 5 mL. 500 μL de cet éluat sont placés dans

TABLEAU 10.2 – Paramètres relatifs à la méthode SPE

Étape	Paramètres	Débit
Conditionnement	4 mL de méthanol	1 mL/mn
Conditionnement	6 mL d'eau milli-Q acidifiée	1 mL/mn
Extraction	100 mL d'échantillon	5 mL/mn
Séchage	20 minutes	
Élution	2.5 mL de méthanol	1 mL/mn
Élution	2.5 mL de méthanol basifié avec 5% d'hydroxyde d'ammonium	1 mL/mn

un vial et évaporés à sec sous flux d'azote. Un deuxième vial est préparé de la même façon et conservé au congélateur pour analyse ultérieure. Le premier vial est reconstitué dans 1 mL de solvant d'injection eau + 0.1% acide formique : méthanol (90 : 10). Ce vial est analysé pour la recherche des stupéfiants classiques³.

Afin d'obtenir une meilleure sensibilité pour l'analyse des NPS, 3 mL de l'éluat sont placés dans un troisième vial (2 fois 1.5 mL) et évaporés à sec sous flux d'azote. Ce troisième vial est reconstitué dans 500 μ L de solvant d'injection eau + 0.1% acide formique : méthanol + 0.1% acide formique (90 : 10) et est analysé afin de rechercher les NPS.

10.2.4 Analyse instrumentale

Procédure générale

Tous les composés cibles listés dans le Tableau 10.1 pouvaient être analysés par LC-MS/MS avec une sonde ESI (electrospray ionisation) (González-Mariño et al., 2012; Bade et al., 2017; Kankaanpää et al., 2014; Lai et al., 2013).

Deux méthodes distinctes ont été développées : une pour les stupéfiants classiques, une pour les NPS. La méthode pour les stupéfiants classiques a été réalisée en premier et a été validée par des tests interlaboratoires (van Nuijs et al., 2018). La méthode NPS a été développée par la suite, dans l'optique d'être davantage flexible du fait qu'elle cible en partie les composés NPS. Il est donc possible d'ajouter des composés en fonction de l'apparition de nouvelles substances.

L'analyse est réalisée sur une UHPLC Agilent 1290 (Agilent, Santa Clara, Californie, États Unis) couplée à un spectromètre de masse QTRAP 5500 (Sciex, Ontario, Canada). La séparation chromatographique est réalisée à 50 °C sur une colonne Kinetex Core Shell C18 Biphényl, 100 mm x 2.1 mm, de granulométrie 2.6 μ m (Phenomenex, Torrance, Californie, États-Unis) équipée d'une colonne de garde composée de deux pièces (SecurityGuard ULTRA Holder for UHPLC Columns 2.1 to 4.6 mm ID, SecurityGuard ULTRA Cartridge UHPLC Biphenyl for 2.1 ID Columns, Phenomenex). L'interface utilisée est une sonde ESI et l'acquisition est réalisée en

3. COC, BE, HER, 6-MAM, MOR, MDMA, HMMA, AMPH, MAMPH, THC-COOH.

mode MRM. Deux transitions par analyte et une pour son analogue deutéré sont sélectionnées. L'optimisation des paramètres MS/MS des composés a été réalisée par infusion directe, infusion en phase mobile puis en multipliant finalement les injections. La quantification repose sur l'aire du pic normalisé par son standard interne. Pour chaque stupéfiant, l'analogue deutéré correspondant est utilisé comme standard interne. Les données ont été acquises avec Analyst 1.6 et traitées avec MultiQuant 3.0 (Sciex).

La validation de chaque méthode a été réalisée lors de trois jours successifs. Une courbe de calibration est préparée fraîchement chaque jour ainsi que des contrôles intermédiaires préparés dans l'eau Evian. Des blancs de procédure Evian et d'eau usée dopés avec les solutions deutérées avant ou après extraction sont également préparés afin d'évaluer les rendements d'extraction et les effets de matrice. Chaque analyse est réalisée en triplicat. La performance de chaque méthode est évaluée par l'estimation de la linéarité, de la précision intermédiaire, du biais (ou erreur systématique), du rendement d'extraction et de l'effet de matrice. La linéarité (R^2), la précision intermédiaire et le biais sont évalués sur la base des contrôles préparés dans l'eau Evian chaque jour. L'ensemble des composés suit une réponse quadratique pondérée sur $1/x$. La précision intermédiaire et le biais ont été calculés par l'approche ANOVA pour chaque valeur de contrôle. Les rendements d'extraction dans l'eau Evian et dans l'eau usée sont calculés en prenant le rapport entre l'aire du standard deutéré dans la matrice sous étude dopée avant extraction et celle dans la matrice dopée sous étude après extraction, cette dernière correspondant à un rendement d'extraction de 100% (Poletini, 2006). Les effets de matrice dans l'eau Evian et dans l'eau usée sont évalués en calculant le rapport entre l'aire du standard deutéré préparé dans du solvant et celle dans la matrice sous étude dopée après extraction. À ce rapport est ensuite soustrait la valeur de 100%, total qui devrait donc idéalement être équivalent à 0%. En cas de suppression ionique, alors la réponse est négative, en cas d'augmentation ionique, alors la réponse est positive. Une moyenne des rendements d'extraction et des effets de matrice des trois contrôles a été calculée pour chaque substance. Une limite de quantification (LOQ) a été déterminée à 0.1 ng/mL pour tous les composés (équivalente à 10 ng/L pour les stupéfiants classiques et à 0.83 ng/L pour les NPS). Il a été vérifié qu'à cette concentration, la réponse de chaque composé à son temps de rétention était supérieure à 10 fois le bruit de fond observé dans un blanc. Cette LOQ correspond aux valeurs de LOQ communément rencontrées dans la littérature dans le cadre de l'analyse des eaux usées (European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction, 2016a).

Stupéfiants classiques

La phase mobile est constituée de A : eau + 0.1% d'acide formique et B : méthanol. Le gradient et les paramètres de source appliqués au mode positif et au mode négatif sont reportés dans les Tableaux 10.3 et 10.4. La vis micrométrique est positionnée à 5cm, valeur par défaut.

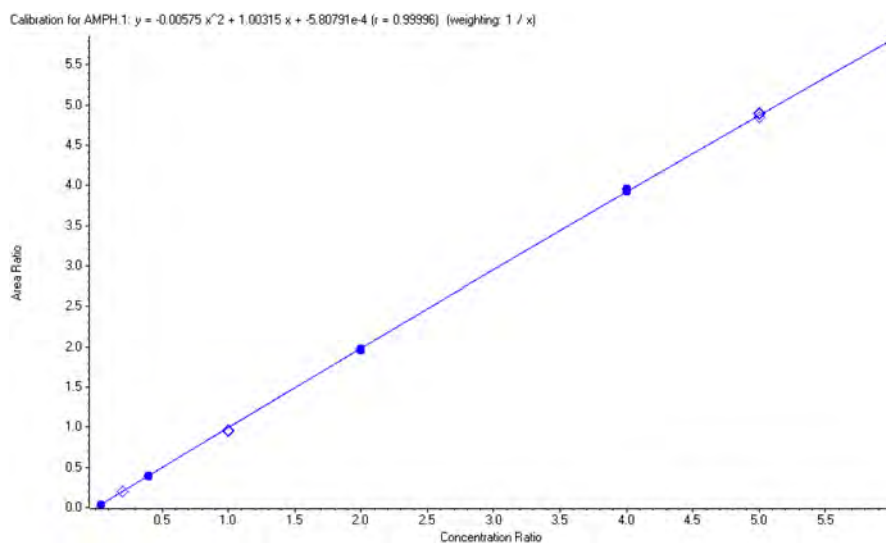
Les paramètres liés aux composés analysés en modes positif et négatif sont reportés au Tableau

10.5. Seuls le THC-COOH et son analogue deutéré sont analysés en mode négatif, tous les autres composés étant analysés en mode positif. En plus des cycles MRM, la faculté hybride du QTRAP a été exploitée. Pour cela, un seuil est défini pour les deux transitions de chaque substance qui, lorsqu'il est dépassé, déclenche l'acquisition du spectre de masse de la substance en question. Cela est rendu possible par la présence de la trappe linéaire au niveau du troisième quadripôle. Une fois le spectre masse acquis, il est recherché dans une base de données qui fournit idéalement la correspondance avec le spectre de masse du composé cible.

La courbe de calibration des stupéfiants classiques est constituée de cinq *levels*, 0.1, 1, 5, 10, 15 ng/mL (équivalent à 10, 100, 500, 1000 et 1500 ng/L avec la méthode d'extraction développée) avec les standards deutérés ajoutés à une concentration fixe de 2.5 ng/mL (équivalent à 250 ng/mL). Les contrôles sont préparés à 0.5, 2.5 et 12.5 ng/mL (équivalent à 50, 250 et 1250 ng/L). Les critères de validation sont reportés au Tableau 10.6. Quelques exemples de courbes de calibration de l'AMPH et du THC-COOH sont reportés aux Graphiques 10.1 et 10.2 respectivement.

Les critères de linéarité, de précision et de biais sont très satisfaisants pour les composés cibles, à l'exception du biais mis en évidence pour le THC-COOH. Les rendements d'extraction sont très satisfaisants pour tous les analytes (entre 90% et 110 %) sauf pour l'HER et le THC-COOH, s'échelonnant respectivement à 26 et 10% dans l'Evian et à 46 et 19% dans l'eau usée. Cela implique que la procédure d'extraction est efficace et adaptée aux stupéfiants étudiés, conformément aux données recueillis dans la littérature (Baker and Kasprzyk-Hordern, 2011; Castiglioni et al., 2006). Les rendements d'extraction médiocres de l'HER et THC-COOH sont en accord avec le constat de Baker and Kasprzyk-Hordern (2011). En effet, les cartouches HLB sont mieux adaptées à ces deux analytes car elles fournissent des rendements d'extraction très supérieurs comparés aux cartouche MCX. Les rendements d'extraction étant satisfaisants pour huit analytes sur les dix étudiés, la MCX a néanmoins été conservée. L'effet de matrice est très important pour le THC-COOH à la fois dans l'eau Evian et l'eau usée, et pour la MOR dans l'eau usée. Le THC-COOH est une substance très délicate à analyser dans les eaux usées (Causanilles et al., 2017a), aussi les résultats liés à cette substance sont donc à manier avec précaution. Il est clair sur la base de ces résultats que le THC-COOH doit suivre une autre procédure d'extraction que celle qui a été développée dans ce travail. Cela fait d'ailleurs actuellement l'objet d'une thèse à part entière à l'École des Sciences Criminelles.

GRAPHIQUE 10.1 – Exemple d'une courbe de calibration d'AMPH



GRAPHIQUE 10.2 – Exemple d'une courbe de calibration du THC-COOH

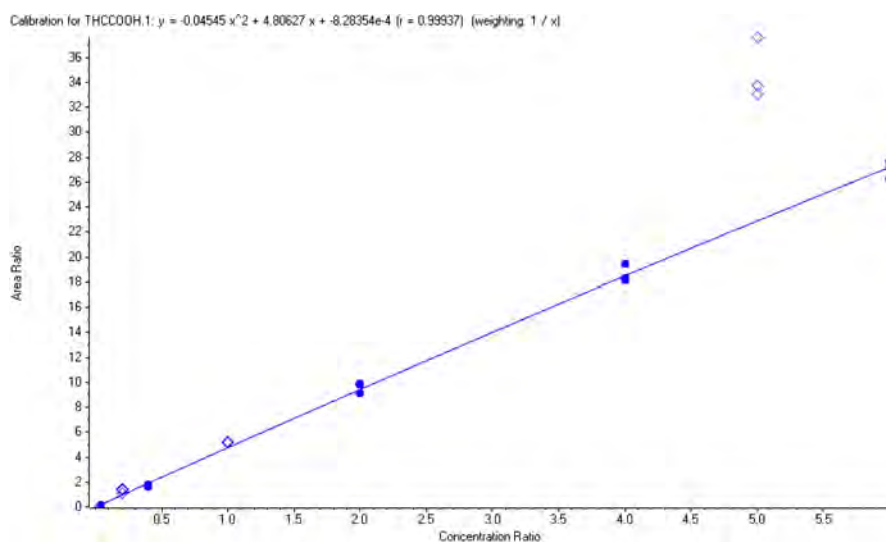


TABLEAU 10.4 – Paramètres de source

TABLEAU 10.3 – Gradient

Temps (mn)	Débit ($\mu\text{L}/\text{mn}$)	A%	B%
0	400	90	10
0.5	400	90	10
7	400	5	95
7.6	400	5	95
7.61	400	90	10
13.3	400	90	10

Paramètres	Positif	Négatif
Curtain gas (unités arbitraires, ua)	Azote 30	
Collision gas	Azote Medium	
IonSpray Voltage (V)	3000	-2500
Température ($^{\circ}\text{C}$)	650	
Ion Source Gas 1 (nebulizer) (ua)	Air 70	
Ion Source Gas 2 (auxiliary) (ua)	Air 70	
Entrance Potential (V)	10	-10
Collision Cell Exit Potential (V)	13	-16

TABLEAU 10.5 – Paramètres d'acquisition des composés cibles

Masse Q1 (Da)	Masse Q3 (Da)	Temps de rétention (mn)	Nom de la transition	Énergie de collision (eV)	Declustering Potential (V)
196.1	165.1	1.99	HMMA.1	17	35
196.1	105.1	1.99	HMMA.2	31	35
286.1	152.1	2.01	MOR.1	74	55
286.1	128	2.01	MOR.2	76	55
136.1	91.1	2.54	AMPH.1	24	29
136.1	119.1	2.54	AMPH.2	12	29
150.1	119.1	2.95	MAMPH.1	14	38
150.1	65	2.95	MAMPH.2	53	38
328.1	165.1	3.08	6MAM.1	51	60
328.1	211.2	3.08	6MAM.2	35	60
194.1	163.1	3.25	MDMA.1	17	40
194.1	105.1	3.25	MDMA.2	32	40
290.1	168.1	4.11	BE.1	25	60
290.1	77.1	4.11	BE.2	75	60
370.1	165.1	4.27	HER.1	61	60
370.1	268.1	4.27	HER.2	37	60
304.1	82.2	4.41	COC.1	36	60
304.1	105.1	4.41	COC.2	45	60
278.2	219.1	5.72	EDDP.1	58	60
278.2	186.1	5.72	EDDP.2	45	60
310.1	265.2	6.01	MET.1	30	60
310.1	105	6.01	MET.2	54	60
199.1	165.1	1.98	IS HMMA-d3	16	39
289.1	152.1	1.98	IS MOR-d3	78	68
139.1	92.1	2.53	IS AMPH-d3	23	34
155.1	92	2.93	IS MAMPH-d5	29	47
331.1	165.1	3.07	IS 6MAM-d3	51	75
197.1	163.1	3.24	IS MDMA-d3	16	41
293.1	171.1	4.08	IS BE-d3	26	62
373.1	271.1	4.24	IS HER-d3	38	65
307.1	85.2	4.41	IS COC-d3	40	60
281.2	234.2	5.69	IS EDDP-d3	60	63
313.1	268.1	6	IS MET-d3	30	65
343.2	299.3	7.2	THCCOOH.1	-28	-46
343.2	245.1	7.2	THCCOOH.2	-35	-46
346.1	302.2	7.18	IS THCCOOH-d3	-40	-46

TABLEAU 10.6 – Critères de validation

Substance	Linéarité R ²		Précision intermédiaire RSD%			Biais %			Rendement Evian %		Rendement eau usée %		Effet de matrice Evian %		Effet de matrice eau usée %	
	μ	SD	QC1	QC2	QC3	QC1	QC2	QC3	μ	SD	μ	SD	μ	SD	μ	SD
MOR	0.99965	0.00042	3.29%	6.17%	2.83%	-5.61%	-5.07%	-2.15%	105%	9.76%	108%	4.71%	-39.9%	2.40%	-54.4%	2.14%
HMMA	0.99982	0.00010	3.23%	4.39%	2.30%	-7.19%	-6.71%	-1.24%	95.4%	7.21%	97.6%	5.25%	-24.0%	3.15%	-24.3%	3.11%
AMPH	0.99993	0.00003	4.21%	3.70%	3.22%	1.56%	-4.78%	-2.24%	98.2%	4.46%	95.0%	3.99%	-29.9%	12.0%	-25.4%	11.0%
MAMPH	0.99986	0.00007	3.52%	3.88%	3.75%	-6.54%	-4.54%	-1.24%	96.5%	7.16%	93.3%	4.18%	-20.8%	3.81%	-9.6%	1.93%
6MAM	0.99978	0.00006	4.24%	4.95%	2.53%	-3.49%	-4.20%	-4.37%	139%	4.05%	132%	6.29%	-12.6%	5.12%	-19.3%	1.58%
MDMA	0.99992	0.00005	3.63%	4.19%	3.42%	-3.79%	-6.45%	-2.02%	96.7%	10.5%	93.4%	3.45%	-25.7%	7.30%	-14.1%	3.10%
BE	0.99990	0.00006	3.81%	5.74%	4.90%	-5.21%	-5.65%	-2.69%	97.3%	8.24%	95.6%	2.22%	-11.1%	10.4%	-10.0%	6.60%
HER	0.99978	0.00013	7.56%	4.41%	4.00%	-0.355%	-4.14%	-0.275%	25.7%	5.68%	45.5%	8.50%	-28.1%	15.4%	-24.5%	14.4%
COC	0.99902	0.00162	2.59%	4.04%	3.62%	11.1%	-1.04%	-2.82%	113%	26.6%	98.1%	4.82%	-27.6%	17.2%	-21.3%	14.9%
EDDP	0.99989	0.00001	2.38%	2.09%	2.93%	-6.14%	-6.20%	-2.30%	69.2%	11.1%	83.5%	3.74%	-28.6%	10.8%	-12.2%	2.59%
MET	0.99991	0.00004	3.97%	5.68%	2.72%	-3.00%	-5.15%	0.297%	92.0%	12.9%	98.0%	4.50%	-30.7%	13.0%	-18.7%	3.22%
THCCOOH	0.99932	0.00044	7.55%	8.32%	11.6%	45.9%	20.9%	38.7%	9.5%	3.57%	18.9%	2.27%	-57.0%	12.2%	-53.4%	6.86%

NPS

La phase mobile est constituée de A : eau + 0.1% d'acide formique et B : méthanol + 0.1% d'acide formique. Le gradient et les paramètres de source sont reportés dans les Tableaux 10.7 et 10.8. La vis micrométrique est positionnée à 5cm, valeur par défaut. L'ensemble des paramètres de source ont été déterminés par design d'expérience. Le détail des plans d'expérience adoptés et des résultats obtenus ne sont pas présentés dans le cadre de ce manuscrit, car les démarches ont fait l'objet d'un travail collaboratif s'inscrivant en dehors du cadre de la présente recherche. Cette approche a mis en évidence que la température, le gaz 1 et le voltage du spray sont les paramètres de source les plus influents pour favoriser la sensibilité de l'analyse (voir Annexe D).

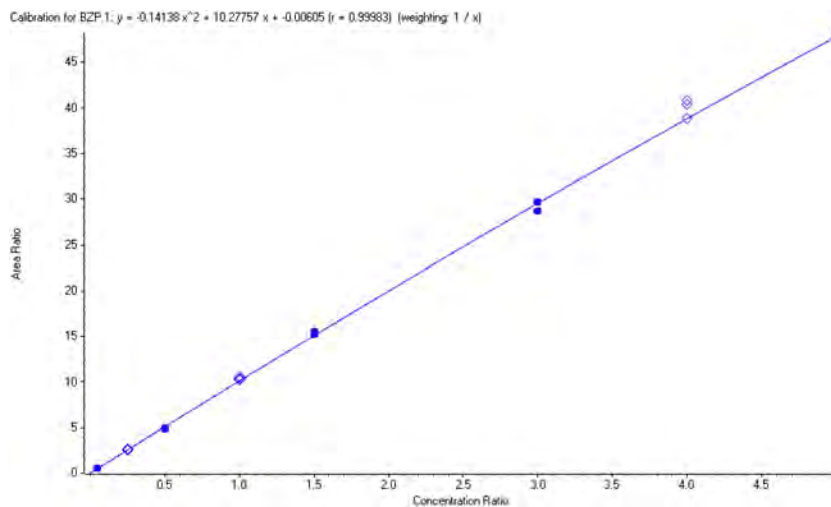
Les paramètres liés aux composés analysés sont reportés au Tableau 10.9. Tous les composés sont analysés en mode positif.

La courbe de calibration des NPS est constituée de cinq *levels*, 0.1, 1, 3, 6, 10 ng/mL (équivalent à 0.83, 8.3, 25, 50 et 83 ng/L avec la méthode d'extraction développée) avec les standards deutérés ajoutés à une concentration fixe de 2 ng/mL (équivalent à 16.7 ng/mL). Les contrôles sont préparés à 0.5, 2 et 8 ng/mL (équivalent à 4.2, 16.7 et 66.7 ng/L). Les critères de validation sont reportés dans le Tableau 10.10. Quelques exemples de courbes de calibration de la BZP et du LSD sont reportés aux Graphiques 10.3 et 10.4 respectivement.

Les critères de linéarité, de précision et de biais sont très satisfaisants (précision et biais jusqu'à 10%), à l'exception de la précision médiocre mise en évidence pour la BZP au niveau du contrôle 1. Les rendements d'extraction sont satisfaisants pour tous les analytes. Cela implique que la procédure d'extraction est efficace et adaptée aux NPS, au LSD et à la kétamine, conformément aux données recueillis dans la littérature (Bade et al., 2017; González-Mariño et al., 2012). L'effet de matrice est important pour tous les composés dans l'eau usée.

Le développement des méthodes d'analyse pour les stupéfiants classiques et les NPS a permis d'atteindre l'**Objectif technique 3**.

GRAPHIQUE 10.3 – Exemple d'une courbe de calibration de BZP



GRAPHIQUE 10.4 – Exemple d'une courbe de calibration du LSD

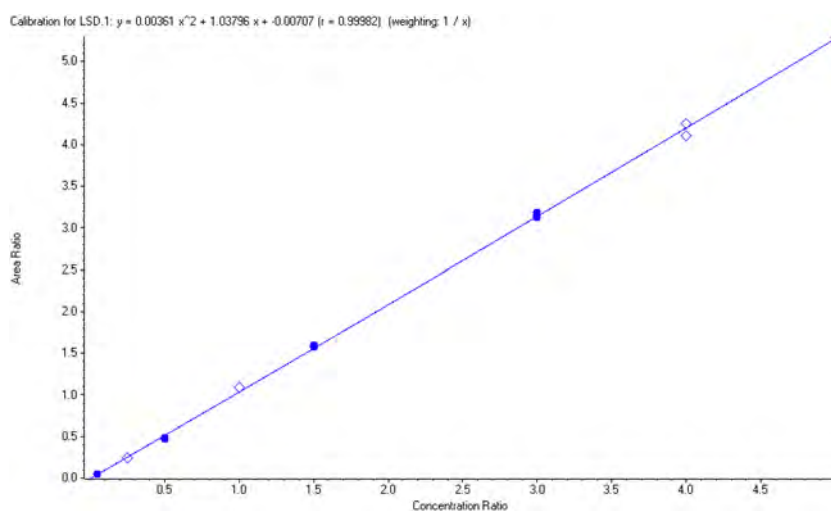


TABLEAU 10.7 – Gradient

Temps (mn)	Débit ($\mu\text{L}/\text{mn}$)	A%	B%
0	400	85	15
3	400	53	47
5.50	400	47	53
5.60	400	5	95
7.50	400	5	95
7.60	400	85	15
13.40	400	85	15

TABLEAU 10.8 – Paramètres de source

Paramètres	Positif
Curtain gas (unités arbitraires, ua)	Azote 20
Collision gas	Azote Medium
IonSpray Voltage (V)	2000
Température ($^{\circ}\text{C}$)	650
Ion Source Gas 1 (nebulizer) (ua)	Air 40
Ion Source Gas 2 (auxiliary) (ua)	Air 70
Entrance Potential (V)	10
Collision Cell Exit Potential (V)	10
Declustering Potential (V)	80

TABLEAU 10.9 – Paramètres d'acquisition des composés cibles

Masse Q1 (Da)	Masse Q3 (Da)	Temps de rétention (mn)	Nom de la transition	Énergie de collision (eV)
177.1	91.1	1.15	BZP.1	31
177.1	65	1.15	BZP.2	63
208.1	160.1	2.42	Méthylone.1	24
208.1	132.1	2.42	Méthylone.2	37
178.1	145.1	2.88	MEPH.1	28
178.1	119.2	2.88	MEPH.2	28
238.1	125.1	3.69	KET.1	36
238.1	207.1	3.69	KET.2	20
276.2	126.2	4.15	MDPV.1	36
276.2	135	4.15	MDPV.2	38
324.2	223.3	4.47	LSD.1	31
324.2	208.1	4.47	LSD.2	37
184.1	70.1	1.05	IS.BZP-d7	63
211.1	163.1	2.40	IS Méthylone-d3	25
181.1	148.1	2.86	IS MEPH-d3	30
242.2	129	3.66	IS KET-d4	40
284.2	134.2	4.11	IS MDPV-d8	35
327.2	226.2	4.45	IS LSD-d3	31

TABLEAU 10.10 – Critères de validation

Substance	Linéarité R ²		Précision intermédiaire RSD%			Biais %			Rendement Evian %		Rendement eau usée %		Effet de matrice Evian %		Effet de matrice eau usée %	
	μ	SD	QC1	QC2	QC3	QC1	QC2	QC3	μ	SD	μ	SD	μ	SD	μ	SD
BZP	0.99972	0.00017	37.40%	14.84%	10.43%	-12.20%	5.47%	5.95%	63%	12%	91%	9%	-49%	17%	-81%	2%
Méthylone	0.99982	0.00017	3.44%	3.03%	4.78%	4.31%	1.13%	4.33%	76%	7%	86%	5%	-16%	9%	-77%	3%
MEPH	0.99991	0.00011	5.17%	3.61%	5.90%	4.53%	1.26%	4.21%	76%	10%	83%	4%	-16%	8%	-60%	3%
KET	0.99980	0.00018	1.44%	0.92%	4.08%	1.88%	-3.05%	0.69%	83%	7%	85%	7%	-15%	11%	-68%	3%
MDPV	0.99984	0.00020	2.13%	3.16%	7.56%	1.38%	-1.01%	2.38%	75%	6%	85%	7%	-25%	12%	-73%	2%
LSD	0.99978	0.00006	5.53%	3.92%	4.43%	-5.80%	-7.02%	-9.29%	61%	3%	75%	9%	-18%	23%	-59%	5%

10.3 Traitement des données

10.3.1 Simulations statistiques

Les résultats de l'analyse des eaux usées doivent être inscrits dans une démarche de calcul robuste. Des simulations Monte Carlo ont été réalisées afin de considérer au mieux les incertitudes engendrées par toutes les étapes de l'analyse des eaux usées, comme cela a été proposé par Jones et al. (2014). Les simulations ont été développées en employant le logiciel R.

Les paramètres employés pour ces simulations ont été repris du travail de thèse du Dr. Frederic Béen (Been, 2015). L'explication détaillée de ces paramètres est présentée dans le manuscrit en question. Pour résumer, les concentrations et les débits suivent une loi normale (moyenne, variance) et les données d'excrétion des composés une loi bêta (a,b). Les paramètres a et b sont déterminés à partir des moyennes et variances des valeurs d'excrétion reportées dans le Tableau 10.1. Aucun objectif technique n'a été associé à cette tâche puisque la démarche retenue a déjà été publiée.

Les résultats des simulations statistiques, c'est-à-dire les charges et les quantités consommées journalières (en absolu et per capita), sont reportées telles que la moyenne calculée à partir de l'ensemble des valeurs simulées. Les 2.5ème et 97.5ème centiles correspondent à un intervalle de confiance de 95% (Jones et al., 2014).

10.3.2 Tests statistiques

De nombreuses comparaisons ont été réalisées afin de caractériser l'ampleur des consommations illicites lors du Paléo Festival. Afin de donner une valeur statistique à ces comparaisons, des tests statistiques permettant d'évaluer l'égalité ou la différence de deux moyennes ont été appliqués (t-test si les variances des deux séries de données sont égales ou test t de Welch si les variances ne sont pas égales). Les tests sont bilatéraux ou unilatéraux en fonction de l'hypothèse a priori. Un risque de 5% a été admis pour l'ensemble des tests réalisés.

10.4 Développement de la méthode de mesure d'ammonium

L'ammonium provient de l'hydrolyse de l'urée. Il est donc important de vérifier que l'urée s'est complètement transformée dans l'échantillon. Un échantillon composite étant constitué de prélèvements s'étalant sur une période de 24 heures, le premier sous-échantillon a été prélevé 24 heures avant le dernier sous-échantillon. Les prélèvements d'eaux usées, réalisés au cours de ces 24 heures, sont généralement récupérés quelques minutes après que le dernier sous-échantillon a été prélevé, ce qui constitue donc le temps 0. Ils sont ensuite transférés au laboratoire où la mesure d'ammonium est réalisée. Il faut donc évaluer le temps nécessaire à la transformation de l'urée en ammonium, ou en d'autre terme, au bout de combien de temps peut être réalisée la mesure d'ammonium. Il faut déterminer également pendant combien de temps cette mesure reste stable, si par exemple l'échantillon ne peut pas être récupéré dans l'immédiat. Ainsi, la stabilité de la mesure d'ammonium a été contrôlée depuis le temps 0 jusqu'à 48 heures après la fin du dernier prélèvement. Un test de stabilité a été réalisé en comparant les valeurs obtenues à t_0 , t_{1h} , t_{12h} , t_{24h} , t_{48h} dans les eaux usées de la STEP de Nyon et dans celles de la canalisation en sortie de la prison Cœliaque. Concernant les échantillons du Paléo Festival, les mesures sont stables, ce qui signifie que l'urée s'est entièrement hydrolysée en ammonium, et ce, déjà à t_0 . À la prison, les résultats se stabilisent au bout d'une heure. Cela peut être expliqué par le fait que le point de prélèvement est très proche de l'endroit de l'excrétion, nécessitant ainsi plus de temps à l'urée pour s'hydrolyser complètement.

Lorsque l'urée est complètement dégradée, la mesure d'ammonium peut être effectuée. L'appareil utilisé est un photomètre HACH Pocket Colorimeter II (Hach, Loveland, Colorado, États-Unis). L'échantillon composite est filtré avant d'effectuer la mesure afin d'éviter qu'elle ne soit perturbée par la présence de matières en suspension. Une portion de l'échantillon d'eau usée est placée dans une cuvette LCK 303 (Hach), permettant de mesurer une concentration en ammonium située entre 2 et 47 mg/L. Au besoin, si le résultat est trop élevé, alors l'échantillon est dilué. La mesure est effectuée trois fois. En la multipliant au débit circulant pendant 24 heures, les charges en ammonium sont obtenues en grammes par jour. Il est ensuite possible grâce à l'équivalent habitant ammonium de calculer la taille de la population ayant contribué aux eaux usées pendant 24 heures.

Cette démarche a permis de remplir l'**Objectif technique 5**.

Chapitre 11

Investiguer les consommations illicites lors du Paléo Festival

11.1 Dimension légale

Dans le cadre du Paléo Festival, toutes les eaux usées parviennent à la STEP de Nyon, qui a donc été sélectionnée comme lieu de prélèvement. Comme cela a été explicité auparavant, réaliser l'échantillonnage au niveau d'une STEP simplifie les problématiques liées à la propriété des eaux usées, à la protection des données et à la recherche sur l'être humain. En effet, il s'agit de demander dans ce cas à l'exploitant du réseau des eaux usées. Ainsi, la STEP de Nyon a donné son accord concernant la réalisation des prélèvements. Les responsables du festival ont fait de même concernant la réalisation de l'étude. L'anonymat de l'évènement n'a pas été requis.

11.2 Échantillonnage

Lors du Paléo Festival, l'échantillonnage a été réalisé à l'entrée de la STEP de Nyon. Une information agrégeant la consommation des festivaliers et celle des habitants de la ville de Nyon était donc obtenue. Les consommations des habitants de Nyon, ou « de référence », c'est-à-dire observées hors festival, ont été évaluées lors d'une semaine « normale ».

La STEP de Nyon traite les eaux usées de six communes (Arnex, Borex, Eysins, Grens, Nyon, Signy) pour une moyenne d'environ 22'500 habitants raccordés entre 2011 et 2015 (Direction générale de l'environnement, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015). Le nombre de festivaliers est d'environ 50'000 par jour. Il s'agit par conséquent d'une situation dans laquelle les festivaliers sont plus nombreux que les habitants de la ville de Nyon. Nous nous retrouvons donc dans la situation favorable du milieu semi-fermé.

L'analyse des eaux usées a été appliquée lors des éditions 2014 et 2015 du Paléo Festival. En 2014, le festival a commencé le mardi 22 juillet pour finir le dimanche 27 juillet. Cependant, les prélèvements ont débuté le lundi 21 juillet, jour d'ouverture du camping.

En 2015, pour les 40 ans du festival, celui-ci a duré une semaine, du lundi 20 juillet au dimanche 26 juillet. De la même façon, les prélèvements ont commencé le dimanche 19 juillet, jour d'ouverture du camping. Une tempête survenue le mercredi 22 juillet, a endommagé le système d'échantillonnage, si bien qu'aucun prélèvement n'a pu être récupéré ce jour là.

La semaine normale a été fixée en juin 2015, en s'assurant qu'aucun évènement particulier n'avait lieu cette semaine à Nyon. Les dates auxquelles ont été réalisés les prélèvements et les mesures de débit fournies par la STEP sont indiquées dans le Tableau 11.1. L'erreur-type associée à chaque débit journalier est également indiquée. On constate qu'elle est supérieure lors de l'édition 2014 du festival par rapport à la semaine normale et à l'édition 2015. Cela est dû au fait qu'en 2014, seules 24 mesures de débit étaient disponibles au cours de 24 heures, contre 288 mesures de débit lors de la semaine normale et de Paléo 2015, résultant en une diminution de l'erreur-type.

En amont du lieu de prélèvement, deux écoulements distincts se rejoignent, ce qui fait que la turbulence est relativement élevée. Un système de bouée a donc été mis en place afin de stabiliser la prise de prélèvements et ce, juste après que les deux cours d'eau se soient mélangés, i.e. homogénéisés. L'échantillonnage mis en place était de type actif, discret proportionnel au temps et réalisé à l'aide d'un préleveur ISCO 6714FR (Teledyne ISCO, Lincoln, Nebraska, États-Unis) réfrigéré à 4 ° C. Le préleveur était équipé d'un carousel de 24 bouteilles en propylène d'un litre, chaque bouteille représentant une heure. Chaque journée d'échantillonnage débutait à 11h, horaire d'ouverture de la Pl'Asse, un lieu en libre accès situé juste à côté de l'entrée du festival. Cet horaire permet de plus de prélever les premières urines du matin, qui comprennent encore les excréments résultant des consommations festives de la veille.

TABLEAU 11.1 – Dates et débits mesurés à la STEP de Nyon

Période d'étude	Date	Débit journalier mesuré (L)	Erreur-type (L)
Paléo festival 2014	Lundi 21 Juillet	8536000	639280
	Mardi 22 Juillet	7791900	414060
	Mercredi 23 Juillet	7917900	407477
	Jeudi 24 Juillet	7806900	397305
	Vendredi 25 Juillet	10463400	1226990
	Samedi 26 Juillet	9317500	674143
	Dimanche 27 Juillet	8471000	395692
Semaine normale 2015	Mercredi 17 Juin	7090000	10583
	Jeudi 18 Juin	7347000	11597
	Vendredi 19 Juin	6521000	10295
	Samedi 20 Juin	5771000	10241
	Dimanche 21 Juin	6897000	11440
	Lundi 22 Juin	7581000	20569
	Mardi 23 Juin	7057000	11907
Paléo festival 2015	Dimanche 19 Juillet	6713000	10632
	Lundi 20 Juillet	7843000	19561
	Mardi 21 Juillet	8238000	10617
	Jeudi 23 Juillet	8441000	8896
	Vendredi 24 Juillet	9012000	15765
	Samedi 25 Juillet	7206000	8776
	Dimanche 26 Juillet	8327000	15722

Lors de la semaine normale, l'échantillonnage a également débuté à 11h pour une question de cohérence. 40mL d'eau usée étaient donc prélevés toutes les cinq minutes, de 11h à 10h55 le jour d'après. Une fois le carrousel transporté au laboratoire, un volume proportionnel au débit horaire était prélevé dans chaque bouteille. C'est ainsi qu'un échantillon composite journalier proportionnel au débit était constitué, achevant l'**Objectif technique 1**_{Paléo}.

11.3 Résultats et interprétation

11.3.1 Résultats de l'analyse des traces cibles et des simulations statistiques

Les concentrations journalières moyennes (abrégées μ) issues de l'analyse en triplicat ainsi que l'erreur-type associée à chaque mesure (abrégée SE) pour les stupéfiants classiques sont reportées dans le Tableau 11.2. La cocaïne, la benzoylecgonine, la morphine, la méthadone, l'EDDP, la MDMA, l'amphétamine et le THC-COOH ont été quantifiés tous les jours de la semaine normale et des Paléo Festivals 2014 et 2015. L'héroïne et la 6MAM ont été rarement quantifiées. La méthamphétamine n'a pas été détectée pendant la semaine normale, mais a été quantifiée lors des Paléo Festivals 2014 et 2015. La HMMA a été rarement quantifiée pendant la semaine normale, mais a été quantifiée lors des Paléo Festivals 2014 et 2015. Par souci de clarté, dans les Tableaux suivants, *n.d.* signifie que la substance n'a pas été détectée, c'est-à-dire que le signal était inférieur à trois fois le bruit de fond observé dans un blanc, et $< LOQ$, que la concentration de la substance était inférieure à la LOQ.

La BZP et le LSD n'ont jamais été détectés. La méphédronne et la méthylone n'ont été que rarement détectées, mais jamais quantifiées (valeurs inférieures à la LOQ). La kétamine a été tous les jours détectée, mais jamais quantifiée. Les résultats des NPS ne sont donc pas présentés dans le Tableau 11.2.

Les charges absolues et per capita résultant des simulations statistiques par Monte Carlo sont reportées aux Tableaux 11.3 et 11.4 respectivement. Concernant la cocaïne, la HMMA, l'EDDP et la 6-MAM, seules les charges absolues ou per capita de la benzoylecgonine, de la MDMA, de la méthadone et de l'héroïne seront illustrées par la suite, car ces substances ne servent qu'à évaluer la cohérence des ratios de concentration. Aucune anomalie n'ayant été mise en évidence, leurs résultats ne sont pas discutés ci-après.

L'estimation des quantités consommées absolues et per capita sont reportées aux Tableaux 11.5 et 11.6 respectivement. Seules les estimations des quantités consommées de cocaïne à partir de la benzoylecgonine, de MDMA, d'amphétamine et de méthamphétamine ont été calculées. L'héroïne n'a été que rarement quantifiée, ce qui signifie que les quantités consommées n'ont pas été estimées à partir de la morphine. Pour des raisons qui seront exposées ci-après, les quantités consommées de méthadone n'ont pas été estimées.

TABLEAU 11.2 – Concentrations moyennes journalières mesurées et erreurs-type associées calculées

Période d'étude	Date	COC		BE		HER		6MAM		MOR		MET		EDDP		MDMA		HMMA		AMPH		MAMPH		THCCOOH	
		μ (ng/L)	SE (ng/L)	μ (ng/L)	SE (ng/L)	μ (ng/L)	SE (ng/L)	μ (ng/L)	SE (ng/L)	μ (ng/L)	SE (ng/L)	μ (ng/L)	SE (ng/L)	μ (ng/L)	SE (ng/L)	μ (ng/L)	SE (ng/L)	μ (ng/L)	SE (ng/L)	μ (ng/L)	SE (ng/L)	μ (ng/L)	SE (ng/L)	μ (ng/L)	SE (ng/L)
Paléo festival 2014	Lundi 21 Juillet	230	11.5	623	31.2	n.d.	n.a.	n.d.	n.a.	90.3	4.51	32.8	1.64	58.3	2.92	116	5.79	n.d.	n.a.	63.3	3.16	n.d.	n.a.	449	22.4
	Mardi 22 Juillet	395	19.8	1271	63.56	n.d.	n.a.	n.d.	n.a.	155	7.73	48.4	2.42	60.5	3.03	776	38.8	33.6	1.68	153	7.66	n.d.	n.a.	1108	55.41
	Mercredi 23 Juillet	413	20.7	1419	70.93	n.d.	n.a.	n.d.	n.a.	197	9.85	51.7	2.58	58.4	2.92	926	46.3	57.6	2.88	157	7.83	5.03	0.251	1220	61.00
	Jeudi 24 Juillet	413	20.7	1332	66.58	n.d.	n.a.	n.d.	n.a.	217	10.8	49.8	2.49	50.5	2.53	925	46.3	46.8	2.34	189	9.44	5.60	0.280	1266	63.30
	Vendredi 25 Juillet	576	28.8	1567	78.33	n.d.	n.a.	n.d.	n.a.	160	7.98	42.7	2.13	44.8	2.24	1077	53.85	45.6	2.28	190	9.49	8.43	0.422	885	44.24
	Samedi 26 Juillet	395	19.7	1544	77.18	n.d.	n.a.	n.d.	n.a.	161	8.04	38.5	1.92	39.4	1.97	1124	56.19	47.4	2.37	148	7.39	10.2	0.512	1054	52.69
	Dimanche 27 Juillet	500	25.0	1683	84.14	n.d.	n.a.	n.d.	n.a.	154	7.72	43.6	2.18	34.0	1.70	964	48.2	61.9	3.10	127	6.36	14.4	0.721	1236	61.82
	Semaine normale 2015	Mercredi 17 Juin	188	2.70	626	13.1	<LOQ	n.a.	<LOQ	n.a.	206	4.97	28.8	0.169	68.6	2.55	29.6	1.03	<LOQ	<LOQ	34.8	1.53	n.d.	n.a.	483
Jeudi 18 Juin		220	1.50	768	20.8	<LOQ	n.a.	<LOQ	n.a.	231	2.97	29.6	0.267	44.5	1.09	18.8	0.736	<LOQ	<LOQ	33.2	1.19	n.d.	n.a.	389	3.90
Vendredi 19 Juin		271	8.69	799	24.7	<LOQ	n.a.	<LOQ	n.a.	186	5.33	40.4	0.284	45.2	0.699	42.0	2.30	<LOQ	<LOQ	35.6	0.873	n.d.	n.a.	451	19.1
Samedi 20 Juin		471	4.50	1170	34.68	12.4	0.325	10.9	0.479	234	0.359	38.3	0.307	50.9	0.112	135	5.61	10.4	0.125	64.7	1.89	n.d.	n.a.	463	16.4
Dimanche 21 Juin		205	2.34	849	19.1	<LOQ	n.a.	<LOQ	n.a.	209	5.42	31.3	0.457	55.7	1.21	112	0.507	16.6	0.144	93.4	2.16	n.d.	n.a.	552	7.72
Lundi 22 Juin		180	3.22	464	8.9	<LOQ	n.a.	<LOQ	n.a.	174	2.75	21.9	0.304	60.1	2.14	58.1	2.64	<LOQ	<LOQ	38.8	1.93	n.d.	n.a.	478	6.21
Mardi 23 Juin		247	2.88	498	13.0	11.2	0.364	10.5	1.07	205	7.40	34.0	0.311	51.9	0.521	54.9	2.27	<LOQ	<LOQ	44.7	1.25	n.d.	n.a.	470	6.70
Paléo festival 2015		Dimanche 19 Juillet	329	0.58	1173	32.50	<LOQ	n.a.	<LOQ	n.a.	355	4.77	27.9	0.155	42.6	0.733	223	2.75	28.7	0.352	101	1.26	<LOQ	n.a.	895
	Lundi 20 Juillet	447	3.02	1156	8.79	<LOQ	n.a.	<LOQ	n.a.	323	6.14	34.4	0.114	57.0	0.828	450	6.24	37.8	0.531	132	0.445	<LOQ	n.a.	958	5.08
	Mardi 21 Juillet	621	5.55	1416	27.48	<LOQ	n.a.	<LOQ	n.a.	321	6.10	37.3	0.979	49.2	0.753	1018	16.61	127	0.287	252	1.52	<LOQ	n.a.	1072	7.892
	Jeudi 23 Juillet	621	2.52	1488	17.26	<LOQ	n.a.	10.5	0.163	361	5.15	39.9	0.437	59.1	1.18	1159	30.27	103	1.33	237	5.48	11.3	0.113	557	11.5
	Vendredi 24 Juillet	655	3.97	1443	14.13	12.3	0.401	11.3	0.512	286	6.52	31.2	0.448	53.4	0.445	1221	5.778	117	2.00	220	4.32	9.73	0.169	987	5.15
	Samedi 25 Juillet	751	16.6	2188	46.35	<LOQ	n.a.	10.1	0.146	572	7.79	55.2	0.406	78.4	1.52	2038	11.89	214	3.97	315	4.59	13.3	0.0954	567	3.44
	Dimanche 26 Juillet	405	3.56	1406	27.07	<LOQ	n.a.	15.4	0.524	442	0.433	35.8	0.445	80.0	1.42	1231	7.63	144	1.03	199	0.474	10.4	0.254	934	27.7

n.d. : non détecté ; <LOQ : détecté mais pas quantifié ; n.a. : non applicable

TABLEAU 11.3 – Charges absolues journalières calculées

Période d'étude	Date	COC			BE			HER			6MAM			MOR			THC-COOH		
		μ (mg/jour)	Valeur basse (mg/jour)	Valeur haute (mg/jour)	μ (mg/jour)	Valeur basse (mg/jour)	Valeur haute (mg/jour)	μ (mg/jour)	Valeur basse (mg/jour)	Valeur haute (mg/jour)	μ (mg/jour)	Valeur basse (mg/jour)	Valeur haute (mg/jour)	μ (mg/jour)	Valeur basse (mg/jour)	Valeur haute (mg/jour)	μ (mg/jour)	Valeur basse (mg/jour)	Valeur haute (mg/jour)
Paléo festival 2014	Lundi 21 Juillet	1968	1629	2324	5319	4407	6283	n.d.	n.a.	n.a.	n.d.	n.a.	n.a.	770	638	910	3832	3174	4527
	Mardi 22 Juillet	3078	2649	3530	9904	8522	11358	n.d.	n.a.	n.a.	n.d.	n.a.	n.a.	1205	1038	1382	8636	7432	9905
	Mercredi 23 Juillet	3271	2823	3743	11233	9698	12856	n.d.	n.a.	n.a.	n.d.	n.a.	n.a.	1560	1346	1785	9660	8338	11053
	Jeudi 24 Juillet	3227	2787	3690	10397	8981	11889	n.d.	n.a.	n.a.	n.d.	n.a.	n.a.	1694	1463	1936	9884	8538	11305
	Vendredi 25 Juillet	6025	4552	7569	16390	12388	20595	n.d.	n.a.	n.a.	n.d.	n.a.	n.a.	1669	1260	2096	9257	6995	11631
	Samedi 26 Juillet	3679	3062	4332	14383	11974	16932	n.d.	n.a.	n.a.	n.d.	n.a.	n.a.	1498	1248	1764	9817	8171	11554
	Dimanche 27 Juillet	4235	3681	4817	14256	12392	16215	n.d.	n.a.	n.a.	n.d.	n.a.	n.a.	1308	1136	1487	10474	9107	11912
Semaine normale 2015	Mercredi 17 Juin	1336	1298	1373	4441	4258	4623	<LOQ	n.a.	n.a.	<LOQ	n.a.	n.a.	1461	1392	1530	3426	3345	3507
	Jeudi 18 Juin	1617	1595	1639	5646	5346	5945	<LOQ	n.a.	n.a.	<LOQ	n.a.	n.a.	1698	1655	1741	2855	2798	2912
	Vendredi 19 Juin	1768	1657	1880	5212	4895	5528	<LOQ	n.a.	n.a.	<LOQ	n.a.	n.a.	1214	1145	1282	2938	2694	3182
	Samedi 20 Juin	2716	2665	2768	6752	6360	7145	72	68	75	63	58	69	1350	1344	1356	2672	2486	2857
	Dimanche 21 Juin	1414	1382	1446	5853	5594	6112	<LOQ	n.a.	n.a.	<LOQ	n.a.	n.a.	1443	1369	1516	3807	3702	3912
	Lundi 22 Juin	1363	1315	1411	3514	3380	3648	<LOQ	n.a.	n.a.	<LOQ	n.a.	n.a.	1316	1275	1358	3625	3531	3719
	Mardi 23 Juin	1742	1702	1782	3516	3336	3697	79	74	84	74	59	89	1444	1342	1547	3314	3221	3408
Paléo festival 2015	Dimanche 19 Juillet	2211	2201	2221	7673	7444	8301	<LOQ	n.a.	n.a.	<LOQ	n.a.	n.a.	2384	2320	2447	6006	5891	6122
	Lundi 20 Juillet	3506	3457	3556	9063	8921	9205	<LOQ	n.a.	n.a.	<LOQ	n.a.	n.a.	2532	2437	2627	7511	7425	7597
	Mardi 21 Juillet	5118	5027	5208	11669	11224	12114	<LOQ	n.a.	n.a.	<LOQ	n.a.	n.a.	2641	2542	2739	8833	8704	8962
	Jeudi 23 Juillet	5238	5196	5282	12562	12275	12849	<LOQ	n.a.	n.a.	88	86	91	3047	2962	3133	4702	4511	4894
	Vendredi 24 Juillet	5907	5834	5980	13001	12747	13254	110	103	118	102	92	111	2582	2467	2698	8896	8800	8992
	Samedi 25 Juillet	5413	5178	5647	15768	15113	16423	<LOQ	n.a.	n.a.	73	71	75	4123	4013	4234	4087	4038	4137
	Dimanche 26 Juillet	3368	3309	3428	11710	11267	12154	<LOQ	n.a.	n.a.	128	120	137	3677	3662	3692	7782	7328	8235

TABLEAU 11.3 suite – Charges absolues journalières calculées

Période d'étude	Date	MET			EDDP			MDMA			HMMA			AMPH			MAMPH		
		μ (mg/jour)	Valeur basse (mg/jour)	Valeur haute (mg/jour)	μ (mg/jour)	Valeur basse (mg/jour)	Valeur haute (mg/jour)	μ (mg/jour)	Valeur basse (mg/jour)	Valeur haute (mg/jour)	μ (mg/jour)	Valeur basse (mg/jour)	Valeur haute (mg/jour)	μ (mg/jour)	Valeur basse (mg/jour)	Valeur haute (mg/jour)	μ (mg/jour)	Valeur basse (mg/jour)	Valeur haute (mg/jour)
Paléo festival 2014	Lundi 21 Juillet	280	232	330	498	412	588	989	819	1168	n.d.	n.a.	n.a.	540	447	638	n.d.	n.a.	n.a.
	Mardi 22 Juillet	377	324	433	472	406	541	6047	5203	6935	262	225	300	1193	1027	1369	n.d.	n.a.	n.a.
	Mercredi 23 Juillet	409	353	468	463	399	529	7334	6330	8391	456	394	522	1232	1063	1411	40	34	46
	Jeudi 24 Juillet	389	336	444	394	341	451	7224	6240	8260	365	316	418	1466	1266	1677	44	38	50
	Vendredi 25 Juillet	447	338	561	469	355	589	11269	8518	14153	477	361	599	1970	1488	2477	88	67	111
	Samedi 26 Juillet	358	298	422	367	306	432	10470	8714	12329	442	368	520	1360	1131	1602	95	79	112
	Dimanche 27 Juillet	369	321	420	288	250	327	8163	7096	9285	525	456	597	1056	916	1203	122	106	139
Semaine normale 2015	Mercredi 17 Juin	204	202	206	486	451	522	210	195	224	<LOQ	<LOQ	n.a.	247	225	268	n.d.	n.a.	n.a.
	Jeudi 18 Juin	218	214	221	327	311	343	138	128	149	<LOQ	<LOQ	n.a.	244	227	261	n.d.	n.a.	n.a.
	Vendredi 19 Juin	263	260	267	294	286	303	274	245	303	<LOQ	<LOQ	n.a.	232	221	243	n.d.	n.a.	n.a.
	Samedi 20 Juin	221	218	225	294	292	296	778	715	842	60	59	61	374	352	395	n.d.	n.a.	n.a.
	Dimanche 21 Juin	216	210	222	384	368	400	776	768	783	115	113	117	644	615	673	n.d.	n.a.	n.a.
	Lundi 22 Juin	166	161	171	456	424	487	441	401	480	<LOQ	<LOQ	n.a.	294	265	323	n.d.	n.a.	n.a.
	Mardi 23 Juin	240	236	245	367	359	374	387	356	419	<LOQ	<LOQ	89	315	298	333	n.d.	n.a.	n.a.
Paléo festival 2015	Dimanche 19 Juillet	188	185	190	286	277	296	1496	1460	1533	193	188	198	679	662	695	<LOQ	n.a.	n.a.
	Lundi 20 Juillet	270	268	272	447	434	460	3528	3430	3626	297	288	305	1033	1024	1041	<LOQ	n.a.	n.a.
	Mardi 21 Juillet	307	291	323	405	393	418	8385	8116	8654	1048	1043	1054	2077	2052	2102	<LOQ	n.a.	n.a.
	Jeudi 23 Juillet	337	329	344	498	479	518	9782	9280	10283	871	849	893	1980	1889	2072	95	93	97
	Vendredi 24 Juillet	282	274	290	481	473	489	11006	10898	11115	1050	1015	1086	1964	1887	2041	88	85	91
	Samedi 25 Juillet	398	392	404	565	544	587	14688	14516	14859	1541	1485	1597	2251	2186	2317	96	94	97
	Dimanche 26 Juillet	298	291	305	667	643	690	10251	10120	10381	1199	1182	1217	1645	1631	1657	86	82	91

TABLEAU 11.4 – Charges per capita journalières calculées

Période d'étude	Date	COC			BE			HER			6MAM			MOR			THC-COOH		
		μ (mg/jour/1000hab)	Valeur basse	Valeur haute	μ (mg/jour/1000hab)	Valeur basse	Valeur haute	μ (mg/jour/1000hab)	Valeur basse	Valeur haute	μ (mg/jour/1000hab)	Valeur basse	Valeur haute	μ (mg/jour/1000hab)	Valeur basse	Valeur haute	μ (mg/jour/1000hab)	Valeur basse	Valeur haute
Paléo festival 2014	Lundi 21 Juillet	55	46	65	150	124	177	n.d.	n.a.	n.a.	n.d.	n.a.	n.a.	22	18	26	108	89	127
	Mardi 22 Juillet	43	37	49	138	119	158	n.d.	n.a.	n.a.	n.d.	n.a.	n.a.	17	14	19	120	103	138
	Mercredi 23 Juillet	44	38	50	151	131	173	n.d.	n.a.	n.a.	n.d.	n.a.	n.a.	21	18	24	130	112	149
	Jeudi 24 Juillet	41	35	47	131	113	150	n.d.	n.a.	n.a.	n.d.	n.a.	n.a.	21	18	24	125	108	143
	Vendredi 25 Juillet	79	60	99	215	163	270	n.d.	n.a.	n.a.	n.d.	n.a.	n.a.	22	17	28	122	92	153
	Samedi 26 Juillet	54	45	64	212	177	250	n.d.	n.a.	n.a.	n.d.	n.a.	n.a.	22	18	26	145	121	171
	Dimanche 27 Juillet	49	42	55	164	143	187	n.d.	n.a.	n.a.	n.d.	n.a.	n.a.	15	13	17	120	105	137
Semaine normale 2015	Mercredi 17 Juin	46	45	47	153	147	159	<LOQ	n.a.	n.a.	<LOQ	n.a.	n.a.	50	48	53	118	115	121
	Jeudi 18 Juin	53	52	53	184	174	193	<LOQ	n.a.	n.a.	<LOQ	n.a.	n.a.	55	54	57	93	91	95
	Vendredi 19 Juin	60	56	64	177	167	188	<LOQ	n.a.	n.a.	<LOQ	n.a.	n.a.	41	39	44	100	92	108
	Samedi 20 Juin	122	120	124	304	286	321	3.2	3.1	3.4	2.8	2.6	3.1	61	60	61	120	112	128
	Dimanche 21 Juin	45	44	47	188	180	197	<LOQ	n.a.	n.a.	<LOQ	n.a.	n.a.	46	44	49	122	119	126
	Lundi 22 Juin	49	47	51	126	121	131	<LOQ	n.a.	n.a.	<LOQ	n.a.	n.a.	47	46	49	130	127	134
	Mardi 23 Juin	54	53	55	109	104	115	2.5	2.3	2.6	2.30	1.84	2.76	45	42	48	103	100	106
Paléo festival 2015	Dimanche 19 Juillet	69	69	69	245	232	259	<LOQ	n.a.	n.a.	<LOQ	n.a.	n.a.	74	72	76	187	184	191
	Lundi 20 Juillet	42	41	42	108	106	110	<LOQ	n.a.	n.a.	<LOQ	n.a.	n.a.	30	29	31	90	89	91
	Mardi 21 Juillet	54	53	55	124	119	128	<LOQ	n.a.	n.a.	<LOQ	n.a.	n.a.	28	27	29	94	92	95
	Jeudi 23 Juillet	73	72	74	175	171	179	<LOQ	n.a.	n.a.	1.2	1.2	1.3	43	41	44	66	63	68
	Vendredi 24 Juillet	89	88	90	196	192	200	1.7	1.6	1.8	1.5	1.4	1.7	39	37	41	134	133	136
	Samedi 25 Juillet	74	71	77	215	206	224	<LOQ	n.a.	n.a.	0.99	0.97	1.02	56	55	58	56	55	56
	Dimanche 26 Juillet	47	46	48	163	157	169	<LOQ	n.a.	n.a.	1.8	1.7	1.9	51	51	51	108	102	115

TABLEAU 11.4 suite – Charges per capita journalières calculées

Période d'étude	Date	MET			EDDP			MDMA			HMMA			AMPH			MAMPH		
		µ (mg/jour/1000hab)	Valeur basse	Valeur haute	µ (mg/jour/1000hab)	Valeur basse	Valeur haute	µ (mg/jour/1000hab)	Valeur basse	Valeur haute	µ (mg/jour/1000hab)	Valeur basse	Valeur haute	µ (mg/jour/1000hab)	Valeur basse	Valeur haute	µ (mg/jour/1000hab)	Valeur basse	Valeur haute
Paléo festival 2014	Lundi 21 Juillet	7.9	6.5	9.3	14	12	17	28	23	33	n.d.	n.a.	n.a.	15	13	18	n.d.	n.a.	n.a.
	Mardi 22 Juillet	5.2	4.5	6.0	6.6	5.7	7.5	84	72	97	3.6	3.1	4.2	17	14	19	n.d.	n.a.	n.a.
	Mercredi 23 Juillet	5.5	4.8	6.3	6.2	5.4	7.1	99	85	113	6.1	5.3	7.0	17	14	19	0.54	0.46	0.61
	Jeudi 24 Juillet	4.9	4.2	5.6	5.0	4.3	5.7	91	79	104	4.6	4.0	5.3	19	16	21	0.55	0.48	0.63
	Vendredi 25 Juillet	5.9	4.4	7.4	6.2	4.7	7.7	148	112	186	6.3	4.7	7.9	26	20	33	1.2	0.9	1.5
	Samedi 26 Juillet	5.3	4.4	6.2	5.4	4.5	6.4	155	129	182	6.5	5.4	7.7	20	17	24	1.4	1.2	1.7
	Dimanche 27 Juillet	4.3	3.7	4.8	3.3	2.9	3.8	94	82	107	6.0	5.2	6.9	12	11	14	1.4	1.2	1.6
Semaine normale 2015	Mercredi 17 Juin	7.0	6.9	7.1	17	16	18	7.2	6.7	7.7	<LOQ	<LOQ	n.a.	8.5	7.8	9.2	n.d.	n.a.	n.a.
	Jeudi 18 Juin	7.1	6.9	7.2	11	10	11	4.5	4.2	4.8	<LOQ	<LOQ	n.a.	7.9	7.4	8.5	n.d.	n.a.	n.a.
	Vendredi 19 Juin	9.0	8.8	9.1	10	10	10	9.3	8.3	10.3	<LOQ	<LOQ	n.a.	7.9	7.5	8.3	n.d.	n.a.	n.a.
	Samedi 20 Juin	9.9	9.8	10.1	13	13	13	35	32	38	2.7	2.6	2.8	17	16	18	n.d.	n.a.	n.a.
	Dimanche 21 Juin	6.9	6.7	7.1	12	12	13	25	25	25	3.7	3.6	3.8	21	20	22	n.d.	n.a.	n.a.
	Lundi 22 Juin	6.0	5.8	6.1	16	15	18	16	14	17	<LOQ	<LOQ	n.a.	11	10	12	n.d.	n.a.	n.a.
	Mardi 23 Juin	7.5	7.3	7.6	11	11	12	12	11	13	<LOQ	<LOQ	89	10	9.3	10	n.d.	n.a.	n.a.
Paléo festival 2015	Dimanche 19 Juillet	5.8	5.8	5.9	8.9	8.6	9.2	47	45	48	6.0	5.9	6.2	21	21	22	<LOQ	n.a.	n.a.
	Lundi 20 Juillet	3.2	3.2	3.2	5.3	5.2	5.5	42	41	43	3.5	3.4	3.6	12	12	12	<LOQ	n.a.	n.a.
	Mardi 21 Juillet	3.2	3.1	3.4	4.3	4.2	4.4	89	86	92	11	11	11	22	22	22	<LOQ	n.a.	n.a.
	Jeudi 23 Juillet	4.7	4.6	4.8	7.0	6.7	7.2	136	129	143	12	12	12	28	26	29	1.3	1.3	1.4
	Vendredi 24 Juillet	4.2	4.1	4.4	7.3	7.1	7.4	166	164	168	16	15	16	30	28	31	1.3	1.3	1.4
	Samedi 25 Juillet	5.4	5.3	5.5	7.7	7.4	8.0	200	198	203	21	20	22	31	30	32	1.3	1.3	1.3
	Dimanche 26 Juillet	4.1	4.0	4.2	9.3	8.9	9.6	143	141	144	17	16	17	23	23	23	1.2	1.1	1.3

TABLEAU 11.5 – Estimation des quantités consommées journalières absolues

Période d'étude	Date	BE			MDMA			AMPH			MAMPH		
		μ (g/jour)	Valeur basse (g/jour)	Valeur haute (g/jour)	μ (g/jour)	Valeur basse (g/jour)	Valeur haute (g/jour)	μ (g/jour)	Valeur basse (g/jour)	Valeur haute (g/jour)	μ (g/jour)	Valeur basse (g/jour)	Valeur haute (g/jour)
Paléo festival 2014	Lundi 21 Juillet	18	14	24	6.3	4.7	8.4	1.9	1.5	2.2	n.d.	n.a.	n.a.
	Mardi 22 Juillet	34	26	44	39	30	51	4.1	3.5	4.8	n.d.	n.a.	n.a.
	Mercredi 23 Juillet	39	30	50	47	36	61	4.2	3.6	4.9	0.14	0.11	0.18
	Jeudi 24 Juillet	36	28	47	46	35	60	5.0	4.3	5.8	0.15	0.12	0.19
	Vendredi 25 Juillet	57	40	78	72	50	100	6.8	5.1	8.6	0.31	0.22	0.42
	Samedi 26 Juillet	50	38	66	67	50	89	4.7	3.8	5.6	0.34	0.26	0.43
	Dimanche 27 Juillet	49	38	64	52	40	68	3.6	3.1	4.2	0.43	0.34	0.54
Quantité consommée moyenne		44	34	56	54	40	72	4.7	3.7	6.6	0.23	0.018	0.42
Semaine normale 2015	Mercredi 17 Juin	15	12	19	1.3	1.1	1.7	0.85	0.76	0.94	n.d.	n.a.	n.a.
	Jeudi 18 Juin	20	16	25	0.89	0.70	1.1	0.84	0.76	0.92	n.d.	n.a.	n.a.
	Vendredi 19 Juin	18	14	23	1.8	1.4	2.3	0.80	0.74	0.86	n.d.	n.a.	n.a.
	Samedi 20 Juin	23	19	29	5.0	3.9	6.4	1.3	1.2	1.4	n.d.	n.a.	n.a.
	Dimanche 21 Juin	20	16	25	5.0	4.0	6.3	2.2	2.0	2.4	n.d.	n.a.	n.a.
	Lundi 22 Juin	12	10	15	2.8	2.2	3.6	1.0	0.90	1.1	n.d.	n.a.	n.a.
Mardi 23 Juin	12	10	15	2.5	2.0	3.2	1.1	1.0	1.2	n.d.	n.a.	n.a.	
Quantité consommée moyenne		17	12	23	2.8	0.96	5	1.2	0.80	2.1	n.d.	n.a.	n.a.
Paléo festival 2015	Dimanche 19 Juillet	27	22	34	9.6	7.6	12.1	2.3	2.2	2.5	<LOQ	n.a.	n.a.
	Lundi 20 Juillet	31	25	39	23	18	29	3.6	3.3	3.8	<LOQ	n.a.	n.a.
	Mardi 21 Juillet	40	33	51	54	43	68	7.1	6.7	7.6	<LOQ	n.a.	n.a.
	Jeudi 23 Juillet	44	35	54	63	50	80	6.8	6.3	7.4	0.34	0.28	0.40
	Vendredi 24 Juillet	45	36	56	71	56	89	6.8	6.3	7.3	0.31	0.26	0.37
	Samedi 25 Juillet	55	44	68	94	75	119	7.7	7.2	8.3	0.34	0.28	0.40
	Dimanche 26 Juillet	41	33	51	66	52	83	5.7	5.3	6.0	0.31	0.25	0.37
Quantité consommée moyenne		43	33	54	62	27	91	6.3	3.8	7.7	0.21	0	0.34

TABLEAU 11.6 – Estimation des quantités consommées journalières per capita

Période d'étude	Date	BE			MDMA			AMPH			MAMPH		
		μ (g/jour/ 1000hab)	Valeur basse	Valeur haute	μ (g/jour/ 1000hab)	Valeur basse	Valeur haute	μ (g/jour/ 1000hab)	Valeur basse	Valeur haute	μ (g/jour/ 1000hab)	Valeur basse	Valeur haute
Paléo festival 2014	Lundi 21 Juillet	0.52	0.39	0.68	0.18	0.13	0.24	0.052	0.043	0.062	n.d.	n.a.	n.a.
	Mardi 22 Juillet	0.48	0.37	0.62	0.54	0.41	0.71	0.057	0.049	0.066	n.d.	n.a.	n.a.
	Mercredi 23 Juillet	0.52	0.40	0.68	0.63	0.48	0.83	0.057	0.049	0.066	0.0019	0.0015	0.0024
	Jeudi 24 Juillet	0.46	0.35	0.59	0.59	0.45	0.76	0.064	0.054	0.074	0.0019	0.0015	0.0024
	Vendredi 25 Juillet	0.75	0.52	1.02	0.95	0.66	1.3	0.089	0.067	0.113	0.0041	0.0029	0.0055
	Samedi 26 Juillet	0.74	0.55	0.97	0.99	0.74	1.3	0.069	0.057	0.082	0.0050	0.0038	0.0063
	Dimanche 27 Juillet	0.57	0.44	0.73	0.60	0.46	0.78	0.042	0.036	0.048	0.0050	0.0040	0.0062
Quantité consommée moyenne		0.59	0.46	0.75	0.72	0.55	0.99	0.063	0.044	0.086	0.0030	0.00024	0.0050
Semaine normale 2015	Mercredi 17 Juin	0.53	0.43	0.66	0.046	0.037	0.059	0.029	0.026	0.032	n.d.	n.a.	n.a.
	Jeudi 18 Juin	0.64	0.51	0.80	0.029	0.023	0.037	0.027	0.025	0.030	n.d.	n.a.	n.a.
	Vendredi 19 Juin	0.62	0.49	0.77	0.060	0.046	0.077	0.027	0.025	0.029	n.d.	n.a.	n.a.
	Samedi 20 Juin	1.05	0.84	1.32	0.22	0.18	0.29	0.058	0.053	0.063	n.d.	n.a.	n.a.
	Dimanche 21 Juin	0.65	0.53	0.82	0.16	0.13	0.20	0.071	0.066	0.077	n.d.	n.a.	n.a.
	Lundi 22 Juin	0.44	0.35	0.55	0.10	0.08	0.13	0.036	0.032	0.041	n.d.	n.a.	n.a.
	Mardi 23 Juin	0.38	0.31	0.48	0.077	0.061	0.10	0.034	0.031	0.037	n.d.	n.a.	n.a.
Quantité consommée moyenne		0.62	0.39	0.87	0.10	0.032	0.20	0.040	0.027	0.065	n.d.	n.a.	n.a.
Paléo festival 2015	Dimanche 19 Juillet	0.85	0.68	1.07	0.30	0.24	0.38	0.073	0.068	0.078	<LOQ	n.a.	n.a.
	Lundi 20 Juillet	0.38	0.30	0.47	0.27	0.22	0.34	0.042	0.040	0.045	<LOQ	n.a.	n.a.
	Mardi 21 Juillet	0.43	0.35	0.54	0.57	0.45	0.72	0.076	0.071	0.081	<LOQ	n.a.	n.a.
	Jeudi 23 Juillet	0.61	0.49	0.76	0.88	0.69	1.11	0.095	0.088	0.103	0.0047	0.0039	0.0056
	Vendredi 24 Juillet	0.68	0.55	0.85	1.1	0.85	1.3	0.10	0.094	0.11	0.0047	0.0039	0.0056
	Samedi 25 Juillet	0.75	0.60	0.93	1.3	1.0	1.6	0.11	0.098	0.11	0.0046	0.0039	0.0055
	Dimanche 26 Juillet	0.57	0.46	0.71	0.92	0.73	1.2	0.079	0.074	0.084	0.0042	0.0035	0.0051
Quantité consommée moyenne		0.57	0.38	0.74	0.83	0.31	1.26	0.083	0.047	0.11	0.0030	0	0.0047

11.3.2 Mesure de la taille de la population

Calcul de l'équivalent habitant en ammonium associé à la STEP de Nyon

Afin de calculer l'équivalent habitant (EH) en ammonium, il est nécessaire de connaître le débit moyen journalier et la concentration moyenne journalière en ammonium mesurés à la STEP de Nyon. Ces données, ainsi que le nombre d'habitants raccordés, sont regroupées dans les bilans d'épuration vaudois, qui sont établis chaque année. Les données des années 2011 à 2015 ont été sélectionnées (Direction générale de l'environnement, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015). Les éditions du Paléo Festival étudiées étant celles de 2014 et 2015, ces deux années ont été bien évidemment considérées. Il a été choisi de remonter jusqu'à 2011, afin de fournir un EH représentatif de cinq années consécutives.

Le nombre d'habitants raccordés (Direction générale de l'environnement, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015) est théoriquement équivalent aux données de recensement des communes (Statistique Vaud, 2018a) dont les eaux usées sont traitées par la STEP sous étude (cela est vrai si l'ensemble des eaux usées d'une commune est traité par la même STEP, ce qui n'est par exemple pas le cas à Genève). La vérification a été faite pour la STEP de Nyon de 2011 à 2015 et les valeurs concordent parfaitement pour 2011 et 2014 (voir Tableau 11.7). Les faibles différences pour les années 2012, 2013 et 2015 peuvent découler du fait que les bilans d'épuration sont issus avant les statistiques de recensement et qu'ils se basent sur des données provisoires, qui ne sont pas révisées par la suite lorsque les statistiques officielles sortent. Les chiffres calculés à l'aide des statistiques officielles sont donc considérés comme davantage fiables. Comme ces chiffres sont censés représenter la même chose que le nombre d'habitants raccordés, les deux termes seront employés indifféremment par la suite.

Analyser l'ammonium dans les eaux usées pour évaluer la taille de la population plutôt qu'utiliser simplement le nombre d'habitants raccordés afin de normaliser les charges ou les quantités consommées absolues se justifie par le fait que le nombre d'habitants raccordés ne reflète pas réellement le nombre de personnes qui contribue effectivement aux eaux usées. En effet, les pendulaires et les touristes notamment, sont autant de personnes qui utilisent les toilettes, mais qui ne sont pas compris dans le nombre d'habitants raccordés. Or, la taille de la population journalière est un paramètre utilisé dans l'estimation de l'EH (donnée (a) dans le Tableau 11.9). En utilisant le chiffre du nombre d'habitants raccordés, on ne tient pas compte des personnes qui contribuent réellement aux eaux usées. Il est donc nécessaire de déterminer la taille de la population qui contribue effectivement aux eaux usées traitées par la STEP de Nyon.

Le nombre d'habitants raccordés est un estimateur qui pourrait refléter assez fidèlement le nombre de personnes qui contribuent très tard le soir ou très tôt le matin aux eaux usées, mais il ne reflète pas le nombre total de personnes qui contribuent lors de la journée, c'est-à-dire principalement celles qui travaillent mais qui n'habitent pas dans les communes concernées. Le nombre de personnes qui travaille peut être évalué grâce aux statistiques officielles, qui reportent

TABLEAU 11.7 – Données de recensement comparées au nombre d’habitants raccordés par année

Commune	2011	2012	2013	2014	2015	
Arnex	182	187	190	190	208	
Borex	863	877	899	919	1049	
Eysins	1315	1316	1363	1462	1469	
Grens	349	350	365	366	380	
Nyon	18712	18804	19016	19632	19861	
Signy	434	442	445	457	481	Moyenne
Somme des habitants recensés	21855	21976	22278	23026	23448	22 517
Nombre d’habitants raccordés à la STEP de Nyon	21857	21857	21976	23026	22909	

le nombre d’emplois par commune (Statistique Vaud, 2018b). Les personnes qui habitent dans l’une des six communes mais qui partent pendant la journée pour travailler hors de ces dernières doivent être aussi considérées. Il est donc nécessaire d’évaluer le nombre de pendulaires sortants par commune. De telles données ne sont pas directement disponibles, seules les données cumulées entre 2011 et 2015 par district (Office fédéral de la statistique, 2017a) ou par ville (Office fédéral de la statistique, 2017b) existent. Ces statistiques distinguent les pendulaires sortants, entrants et internes. Il ne peut pas être exclu que les pendulaires sortants de la ville de Nyon aillent travailler dans l’une des cinq autres communes raccordées à la STEP de Nyon. Ainsi, il est plus conservateur de travailler avec les données liées au district de Nyon, plutôt qu’à la ville de Nyon. Le district de Nyon compte 47 communes, soit bien davantage que les six communes raccordées à la STEP de Nyon. Ces statistiques ne sont donc pas idéales, mais elles permettent toutefois d’estimer le nombre de pendulaires sortants. Entre 2011 et 2015, la population résidente du district de Nyon était de 75553 personnes. Parmi elles, 20995 étaient des pendulaires sortants, ce qui représentait 28% de la population résidente. Nous pouvons donc estimer que le 28% de la population résidente des six communes raccordées à la STEP de Nyon était des pendulaires sortants. Le 28% du nombre d’habitants raccordés a été calculé pour évaluer le nombre de pendulaires sortants.

Le nombre de personnes qui ne travaille pas a ensuite été calculé, et est défini dans le présent cas tel que la somme des jeunes entre 0 et 15 ans, des personnes de 65 ans et plus, à la retraite, et des chômeurs. Le nombre de jeunes de moins de 15 ans et celui des personnes de 65 ans et plus sont également disponibles en fonction de chaque commune et de chaque année (Statistique Vaud, 2016). Concernant le nombre de chômeurs, les chiffres n’existent pas par commune, mais par district, et ce, mensuellement. Les données des mois de juillet de 2011 à 2015 ont donc été sélectionnées (Statistique Vaud, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015). Le pourcentage de chômeurs fait référence à la population active. Ainsi le pourcentage de chômeurs est appliqué au nombre annuel d’habitants recensés, auquel sont soustraites les personnes entre 0 et 15 ans et les personnes entre

TABLEAU 11.8 – Nombre de contributeurs moyen journalier à la STEP de Nyon comparé à la population totale équivalente

Nombres calculés pour les six communes desservies par la STEP de Nyon	2011	2012	2013	2014	2015	
Emplois	16840	17446	17603	17612	18112	
Pendulaires sortants	5061	5097	5178	5334	5432	
Personnes entre 0 et 15 ans	3643	3635	3643	3832	3899	
Personnes de 65 ans et plus	3170	3254	3393	3511	3621	
Chômeurs	542	543	640	565	605	Moyenne
Somme des contributeurs à la STEP de Nyon	29255	29975	30458	30853	31670	30442
Population totale équivalente	24615	44057	27740	26828	28446	

65 ans et plus.

La somme des emplois, des pendulaires sortants, des personnes entre 0 et 15 ans et 65 ans et plus et des chômeurs pour les six communes a donc été calculée pour chaque année entre 2011 et 2015 et a permis d'obtenir le nombre de contributeurs moyen journalier aux eaux usées traitées par la STEP de Nyon. Les résultats de nos calculs sont indiqués dans le Tableau 11.8.

Le nombre de contributeurs moyen journalier aux eaux usées traitées par la STEP de Nyon est de 30442 entre 2011 et 2015 (voir Tableau 11.8). Par comparaison, la valeur moyenne des habitants raccordés sur la même période est de 22517 habitants (voir Tableau 11.7). Cela fait une différence de 7926 contributeurs. Le nombre de contributeurs moyen journalier, calculé pour chaque année entre 2011 et 2015, est reporté dans le Tableau 11.9 sous (a) et a été considéré pour calculer l'EH en ammonium.

Il est par ailleurs intéressant de comparer le nombre de contributeurs à une autre donnée, également reportée dans les bilans d'épuration vaudois, qui est la population totale équivalente (voir Tableau 11.8). Ce chiffre est déterminé sur la base d'un autre marqueur urinaire, la DCO (demande chimique en oxygène). Les deux séries de chiffres sont similaires, à l'exception du 44057, mesuré en 2012 par la DCO. Aucun détail n'est disponible dans le bilan d'épuration de 2012 pour expliquer cette valeur élevée. Cette dernière est probablement un *outlier*, car il est difficile de justifier une augmentation exceptionnelle de presque 20000 personnes dans un bassin de population si réduit. La DCO a été considérée comme un marqueur qui n'est pas idéal puisqu'il n'est pas spécifique à l'humain (O'Brien et al., 2014). Quant à l'ammonium, il est employé comme fertilisant dans l'agriculture, plus exactement sous forme de nitrate d'ammonium. Dans le cas où les lixiviats de décharge seraient relayés vers la STEP, alors l'ammonium présent dans les eaux usées viendrait non seulement des contributions humaines, mais également de l'emploi d'engrais (Brewer et al., 2012). Cela pourrait ainsi être problématique dans le cas de l'étude d'un milieu rural, ce qui est justement le cas de la STEP de Nyon. Mais finalement, si l'EH du marqueur

TABLEAU 11.9 – Calcul de l’EH en ammonium de la STEP de Nyon

Année	Débit moyen journalier (L) (x)	Concentration en ammonium moyenne journalière (mg/L) (y)	Charges moyennes en ammonium (g/jour) ($z=x*y$)	Nombre de contributeurs moyen journalier à la STEP de Nyon (a)	EH en ammonium (g/jour/habitant) ($b=z/a$)
2011	6292000	34.59	217640	29255	7.4
2012	7650000	34.08	260712	29975	8.7
2013	7943000	32.13	255209	30458	8.4
2014	7330000	34.66	254058	30853	8.2
2015	7141000	33.40	238509	31670	7.5
				Moyenne (μ_b)	8.1

étudié est représentatif de la STEP investiguée, cela a peu d’importance. En effet, la contribution de l’agriculture serait prise en compte dans l’EH calculé. Cela démontre l’importance d’utiliser un EH représentatif de la STEP considérée, et non pas un EH par défaut, comme la valeur de 7 g/jour/hab utilisé par défaut par les STEP en Suisse. Un tel EH serait adapté à une STEP peu influencée par l’agriculture.

Sur la base de la taille de la population moyenne journalière à présent représentative des contributeurs aux eaux usées de la STEP de Nyon, du débit moyen journalier et de la concentration moyenne journalière en ammonium mesurés à la STEP de Nyon¹, il est possible de calculer l’EH en ammonium valide entre 2011 et 2015. Les résultats sont affichés dans le Tableau 11.9. Cet EH de 8.1 est bien supérieur à celui de Lausanne de 6.9, ce qui est probablement dû aux activités agricoles du bassin nyonnais.

L’Objectif technique 6_{Paleo} est donc atteint.

Une fois l’EH représentatif de la STEP de Nyon calculé, il a été possible de calculer la taille de la population contribuant à la STEP de Nyon lors des éditions du Paléo Festival 2014 et 2015 et lors de la semaine normale, à partir des concentrations en ammonium mesurées dans chaque échantillon journalier d’eau usée. Les données sont reportées dans le Tableau 11.10.

1. Nous rappelons que ces deux dernières données sont reportées dans les bilans d’épuration vaudois (Direction générale de l’environnement, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015)

TABLEAU 11.10 – Tailles de la population calculées avec l'EH représentatif de la STEP de Nyon lors de la semaine normale et des Paléo Festivals 2014 et 2015

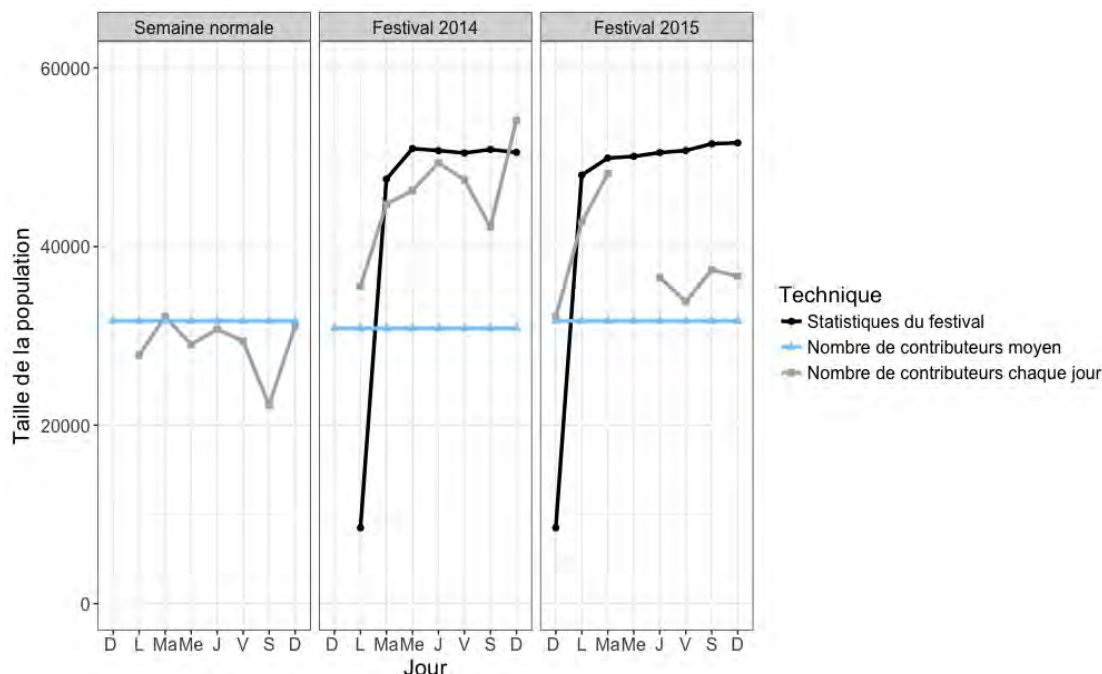
Période d'étude	Date	Débit journalier (L) (x)	Concentration en ammonium journalière mesurée (mg/L) (y)	Charges en ammonium calculées (g/jour) (z=x*y)	Taille de la population (a=z/μ _s)
Paléo festival 2014	Lundi 21 Juillet	8536000	33.72	287834	35535
	Mardi 22 Juillet	7791900	46.52	362477	44750
	Mercredi 23 Juillet	7917900	47.34	374814	46273
	Jeudi 24 Juillet	7806900	51.22	399845	49364
	Vendredi 25 Juillet	10463400	36.74	384416	47459
	Samedi 26 Juillet	9317500	36.69	341886	42208
	Dimanche 27 Juillet	8471000	51.78	438661	54156
Semaine normale 2015	Mercredi 17 Juin	7090000	33.16	235122	27837
	Jeudi 18 Juin	7347000	33.91	249118	32135
	Vendredi 19 Juin	6521000	36.50	237984	29027
	Samedi 20 Juin	5771000	31.22	180171	30755
	Dimanche 21 Juin	6897000	36.52	251878	29381
	Lundi 22 Juin	7581000	29.74	225478	22243
	Mardi 23 Juin	7057000	36.89	260297	31096
Paléo festival 2015	Dimanche 19 Juillet	6713000	38.73	259994	32098
	Lundi 20 Juillet	7843000	44.12	346014	42718
	Mardi 21 Juillet	8238000	47.36	390152	48167
	Jeudi 23 Juillet	8441000	35.08	296068	36552
	Vendredi 24 Juillet	9012000	30.41	274010	33828
	Samedi 25 Juillet	7206000	42.03	302832	37387
	Dimanche 26 Juillet	8327000	35.67	296982	36665

Comparaison des résultats obtenus avec l'ammonium aux nombres de contributeurs moyens à la STEP de Nyon et de festivaliers

Logiquement, la taille de la population calculée à l'aide de l'ammonium lors de la semaine normale (voir Tableau 11.10) devrait être proche du nombre de contributeurs moyen à la STEP de Nyon calculé en 2015 (voir Tableau 11.8), ce qui est illustré sur le Graphique 11.1. Lors du festival, la taille de la population contribuant aux eaux usées devraient être légèrement inférieure à la somme du nombre de contributeurs moyen à la STEP de Nyon (voir Tableau 11.10) et des festivaliers (Paléo Festival, 2014, 2015). En effet, certaines des personnes qui contribuent en temps normal à la STEP de Nyon participent également au festival, d'où une taille de population légèrement inférieure à la somme des deux groupes. Mais ce n'est pas le cas d'après le Graphique 11.1. Les chiffres en gris devraient au moins être supérieurs aux statistiques du festival indiquées en noir, mais ils s'avèrent bien inférieurs à ces derniers.

Pourquoi cela? Les personnes contribuant aux eaux usées de la STEP de Nyon pendant 24h lors du festival en 2014 et 2015 sont les personnes qui contribuent habituellement ainsi que les campeurs. 8500 campeurs environ ont été enregistrés en 2014 et 2015 (Paléo Festival, 2014, 2015), additionnés au nombre de contributeurs moyen en 2014 de 30853 et en 2015 de 31670, cela fait environ 38000 personnes contribuant aux eaux usées pendant 24h. Or, le festival attire environ 50000 personnes chaque soir, qui contribuent pendant moins de 24h aux eaux usées. Ces derniers contribuent en effet pendant une période réduite de temps, en moyenne de 8h (Paléo Festival, 2017). Cela signifie que les personnes qui contribuent pendant 24h aux eaux usées de la

GRAPHIQUE 11.1 – Comparaison des tailles de population issues des statistiques du festival, du nombre de contributeurs moyen à la STEP de Nyon en 2014 et en 2015, et du nombre de contributeurs journalier à la STEP de Nyon calculé lors de la semaine normale et des Paléo Festivals 2014 et 2015



STEP de Nyon sont en minorité par rapport aux personnes qui contribuent pendant seulement 8h. Or, l'EH en ammonium est la quantité produite en ammonium par une personne au cours de 24h. Une personne qui contribuera aux eaux usées pendant 8h excrètera donc logiquement moins d'ammonium que pendant 24h. Appliquer l'EH en ammonium représentatif de la STEP de Nyon lorsque le festival a lieu sous-estime la véritable taille de la population contribuant aux eaux usées. Il est donc nécessaire de trouver une solution tenant compte de cette difficulté.

Proposition d'une solution

Les statistiques du festival relatives au nombre de festivaliers comprennent certaines des personnes qui contribuent en temps normal à la STEP de Nyon. Il n'est donc pas possible d'additionner simplement le nombre de festivaliers figurant dans ces statistiques au nombre de contributeurs calculé chaque jour grâce aux charges d'ammonium pour estimer la taille de la population contribuant aux eaux usées pendant le festival. En faisant cela, les personnes qui contribuent en temps normal à la STEP de Nyon et qui participent au festival seraient comptées deux fois. Il est donc nécessaire de trouver un moyen d'estimer afin d'évaluer leur nombre. La solution vient peut-être d'un sondage réalisé en 2013 qui révèle que 13% des festivaliers habitent dans l'agglomération de Nyon (Paléo Festival, 2013b). Cette dernière comprend, en plus des six communes raccordées à la STEP de Nyon, les trois communes de Prangins, Duillier et Trélex. Le sondage ne reporte que le nombre de festivaliers qui *habitent* dans l'agglomération de Nyon et non

pas qui *contribuent* aux eaux usées traitées par l'agglomération de Nyon. Ainsi, ce dernier chiffre devrait être supérieur aux 13% du sondage. Cependant, nous rappelons que l'agglomération de Nyon contient neuf communes, alors que seules six sont desservies par la STEP de Nyon. La commune de Prangins étant relativement importante par rapport aux petites communes de Arnex, Borrex, Grens, Eysins et Signy, nous avons finalement estimé qu'environ 10% des festivaliers contribuaient en temps normal à la STEP de Nyon. Concernant le jour d'ouverture du camping en 2014 (lundi 21 juillet) et en 2015 (dimanche 19 juillet), seuls les campeurs sont présents (Paléo Festival, 2014, 2015). D'après un sondage réalisé en 2013 auprès des campeurs, un seul d'entre eux provenait de l'agglomération de Nyon (Paléo Festival, 2013a). En effet, en habitant si près du festival, il est logique de supposer que la majorité des personnes habitant l'agglomération de Nyon ne loge pas au camping. Pour simplifier la situation, il a été indiqué que 0 campeur contribuait aux eaux usées en temps normal à la STEP de Nyon. En soustrayant les 10% de festivaliers au nombre de contributeurs moyen à la STEP de Nyon en temps normal, nous avons estimé le nombre de contributeurs à la STEP de Nyon qui ne participaient pas au festival. En additionnant ces derniers aux statistiques du festival, la taille de la population issue de la combinaison des statistiques du festival et du nombre de contributeurs moyen à la STEP de Nyon a été déterminée.

À partir de cette dernière, il est possible de calculer un nouvel EH en ammonium représentatif de chaque édition du festival et de l'appliquer ensuite aux charges d'ammonium calculées précédemment. Nous avons décidé de calculer la moyenne de l'EH sur les jours de festival, en excluant le jour d'ouverture du camping. En effet, les campeurs contribuant théoriquement pendant 24h, l'EH de 8.1 leur a été appliqué. Les EH représentatifs des deux années du festival qui en découlent sont bien inférieurs à l'EH de 8.1 représentatif à la STEP de Nyon en temps normal. Cela est lié au fait que, comme expliqué précédemment, si les festivaliers sont bien plus nombreux à contribuer aux eaux usées que les contributeurs habituels de la STEP de Nyon, ils le font sur une période plus courte que ces derniers. L'EH en ammonium lors du festival est donc logiquement plus faible que l'EH en temps normal. Cette solution est notée en gras dans le Tableau 11.11 et illustrée en rose sur le Graphique 11.2.

GRAPHIQUE 11.2 – Comparaison des tailles de population issues des statistiques du festival, du nombre de contributeurs moyen à la STEP de Nyon en 2014 et en 2015, du nombre de contributeurs journalier à la STEP de Nyon calculé lors de la semaine normale et du nombre de contributeurs journalier calculés à l'aide de la solution proposée

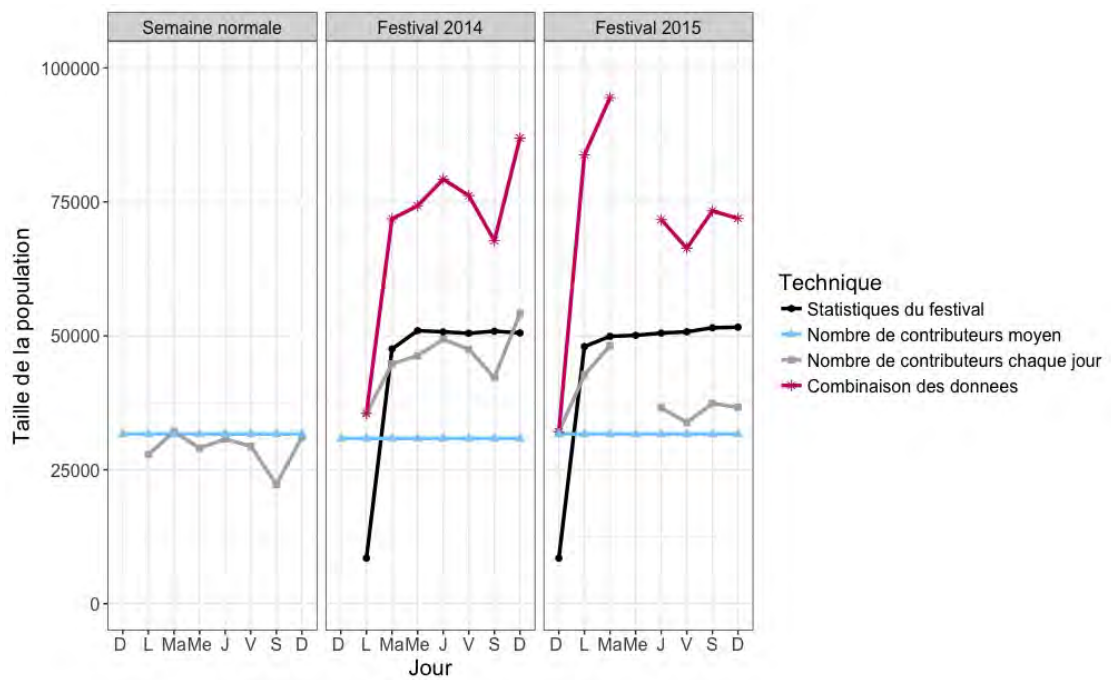


TABLEAU 11.11 – Tailles de la population calculées à l'aide de la solution proposée

Période d'étude	Date	Statistiques du festival (x)	Nombre de festivaliers contribuant à la STEP de Nyon en temps normal (y=10% de x)	Nombre de contributeurs moyen à la STEP de Nyon (z)	Nombre de contributeurs à la STEP de Nyon qui ne participent pas au festival (a=z-y)	Taille de la population contribuant à la STEP de Nyon (b=x+a)	Charges en ammonium (g/jour) (c)	Nouvel EH en ammonium (g/jour/hab) (d=c/b)	Taille de la population contribuant à la STEP de Nyon (e=c/μ _d)
Paléo festival 2014	Lundi 21 Juillet	8500 (campeurs)	0		30853	39353	287834	8.1 (exclu)	35535
	Mardi 22 Juillet	47552	4755		26098	73650	362477	4.9	71827
	Mercredi 23 Juillet	50971	5097		25756	76727	374814	4.9	74272
	Jeudi 24 Juillet	50739	5074	30853	25779	76518	399845	5.2	79232
	Vendredi 25 Juillet	50478	5048		25806	76284	384416	5.0	76175
	Samedi 26 Juillet	50867	5087		25767	76634	341886	4.5	67747
	Dimanche 27 Juillet	50538	5054		25800	76338	438661	5.7	86924
							Moyenne (μ_d)	5.0	
Paléo festival 2015	Dimanche 19 Juillet	8500 (campeurs)	0		31670	40170	259994	8.1 (exclu)	32098
	Lundi 20 Juillet	47996	4800		26870	74866	346014	4.6	83781
	Mardi 21 Juillet	49907	4991		26679	76586	390152	5.1	94468
	Jeudi 23 Juillet	50518	5052	31670	26618	77136	296068	3.8	71687
	Vendredi 24 Juillet	50749	5075		26595	77344	274010	3.5	66346
	Samedi 25 Juillet	51503	5150		26519	78022	302832	3.9	73325
	Dimanche 26 Juillet	51613	5161		26508	78121	296982	3.8	71909
							Moyenne (μ_d)	4.1	

Il peut être intéressant de comparer la taille de la population calculée avec l'EH en ammonium de 8.1 g/jour/hab à celle calculée à l'aide de l'EH en ammonium représentatif lors du festival en 2014 d'une part et 2015 d'autre part. La taille de population lors du festival calculée avec l'EH représentatif lors du festival est significativement supérieure à la taille de population lors du festival calculée à l'aide de l'EH représentatif de la STEP de Nyon en temps normal et ce, aussi bien en 2014 qu'en 2015 (t-test, p-value=6.79.10⁻⁶ en 2014, p-value= 3.357.10⁻⁵ en 2015). Cela n'est pas sans conséquence puisque sous-estimer la taille de population aurait pour effet de surestimer les consommations illicites per capita lors des Paléo Festivals 2014 et 2015.

Cela démontre que l'EH est un paramètre extrêmement important lorsqu'un marqueur urinaire est utilisé pour mesurer la taille d'une population. Lorsqu'un événement attire un grand nombre de personnes et que celles-ci sont plus nombreuses que les personnes contribuant habituellement à la STEP de la ville où a lieu l'évènement, comme les premières contribueront pendant une période de temps réduite aux eaux usées, alors l'EH du marqueur représentatif de la STEP de la ville en temps normal ne peut pas être utilisé. Si un EH représentatif de l'évènement ne peut pas être calculé, alors il est plus adapté d'employer la somme des spectateurs de l'évènement et du nombre d'habitants raccordés afin d'évaluer grossièrement la population présente lors de l'évènement en question. Par exemple, si l'on calcule en 2014 la somme des spectateurs du festival (colonne (x) dans le Tableau 11.11) et du nombre d'habitants raccordés (donnée issue du recensement en 2014, soit 23026 habitants) et qu'on la compare à la taille de la population calculée avec l'EH représentatif du festival en 2014, aucune différence statistique n'est constatée (test de Welch, p-value=0.3501). Utiliser un EH non représentatif entraîne donc des résultats aberrants par rapport à la solution la plus simple, qui consiste à additionner le nombre d'habitants raccordés à la STEP de Nyon lors de 2014 au nombre de festivaliers enregistrés au Paléo Festival 2014. Le Tableau 11.12 regroupe les tailles de population qui seront utilisées pour normaliser les données par suite.

L'**Objectif technique 7**_{Paléo} est atteint.

TABLEAU 11.12 – Tailles de la population utilisées dans le traitement des données

Période d'étude	Date	Taille de la population contribuant à la STEP de Nyon
Paléo festival 2014	Lundi 21 Juillet	35535
	Mardi 22 Juillet	71827
	Mercredi 23 Juillet	74272
	Jeudi 24 Juillet	79232
	Vendredi 25 Juillet	76175
	Samedi 26 Juillet	67747
	Dimanche 27 Juillet	86924
Semaine normale 2015	Mercredi 17 Juin	27837
	Jeudi 18 Juin	32135
	Vendredi 19 Juin	29027
	Samedi 20 Juin	30755
	Dimanche 21 Juin	29381
	Lundi 22 Juin	22243
	Mardi 23 Juin	31096
Paléo festival 2015	Dimanche 19 Juillet	32098
	Lundi 20 Juillet	83781
	Mardi 21 Juillet	94468
	Jeudi 23 Juillet	71687
	Vendredi 24 Juillet	66346
	Samedi 25 Juillet	73325
	Dimanche 26 Juillet	71909

11.3.3 Hypothèse 1

Pour rappel, l'**Hypothèse 1**_{Paleo} vise à tester si l'épidémiologie basée sur l'analyse des eaux usées permet de caractériser la consommation en stupéfiants lors du Paléo Festival au cours du temps. Aussi, cette partie s'attachera à apprécier l'évolution des consommations illicites au cours du Paléo Festival 2014 d'une part et du Paléo Festival 2015 d'autre part, pour finalement comparer les similarités ou différences observées entre les deux éditions consécutives.

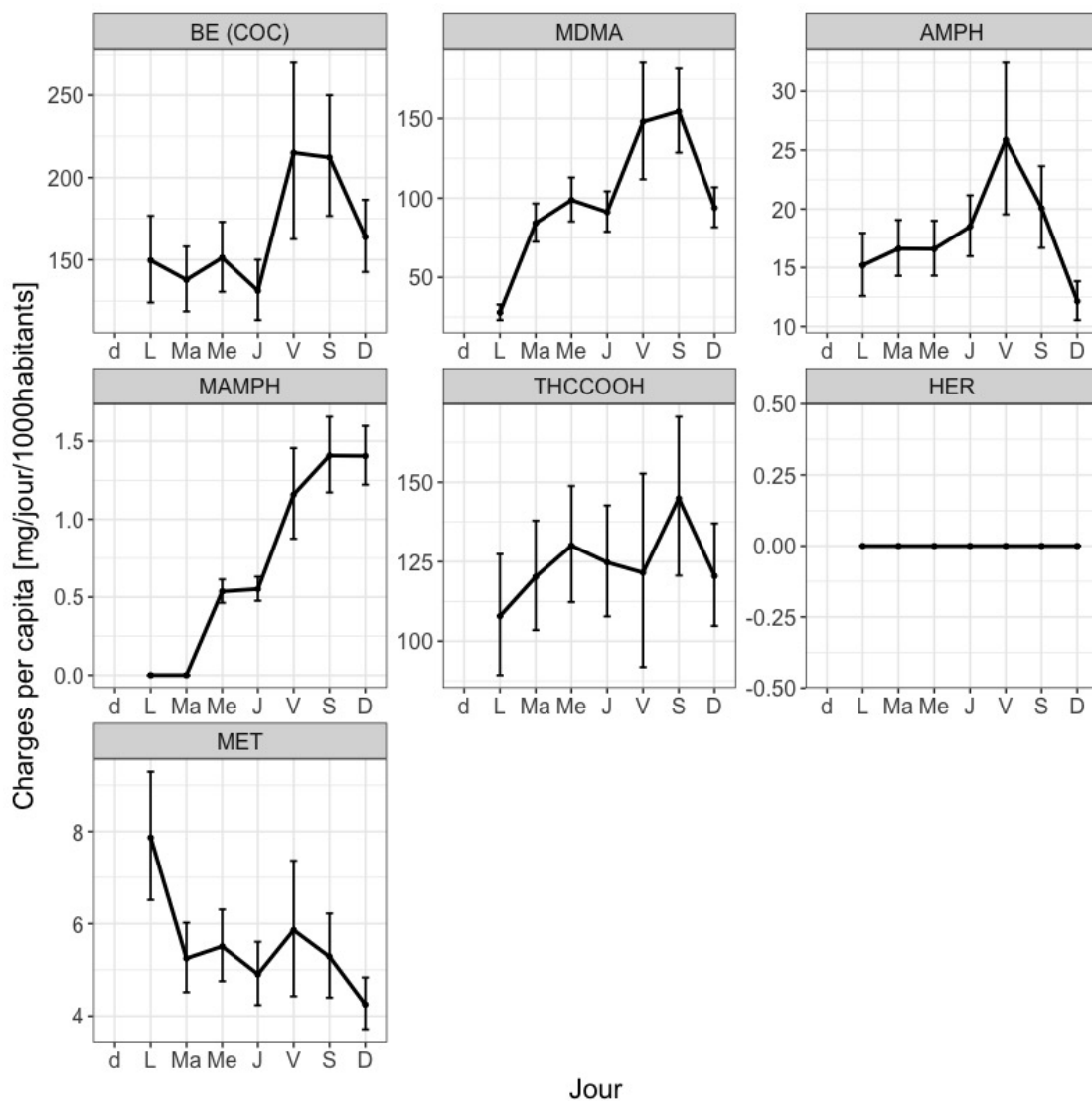
Le Graphique 11.3 illustre l'évolution des charges per capita de la BE, MDMA, AMPH, MAMPH, THC-COOH, HER, MET lors du Paléo Festival en 2014. Le lundi est le jour d'ouverture du camping, le festival commençant le mardi pour finir le dimanche. Par la suite, le jour d'ouverture du camping a été exclu des comparaisons statistiques car il ne s'agit pas à proprement parler d'un jour de festival. Il est toutefois représenté sur les graphiques.

Il est intéressant de noter l'augmentation des charges per capita lors du vendredi et samedi, très marquée pour la BE et la MDMA, et légère pour l'AMPH. Le dimanche, les charges per capita diminuent pour revenir à une valeur proche de celles observées pendant les jours de semaine. Les charges per capita de MAMPH augmentent progressivement lors de la semaine, mais restent très faibles. Les charges per capita de THC-COOH sont relativement stables lors de la semaine du festival. Les charges per capita de MET sont faibles et relativement stables au cours du festival. L'HER n'a pas été détectée lors du festival en 2014.

Le Graphique 11.4 illustre les charges per capita lors des Paléo Festivals 2014 et 2015. En 2015, le camping ouvrait ses portes le dimanche, le festival commençant le lundi pour terminer le dimanche suivant. Le jour d'ouverture du camping a également été exclu des comparaisons statistiques, mais il est représenté sur les graphiques. L'augmentation lors du week-end est observé de la même manière pour la BE, la MDMA et l'AMPH en 2015. Les charges per capita de MAMPH sont toujours aussi faibles. Les charges per capita de THC-COOH varient de façon importante en 2015. Des épisodes de pluie très intenses ont eu lieu lors du Paléo Festival 2015, ce qui aurait pu affecter la stabilité du THC-COOH dans les canalisations, étant donné sa sensibilité à une combinaison de facteurs environnementaux (pH, température, sorption) (McCall et al., 2016). De plus, nous rappelons que le THC-COOH est un composé très délicat à analyser dans les eaux usées (Causanilles et al., 2017a). Les charges per capita d'HER et de MET lors des deux éditions consécutives du Paléo Festival sont très faibles, voire nulles. Ces deux substances ne semblent pas être associées au contexte festif, comme les méthodes conventionnelles nous l'ont montré au Chapitre 7. Elles ne sont pas davantage discutées par la suite.

Les moyennes des charges per capita de la BE, MDMA, AMPH, MAMPH et THC-COOH lors des Paléo Festivals 2014 et 2015 ont été comparées au moyen d'un t-test ou d'un test t de Welch bilatéral. En effet, nous n'avons pas a priori quant aux différences statistiques qui pourraient être observées d'une année sur l'autre. Le détail des tests statistiques réalisés est disponible au Tableau 11.13.

GRAPHIQUE 11.3 – Évolution hebdomadaire des charges per capita des stupéfiants lors du Paléo Festival 2014



GRAPHIQUE 11.4 – Évolution hebdomadaire des charges per capita des stupéfiants lors des Paléo Festivals 2014 et 2015

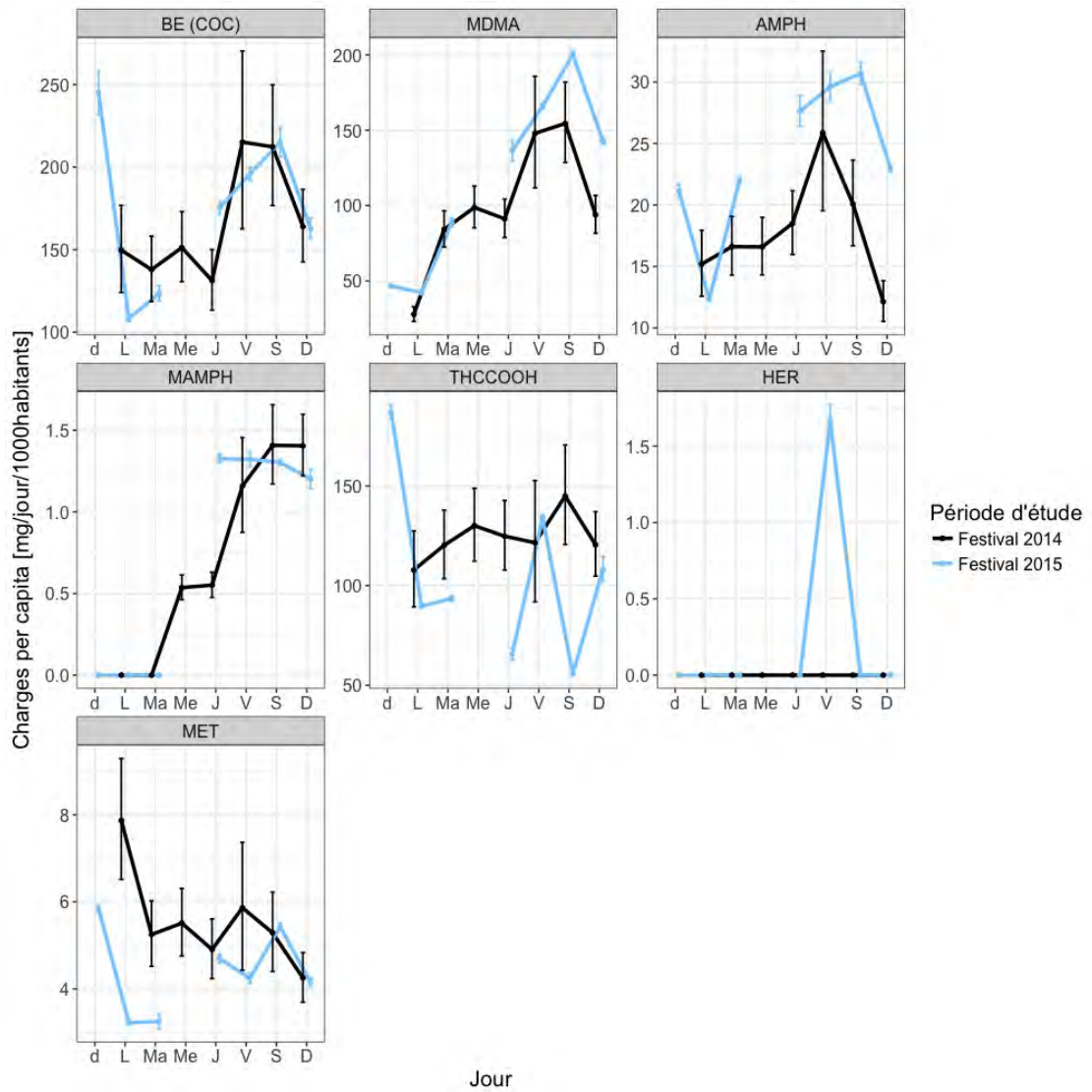


TABLEAU 11.13 – Détail des tests statistiques appliqués entre les Paléo Festivals 2014 et 2015

Stupéfiant	μ_1 : moyenne des charges per capita lors du Paléo Festival 2014 μ_2 : moyenne des charges per capita lors du Paléo Festival 2015	p-value
BE	t-test bilatéral	0.8231 → Pas de différence statistiquement significative
MDMA	t-test bilatéral	0.5179 → Pas de différence statistiquement significative
AMPH	t-test bilatéral	0.1086 → Pas de différence statistiquement significative
MAMPH	t-test bilatéral	0.9661 → Pas de différence statistiquement significative
THC-COOH	Test t de Welch bilatéral	0.02587 → Différence statistiquement significative

Les moyennes des charges per capita de BE, MDMA, AMPH et MAMPH ne sont pas significativement différentes entre les Paléo Festivals 2014 et 2015. Par contre, une différence statistiquement significative est constatée entre la moyenne des charges per capita de THC-COOH du Paléo Festival 2014 et celle du Paléo Festival 2015. Comme cela a été déjà évoqué, les résultats du THC-COOH doivent être interprétés avec prudence lors du Paléo Festival 2015. Cette différence statistique n'est donc pas discutée davantage. À l'exception du cannabis, les consommations illicites semblent être similaires lors des Paléo Festivals 2014 et 2015. Nous pouvons suggérer que le même type de population a assisté à ces éditions successives, ou que les consommateurs n'ont pas modifié leurs consommations, ou que la marché des stupéfiants était stable au cours de ces deux années.

L'analyse des eaux usées a permis de caractériser les consommations illicites associées au Paléo Festival au cours du temps. La stabilité des consommations des *club drugs* est observée lors des deux éditions consécutives. L'usage de cannabis est important. Ces résultats sont cohérents avec ceux de sondages autoreportés menés en Suisse il y a quelques années (Chinet et al., 2007; Tossman et al., 2001).

11.3.4 Hypothèse 2

L'**Hypothèse 2**_{Paleo} vise à comparer les consommations illicites mises en évidence lors du Paléo Festival à celles d'un autre festival d'une part, et à la population générale d'autre part, afin d'apprécier l'impact du festival sur ces consommations illicites.

Comparaison entre festivals

Pour effectuer cette comparaison, les valeurs du Paléo Festival 2014 ont été choisies car le Paléo Festival 2015 a une valeur manquante lors du mercredi. Concernant le festival australien, l'analyse des eaux usées a été réalisée lors des éditions 2010 et 2011. Les moyennes des données 2010 et 2011 n'ont pas été calculées, car certains stupéfiants montrent des différences statistiquement significatives entre les deux années du festival australien. Les données du festival australien de 2010 ont ainsi été sélectionnées pour être comparées aux données de 2014 du Paléo Festival. Cette comparaison est réalisée pour les stupéfiants en commun entre les deux festivals, à savoir la BE, MDMA, AMPH, MAMPH et THC-COOH. Il est important de plus de mentionner que le Paléo Festival et le festival australien sont deux festivals de musique tous publics, i.e. de même type et que les deux procédures analytiques, similaires, ont été validées par des tests interlaboratoires pour l'ensemble des composés discutés ci-après, à l'exception du THC-COOH (Lai et al., 2013). Nous considérons ainsi que les données sont comparables entre elles.

Le Graphique 11.5 illustre l'évolution des charges per capita de la BE, MDMA, AMPH, MAMPH, THC-COOH lors du Paléo Festival en 2014 et lors du festival en Australie en 2010. La dynamique de consommation observée lors du festival en Australie se distingue de celle du Paléo Festival. En effet, si lors de ce dernier, les charges per capita augmentent lors du week-end pour revenir à une valeur « normale » le dimanche, en Australie, les charges per capita augmentent progressivement lors de la semaine pour arriver à leur maximum le dernier jour du festival. L'augmentation est plus importante lors des jours de week-end par rapport à l'augmentation observée lors des jours de semaine.

Les différences entre les moyennes des charges per capita mesurées lors des deux festivals ont été appréciées au moyen de tests statistiques bilatéraux pour commencer. Nous n'avons en effet pas d'a priori quant aux différences statistiques qui pourraient être observées entre la Suisse et l'Australie. Si une différence statistiquement significative est constatée, alors un test unilatéral est effectué afin d'évaluer la direction de la différence enregistrée. Les résultats de ces tests sont reportés au Tableau 11.14.

Les moyennes des charges per capita de BE et de THC-COOH lors du Paléo Festival sont significativement supérieures à celles du festival australien. La moyenne des charges per capita de MAMPH lors du Paléo Festival est significativement inférieure à celle du festival australien. L'usage de MAMPH est très prévalent en Australie (United Nations Office On Drugs And Crime, 2018), ce qui a également été observé avec l'analyse des eaux usées (Bannwarth et al., 2019). La

TABLEAU 11.14 – Détail des tests statistiques appliqués entre le Paléo Festival et le festival australien

Stupéfiant	μ_1 : moyenne des charges per capita lors du Paléo Festival 2014 μ_2 : moyenne des charges per capita lors du festival australien en 2010	p-value
BE	t-test bilatéral	4.588.10⁻⁵ → Différence statistiquement significative
	t-test unilatéral, $H_1 : \mu_1 > \mu_2$	2.294.10⁻⁵ → Différence statistiquement significative
MDMA	Test t de Welch bilatéral	0.2325 → Pas de différence statistiquement significative
AMPH	Test t de Welch bilatéral	0.8358 → Pas de différence statistiquement significative
MAMPH	Test t de Welch bilatéral	0.0002831 → Différence statistiquement significative
	Test t de Welch unilatéral, $H_1 : \mu_1 < \mu_2$	0.0001415 → Différence statistiquement significative
THC-COOH	Test t de Welch bilatéral	2.451.10⁻⁷ → Différence statistiquement significative
	Test t de Welch unilatéral, $H_1 : \mu_1 > \mu_2$	1.225.10⁻⁷ → Différence statistiquement significative

présence de MAMPH est observée conjointement à l'absence de cocaïne lors du festival australien. L'inverse est observé lors du Paléo Festival. En Suisse, la cocaïne est de bonne qualité et disponible à un bon prix. C'est un stimulant de choix, contrairement à la MAMPH, dont la consommation est très marginalisée et limitée à des régions suisses spécifiques (Been et al., 2016b; Zobel et al., 2018). La consommation de cannabis est très élevée lors du Paléo Festival par rapport au festival australien. Pourtant, la prévalence dernière année des personnes au-dessus de 14 ans était jusqu'en 2013 supérieure en Australie par rapport à celle observée en Europe (United Nations Office On Drugs And Crime, 2017). Des tests interlaboratoires ont montré que le THC-COOH est un composé très difficile à mesurer dans les eaux usées (van Nuijs et al., 2018), ce qui a d'ailleurs été relevé dans le cadre du présent travail, d'après le biais et le rendement médiocres mesurés. Les différences observées entre les deux festivals pour le THC-COOH ne sont donc pas davantage discutées.

Aucune différence statistiquement significative n'est constatée entre les moyennes des charges per capita de MDMA et d'AMPH lors du Paléo Festival et du festival australien. Les charges per capita de la MDMA sont très élevées lors des deux festivals, bien plus que celles d'AMPH. Si l'AMPH est un stimulant largement consommé en contexte festif, il semble qu'elle ne rivalise pas directement avec la MDMA, qui est favorisée. Les méthodes conventionnelles illustrent également cette observation (European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction, 2006).

L'analyse des eaux usées permet ainsi d'observer des convergences et divergences en matière de consommations illicites entre des milieux festifs éloignés géographiquement. Cette comparaison entre festivals confirme que la MDMA est très prévalente en milieu festif, de même que l'AMPH dans une moindre mesure. Les consommations de cocaïne et de MAMPH sont également im-

portantes. Toutefois, leur usage semble conditionné au pays où l'évènement festif se déroule. En offrant une image des consommations illicites, l'analyse des eaux usées permet d'évaluer la disponibilité des stupéfiants et nous renseigne donc sur l'état du marché des stupéfiants, à l'échelle internationale.

Comparaison avec la population générale

Impact du festival

Le Graphique 11.6 illustre l'évolution des charges absolues de la BE, MDMA, AMPH, MAMPH et THC-COOH lors de la semaine normale et des Paléo Festivals 2014 et 2015. Ici, il est important de mentionner que les charges absolues ne tiennent pas compte de la population lors de chacune de ces périodes. L'impact du festival peut ainsi être apprécié sur les consommations illicites absolues observées lors de la semaine normale.

Les différences entre les moyennes des charges absolues de la semaine normale et celles des Paléo Festivals 2014 et 2015 ont été appréciées au moyen de tests statistiques unilatéraux. Les méthodes conventionnelles nous ont effectivement montré que les consommations de la population festive sont supérieures à celles de la population générale. Les résultats de ces tests sont reportés au Tableau 11.15.

Les moyennes des charges absolues de BE, MDMA, AMPH, MAMPH et THC-COOH lors du Paléo Festival 2014 sont significativement supérieures à celles de la semaine normale. Les mêmes résultats sont obtenus entre le Paléo Festival 2015 et la semaine normale. Cela signifie que le festival engendre une augmentation des consommations de BE, MDMA, AMPH, MAMPH et de THC-COOH en absolu. Cette observation est robuste puisqu'elle est vérifiée sur deux années consécutives. Si le festival engendre une augmentation des consommations illicites, cela pourrait être dû au fait que la taille de la population contribuant aux eaux usées augmente. Ce point peut être évalué en considérant les charges per capita, qui prennent en compte la taille de la population contribuant lors de chaque période.

Le Graphique 11.7 illustre l'évolution des charges per capita de la BE, MDMA, AMPH, MAMPH, et THC-COOH lors de la semaine normale et des Paléo Festivals 2014 et 2015. Normaliser par la taille de la population contributrice apporte une vision bien différente lorsque l'on compare à présent les charges per capita de la semaine normale par rapport aux Paléo Festivals 2014 et 2015. En effet, les valeurs sont à présent pour la majorité des substances du même ordre de grandeur entre les différentes périodes d'étude.

Les différences entre les moyennes des charges per capita de la semaine normale et celles des Paléo Festivals 2014 et 2015 ont été appréciées au moyen de tests statistiques unilatéraux. Nous nous attendons en effet à ce que les consommations de la population festive soient supérieures à celles de la population générale. Les résultats de ces tests sont reportés au Tableau 11.16.

GRAPHIQUE 11.6 – Évolution hebdomadaire des charges absolues des stupéfiants lors d'une semaine normale et des Paléo Festivals 2014 et 2015

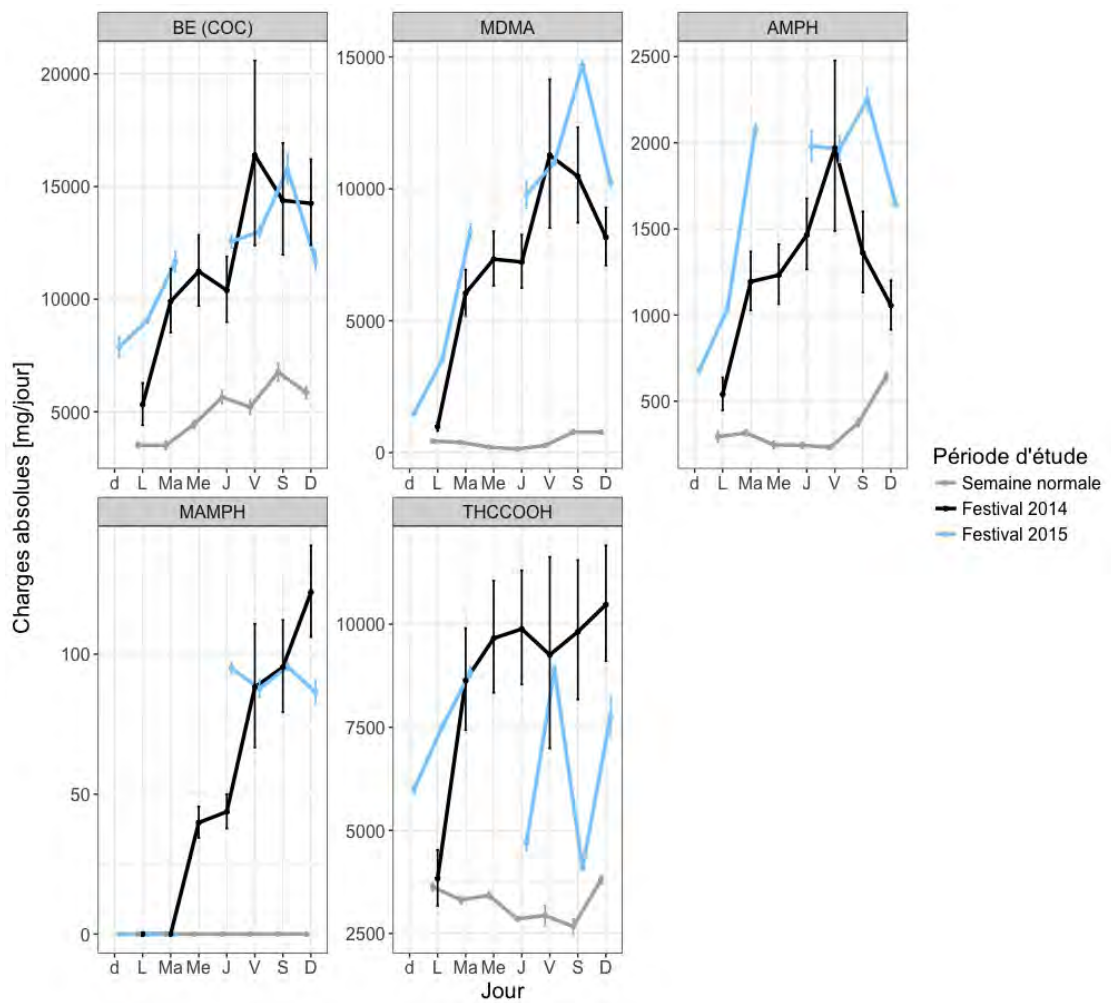


TABLEAU 11.15 – Détail des tests statistiques appliqués entre les charges absolues de la semaine normale et celles du Paléo Festival 2014 d'une part, et celles de la semaine normale et celle du Paléo Festival 2015 d'autre part

Stupéfiant	μ_1 : moyenne des charges absolues lors de la semaine normale μ_2 : moyenne des charges absolues lors du Paléo Festival 2014	p-value
BE	t-test unilatéral, $H_1 : \mu_1 < \mu_2$	1.058.10⁻⁵ → Différence statistiquement significative
MDMA	Test t de Welch unilatéral, $H_1 : \mu_1 < \mu_2$	9.111.10⁻⁵ → Différence statistiquement significative
AMPH	t-test unilatéral, $H_1 : \mu_1 < \mu_2$	8.797.10⁻⁶ → Différence statistiquement significative
MAMPH	Test t de Welch unilatéral, $H_1 : \mu_1 < \mu_2$	0.008221 → Différence statistiquement significative
THC-COOH	t-test unilatéral, $H_1 : \mu_1 < \mu_2$	9.851.10⁻¹¹ → Différence statistiquement significative

Stupéfiant	μ_1 : moyenne des charges absolues lors de la semaine normale μ_2 : moyenne des charges absolues lors du Paléo Festival 2015	p-value
BE	t-test unilatéral, $H_1 : \mu_1 < \mu_2$	5.27.10⁻⁶ → Différence statistiquement significative
MDMA	Test t de Welch unilatéral, $H_1 : \mu_1 < \mu_2$	0.0008054 → Différence statistiquement significative
AMPH	Test t de Welch unilatéral, $H_1 : \mu_1 < \mu_2$	0.0001061 → Différence statistiquement significative
MAMPH	Test t de Welch unilatéral, $H_1 : \mu_1 < \mu_2$	0.01265 → Différence statistiquement significative
THC-COOH	Test t de Welch unilatéral, $H_1 : \mu_1 < \mu_2$	0.003216 → Différence statistiquement significative

Aucune différence statistiquement significative n'est observée entre les moyennes des charges per capita de BE lors de la semaine normale et du Paléo Festival 2014. Par contre, les moyennes des charges per capita de MDMA, AMPH, MAMPH et THC-COOH lors du Paléo Festival 2014 sont significativement supérieures à celles de la semaine normale. Les mêmes résultats sont observés entre la semaine normale et le Paléo Festival 2015, à l'exception des charges per capita de THC-COOH qui ne sont pas statistiquement différentes entre la semaine normale et le festival. Les résultats des tests statistiques appliqués au THC-COOH sont indiqués au Tableau 11.16, mais ils ne sont pas discutés pour les raisons évoquées précédemment. Nous constatons cependant que la consommation de cannabis est relativement équivalente lors des trois périodes investiguées. Nous supposons qu'elle rivalise avec celle de MDMA ou de cocaïne, que ce soit lors de la semaine normale ou du festival, en se basant sur les charges per capita observées.

Les résultats des deux années sont discutées de manière conjointe ci-après. Si la consommation de cocaïne est supérieure en absolu lors du festival, la consommation per capita est toutefois similaire à celle observée en temps normal. L'augmentation en absolu de la consommation de cocaïne peut ainsi être expliquée par l'augmentation de la taille de la population lors du festival, soit l'augmentation du nombre de consommateurs. Cela n'est toutefois pas le cas pour la MDMA, l'AMPH et la MAMPH. L'augmentation des consommations en absolu de ces substances ne peut pas seulement être expliquée par l'augmentation du nombre de consommateurs, puisque les charges per capita sont significativement supérieures lors du festival. Cette augmentation pourrait ainsi être liée en plus à une augmentation des quantités consommées par personne. Cela confirme les observations des autres indicateurs qui évoquent le statut particulier de la MDMA au sein du contexte festif. Pour appuyer encore cette affirmation, nous rappelons que la MDMA ne montre pas de différence statistiquement significative entre le Paléo Festival 2014 et le festival en Australie, qui sont deux contextes festifs géographiquement distants. Les mêmes observations peuvent être réalisées pour l'AMPH, si ce n'est que la consommation per capita s'avère moindre par rapport à celle de MDMA. Concernant la MAMPH, la consommation per capita est également supérieure lors du festival par rapport à la semaine normale. Ses valeurs sont cependant extrêmement faibles. L'étude du marché des stimulants dans le canton de Vaud a montré que la consommation de MAMPH y est très peu répandue. D'après nos résultats, Nyon n'apparaît effectivement pas touchée par la niche de MAMPH en temps normal, mais peut-être qu'une partie de cette niche se déplace lors du Paléo Festival.

Nous devons également mentionner que les charges absolues calculées lors des jours d'ouverture du camping en 2014 et 2015 sont proches de celles observées lors de la semaine normale, à l'exception de celles de BE et de THC-COOH en 2015 qui s'avèrent bien supérieures. En normalisant avec la population, les charges relatives lors des jours d'ouverture du camping sont de la même manière similaires à celles de la semaine normale, à l'exception de celles de BE et THC-COOH en 2015. Ces dernières s'avèrent supérieures aux charges relatives calculées les

GRAPHIQUE 11.7 – Évolution hebdomadaire des charges per capita des stupéfiants lors d’une semaine normale et des Paléo Festivals 2014 et 2015

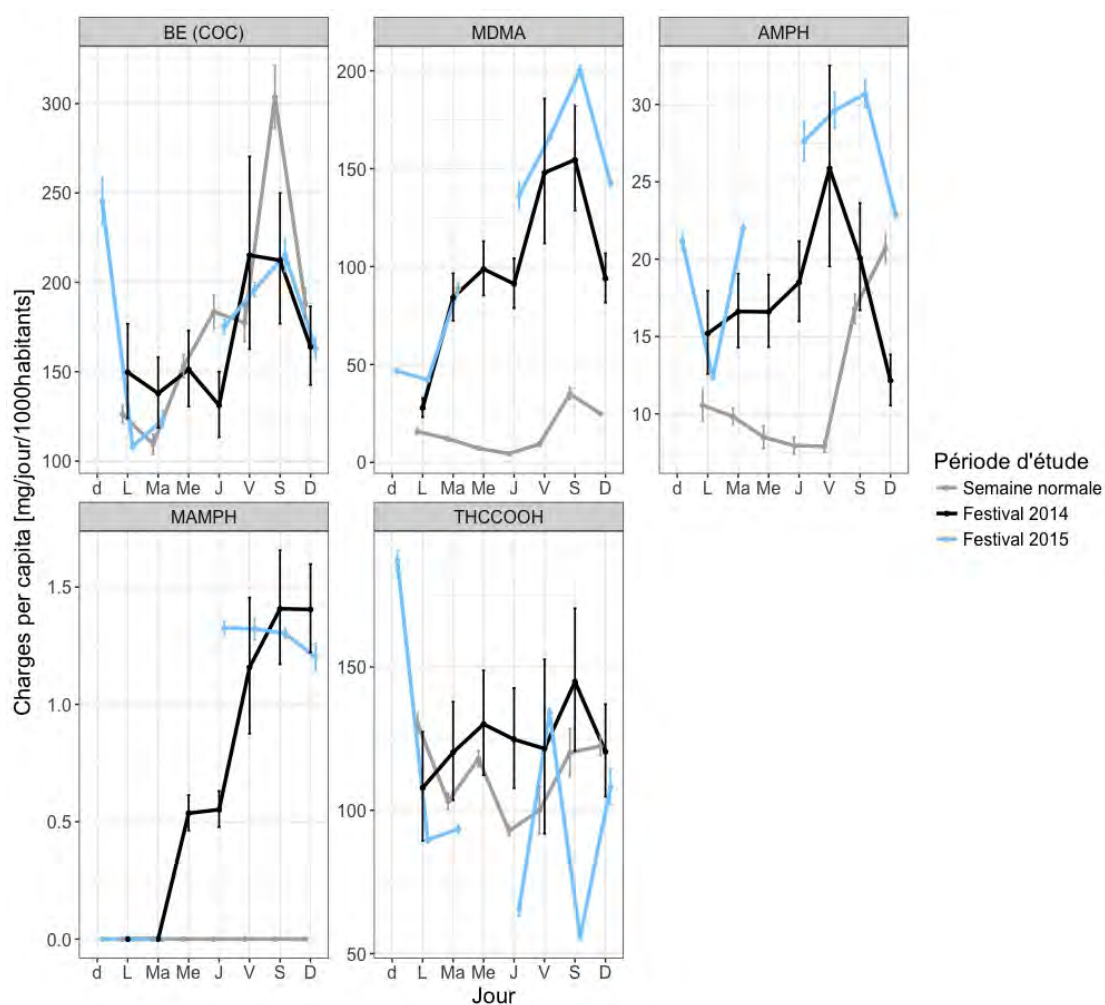


TABLEAU 11.16 – Détail des tests statistiques appliqués entre les charges per capita de la semaine normale et celles du Paléo Festival 2014 d'une part, et celles de la semaine normale et celles du Paléo Festival 2015 d'autre part

Stupéfiant	μ_1 : moyenne des charges per capita lors de la semaine normale μ_2 : moyenne des charges par capita lors du Paléo Festival 2014	p-value
BE	t-test unilatéral, $H_1 : \mu_1 < \mu_2$	0.6138 → Pas de différence statistiquement significative
MDMA	Test t de Welch unilatéral, $H_1 : \mu_1 < \mu_2$	0.000172 → Différence statistiquement significative
AMPH	t-test unilatéral, $H_1 : \mu_1 < \mu_2$	0.01622 → Différence statistiquement significative
MAMPH	Test t de Welch unilatéral, $H_1 : \mu_1 < \mu_2$	0.007577 → Différence statistiquement significative
THC-COOH	t-test unilatéral, $H_1 : \mu_1 < \mu_2$	0.02572 → Différence statistiquement significative

Stupéfiant	μ_1 : moyenne des charges absolues lors de la semaine normale μ_2 : moyenne des charges absolues lors du Paléo Festival 2015	p-value
BE	t-test unilatéral, $H_1 : \mu_1 < \mu_2$	0.6726 → Pas de différence statistiquement significative
MDMA	Test t de Welch unilatéral, $H_1 : \mu_1 < \mu_2$	0.001938 → Différence statistiquement significative
AMPH	t-test unilatéral, $H_1 : \mu_1 < \mu_2$	0.001481 → Différence statistiquement significative
MAMPH	Test t de Welch unilatéral, $H_1 : \mu_1 < \mu_2$	0.01262 → Différence statistiquement significative
THC-COOH	t-test unilatéral, $H_1 : \mu_1 < \mu_2$	0.947 → Pas de différence statistiquement significative

TABLEAU 11.17 – Estimation moyenne journalière des quantités consommées absolues et per capita

		Quantité consommée moyenne (g/jour)	Quantité moyenne consommée per capita (g/jour/1000hab)
Cocaïne	Semaine normale	17 [12-23]	0.62 [0.39-0.87]
	Paléo 2014	44 [34-56]	0.59 [0.46-0.75]
	Paléo 2015	43 [33-54]	0.57 [0.38-0.74]
MDMA	Semaine normale	2.8 [0.96-5.0]	0.10 [0.032-0.20]
	Paléo 2014	54 [40-72]	0.72 [0.55-0.99]
	Paléo 2015	62 [27-91]	0.83 [0.31-1.3]
Amphétamine	Semaine normale	1.2 [0.80-2.1]	0.040 [0.027-0.065]
	Paléo 2014	4.7 [3.7-6.6]	0.063 [0.044-0.086]
	Paléo 2015	6.3 [3.8-7.7]	0.083 [0.047-0.11]
Méthamphétamine	Semaine normale	n.d.	n.d.
	Paléo 2014	0.23 [0.018-0.42]	0.0030 [0.00024-0.0050]
	Paléo 2015	0.21 [0-0.34]	0.0030 [0-0.0047]

n.d. : non détecté

jours suivants, lors du festival. Si lors du jour d'ouverture du camping, il est plausible que les consommations absolues de cocaïne et de cannabis soient supérieures du fait de l'arrivée des campeurs, il est peu probable que les consommations per capita soient si élevées par rapport à celles observées lors du Paléo Festival 2015. Les valeurs per capita suggèrent plutôt que la taille de la population calculée lors du jour d'ouverture du camping en 2015 sous-estime le nombre de personnes réellement présent. Les charges absolues de BE et de THC-COOH étant déjà élevées, le fait que la taille de la population déterminée grâce à l'ammonium soit en deçà de la réalité accentue ainsi la différence observée lors du jour d'ouverture de camping en 2015. Cela souligne de nouveau l'importance de l'approche employée pour mesurer la taille de la population. Si les charges per capita de BE et THC-COOH calculées le jour d'ouverture du camping en 2015 sont considérées comme des données aberrantes, cela signifie que celles des autres stupéfiants le même jour doivent également être considérées comme telles. Nous rappelons que les jours d'ouverture du camping n'ont toutefois pas été inclus dans les comparaisons statistiques présentées auparavant. Ces dernières restent donc valides.

La discussion s'est jusqu'à présent axée sur les valeurs des charges absolues et per capita. Afin de mieux saisir l'ampleur des consommations, l'estimation des quantités consommées est proposée ci-après. Le Tableau 11.17 reporte la quantité moyenne consommée par jour et la quantité moyenne per capita consommée par jour de cocaïne, MDMA, AMPH et MAMPH lors de la semaine normale et des Paléo Festivals 2014 et 2015. Nous avons observé que les charges absolues de ces stupéfiants sont statistiquement supérieures lors des deux Paléo Festivals par rapport à la semaine normale. Seules les charges per capita de MDMA, AMPH et MAMPH sont statistiquement supérieures lors des Paléo Festivals par rapport à la semaine normale. Ces résultats se reflètent très bien sur le Tableau 11.17. On constate qu'en absolu, le stupéfiant le plus consommé est la MDMA, suivie de la cocaïne, de l'amphétamine, puis de la méthamphétamine lors des deux années du festival. En temps normal, les consommations sont dans l'ordre décroissant la cocaïne, l'amphétamine, la MDMA puis la méthamphétamine. La même dynamique est observée pour les quantités per capita. Les tendances de consommation sont donc les mêmes, que l'on considère les chiffres absolus ou per capita. Ces résultats montrent donc simplement que la consommation de MDMA surpasse celle des autres stimulants lors du festival. Une fois de plus, la MDMA se caractérise comme étant le stupéfiant favori en milieu festif. Au delà de cette observation, soulignons que les quantités consommées estimées sont très faibles. En effet, 0.71 g/jour/1000hab de MDMA pure sont consommées lors du Paléo Festival 2014, ce qui correspond environ à 5.5 doses/jour/1000hab².

2. En moyenne, un usager occasionnel consomme 1.22 ± 0.19 pilule de MDMA par jour. En sachant qu'une pilule contient en moyenne 107.7mg de MDMA (Zobel et al., 2018), une dose journalière de MDMA pure équivaut à **130±20mg**. Si l'on considère la MDMA sous forme de cristaux, une dose de cristal s'élevant à environ 0.2g à une pureté en moyenne de 70% (Zobel et al., 2018), une dose journalière de MDMA sous forme de cristaux est de 140mg, ce qui est cohérent avec l'intervalle massique défini en fonction des pilules.

Comparaison aux consommations cantonales

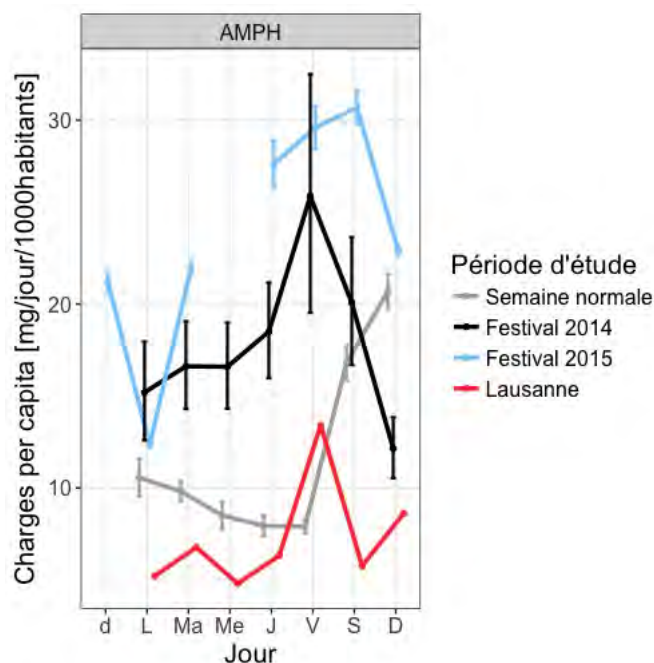
La ville de Nyon est une commune qui fait partie du canton de Vaud. Un projet visant l'étude de la structure et des produits du marché des stupéfiants dans le canton de Vaud a ciblé en 2018 les produits stimulants, à savoir la cocaïne, la MDMA, l'amphétamine et la méthamphétamine. Les quantités consommées de ces substances ont été estimées à l'échelle cantonale et sont comparées aux quantités consommées estimées lors des Paléo Festivals 2014 et 2015. Il s'agit d'un point de comparaison supplémentaire, qui donne davantage de corps à la comparaison entre la population festive et la population générale de Nyon menée précédemment.

La quantité estimée de cocaïne pure consommée lors du Paléo Festival est de 44 g/jour. Le projet MARSTUP a estimé sur la base de l'analyse des eaux usées, que 205 kg/an de cocaïne pure sont consommés dans le canton de Vaud, soit 561 g/jour. Ce dernier chiffre est donc directement comparable aux 44 g/jour et 43 g/jour lors des Paléo Festivals 2014 et 2015 respectivement. Sur la base de ces chiffres, il est donc possible de dire qu'en absolu, environ 13 jours de Paléo Festival sont équivalents à un jour de consommation cantonale de cocaïne. Cependant, le Paléo Festival compte en moyenne 76029 contributeurs en 2014 et 76919 contributeurs en 2015, contre 658645 personnes constituant la population vaudoise de 15 ans et plus. Ce dernier chiffre ne prend pas en compte la population contributrice malheureusement, mais c'est le chiffre qui est utilisé dans le cadre du projet MARSTUP. Il sera donc également considéré ci-après. Cela signifie que 0.6 mg/jour de cocaïne pure est consommé par personne lors des Paléo Festival 2014 et 2015, contre 0.9 mg/jour de cocaïne pure par personne lors d'une journée normale dans le canton de Vaud. La consommation journalière per capita lors du festival est ainsi équivalente à celle observée lors d'une semaine normale à Nyon, mais également à celle de la consommation de la population générale cantonale.

Concernant la MDMA, le projet MARSTUP a estimé qu'entre 29 et 39 kg de MDMA pure sont consommés par année dans le canton de Vaud. Cela correspond à 34 kg/an en moyenne, soit 197 g/jour. Ce dernier chiffre peut être comparé aux 54 g/jour et 62 g/jour de MDMA pure consommés lors des Paléo Festivals 2014 et 2015 respectivement. Il est donc possible de dire qu'environ 3 à 4 jours de Paléo Festival sont équivalents en absolu à un jour de consommation cantonale de MDMA. En prenant en compte la population, nous constatons que 0.7 mg/jour et 0.9 mg/jour de MDMA pure sont consommés par personne lors des Paléo Festivals 2014 et 2015 respectivement, contre 0.3 mg/jour par personne dans le canton de Vaud. Cela appuie les précédentes observations, à savoir que la MDMA est particulièrement associée au contexte festif. Sa consommation lors du Paléo Festival est bien supérieure à celle observée en temps normal à Nyon, mais également à celle du canton de Vaud.

Concernant l'AMPH, une estimation annuelle de consommation n'a pas pu être réalisée par le projet MARSTUP car les estimations basées sur la demande et sur l'analyse des eaux usées donnent des résultats discordants. Les charges per capita d'AMPH mesurées à Lausanne lors

GRAPHIQUE 11.8 – Évolution des charges per capita d'AMPH mesurées à Lausanne lors d'une semaine en 2014 et à Nyon lors de la semaine normale et des Paléo Festivals 2014 et 2015



d'une semaine en 2014 (échantillonnage lors de sept jours consécutifs, voir Been et al. (2016a)) ont donc été comparées à celles mesurées lors des trois périodes investiguées à la STEP de Nyon. Le Graphique 11.8 illustre cela. Les moyennes des charges per capita d'AMPH lors des Paléo Festivals 2014 et 2015 sont significativement supérieures à celle de Lausanne (t-test unilatéral, $\mu_{Paleo} > \mu_{Lausanne}$, car nous supposons que la consommation de la population festive est supérieure à celle de la population générale, p-value=0.000138 en 2014 et p-value=4.56 10^{-5} en 2015). Comme la MDMA, l'AMPH se caractérise par un usage plus important au sein d'un contexte festif, comparé à ce qui est observé en temps normal à Nyon et à Lausanne.

Concernant la MAMPH, le projet MARSTUP a estimé que 4.5 kg de MAMPH pure sont consommés par année dans le canton de Vaud, soit 12 g/jour. En comparant aux 0.23 et 0.21 g/jour consommé lors des Paléo Festivals 2014 et 2015 respectivement, entre 54 et 57 jours de Paléo Festival sont équivalents à un jour de consommation cantonale de MAMPH. En prenant en compte la population, nous obtenons que 0.003 mg/jour de MAMPH pure est consommé par personne lors des Paléo Festivals 2014 et 2015 respectivement, contre 0.02 mg/jour par personne dans le canton de Vaud. En tenant compte de ces valeurs normalisées, la consommation par personne de MAMPH lors des Paléo Festivals est donc environ dix fois inférieure à celle observée par personne au niveau cantonal.

La comparaison des consommations estimées lors du Paléo Festival à celles observées en temps normal à Nyon d'une part et à celles du canton de Vaud aboutit à des observations similaires. La MDMA et l'AMPH confirment leur statut de stupéfiants favoris au sein de la scène festive. La

cocaïne est également consommée en milieu festif, mais cet usage ne se différencie pas de ce qui est observé en temps normal à Nyon ou dans le canton de Vaud en général. Concernant la MAMPH, l'usage lors du festival est supérieur par rapport à l'usage observé en temps normal à Nyon, mais est inférieur à celui de Lausanne. L'analyse des eaux usées permet ainsi de caractériser les consommations festives en regard de l'usage de la population générale. Elle met ainsi en évidence que la MDMA et l'AMPH sont davantage consommées lors du Paléo Festival par rapport à un contexte non festif. Cela pourrait donc suggérer que leur disponibilité est accrue lors de ce festival.

11.3.5 Hypothèse 3

L'**Hypothèse 3**_{Paléo} porte sur la triangulation des informations relatives aux consommations en stupéfiants lors du Paléo Festival obtenues par l'analyse des eaux usées avec d'autres sources de données, à savoir les saisies. La convergence ou divergence des résultats doit nous permettre de compléter ou nuancer les observations effectuées grâce à l'analyse des eaux usées.

La MDMA, l'AMPH et la MAMPH sont davantage consommées lors des Paléo Festivals par rapport à la semaine normale. Cependant, la MAMPH est une substance qui est davantage consommée dans le canton de Vaud par rapport au Paléo Festival. Ainsi, c'est surtout la MDMA et l'AMPH qui présentent un usage supérieur lors des Paléo Festivals 2014 et 2015. Si la MDMA et l'AMPH ont été davantage consommées lors du festival, c'est peut-être parce que leur disponibilité est accrue pendant cette période, c'est-à-dire qu'elles sont vendues sur place. En d'autres termes, est-ce qu'il existe un marché de ces substances lors du Paléo Festival ?

L'existence d'un marché de MDMA et d'AMPH lors de ce festival a été évaluée grâce aux saisies policières, qui permettent parfois de connaître l'endroit où la personne arrêtée a acheté son produit. Les saisies réalisées lors du Paléo Festival 2015 ont été transmises à l'ESC. Lors des sept jours du Paléo Festival 2015, 117 saisies ont été réalisées. 80% (93) sont du cannabis, 9% (11) de la MDMA, 8% (9) de l'AMPH et 3% (4) de cocaïne.

Sur les onze saisies de MDMA effectuées, neuf précisent l'endroit où la (ou les) pilule a été achetée. Il s'avère que sept personnes ont acheté leur pilule sur le site du Paléo Festival, quand deux les ont achetées à Lausanne. Si ces personnes ont en majorité acheté leur MDMA sur le site du Paléo, cela signifie que ce stupéfiant est disponible à la vente sur place. La présence d'un marché spécifique de MDMA lors de cet événement festif est donc plausible.

Sur les neuf saisies d'AMPH réalisées, six précisent l'endroit où le stupéfiant a été acheté. Quatre personnes ont acheté l'AMPH sur le site du Paléo Festival, une l'a achetée à Genève et une en Hollande. À l'instar de la MDMA, cela pourrait donc soutenir l'hypothèse de l'existence d'un marché d'AMPH sur le site du Paléo Festival. De plus, la personne ayant acheté l'AMPH en Hollande s'est fait arrêter avec 44g de substance. Elle a avoué avoir acheté 500 g en Hollande et être venue au Paléo Festival pour en revendre pour la première fois, que ce soit à des personnes connues ou inconnues. Si cette personne est venue à Paléo Festival revendre l'AMPH à des personnes connues, cela signifie qu'elle savait que des consommateurs seraient intéressés par le produit en question.

Les consommations de MDMA et d'AMPH n'étant pas significativement différentes entre les Paléo Festivals 2014 et 2015, peut-être que le marché de ces substances sur le site du Paléo Festival était également en place lors du Paléo Festival 2014. Il n'est malheureusement pas possible de vérifier cette hypothèse pour le Paléo Festival 2014 car les saisies réalisées cette année là n'ont pas fait l'objet d'analyses.

La confrontation des résultats de l'analyse des eaux usées et de l'analyse des saisies a donc

permis de discuter l'hypothèse de l'existence d'un marché de MDMA et d'AMPH lors du Paléo Festival. Les données des saisies sont extrêmement limitées, ce qui ne permet pas de tester l'hypothèse en profondeur. Toutefois, les personnes arrêtées ont en majorité acheté ces stupéfiants sur le site du Paléo Festival, ce qui soutient notre hypothèse.

11.4 Discussion

11.4.1 Échantillonnage

La STEP de Nyon offre des conditions d'échantillonnage idéales. Suite à l'installation du préleveur et à la stabilisation du tuyau de prélèvement grâce à une bouée, les campagnes de prélèvements se sont très bien déroulées. Le seul problème a été rencontré le mercredi du Paléo Festival 2015, pendant lequel une tempête a arraché l'installation mise en place. Comme indiqué précédemment, échantillonner les eaux usées au niveau d'une STEP s'avère une tâche relativement aisée.

L'échantillonnage développé à la STEP de Nyon lors du Paléo Festival fait que le milieu étudié est semi-fermé, car les habitants de la ville contribuent aux eaux usées au même titre que les festivaliers. Néanmoins, durant le Paléo Festival, les festivaliers sont en plus grand nombre que les habitants de Nyon. La contribution des festivaliers a donc pu être appréciée et les charges absolues de cocaïne, MDMA, AMPH, MAMPH et THC-COOH lors du festival se sont avérées significativement supérieures lors festival par rapport à la période normale.

On peut se demander si cette augmentation des charges absolues est due aux festivaliers qui sont plus nombreux que les habitants de la ville ou au fait que les stupéfiants, en particulier les *club drugs*, soient spécifiques au milieu festif. En effet, lorsque l'analyse des eaux usées est employée afin d'évaluer les consommations d'une population spécifique, les études précédentes réalisées sur cette population permettent de savoir si celle-ci se caractérise par usage illicite particulier. Les méthodes conventionnelles ont par exemple montré que les stupéfiants, ou en tout cas certains d'entre eux comme la MDMA, étaient associés au milieu festif. L'analyse des eaux usées doit donc permettre de capturer la différence de consommation qu'entraîne cette population spécifique, ce qui a été le cas lors des campagnes menées lors du Paléo Festival. Tel n'était pas le cas dans l'étude de Causanilles et al. (2018), dans laquelle trois événements sportifs ont été considérés. Les prélèvements ont été réalisés à la STEP de la ville où avait lieu l'évènement, mais à chaque fois, le nombre d'habitants de la ville était supérieur au nombre de personnes se déplaçant pour assister à l'évènement. Une augmentation significative des charges absolues de noréphédrine lors de deux événements sportifs et de méthylhexaneamine lors d'un événement sportif a été observée par rapport à la semaine normale. Si ces produits sont consommés par les sportifs (anorexigène et stimulant), la noréphédrine est également un métabolite de la consommation d'amphétamine et donc n'est pas spécifique à l'usage sportif. Ainsi, observer l'impact d'un événement sur les consommations grâce à l'analyse des eaux usées requiert d'une part que la population de cet événement soit supérieure au nombre d'habitants de la ville, et d'autre part, que les produits recherchés soient spécifiques à cette population. Si la première condition est difficilement contrôlable, alors la seconde au moins doit être remplie si l'on souhaite tirer une information utile des résultats.

Dans ce sens, l'échantillonnage développé lors du Paléo Festival était donc optimal puisqu'il a permis de capturer les dynamiques de consommation lors de cet événement.

11.4.2 Mesure de la population

Évaluer la taille de la population lors du Paléo Festival par la mesure de l'ammonium a nécessité la définition d'un nouvel EH, représentatif de la semaine normale, qui s'est avéré toutefois inapplicable lors du festival du fait du nombre de festivaliers supérieur au nombre d'habitants. Si ce dernier point constitue un atout pour l'échantillonnage, il pose des problèmes pour l'utilisation d'un marqueur urinaire. De plus, aucune différence statistiquement significative n'a été observée entre la taille de la population calculée avec l'EH en ammonium au cours du festival et celle calculée en faisant simplement la somme des habitants de Nyon et des festivaliers présents chaque jour. Cela pourrait permettre à l'avenir dans un cas similaire, de considérer simplement la somme des deux populations pour normaliser les charges et les quantités consommées en absolu lors d'un évènement, plutôt que de recueillir toutes les informations nécessaires au développement d'un EH spécifique à la STEP en temps normal d'une part, et lors d'un évènement d'autre part.

11.4.3 Tests statistiques

Les tests statistiques employés ont testé l'égalité ou la différence des moyennes, moyennes calculées sur la période d'étude, à savoir la semaine normale, ou la période du Paléo Festival 2014 ou 2015. Or, la BE par exemple présente une différence statistiquement significative entre les charges per capita les jours de semaine (lundi, mardi, mercredi, jeudi et dimanche) et celles du week-end (vendredi et samedi) lors du Paléo Festival 2014 (t-test unilatéral, $\mu_{week-end} > \mu_{semaine}$, car nous supposons que la consommation lors du week-end est supérieure à celle de la semaine, p-value=0.001741). Cependant, cette séparation de jours de semaine et de week-end est très discutable. En effet, en observant l'évolution hebdomadaire des charges per capita des stupéfiants lors du Paléo Festival 2014 (Graphique 11.3), les charges per capita lors du vendredi et du samedi de la BE et de la MDMA sont très différentes des autres jours de la semaine, dimanche compris. Or le dimanche est un jour consécutif au week-end. Certaines personnes ayant consommé le vendredi ou samedi continueront à contribuer aux eaux usées lors du dimanche, alors que le dimanche est séparé de ces jours de week-end et inclus dans les jours de semaine. De la même façon, certaines personnes ayant consommé le jeudi excréteront leur consommation également lors du vendredi et du samedi. Il est ainsi délicat de « catégoriser » les jours de la semaine de telle façon lorsque l'échantillonnage a été réalisé lors de jours consécutifs. Dans le cas d'un évènement, nous suggérons ainsi de considérer la période d'étude comme un tout, même si une distinction entre les jours de semaine et de week-end est observée.

11.4.4 Hypothèses

L'analyse des eaux usées a permis de caractériser les consommations en stupéfiants au cours des Paléo Festivals 2014 et 2015, de les comparer à celles d'un festival australien et à celles des populations générales de Nyon et Lausanne. Finalement, les résultats de l'analyse des eaux usées ont été confrontés aux informations obtenues grâce aux saisies réalisées lors du Paléo Festival 2015, ce qui a permis d'étudier la possibilité de l'existence d'un trafic de MDMA et d'AMPH lors de l'évènement. Les résultats obtenus sont cohérents en regard de nos connaissances préalables, à savoir qu'il s'agit d'un festival tous publics, avec une consommation festive présente, mais somme toute n'étant pas excessive. A posteriori, les résultats de l'analyse des eaux usées suggèrent que des campagnes de prévention ciblées sur les consommations de MDMA et d'AMPH pourraient être mises en place lors du Paléo Festival. Par ailleurs, mettre en place un *drug checking* sur le site du Paléo Festival serait une mesure de réduction adaptée, pour que les consommateurs de MDMA sous forme de pilule puissent faire tester leur produit. Cela impliquerait de plus que ces personnes remplissent un questionnaire concernant leurs consommations illicites, ce qui permettrait d'évaluer dans un second temps les résultats de l'analyse des eaux usées.

Les organisateurs de ce festival ont été rassurés par l'ampleur des consommations illicites mise en évidence par l'analyse des eaux usées. La démarche transparente évoquée lors de la dimension légale a été très appréciée et démontre ici toute son importance.

Le fait de n'avoir pas retrouvé de NPS est également particulièrement intéressant. Cela correspond aux observations effectuées dans le cadre du projet MARSTUP, à savoir que si des petites saisies de NPS ont été réalisées aux frontières suisses, il s'agissait de cannabinoïdes de synthèse et non pas de stimulants (Zobel et al., 2018). De plus, lors du festival australien, la méthylone, la BZP et la méphédronne ont été retrouvées en faible quantité (Lai et al., 2013). Cette différence entre Suisse et Australie pourrait s'expliquer par une disponibilité plus importante en Australie. En 2016, une recherche a par ailleurs montré la présence de nombreux stimulants de type NPS entre 2011 et 2015 dans les eaux usées d'Adélaïde en Australie, ce qui pourrait appuyer l'hypothèse d'une disponibilité accrue, même si leur présence ne challenge pas celles des stupéfiants très implantés sur ce territoire, comme la méthamphétamine (Tscharke et al., 2016).

Chapitre 12

Investiguer les consommations
illicites au sein de la prison

Cœliaque

12.1 Dimension légale

L'échantillonnage a été développé au niveau d'une canalisation réunissant l'ensemble des eaux usées de la prison. Concernant la propriété de ces eaux usées, comme cette canalisation n'est pas encore reliée au réseau domestique, alors les eaux usées appartiennent à la prison en question. L'autorisation d'accès à la structure a été obtenue par le service pénitentiaire du canton concerné, sous couvert d'anonymat. L'ensemble de la population évoluant au sein de la prison étant considérée, il n'y a pas de problématique liée à la protection des données. De plus, aucune donnée personnelle des détenus n'a été recueillie, si bien qu'un dépôt de projet auprès d'une commission d'éthique n'a pas été requis, comme cela a été confirmé par un contact auprès de la commission CER-VD (Egli, 2017).

12.2 Échantillonnage

Réaliser des prélèvements au niveau d'une canalisation requiert l'installation de dispositifs de mesures du débit. Dans le cas de la prison Coeliaque, la canalisation est très proche du point où les chasses d'eau sont tirées. Le débit d'eau usée est donc très faible, parfois inexistant et les chasses d'eau sont observées ponctuellement. Un mode d'échantillonnage discret mis en place à cet endroit requiert une fréquence d'échantillonnage très élevée.

Afin d'adapter au mieux le module dédié à la mesure de débit, une caméra a été installée durant douze heures consécutives afin d'évaluer la fluctuation de l'écoulement. La caméra a enregistré la hauteur d'eau, qui est le facteur limitant dans tous les modules de mesure de débit. En fonction de cette hauteur d'eau, qui diminue pendant la nuit à un seuil critique, le module 2150 Area Velocity Module de Teledyne ISCO combiné à la sonde 750 Area Velocity Flow Module a été sélectionné. Il a permis d'extrapoler les mesures de débit si la hauteur d'eau se révélait trop basse (Teledyne ISCO, 2012a,b).

Concernant le mode et la fréquence d'échantillonnage, la variation de débit étant très difficile à prévoir, un échantillonnage discret proportionnel au volume a été mis en place. Ainsi, il a été fixé qu'à chaque *pulse* (environ 500 L), 40mL d'eau usée étaient prélevés. Le module de mesure du débit était relié au préleveur 6712FR, équipé d'une bouteille unique, permettant de recueillir tous les sous-échantillons réalisés pendant 24h. Puisque l'échantillonnage réalisé était proportionnel au volume, il n'a pas été nécessaire d'effectuer une pondération du volume en fonction du débit horaire en laboratoire pour faire l'échantillon composite, comme c'était le cas lors du Paléo Festival. L'échantillon était ici directement représentatif du débit écoulé. Chaque échantillon composite journalier a été réalisé de midi à 11h55 le lendemain.

Un échantillonnage stratifié aléatoire a été mis en place. Dix échantillons composites journaliers ont été réalisés entre le jeudi 27 juillet et le vendredi 4 octobre. Les débits mesurés ainsi que l'erreur-type associée à chaque débit journalier (25% du débit mesuré) sont reportés dans le Tableau 12.1.

Le Graphique 12.1 illustre le nombre de *pulse* déclenchés lors de chaque journée échantillonnée. Entre minuit et 6h du matin, très peu de sous-échantillons ont été prélevés. Étant donné qu'il s'agit d'une prison, les heures d'extinction des feux et de lever sont fixées, ce qui explique cette régularité observée concernant les horaires de déclenchement des prélèvements, en particulier le matin à partir de 6h. En moyenne, le module de mesure du débit a enregistré 16000L par jour, ce qui signifie que 32 *pulse* ont été déclenchés et que 32 sous-échantillons ont été prélevés lors d'une journée d'échantillonnage. 32 sous-échantillons par jour s'avère très faible. L'échantillonnage proportionnel au volume mis en place déclenchait un sous-échantillon tous les 500L environ. Ce paramètre est fixé lors de la fabrication du module et il n'a donc pas été possible de le modifier. Une fréquence d'échantillonnage plus élevée aurait été nécessaire, comme souligné précédemment. Le volume définissant un *pulse* aurait dû être plus faible, par exemple de 100L.

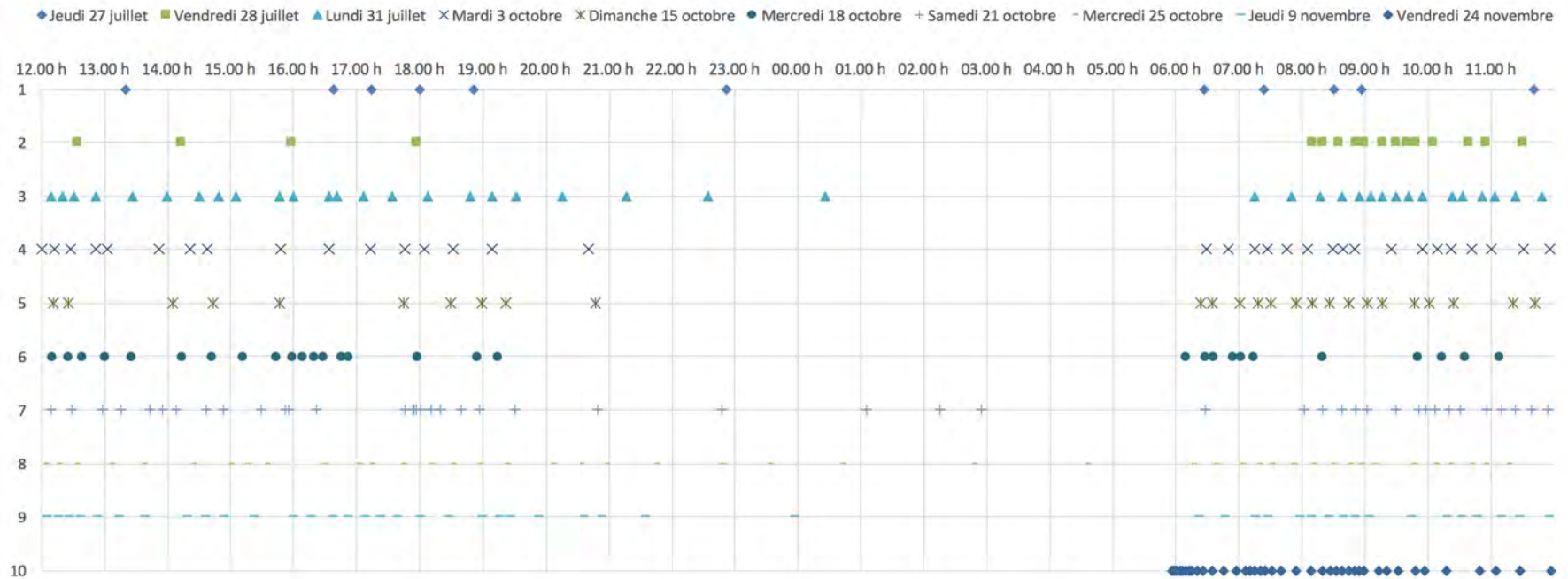
TABLEAU 12.1 – Dates et débits mesurés au niveau de la canalisation en sortie de prison

Date (2017)	Débit journalier mesuré (L)	Erreur-type (L)
Jeudi 27 juillet	5152	1288
Vendredi 28 juillet	8893	2223
Lundi 31 juillet	19273	4818
Mardi 3 octobre	16154	4039
Dimanche 15 octobre	12931	3233
Mercredi 18 octobre	14549	3637
Samedi 21 octobre	22340	5585
Mercredi 25 octobre	21274	5318
Jeudi 9 novembre	21871	5468
Vendredi 24 novembre	19863	4966

Ainsi, l'échantillonnage mis en place au niveau de la canalisation n'était pas optimal. Cela se remarque bien au niveau de l'échantillonnage du vendredi 24 novembre, pour lequel tous les sous-échantillons ont été prélevés le jour d'après, entre 6h du matin et 11h55. D'après un collaborateur de la prison, l'eau avait été coupée et les vannes ouvertes pour les douches du matin, d'où un pattern de prélèvement particulier.

L'**Objectif technique 1**_{Coeliaque} n'a donc pas été rempli de manière satisfaisante. L'échantillonnage développé dans la canalisation n'était pas optimal, du fait de la fréquence d'échantillonnage trop faible. De plus, la durée d'échantillonnage a été relativement courte et le nombre d'échantillons réalisé très limité. Ces considérations ont forcément un impact sur les résultats qui seront exposés ci-après. En effet, si l'échantillonnage n'est pas considéré représentatif du débit des eaux usées s'écoulant dans la canalisation, alors la qualité des résultats en a été affectée et l'interprétation des résultats doit être prudente. Les Hypothèses 1 et 3 seront donc discutées par la suite, mais l'Hypothèse 2, qui vise à la comparaison de nos résultats à ceux d'autres recherches, ne sera pas étudiée. L'application de l'analyse des eaux usées à la prison Coeliaque a donc davantage relevé d'une démarche exploratoire, dans le but de tester le déploiement de cet indicateur.

GRAPHIQUE 12.1 – Répartition horaire des *pulse* par échantillon composite journalier



12.3 Résultats et interprétation

12.3.1 Résultats de l'analyse des traces cibles et des simulations statistiques

Les concentrations journalières moyennes (abrégées μ) issues de l'analyse en triplicat ainsi que l'erreur-type associée à chaque mesure (abrégée SE) pour les stupéfiants classiques sont reportées dans le Tableau 12.2. La cocaïne, la méthadone et l'EDDP ont été quantifiés dans les dix échantillons composites journaliers et la benzoylecgonine dans neuf de ces derniers. La morphine, l'amphétamine et le THC-COOH ont été quantifiés irrégulièrement. La méthamphétamine et la 6-MAM ont été rarement quantifiées. L'héroïne, la MDMA et la HMMA n'ont jamais été détectées (sauf une fois l'héroïne, valeur en dessous de la LOQ). Par souci de clarté, dans les Tableaux suivants, *n.d.* signifie que la substance n'a pas été détectée, c'est-à-dire que le signal était inférieur à trois fois le bruit de fond observé dans un blanc, et $< LOQ$, que la concentration de la substance était inférieure à la LOQ.

La BZP, le LSD, la méphédrone, la méthylone, la MDPV et la kétamine n'ont jamais été détectés. Les résultats des NPS ne sont donc pas présentés dans les Tableaux suivants.

Les charges per capita résultant des simulations statistiques sont reportées au Tableau 12.3. Concernant la cocaïne, la HMMA, l'EDDP et la 6-MAM, seules les charges per capita de la benzoylecgonine, de la MDMA, de la méthadone et de l'héroïne seront étudiées par la suite, car ces substances ne servent qu'à évaluer la cohérence des ratios de concentration. Aucune anomalie n'ayant été mise en évidence, leurs résultats ne sont pas discutés ci-après. La morphine ne sera pas considérée par la suite car elle est utilisée uniquement dans le but d'estimer les quantités consommées d'héroïne qui n'a été détectée qu'une seule fois.

TABLEAU 12.2 – Concentrations moyennes journalières mesurées et erreurs-type associées calculées

Date (2017)	COC		BE		HER		6MAM		MOR		MET		EDDP		MDMA		HMMA		AMPH		MAMPH		THCCOOH	
	μ (ng/L)	SE (ng/L)	μ (ng/L)	SE (ng/L)	μ (ng/L)	SE (ng/L)	μ (ng/L)	SE (ng/L)	μ (ng/L)	SE (ng/L)	μ (ng/L)	SE (ng/L)	μ (ng/L)	SE (ng/L)	μ (ng/L)	SE (ng/L)	μ (ng/L)	SE (ng/L)	μ (ng/L)	SE (ng/L)	μ (ng/L)	SE (ng/L)	μ (ng/L)	SE (ng/L)
Jeudi 27 juillet	3266	41.13	2192	6.664	n.d.	n.a.	n.d.	n.a.	<LOQ	n.a.	1245	95.21	2328	67.03	n.d.	n.a.	n.d.	n.a.	45.5	3.36	11.2	0.568	162	4.80
Vendredi 28 juillet	223.0	0.8003	71.35	0.3996	n.d.	n.a.	n.d.	n.a.	n.d.	n.a.	876.0	2.702	1664	7.219	n.d.	n.a.	n.d.	n.a.	n.d.	n.a.	29.7	0.478	<LOQ	n.a.
Lundi 31 juillet	164.0	0.6588	37.14	0.3581	n.d.	n.a.	n.d.	n.a.	<LOQ	n.a.	627.8	4.638	1112	12.14	n.d.	n.a.	n.d.	n.a.	<LOQ	n.a.	<LOQ	n.a.	<LOQ	n.a.
Mardi 3 octobre	73.68	0.4843	103.3	1.102	n.d.	n.a.	<LOQ	n.a.	28.3	0.252	971.4	10.96	1368	8.655	n.d.	n.a.	n.d.	n.a.	56.1	2.27	<LOQ	n.a.	<LOQ	n.a.
Dimanche 15 octobre	286.9	1.228	187.3	0.5504	n.d.	n.a.	13.9	1.16	30.7	1.40	1887	33.79	4306	53.66	n.d.	n.a.	n.d.	n.a.	<LOQ	n.a.	<LOQ	n.a.	21.1	1.89
Mercredi 18 octobre	137.7	0.3181	85.28	0.7336	n.d.	n.a.	n.d.	n.a.	<LOQ	n.a.	1937	6.763	3363	34.28	n.d.	n.a.	n.d.	n.a.	14.6	1.37	<LOQ	n.a.	<LOQ	n.a.
Samedi 21 octobre	276.4	3.600	1727	6.068	<LOQ	n.a.	<LOQ	n.a.	n.d.	n.a.	920.0	3.272	1938	6.739	n.d.	n.a.	n.d.	n.a.	23.1	0.841	<LOQ	n.a.	<LOQ	n.a.
Mercredi 25 octobre	316.6	2.340	80.01	0.6295	n.d.	n.a.	n.d.	n.a.	n.d.	n.a.	1405	4.565	2233	10.10	n.d.	n.a.	n.d.	n.a.	<LOQ	n.a.	<LOQ	n.a.	<LOQ	n.a.
Jeudi 9 novembre	407.4	4.309	49.33	0.1539	n.d.	n.a.	n.d.	n.a.	278	1.47	3118	4.932	6044	31.62	n.d.	n.a.	n.d.	n.a.	<LOQ	n.a.	<LOQ	n.a.	473	12.8
Vendredi 24 novembre	29.47	0.5421	<LOQ	n.a.	n.d.	n.a.	n.d.	n.a.	22.6	0.371	138.1	0.1614	634.6	28.39	n.d.	n.a.	n.d.	n.a.	14.1	0.772	<LOQ	n.a.	137	6.07

n.d. : non détecté ; <LOQ : détecté mais pas quantifié ; n.a. : non applicable

TABLEAU 12.3 – Charges per capita journalières calculées

Date	COC			BE			HER			6MAM			MOR			THC-COOH		
	μ (mg/jour/ 1000hab)	Valeur basse	Valeur haute	μ (mg/jour/ 1000hab)	Valeur basse	Valeur haute	μ (mg/jour/ 1000hab)	Valeur basse	Valeur haute	μ (mg/jour/ 1000hab)	Valeur basse	Valeur haute	μ (mg/jour/ 1000hab)	Valeur basse	Valeur haute	μ (mg/jour/ 1000hab)	Valeur basse	Valeur haute
Jeudi 27 juillet	290	148	433	195	99.5	290	n.d.	n.a.	n.a.	n.d.	n.a.	n.a.	0.444	n.a.	n.a.	14.4	7.31	21.5
Vendredi 28 juillet	38.9	19.8	58.0	12.4	6.35	18.6	n.d.	n.a.	n.a.	n.d.	n.a.	n.a.	n.d.	n.a.	n.a.	0.872	n.a.	n.a.
Lundi 31 juillet	47.2	24.1	70.3	10.7	5.44	15.9	n.d.	n.a.	n.a.	n.d.	n.a.	n.a.	1.44	n.a.	n.a.	1.44	n.a.	n.a.
Mardi 3 octobre	17.8	9.1	26.5	24.9	12.7	37.1	n.d.	n.a.	n.a.	1.21	n.a.	n.a.	6.82	3.49	10.2	1.21	n.a.	n.a.
Dimanche 15 octobre	53.0	27.0	79.0	34.6	17.6	51.6	n.d.	n.a.	n.a.	2.57	1.28	3.95	5.67	2.87	8.53	3.90	1.94	6.01
Mercredi 18 octobre	21.8	11.1	32.5	13.5	6.88	20.1	n.d.	n.a.	n.a.	n.d.	n.a.	n.a.	0.791	n.a.	n.a.	0.791	n.a.	n.a.
Samedi 21 octobre	65.7	33.5	98.0	410	209	611	1.19	n.a.	n.a.	1.19	n.a.	n.a.	n.d.	n.a.	n.a.	1.19	n.a.	n.a.
Mercredi 25 octobre	76.6	39.0	114	19.3	9.86	28.8	n.d.	n.a.	n.a.	n.d.	n.a.	n.a.	n.d.	n.a.	n.a.	1.21	n.a.	n.a.
Jeudi 9 novembre	117	60	175	14.2	7.25	21.2	n.d.	n.a.	n.a.	n.d.	n.a.	n.a.	80.0	40.7	119	136	69.1	203
Vendredi 24 novembre	29.3	14.9	43.7	4.97	n.a.	n.a.	n.d.	n.a.	n.a.	n.d.	n.a.	n.a.	22.5	11.5	33.5	136	69.1	205
n.d. : non détecté ; n.a. : non applicable																		
Date	MET			EDDP			MDMA			HMMA			AMPH			MAMPH		
	μ (mg/jour/ 1000hab)	Valeur basse	Valeur haute	μ (mg/jour/ 1000hab)	Valeur basse	Valeur haute	μ (mg/jour/ 1000hab)	Valeur basse	Valeur haute	μ (mg/jour/ 1000hab)	Valeur basse	Valeur haute	μ (mg/jour/ 1000hab)	Valeur basse	Valeur haute	μ (mg/jour/ 1000hab)	Valeur basse	Valeur haute
Jeudi 27 juillet	111	55.3	169	207	105	310	n.d.	n.a.	n.a.	n.d.	n.a.	n.a.	3.87	1.93	5.92	0.995	0.503	1.50
Vendredi 28 juillet	153	77.8	228	290	148	433	n.d.	n.a.	n.a.	n.d.	n.a.	n.a.	0	n.a.	n.a.	5.18	2.63	7.73
Lundi 31 juillet	181	92.2	269	320	163	477	n.d.	n.a.	n.a.	n.d.	n.a.	n.a.	1.44	n.a.	n.a.	1.44	n.a.	n.a.
Mardi 3 octobre	234	120	350	330	169	492	n.d.	n.a.	n.a.	n.d.	n.a.	n.a.	13.5	6.88	20.3	1.21	n.a.	n.a.
Dimanche 15 octobre	349	178	520	795	405	1186	n.d.	n.a.	n.a.	n.d.	n.a.	n.a.	0.924	n.a.	n.a.	0.924	n.a.	n.a.
Mercredi 18 octobre	306	156	457	532	271	793	n.d.	n.a.	n.a.	n.d.	n.a.	n.a.	2.31	1.14	3.57	0.791	n.a.	n.a.
Samedi 21 octobre	219	111	326	461	235	686	n.d.	n.a.	n.a.	n.d.	n.a.	n.a.	5.49	2.79	8.23	1.19	n.a.	n.a.
Mercredi 25 octobre	340	173	506	540	275	805	n.d.	n.a.	n.a.	n.d.	n.a.	n.a.	1.21	n.a.	n.a.	1.21	n.a.	n.a.
Jeudi 9 novembre	897	457	1335	1739	885	2589	n.d.	n.a.	n.a.	n.d.	n.a.	n.a.	1.44	n.a.	n.a.	1.44	n.a.	n.a.
Vendredi 24 novembre	137	70.1	204	631	320	947	n.d.	n.a.	n.a.	n.d.	n.a.	n.a.	14.0	7.09	21.2	4.97	n.a.	n.a.
n.d. : non détecté ; n.a. : non applicable																		

12.3.2 Mesure de la taille de la population

Les prélèvements étant réalisés au niveau d'une canalisation, aucun bilan d'épuration n'était disponible comme cela est le cas dans une STEP. Aussi, l'EH en ammonium de 7 g/jour/hab utilisé par défaut en Suisse a été appliqué. La taille de la population contribuant aux eaux usées de la prison a été calculée à partir des concentrations en ammonium mesurées dans chaque échantillon journalier d'eau usée. Les données sont reportées dans le Tableau 12.4.

TABLEAU 12.4 – Taille de la population calculée avec l'EH en ammonium par défaut

Date (2017)	Débit journalier (L) (x)	Concentration en ammonium journalière mesurée (mg/L) (y)	Charges en ammonium calculées (g/jour) (z=x*y)	Taille de la population (a=z/μ _z)
Jeu di 27 juillet	5152	79	407	58
Ven dredi 28 juillet	8893	40	358	51
Lun di 31 juillet	19273	35	683	98
M ardi 3 octobre	16154	29	467	67
Dim anche 15 octobre	12931	38	490	70
Mer credi 18 octobre	14549	44	647	92
Sa med i 21 octobre	22340	40	899	128
Mer credi 25 octobre	21274	34	729	104
Jeu di 9 novembre	21871	35	774	111
Ven dredi 24 novembre	19863	6.9	137	20

Le service pénitentiaire a fourni le nombre de personnes enregistrées par la prison lors de chaque journée d'échantillonnage entre midi et 11h55 le jour suivant. Ces chiffres peuvent donc être comparés à la taille de population estimée avec l'ammonium. Les données sont reportées dans le Tableau 12.5. Les valeurs indiquées en bleu correspondent à une sous-estimation de la taille de la population estimée avec l'ammonium par rapport au nombre de personnes enregistrées et les valeurs en noir, une surestimation. Il n'y a pas d'erreur systématique relevée. L'écart est en effet très variable et parfois très élevé, notamment lors du vendredi 24 novembre. La taille de la population doit être évaluée soit à l'aide de l'ammonium, soit à l'aide des chiffres fournis par le service pénitentiaire.

TABLEAU 12.5 – Tailles de la population comparées

Date (2017)	Taille de la population déterminée avec l'ammonium	Total des personnes enregistrées au sein de la prison	Écart
Jeu di 27 juillet	58	71	13
Ven dredi 28 juillet	51	74	23
Lun di 31 juillet	98	67	-31
M ardi 3 octobre	67	72	5
Dim anche 15 octobre	70	73	3
Mer credi 18 octobre	92	109	17
Sa med i 21 octobre	128	94	-34
Mer credi 25 octobre	104	88	-16
Jeu di 9 novembre	111	76	-35
Ven dredi 24 novembre	20	85	65

Une surestimation de la taille de la population pourrait éventuellement être due au fait que

la venue d'une entreprise est enregistrée à l'entrée de la prison comme une unité, alors que quatre personnes constituent cette venue. Cela relève toutefois de l'exception d'après le service pénitentiaire. Dans le cas d'une surestimation, le nombre enregistré par la prison a donc été utilisé.

Une sous-estimation pourrait être due au fait que toutes les personnes enregistrées à l'entrée de la prison ne contribuent pas aux eaux usées. En effet, dans le cas de la présente recherche, les allers et venues effectuées pour le lancement et la récupération des échantillons ont été enregistrées à l'entrée de la prison, mais les toilettes au sein de l'enceinte n'ont pas été utilisées. De plus, un détenu contribuera pendant 24 heures, alors qu'un membre du personnel ou un visiteur, s'il contribue, le fera sur une période réduite de temps. Une sous-estimation de la taille de la population mesurée avec l'ammonium s'avère donc plus cohérente qu'une surestimation. Les sous-estimations sont par ailleurs plus nombreuses que les surestimations. Ainsi, dans le cas d'une sous-estimation, la taille de la population estimée à l'aide de l'ammonium a été employée. Le Tableau 12.6 regroupe la taille de population journalière qui a été utilisée pour normaliser les données par suite.

L'**Objectif technique 6**_{Coeliaque} visait à évaluer l'utilisation de l'ammonium au sein de la prison Coeliaque. Il est donc partiellement rempli, car l'ammonium n'est pas une technique qui semble toujours fiable pour mesurer la taille de la population au sein d'un tel milieu. Cela est probablement lié au fait que l'échantillonnage développé dans la canalisation n'était pas optimal.

Le nombre de détenus ne peut pas être divulgué, mais nous pouvons dire que les détenus sont toujours majoritaires par rapport à la somme du personnel et des visiteurs, sauf le mercredi 18 octobre. Si les contributions des détenus et celles du personnel pénitentiaire et des visiteurs ne peuvent pas être distinguées car le milieu est fermé, les détenus sont d'une part majoritaires et d'autre part, ils contribuent pendant plus de temps aux eaux usées par rapport aux personnes qui viennent travailler ou visiter. Cela suggère ainsi que les urines pertinentes, c'est-à-dire celles des détenus, devraient avoir un impact plus important sur les concentrations mesurées.

TABLEAU 12.6 – Taille de la population utilisée dans le traitement des données

Date (2017)	Taille de la population
Jedi 27 juillet	58
Vendredi 28 juillet	51
Lundi 31 juillet	67
Mardi 3 octobre	67
Dimanche 15 octobre	70
Mercredi 18 octobre	92
Samedi 21 octobre	94
Mercredi 25 octobre	88
Jedi 9 novembre	76
Vendredi 24 novembre	20

12.3.3 Hypothèse 1

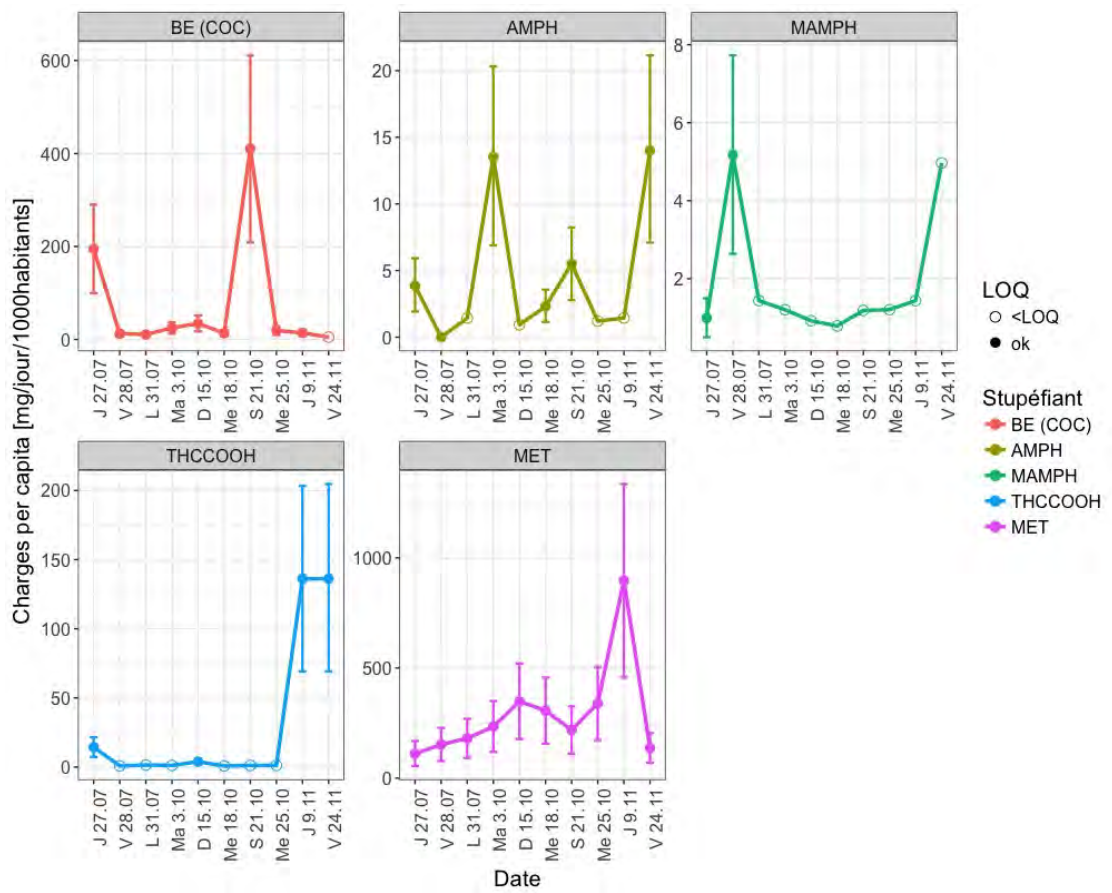
Pour rappel, l'**Hypothèse 1**_{Coeliaque} vise à tester si l'épidémiologie basée sur l'analyse des eaux usées permet de caractériser la consommation en stupéfiants dans la prison Coeliaque au cours du temps. Le Graphique 12.2 illustre les charges per capita de la BE, AMPH, MAMPH, THC-COOH et MET mesurées dans les dix échantillons composites journaliers. La MDMA et l'HER n'ont pas été représentées car la MDMA n'a jamais été détectée, et l'HER n'a été détectée qu'une seule fois. De nombreuses valeurs de concentration se situant en dessous de la LOQ, une valeur de concentration égale à la moitié de la LOQ, soit 5 ng/L leur a été attribuée, afin de pouvoir représenter graphiquement les charges per capita associées. Ces valeurs sont représentées sur le graphique par des ronds vides, alors que les valeurs quantifiées sont reportées par des ronds pleins.

Les charges per capita les plus élevées sont observées le samedi 21 octobre pour la BE, le mardi 3 octobre et le vendredi 24 novembre pour l'AMPH, le vendredi 28 juillet pour la MAMPH, le jeudi 9 et le vendredi 24 novembre pour le THC-COOH et le jeudi 9 novembre pour la MET. La MET présente des charges per capita relativement stables, jeudi 9 novembre exclu. Les charges per capita d'AMPH sont également dans le même ordre de grandeur sur toute la durée de la période échantillonnée.

Le Graphique 12.2 peut toutefois porter à confusion, puisque les jours d'échantillonnage ne sont pas tous consécutifs. Le Graphique 12.3 illustre ainsi les charges per capita de la BE, AMPH, MAMPH, THC-COOH et MET en fonction du jour de la semaine. Sur ce graphique, aucune dynamique particulière n'est observée. L'absence d'une dynamique spécifique au week-end comme cela a souvent été mentionné suite à l'application de analyse des eaux usées dans une ville ou lors d'un festival, n'est pas surprenante. Au contraire, elle est plutôt à l'appui de la validité de cet indicateur. La distinction des jours de semaine et de week-end doit en effet avoir peu d'importance pour les détenus.

Si l'échantillonnage n'est pas optimal, alors de nombreux sous-échantillons éventuellement pertinents, c'est-à-dire contenant les composés cibles, n'ont pas été prélevés. Nous supposons ainsi que les concentrations mesurées dans les échantillons sous-estiment la réalité, ou la reflètent éventuellement, mais qu'en tout cas, elles ne la surestiment pas. Si un stupéfiant a été quantifié avec l'échantillonnage développé, alors il aurait pu potentiellement être quantifié en plus grande concentration avec un échantillonnage optimal. La présence de tel ou tel stupéfiant peut donc être discutée, à l'inverse de l'absence qui s'avère plus délicate. En effet, une substance absente aurait pu être détectée ou même quantifiée à l'aide d'une fréquence d'échantillonnage plus élevée. La BE a été quantifiée tous les jours sauf le vendredi 24 novembre. La campagne d'analyse des eaux usées relève donc la consommation de cocaïne régulière au sein de ce milieu carcéral. L'AMPH a été quantifiée dans cinq échantillons. Cela signifie que l'AMPH est consommée au sein de la prison. Il est toutefois possible que la présence d'amphétamine soit due à un médicament à base

GRAPHIQUE 12.2 – Charges per capita des stupéfiants mesurées à la prison Cœliaque



d'amphétamine, utilisé généralement pour traiter les troubles de l'attention et l'hyperactivité. La MAMPH et le THC-COOH ont toujours été détectés, mais quantifiés à deux et quatre reprises respectivement. Les consommations de MAMPH et de cannabis existent ainsi au sein de cette prison. La MET a été quantifiée tous les jours, ce qui est cohérent puisqu'elle est prescrite au sein de la prison Coeliaque. Le fait que la MET soit le stupéfiant le plus consommé pourrait éventuellement expliquer la faible occurrence d'HER et de son métabolite la 6MAM. La MDMA n'a jamais été détectée, ce qui est en phase avec la littérature consultée.

Malgré les limitations dont souffre l'application de l'analyse des eaux usées au sein de la prison Coeliaque, cet indicateur met ainsi en évidence l'existence de consommations illicites au cours du temps. Celles-ci s'avèrent cohérentes par rapport aux connaissances existantes.

12.3.4 Hypothèse 3

L'**Hypothèse 3**_{Coeliaque} vise à comparer la consommation de MET mise en évidence par l'analyse des eaux usées aux données de prescription de MET afin d'évaluer la qualité de déploiement de l'analyse des eaux usées au sein de la prison Coeliaque. Nous savons déjà que l'échantillonnage développé n'était pas optimal, mais cette comparaison nous permettra éventuellement d'évaluer à quel point il ne l'est pas. Cette comparaison suppose que le total prescrit quotidiennement est consommé, métabolisé puis excrété par les détenus dans les eaux usées. Ainsi, la quantité consommée journalière estimée à partir de l'analyse des eaux usées devrait théoriquement être équivalente au total prescrit.

Le service pénitentiaire de la prison Coeliaque a fourni les quantités de MET prescrites aux détenus lors des journées pendant lesquelles l'échantillonnage des eaux usées a été réalisé. Les échantillons d'eau usées étant prélevés à la prison de midi à 11h55 le jour suivant, le détail de l'administration des doses par heure a été fourni. Les quantités indiquées dans le Tableau 12.7 sont donc représentatives de la période d'échantillonnage des eaux usées. Le Tableau 12.7 regroupe les quantités de MET prescrites chaque jour ainsi que les quantités consommées de MET estimées grâce à l'analyse des eaux usées. Le pourcentage que l'analyse des eaux usées a permis d'estimer en regard du total prescrit a été également calculé.

La première chose à noter est que l'analyse des eaux usées a toujours conduit à une estimation inférieure par rapport à la quantité prescrite, variant entre 6 à 41% du total prescrit, à l'exception du jeudi 9 novembre (88% du total prescrit). Cela pourrait signifier que ce jour là, l'échantillonnage est représentatif de la consommation de MET. Les autres jours cependant, l'échantillonnage s'est révélé relativement médiocre puisque l'estimation de la quantité consommée journalière est bien en deçà du total prescrit.

Si un détenu consomme de la MET le jour même, il excrétera la substance 6h après la consommation, jusqu'à 72 h après (Baselt, 2011). Cela signifie qu'en absorbant la substance le jeudi 27 juillet, un détenu commence à excréter la dose prescrite le jour même, mais continuera à le faire les jours suivants. Ainsi, en ne prélevant que le jeudi 27 juillet, une partie des excréments sont perdus. Cependant, le jeudi 27 juillet, les consommations des jours précédents sont également excrétées. Cela devrait donc s'équilibrer d'un jour sur l'autre, puisque le total prescrit est relativement stable au cours du temps. La différence entre le total prescrit et l'estimation par l'analyse des eaux usées ne peut donc pas découler uniquement du délai d'excrétion de la MET. Il est donc probable que cela soit en lien avec la faible fréquence d'échantillonnage, qui n'a pas permis de prélever les chasses d'eaux usées pertinentes contenant les excréments de MET.

Si l'échantillonnage du jeudi 9 novembre est représentatif de la consommation de MET, il peut être intéressant de regarder combien de *pulse* ont été déclenchés. D'après le Graphique 12.1, 45 sous-échantillons ont été prélevés. Mais le samedi 21 octobre, le même nombre de sous-échantillons ont été prélevés, et seul 26% du total prescrit a été estimé par l'analyse des eaux

TABLEAU 12.7 – Comparaison des quantités de MET prescrites et estimées par l'analyse des eaux usées

Date (2017)	Quantités de MET prescrites (mg/jour)	Quantités estimées de MET (mg/jour) et intervalle de confiance à 95%	Pourcentage estimé par l'analyse des eaux usées en regard du total prescrit (%)
Jeudi 27 juillet	550	33.2 [15.8 - 54.4]	6
Vendredi 28 juillet	550	40.3 [19.5 - 64.8]	7
Lundi 31 juillet	550	62.6 [30.4 - 101]	11
Mardi 3 octobre	260	81.2 [39.4 - 131]	31
Dimanche 15 octobre	310	126 [61.1 - 203]	41
Mercredi 18 octobre	410	146 [70.7 - 234]	36
Samedi 21 octobre	410	106 [51.6 - 171]	26
Mercredi 25 octobre	400	155 [74.8 - 249]	39
Jeudi 9 novembre	400	353 [171 - 567]	88
Vendredi 24 novembre	350	14.2 [6.89- 22.8]	4

usées. Le nombre de sous-échantillons prélevés n'est donc pas forcément un gage de qualité. Nous pouvons supposer que les sous-échantillons ont été déclenchés au « bon moment » le jeudi 9 novembre, c'est-à-dire lorsqu'une chasse d'eau contenant de la MET passait à l'endroit de prélèvement. En effet, comme les sous-échantillons sont prélevés tous les 500L environ, il est possible que lorsque les 500L ont été mesurés, le prélèvement se déclenche, mais que la chasse d'eau pertinente soit déjà passée. C'est pour cette raison que la fréquence d'échantillonnage doit être élevée, afin de prélever le plus souvent possible pour être sûr de capturer les chasses d'eau pertinentes. Si cela est important pour la MET qui est le stupéfiant quantifié en plus grande concentration d'une part et le plus souvent quantifié d'autre part, cela l'est encore plus pour les stupéfiants dont la consommation apparaît sporadique (d'après l'échantillonnage développé), comme l'HER ou la MAMPH par exemple.

De plus, si l'échantillonnage du jeudi 9 novembre est représentatif de la consommation de MET, est-ce qu'il est représentatif de la consommation des autres stupéfiants? Les charges per capita de THC-COOH sont à leur maximum ce jour-là et celles de BE sont faibles. L'AMPH et la MAMPH n'ont pas été quantifiées et l'HER n'a pas été détectée. Il est difficile d'évaluer si ce pattern correspond à une journée « type » de consommation au sein de la prison Coëliaque, surtout parce que nous ne savons pas si les chasses d'eau contenant les excréments de MET contiennent également celles des autres stupéfiants.

La confrontation de l'estimation des quantités consommées de MET par l'analyse des eaux usées et des données prescrites a donc permis d'évaluer la qualité de déploiement de l'échantillonnage des eaux usées. Si l'échantillonnage s'est révélé représentatif de la consommation de MET le jeudi 9 novembre, cela n'est pas le cas les autres journées. La faible fréquence d'échantillonnage, soulevée plusieurs fois auparavant, est la raison probable expliquant l'écart observé entre l'estimation par l'analyse des eaux usées et le total prescrit. Celle-ci pourrait être davantage explorée en s'intéressant à un autre produit pharmaceutique prescrit, comme un benzodiazépine par exemple.

12.4 Discussion

12.4.1 Échantillonnage

Le montage de l'échantillonnage a été réalisé dans l'enceinte de la prison, mais à l'extérieur des murs, ce qui a simplifié les allers et venues lors du lancement et de la récupération des échantillons.

Dix échantillons composites journaliers ont été prélevés sur une période de cinq mois. Cependant, il était prévu initialement d'en effectuer 28, soit sept par trimestre, un jour de la semaine représenté quatre fois au total, répartis sur une année entière. Malheureusement, il n'a pas été possible de poursuivre l'étude après le mois de novembre, puisque la source d'électricité a été retirée. Sans électricité, le préleveur et le module de mesure du débit ne pouvaient plus être alimentés, résultant ainsi en l'interruption de la prise d'échantillons. Une campagne menée sur une plus longue période aurait permis d'étudier des tendances de consommations, ou en tout cas de discuter davantage la présence de tel ou tel composé cible, ce qui n'est pas réalisable sur la base des seules mesures réalisées.

La prise d'échantillons au moyen du préleveur s'effectuait tous les 500L environ. À ce moment là, le prélèvement se déclenche, mais il est possible qu'il n'y ait plus d'eau dans la canalisation, entraînant l'échec de la prise du sous-échantillon. Cette situation s'est produite à quelques reprises, ce qui conjugué au faible nombre de *pulse*, a abouti à une estimation de la quantité consommée de MET bien en deçà du total prescrit.

Dans un tel environnement, une stratégie d'échantillonnage alternative devrait être développée. Une des solutions serait d'utiliser un débit proportionnel au temps, toutes les cinq minutes par exemple, comme cela a été employé la STEP de Nyon. Ainsi, lors de 24h, 288 sous-échantillons seraient prélevés, ce qui permettrait maximiser le nombre de chasses d'eau pertinentes prélevées. Ensuite, un volume proportionnel au débit horaire serait prélevé dans chaque bouteille horaire, afin d'obtenir un échantillon proportionnel au débit. Bien sûr, en prélevant toutes les cinq minutes, le préleveur échouerait certains prélèvements, puisque la nuit notamment, la canalisation est généralement à sec. Une autre solution, plus élégante, qui a déjà été évoquée auparavant, serait de réduire le *pulse* défini à 500L à 100L, ou même moins (paramètre réglé par le constructeur). D'autres solutions pourraient également être envisagées, à savoir un échantillonnage continu à débit constant ou proportionnel au débit, ce qui nécessiterait de dévier une partie de l'écoulement. Enfin, un bassin pourrait éventuellement être installé afin de recueillir l'ensemble des eaux usées écoulées pendant une journée, et de prélever depuis ce bassin plusieurs échantillons afin d'évaluer l'homogénéité de ceux-ci. A posteriori, un expert indépendant a proposé l'installation d'un système de mesure par bac pesé en continu et vidangé par une pompe ou un système de mesure par augets basculants. De plus, il suggère que les données de consommation en eau potable auraient pu être mesurées par un compteur, en parallèle des données de débit, afin d'évaluer la quantité d'eau potable utilisée dans la prison, et donc rejetée via les eaux usées (Rossi, 2019).

12.4.2 Hypothèses

L'analyse des eaux usées a permis de mettre en évidence l'existence de consommations illicites au sein de la prison Coëliaque, qui varient au cours des cinq mois de la campagne d'échantillonnage. L'échantillonnage développé n'étant pas satisfaisant, il n'a pas été possible d'étudier l'Hypothèse 2, c'est-à-dire de comparer les consommations illicites de la prison sous étude à celles d'autres prisons et à celles de l'agglomération proche. En effet, les défis liés à la stratégie de prélèvement doivent être encore résolus pour envisager une approche quantitative fiable et l'application de la stratégie de déploiement proposée au Chapitre 8. Finalement, les quantités consommées estimées de MET ont été comparées aux données de prescription, ce qui a permis de se prononcer sur la mauvaise qualité de déploiement de l'échantillonnage des eaux usées au sein de la prison Coëliaque.

L'analyse des eaux usées montre que les consommations illicites existent au sein de la prison. Nous pouvons ainsi nous interroger sur qui consomme. Comme les prélèvements sont réalisés au niveau d'une canalisation commune, regroupant toutes les eaux usées de la prison, il est impossible de distinguer les contributions des prisonniers de celles du personnel pénitentiaire ou des visiteurs. Toutefois, nous rappelons que les détenus sont en majorité par rapport à ces derniers et qu'ils contribuent toujours aux eaux usées, contrairement au personnel et aux visiteurs, dont la présence sur les lieux varie. Les urines des détenus devraient donc avoir un impact plus important sur les concentrations mesurées. Ainsi, nous supposons que la cocaïne, l'AMPH, la MAMPH, le cannabis et la MET ont été consommés en majorité par un ou plusieurs détenus, car ils ont été détectés tous les jours (sauf l'AMPH, qui n'a pas été détectée le vendredi 28 juillet). La détection régulière de ces substances implique également qu'elles sont disponibles au sein de la prison Coëliaque. Comment celles-ci pénètrent dans l'enceinte ? La littérature suggère que le service pénitentiaire ou les visiteurs, c'est-à-dire ceux qui ont une interaction avec le monde extérieur, fournissent les détenus (Crewe, 2005).

Si nous supposons que les stupéfiants quantifiés dans les eaux usées de la prison Coëliaque sont effectivement consommés par les détenus, comment les consomment-ils ? Si le cannabis est consommé par fumigation et la MET par voie orale, comment sont consommés la COC, l'AMPH, la MAMPH et l'HER ? Une recherche ayant effectué l'analyse des résidus contenus dans les seringues usagées, recueillies dans des centres bas seuil à Lausanne, a montré que la COC était retrouvée le plus fréquemment, suivie par l'HER (Lefrançois et al., 2016). La prison Coëliaque ne distribue pas des seringues propres à ses détenus. On peut donc se demander si des seringues sont quand même utilisées par les détenus et si oui, comment ces derniers se les procurent. D'après l'échantillonnage développé, la consommation d'HER semble faible, mais la consommation de COC s'avère régulière. S'interroger sur les pratiques de consommation des détenus au sein de cette prison est donc une nécessité. Il a déjà été relevé que les méthodes conventionnelles ne reportent pas la consommation de cocaïne en milieu carcéral, alors que celle-ci a été mise en

évidence par l'analyse des eaux usées dans des prisons d'Espagne, d'Australie, de France et de Suisse. La consommation de cocaïne en prison ne semble donc pas un phénomène isolé. L'analyse des eaux usées souligne ainsi la nécessité de développer des mesures de prévention et de réduction des risques ciblées sur la cocaïne au sein de la prison Cœliaque, comme par exemple la distribution de seringues propres. Dans l'idéal, un sondage autoreporté pourrait être également développé, ce permettrait d'obtenir des informations quant aux pratiques de consommation et éventuellement, de quelle manière les détenus se fournissent en stupéfiants.

Chapitre 13

Discussion générale

Les résultats de chacune des deux applications ont fait l'objet de discussions spécifiques au sein de leur Chapitre respectif. Il s'agit dans cette discussion générale de prendre du recul par rapport aux résultats et d'apprécier plutôt l'indicateur en tant que tel et l'information fournie. Enfin, les perspectives d'application de l'analyse des eaux usées pour l'étude de populations spécifiques seront abordées dans un second temps.

13.1 Démarche d'application de l'analyse des eaux usées

L'analyse des eaux usées est un indicateur qui nous a permis d'évaluer les consommations en stupéfiants lors d'un festival et au sein d'une prison au cours du temps en premier lieu (**Hypothèses 1**). Aucune différence statistiquement significative n'a été observée entre les consommations illicites des Paléo Festivals 2014 et 2015, à l'exception de celles de cannabis qui sont significativement inférieures en 2015. Une stabilité des consommations au cours du temps au sein d'un même festival peut être due au fait que le même type de population a assisté aux éditions successives du festival, ou que les consommateurs n'ont pas modifié leur usage, ou que la marché des stupéfiants est stable. Dans la prison Coeliaque, les consommations observées varient d'un jour à l'autre, aucune dynamique particulière n'a été observée. L'échantillonnage n'étant pas optimal, le raisonnement s'est axé sur la présence de tel ou tel stupéfiant. La première étape a donc consisté à comparer les résultats obtenus dans le cadre de cette recherche entre eux.

Dans un second temps, les consommations illicites déterminées lors du Paléo Festival ont été comparées à celles observées dans un autre milieu du même type d'une part, et à celles de la population générale de la même zone géographique (**Hypothèses 2**). Les résultats obtenus ont en effet été confrontés à ceux d'études menées auprès d'une population festivalière d'Australie (Lai et al., 2013) et de la population générale de Lausanne (Zobel et al., 2018). Il s'avère que ce sont les consommations de MDMA et d'AMPH qui présentent un usage supérieur lors du Paléo Festival par rapport à ce qui est observé en temps normal. Ces comparaisons se basent sur des résultats obtenus à l'aide d'un indicateur unique, celui de l'analyse des eaux usées, mais issus d'applications différentes. L'analyse des eaux usées promouvant la comparabilité des résultats dans le temps et dans l'espace, cela a été exploité dans le cadre de cette thèse afin de tester les **Hypothèses 1** et **2**. Les consommations mises en évidence au sein de la prison Coeliaque n'ont pas pu être comparées à celles d'autres prisons ou à celles de la population générale d'une agglomération proche car l'échantillonnage installé n'était pas représentatif du débit des eaux usées s'écoulant dans la canalisation. La validité des résultats n'est donc pas garantie et il est donc dangereux de les comparer à des résultats issus d'autres recherches.

Enfin, les consommations illicites caractérisées lors du Paléo Festival ont été comparées aux informations issues des saisies effectuées sur le site afin d'étudier l'éventuelle présence d'un marché de MDMA et d'AMPH sur le site. Cette dernière hypothèse apparaît comme plausible. La consommation de MET au sein de la prison Coeliaque a été comparée aux données de prescription de MET (**Hypothèses 3**), ce qui a souligné la manque de représentativité de l'échantillonnage développé. Ces comparaisons se basent ainsi sur des résultats issus d'indicateurs différents, dans le but de compléter et nuancer les observations réalisées grâce à l'analyse des eaux usées.

L'ensemble de cette démarche démontre la nécessité de **valider** les résultats de l'analyse des eaux usées. Les recherches sautent souvent directement à l'Hypothèse 3, celle de la triangulation des résultats de l'analyse des eaux usées avec ceux d'un autre indicateur, sans même apprécier

l'entier de l'Hypothèse 1. Cela souligne ce besoin de valider l'indicateur, ce qui est évidemment fondamental. Mais il est toutefois important d'étudier la qualité de l'information fournie et de comprendre les résultats, leur signification et leur portée. Cela peut débiter simplement par une appréciation de la qualité de l'échantillonnage. Étudier la représentativité de la stratégie d'échantillonnage développée permet de savoir si les échantillons prélevés sont représentatifs et par conséquent, les résultats valides. Dans le cas du Paléo Festival, il n'y avait pas de raison de douter de l'échantillonnage développé, et l'entier de la stratégie de déploiement de l'analyse des eaux usées proposée au Chapitre 7 a pu être appliquée. Par contre, il est vite apparu que l'échantillonnage installé à la prison Cœliaque n'était pas optimal et la stratégie de déploiement de l'analyse des eaux usées proposée au Chapitre 8 a été simplifiée. C'est donc surtout la faisabilité de l'indicateur au sein d'un milieu si complexe qui a été étudiée. Une fois que les résultats au sein du milieu considéré ont été appréciés à leur juste mesure, il est nécessaire de contextualiser l'information obtenue à l'aide de résultats issus du même indicateur, ou d'autres indicateurs. L'analyse des eaux usées est un indicateur jeune et il est en effet nécessaire d'évaluer, de confronter et de contextualiser l'information obtenue en regard de données temporelles, géographiques ou autres, issues du même indicateur ou d'autres indicateurs. Il faut ainsi veiller à toujours intégrer les résultats de l'analyse des eaux usées avec d'autres données pour comprendre au mieux la nature et/ou l'ampleur du phénomène étudié.

13.2 Recommandations et perspectives

13.2.1 Étudier une population spécifique

Les populations festives et carcérales ont été sélectionnées comme sujet d'étude dans le cadre de ce travail. Il s'agit des premières populations spécifiques ciblées par l'analyse des eaux usées à l'ESC. Le Paléo Festival a été étudié avant la prison Coeliaque. L'échantillonnage lors du Paléo Festival a été développé dans une STEP, ce qui a permis d'acquérir l'expérience nécessaire afin de pouvoir proposer une stratégie d'échantillonnage à la prison Coeliaque. Cette dernière tâche s'est avérée un vrai challenge, qui reste non résolu en l'état.

Les consommations illicites de la population festive, nous l'avons vu, sont bien connues. L'analyse des eaux usées a permis de confirmer que ce sont surtout la MDMA et l'AMPH qui sont davantage consommées par rapport à un contexte normal, ce qui permet de valider l'utilisation de l'indicateur analyse des eaux usées dans ce contexte. Les connaissances obtenues dans le cadre du Paléo Festival permettent ainsi d'ajouter une pierre à un édifice déjà bien construit. Quant à la prison, les résultats obtenus ont permis de souligner les consommations régulières de MET et de cocaïne. L'AMPH, la MAMPH et le cannabis ont été quantifiés irrégulièrement, mais puisque l'échantillonnage n'est pas fiable, il est difficile de se prononcer sur l'absence de détection ou de quantification. La littérature a montré qu'il est extrêmement difficile de comparer différentes populations carcérales entre elles. Chaque prison pourrait donc constituer un sujet propre d'étude, même si certains points communs semblent se dégager, tels que la consommation de cocaïne. Les connaissances acquises à la prison Coeliaque apportent donc une pierre à un chantier en construction.

Étudier une population spécifique requiert l'examen de sa structure. L'échantillonnage est installé à un endroit, qui n'est parfois pas optimal en termes d'accessibilité, de débit par exemple, mais qui définira la taille et le type de population visée par l'analyse des eaux usées. L'échantillonnage développé au Paléo Festival agrégeait les festivaliers et les habitants de Nyon et celui de la prison Coeliaque, toutes les personnes au sein de ce bâtiment, c'est-à-dire les détenus, le personnel pénitentiaire et les visiteurs. La structure de la population investiguée doit donc être considérée pour d'une part, savoir si les concentrations mesurées dans les eaux usées proviennent de la population que l'on souhaite étudier et d'autre part, pour estimer la taille de la population. Sans cette réflexion, l'interprétation des résultats s'en trouverait affectée.

D'autres populations spécifiques pourraient être étudiées grâce à l'analyse des eaux usées. Les stratégies de déploiement de cet indicateur proposées en milieu festif et en milieu carcéral sont finalement applicables dans n'importe quel milieu fermé ou semi-fermé a priori. L'application de l'analyse des eaux usées lors des Jeux Olympiques de la Jeunesse en 2020 et sur le site de l'Université est effectivement actuellement sous étude. Cela suppose l'investigation des consommations des jeunes athlètes et celles des étudiants. Le fait d'avoir étudié d'autres populations

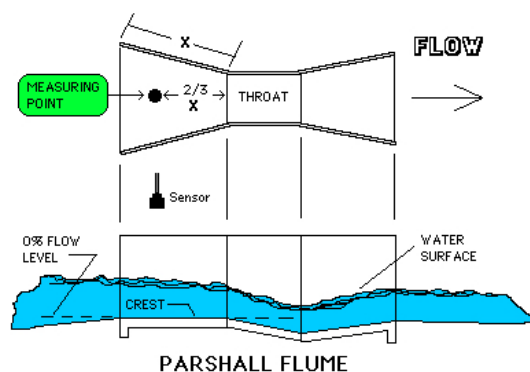
spécifiques avant celles des jeunes athlètes et des étudiants permet une approche davantage réfléchie, d'autant plus que ces populations sont extrêmement sensibles à étudier. Les difficultés rencontrées dans le cadre de ce travail et les connaissances accumulées serviront ainsi à mettre en œuvre une stratégie d'échantillonnage appropriée pour les événements et structures qui seront étudiés dans le futur.

13.2.2 Considérations techniques

Comme nous l'avons vu, le débit est le facteur limitant lorsque l'échantillonnage est développé au niveau d'une canalisation en sortie de structure. L'application de l'analyse des eaux usées au sein de la prison Coeliaque a apporté à l'ESC des connaissances sur de ce type d'environnement. Avec les nombreux problèmes rencontrés, liés à la mesure de débit, à l'apport en électricité, cela a démontré que si un échantillonnage pérenne ne peut pas mis en place, alors il vaut peut être mieux investir du temps sur un autre site pour être certain de la qualité de l'échantillonnage. Si ce dernier est optimal, c'est toute la qualité de l'information obtenue qui s'en trouve positivement impactée. Autrement dit, il est indispensable d'investir du temps et de l'argent dans la mise en place d'un échantillonnage optimal, en consultant des spécialistes du sujet. Dans le cadre de ce travail, plusieurs entreprises ont été contactées dans le cadre de l'échantillonnage développé à la prison Coeliaque et l'échantillonnage proposé par Teledyne est apparu comme le plus prometteur. Toutefois, cela ne s'est pas avéré suffisant et nous conseillons plutôt de faire appel à un ingénieur en environnement indépendant.

Si des techniques d'échantillonnage alternatives à celle mise en place à la prison Coeliaque ont été proposées dans le Chapitre précédent, d'autres peuvent être proposées ici et qui pourraient être déployées sur d'autres sites. Nous rappelons que la déviation d'une portion du débit ou la modification du *pulse* auprès du constructeur pourraient être envisagées, ainsi qu'un système de mesure par bac pesé en continu ou par augets basculants. Une autre technique qui avait été considérée pour la prison Coeliaque est celle de l'emploi d'un canal Parshall, dont un schéma est proposé au Graphique 13.1 (Control Electronics Inc., 2018). Il s'agit d'un dispositif dont la largeur doit être adaptée au débit s'écoulant dans la canalisation dans lequel il est placé. Chaque largeur est standardisée. Ainsi, comme le débit est mesuré à l'endroit où le canal se resserre, le niveau de l'eau sera plus haut, permettant une mesure de débit facilitée. Le débit doit ensuite être corrigé, ce qui est configuré sur le module de débit utilisé. Ce dispositif n'a pas été discuté dans le Chapitre 12 car le débit était trop faible dans la canalisation pour pouvoir le mettre en place.

GRAPHIQUE 13.1 – Schéma d'un canal Parshall



13.2.3 Expression des résultats

Les résultats de l'analyse des eaux usées peuvent être exprimés de diverses manières. En effet, dans le Chapitre 11, les résultats ont été reportés sous forme de charges absolues par jour et de charges per capita par jour. Quant aux quantités consommées, une moyenne journalière absolue et per capita par période a été calculée. Dans le Chapitre 12, les résultats ont été reportés sous forme de charges per capita par jour et de quantité consommée moyenne journalière absolue. Ainsi, les charges per capita journalières ont été utilisées dans les deux applications, alors que les charges absolues et les quantités consommées absolues et per capita ont été utilisées en fonction de ce que l'on souhaitait démontrer.

Les charges per capita par jour sont intéressantes graphiquement, pour apprécier l'évolution au cours du temps du même site (prison Coeliaque), ou de différents sites entre eux (Paléo Festival avec Lausanne). Il est indispensable d'utiliser les charges per capita lorsque l'on compare différents sites entre eux, car la taille de la population contribuant aux eaux usées varie d'un site à l'autre. Les charges per capita prennent en compte cette information, rendant de ce fait les comparaisons possibles. Toutefois, si une étude se base sur un site unique, alors les résultats peuvent être exprimés en charges absolues, à condition que la taille de la population soit relativement stable au cours du temps, i.e. qu'il n'y ait pas d'évènement exceptionnel entraînant une augmentation drastique de la population. Il est en tout cas recommandé de mentionner la taille de la population dans une perspective de comparaison ultérieure, que ce soit dans le cadre de la même étude dans le futur, ou alors, comme c'est le cas dans le présent manuscrit, de l'utilisation des données pour contextualiser les résultats d'une autre recherche.

Les charges absolues ont été employées dans la présente recherche seulement pour étudier l'impact du Paléo Festival sur les consommations en temps normal. Notons que les charges absolues ont l'avantage d'être issues de la multiplication de deux valeurs, celles du débit et de la concentration. C'est donc le calcul le plus « simple », qui engendre le moins d'incertitude.

Les quantités consommées lors du Paléo ont été reportées telles que des moyennes journalières per capita. Les variations inter-jours ont été en effet appréciées à l'aide des charges per capita.

Ainsi, seule une estimation moyenne des quantités consommées est fournie sur la période investiguée. De nouveau, les quantités per capita sont utilisées car elles permettent de comparer un lieu à un autre, comme c'est notamment le cas lorsque les consommations illicites lors du Paléo Festival ont été évaluées en regard de celles du canton de Vaud. Toutefois, si une moyenne est indiquée, il est important de rendre disponible chaque valeur journalière, toujours dans le but d'afficher une démarche transparente. Si les quantités consommées sont calculées sous forme de doses, il faut s'efforcer d'indiquer l'équivalent en masse pure d'une dose, information qui d'après le Tableau 8.3 est rarement reportée.

Les quantités consommées moyennes journalières de méthadone au sein de la prison Coeliaque ont été calculées. Elles ont été utilisées pour être comparées aux quantités absolues prescrites de méthadone. Comme la comparaison des valeurs est effectuée au sein du même site, il n'était pas nécessaire de prendre en compte la taille de la population.

Sur la base de ces discussions, il apparaît difficile d'uniformiser le report des résultats de l'analyse des eaux usées, car cela dépend grandement de ce que l'on souhaite démontrer. Il est toutefois recommandé de reporter systématiquement les données de base mesurées chaque jour d'échantillonnage, c'est-à-dire les concentrations, les valeurs de débit et les erreurs-type associées à ces deux paramètres, ainsi que la taille de la population, les paramètres d'excrétion et les équivalents en masse des doses, si les résultats sont reportés sous forme de nombre de doses consommées. De plus, comme cela a déjà été souligné, le report des données doit être uniformisé pour tous les composés au sein d'une même recherche. Ainsi, les résultats de l'analyse des eaux usées peuvent être exprimés de diverses manières, chacune étant toutefois davantage adaptée à ce que l'on souhaite démontrer. Cette discussion a donc permis d'atteindre l'**Objectif technique 4**, qui visait à suggérer une manière de reporter les résultats de l'analyse des eaux usées.

Chapitre 14

Conclusion

L'épidémiologie basée sur l'analyse des eaux usées a été proposée comme indicateur de la consommation en stupéfiants au début des années 2000. Si elle a largement été employée en milieu urbain, peu d'études se sont attachées à apprécier les consommations illicites de populations spécifiques. Dans le cadre de ce présent manuscrit, le milieu festif et le milieu carcéral ont ainsi été considérés, pour lesquels deux et cinq .

La technicité de l'analyse des eaux usées a été abordée dans un premier temps. Une distinction fondamentale est observée au niveau de l'échantillonnage selon que le sujet d'étude est un événement ou une structure. Concernant l'analyse et le traitement des données, peu de différences ont été observées par rapport à l'étude de la population générale. L'étude d'une population spécifique s'est toutefois révélée particulièrement intéressante dans le cadre de l'estimation de la taille de la population. En effet, un événement tel qu'un festival et une structure telle qu'une prison supposent l'existence de statistiques relatives aux nombres de festivaliers et de détenus respectivement. Cela offre la possibilité de comparer ces chiffres à la taille de la population estimée avec l'emploi d'un marqueur de population, permettant d'évaluer la validité de ce dernier.

Dans un second temps, une recherche de littérature en matière de consommations illicites au sein du milieu festif et du milieu carcéral a été réalisée, tous indicateurs confondus. Une convergence de l'ensemble des indicateurs concernant la nature des consommations illicites en milieu festif a été mise en évidence. Les stupéfiants les plus consommés sont le cannabis, la cocaïne, la MDMA et l'amphétamine. En milieu carcéral, les méthodes conventionnelles et l'analyse des eaux usées soulignent la consommation de cannabis et de substances utilisées dans le cadre de traitement de substitution, comme la méthadone. Des divergences sont observées, dans la mesure où les méthodes conventionnelles sont alarmantes vis-à-vis de la consommation d'héroïne, alors qu'elle n'a pas été détectée dans tous les établissements pénitentiaires où l'analyse des eaux usées a été appliquée. À l'inverse, cette dernière met en évidence une consommation faible mais régulière de cocaïne, qui est censée être délaissée d'après les méthodes conventionnelles. Les consommations illicites en milieu carcéral se révèlent donc mal connues et comparer diverses prisons entre elles

s'avère une tâche très délicate du fait de l'ensemble des facteurs caractérisant une population carcérale et le type d'institution pénitentiaire dans laquelle elle évolue. Rassembler les connaissances en matière de consommations illicites en milieu festif et en milieu carcéral a permis de souligner la complémentarité de l'analyse des eaux usées avec les autres indicateurs existants. En effet, l'analyse des eaux usées permet de monitorer au cours du temps les consommations illicites, au jour le jour, au sein d'une même structure ou lors de diverses éditions d'un même évènement. Elle permet de plus d'évaluer les quantités consommées à l'échelle de ces derniers. Une stratégie de déploiement de l'analyse des eaux usées en milieu festif et en milieu carcéral a finalement été proposée, afin que cet indicateur fournisse une information utile sur la nature et l'ampleur des consommations illicites dans ces milieux.

L'analyse des eaux usées a permis de caractériser les consommations illicites associées au Paléo Festival au cours du temps. Les consommations des *club drugs* sont stables lors des deux éditions consécutives et l'usage de cannabis est important. Les résultats ont ensuite été comparés à ceux d'un festival australien. Cette comparaison entre festivals a confirmé que la MDMA est très prévalente en milieu festif, de même que l'amphétamine dans une moindre mesure. Les consommations de cocaïne (en Suisse) et de méthamphétamine (en Australie) sont également élevées, mais leur usage semble conditionné au pays où l'évènement festif se déroule. Les consommations mises en évidence lors du Paléo Festival ont par la suite été confrontées à celles de la population générale de Nyon et du canton de Vaud. La MDMA et l'amphétamine s'avèrent davantage consommées lors du Paléo Festival par rapport à un contexte non festif. Les quantités consommées estimées sont toutefois relativement faibles. Si la MDMA et l'amphétamine sont davantage consommées lors du festival, cela suggère que leur disponibilité est accrue et donc, qu'un marché de ces substances existe potentiellement sur le site du Paléo Festival. Pour tester cette dernière hypothèse, les saisies policières effectuées lors du Paléo Festival 2015 ont été consultées car elles permettent parfois de connaître l'endroit où la personne arrêtée a acheté son produit. Si ces données sont très limitées, il s'avère toutefois que les personnes arrêtées ont en majorité acheté ces stupéfiants sur le site du Paléo Festival, ce qui soutient l'hypothèse de l'existence d'un marché de MDMA et d'amphétamine lors de cet évènement. L'ensemble de ce travail confirme les observations faites lors de la revue de la littérature. Il valide d'une part la stratégie de déploiement proposée en milieu festif et l'analyse des eaux usées comme indicateur des consommations illicites dans ce contexte. De plus, il suggère la nécessité d'une stratégie de prévention ciblée sur la MDMA et l'amphétamine lors du Paléo Festival.

Au sein de la prison Coëliaque, la fréquence d'échantillonnage déclenchée par le dispositif de mesure du débit installé était trop faible. Cela a conduit à un échantillonnage non représentatif du débit des eaux usées, ce qui a affecté la qualité des résultats, qui n'ont pas pu être comparés à ceux d'autres recherches. La stratégie de déploiement de l'analyse des eaux usées proposée plus tôt a donc été simplifiée et revue sous l'angle d'une étude de faisabilité. L'analyse des

eaux usées a permis de mettre en évidence l'existence de consommations illicites au sein de la prison. Celles-ci varient au cours du temps et aucune dynamique particulière n'a été remarquée. Des consommations régulières de méthadone et cocaïne ont été observées. L'amphétamine, la méthamphétamine et le cannabis ont été quantifiés irrégulièrement. La MDMA n'a jamais été détectée et l'héroïne, une seule fois. Il est toutefois difficile de se prononcer sur l'absence de tel ou tel stupéfiant du fait de la faible fréquence d'échantillonnage. Si ces résultats sont à interpréter avec prudence, ils s'avèrent toutefois cohérents en regard des connaissances préalables. Les quantités consommées de méthadone estimées par l'analyse des eaux usées ont ensuite été comparées aux données de prescription de méthadone afin d'évaluer la qualité de l'échantillonnage développé. Ce dernier s'est révélé représentatif de la consommation de méthadone une seule journée sur les dix ayant fait l'objet de prélèvements, soulignant sa mauvaise qualité. Malgré les limitations dont souffre cette application, ce travail offre des résultats qui correspondent aux observations réalisées suite à la revue de la littérature, notamment au niveau de la consommation de méthadone. De plus, la consommation de cocaïne n'est pas un phénomène isolé en milieu carcéral, comme le montrent les autres applications de l'analyse des eaux usées dans ce type de milieu. Une campagne de prévention et de réduction des risques ciblée sur la cocaïne serait donc d'utilité au sein de la prison Coeliaque.

L'application de l'analyse des eaux usées en milieu festif et en milieu carcéral a permis de développer une démarche logique dans le cadre de l'étude de populations spécifiques. Celle-ci pourrait être employée afin d'investiguer les consommations licites ou illicites d'autres populations, comme celles des jeunes athlètes qui viendront à Lausanne en 2020 lors des Jeux Olympiques de la Jeunesse et des étudiants évoluant au sein de l'Université de Lausanne. Les difficultés rencontrées dans le cadre de ce travail et les connaissances accumulées serviront ainsi à mettre en œuvre une stratégie d'échantillonnage et une démarche d'application de l'analyse des eaux usées adaptées aux événements et structures qui seront étudiés dans le futur.

Bibliographie

- Addiction Suisse (2018). Analyse des prévalences entre 2011 et 2016 réalisées par Luca Notari.
- Aebi, M. F. and Jaquier, V. (2008). Les sondages de délinquance autoreportée : origines, fiabilité et validité. *Déviance et Société*, 32(2) :205.
- Aebi, M. F., Tiago, M. M., and Burkhardt, C. (2016). *SPACE I – Council of Europe Annual Penal Statistics : Prison Populations. Survey 2015*. Council of Europe, Strasbourg.
- Alvarez, D. A., Petty, J. D., Huckins, J. N., Jones-Lepp, T. L., Getting, D. T., Goddard, J. P., and Manahan, S. E. (2004). Development of a passive, in situ, integrative sampler for hydrophilic organic contaminants in aquatic environments. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 23(7) :1640–1648.
- Andrés-Costa, M. J., Escrivá, U., Andreu, V., and Picó, Y. (2016). Estimation of alcohol consumption during “Fallas” festivity in the wastewater of Valencia city (Spain) using ethyl sulfate as a biomarker. *Science of The Total Environment*, 541 :616–622.
- Archer, J. R. H., Dargan, P. I., Hudson, S. C., Davies, S., Puchnarewicz, M., Kicman, A. T., Ramsey, J. D., Measham, F. C., Wood, M. J., Johnston, A., and Wood, D. M. (2014a). Taking the Pissoir – a novel and reliable way of knowing what drugs are being used in nightclubs. *Journal of Substance Use*, 19(1-2) :103–107.
- Archer, J. R. H., Dargan, P. I., Hudson, S. C., and Wood, D. M. (2013). Analysis of anonymous pooled urine from portable urinals in central London confirms the significant use of novel psychoactive substances. *QJM*, 106(2) :147–152.
- Archer, J. R. H., Dargan, P. I., Lee, H. M. D., Hudson, S. C., and Wood, D. M. (2014b). Trend analysis of anonymised pooled urine from portable street urinals in central London identifies variation in the use of novel psychoactive substances. *Clinical Toxicology*, 52(3) :160–165.
- Archer, J. R. H., Hudson, S. C., Jackson, O., Yamamoto, T., Lovett, C., Lee, H. M. D., Rao, S., Hunter, L. J., Dargan, P. I., and Wood, D. M. (2015). Analysis of anonymized pooled urine in nine UK cities : Variation in classical recreational drug, novel psychoactive substance and anabolic steroid use. *QJM*, 108(12) :929–933.

- Australian Institute of Health and Welfare (2016). *Australia's Health 2016*. Number 15 in Australia's Health Series. AIHW, Canberra. OCLC : 974634828.
- Bade, R., Bijlsma, L., Sancho, J. V., Baz-Lomba, J. A., Castiglioni, S., Castrignanò, E., Causanilles, A., Gracia-Lor, E., Kasprzyk-Hordern, B., Kinyua, J., McCall, A.-K., van Nuijs, A. L., Ort, C., Plósz, B. G., Ramin, P., Rousis, N. I., Ryu, Y., Thomas, K. V., de Voogt, P., Zuccato, E., and Hernández, F. (2017). Liquid chromatography-tandem mass spectrometry determination of synthetic cathinones and phenethylamines in influent wastewater of eight European cities. *Chemosphere*, 168 :1032–1041.
- Baker, D. R. and Kasprzyk-Hordern, B. (2011). Critical evaluation of methodology commonly used in sample collection, storage and preparation for the analysis of pharmaceuticals and illicit drugs in surface water and wastewater by solid phase extraction and liquid chromatography–mass spectrometry. *Journal of Chromatography A*, 1218(44) :8036–8059.
- Baker, D. R., Očenášková, V., Kvicálová, M., and Kasprzyk-Hordern, B. (2012). Drugs of abuse in wastewater and suspended particulate matter — Further developments in sewage epidemiology. *Environment International*, 48 :28–38.
- Banken, J. A. (2004). Drug Abuse Trends among Youth in the United States. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1025(1) :465–471.
- Bannwarth, A., Morelato, M., Benaglia, L., Been, F., Esseiva, P., Delémont, O., and Roux, C. (2019). The use of wastewater analysis in forensic intelligence : Drug consumption comparison between Sydney and different European cities. *Forensic Sciences Research*.
- Baselt, R. C. (2011). *Disposition of Toxic Drugs and Chemical in Man*. Biomedical Publications, Seal Beach, tenth edition.
- Beausse, J. (2004). Selected drugs in solid matrices : A review of environmental determination, occurrence and properties of principal substances. *Trends in Analytical Chemistry*, 23(10-11) :753–761.
- Been, F. (2015). *Assessing the Added Value of Wastewater-Based Epidemiology to Monitor Illicit Drug Use*. PhD thesis, Université de Lausanne, Lausanne.
- Been, F., Benaglia, L., Lucia, S., Gervasoni, J.-P., Esseiva, P., and Delémont, O. (2015). Data triangulation in the context of opioids monitoring via wastewater analyses. *Drug and Alcohol Dependence*, 151 :203–210.
- Been, F., Bijlsma, L., Benaglia, L., Berset, J.-D., Botero-Coy, A. M., Castiglioni, S., Kraus, L., Zobel, F., Schaub, M. P., Büchel, A., Hernández, F., Delémont, O., Esseiva, P., and Ort, C. (2016a). Assessing geographical differences in illicit drug consumption—A comparison of

- results from epidemiological and wastewater data in Germany and Switzerland. *Drug and Alcohol Dependence*, 161 :189–199.
- Been, F., Esseiva, P., and Delémont, O. (2016b). Analysis of illicit drugs in wastewater – Is there an added value for law enforcement? *Forensic Science International*, 266 :215–221.
- Been, F., Rossi, L., Ort, C., Rudaz, S., Delémont, O., and Esseiva, P. (2014). Population Normalization with Ammonium in Wastewater-Based Epidemiology : Application to Illicit Drug Monitoring. *Environmental Science & Technology*, 48(14) :8162–8169.
- Been, F., Schneider, C., Zobel, F., Delémont, O., and Esseiva, P. (2016c). Integrating environmental and self-report data to refine cannabis prevalence estimates in a major urban area of Switzerland. *International Journal of Drug Policy*, 36 :33–42.
- Bellis, M. A., Hale, G., Bennett, A., Chaudry, M., and Kilfoyle, M. (2000). Ibiza uncovered : Changes in substance use and sexual behaviour amongst young people visiting an international night-life resort. *International Journal of Drug Policy*, 11(3) :235–244.
- Benaglia, L., Bouchard, M., Jendly, M., Delémont, O., and Esseiva, P. (2019a). Merging Wastewater-based Epidemiology and Conventional Methods : Toward a Better Understanding of Illicit Consumption in Prison? *In preparation*.
- Benaglia, L., Frank Zobel, Delémont, O., and Esseiva, P. (2019b). Evaluer les consommations de produits psychotropes en milieu festif : à la croisée des indicateurs. Assessing psychotropic use in a festive context : At the crossroads of indicators. *Revue internationale de criminologie et de police technique et scientifique*. *In press*.
- Benaglia, L., Udrisard, R., Bannwarth, A., Gibson, A., Béen, F., Lai, F. Y., Esseiva, P., and Delémont, O. (2019c). Testing wastewater from a music festival in Switzerland to assess illicit drug use. *Submitted to Forensic Science International*.
- Berset, J.-D., Brenneisen, R., and Mathieu, C. (2010). Analysis of licit and illicit drugs in waste, surface and lake water samples using large volume direct injection high performance liquid chromatography – Electrospray tandem mass spectrometry (HPLC–MS/MS). *Chemosphere*, 81(7) :859–866.
- Bijlsma, L., Emke, E., Hernández, F., and de Voogt, P. (2012). Investigation of drugs of abuse and relevant metabolites in Dutch sewage water by liquid chromatography coupled to high resolution mass spectrometry. *Chemosphere*, 89(11) :1399–1406.
- Bisceglia, K. J., Roberts, A. L., Schantz, M. M., and Lippa, K. A. (2010). Quantification of drugs of abuse in municipal wastewater via SPE and direct injection liquid chromatography mass spectrometry. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 398(6) :2701–2712.

- Bitzer, S., Albertini, N., Lock, E., Ribaux, O., and Delémont, O. (2015). Utility of the clue — From assessing the investigative contribution of forensic science to supporting the decision to use traces. *Science & Justice*, 55(6) :509–513.
- Boleda, M. R., Galceran, M. T., and Ventura, F. (2007). Trace determination of cannabinoids and opiates in wastewater and surface waters by ultra-performance liquid chromatography–tandem mass spectrometry. *Journal of Chromatography A*, 1175(1) :38–48.
- Boleda, M. R., Galceran, M. T., and Ventura, F. (2009). Monitoring of opiates, cannabinoids and their metabolites in wastewater, surface water and finished water in Catalonia, Spain. *Water Research*, 43(4) :1126–1136.
- Boles, T. H. and Wells, M. J. (2014). Pilot survey of methamphetamine in sewers using a Polar Organic Chemical Integrative Sampler. *Science of The Total Environment*, 472 :9–12.
- Borenstein, M., Hedges, L., and Rothstein, H. (2007). Meta-analysis : Fixed effect vs. random effects. *Meta-analysis.com*.
- Borrey, D., Meyer, E., Duchateau, L., Lambert, W., Van Peteghem, C., and De Leenheer, A. P. (2003). Longitudinal study on the prevalence of benzodiazepine (mis) use in a prison : Importance of the analytical strategy. *Addiction*, 98(10) :1427–1432.
- Borrill, J., Maden, A., Anthea, M., Weaver, T., Stimson, G., Farrell, M., and Barnes, T. (2003). *Differential Substance Misuse Treatment Needs of Women, Ethnic Minorities and Young Offenders in Prison : Prevalence of Substance Misuse and Treatment Needs*. Home Office, London, United Kingdom.
- Brener, N. D., Billy, J. O., and Grady, W. R. (2003). Assessment of factors affecting the validity of self-reported health-risk behavior among adolescents : Evidence from the scientific literature. *Journal of Adolescent Health*, 33(6) :436–457.
- Brewer, A. J., Banta-Green, C. J., Ort, C., Robel, A. E., and Field, J. (2016). Wastewater testing compared with random urinalyses for the surveillance of illicit drug use in prisons. *Drug and Alcohol Review*, 35(2) :133–137.
- Brewer, A. J., Ort, C., Banta-Green, C. J., Berset, J.-D., and Field, J. A. (2012). Normalized Diurnal and Between-Day Trends in Illicit and Legal Drug Loads that Account for Changes in Population. *Environmental Science & Technology*, 46(15) :8305–8314.
- Brunt, T. M., Nagy, C., Bücheli, A., Martins, D., Ugarte, M., Beduwe, C., and Ventura Vilamala, M. (2017). Drug testing in Europe : Monitoring results of the Trans European Drug Information (TEDI) project : Drug testing in Europe. *Drug Testing and Analysis*, 9(2) :188–198.

- Bullock, T. (2003). Changing levels of drug use before, during and after imprisonment. In *Prisoners' Drug Use and Treatment : Seven Research Studies*, number 267 in Home Office Research Study. Home Office, Research and Statistics Directorate, London, United Kingdom.
- Butler, D., Friedler, E., and Gatt, K. (1995). Characterising the quantity and quality of domestic wastewater inflows. *Water Science and Technology*, 31(7) :13–24.
- Calzavara, L. M., Burchell, A. N., Schlossberg, J., Myers, T., Escobar, M., Wallace, E., Major, C., Strike, C., and Millson, M. (2003). Prior opiate injection and incarceration history predict injection drug use among inmates. *Addiction*, 98(9) :1257–1265.
- Carpentier, C., Royuela, L., Noor, A., and Hedrich, D. (2012). Ten Years of Monitoring Illicit Drug Use in Prison Populations in Europe : Issues and Challenges : Ten Years of Monitoring Illicit Drug Use in Prison Populations in Europe. *The Howard Journal of Criminal Justice*, 51(1) :37–66.
- Castiglioni, S., Bijlsma, L., Covaci, A., Emke, E., Hernández, F., Reid, M., Ort, C., Thomas, K. V., van Nuijs, A. L. N., de Voogt, P., and Zuccato, E. (2013). Evaluation of Uncertainties Associated with the Determination of Community Drug Use through the Measurement of Sewage Drug Biomarkers. *Environmental Science & Technology*, 47 :1452–1460.
- Castiglioni, S., Zuccato, E., Crisci, E., Chiabrando, C., Fanelli, R., and Bagnati, R. (2006). Identification and Measurement of Illicit Drugs and Their Metabolites in Urban Wastewater by Liquid Chromatography-Tandem Mass Spectrometry. *Analytical Chemistry*, 78(24) :8421–8429.
- Causanilles, A., Baz-Lomba, J. A., Burgard, D. A., Emke, E., González-Mariño, I., Krizman-Matasic, I., Li, A., Löve, A. S., McCall, A. K., Montes, R., van Nuijs, A. L., Ort, C., Quintana, J. B., Senta, I., Terzic, S., Hernandez, F., de Voogt, P., and Bijlsma, L. (2017a). Improving wastewater-based epidemiology to estimate cannabis use : Focus on the initial aspects of the analytical procedure. *Analytica Chimica Acta*, 988 :27–33.
- Causanilles, A., Kinyua, J., Ruttkies, C., van Nuijs, A. L., Emke, E., Covaci, A., and de Voogt, P. (2017b). Qualitative screening for new psychoactive substances in wastewater collected during a city festival using liquid chromatography coupled to high-resolution mass spectrometry. *Chemosphere*, 184 :1186–1193.
- Causanilles, A., Nordmann, V., Vughs, D., Emke, E., de Hon, O., Hernández, F., and de Voogt, P. (2018). Wastewater-based tracing of doping use by the general population and amateur athletes. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 410(6) :1793–1803.
- Chaiken, J. M. and Chaiken, M. R. (1982). *Varieties of Criminal Behavior*. The Rand Corporation, Santa Monica, CA.

- Chinet, L., Stéphan, P., Zobel, F., and Halfon, O. (2007). Party drug use in techno nights : A field survey among French-speaking Swiss attendees. *Pharmacology Biochemistry and Behavior*, 86(2) :284–289.
- Commission of the European Communities (2002). Council Directive 96/23/EC. *Official Journal of the European Communities*, L221 :8–36.
- Constitution suisse (2000). Constitution fédérale de la Confédération suisse du 18 avril 1999.
- Control Electronics Inc. (2018). Most Commonly Used Primary Flow Devices. <http://www.controlelectronics.com/360PrimDev.html>.
- Crewe, B. (2005). Prisoner society in the era of hard drugs. *Punishment & Society*, 7(4) :457–481.
- Crispino, F. (2006). *Le Principe de Locard Est-Il Scientifique ? : Analyse de La Scientificité Des Principes Fondamentaux de La Criminalistique*. PhD thesis, Université de Lausanne.
- Dalibon, P. (2013). La méphédronne, le khat des éprouvettes. *Actualités Pharmaceutiques*, 52(530) :35–36.
- Daughton, C. G. (2001). Illicit drugs in municipal sewage : Proposed new nonintrusive tool to heighten public awareness of societal use of illicit-abused drugs and their potential for ecological consequences. In Daughton, C. G. and Jones-Lepp, T. L., editors, *Pharmaceuticals and Care Products in the Environment*, pages 348–364. American Chemical Society, Washington, DC.
- Daughton, C. G. (2012). Real-time estimation of small-area populations with human biomarkers in sewage. *Science of The Total Environment*, 414 :6–21.
- Daughton, C. G. and Ternes, T. A. (1999). Pharmaceuticals and Personal Care Products in the Environment : Agents of Subtle Change ? *Environmental Health Perspectives*, 107(6) :907–938.
- Davison, D. and Parrott, A. C. (1997). Ecstasy (MDMA) in recreational users : Self-reported psychological and physiological effects. *Human Psychopharmacology Clinical and Experimental*, 12(3) :221–226.
- de Hoffmann, E. and Stroobant, V. (2007). *Mass Spectrometry : Principles and Applications*. J. Wiley, Chichester, West Sussex, England ; Hoboken, NJ, third edition.
- De Maere, W., Hariga, F., Bartholeyns, F., and Vanderveken, M. (2000). Santé et usage de drogues en milieu carcéral.
- DeJong, C. and Wish, E. D. (2000). Is it advisable to urine test arrestees to assess risk of rearrest ? A comparison of self-report and urinalysis-based measures of drug use. *Journal of Drug Issues*, 30(1) :133–146.

- Delémont, O., Esseiva, P., Been, F., and Benaglia, L. (2014). La police scientifique au-delà de ses frontières actuelles : La perspective de nouvelles connaissances. *Revue internationale de criminologie et de police technique et scientifique*, LXVII(3) :283–304.
- Direction générale de l’environnement (2011). Bilans de l’épuration vaudoise.
- Direction générale de l’environnement (2012). Bilans de l’épuration vaudoise.
- Direction générale de l’environnement (2013). Bilans de l’épuration vaudoise.
- Direction générale de l’environnement (2014). Bilans de l’épuration vaudoise.
- Direction générale de l’environnement (2015). Bilans de l’épuration vaudoise.
- Dolan, K., Brentari, C., Stevens, A., and Khoei, E. M. (2007). *Prisons and Drugs : A Global Review of Incarceration, Drug Use and Drug Services*. Beckley Foundation London.
- Du, P., Li, K., Li, J., Xu, Z., Fu, X., Yang, J., Zhang, H., and Li, X. (2015). Methamphetamine and ketamine use in major Chinese cities, a nationwide reconnaissance through sewage-based epidemiology. *Water Research*, 84 :76–84.
- Dulong, R., del Bayle, J.-L. L., Yebouet, B. C. P. H., Renaut, M.-H., Manouk, V., Poulalion, J. L., Margot, P., and Bolle, P.-H. (2004). The specific rationality of the technical police. *Revue internationale de criminologie et de police technique et scientifique*, 57(3) :259–278.
- Edgar, K. and O’Donnell, I. (1998). *Mandatory Drug Testing in Prisons : The Relationship Between MDT and the Level and Nature of Drug Misuse*. Home Office, Research and Statistics Directorate, London, United Kingdom.
- Egli, N. (2017). Communication personnelle.
- Esseiva, P., Gaste, L., Alvarez, D., and Anglada, F. (2011). Illicit drug profiling, reflection on statistical comparisons. *Forensic Science International*, 207(1-3) :27–34.
- Estoppey, N. (2017). *Investigation Des Sources de Pollution Dans Les Rivières - Evaluation d’une Approche Forensique Basée Sur l’échantillonnage Passif Pour Le Cas Des Polychlorobiphényles*. PhD thesis, Université de Lausanne.
- European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction (2006). *Annual Report 2006*. Selected Issues. Publications Office of the European Union, Luxembourg.
- European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction (2011). *Report on the Risk Assessment of Mephedrone in the Framework of the Council Decision on New Psychoactive Substances*. Number 9 in EMCDDA Risk Assessments. Publications Office of the European Union, Luxembourg.

- European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction (2012). *Prisons and Drugs in Europe : The Problem and Responses*. Selected Issues. Publications Office of the European Union, Luxembourg.
- European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction (2014a). *Drug Use in Prison : Assessment Report*. Publications Office of the European Union, Luxembourg.
- European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction (2014b). *European Questionnaire on Drug Use among Prisoners*. Publications Office of the European Union, Luxembourg.
- European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction (2015). *Rapport Européen Sur Les Drogues*. Publications Office of the European Union, Luxembourg.
- European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction (2016a). *Assessing Illicit Drugs in Wastewater : Advances in Wastewater-Based Drug Epidemiology*. Number 22 in Insights. Publications Office of the European Union, Luxembourg.
- European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction (2016b). *Rapport Européen Sur Les Drogues*. Publications Office of the European Union, Luxembourg.
- European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction (2017). Statistical Bulletin 2017 — drug use in prison | www.emcdda.europa.eu. http://www.emcdda.europa.eu/data/stats2017/dup_en.
- European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction (2018). Perspectives on drugs : Wastewater analysis and drugs — results from a European multi-city study. <http://www.emcdda.europa.eu/topics/pods/waste-water-analysis>.
- Fazel, S., Bains, P., and Doll, H. (2006). Substance abuse and dependence in prisoners : A systematic review. *Addiction*, 101(2) :181–191.
- Fazel, S., Yoon, I. A., and Hayes, A. J. (2017). Substance use disorders in prisoners : An updated systematic review and meta-regression analysis in recently incarcerated men and women : Substance use disorder in prisoners. *Addiction*, 112(10) :1725–1739.
- Forsyth, A. J. M., Barnard, M., and McKeganey, N. P. (1997). Musical preference as an indicator of adolescent drug use. *Addiction*, 92(10) :1317–1325.
- Fraser, A. D., Zámečník, J., Keravel, J., McGrath, L., and Wells, J. (2001). Experience with urine drug testing by the Correctional Service of Canada. *Forensic Science International*, 121 :16–22.
- Gheorghe, A., van Nuijs, A., Pecceu, B., Bervoets, L., Jorens, P. G., Blust, R., Neels, H., and Covaci, A. (2008). Analysis of cocaine and its principal metabolites in waste and surface water

- using solid-phase extraction and liquid chromatography–ion trap tandem mass spectrometry. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 391(4) :1309–1319.
- Goddefroy (1931). *Manuel de Police Technique*. Lancier, Bruxelles.
- González-Mariño, I., Quintana, J. B., Rodríguez, I., and Cela, R. (2010). Determination of drugs of abuse in water by solid-phase extraction, derivatisation and gas chromatography–ion trap-tandem mass spectrometry. *Journal of Chromatography A*, 1217(11) :1748–1760.
- González-Mariño, I., Quintana, J. B., Rodríguez, I., González-Díez, M., and Cela, R. (2012). Screening and Selective Quantification of Illicit Drugs in Wastewater by Mixed-Mode Solid-Phase Extraction and Quadrupole-Time-of-Flight Liquid Chromatography–Mass Spectrometry. *Analytical Chemistry*, 84(3) :1708–1717.
- Gracia-Lor, E., Castiglioni, S., Bade, R., Been, F., Castrignanò, E., Covaci, A., González-Mariño, I., Hapeshi, E., Kasprzyk-Hordern, B., Kinyua, J., Lai, F. Y., Letzel, T., Lopardo, L., Meyer, M. R., O'Brien, J., Ramin, P., Rousis, N. I., Rydevik, A., Ryu, Y., Santos, M. M., Senta, I., Thomaidis, N. S., Veloutsou, S., Yang, Z., Zuccato, E., and Bijlsma, L. (2017). Measuring biomarkers in wastewater as a new source of epidemiological information : Current state and future perspectives. *Environment International*, 99 :131–150.
- Gy, P. M. (1992). *Sampling of Heterogeneous and Dynamic Material Systems*. Elsevier, Amsterdam.
- Hall, W., Prichard, J., Kirkbride, P., Bruno, R., Thai, P. K., Gartner, C., Lai, F. Y., Ort, C., and Mueller, J. F. (2012). An analysis of ethical issues in using wastewater analysis to monitor illicit drug use : Ethical issues in wastewater monitoring for drug use. *Addiction*, 107(10) :1767–1773.
- Harman, C., Reid, M., and Thomas, K. V. (2011). In Situ Calibration of a Passive Sampling Device for Selected Illicit Drugs and Their Metabolites in Wastewater, And Subsequent Year-Long Assessment of Community Drug Usage. *Environmental Science & Technology*, 45(13) :5676–5682.
- Harms, D. (1978). *The Belmont Report : Ethical Principles and Guidelines for the Protection of Human Subjects of Research*. United States Department of Health and Human Services, Elkridge, Maryland.
- Heberer, T. (2002). Occurrence, fate, and removal of pharmaceutical residues in the aquatic environment : A review of recent research data. *Toxicology letters*, 131(1) :5–17.
- Hering, C. L. (2009). Flushing the fourth amendment down the toilet : How community urinalysis threatens individuals privacy. *Arizona Law Review*, 53 :741–776.

- Heuett, N. V., Ramirez, C. E., Fernandez, A., and Gardinali, P. R. (2015). Analysis of drugs of abuse by online SPE-LC high resolution mass spectrometry : Communal assessment of consumption. *Science of The Total Environment*, 511 :319–330.
- Hill, S. L. and Thomas, S. H. L. (2011). Clinical toxicology of newer recreational drugs. *Clinical Toxicology*, 49(8) :705–719.
- Hungerbuehler, I., Buecheli, A., and Schaub, M. (2011). Drug Checking : A prevention measure for a heterogeneous group with high consumption frequency and polydrug use-evaluation of zurich’s drug checking services. *Harm reduction journal*, 8(16) :1–6.
- Hunt, D. E. (2013). *Arrestee Drug Abuse Monitoring II in the United States (Restricted Use)*. Inter-university Consortium for Political and Social Research, Ann Arbor, Michigan.
- Hunt, D. E., Kling, R., Almozlino, Y., Jalbert, S., Chapman, M. T., and Rhodes, W. (2015). Telling the Truth About Drug Use : How Much Does It Matter? *Journal of Drug Issues*, 45(3) :314–329.
- Jiang, J.-J., Lee, C.-L., Fang, M.-D., Tu, B.-W., and Liang, Y.-J. (2015). Impacts of Emerging Contaminants on Surrounding Aquatic Environment from a Youth Festival. *Environmental Science & Technology*, 49(2) :792–799.
- Jones, H. E., Hickman, M., Kasprzyk-Hordern, B., Welton, N. J., Baker, D. R., and Ades, A. (2014). Illicit and pharmaceutical drug consumption estimated via wastewater analysis. Part B : Placing back-calculations in a formal statistical framework. *Science of The Total Environment*, 487 :642–650.
- Jones-Lepp, T. L., Alvarez, D. A., Petty, J. D., and Huckins, J. N. (2004). Polar Organic Chemical Integrative Sampling and Liquid Chromatography ?Electrospray/Ion-Trap Mass Spectrometry for Assessing Selected Prescription and Illicit Drugs in Treated Sewage Effluents. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 47(4) :427–439.
- Kankaanpää, A., Ariniemi, K., Heinonen, M., Kuoppasalmi, K., and Gunnar, T. (2014). Use of illicit stimulant drugs in Finland : A wastewater study in ten major cities. *Science of The Total Environment*, 487 :696–702.
- Kasprzyk-Hordern, B., Dinsdale, R. M., and Guwy, A. J. (2007). Multi-residue method for the determination of basic/neutral pharmaceuticals and illicit drugs in surface water by solid-phase extraction and ultra performance liquid chromatography–positive electrospray ionisation tandem mass spectrometry. *Journal of Chromatography A*, 1161(1-2) :132–145.
- Kasprzyk-Hordern, B., Dinsdale, R. M., and Guwy, A. J. (2009). Illicit drugs and pharmaceuticals in the environment – Forensic applications of environmental data. Part 1 : Estimation of the usage of drugs in local communities. *Environmental Pollution*, 157(6) :1773–1777.

- Khan, U. and Nicell, J. A. (2011). Refined sewer epidemiology mass balances and their application to heroin, cocaine and ecstasy. *Environment International*, 37(7) :1236–1252.
- Khan, U. and Nicell, J. A. (2012). Sewer epidemiology mass balances for assessing the illicit use of methamphetamine, amphetamine and tetrahydrocannabinol. *Science of The Total Environment*, 421-422 :144–162.
- Kinyua, J., Covaci, A., Maho, W., McCall, A.-K., Neels, H., and van Nuijs, A. L. N. (2015). Sewage-based epidemiology in monitoring the use of new psychoactive substances : Validation and application of an analytical method using LC-MS/MS. *Drug Testing and Analysis*, 7(9) :812–818.
- Kinyua, J., Negreira, N., Miserez, B., Causanilles, A., Emke, E., Gremeaux, L., de Voogt, P., Ramsey, J., Covaci, A., and van Nuijs, A. L. (2016). Qualitative screening of new psychoactive substances in pooled urine samples from Belgium and United Kingdom. *Science of The Total Environment*, 573 :1527–1535.
- Kwan, Q. Y. (1977). *Inference of Identity of Source*. PhD thesis, University of California, Berkeley.
- Lai, F. Y., Thai, P. K., O'Brien, J., Gartner, C., Bruno, R., Kele, B., Ort, C., Prichard, J., Kirkbride, P., Hall, W., Carter, S., and Mueller, J. F. (2013). Using quantitative wastewater analysis to measure daily usage of conventional and emerging illicit drugs at an annual music festival : Illicit drugs in music event wastewaters. *Drug and Alcohol Review*, 32(6) :594–602.
- Lefrançois, E., Esseiva, P., Gervasoni, J.-P., Lucia, S., Zobel, F., and Augsburger, M. (2016). Analysis of residual content of used syringes collected from low threshold facilities in Lausanne, Switzerland. *Forensic Science International*, 266 :534–540.
- Liriano, S. and Ramsay, M. (2003). Prisoners' drug use before prison and the links with crime. In *Prisoners' Drug Use and Treatment : Seven Research Studies*, number 267 in Home Office Research Study. Malcolm Ramsay, Londres, home office research, development and statistics directorate edition.
- Lood, Y., Eklund, A., Garle, M., and Ahlner, J. (2012). Anabolic androgenic steroids in police cases in Sweden 1999–2009. *Forensic Science International*, 219(1-3) :199–204.
- LPD (1993). Loi fédérale sur la protection des données du 19 juin 1992.
- LRH (2014). Loi fédérale relative à la recherche sur l'être humain du 30 septembre 2011.
- Mackul'ak, T., Grabic, R., Gál, M., Gál, M., Birošová, L., and Bodík, I. (2015). Evaluation of different smoking habits during music festivals through wastewater analysis. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 40(3) :1015–1020.

- MacPherson, P. (2004). *Le Contrôle Au Hasard d'échantillons d'urine Comme Moyen de Combattre La Consommation de Drogues En Milieu Carcéral : Un Examen Des Enjeux*. Direction de la recherche en toxicomanie, Service correctionnel du Canada.
- Madrid, Y. and Zayas, Z. P. (2007). Water sampling : Traditional methods and new approaches in water sampling strategy. *Trends in Analytical Chemistry*, 26(4) :293–299.
- Margot, P. (2014). Traceology : The trace as the fundamental vector of police science/forensic science. *Revue internationale de criminologie et de police technique et scientifique*, 67(1) :72–97.
- Marin-Martinez, F. and Sanchez-Meca, J. (2010). Weighting by Inverse Variance or by Sample Size in Random-Effects Meta-Analysis. *Educational and Psychological Measurement*, 70(1) :56–73.
- Mattick, R. P., Breen, C., Kimber, J., and Davoli, M. (2014). Buprenorphine maintenance versus placebo or methadone maintenance for opioid dependence. In The Cochrane Collaboration, editor, *Cochrane Database of Systematic Reviews*. John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, UK.
- McCall, A.-K., Bade, R., Kinyua, J., Lai, F. Y., Thai, P. K., Covaci, A., Bijlsma, L., van Nuijs, A. L., and Ort, C. (2016). Critical review on the stability of illicit drugs in sewers and wastewater samples. *Water Research*, 88 :933–947.
- McCaughan, J. A., Carlson, R. G., Falck, R. S., and Siegal, H. A. (2005). From “Candy Kids” to “Chemi-Kids” : A Typology of Young Adults Who Attend Raves in the Midwestern United States. *Substance Use & Misuse*, 40(9-10) :1503–1523.
- Murphy, C. M. and Huestis, M. A. (2005). LC-ESI-MS/MS analysis for the quantification of morphine, codeine, morphine-3- β -D-glucuronide, morphine-6- β -D-glucuronide, and codeine-6- β -D-glucuronide in human urine. *Journal of Mass Spectrometry*, 40(11) :1412–1416.
- Néfau, T., Sannier, O., Hubert, C., Karolak, S., and Lévi, Y. (2017). L'analyse des drogues dans les eaux usées : Outil d'estimation des consommations, application en milieu carcéral.
- Németh, Z., Kuntsche, E., Urbán, R., Farkas, J., and Demetrovics, Z. (2011). Why do festival goers drink? Assessment of drinking motives using the DMQ-R SF in a recreational setting : Drinking motives in a recreational setting. *Drug and Alcohol Review*, 30(1) :40–46.
- Nichols, D. E. (1986). Differences between the mechanism of action of MDMA, MBDB, and the classic hallucinogens. Identification of a new therapeutic class : Entactogens. *Journal of psychoactive drugs*, 18(4) :305–313.
- Niveau, G. and Ritter, C. (2008). Route of Administration of Illicit Drugs among Remand Prison Entrants. *European Addiction Research*, 14(2) :92–98.

- Nordfjærn, T., Bretteville-Jensen, A. L., Edland-Gryt, M., and Gripenberg, J. (2016). Risky substance use among young adults in the nightlife arena : An underused setting for risk-reducing interventions? *Scandinavian journal of public health*, pages 1–8.
- Nurco, D. N., Hanlon, T. E., and Kinlock, T. W. (1991). Recent research on the relationship between drug use and crime. *Behavioral Sciences and the Law*, 9.
- O'Brien, J., Phong, T., Eaglesham, G., Ort, C., Scheidegger, A., Carter, S., Lai, F. Y., and Mueller, J. F. (2014). A Model to Estimate the Population Contributing to the Wastewater Using Samples Collected on Census Day. *Environmental Science & Technology*, 48(1) :517–525.
- Office fédéral de la statistique (2017a). Solde de pendulaires se rendant au travail selon le district, 2013-2015 cumulé - 2013-2015. www.bfs.admin.ch/bfs/fr/home/statistiques/catalogues-banques-donnees/tableaux.assetdetail.2302635.html.
- Office fédéral de la statistique (2017b). Solde de pendulaires se rendant au travail selon les villes, 2011-2015 cumulé - 2011-2015. www.bfs.admin.ch/bfs/fr/home/statistiques/catalogues-banques-donnees/tableaux.assetdetail.2302631.html.
- ORH (2018). Ordonnance relative à la recherche sur l'être humain du 20 septembre 2013.
- Ort, C., Eppler, J. M., Scheidegger, A., Rieckermann, J., Kinzig, M., and Sörgel, F. (2014). Challenges of surveying wastewater drug loads of small populations and generalizable aspects on optimizing monitoring design : WWA of illicit drug loads. *Addiction*, 109(3) :472–481.
- Ort, C., Lawrence, M. G., Reungoat, J., and Mueller, J. F. (2010a). Sampling for PPCPs in Wastewater Systems : Comparison of Different Sampling Modes and Optimization Strategies. *Environmental Science & Technology*, 44(16) :6289–6296.
- Ort, C., Lawrence, M. G., Rieckermann, J., and Joss, A. (2010b). Sampling for Pharmaceuticals and Personal Care Products (PPCPs) and Illicit Drugs in Wastewater Systems : Are Your Conclusions Valid? A Critical Review. *Environmental Science & Technology*, 44(16) :6024–6035.
- Palamar, J. J., Acosta, P., Sherman, S., Ompad, D. C., and Cleland, C. M. (2016). Self-reported use of novel psychoactive substances among attendees of electronic dance music venues. *The American Journal of Drug and Alcohol Abuse*, 42(6) :624–632.
- Paléo Festival (2013a). Sondage des campeurs.
- Paléo Festival (2013b). Sondage des festivaliers.
- Paléo Festival (2014). Statistiques sur les spectateurs.
- Paléo Festival (2015). Statistiques sur les spectateurs.

- Paléo Festival (2017). Communication personnelle.
- Parks, K. A. and Kennedy, C. L. (2004). Club Drugs : Reasons for and Consequences of Use. *Journal of Psychoactive Drugs*, 36(3) :295–302.
- Peters, R. H., Kremling, J., and Hunt, E. (2015). Accuracy of Self-Reported Drug Use Among Offenders : Findings From the Arrestee Drug Abuse Monitoring–II Program. *Criminal justice and behavior*, 42(6) :623–643.
- Plourde, C. and Brochu, S. (2002). Drugs in prison : A break in the pathway. *Substance Use & Misuse*, 37(1) :47–63.
- Polettini, A. (2006). *Applications of LC-MS in Toxicology*. Pharmaceutical Press, London, United Kingdom.
- Postigo, C., de Alda, M. L., and Barceló, D. (2011). Evaluation of drugs of abuse use and trends in a prison through wastewater analysis. *Environment International*, 37(1) :49–55.
- Postigo, C., Lopez de Alda, M. J., and Barceló, D. (2008). Fully Automated Determination in the Low Nanogram per Liter Level of Different Classes of Drugs of Abuse in Sewage Water by On-Line Solid-Phase Extraction-Liquid Chromatography-Electrospray-Tandem Mass Spectrometry. *Analytical Chemistry*, 80(9) :3123–3134.
- Prichard, J., Hall, W., de Voogt, P., and Zuccato, E. (2014). Sewage epidemiology and illicit drug research : The development of ethical research guidelines. *Science of The Total Environment*, 472 :550–555.
- Ralphs, R., Williams, L., Askew, R., and Norton, A. (2017). Adding Spice to the Porridge : The development of a synthetic cannabinoid market in an English prison. *International Journal of Drug Policy*, 40 :57–69.
- Reiss, R. A. (1911). *Manuel de Police Scientifique (Technique)*. Payot, Paris.
- Ritter, C., Broers, B., and Elger, B. S. (2013). Cannabis use in a Swiss male prison : Qualitative study exploring detainees' and staffs' perspectives. *International Journal of Drug Policy*, 24(6) :573–578.
- Ritter, C. and Elger, B. S. (2013). Second-hand tobacco smoke in prison : Tackling a public health matter through research. *Public Health*, 127(2) :119–124.
- Rivier, L. (2003). Criteria for the identification of compounds by liquid chromatography–mass spectrometry and liquid chromatography–multiple mass spectrometry in forensic toxicology and doping analysis. *Analytica Chimica Acta*, 492(1-2) :69–82.

- Rodríguez-Álvarez, T., Rodil, R., Rico, M., Cela, R., and Quintana, J. B. (2014). Assessment of Local Tobacco Consumption by Liquid Chromatography–Tandem Mass Spectrometry Sewage Analysis of Nicotine and Its Metabolites, Cotinine and trans-3'-Hydroxycotinine, after Enzymatic Deconjugation. *Analytical Chemistry*, 86(20) :10274–10281.
- Rossi, L. (2019). Communication personnelle.
- Safer Nightlife Suisse (2016). Rapport d'activités 2014/2015. Technical report, INFODROG, Berne, Suisse.
- saferparty.ch (2017). Drug Checking. <http://www.saferparty.ch/231.html>.
- Schröder, H., Gebhardt, W., and Thevis, M. (2010). Anabolic, doping, and lifestyle drugs, and selected metabolites in wastewater—detection, quantification, and behaviour monitored by high-resolution MS and MS n before and after sewage treatment. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 398(3) :1207–1229.
- Seethapathy, S., Górecki, T., and Li, X. (2008). Passive sampling in environmental analysis. *Journal of Chromatography A*, 1184(1-2) :234–253.
- Senta, I., Krizman, I., Ahel, M., and Terzic, S. (2013). Integrated procedure for multiresidue analysis of dissolved and particulate drugs in municipal wastewater by liquid chromatography–tandem mass spectrometry. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 405(10) :3255–3268.
- Senta, I., Krizman, I., Ahel, M., and Terzic, S. (2014). Assessment of stability of drug biomarkers in municipal wastewater as a factor influencing the estimation of drug consumption using sewage epidemiology. *Science of The Total Environment*, 487 :659–665.
- Senta, I., Krizman, I., Ahel, M., and Terzic, S. (2015). Multiresidual analysis of emerging amphetamine-like psychoactive substances in wastewater and river water. *Journal of Chromatography A*, 1425 :204–212.
- Simpson, N. J. K. (2000). *Solid-Phase Extraction : Principles, Techniques, and Applications*. CRC Press, Boca Raton.
- Smith, K. M., Larive, L. L., and Romanelli, F. (2002). Club drugs : Methylenedioxymethamphetamine, flunitrazepam, ketamine hydrochloride, and γ -hydroxybutyrate. *American Journal of Health-System Pharmacy*, 59.
- Solowij, N., Hall, W., and Lee, N. (1992). Recreational MDMA use in Sydney : A profile of 'ecstasy'users and their experiences with the drug. *Addiction*, 87(8) :1161–1172.
- Spruit, I. P. (2001). Monitoring synthetic drug markets, trends, and public health. *Substance Use and Misuse*, 36(1-2) :23–47.

- Station d'épuration de Nyon (2016). Communication personnelle.
- Statistique Vaud (2011). Chômage en chiffres et en graphiques. http://www.scris.vd.ch/Data_Dir/ElementsDir/7158/1/F/Chomage_07_2011.pdf.
- Statistique Vaud (2012). Chômage en chiffres et en graphiques. http://www.scris.vd.ch/Data_Dir/ElementsDir/7420/2/F/Chomage_07_2012.pdf.
- Statistique Vaud (2013). Chômage en chiffres et en graphiques. http://www.scris.vd.ch/Data_Dir/ElementsDir/7675/1/F/Chomage_07_2013.pdf.
- Statistique Vaud (2014). Chômage en chiffres et en graphiques. http://www.scris.vd.ch/Data_Dir/ElementsDir/7934/1/F/Chomage_07_2014.pdf.
- Statistique Vaud (2015). Chômage en chiffres et en graphiques. http://www.scris.vd.ch/Data_Dir/ElementsDir/8161/2/F/Chomage_07_2015.pdf.
- Statistique Vaud (2016). Population résidante permanente par classe d'âges quinquennale, district et commune, Vaud, 2011-2015. <https://www.pisepub.vd.ch/PisePub/asp/Main.aspx>.
- Statistique Vaud (2018a). Bilan démographique, grands groupes d'âges et population étrangère, par commune, Vaud, 2010-2016. <http://www.stat.vd.ch/Default.aspx?DocID=6999&DomId=2331>.
- Statistique Vaud (2018b). Etablissements et emplois, par secteur économique, selon les communes, Vaud, 2011-2015. <http://www.scris.vd.ch/Default.aspx?DocID=7775&DomId=2064>.
- Stewart, D. (2009). Drug use and perceived treatment need among newly sentenced prisoners in England and Wales. *Addiction*, 104(2) :243–247.
- Strang, J., Gossop, M., Heuston, J., Green, J., Whiteley, C., and Maden, A. (2006). Persistence of drug use during imprisonment : Relationship of drug type, recency of use and severity of dependence to use of heroin, cocaine and amphetamine in prison. *Addiction*, 101(8) :1125–1132.
- Teledyne ISCO (2012a). Isco 2150 Area Velocity Flow Module.
- Teledyne ISCO (2012b). Isco 750 Area Velocity Flow Module Datasheet.
- Ternes, T. A. (1998). Occurrence of drugs in German sewage treatment plants and rivers. *Water research*, 32(11) :3245–3260.
- Tossmann, P., Boldt, S., and Tensil, M.-D. (2001). The Use of Drugs within the Techno Party Scene in European Metropolitan Cities. *European Addiction Research*, 7(1) :2–23.
- Tourangeau, R. and Yan, T. (2007). Sensitive questions in surveys. *Psychological Bulletin*, 133(5) :859–883.

- Tscharke, B. J., Chen, C., Gerber, J. P., and White, J. M. (2016). Temporal trends in drug use in Adelaide, South Australia by wastewater analysis. *Science of The Total Environment*, 565 :384–391.
- United Nations Office On Drugs And Crime (2015). *World Drug Report*. United Nations publication, Austria.
- United Nations Office On Drugs And Crime (2016). *World Drug Report*. United Nations publication, Austria.
- United Nations Office On Drugs And Crime (2017). *World Drug Report. Market Analysis of Plant-Based Drugs*. United Nations publication, Austria.
- United Nations Office On Drugs And Crime (2018). *World Drug Report. Analysis of Drug Markets*. United Nations publication, Austria. OCLC : 1045464259.
- van Amsterdam, J. G. C., Nabben, T., Keiman, D., Haanschoten, G., and Korf, D. (2015). Exploring the Attractiveness of New Psychoactive Substances (NPS) among Experienced Drug Users. *Journal of Psychoactive Drugs*, 47(3) :177–181.
- van Dyken, E., Lai, F. Y., Thai, P. K., Ort, C., Bruno, R., Hall, W., Kirkbride, K. P., Mueller, J. F., and Prichard, J. (2016). Challenges and opportunities in using wastewater analysis to measure drug use in a small prison facility : Measuring substance use in prisons. *Drug and Alcohol Review*, 35(2) :138–147.
- van Dyken, E., Thai, P., Lai, F. Y., Ort, C., Prichard, J., Bruno, R., Hall, W., Kirkbride, K. P., and Mueller, J. F. (2014). Monitoring substance use in prisons : Assessing the potential value of wastewater analysis. *Science & Justice*, 54(5) :338–345.
- Van Havere, T., Vanderplasschen, W., Lammertyn, J., Broekaert, E., and Bellis, M. (2011). Drug use and nightlife : More than just dance music. *Substance abuse treatment, prevention, and policy*, 6(1) :1–11.
- van Nuijs, A. L., Lai, F. Y., Been, F., Andres-Costa, M. J., Barron, L., Baz-Lomba, J. A., Berset, J.-D., Benaglia, L., Bijlsma, L., Burgard, D., Castiglioni, S., Christophoridis, C., Covaci, A., de Voogt, P., Emke, E., Fatta-Kassinos, D., Fick, J., Hernandez, F., Gerber, C., González-Mariño, I., Grabic, R., Gunnar, T., Kannan, K., Karolak, S., Kasprzyk-Hordern, B., Kokot, Z., Krizman-Matasic, I., Li, A., Li, X., Löve, A. S., Lopez de Alda, M., McCall, A.-K., Meyer, M. R., Oberacher, H., O'Brien, J., Quintana, J. B., Reid, M., Schneider, S., Simoes, S. S., Thomaidis, N. S., Thomas, K., Yargeau, V., and Ort, C. (2018). Multi-year inter-laboratory exercises for the analysis of illicit drugs and metabolites in wastewater : Development of a quality control system. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 103 :34–43.

- Verlicchi, P. and Zambello, E. (2015). Pharmaceuticals and personal care products in untreated and treated sewage sludge : Occurrence and environmental risk in the case of application on soil — A critical review. *Science of The Total Environment*, 538 :750–767.
- Vuori, E., Happonen, M., Gergov, M., Nenonen, T., Järvinen, A., Ketola, R. A., and Vahala, R. (2014). Wastewater analysis reveals regional variability in exposure to abused drugs and opioids in Finland. *Science of The Total Environment*, 487 :688–695.
- Walmsley, R. (2016). *World Prison Population List*. Institute for Criminal Policy Research, London, United Kingdom, eleventh edition.
- Wilson, H., Bryant, J., Holt, M., and Treloar, C. (2010). Normalisation of recreational drug use among young people : Evidence about accessibility, use and contact with other drug users. *Health Sociology Review*, 19(2) :164–175.
- Winstock, A., Baratt, M., Ferris, J., and Maier, L. (2017). Global Drug Survey. <https://www.globaldrugsurvey.com/past-findings/gds2017-launch/results-released/>.
- World Health Organization (2014). *Prisons and Health*. WHO, Copenhagen. OCLC : 999762333.
- Zabiegała, B., Kot-Wasik, A., Urbanowicz, M., and Namieśnik, J. (2010). Passive sampling as a tool for obtaining reliable analytical information in environmental quality monitoring. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 396(1) :273–296.
- Zobel, F., Esseiva, P., Udrișard, R., Locicero, S., and Samitca, S. (2017). MARSTUP - Structure du marché des stupéfiants dans le canton de Vaud. Partie 1 : Les opioïdes. Technical report, Addiction Suisse. École des Sciences Criminelles - Université de Lausanne. Institut Universitaire de Médecine Sociale et Préventive - Centre Hospitalier Universitaire Vaudois, Lausanne, Suisse.
- Zobel, F., Esseiva, P., Udrișard, R., Locicero, S., and Samitca, S. (2018). MARSTUP - Structure du marché des stupéfiants dans le canton de Vaud. Partie 2 : Cocaïne et autres stimulants. Technical report, Addiction Suisse. École des Sciences Criminelles - Université de Lausanne. Institut Universitaire de Médecine Sociale et Préventive - Centre Hospitalier Universitaire Vaudois, Lausanne, Suisse.
- Zuccato, E., Chiabrando, C., Castiglioni, S., Bagnati, R., and Fanelli, R. (2008). Estimating Community Drug Abuse by Wastewater Analysis. *Environmental Health Perspectives*, 116(8) :1027–1032.
- Zuccato, E., Chiabrando, C., Castiglioni, S., Calamari, D., Bagnati, R., Schiarea, S., and Fanelli, R. (2005). Cocaine in surface waters : A new evidence-based tool to monitor community drug abuse. *Environmental health : a global access science source*, 4(14) :10–1186.

Annexe A

Évaluer les consommations de produits psychotropes en milieu festif : à la croisée des indicateurs**Assessing psychotropic use in a festive context: at the crossroads of indicators**

Lisa Benaglia^{1,*}, Frank Zobel², Olivier Delémont¹, Pierre Esseiva¹

¹ *Ecole des Sciences Criminelles, Université de Lausanne, 1015 Lausanne, Suisse*

² *Addiction Suisse, Avenue Louis Ruchonnet 14, 1001 Lausanne, Suisse*

*Auteur de correspondance : Tel.: +41 21 692 46 39. E-mail adresse : lisa.benaglia@unil.ch

Lisa Benaglia : Assistante diplômée

Frank Zobel : Vice-directeur et responsable suppléant du secteur recherche

Olivier Delémont : Professeur ordinaire

Pierre Esseiva : Professeur ordinaire

Abstract

Traditionnellement, la consommation de produits psychotropes en milieu festif a été évaluée par le biais de sondages autoreportés ou d'entretiens, qui seront caractérisées de *méthodes conventionnelles*. Plus récemment, l'épidémiologie basée sur l'analyse des eaux usées (ou analyse des eaux usées), les laboratoires d'analyse de stupéfiants (*drug checking*) et l'analyse des urines contenues dans les toilettes portables ont été proposés. Cet article commence par une recherche de littérature concernant l'application de l'analyse des eaux usées en milieu festif. Le type d'information recueillie par l'analyse des eaux usées et le résultat obtenu sont notamment considérés. Ces problématiques sont ensuite systématiquement traitées dans le contexte des méthodes conventionnelles, des laboratoires d'analyse de stupéfiants et de l'analyse des urines contenues dans les toilettes portables, afin d'illustrer les convergences et divergences entre ces différents indicateurs. Ainsi, une convergence de l'ensemble des indicateurs concernant la nature des consommations de produits psychotropes en milieu festif a été mise en évidence. L'ensemble des indicateurs indique que les produits les plus consommés en milieu festif sont l'alcool, le tabac, le cannabis, la cocaïne, la MDMA et l'amphétamine. En outre, confronter les connaissances en matière de consommations de produits psychotropes en milieu festif permet d'évaluer dans quelle mesure l'analyse des eaux usées est complémentaire aux autres indicateurs existants. L'analyse des eaux usées permet de monitorer au cours du temps les consommations de produits psychotropes et d'en estimer les quantités consommées, au jour le jour, lors de diverses éditions d'un même événement. Le but de cet article est ainsi de comprendre la contribution de l'analyse des eaux usées en milieu festif et enfin, de proposer une stratégie de son déploiement pour qu'elle fournisse une information utile sur la nature et l'ampleur des consommations de produits psychotropes, caractéristiques de ce milieu.

Traditionally, psychotropic use in the festive context has been assessed by estimating prevalence using self-reported surveys and by interviews, that will be defined as *conventional methods*. More recently, wastewater based-epidemiology (or wastewater analysis) has been proposed to monitor trends of psychotropic use, along with other indicators (drug checking laboratories and analysis of urines contained in portable toilets). This article starts with a review of the literature on the application of wastewater analysis within the festive environment. Some considerations are made about the type of the collected information and its outcome. These issues are then systematically addressed in the context of conventional methods, drug checking laboratories and analysis of urines contained in portable toilets, to stress convergence and divergence between these indicators. Thus, a convergence of all indicators concerning the nature of psychotropic consumption in the festive context was highlighted. In such environment, the set of indicators indicates that the most consumed products are alcohol, tobacco, cannabis, cocaine, MDMA and amphetamine. Furthermore, confronting knowledge about psychotropic consumption within the festive context underlines how wastewater analysis complements other existing indicators. Wastewater analysis thus enables monitoring psychotropic use over time, daily, during various editions of the same event and provides consumption estimates at the scale of the latter. The aim of this article is therefore to understand the contribution of wastewater analysis in the festive context, and, finally, to suggest a strategy for its deployment so it may provide useful information about the nature and extent of psychotropic use within in such environment.

Mots clés

Alcool, tabac, stupéfiants, épidémiologie, festival

Keywords

Sewage, illicit drug, alcohol, tobacco, nightlife, club

1. INTRODUCTION

Le milieu festif est caractérisé par une consommation importante de produits psychotropes, à savoir dans le cas présent, l'alcool, le tabac ainsi que les produits stupéfiants. Il est généralement indissociable du monde de la nuit. Il peut soit s'agir d'établissements comme des discothèques, attirant un public plutôt local, voire régional, soit de larges manifestations tels que des festivals, parfois de renommée internationale, pouvant accueillir plusieurs milliers de personnes.

Traditionnellement, les consommations de produits psychotropes en milieu festif sont étudiées par le biais d'entretiens ou par l'estimation de la prévalence par le biais de sondages autoreportés (European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction, 2006). Ces indicateurs, qui seront qualifiés de *méthodes conventionnelles*, impliquent la mesure de la consommation en s'adressant directement aux personnes concernées, soit les personnes évoluant au sein du milieu festif.

Plus récemment, l'épidémiologie basée sur l'analyse des eaux usées (ou analyse des eaux usées) a été proposée pour évaluer les consommations de produits psychotropes en milieu festif. Son concept a été proposé au début des années 2000, afin d'évaluer un phénomène de société difficile à mesurer, celui de la consommation en stupéfiants (Daughton, 2001). Lorsqu'un stupéfiant (ou une substance pharmaceutique en général) est consommé, l'organisme procède à sa métabolisation pour pouvoir l'éliminer plus facilement. Le métabolite produit par le corps est éliminé via les urines et les selles, qui sont à leur tour évacuées par une chasse d'eau. Cette excrétion ou trace individuelle est transportée par les eaux usées et se mélange à d'autres excréments individuelles au fur et à mesure qu'elle progresse dans le réseau des égouts. Une trace collective se crée ainsi. Elle est le témoin de la consommation du stupéfiant par la population ayant contribué aux eaux usées (Delémont et al., 2014). L'exploitation de cette trace collective constitue le sujet d'étude de l'épidémiologie basée sur l'analyse des eaux usées et permet d'inférer quelle substance et la quantité qui a été consommée par l'ensemble des personnes ayant contribué aux eaux usées. Bien que l'analyse des eaux usées ait été largement appliquée en milieu urbain dans le but d'étudier les consommations de la population d'une ville (European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction, 2016a), peu d'études se sont attachées à la mettre en pratique en milieu festif. De plus, d'autres indicateurs ont été proposés pour évaluer les consommations de produits psychotropes en milieu festif, tels que les laboratoires d'analyse de drogues (*drug checking*) (Spruit, 2001) et l'analyse des urines contenues dans les toilettes portables (Archer et al., 2013).

Cet article illustre l'état des connaissances en matière de consommations de produits psychotropes en milieu festif en fonction de chaque indicateur précité. Il commence par une revue de la littérature concernant l'application de l'analyse des eaux usées en milieu festif. Plusieurs problématiques sont alors soulevées, telle que la stratégie de recherche, son déploiement ainsi que les résultats obtenus. Celles-ci sont ensuite systématiquement traitées dans le contexte de chaque indicateur. Les convergences et les divergences concernant le type de d'information que donne chaque indicateur, et son résultat sont par la suite discutées. Finalement, une stratégie de déploiement de l'analyse des eaux usées en milieu festif en complément des autres indicateurs est proposée, afin qu'elle fournisse une information utile sur la nature et l'ampleur des consommations de produits psychotropes, caractéristiques de ce milieu.

2. EVALUER LES CONSOMMATIONS DE PRODUITS PSYCHOTROPES PAR L'ÉPIDÉMIOLOGIE BASÉE SUR L'ANALYSE DES EAUX USÉES

2.1. Stratégie de l'analyse des eaux usées

L'analyse des eaux usées permet d'évaluer la nature et la quantité des substances consommées. La stratégie de cet indicateur peut requérir de définir quelles substances seront ciblées, auquel cas celles-ci peuvent être quantifiées, ou alors de réaliser une méthode de *screening*, c'est-à-dire que seule l'identification des substances est réalisée. Pour identifier quelle stratégie a été utilisée dans la littérature, une revue de la littérature concernant les applications de l'analyse des eaux usées en milieu festif est exposée ci-après. Une combinaison de mots-clés, liés à la consommation de produits psychotropes (*drug**, *tobacco*, *alcohol*), à l'analyse des eaux usées (*wastewater*, *sewage*) et au milieu festif (*festival*, *festivity*, *night**) a été recherchée dans les bases de données Scopus et Web of Science et dans la littérature grise, en anglais et en français. Cinq *peer-reviewed* articles traitant spécifiquement de l'application de l'analyse des eaux usées en milieu festif ont été trouvés (Andrés-Costa et al., 2016; Causanilles et al., 2017; Jiang et al., 2015; Lai et al., 2013; Mackuřak et al., 2015). L'analyse des eaux usées a été employée pour estimer respectivement la consommation de tabac (Mackuřak et al., 2015), la consommation d'alcool (Andrés-Costa et al., 2016) et la consommation de stupéfiants (Causanilles et al., 2017; Lai et al., 2013). L'article de Jiang et al. (2015) n'est pas discuté ultérieurement, car le but de cette recherche était avant tout environnemental. Parmi les quatre articles restants, trois ont ciblé une liste de substances, ce qui signifie que si ces celles-ci pouvaient être identifiées dans l'échantillon d'eau usée, alors elles étaient quantifiées, c'est-à-dire que leur concentration pouvait être mesurée (Andrés-Costa et al., 2016; Lai et al., 2013; Mackuřak et al., 2015). Causanilles et al. (2017) ont analysé les échantillons d'eau usée avec une méthode de *screening*, seule l'identification des substances a donc été effectuée. Le Tableau 1 liste ainsi les substances qui ont été recherchées et quantifiées, ou seulement qualifiées, dans les quatre recherches précitées.

Au total, six groupes de produits pharmaceutiques peuvent être identifiés dans le Tableau 1. Dans les cinq pays où se situent les festivals investigués, toutes les substances de ces groupes sont des stupéfiants, à l'exception de l'alcool et du tabac. Au sein d'un groupe, il y a un ou plusieurs produits parents (indiqué en gras) qui peut-peuvent être associé-s à un métabolite (indiqué en italique). Cette distinction est importante car lorsqu'un échantillon d'eau usée est analysé pour y rechercher les traces de la consommation d'une substance, c'est la présence de son métabolite spécifique et majoritaire qui est recherchée. En effet, le métabolite est la preuve de l'excrétion par l'organisme et donc, de la consommation humaine du composé parent. Malheureusement, il n'est pas toujours possible de cibler un métabolite, par exemple parce que celui-ci n'est pas stable, ou pas spécifique, ou excrété en trop petite quantité, ce qui explique pourquoi le composé parent est parfois ciblé (European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction, 2016a).

Chaque groupe de produits est décrit ci-après. Pour les produits cocaïniques, le produit parent est la cocaïne. Son métabolite majeur est la benzoylecgonine. Le groupe des amphétamines et dérivés, plus étendu, contient plusieurs parents, qui sont tous leurs propres métabolites, ce qui explique qu'ils soient à la fois en gras et en italique. En effet, lorsque ces produits sont consommés, ils sont excrétés inchangés, de façon majoritaire (Baselt, 2011). L'amphétamine est également le métabolite de la méthamphétamine. Le groupe des cannabinoïdes se compose uniquement du THC-COOH, métabolite du THC, qui est le principe actif du cannabis. Le groupe des *new psychoactive substances* (NPS) se limite à la méphédronne, la méthylone et la benzylpipérazine. Tous ces composés sont à la fois parents et métabolites à la fois. Quant au tabac et à l'alcool, ils sont chacun caractérisé par un métabolite, la cotinine et l'éthylsulfate respectivement.

Une fois que le métabolite ou le composé parent a été quantifié dans l'échantillon d'eau usée, sa concentration est multipliée par le débit journalier d'eau usée, pour obtenir les charges absolues. Depuis les charges, les quantités journalières consommées en grammes ou en nombre de doses peuvent ensuite être estimées, si les données d'excrétion du composé parent ou du métabolite existent. Si des comparaisons entre différents jours ou entre différents lieux sont réalisés, il est crucial de déterminer si une augmentation des charges est effectivement une augmentation des consommations, plutôt qu'une augmentation du nombre de personnes contribuant aux eaux usées. Les charges et les estimations des

quantités consommées peuvent ainsi être standardisées par la taille de la population contribuant aux eaux usées. Les charges per capita et les quantités consommées per capita sont alors obtenues.

2.2. Déploiement de l'analyse des eaux usées

L'analyse des eaux usées a été appliquée lors de neuf festivals de musique. Aucun établissement festif telle qu'une discothèque n'a été investigué à la connaissance de l'auteur. Indirectement, la consommation de la population festive de plusieurs villes d'Europe a été appréciée en appliquant l'analyse des eaux usées quotidiennement pendant une ou plusieurs semaines (European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction, 2018a). Il est par exemple observé que la consommation de MDMA augmente pendant le week-end. Il est donc possible de voir une différence entre la consommation de la semaine et celle du week-end, période de la semaine où la majorité des événements festifs ont lieu. Par la suite, les recherches portant sur l'analyse des eaux usées des festivals seront considérées.

L'analyse des eaux usées en festival a pour but d'évaluer la consommation des festivaliers. Cela signifie que l'échantillonnage doit permettre de recueillir les eaux usées issues de ces derniers. Le Tableau 2 contient les informations liées à l'échantillonnage des eaux usées développé dans les recherches précitées.

2.2.1. Qui est échantillonné ?

L'endroit où est développé l'échantillonnage détermine la population d'intérêt. Les prélèvements des huit festivals sur les neuf investigués ont été réalisés dans la station d'épuration (STEP) de la ville où le festival a lieu. Cela signifie que les eaux usées récoltées contiennent à la fois les contributions des festivaliers, mais également celles des habitants de la ville. Dans ce cas, il est nécessaire d'évaluer la consommation avant et/ou après le festival, c'est-à-dire la consommation des habitants de la ville ou « de référence », afin de pouvoir apprécier l'impact du festival (Andrés-Costa et al., 2016; Mackuřak et al., 2015). Dans la recherche de Lai et al. (2013), les prélèvements n'ont pas été réalisés à l'entrée de la STEP de la ville où le festival a lieu car le festival dispose de sa propre STEP. Cela est idéal, car les contributions arrivant à cette STEP proviennent donc uniquement des festivaliers. Dans ce cas, il n'est pas possible d'évaluer la consommation en temps normal, car elle n'existe pas. Il a donc été choisi de comparer l'usage observé lors du festival à celui d'une métropole proche.

Le type d'échantillonnage est également reporté dans le Tableau 2. Cette information n'est disponible que dans deux recherches, alors qu'elle est fondamentale afin d'assurer la validité de l'échantillonnage. Les types d'échantillonnage mis en œuvre par Lai et al. (2013) et Causanilles et al. (2017) sont représentatifs de la matrice hétérogène et dynamique des eaux usées (pour une explication de ces méthodes, voir Ort et al. (2010)). Dans toutes les études considérées, à l'exception de Andrés-Costa et al. (2016) qui n'ont pas reporté l'information, la phase d'échantillonnage débouche sur la constitution d'échantillons composite 24-h.

D'autre part, afin de comparer les consommations dans le temps et dans l'espace, la taille de la population contribuant aux eaux usées est nécessaire pour calculer les charges per capita et les quantités consommées per capita. La taille de la population doit donc être estimée. Lorsque les prélèvements d'eaux usées sont réalisés à la STEP de la ville où le festival a lieu, les personnes qui contribuent aux eaux usées sont les habitants de la ville et les festivaliers. L'ensemble de ces personnes doit donc être considéré pour déterminer la taille de la population qui contribue aux eaux usées pendant le festival, information disponible dans le Tableau 2. Il est possible de voir que Mackuřak et al. (2015) ont reporté cette information pour quatre des six festivals investigués et que Andrés-Costa et al. (2016) ne l'ont pas reportée. Dans le cas de Lai et al. (2013) cependant, puisque les prélèvements sont réalisés à la STEP qui traite uniquement les eaux usées des festivaliers, c'est le nombre de ces derniers qui a été considéré.

À noter que l'analyse des eaux usées permet d'obtenir une image des consommations de la population ayant contribué aux eaux usées. Elle fournit donc une information sur un groupe, d'où le nom *épidémiologie* basée sur l'analyse des eaux usées. De plus, l'identification d'une personne est impossible lorsque l'échantillonnage est réalisé dans une STEP, car ses urines sont mélangées de manière inextricable à d'autres contributions. Cet indicateur préserve donc d'une part l'anonymat des personnes contribuant aux

eaux usées, et d'autre part n'implique pas de contact direct avec celles-ci. L'analyse des eaux usées est donc non-intrusive et objective, ce qui a été largement souligné par la littérature (European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction, 2016a; Gracia-Lor et al., 2017).

2.2.2. Où échantillonner ?

Les festivals dont les eaux usées ont été étudiées se situent en Australie (Lai et al., 2013), en République Tchèque et en Slovaquie (Mackuřak et al., 2015), en Espagne (Andrés-Costa et al., 2016) et aux Pays-Bas (Causanilles et al., 2017). Trois recherches ont donc appliqué l'analyse des eaux usées lors d'un festival au niveau national (Andrés-Costa et al., 2016; Causanilles et al., 2017; Lai et al., 2013) et une recherche dans six festivals se déroulant au sein de deux pays différents (Mackuřak et al., 2015).

2.3. La nature des consommations de produits psychotropes en milieu festif d'après l'analyse des eaux usées

Lors de deux années consécutives d'un festival en Australie, des stupéfiants classiques (cannabis, cocaïne, MDMA, méthamphétamine) ont été détectés tous les jours à des quantités variables et les NPS (benzylpipérazine ou BZP, méphédronne, méthylone) de façon irrégulière. D'une année à l'autre, aucune différence statistique n'est observée entre les consommations de MDMA, de cannabis et de cocaïne. Par contre, une différence statistiquement significative des consommations de méthamphétamine et de BZP est constatée entre 2010 et 2011. Il s'avère que les consommations de méthamphétamine et de BZP sont significativement supérieures en 2010 par rapport à 2011. Les stupéfiants les plus consommés sont, dans l'ordre décroissant, cannabis (70 doses/jour/1000hab en moyenne), MDMA (18 doses/jour/1000hab en moyenne), méthamphétamine (12 doses/jour/1000hab en moyenne en 2010, 3 doses/jour/1000hab en moyenne en 2011) et pour finir la cocaïne (1 dose/jour/1000hab en moyenne). Il s'avère que la MDMA est le seul stupéfiant qui présente une consommation supérieure à celle mesurée dans une ville proche (Lai et al., 2013).

Mackuřak et al. (2015) montrent que l'usage de tabac augmente considérablement pendant les festivals de musique pop-rock et électronique et reste relativement stable pendant les festivals de musique country et folk.

A Valence en Espagne, une augmentation dès les premiers jours des festivités a été observée par rapport à la consommation habituelle. Lors du festival, le pic de consommation n'a pas été observé lors du week-end mais le dernier soir (Andrés-Costa et al., 2016). L'agenda du festival a donc eu davantage d'importance par rapport au schéma observé habituellement, à savoir abus d'alcool plus important lors du week-end par rapport à la semaine (Reid et al., 2011).

Causanilles et al. (2017) ont réalisé l'analyse des eaux usées deux années consécutives lors d'un festival à Amsterdam aux Pays-Bas. Ils ont pu identifier tous les composés présents dans le Tableau 7.1, à l'exception de la méthamphétamine et des 3 NPS. Nous ne savons cependant pas si ces composés n'ont pas été identifiés parce qu'ils n'ont pas été recherchés ou parce qu'ils n'étaient pas présents dans les eaux usées. La présence d'autres substances a été mise en évidence, à savoir la kétamine, le LSD, certains NPS (cathinones et des phénéthylamines synthétiques), mais également la méthadone, l'héroïne et certains antidépresseurs. Il n'est cependant pas possible d'évaluer l'impact de ce festival sur les consommations illicites de référence d'Amsterdam, car cette étude ne différencie pas les situations avant et pendant le festival.

3. EVALUER LES CONSOMMATIONS DE PRODUITS PSYCHOTROPES PAR LES METHODES CONVENTIONNELLES

3.1. Stratégie des méthodes conventionnelles

Les méthodes conventionnelles se concentrent sur les consommateurs et leurs usages. Elles impliquent un contact avec le consommateur, pendant lequel sa consommation festive est évaluée en lui posant directement des questions à travers un entretien (McCaughan et al., 2005) ou un sondage par l'utilisation d'un questionnaire (Palamar et al., 2016). Ces indicateurs directs prennent du temps à être développés et créent un biais de désirabilité sociale (Aebi and Jaquier, 2008).

3.1.1. Sondages autoreportés

Un sondage autoreporté permet de récolter des données sociodémographiques, d'identifier les substances consommées et d'évaluer la prévalence vie, dernière année et/ou dernier mois (European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction, 2006). La prévalence dernière semaine ou dernier jour n'a pas été rencontrée dans la littérature. Les quantités et les fréquences de consommation sont parfois investiguées (Chinet et al., 2007). Les sondages offrent ainsi l'historique de consommation de la personne interrogée, mais échouent à en fournir l'état actuel, voire même récent.

3.1.2. Entretiens

Les entretiens sont généralement mis en œuvre afin d'explorer un phénomène spécifique, comme par exemple établir la typologie des jeunes adultes consommateurs d'ecstasy se rendant à des *rave party* (McCaughan et al., 2005). Puisqu'ils sont principalement utilisés dans le contexte d'étude qualitative, le but est de comprendre le phénomène tel qu'il est perçu par ceux qui sont impliqués, dans le cas présent les usagers festifs, sans se soucier de la comparabilité des données.

3.2. Déploiement des méthodes conventionnelles

Le déploiement des méthodes conventionnelles implique de considérer l'échantillonnage et le niveau territorial investigué.

3.2.1. Qui est échantillonné ?

L'étude de la population festive implique d'avoir accès à cette dernière. L'échantillon de personnes constitué pour une telle étude est donc généralement réalisé dans un contexte festif. La question de la représentativité de l'échantillon dans le cas d'études quantitatives de la population festive est souvent abordée par les auteurs (Tossmann et al., 2001; Wilson et al., 2010). Il faudrait en effet connaître l'ensemble de la population festive pour en tirer un échantillon représentatif, ce qui est difficilement réalisable. Au-delà de la problématique de la représentativité de l'échantillon, les questionnaires utilisés entre les différentes études ne sont pas les mêmes, plus d'être réalisés à des moments différents, dans des contextes festifs différents. Comparer les prévalences entre différentes études doit donc être réalisé avec prudence, ce que souligne d'ailleurs l'OECD dans son rapport comparant les prévalences de produits stimulants entre différents pays d'Europe (European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction, 2006). Dans le cadre d'étude qualitative, la représentativité de l'échantillon n'est pas requise puisque le but est de comprendre le phénomène tel qu'il est perçu par les personnes concernées, sans se soucier de la comparabilité des données. La nécessité d'évaluer la consommation de stupéfiants à l'aide d'outils complémentaire a donc été exposée (Németh et al., 2011; Nordfjærn et al., 2016).

3.2.2. Où échantillonner ?

Les méthodes conventionnelles sont généralement déployées lors de plusieurs événements festifs au niveau national (Chinet et al., 2007; McCaughan et al., 2005; Palamar et al., 2016). Les agences européennes et mondiales compilent ces « micro-données » pour fournir une prévalence de la population festive du pays. Cela permet ensuite de comparer les populations festives de différents pays, offrant une perspective internationale (European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction, 2006). Cette comparaison entre pays offre une vision intéressante car chaque pays est défini par des politiques et pratiques différentes concernant les stupéfiants, que ce soit au niveau répressif, préventif ou de réduction

des risques. Cependant, depuis quelques années, l'apparition de sondages en ligne, tel que le Global Drug Survey, a permis de toucher plus facilement la population festive en outrepassant les barrières des frontières nationales (Winstock et al., 2017).

3.3. La nature des consommations de produits psychotropes en milieu festif d'après les méthodes conventionnelles

De nombreuses recherches existent sur la consommation d'alcool et de produits stupéfiants en milieu festif. L'usage de tabac est cependant beaucoup moins reporté.

La consommation d'alcool est très importante dans le milieu festif et souvent caractérisée d'excessive et effrénée (Schuckit et al., 2016; Vallance et al., 2016).

Les stupéfiants dont les consommations sont les plus fréquemment reportées en cadre festif sont la MDMA, les amphétamines, la kétamine, le LSD et le GHB. Ces substances ont ainsi acquis la dénomination de *club drugs* ou *party drugs* (Parks and Kennedy, 2004; Smith et al., 2002). L'usage de cannabis et cocaïne est également très important (Bellis et al., 2000; McCaughan et al., 2005; Wilson et al., 2010). La consommation de NPS existe mais dans une moindre mesure (Hill and Thomas, 2011). Ces derniers, apparus sur le marché il y a quelques années, posent un problème de santé public grave dans le sens où leurs effets et les risques qu'ils génèrent sont mal connus (United Nations Office On Drugs And Crime, 2016). Les NPS présentent plusieurs avantages pour les consommateurs curieux: ils sont moins chers et possèdent une variété d'effets stimulants ou hallucinogènes (van Amsterdam et al., 2015). L'ensemble des stupéfiants cité précédemment est généralement consommé en association avec le tabac et/ou l'alcool (Banken, 2004; Parks and Kennedy, 2004). On parle alors de polyusage qui peut être occasionnel, ou journalier (Chinet et al., 2007).

La MDMA possède un statut particulier. Caractérisée d'entactogène, elle promeut grandement l'empathie, les émotions et augmente la perception du son (Nichols, 1986). Son usage est particulièrement associé à la musique de type électronique (Davison and Parrott, 1997; Solowij et al., 1992). De façon surprenante, les résultats du Global Drug Survey montrent que d'après les consommateurs, les effets des NPS se rapprochent en premier lieu à ceux du LSD, plutôt que ceux de la MDMA (Winstock et al., 2017).

L'association entre la consommation d'une substance et un type de musique a par ailleurs fait l'objet de plusieurs études (Forsyth et al., 1997; Palamar et al., 2016; Van Havere et al., 2011). Toutefois, si le type de musique lors d'un festival influence la nature des consommations illicites, il n'est probablement pas le seul facteur explicatif. Le type de population, la politique sécuritaire, l'état du trafic des stupéfiants, entre autres, pourraient effectivement jouer un rôle. Le type de musique des festivals où l'analyse des eaux usées a été appliquée a tout de même été rajouté au Tableau 2 afin de réaliser des comparaisons appropriées. Cette information est manquante pour deux des six festivals étudiés par Mackul'ak et al. (2015).

4. EVALUER LES CONSOMMATIONS DE PRODUITS PSYCHOTROPES PAR LES LABORATOIRES D'ANALYSE DE DROGUES

4.1. Stratégie des laboratoires d'analyse de drogues

Les laboratoires d'analyse de drogues (*drug checking* ou *drug testing*) sont une mesure de réduction des risques et de prévention qui existe dans plusieurs pays d'Europe et qui a originellement été proposé par les Pays-Bas (Spruit, 2001). Chaque personne peut faire tester sa substance pour la qualifier et mesurer sa pureté. Elle effectue également une consultation avec un professionnel de la prévention avec qui elle remplit un questionnaire regroupant des données sociodémographiques ainsi que des informations concernant sa consommation (Brunt et al., 2017). L'alcool, le tabac et le cannabis ne sont pas testés dans ces laboratoires, mais leur consommation est évaluée lors de la consultation.

4.2. Déploiement des laboratoires d'analyse de drogues

4.2.1. Qui est échantillonné ?

Les personnes venant faire tester leurs substances recherchent à caractériser la nature et la pureté du produit stupéfiant qu'elles possèdent, en vue de le consommer en sécurité. La population touchée est donc probablement exclusivement une population de consommateurs de produits stupéfiants. Cela est particulièrement intéressant car cet indicateur permet d'entrer en contact avec une population spécifique difficile d'accès.

4.2.2. Où échantillonner ?

Les services de *drug checking* peuvent être fixes ou mobiles. Les *drug checking* fixes sont disponibles hors du contexte festif, en tout temps. Les *drug checking* mobiles se déplacent sur les sites d'événements festifs. Ils existent dans plusieurs pays d'Europe (Hungerbuehler et al., 2011).

4.3. La nature des consommations de produits psychotropes en milieu festif d'après les laboratoires d'analyse de drogues

Les *drug checking* se situant en Espagne, au pays Basque, aux Pays-Bas, en Suisse, en Autriche, en Belgique et au Portugal ont révélé entre 2008 et 2013 que les produits les plus souvent analysés sont la cocaïne, la MDMA et les amphétamines. Le polyusage est aussi reporté par la majorité des répondants comme étant typique d'une soirée, la cocaïne, la MDMA ou les amphétamines étant consommées avec l'alcool et/ou le cannabis (Hungerbuehler et al., 2011).

En Suisse, il s'avère que la substance la plus analysée dans les *drug checking* fixes est la cocaïne, alors que dans les mobiles, la substance la plus analysée est la MDMA (Safer Nightlife Suisse, 2016). Une hypothèse qui pourrait être faite sur la base ces résultats est que la cocaïne est un stupéfiant consommé plus régulièrement, hors d'un contexte récréatif et donc, que ses consommateurs l'apportent à un *drug checking* fixe afin de la faire tester, plutôt que d'attendre un événement festif pour la faire tester dans un *drug checking* mobile. Cela montre que les laboratoires fixes et mobiles ne touchent pas le même public (Hungerbuehler et al., 2011).

Une base de données regroupant les résultats des analyses effectuées par ces *drug checking* suisses fixes et mobiles est disponible en ligne (saferparty.ch, 2017). Les alertes actuelles concernent majoritairement des pilules contenant de la MDMA et plus rarement des NPS sous forme de poudres, pilules ou buvards. Le questionnaire soumis aux personnes qui viennent faire tester leur substance est également disponible en ligne ainsi qu'auprès de stands d'information en milieu festif. Les stupéfiants qui sont le plus consommés sont pour la prévalence vie et la prévalence au cours des douze derniers mois, le cannabis, la MDMA, les amphétamines, la cocaïne et le LSD (Safer Nightlife Suisse, 2016).

5. EVALUER LES CONSOMMATIONS DE PRODUITS PSYCHOTROPES PAR L'ANALYSE DES URINES CONTENUES DANS LES TOILETTES PORTABLES

5.1. Stratégie de l'analyse des urines contenues dans les toilettes portables

L'analyse du contenu de toilettes portables a récemment été proposée comme nouvel indicateur de la consommation de stupéfiants (Archer et al., 2013). Cet indicateur a été utilisé jusqu'à présent dans un but qualitatif, c'est-à-dire d'identification de substances. Théoriquement, il serait possible d'estimer les quantités consommées à partir des traces retrouvées dans les urinoirs si l'on dispose du volume total d'urine contenu dans l'urinoir.

5.2. Déploiement de l'analyse des urines contenues dans les toilettes portables

5.2.1. Qui est échantillonné ?

De la même façon que l'analyse des eaux usées, cet indicateur permet d'obtenir une information sur la consommation d'un groupe de personnes en préservant leur anonymat. Elle en diffère par le fait que les échantillons récoltés sont constitués d'urines pures car il n'y a pas de système de chasse d'eau. Les échantillons sont donc beaucoup plus concentrés, permettant d'atteindre une meilleure sensibilité (Archer et al., 2013; Kinyua et al., 2016). Par ailleurs, comme les urines ne sont pas mélangées à l'eau, la stabilité des analytes pourrait en être améliorée (Archer et al., 2013). Cet indicateur est par ailleurs intéressant dans le sens où, en faisant l'hypothèse que les toilettes portables sont uniquement utilisées par les hommes (type pissoir), il serait possible d'évaluer une consommation exclusivement masculine.

5.2.2. Où échantillonner ?

Cet indicateur a été appliqué dans un quartier nocturne de Londres (Archer et al., 2013, 2014a), une discothèque de Londres (Archer et al., 2014b) dans un secteur festif de neuf villes anglaises (Archer et al., 2015) ainsi que dans deux festivals se déroulant en Angleterre et en Belgique (Kinyua et al., 2016).

1.1. La nature des consommations de produits psychotropes en milieu festif d'après l'analyse des urines contenues dans les toilettes portables

Les techniques analytiques mises en œuvre pour l'analyse des urines contenues dans les toilettes portables visent à un *screening* de toutes les substances, sans détermination préalable de traces cibles. Cela entraîne qu'une grande variété de substances sera mise en évidence. De plus, comme les échantillons récoltés sont constitués d'urines pures, offrant donc une meilleure sensibilité d'analyse, les stupéfiants type NPS, qui sont consommés par peu de personnes et dont la quantité consommée pour parvenir à l'effet souhaité est très faible par rapport aux stupéfiants classiques comme la MDMA (European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction, 2016b), peuvent être identifiés plus facilement que dans des échantillons d'eaux usées, où les urines sont diluées dans une grande quantité d'eau. Toutes les substances recherchées et quantifiées dans les eaux usées indiquées dans le Tableau 1 ont ainsi été identifiées dans les toilettes portables dans les cinq études précitées, à savoir l'alcool, le tabac et les stupéfiants classiques et la méphédronne. La méthylone, la BZP et d'autres NPS ont été identifiés irrégulièrement. Archer et al. (2014) ont montré que la méphédronne était le NPS qui étaient le plus souvent détecté au cours de six mois d'étude.

6. DISCUSSION GÉNÉRALE : L'ÉTENDUE DES CONSOMMATIONS DE PRODUITS PSYCHOTROPES EN MILIEU FESTIF

Le type et la nature des informations obtenues ont été exposés pour chaque indicateur. Il s'agit à présent de confronter ces derniers tant au niveau technique, afin d'évaluer les forces et les faiblesses de chacun, qu'au niveau du résultat obtenu, afin d'apprécier les convergences ou les divergences concernant les consommations festives. Cela permet d'évaluer dans quelle mesure ces indicateurs sont complémentaires entre eux.

6.1. Perspective longitudinale

Les festivals possèdent un caractère éphémère. Étudier la population festive est donc délicat car celle-ci n'est pas systématiquement accessible, à l'inverse de la population carcérale par exemple. Cependant, un festival sera généralement réédité chaque année. Au-delà de ce caractère éphémère, les événements festifs sont donc cycliques.

L'analyse des eaux usées permet ainsi d'étudier les tendances des consommations de produits psychotropes lors d'éditions consécutives d'un festival donné. Lai et al. (2013) ont montré que d'une année sur l'autre, lors d'un festival en Australie, aucune différence statistiquement significative n'est observée entre les consommations de MDMA, de cannabis et de cocaïne. Par contre, il s'avère que les consommations de méthamphétamine et de BZP sont significativement supérieures en 2010 par rapport à 2011. Ces différences sont dues au fait que la population évoluant au sein d'un festival peut changer, ou changer sa consommation. La disponibilité de la substance peut aussi expliquer l'émergence ou la disparition d'un produit.

Apprécier l'usage de produits psychotropes lors de plusieurs éditions d'un même festival à l'aide des méthodes conventionnelles s'avère beaucoup plus délicat de par la nature des questions posées. En effet, l'information de prévalence vie ou dernier mois ne renseigne en rien sur l'usage lors d'un événement festif en particulier (Chinet et al., 2007). Les méthodes conventionnelles ne sont donc pas adaptées à l'étude d'un même festival au cours du temps. Par contre, dans le cas théorique d'une étude de cohorte, l'évolution temporelle des consommations de produits psychotropes dans le même groupe de festivaliers pourrait être appréciée. C'est donc l'échantillon interrogé qui serait étudié temporellement, contrairement à l'analyse des eaux usées qui cible l'évènement en lui-même.

Les *drug checking* permettent de qualifier les stupéfiants qui circulent en milieu festif au cours du temps et de quantifier leur pureté. Cet indicateur a montré que la prévalence des NPS avait augmenté entre 2008 et 2013 en Espagne, Suisse, Belgique, Autriche, Portugal et aux Pays-Bas (Brunt et al., 2017).

Enfin, l'analyse des urines contenues dans les toilettes portables, si ces dernières sont situées toujours au même endroit, offre une image qualitative des consommations de produits psychotropes associées au lieu où l'urinoir se trouve. Archer et al. (2014) ont observé que la méphédrone était le NPS détecté le plus régulièrement dans les toilettes portables. La méphédrone est effectivement un NPS qui s'est implanté de manière permanente dans le paysage festif, poussant de nombreux pays à légiférer sur son interdiction au même titre que les stupéfiants classiques (European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction, 2011). Son effet serait similaire à celui de l'ecstasy (Dalibon, 2013).

6.2. Comparaison entre festivals

Au-delà des comparaisons temporelles, les consommations de produits psychotropes observées au sein d'un festival peuvent être comparées à celles d'autres festivals.

Il n'est pas possible de comparer les quantités consommées en stupéfiants obtenues par l'analyse des eaux usées entre différents festivals puisqu'une seule recherche de type quantitatif a été réalisée jusqu'à présent (Lai et al., 2013). Les quantités consommées de l'ensemble des produits psychotropes en milieu festif doivent donc être davantage étudiées à l'aide de cet indicateur

Comparons à présent les résultats obtenus à l'aide de sondages autoreportés. Pour la MDMA, la prévalence 30 derniers jours de personnes assistant à des soirées techno en Suisse Romande est de 22.7% (Chinet et al., 2007). Ce chiffre est similaire à celui de Tossman et al. (2001) de 27.8%, déterminé auprès d'un public similaire, mais à Zürich (Suisse Alémanique). Pour la cocaïne, ces chiffres s'élèvent respectivement à 20.7% et 12% et pour les amphétamines, à 9.9% et 17.6%. Il est intéressant de noter que les prévalences 30 derniers jours sont similaires pour la MDMA entre la Suisse Romande et Zürich, mais pas pour la cocaïne, ni pour les amphétamines. Cela confirme le statut particulier de la MDMA au sein de la scène festive, que d'autres stimulants, telles que la cocaïne ou les amphétamines, peuvent posséder, mais à un niveau régional et/ou national. Ces deux recherches confirment également la consommation très importante de cannabis au vu des prévalences 30 derniers jours de 53.8%. (Chinet et al., 2007) et de 63.6% (Tossman et al., 2001). Une comparaison intéressante peut enfin être faite au niveau des chiffres de prévalences 30 derniers jours pour l'héroïne, qui sont de respectivement 2.5% et 2.2%.

Les drug checking révèlent que la pureté de la cocaïne et des amphétamines est faible en Autriche et élevée en Espagne et aux Pays-Bas. Les Pays-Bas et la Suisse sont davantage touchés par la MDMA sous forme de pilule, alors que la MDMA sous forme de cristal prévaut en Espagne et au Portugal (Hungerbuehler et al., 2011)

Les diverses études ayant analysé les urines contenues dans les toilettes portables montrent que la méphédronne et les stupéfiants classiques, tels que la cocaïne, la MDMA, l'amphétamine, la méthamphétamine et le cannabis sont toujours détectés, alors que d'autres NPS révèlent un usage sporadique.

6.3. Comparaison avec la population générale

Les consommations de produits psychotropes de la population festive de plusieurs villes d'Europe ont été appréciées en appliquant l'analyse des eaux usées quotidiennement pendant une ou plusieurs semaines (European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction, 2018a). Il a par exemple été montré que la consommation de MDMA augmente drastiquement pendant le week-end par rapport à la semaine. Sur la base de ces résultats, nous pouvons supposer que la population festive consomme davantage de MDMA que la population générale.

Lors d'un festival cependant, afin de pouvoir évaluer son effet sur la consommation, il est important d'évaluer l'usage lorsqu'il n'y a pas de festival. La comparaison entre l'usage lors du festival et l'usage habituel (Andrés-Costa et al., 2016; Mackulak et al., 2015) ou celui d'une métropole proche (Lai et al., 2013) permet de prendre conscience des produits favorisés par la population festive et donc d'apprécier l'impact d'un événement festif particulier sur la population générale. Lai et al. (2013) ont montré dans leur étude que la MDMA est le seul stupéfiant qui présente une consommation supérieure à celle de la ville proche. Cela souligne de nouveau le statut particulier de la MDMA au sein du milieu festif.

La prévalence 30 derniers jours de la population générale en Suisse est de 0.16% pour la MDMA et de 0.12% pour la cocaïne (Zobel et al., 2018). En comparaison, les prévalences 30 derniers jours pour la MDMA et la cocaïne des personnes assistant à des soirées techno en Suisse Romande sont de respectivement de 22.7% et 20.7% (Chinet et al., 2007). Celles-ci témoignent d'un usage drastiquement supérieur, ce qui correspond aux observations menées au niveau européen par l'OEDT et ce, pour l'ensemble des produits stimulants et hallucinogènes. En effet, les prévalences vie et dernier mois pour les stupéfiants stimulants et les hallucinogènes sont systématiquement plus élevées dans la population festive que dans la population générale (European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction, 2006). Cela est dû au fait que lors d'une enquête en population générale, l'ensemble de la population est visé, les jeunes, les moins jeunes, les gens qui consomment et ceux qui ne consomment pas. Par contre, si un sondage autoreporté est mis en place lors d'une soirée techno, la probabilité d'interroger des consommateurs sera plus élevée, d'où une prévalence d'usage supérieure à celle de la population générale.

6.4. Triangulation des indicateurs

L'analyse des eaux usées, les méthodes conventionnelles, les *drug checking* et l'analyse des urines contenues dans les toilettes portables sont des indicateurs offrant des informations différentes. L'analyse des eaux usées permet de monitorer les tendances et les quantités consommées quotidiennement au sein d'un festival. Elle ne donne cependant aucune information sur la granularité de la consommation. En effet, elle ne permet pas de différencier l'usage festif de l'usage problématique, d'où la nécessité d'utiliser des indicateurs impliquant l'interaction avec les consommateurs, tels que les méthodes conventionnelles et les *drug checking*. Les méthodes conventionnelles informent sur les caractéristiques des usagers et de leurs usages, comme les quantités consommées individuelles, les fréquences et les modes de consommations. Les *drug checking* offrent l'évaluation de ce qui circule au sein d'un contexte festif particulier et permettent d'approcher exclusivement une population de consommateurs. Ils ne sont cependant pas beaucoup répandus. De plus, l'analyse des urines contenues dans les toilettes portables se révèle un indicateur intéressant dans la détection de stupéfiants de type NPS, qui sont consommés par peu de personnes et dont les doses consommées sont très faibles. Les échantillons étant en effet constitués d'urines pures, la sensibilité d'analyse est donc améliorée par rapport à des échantillons d'eau usée. Enfin, les saisies policières, qui n'ont pas été discutées auparavant par manque de littérature, constituent un autre indicateur et reflètent l'action policière par rapport à une stratégie spécifique. Les saisies policières réalisées dans un contexte festif particulier pourraient être analysées afin d'obtenir la pureté des produits saisis et les informations relatives au lieu d'achat du produit.

La triangulation des indicateurs autorise également la confrontation des informations de même type et d'apprécier ainsi les convergences et divergences, notamment concernant la nature des produits consommés. L'ensemble des indicateurs révèle que les produits illicites les plus consommés en milieu festif sont le cannabis, la cocaïne, la MDMA et l'amphétamine. Les NPS, moins disponibles, révèlent un usage plus sporadique, à l'exception de la méphédronne qui semble être consommée de manière relativement stable. Une convergence au niveau de la nature des substances consommées est donc observée en milieu festif. Cela s'observe particulièrement bien d'après les substances indiquées dans le Tableau 1, qui ont été recherchées dans les eaux usées : on recherche ce que l'on s'attend à trouver, c'est-à-dire les stupéfiants, mais également l'alcool et le tabac. Le milieu festif semble donc perçu «correctement» par la recherche. La source d'inquiétude et de «renouveau» provient ces dernières années des NPS, dont de nouveaux produits arrivent constamment sur le marché (European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction, 2016b). De nouveau, il s'agirait donc d'identifier ces nouveaux produits à l'aide d'un *screening* dans les urines contenues dans les toilettes portables, offrant une meilleure sensibilité que l'analyse des eaux usées (Kinyua et al., 2016).

Enfin, si une telle demande existe pour ces *club drugs*, comment l'offre est-elle organisée ? Est-ce que les consommateurs achètent leur produit à l'endroit où ils font la fête ? Ou hors du contexte récréatif ? Le milieu festif révèle encore de nombreuses zones d'ombre. Une étude de la structure et des produits de ce marché devrait être réalisée, comme c'est le cas au niveau du canton de Vaud, en Suisse (Zobel et al., 2018).

6.5. Proposition d'une stratégie de déploiement de l'analyse des eaux usées en milieu festif en complément des autres indicateurs

L'analyse des eaux usées promeut la comparabilité dans le temps. Ce potentiel doit être exploité en développant des campagnes d'analyse des eaux usées plus longues, par exemple lors de plusieurs éditions consécutives d'un festival donné, afin d'évaluer les tendances des consommations de produits psychotropes sur le long terme.

Ensuite, les résultats obtenus suite à l'application de l'analyse des eaux usées au sein de différents milieux festifs peuvent être comparés, afin de déterminer si les consommations de produits psychotropes sont similaires ou différentes au niveau géographique. Pour ce faire, il faudrait d'une part de rechercher les mêmes substances reportées dans le Tableau 1 pour permettre la comparaison entre ces divers événements ou établissements festifs et d'autre part, d'élargir la liste des substances aux opiacés notamment, afin de vérifier qu'ils ne sont pas consommés en milieu festif. L'analyse des eaux usées

permettent d'estimer les quantités consommées, cela doit donc être également exploité dans de futures recherches.

L'usage de produits psychotropes au sein d'un milieu festif pourrait ensuite être comparé à celui de la population générale de la ville dans laquelle le festival a lieu si les prélèvements ont été réalisés dans la STEP de la ville. Si le festival dispose de sa propre STEP, alors il serait nécessaire de comparer les consommations à celles d'une métropole proche. Cela permettrait d'évaluer l'ampleur des consommations de produits psychotropes de la population festive et de la population générale.

Une fois que l'analyse des eaux usées a permis de connaître l'état des consommations de produits psychotropes au sein d'un festival, d'autres indicateurs peuvent être déployés en fonction des résultats. Par exemple, dans le festival investigué par Lai et al. (2013), la MDMA est le seul stupéfiant à présenter une consommation supérieure par rapport à la ville proche. Cela suggère la nécessité de développer une campagne de prévention ciblée sur ce stupéfiant lors des éditions consécutives de ce festival, ainsi que de mettre en place un *drug checking* pour que les consommateurs puissent tester leur pilule par exemple. De plus, au niveau répressif, la police pourrait être informée afin d'axer la stratégie policière sur le marché de la MDMA.

Le Tableau 3 propose ainsi une stratégie de déploiement de l'analyse des eaux usées en milieu festif en combinaison d'autres indicateurs. La mise en œuvre d'une telle stratégie offrirait une information utile en matière de consommations de produits psychotropes en milieu festif, dans le but notamment de produire des réponses adaptées au niveau préventif, de réduction des risques et répressif.

Références

- Aebi, M.F., and Jaquier, V. (2008). Les sondages de délinquance autoreportée : origines, fiabilité et validité. *Déviance et Société* 32, 205.
- van Amsterdam, J.G.C., Nabben, T., Keiman, D., Haanschoten, G., and Korf, D. (2015). Exploring the Attractiveness of New Psychoactive Substances (NPS) among Experienced Drug Users. *Journal of Psychoactive Drugs* 47, 177–181.
- Andrés-Costa, M.J., Escrivá, Ú., Andreu, V., and Picó, Y. (2016). Estimation of alcohol consumption during “Fallas” festivity in the wastewater of Valencia city (Spain) using ethyl sulfate as a biomarker. *Science of The Total Environment* 541, 616–622.
- Archer, J.R.H., Dargan, P.I., Hudson, S.C., and Wood, D.M. (2013). Analysis of anonymous pooled urine from portable urinals in central London confirms the significant use of novel psychoactive substances. *QJM* 106, 147–152.
- Archer, J.R.H., Dargan, P.I., Lee, H.M.D., Hudson, S.C., and Wood, D.M. (2014a). Trend analysis of anonymised pooled urine from portable street urinals in central London identifies variation in the use of novel psychoactive substances. *Clinical Toxicology* 52, 160–165.
- Archer, J.R.H., Dargan, P.I., Hudson, S.C., Davies, S., Puchnarewicz, M., Kicman, A.T., Ramsey, J.D., Measham, F.C., Wood, M.J., Johnston, A., et al. (2014b). Taking the Pissoir – a novel and reliable way of knowing what drugs are being used in nightclubs. *Journal of Substance Use* 19, 103–107.
- Archer, J.R.H., Hudson, S.C., Jackson, O., Yamamoto, T., Lovett, C., Lee, H.M.D., Rao, S., Hunter, L.J., Dargan, P.I., and Wood, D.M. (2015). Analysis of anonymized pooled urine in nine UK cities: variation in classical recreational drug, novel psychoactive substance and anabolic steroid use. *QJM* 108, 929–933.
- Banken, J.A. (2004). Drug Abuse Trends among Youth in the United States. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1025, 465–471.
- Baselt, R.C. (2011). *Disposition of Toxic Drugs and Chemical in Man* (Seal Beach: Biomedical Publications).
- Bellis, M.A., Hale, G., Bennett, A., Chaudry, M., and Kilfoyle, M. (2000). Ibiza uncovered: changes in substance use and sexual behaviour amongst young people visiting an international night-life resort. *International Journal of Drug Policy* 11, 235–244.
- Brunt, T.M., Nagy, C., Bücheli, A., Martins, D., Ugarte, M., Beduwe, C., and Ventura Vilamala, M. (2017). Drug testing in Europe: monitoring results of the Trans European Drug Information (TEDI) project: Drug testing in Europe. *Drug Testing and Analysis* 9, 188–198.
- Causanilles, A., Kinyua, J., Ruttkies, C., van Nuijs, A.L.N., Emke, E., Covaci, A., and de Voogt, P. (2017). Qualitative screening for new psychoactive substances in wastewater collected during a city festival using liquid chromatography coupled to high-resolution mass spectrometry. *Chemosphere* 184, 1186–1193.
- Chinet, L., Stéphan, P., Zobel, F., and Halfon, O. (2007). Party drug use in techno nights: A field survey

among French-speaking Swiss attendees. *Pharmacology Biochemistry and Behavior* 86, 284–289.

Dalibon, P. (2013). La méphédrone, le khat des éprouvettes. *Actualités Pharmaceutiques* 52, 35–36.

Daughton, C.G. (2001). Illicit drugs in municipal sewage: Proposed new nonintrusive tool to heighten public awareness of societal use of illicit-abused drugs and their potential for ecological consequences. In *Pharmaceuticals and Care Products in the Environment*, C.G. Daughton, and T.L. Jones-Lepp, eds. (Washington, DC: American Chemical Society), pp. 348–364.

Davison, D., and Parrott, A.C. (1997). Ecstasy (MDMA) in recreational users: self-reported psychological and physiological effects. *Human Psychopharmacology Clinical and Experimental* 12, 221–226.

Delémont, O., Esseiva, P., Been, F., and Benaglia, L. (2014). La police scientifique au-delà de ses frontières actuelles: la perspective de nouvelles connaissances. *Revue Internationale de Criminologie et de Police Technique et Scientifique LXVII*, 283–304.

European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction (2006). Annual report 2006 (Luxembourg: Publications Office of the European Union).

European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction (2011). Report on the risk assessment of mephedrone in the framework of the Council decision on new psychoactive substances (Luxembourg: Publications Office of the European Union).

European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction (2016a). Assessing illicit drugs in wastewater: Advances in wastewater-based drug epidemiology (Luxembourg: Publications Office of the European Union).

European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction (2016b). Rapport européen sur les drogues (Luxembourg: Publications Office of the European Union).

European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction (2018b). Perspectives on drugs: wastewater analysis and drugs — results from a European multi-city study. Available at <http://www.emcdda.europa.eu/topics/pods/waste-water-analysis>.

Forsyth, A.J.M., Barnard, M., and McKeganey, N.P. (1997). Musical preference as an indicator of adolescent drug use. *Addiction* 92, 1317–1325.

Gracia-Lor, E., Castiglioni, S., Bade, R., Been, F., Castrignanò, E., Covaci, A., González-Mariño, I., Hapeshi, E., Kasprzyk-Hordern, B., Kinyua, J., et al. (2017). Measuring biomarkers in wastewater as a new source of epidemiological information: Current state and future perspectives. *Environment International* 99, 131–150.

Hill, S.L., and Thomas, S.H.L. (2011). Clinical toxicology of newer recreational drugs. *Clinical Toxicology* 49, 705–719.

Hungerbuehler, I., Buecheli, A., and Schaub, M. (2011). Drug Checking: A prevention measure for a heterogeneous group with high consumption frequency and polydrug use—evaluation of Zurich's drug

checking services. *Harm Reduction Journal* 8, 16.

Jiang, J.-J., Lee, C.-L., Fang, M.-D., Tu, B.-W., and Liang, Y.-J. (2015). Impacts of Emerging Contaminants on Surrounding Aquatic Environment from a Youth Festival. *Environmental Science & Technology* 49, 792–799.

Kinyua, J., Negreira, N., Miserez, B., Causanilles, A., Emke, E., Gremeaux, L., de Voogt, P., Ramsey, J., Covaci, A., and van Nuijs, A.L.N. (2016). Qualitative screening of new psychoactive substances in pooled urine samples from Belgium and United Kingdom. *Science of The Total Environment* 573, 1527–1535.

Lai, F.Y., Thai, P.K., O'Brien, J., Gartner, C., Bruno, R., Kele, B., Ort, C., Prichard, J., Kirkbride, P., Hall, W., et al. (2013). Using quantitative wastewater analysis to measure daily usage of conventional and emerging illicit drugs at an annual music festival: Illicit drugs in music event wastewaters. *Drug and Alcohol Review* 32, 594–602.

Mackuľak, T., Grabic, R., Gál, M., Gál, M., Birošová, L., and Bodík, I. (2015). Evaluation of different smoking habits during music festivals through wastewater analysis. *Environmental Toxicology and Pharmacology* 40, 1015–1020.

McCaughan, J.A., Carlson, R.G., Falck, R.S., and Siegal, H.A. (2005). From “Candy Kids” to “Chemi-Kids”: A Typology of Young Adults Who Attend Raves in the Midwestern United States. *Substance Use & Misuse* 40, 1503–1523.

Németh, Z., Kuntsche, E., Urbán, R., Farkas, J., and Demetrovics, Z. (2011). Why do festival goers drink? Assessment of drinking motives using the DMQ-R SF in a recreational setting: Drinking motives in a recreational setting. *Drug and Alcohol Review* 30, 40–46.

Nichols, D.E. (1986). Differences between the mechanism of action of MDMA, MBDB, and the classic hallucinogens. Identification of a new therapeutic class: entactogens. *Journal of Psychoactive Drugs* 18, 305–313.

Nordfjærn, T., Bretteville-Jensen, A.L., Edland-Gryt, M., and Gripenberg, J. (2016). Risky substance use among young adults in the nightlife arena: An underused setting for risk-reducing interventions? *Scandinavian Journal of Public Health* 1403494816665775.

Ort, C., Lawrence, M.G., Rieckermann, J., and Joss, A. (2010). Sampling for Pharmaceuticals and Personal Care Products (PPCPs) and Illicit Drugs in Wastewater Systems: Are Your Conclusions Valid? A Critical Review. *Environmental Science & Technology* 44, 6024–6035.

Palamar, J.J., Acosta, P., Sherman, S., Ompad, D.C., and Cleland, C.M. (2016). Self-reported use of novel psychoactive substances among attendees of electronic dance music venues. *The American Journal of Drug and Alcohol Abuse* 42, 624–632.

Parks, K.A., and Kennedy, C.L. (2004). Club Drugs: Reasons for and Consequences of Use. *Journal of Psychoactive Drugs* 36, 295–302.

Reid, M.J., Langford, K.H., Mørland, J., and Thomas, K.V. (2011). Analysis and Interpretation of Specific

Ethanol Metabolites, Ethyl Sulfate, and Ethyl Glucuronide in Sewage Effluent for the Quantitative Measurement of Regional Alcohol Consumption. *Alcoholism: Clinical and Experimental Research* 35, 1593–1599.

Safer Nightlife Suisse (2016). Rapport d'activités 2014/2015 (Berne, Suisse: INFODROG).

saferparty.ch (2017). Drug Checking. Available at <http://www.saferparty.ch/231.html>.

Schuckit, M.A., Smith, T.L., Clausen, P., Skidmore, J., Shafir, A., and Kalmijn, J. (2016). Drinking Patterns Across Spring, Summer, and Fall in 462 University Students. *Alcoholism: Clinical and Experimental Research* 40, 889–896.

Smith, K.M., Larive, L.L., and Romanelli, F. (2002). Club drugs: methylenedioxyamphetamine, flunitrazepam, ketamine hydrochloride, and γ -hydroxybutyrate. *American Journal of Health-System Pharmacy* 59.

Solowij, N., Hall, W., and Lee, N. (1992). Recreational MDMA use in Sydney: a profile of 'ecstasy' users and their experiences with the drug. *Addiction* 87, 1161–1172.

Spruit, I.P. (2001). Monitoring synthetic drug markets, trends, and public health. *Substance Use and Misuse* 36, 23–47.

Tossmann, P., Boldt, S., and Tensil, M.-D. (2001). The Use of Drugs within the Techno Party Scene in European Metropolitan Cities. *European Addiction Research* 7, 2–23.

United Nations Office On Drugs And Crime (2016). World drug report 2016 (Austria: United Nations publication).

Vallance, K., Roth, E., Thompson, K., Chow, C., and Martin, G. (2016). Partying Last Weekend: Factors Related to Heavy Episodic Drinking Among People Who Use Recreational Drugs. *Substance Use & Misuse* 51, 1731–1740.

Van Havere, T., Vanderplasschen, W., Lammertyn, J., Broekaert, E., and Bellis, M. (2011). Drug use and nightlife: more than just dance music. *Substance Abuse Treatment, Prevention, and Policy* 6, 1–11.

Wilson, H., Bryant, J., Holt, M., and Treloar, C. (2010). Normalisation of recreational drug use among young people: Evidence about accessibility, use and contact with other drug users. *Health Sociology Review* 19, 164–175.

Winstock, A., Baratt, M., Ferris, J., and Maier, L. (2017). Global Drug Survey. Available at <https://www.globaldrugsurvey.com/past-findings/gds2017-launch/results-released/>.

Zobel, F., Esseiva, P., Udriard, R., Locicero, S., and Samitca, S. (2018). MARSTUP - Structure du marché des stupéfiants dans le canton de Vaud. Partie 2 : cocaïne et autres stimulants (Lausanne, Suisse: Addiction Suisse. École des Sciences Criminelles - Université de Lausanne. Institut Universitaire de Médecine Sociale et Préventive - Centre Hospitalier Universitaire Vaudois).

		Pays du festival et référence																
		Australie (Lai et al., 2013)		République Tchèque (Mackuřak et al., 2015)		République Tchèque (Mackuřak et al., 2015)		Slovaquie (Mackuřak et al., 2015)*		Slovaquie (Mackuřak et al., 2015)*		Slovaquie (Mackuřak et al., 2015)		Slovaquie (Mackuřak et al., 2015)		Espagne (Andrés-Costa et al., 2016)		Pays-Bas (Causanilles et al., 2017)
Groupe de substance	Composé (parent/ métabolite)	Recherché	Quantifié	Recherché	Quantifié	Recherché	Quantifié	Recherché	Quantifié	Recherché	Quantifié	Recherché	Quantifié	Recherché	Quantifié	Recherché	Quantifié	Qualifié ^b
Produits cocainiques	Cocaïne	x	x ^a															x
	<i>Benzylegonine</i>	x	x ^a															x
Amphétamine et produits dérivés	MDMA (3,4-méthylène- dioxy- méthamphétamine)	x	x ^a															x
	Amphétamine	x	x ^a															x
	Méthamphétamine	x	x ^a															
Cannabinoïdes	<i>THC-COOH</i>	x	x ^a															x ^a
NPS (new psychoactive substance)	Méphédron	x	x															
	Méthylone	x	x															
	Benzylpipérazine	x	x															
Tabac	<i>Colimine</i>			x	x ^a	x	x ^a	x	x ^a	x	x ^a	x	x ^a	x	x ^a			x ^a
Alcool	<i>Ethylsulfate</i>															x	x ^a	

a: trouvé dans 100% des échantillons

b: la technique analytique employé est un screening, seule l'identification des produits a été réalisée

Tableau 1 : Aperçu synthétique portant sur les produits recherchés et quantifiés ou seulement qualifiés dans les eaux usées de festivals

		Pays du festival et référence								
		Australie (Lai et al., 2013)	République Tchèque (Mackuřak et al., 2015)	République Tchèque (Mackuřak et al., 2015)	Slovaquie (Mackuřak et al., 2015)	Slovaquie (Mackuřak et al., 2015)	Slovaquie (Mackuřak et al., 2015)	Slovaquie (Mackuřak et al., 2015)	Espagne (Andrés- Costa et al., 2016)	Pays-Bas (Causanilles et al., 2017)
Échantillonnage	Lieu	STEP desservant uniquement les eaux usées du festival	STEP de Valařské Meziříčí (Ville où le festival a lieu)	STEP de Zubří (Ville où le festival a lieu)	STEP de Pieřtany (Ville où le festival a lieu)	STEP de Pieřtany (Ville où le festival a lieu)	STEP de Bratislava (Ville où le festival a lieu)	STEP de Skalica (Ville où le festival a lieu)	3 STEPs de Valencia (Ville où le festival a lieu)	STEP principale d'Amsterdam (Ville où le festival a lieu)
	Type	Continu, débit constant (2010) Continu, proportionnel au débit (2011)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	Discret, proportionnel au débit
	Compo site	24-h	24-h	24-h	24-h	24-h	24-h	24-h	n.a.	24-h
Habitants	Ne s'applique pas	27'000	5'700	30'000	30'000	450.000	13'500	335'825 (STEP 1) 982'264 (STEP 2) 154'421 (STEP 3)	769'000	
Festivaliers et/ou visiteurs	16'700 (2010) 14'700 (2011)	20'000	10'000	20'000	13'000	n.a.	n.a.	n.a.	300'000	
Population moyenne	Ne s'applique pas	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
Type de festival	Tous publics	Folk et country	Métal	Rock et métal	Musique électronique	n.a.	n.a.	Tous publics	Tous publics	

Tableau 2 : Aperçu synthétique portant sur les festivals investigués et les échantillonnages développés

But	Remarque
État des consommations de produits psychotropes lors d'un festival	<ul style="list-style-type: none"> • Nature des substances consommées • Évolution des charges absolues et per capita • Volumes consommés absolus et per capita
Perspective longitudinale	Évolution des consommations de produits psychotropes au cours du temps pour un festival donné
Comparaison entre festivals	Similarités et différences entre différents festivals
Comparaison avec la population générale	<ul style="list-style-type: none"> • Déterminer l'impact du festival sur les consommations de produits psychotropes par rapport au temps normal • Similarités et différences des consommations de produits psychotropes lors du festival par rapport à une métropole proche
Triangulation avec d'autres indicateurs (Méthodes conventionnelles, <i>drug checking</i> , analyse d'urines contenues dans les toilettes portables, saisies)	<ul style="list-style-type: none"> • Convergences et divergences des résultats • Caractéristiques des usagers et de leurs usages • Production de renseignement • Évaluation des politiques de répression, prévention, réduction des risques

Tableau 3 : Stratégie de déploiement de l'analyse des eaux usées lors d'un festival

Annexe B

Merging Conventional Methods and Wastewater-based Epidemiology: Toward a Better Understanding of Illicit Consumption in Prison?

Lisa Benaglia^{1*}, Martin Bouchard², Manon Jendly¹, Olivier Delémont¹, Pierre Esseiva¹

¹*École des Sciences Criminelles, University of Lausanne, 1015 Lausanne, Switzerland*

²*School of Criminology, Simon Fraser University, 8888 University Drive, Burnaby, B.C., Canada*

*Corresponding author. Tel.: +41 21 692 46 39. E-mail address: lisa.benaglia@unil.ch

ABSTRACT

The aim of this article is to better understand the contribution of wastewater-based epidemiology (WBE) in prisons and to propose a strategy for its deployment as a complement to conventional methods to provide useful information on the nature and extent of illicit consumption within the prison environment. Traditionally, alcohol and illicit drug consumption in prison has been assessed by estimating prevalence through self-report surveys, interviews and inmate urinalysis – approaches we will refer to as *conventional methods*. More recently, WBE has been proposed as a way to monitor trends of illicit substance use. A review of the literature on the application of this indicator within prisons was thus carried out. It raised several key points, such as the type of the retrieved information and its outcome. These key points are discussed in the context of conventional methods, to outline the convergence and divergence of the two techniques. WBE and conventional methods both detected the use of cannabis and of substances used as part of substitution treatment, such as methadone. Discrepancies were however observed. For example, conventional methods indicated an alarming level of heroin use, which was not been in penitentiary establishments where WBE was implemented. In contrast, WBE detected a low but steady consumption of cocaine, which was missed by conventional methods. Illicit consumption in prison thus proves to be varied, although some substances appear favored. Implementing WBE in prisons would allow the assessment of the similarity of illicit consumptions across various penitentiary establishments. However, comparing different prisons with each other is a very challenging task according conventional methods, because of all the factors that characterize prison populations and penitentiary institutions. It is therefore recommended when comparing WBE results across different prisons to include the characteristics of each prison and prisoners under study.

Keywords

Illicit drugs, alcohol, inmates, incarceration, urinalysis, sewage

Declarations of interest: none

1. INTRODUCTION

Although prohibited, alcohol and illicit-drug use is widespread in prisons across the world. Yet, there is a serious lack of data concerning substance abuse in prison. Traditionally, illicit consumption in prisons has been assessed by estimating prevalence through self-report surveys, interviews and inmate urinalysis (European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction, 2012). Self-report surveys and interviews measure consumption by directly asking the persons concerned, i.e. the inmates. Urine tests are designed to detect recent consumption. They may be voluntary or mandatory, and sanctions may be applied if they prove to be positive. These techniques, which will be referred to as *conventional methods*, may be used alone or in combination.

In parallel with these widely-used techniques, wastewater-based epidemiology (WBE) has been more recently used to monitor trends of prescribed and illicit substance use within prisons. WBE relies on the fact that when a substance is absorbed, the body metabolizes it to excrete it more easily. This urinary and fecal excretion is evacuated from the prison by a toilet flush and introduced into the wastewater network. The mixing of individual traces produces a collective trace, which can be harnessed to infer which and how much substance has been consumed (Delémont et al., 2014). Although WBE has been widely used to estimate illicit drug use by urban populations (European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction, 2016), it has been little applied in prisons.

This article summarizes the current state of knowledge on the use of each technique to monitor illicit consumption in prisons. It starts with a literature review of WBE implementations in the prison environment. Several issues – such as research strategy, deployment of WBE, and results obtained – will be discussed. These issues are then systematically addressed for conventional methods. Convergences and divergences regarding the methodology related to, and the results obtained from, both families of methods are then discussed. Finally, a strategy for deploying WBE in prison in addition to conventional methods is proposed, so that WBE can provide useful information on the nature and extent of illicit consumption taking place in this environment.

2. WASTEWATER-BASED EPIDEMIOLOGY TO ASSESS ILLICIT CONSUMPTION IN PRISON

2.1. WBE strategy

WBE allows the nature and the quantities of substances consumed to be monitored over time and space. The strategy for using this technique may be based on identifying and quantifying specific substances, or on screening, which is limited to identification. To identify reports of the two strategies, a review concerning applications of WBE in prison was carried out. Combinations of keywords linked to illicit consumption (drug use, drug*, alcohol), WBE (wastewater, sewage), and prisoners (prison*, inmate*) were searched for in databases of the peer-reviewed literature (Scopus and Web of Science) and in the grey literature. Four peer-reviewed articles (Brewer et al., 2016; van Dyken et al., 2014, 2016; Postigo et al., 2011) and one report (Néfau et al., 2017) specifically addressing implementation of WBE in prison were identified. Each one of the five aforementioned studies targeted a list of prescribed and illicit substances, meaning that if those were detected in the wastewater samples, they were quantified, i.e. their concentration was measured. The products that were identified and quantified are presented in Table 1 (one prison comprises two buildings, which are referred as 2a and 2b).

In total, seven groups of pharmaceutical products were identified. In the four countries the prisons are located in (the location of one prison is unknown), all substances in these groups are illicit. Some of them – namely ephedrine, morphine, codeine, methadone, oxazepam, alprazolam and buprenorphine – are limited to controlled medical use. Within a group, there may be one or more parent products (indicated in bold) that may be associated with one or more metabolites (indicated in italics). This distinction is important because when wastewater is analyzed for traces of substance use, the presence of specific major metabolites is sought. Indeed, the presence of these metabolites is proof of their excretion by the body – and thus of the human consumption of the parent compound. Unfortunately, it is not always possible to target a metabolite, for many reasons. Unstable or unspecific metabolites, excretion in too small quantity, and absence of urinary excretion, are just some of the reasons the parent compound is sometimes selected as the target analyte (Been et al., 2015; McCall et al., 2016).

The first group of pharmaceuticals is the cocaine group. The parent product is cocaine and its major metabolite is benzoylecgonine. Cocaethylene is a metabolite that is formed exclusively when cocaine and alcohol are consumed together. Alcohol use has never been investigated by itself, but only in combination with cocaine consumption. The group of amphetamine-like compounds (ALS) is more extensive. It contains several parents, all of which are their own metabolites, which is why they are both in bold and italic. Indeed, when consumed, they are excreted largely unchanged. Amphetamine is also the metabolite of methamphetamine. The family of opioids has heroin as a parent compound – with 6-MAM as its specific metabolite – and codeine and morphine, both of which are their own parent/metabolite. Morphine is the

metabolite of heroin and codeine as well. Buprenorphine and methadone are products used in heroin-substitution treatment. EDDP is the metabolite of methadone. The cannabinoid group consists of THC, the active ingredient of cannabis. Its metabolites are THC-COOH and OH-THC. The groups of benzodiazepines and new psychoactive substances (NPS) are limited respectively to oxazepam and alprazolam on the one hand, and to mephedrone, methylone, and 4-MEC on the other. These compounds are both parent and metabolite. The other substances are LSD, with its two metabolites (OH-LSD, nor-LSD), and ketamine, with its metabolite nor-ketamine.

Once the metabolite or the parent compound in the wastewater sample was quantified, its concentration was multiplied by the daily wastewater flow to get absolute loads. From these loads, daily consumption estimates in grams or number of doses may then be estimated (or back-calculated) if excretion data exists. If comparisons between different days or locations are made, it is crucial to know if an increase in loads is actually an increase in consumption, rather than an increase in the number of people who contributed to the wastewater. Load or consumption estimates must therefore be standardized in terms of the size of the population contributing to the wastewater. Per capita loads or per capita consumption estimates are thus obtained.

2.2. Deploying WBE in prisons

Because WBE aims at assessing the consumption by inmates, sampling must target the wastewater discharged by them, or the wastewater exiting the prison. WBE was deployed in five different prisons. Both studies by van Dyken et al. (2014, 2016) investigated the same prison. One study applied the WBE strategy in two prisons, one of which comprised two separate buildings which were separately sampled (Néfau et al., 2017). The other two studies each investigated one prison (Brewer et al., 2016; Postigo et al., 2011). Table 2 contains information related to the wastewater sampling deployed in the five aforementioned studies

2.2.1. Who is sampled?

The sampling location determines the investigated population. Of the five prisons studied, samples were taken from a sewer or pipe in four cases, and in a wastewater treatment plant (WWTP) in one. The types of sampling implemented are reported in Table 2 (for an explanation of the sampling methods, see Ort et al., 2010). This information is missing for one prison. It is however essential to ensure the validity of the sampling. Among all the types of sampling used, the discrete flow proportional mode (Néfau et al., 2017) is the most representative of the dynamic and heterogeneous matrix constituted by the wastewater flow. The continuous constant flow mode (Brewer et al., 2016) and the discrete volume proportional mode (van Dyken et al., 2014, 2016) are equivalent, in the sense that they do not weight the sub-samples with respect to flow. They therefore provide a less representative picture than a discrete flow proportional mode, assuming that the criteria of linear variation

of subsample is met for the latter. The result of these sampling techniques is a composite sample, consisting of all sub-samples taken during the sampling period, i.e. 24 hours. In addition, hourly-composite samples were analyzed (Brewer et al., 2016).

These sampling locations sampled wastewater at the outlet of the investigated prisons. Therefore, the wastewater sampled came not only from inmates but also from administrative staff, the health service, and visitors. Although non-inmates use different toilets than inmates, the former's urine ultimately "contaminates" the wastewater stream. It is, therefore, impossible to certify that the illicit consumption detected in prisons is exclusively associated with inmates.

The size of the population producing the wastewater must be known to estimate per capita loads or per capita consumption. These allow comparisons over time and space (European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction, 2016). The advantage of deploying WBE within a prison is the latter's closed environment, in which variations in the contributing population – which comprises inmates, prison staff and visitors – can be followed accurately over time, unlike in a city. Since each entry and exit is recorded in a prison, this data should always be available. The numbers of inmates, staff and visitors are indicated in Table 2. It can be noted that the number of inmates is greater than the number of staff and visitors. Moreover, inmates contribute to wastewater 24 hours a day, instead of the few hours in which staff and visitors contribute. This is of importance, because it means that the relevant urine, i.e. that excreted by prisoners, accounts for a higher proportion in the wastewater of the investigated prisons than does the urine of staff and visitors. Inmate urine should therefore have a greater impact on the concentrations measured in wastewater.

2.2.2. Where to sample?

The prisons whose wastewater was analyzed are located in Spain (Postigo et al., 2011), Australia (van Dyken et al., 2014, 2016) and France (Néfau et al., 2017). One location is unknown (Brewer et al., 2016). The WBE approach was deployed in a single prison (Brewer et al., 2016; van Dyken et al., 2014, 2016; Postigo et al., 2011), or in several (two in this case) national prisons (Néfau et al., 2017). To date, there has been no aggregation of this information at the national or international levels, which is not surprising given the number of studies.

One detail that is missing in all the reports is the type of prison being investigated (see Table 2). This information is essential because, unlike conventional methods that deal with inmates individually, WBE is applied at the level of the prison itself. Prisons are characterized by different prison populations, and different detention and operating regimes. For example, if a prison accommodates pre-trial detention, a very dynamic situation is created in terms of the

composition of the inmate population. If, on the other hand, a prison accommodates long sentences, then the movement of inmates should be more limited.

2.3. The nature of illicit consumption in prison, according to WBE

2.3.1. What is consumed?

The parameters related to the back-calculation procedure used in each of the five studies reviewed and the estimates of the average or the range of consumption in doses per day per 1000 inhabitants (doses/day/1000 inh) is presented in Table 3. Because only estimates in doses per day were available in both studies by van Dyken et al. (2014, 2016), average estimates in doses per day per 1000 inhabitants were computed using the average total daily population (respectively, 494 and 437; Table 2).

Wastewater analysis undertaken in a prison in Catalonia, between June 2008 and January 2009 estimated daily consumption of methadone, alprazolam, ephedrine, cannabis and cocaine (Postigo et al., 2011). Average consumption estimates were respectively 156, 129, 46, 33 and 3 doses/day/1000 inh. Morphine was quantified daily, but the results were not reported. Heroin, MDMA, amphetamine, methamphetamine and LSD were sometimes detected. Cocaethylene was not detected, and this was explained by the absence of alcohol consumption.

A month-long study of the wastewater of a prison (unknown location) housing male inmates age 18 to over 61 years revealed methamphetamine in all samples, unlike cocaine, which was not identified in any sample. Average consumption estimates of methamphetamine were in the range of 6-32 doses/day/1000 inh (Brewer et al., 2016).

Seven parent compounds were assayed over one week in the wastewater of an Australian prison housing male inmates. Codeine and methamphetamine were detected every day, at levels indicating an average daily consumption of 142 and 4 doses/day/1000 inh respectively. Methadone and cannabis were present almost every day (11 and 61 doses/day/1000 inh respectively). Amphetamine and morphine were found irregularly, and ketamine was found in traces. Consumption estimates are not available for these substances (van Dyken et al., 2014).

In the same Australian prison, cocaine, MDMA, MDA, MDEA, mephedrone, methylone and buprenorphine were added to the list of searched products in a second study carried out over two twelve-day campaigns. The results indicated a daily intake of buprenorphine, methadone, codeine, and methamphetamine, and sporadic use of ketamine and methylone. Cocaine, MDMA, MDA, MDEA, cannabis and mephedrone were not quantified. Results for amphetamine and morphine were not reported (van Dyken et al., 2016).

Wastewater from two prisons in France have been investigated. Unfortunately, the information related to the duration of the wastewater campaign is lacking. Cannabis, methadone and oxazepam were detected in all samples. Cocaine was recovered in small quantities in most samples. Consumption estimates indicate that cannabis consumption was the highest, followed by methadone and cocaine. The presence of MDMA and buprenorphine was demonstrated at one of the two sites (2a). The results of cocaethylene analysis were not reported. Heroin, morphine and NPS were not detected (Néfau et al., 2017).

2.4. The extent of illicit consumption in prison using WBE

WBE allows estimation of the extent of illicit consumption within a prison over time, between different prisons, and within the general population. Each of these dimensions is discussed below.

2.4.1. Longitudinal perspective

The sampling campaigns described in the four studies for which information is available were of relatively short duration. Deploying long-term wastewater analysis in a prison would provide a better picture of the situation. Indeed, in the Spanish prison, it is possible to observe weekly trends as well as changes in consumption over the six-month study period (Postigo et al., 2011). Both studies conducted in the same Australian prison over three sampling periods (one week in January 2013, and two 12-day periods between May and June 2013) failed to detect cannabis in the second and third periods. Moreover, between the second and third periods, an increase in methamphetamine and methadone consumption was observed (van Dyken et al., 2014, 2016).

As previously emphasized, WBE provides information on the overall consumption of all people within a prison. Because of that, the subject of the longitudinal study is not an individual, but the structure, the prison itself. If its population changes in composition, or there are changes in consumption, then inevitably differences will be observed. Differences may therefore arise due to the arrival or release of prisoners, or because people who consumed ceased to do so – for example, due to a change in the substitution treatment given to prisoners. Changes in the availability of a substance, or its trafficking, might also be a reason for a substance to appear or disappear.

2.4.2. Comparing prisons

The five prisons that were studied are in Spain, Australia and France; one location is unknown. Although the number of studies remains limited, comparing results may reveal whether a substance appears to be problematic in all prisons or whether, on the contrary, results differ depending on the prison. Unfortunately, there was no compound that was analyzed in all five

studies. It is therefore impossible to say whether consumption of a compound is problematic in all the prisons studied.

However, according to the information gathered by conventional methods, cannabis, methadone, buprenorphine and benzodiazepines have almost always been found in prison wastewater; the exceptions are cannabis in the prison investigated by van Dyken et al. (2016) and buprenorphine in one of the two prisons investigated by Néfau et al. (2017). WBE confirms that cannabis is one of the most consumed illicit drugs in prisons. Cannabis is strictly illicit in prison, while methadone, buprenorphine and benzodiazepines may be prescribed. Ephedrine is also a prescribed drug, which is why it has been found in wastewater. Methadone consumption will depend on the number of inmates under treatment, and possibly on illicit trafficking. It should be noted that cannabis and methadone consumption estimates vary greatly between establishments (see Table 3). Although these results may suggest a great variability in consumption between prison settings, it appears that the methodology used to back-calculate consumption estimates differs between studies. This might explain a portion of the variability observed. In fact, while back-calculation parameters are consistent for cannabis (except the 2.5% excretion rate of THC-COOH compared to 0.6% in other studies), they are not for methadone.

Heroin and its metabolite were assayed in two studies, in Spain and France. In the Spanish prison, it was detected in only two samples. In France, it was never detected in the two penal institutions concerned. At a first glance, it might seem that heroin use is rare in these two prisons. However, the analysis of heroin and its metabolite in wastewater is challenging. Heroin is very rapidly hydrolyzed in the body, and so will be excreted in very small quantities (Baselt, 2011). Moreover, since it is not stable in wastewater, it will not necessarily be detected. Its metabolite, 6-MAM, is also unstable in wastewater (Been et al., 2015). Thus, not finding heroin and its metabolite is not a sign that consumption is absent. It should also be noted that methadone was found in the wastewater of these three prisons. Since methadone is prescribed to inmates as part of heroin-substitution treatment, it is reasonable to assume that heroin might also be consumed, which has been confirmed in the Spanish prison.

In the Australian prison, sporadic consumption of methylone and ketamine, but not mephedrone, was demonstrated. Neither mephedrone nor 4-MEC were detected in the study performed in France. However, MDMA was found in one of the prisons, at the 2a site. These recreational substances, often associated with a festive context, were absent, or only consumed sporadically.

Cocaine was detected in the three prisons where its presence was investigated. Although low, the quantities consumed were consistent between institutions. Amphetamine was found in the two prisons where it was assayed (amphetamine was also assayed by van Dyken et al.,

2016, but the results were not reported). It is, therefore, possible to conclude that stimulant use exists in prisons, even if the presence of amphetamine in wastewater may also be the consequence of methamphetamine consumption.

Methamphetamine was found in the three prisons where it was assayed. In the Australian prison and the prison whose location is unknown, the consumption was significant, whereas it seems to have been marginal in the Spanish prison. An Australian report indicates that methamphetamine use was very high and exceeded that of cannabis among prisoners entering prison in 2015 compared to previous years (Australian Institute of Health and Welfare, 2016). If consumption was very high before entering prison, it seems natural that prisoners will seek to obtain it during detention, which is indeed confirmed by WBE.

The presence of alcohol was investigated indirectly via cocaethylene, but the latter was never detected.

The data reported in Table 3 is associated with some methodological limitations, as the variety of ways the various studies reported results made summarization difficult. For example, Postigo et al. (2011) reported the frequency of detection, the average and maximum concentrations, and the range and average of daily consumption estimates per capita (in doses/day/1000 inh). Van Dyken et al. (2014, 2016) reported absolute loads and daily estimates of consumption in g/day and doses/day. Brewer et al. (2016) reported the frequency of detection, absolute loads, and the range of daily consumption estimates in absolute (doses/day) and per capita (doses/day/1000 inh) terms. Finally, Néfau et al. (2017) provided concentrations and absolute (grams) and per capita (g/1000 inh) consumption estimates. This is only a brief summary, because the information available is not reported in the same way for all compounds within a given study. Table 3 further illustrates that the mass equivalent of a dose is not constant for the same substance from one study to another (methadone and cannabis). To compare different prisons and allow reproduction of the various calculations, it would therefore be useful to standardize data reporting at least within the same study, and systematically report all “source” data, i.e. concentrations and parameters used for back-calculations.

2.4.3. Comparison with the general population

Postigo et al. (2011) compared the consumption of the prison population to that of the general population of Barcelona. Prison use was lower for all investigated products except cannabis and ephedrine. Although inmates are characterized by higher prevalence of use than the general population, the consumption inside the walls itself is not higher than in the outside world.

Moreover, it would be interesting to see if products that are problematic in the general population are also so in prison. For example, and as pointed out above, methamphetamine is a problem in Australia and has been detected in the wastewater of an Australian prison (van Dyken et al., 2014, 2016). We can hypothesize that the exceptional availability of a substance outside a prison will likely influence its indoor consumption.

3. CONVENTIONAL METHODS USED TO ASSESS ILLICIT CONSUMPTION IN PRISON

3.1. Data collection strategies

Conventional methods focus on the consumption by an individual, in this case an inmate. Illicit use is measured directly, through questioning, indirectly, through the analysis of urine samples, or by a combination of the two methods. Direct indicators are cost-effective but take time to implement and create a social desirability bias (Aebi and Jaquier, 2008). Urinalysis is easy to put in place, although it is invasive and easy to tamper with (MacPherson, 2004).

3.1.1. Self-reported survey

Most studies that have assessed alcohol and drug use by inmates are based on self-report surveys. A self-report survey is defined as a survey in which an individual is asked a series of questions to determine whether, during a given time period, he or she committed certain criminal acts (Aebi and Jaquier, 2008). In the prison population, self-report surveys have generally been considered valid (Chaiken and Chaiken, 1982; Nurco et al., 1991). They allow the collection of sociodemographic data and the identification of the substances consumed, the frequency of use, and the prevalence of consumption over the inmate's lifetime or in the month and year preceding the survey. (European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction, 2017; World Health Organization, 2014). They offer good insight into the interviewee's use history. However, they fail to provide information on the current or even recent state of consumption.

3.1.2. Interviews

Interviews have also been used to assess illicit consumption in correctional facilities, but to a lesser extent. They are generally used in order to explore a specific phenomenon, such as the consumption of cannabis (Ritter et al., 2013) and synthetic cannabinoids (Ralphs et al., 2017). Since they are mainly used in the context of qualitative studies, the aim is to understand the phenomenon as it is perceived by those who are involved, i.e. inmates and/or staff, without focusing on data comparability.

3.1.3. Urinalysis

Correctional facilities may also set up mandatory (MDT) or voluntary (VDT) screening tests based on urinalysis. These tests provide information on the recent consumption of a wide range of substances, such as alcohol, illicit drugs, benzodiazepines and anabolic steroids (Borrey et al., 2003; Fraser et al., 2001; Lood et al., 2012). All substances do not have the same detection windows. For example, cannabis consumption is detectable for a long period because its metabolites are stored in fat before being excreted progressively in the urine and feces, unlike heroin, which is metabolized very rapidly and then excreted mainly in the urine (Baselt, 2011). Unlike self-report surveys, urinalysis does not shed light on the history of consumption of the person being screened.

3.1.4. Mixed-methods design

Numerous studies have shown that when a person is questioned about deviant or illegal behavior in the context of a self-report survey, they may voluntarily distort their statements (Brenner et al., 2003; Tourangeau and Yan, 2007). In order to deepen the survey or to assess the accuracy of the given answers, some researches have combined different sources of data through a mixed-method design. For instance, in depth-interviews have been combined with self-report surveys (Borrill et al., 2003; Ritter and Elger, 2013) or urinalysis (DeJong and Wish, 2000; Edgar and O'Donnell, 1998). This was notably the strategy chosen by the (Arrestee Drug Abuse Monitoring II (ADAM II) program between 2007 and 2013, following the Drug Use Forecasting (DUF) (1987 - 1999) and ADAM (2000 - 2003) programs conducted at several sites in the United States with adult male offenders arrested for less than 48 hours (Hunt, 2013). Thanks to the combination of the two techniques, it was observed that the validity of self-report surveys among newly arrested persons varies according to ethnicity, type of substance, age of respondent, time, number of previous arrests, and history of participation in a substitution program (Hunt et al., 2015; Peters et al., 2015). Interestingly, new arrestees tended to under-report drug use while inmates over-reported it (compared to urinalysis), although methodological limitations hinder these comparisons (MacPherson, 2004). However, it is true that one might assume that the social desirability bias is not the same in a new arrestee, a prisoner on remand, and a sentenced prisoner. The first two would have every reason to portray themselves in a better light, while the latter might perceive themselves to be in a position where "there is nothing left to lose". Furthermore, a sentenced inmate might even overstate their illicit use, for example, in order to benefit from a substitution treatment.

3.2. Deploying conventional methods in prison

Deployment of a research strategy encompasses the definition of the sample and of the territorial level to be investigated.

3.2.1. Who is sampled?

The sampling strategy is crucial. Sampling may be probabilistic, meaning that the sample is representative (Niveau and Ritter, 2008; Plourde and Brochu, 2002; Strang et al., 2006), or non-probabilistic (Borrill et al., 2003; Ralphs et al., 2017). Sometimes, the extent of the study requires an adapted sampling procedure, to ensure the representativeness of the sample (Hunt, 2013); this is not necessary in qualitative studies. The need for representativeness depends on the aim of the research, and representativeness thus can be defined in terms of a combination of variables, such as age, sex, ethnicity, and the prisoner's legal status. For instance, the study may target illicit consumptions among sentenced offenders (Stewart, 2009), offenders on remand (Niveau and Ritter, 2008), or both (Borrill et al., 2003). These three factors – age, sex and legal status – were therefore added to Table 2, since they allow the characterization of the population of a specific prison. It appears that legal status has never been reported. Sex was reported in three of the five studies and age in only one study.

Because these factors have proven to be important in conventional methods, they should be provided, in order to have a clear understanding of the results, and make the appropriate comparisons.

3.2.2. Where to sample?

The research strategy can be deployed in a single prison (Borrey et al., 2003; Ritter et al., 2013), or in several prisons on a national level (Fraser et al., 2001; Hunt, 2013; Strang et al., 2006). European and international agencies aggregate this micro-data to provide a prevalence rate for the prison population of the country in question. This allows comparison of the prison populations of different countries, which in turn provides an international perspective (European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction, 2017; Fazel et al., 2006, 2017; United Nations Office On Drugs And Crime, 2015). This vision, which relies on comparisons between countries, is fundamental, because each country is defined by different illicit-drug policies and practices, whether at the repressive, preventive, or harm-reduction level.

3.3. The nature of illicit consumption in prison using conventional methods

There is an over-representation of drug users among those who go to prison (De Maere et al., 2000; World Health Organization, 2014). Moreover, it is worth noting that in Europe, for instance, most prisoners are incarcerated for illicit drug-related offences (Aebi et al., 2016).

3.3.1. What is consumed?

Alcohol consumption among male and female prisoners is highly prevalent (Fazel et al., 2006, 2017; World Health Organization, 2014). A systematic review of 24 international publications describing almost 20,000 prisoners (sentenced and on remand; 64% male; average age = 30.2 years) has shown that at the time of their entry into prison, a quarter exhibited signs of alcohol-use disorder (Fazel et al., 2017). During the last three months of incarceration, 16% of a sample of 317 inmates detained in ten different penal institutions of Québec (three minimum-security institutions, five medium-security penitentiaries, two maximum-security penitentiaries) declared having consumed alcohol (Plourde and Brochu, 2002).

The most consumed illicit drug in prison is cannabis (United Nations Office On Drugs And Crime, 2016). The results clearly show that stimulants such as cocaine, amphetamine and ecstasy are being shunned in favor of cannabis, heroin and tranquilizers (Bullock, 2003). As was previously mentioned, heroin has the “advantage” of having a shorter detection window in blood and urine than cannabis (Dolan et al., 2007). Because heroin is detectable for less time, urinalysis may be negative more rapidly than with any other illicit drug. However, it appears that heroin use is relatively low compared to that of cannabis among inmates (Plourde and Brochu, 2002; United Nations Office On Drugs And Crime, 2016).

Illicit drugs may enter prisons through corrupt staff, during visits, or through the perimeter

wall. Because illicit drugs that are favored inside the walls have calming effects, staff would not be expected to object to them. Consumption of these drugs is, indeed, a way to calm down the prisoners, and alleviate their suffering. However, this seems to be more the case for cannabis than for heroin (Crewe, 2005).

In a Belgian prison, the urine of about 20% of newly arrived inmates contained traces of one or more benzodiazepines and/or illicit drugs. An increase in the number of positive tests for benzodiazepines was observed after 15 days of incarceration (Borrey et al., 2003). Consumption of benzodiazepines is not necessarily illicit: in fact, it may be prescribed.

3.3.2. How is it consumed?

It is useful to know how different substances are administered, as this knowledge may facilitate the implementation of prevention or harm-reduction strategies. Cannabis is normally smoked, but is also sometimes ingested. Heroin, on the other hand, is either smoked, inhaled or injected. Injection is in fact a problem, because it is associated with a high risk of transmission of diseases such as HIV, hepatitis C, etc.

Harm-reduction measures, such as the distribution of clean syringes, exist for intravenously administered drugs. However, the possibility of implementing effective prevention, harm-reduction, and treatment strategies is considerably reduced in prison, and because clean syringes are often not available, inmates are required to exchange and re-use their syringes (European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction, 2012; United Nations Office On Drugs And Crime, 2015). Similarly, opiate-substitution treatment in prisons is not available in all countries (United Nations Office On Drugs And Crime, 2016; Walmsley, 2016). Where available, medical examination is normally carried out at intake, in order to establish which treatments are in progress so that they can be continued or put in place if it appears that the inmate does not follow any treatment and he needs one. In addition, the importance of providing alternative methadone substitution treatment, such as buprenorphine, has been suggested (Dolan et al., 2007). Buprenorphine is indicated particularly in cases of codeine dependence (Mattick et al., 2014).

3.4. The extent of illicit consumption in prison, as measured by conventional methods

3.4.1. Longitudinal perspective

Self-report surveys and interviews focus on the characteristics of users and drug use. The subject of the study is therefore not the prison, but the individual. These studies thus evaluate the evolution of individuals' illicit consumption during incarceration.

Consumption of alcohol and illicit drugs by inmates may begin prior to incarceration or during incarceration. In point of fact, use is highly prevalent prior to incarceration (Liriano and

Ramsay, 2003; Niveau and Ritter, 2008; Strang et al., 2006). It is therefore reasonable to ask whether being incarcerated changes something in relation to drug consumption in the outside world. A study conducted in ten penal institutions in Québec showed that in the three months preceding the study prisoners had changed their consumption in terms of product, frequency, and quantity, in comparison to their pre-incarceration consumption. In fact, 52% of these inmates reported having changed product, 79% reported consuming less often, and 65% reported consuming lower quantities (Plourde and Brochu, 2002). The drastic reduction in consumption of all illicit drugs and alcohol as the incarceration goes on has also been observed by other studies (Borrey et al., 2003; Borrill et al., 2003; Bullock, 2003; Strang et al., 2006). Injection of heroin is observed in prison and is more likely to happen if the inmate had injected recently before prison. Other opiates, cocaine, amphetamines and anabolic steroids are also injected, but to a lesser extent while incarcerated (Calzavara et al., 2003; Strang et al., 2006).

A variety of reasons are cited for consuming illicit drugs : while some inmates admit consuming heroin only while incarcerated in order to forget the harshness of the prison regime, others report that they intend to benefit from their incarceration time to get clean (Crewe, 2005). The vast majority of inmates who begin to consume within prison report consuming in order to relax (Crewe, 2005; Plourde and Brochu, 2002). This is also the case for those who have been consuming before incarceration: their motivation was mainly to forget their worries or have fun (Plourde and Brochu, 2002). Incarceration thus induces changes in the quantities consumed, and may lead to the interruption of consumption, the onset of consumption, or a shift toward the consumption of other, potentially more dangerous, substances.(European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction, 2015). It may also affect the underlying motivations for consumption. Incarceration thus has an impact on consumption by inmates (Plourde and Brochu, 2002). The various European and international reports draw a very clear distinction between illicit drug in the “prior to incarceration” period and in the “while in prison” period. However, the same cannot be stated for alcohol consumption (European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction, 2012, 2017; World Health Organization, 2014). All of these reports mention that alcohol consumption is very prevalent among prisoners, and that it is essential to detect alcohol dependence upon an inmate’s arrival. Bullock (2003) observed that very few prisoners had admitted to drinking alcohol while incarcerated. Why would an inmate not continue to use alcohol while incarcerated? A working hypothesis is that it is easier to smuggle illicit drugs into prison than alcohol, because they are easier to conceal. In other words, inmates who are dependent on alcohol may consider using illicit drugs or opt for consuming adulterated alcohol if they cannot meet their needs once incarcerated (World Health Organization, 2014).

3.4.2. Comparing prisons

Comparing prisons with one another may reveal convergences or divergences in terms of illicit consumption. Convergent results are noted in terms of the substances consumed (mainly

cannabis and heroin) and the persistence of illicit consumption. What differs significantly, however, is the prevalence, which varies greatly between different studies. For instance, the prevalence of the consumption of at least one substance during incarceration has been variously reported to be 56%, 75% and 29% (Bullock, 2003; Edgar and O'Donnell, 1998; Plourde and Brochu, 2002). If these differences reflect a real disparity, whatever its explanatory parameters (characteristics of inmates, type of penal institution), the comparability of results using conventional methods remains challenging.

Because European and international agencies aggregate micro-data, i.e. the results of various studies carried out at a local or national level, their data may be used to illustrate the previous point. The European Monitoring Centre of Drugs and Drug Addiction (EMCDDA) reports ranges of lifetime prevalence of pre-incarceration consumption in various European countries (European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction, 2012). For example, the lifetime prevalence before incarceration for cannabis ranges from 12% (Croatia) to 70% (UK). These figures are derived from studies conducted during different years (2010 and 2005-2006, respectively), using different methods, and on samples of inmates in different prisons and serving sentences of different terms. In addition, the reasons leading to incarceration largely depend on the criminal policy in force in each country. Unless all the factors characterizing the prison population and the type of penal institution are controlled for, comparing prisons with each other appears to be an extremely challenging task.

There is no uniform protocol in Europe for collecting data on illicit drug and alcohol use among prison populations. Differences in consumption between countries suggested by the figures reported by the EMCDDA may reflect a reality, but they are also definitely influenced by heterogeneous collection methodologies (Carpentier et al., 2012). Beyond the scarcity of prevalence studies, the fact that studies are carried out at a local level, in a given prison, renders it difficult to get an overview at the national or international level. Periods of investigation also differ between studies. Moreover, the questionnaires used, the type of population (sex, ethnicity, etc.), the prisoner's legal status (pre-trial detention, sentenced), and the type of prison investigated (detention centers for young offenders, establishments dedicated to short sentences, establishments dedicated to long sentences, etc.) may be different. This necessarily affects the comparability of results (Borrill et al., 2003; Fazel et al., 2017). This problem of comparability has often been highlighted (European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction, 2014a, 2017; Fazel et al., 2017; World Health Organization, 2014).

Aware of this weakness, the EMCDDA thus proposed, in 2014, a standardized European questionnaire on the use of many substances (tobacco, alcohol, illicit drugs, NPS, benzodiazepines, anabolic steroids, etc.) by inmates. The aim was then to develop a guide for the implementation of this questionnaire (European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction, 2014b). Sociodemographic variables such as sex, age, and nationality, and data

related to imprisonment, such as the prisoner's legal status, are included. The questionnaire now distinguishes between consumption of alcohol in the period preceding incarceration and consumption while incarcerated, which was not previously the case. Within each of these periods, the lifetime, last-year, and last-month prevalence, as well as the last-month frequency of use, are assessed. Amphetamine and methamphetamine use are also dissociated, although they are still sometimes confused under the generic name of amphetamines (European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction, 2017). It is interesting to note that the factors that have been shown to affect the comparability between surveys are now considered. In fact, while it is important to keep the international perspective proposed today by European and international agencies, other factors, like sex and legal status, must also be considered. However, no information regarding the quantities consumed is collected. It would be useful to have this information, as it would facilitate confirmation of the previously reported reduction of consumption while incarcerated due to reduced availability (Borrill et al., 2003; Plourde and Brochu, 2002). Moreover, the questionnaire should also mention the type of prison under investigation.

3.4.3. Comparison with the general population

Alcohol consumption among male and female inmates is higher than in the general population (Fazel et al., 2006, 2017; World Health Organization, 2014).

The EMCDDA reports higher lifetime prevalences in the inmate population compared to the general population for cannabis (12-70% vs. 1.6-33%), cocaine (6-53% vs. 0.3-10%), heroin (15-39% vs. less than 1%) and amphetamines (1-45% vs. 0-12%). This implies that the consumption of at least these illicit drugs is higher among inmates, and merits further study (European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction, 2012).

Numerous studies have compared alcohol and illicit drug use by prison and general populations, and the markedly higher consumption by the former group justifies further study. But does this comparison really make sense? It is indeed true that drug users are over-represented among inmates. Thus, comparing the general population to a population already characterized by a high prevalence of alcohol and illicit drug use is biased. What could be improved, however, is the knowledge about the impact of incarceration on the use of alcohol and illicit drugs by inmates. For this purpose, the population that should be used as reference is one that minimizes the aforementioned bias. The most valid population of this type would be a newly incarcerated population, like the one studied in the framework of the DUF, ADAM and ADAM II programs.

4. GENERAL DISCUSSION AND PROSPECTS

WBE is methodologically demanding and interpretation of its results is challenging. However, it has the potential to increase knowledge about illicit consumption that takes place in prison. It is therefore necessary to develop a logical framework for WBE implementations, to ensure its utility in prison settings.

4.1. Potential and pitfalls

Self-report surveys fail to produce a recent, or even current, picture of consumption. Urinalysis is supposed to be more objective than surveys, but it is invasive and may be tampered with to avoid a positive result. WBE compensates for these two disadvantages by providing an almost instantaneous image of consumption as well as being non-invasive. When sampling wastewater of the contributing population, what has been recently consumed is indeed “captured”. As mentioned above, the lifetimes of substances inside the body ranges from several hours to several days or even weeks, making it possible to estimate near-immediate consumption. Moreover, as wastewater sampling is generally carried out over 24 hours in order to capture daily consumption, WBE provides almost real-time information. Finally, sampling the wastewater of the contributing population does not require any contact with the latter, making this method objective, a point that has been repeatedly emphasized (European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction, 2016; Gracia-Lor et al., 2017).

WBE has the potential to inform about trends of illicit use within a prison, by offering daily measures. The nature and stability of illicit consumption can therefore be assessed. Evaluating these temporal changes underlines the principal merit of WBE, which is comparability over time.

WBE also provides consumption estimates, something rarely investigated by self-report surveys and interviews. To this end, as was discussed previously, it is necessary to define the mass equivalent of a dose. For instance, according to Table 3, a dose of cocaine is equivalent to 100 mg and a dose of methamphetamine to 30 mg. But these doses are the doses observed in the general population. Conventional methods have shown that the quantities of illicit drugs consumed decrease during incarceration, because they are less available. Thus, using doses from the general population probably underestimates the actual number of doses consumed in prisons. Surveys or interviews should explore this notion of dose during incarceration.

WBE facilitates comparability not only over time but also between different prisons, i.e. over space. As conventional methods have made clear, comparing different prisons is a very difficult task that must be carried out cautiously. Knowing this, comparison of the results from different studies requires harmonization of the parameters of the back-calculation procedure,

such as the substance used, excretion data, and dose equivalent. Moreover, all “source” data (i.e. daily concentrations and flows), and the parameters used for back-calculation (when no consensus exists about them) must be reported, to allow reproduction of the calculation procedure. Standardizing data reporting is challenging, because consumption may be expressed in absolute or per capita terms, and in grams or number of doses, depending on the purpose of the analysis. However, the same way of reporting data must be used within a single study.

WBE thus has significant potential, but does not reveal the impact of incarceration on consumption by inmates, on individual consumption during incarceration, and on modes of administration. It must therefore be used as a complementary tool, to be triangulated with conventional methods, which provide more granular information on consumption, thanks to its individual approach.

4.2. Triangulation with other indicators

Combining indicators may offer complementary information – but also redundant data. Convergences or divergences in the values obtained may therefore be assessed. Conventional methods and WBE show that substances used for treatment, such as methadone, buprenorphine, and benzodiazepines are consumed. Cannabis is an illicit drug consumed in prison, although prevalence figures and consumption estimates vary widely between different studies. These differences are partly due to methodological issues. Alcohol does not seem to be consumed widely in prisons, like MDMA, ketamine, and methylone, which have been rarely detected, or only detected at very low levels. With regard to divergences, WBE suggests a low but steady consumption of cocaine and methamphetamine. Heroin use has not been confirmed in all the prisons investigated, while conventional methods indicate that heroin consumption is common in prison. More studies must be performed to resolve these discrepancies.

Two studies have combined WBE and conventional methods within a prison, and compared WBE and urinalysis results. Brewer et al. (2016) showed that the occurrence of methamphetamine in wastewater was consistent with the number of urine tests performed on inmates declared positive. Hourly samples were taken for three days to try to link the variation of methamphetamine in the wastewater with visiting hours, but no trend was observed. In the second van Dyken et al. (2016) study, results of WBE were compared to urinalysis data in order to assess the effectiveness of the latter. It appeared that MDT did not detect several substances that were detected with WBE. However, there are several limitations to this comparison: there was a limited number of urine tests and the days in which they were performed did not coincide with the WBE sampling period.

WBE results may also be combined with those from more traditional tools of inquiry, for intelligence purposes. In particular, by comparing the results of wastewater analysis with prescription data, researchers have in fact investigated the presence of illegal trafficking of these substances within prisons. In the first study of van Dyken et al. (2014), methadone prescription was compared with the number of doses estimated via WBE. The results suggest the absence of an illegal traffic in methadone. In the second study by the same authors, consumed quantities of methadone and buprenorphine were estimated and compared to prescribed data. Illegal traffic in buprenorphine within the facility appeared to be greater than that of methadone (van Dyken et al., 2016). In France, methadone consumption estimated from wastewater analysis appeared consistent with prescribed quantities of methadone. The same was observed for buprenorphine at site 2a. In this instance, prescription data and WBE results showed convergence, thus confirming the validity of the WBE results (Néfau et al., 2017).

WBE may also be used to estimate the number of people contributing to wastewater, by analyzing a biomarker, such as ammonia (Been et al., 2014). The advantage of analyzing wastewater from a prison is that there is control over the number of people contributing to the wastewater, unlike in a city. In a prison with inmates serving long sentences, the number of inmates is stable. The variation of the number of people contributing to the wastewater is due to staff or visitors. If the number of people inside the prison is known, it would be possible to compare it to the number of people estimated through WBE, allowing validation of the studied biomarker.

4.3. WBE workflow in prison

Having discussed the potential and limits of WBE and the need to couple it to other indicators, it is now possible to propose a logical framework for an implementation of WBE that produces useful insights into illicit consumption in prisons. The strategy is outlined in Table 4.

The initial results of a WBE program will provide a clear view of what and how much is consumed within a prison. Over the longer term, WBE can be used to monitor temporal variations. Subsequently, inter-prison comparisons may be performed, in order to assess geographical patterns of illicit consumption, at the national, and later, international levels. It must be stated that in future studies, it would be necessary and useful to look for the same compounds that have been investigated in the five studies discussed here, so that the comparison is feasible. Illicit consumption by prison and general populations may then be compared. Once the state of illicit consumption within a prison is well established, other indicators may be analyzed to understand the consumers and the characteristics of their use. Such knowledge would enhance tailored intervention programs that address inmates' specific needs. For example, what should be done in light of the heroin detected in the Spanish prison, and the methamphetamine detected in the Australian prison? Are prevention and harm-

reduction measures set up? Are needle-exchange programs considered where there is intravenous administration? In addition to WBE, other approaches, which go beyond the limitations of the conventional ones, must be imagined and/or implemented. For example, analysis of used syringes would provide another perspective on consumption in prison. However, such a tool relies on the existence of a program of clean-syringe distribution within the prison. This type of analysis would provide an overview of the substances that are being injected and could gather very valuable information that would allow adaptation of prevention and harm-reduction measures. Thus, WBE is a valuable tool that can help to develop and improve health, criminal, social and penitentiary policies and practices, when triangulated with other indicators.

REFERENCES

- Aebi, M.F., and Jaquier, V. (2008). Les sondages de délinquance auto-reportée : origines, fiabilité et validité. *Déviante et Société* 32, 205.
- Aebi, M.F., Tiago, M.M., and Burkhardt, C. (2016). *SPACE I – Council of Europe Annual Penal Statistics: Prison populations. Survey 2015*. (Strasbourg: Council of Europe).
- Australian Institute of Health and Welfare (2016). *Australia's health 2016*. (Canberra: AIHW).
- Baselt, R.C. (2011). *Disposition of Toxic Drugs and Chemical in Man* (Seal Beach: Biomedical Publications).
- Been, F., Rossi, L., Ort, C., Rudaz, S., Delémont, O., and Esseiva, P. (2014). Population Normalization with Ammonium in Wastewater-Based Epidemiology: Application to Illicit Drug Monitoring. *Environmental Science & Technology* 48, 8162–8169.
- Been, F., Benaglia, L., Lucia, S., Gervasoni, J.-P., Esseiva, P., and Delémont, O. (2015). Data triangulation in the context of opioids monitoring via wastewater analyses. *Drug and Alcohol Dependence* 151.
- Borrey, D., Meyer, E., Duchateau, L., Lambert, W., Van Peteghem, C., and De Leenheer, A.P. (2003). Longitudinal study on the prevalence of benzodiazepine (mis) use in a prison: importance of the analytical strategy. *Addiction* 98, 1427–1432.
- Borrill, J., Maden, A., Anthea, M., Weaver, T., Stimson, G., Farrell, M., and Barnes, T. (2003). *Differential substance misuse treatment needs of women, ethnic minorities and young offenders in prison: prevalence of substance misuse and treatment needs* (London, United Kingdom: Home Office).
- Brener, N.D., Billy, J.O., and Grady, W.R. (2003). Assessment of factors affecting the validity of self-reported health-risk behavior among adolescents: evidence from the scientific literature. *Journal of Adolescent Health* 33, 436–457.
- Brewer, A.J., Banta-Green, C.J., Ort, C., Robel, A.E., and Field, J. (2016). Wastewater testing compared with random urinalyses for the surveillance of illicit drug use in prisons. *Drug and Alcohol Review* 35, 133–137.
- Bullock, T. (2003). Changing levels of drug use before, during and after imprisonment. In *Prisoners' Drug Use and Treatment: Seven Research Studies*, (Londres: Malcolm Ramsay).
- Calzavara, L.M., Burchell, A.N., Schlossberg, J., Myers, T., Escobar, M., Wallace, E., Major, C., Strike, C., and Millson, M. (2003). Prior opiate injection and incarceration history predict injection drug use among inmates. *Addiction* 98, 1257–1265.
- Carpentier, C., Royuela, L., Noor, A., and Hedrich, D. (2012). Ten Years of Monitoring Illicit Drug Use in Prison Populations in Europe: Issues and Challenges: Ten Years of Monitoring Illicit Drug Use in Prison Populations in Europe. *The Howard Journal of Criminal Justice* 51, 37–66.
- Chaiken, J.M., and Chaiken, M.R. (1982). *Varieties of criminal behavior* (Santa Monica, CA: The Rand Corporation).
- Crewe, B. (2005). Prisoner society in the era of hard drugs. *Punishment & Society* 7, 457–481.
- De Maere, W., Hariga, F., Bartholeyns, F., and Vanderveken, M. (2000). *SANTE ET USAGE DE*

DROGUES EN MILIEU CARCERAL.

DeJong, C., and Wish, E.D. (2000). Is it advisable to urine test arrestees to assess risk of rearrest? A comparison of self-report and urinalysis-based measures of drug use. *Journal of Drug Issues* 30, 133–146.

Delémont, O., Esseiva, P., Been, F., and Benaglia, L. (2014). La police scientifique au-delà de ses frontières actuelles: la perspective de nouvelles connaissances. *Revue Internationale de Criminologie et de Police Technique et Scientifique* LXVII, 283–304.

Dolan, K., Brentari, C., Stevens, A., and Khoei, E.M. (2007). *Prisons and Drugs: A global review of incarceration, drug use and drug services* (Beckley Foundation London).

van Dyken, E., Thai, P., Lai, F.Y., Ort, C., Prichard, J., Bruno, R., Hall, W., Kirkbride, K.P., and Mueller, J.F. (2014). Monitoring substance use in prisons: Assessing the potential value of wastewater analysis. *Science & Justice* 54, 338–345.

van Dyken, E., Lai, F.Y., Thai, P.K., Ort, C., Bruno, R., Hall, W., Kirkbride, K.P., Mueller, J.F., and Prichard, J. (2016). Challenges and opportunities in using wastewater analysis to measure drug use in a small prison facility: Measuring substance use in prisons. *Drug and Alcohol Review* 35, 138–147.

Edgar, K., and O'Donnell, I. (1998). *Mandatory Drug Testing in Prisons: The Relationship Between MDT and the Level and Nature of Drug Misuse* (London, United Kingdom: Home Office, Research and Statistics Directorate).

European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction (2012). *Prisons and drugs in Europe: The problem and responses* (Luxembourg: Publications Office of the European Union).

European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction (2014a). *Drug use in prison: assessment report* (Luxembourg: Publications Office of the European Union).

European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction (2014b). *European Questionnaire on Drug Use among Prisoners* (Luxembourg: Publications Office of the European Union).

European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction (2015). *Rapport européen sur les drogues* (Luxembourg: Publications Office of the European Union).

European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction (2016). *Assessing illicit drugs in wastewater: Advances in wastewater-based drug epidemiology* (Luxembourg: Publications Office of the European Union).

European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction (2017). *Statistical Bulletin 2017 — drug use in prison* | www.emcdda.europa.eu.

Fazel, S., Bains, P., and Doll, H. (2006). Substance abuse and dependence in prisoners: a systematic review. *Addiction* 101, 181–191.

Fazel, S., Yoon, I.A., and Hayes, A.J. (2017). Substance use disorders in prisoners: an updated systematic review and meta-regression analysis in recently incarcerated men and women: Substance use disorder in prisoners. *Addiction* 112, 1725–1739.

Fraser, A.D., Zámečník, J., Keravel, J., McGrath, L., and Wells, J. (2001). Experience with urine drug testing by the Correctional Service of Canada. *Forensic Science International* 121, 16–22.

Gracia-Lor, E., Castiglioni, S., Bade, R., Been, F., Castrignanò, E., Covaci, A., González-Mariño,

- I., Hapeshi, E., Kasprzyk-Hordern, B., Kinyua, J., et al. (2017). Measuring biomarkers in wastewater as a new source of epidemiological information: Current state and future perspectives. *Environment International* 99, 131–150.
- Hunt, D.E. (2013). *Arrestee Drug Abuse Monitoring II in the United States (Restricted Use)* (Ann Arbor, Michigan: Inter-university Consortium for Political and Social Research).
- Hunt, D.E., Kling, R., Almozlino, Y., Jalbert, S., Chapman, M.T., and Rhodes, W. (2015). Telling the Truth About Drug Use: How Much Does It Matter? *Journal of Drug Issues* 45, 314–329.
- Liriano, S., and Ramsay, M. (2003). Prisoners' drug use before prison and the links with crime. In *Prisoners' Drug Use and Treatment: Seven Research Studies*, (Londres: Malcolm Ramsay).
- Lood, Y., Eklund, A., Garle, M., and Ahlner, J. (2012). Anabolic androgenic steroids in police cases in Sweden 1999–2009. *Forensic Science International* 219, 199–204.
- MacPherson, P. (2004). Le contrôle au hasard d'échantillons d'urine comme moyen de combattre la consommation de drogues en milieu carcéral: un examen des enjeux (Service correctionnel du Canada: Direction de la recherche en toxicomanie).
- Mattick, R.P., Breen, C., Kimber, J., and Davoli, M. (2014). Buprenorphine maintenance versus placebo or methadone maintenance for opioid dependence. In *Cochrane Database of Systematic Reviews*, The Cochrane Collaboration, ed. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd).
- McCall, A.-K., Bade, R., Kinyua, J., Lai, F.Y., Thai, P.K., Covaci, A., Bijlsma, L., van Nuijs, A.L.N., and Ort, C. (2016). Critical review on the stability of illicit drugs in sewers and wastewater samples. *Water Research* 88, 933–947.
- Néfau, T., Sannier, O., Hubert, C., Karolak, S., and Lévi, Y. (2017). L'analyse des drogues dans les eaux usées : outil d'estimation des consommations, application en milieu carcéral.
- Niveau, G., and Ritter, C. (2008). Route of Administration of Illicit Drugs among Remand Prison Entrants. *European Addiction Research* 14, 92–98.
- Nurco, D.N., Hanlon, T.E., and Kinlock, T.W. (1991). Recent research on the relationship between drug use and crime. *Behavioral Sciences and the Law* 9.
- Ort, C., Lawrence, M.G., Rieckermann, J., and Joss, A. (2010). Sampling for Pharmaceuticals and Personal Care Products (PPCPs) and Illicit Drugs in Wastewater Systems: Are Your Conclusions Valid? A Critical Review. *Environmental Science & Technology* 44, 6024–6035.
- Peters, R.H., Kremling, J., and Hunt, E. (2015). Accuracy of Self-Reported Drug Use Among Offenders: Findings From the Arrestee Drug Abuse Monitoring–II Program. *Criminal Justice and Behavior* 42, 623–643.
- Plourde, C., and Brochu, S. (2002). Drugs in prison: a break in the pathway. *Substance Use & Misuse* 37, 47–63.
- Postigo, C., de Alda, M.L., and Barceló, D. (2011). Evaluation of drugs of abuse use and trends in a prison through wastewater analysis. *Environment International* 37, 49–55.
- Ralphs, R., Williams, L., Askew, R., and Norton, A. (2017). Adding Spice to the Porridge: The development of a synthetic cannabinoid market in an English prison. *International Journal of Drug Policy* 40, 57–69.
- Ritter, C., and Elger, B.S. (2013). Second-hand tobacco smoke in prison: Tackling a public

health matter through research. *Public Health* 127, 119–124.

Ritter, C., Broers, B., and Elger, B.S. (2013). Cannabis use in a Swiss male prison: Qualitative study exploring detainees' and staffs' perspectives. *International Journal of Drug Policy* 24, 573–578.

Stewart, D. (2009). Drug use and perceived treatment need among newly sentenced prisoners in England and Wales. *Addiction* 104, 243–247.

Strang, J., Gossop, M., Heuston, J., Green, J., Whiteley, C., and Maden, A. (2006). Persistence of drug use during imprisonment: relationship of drug type, recency of use and severity of dependence to use of heroin, cocaine and amphetamine in prison. *Addiction* 101, 1125–1132.

Tourangeau, R., and Yan, T. (2007). Sensitive questions in surveys. *Psychological Bulletin* 133, 859–883.

United Nations Office On Drugs And Crime (2015). *World Drug Report* (Austria: United Nations publication).

United Nations Office On Drugs And Crime (2016). *World Drug Report* (Austria: United Nations publication).

Walmsley, R. (2016). *World Prison Population List* (London, United Kingdom: Institute for Criminal Policy Research).

World Health Organization (2014). *Prisons and Health* (Copenhagen: WHO).

Group of drug	Compound (parent/metabolite)	Country of the prison and reference													
		Spain (Postigo et al., 2011)		Australia (van Dyken et al., 2014)		n.a. (Brewer et al., 2016)		Australia (van Dyken et al., 2016)		France (1) (Néfaud et al., 2017)		France (2a) ^c (Néfaud et al., 2017)		France (2b) ^c (Néfaud et al., 2017)	
		Searched	Quantified	Searched	Quantified	Searched	Quantified	Searched	Quantified	Searched	Quantified	Searched	Quantified	Searched	Quantified
Cocainics	Cocaine	x	x ^a			x	-	x	-	x	x	x	x	x	x
	<i>Benzoylcegonine</i>	x	x ^a			x	-	x	-	x	x	x	x	x	x
	<i>Cocaeethylene</i>	x	-							x	- ^b	x	- ^b	x	- ^b
ALS (Amphetamine - like compounds)	MDMA (3,4-methylene-dioxy- methamphetamine)	x	x					x	-	x	-	x	x	x	-
	Amphetamine	x	x	x	x			x	- ^b						
	Methamphetamine	x	x	x	x ^a	x	x ^a	x	x						
	MDA (3,4-methylene-dioxy- amphetamine)							x	-						
	MDEA (3,4-methylene-dioxy- ethylamphetamine)							x	-						
	Ephedrine	x	x ^a												
Opioids	Heroin	x	x							x	-	x	-	x	-
	6-MAM (6-monoacetylmorphine)	x	x							x	-	x	-	x	-
	Morphine	x	x ^a	x	x			x	- ^b			x	-	x	-
	Codeine			x	x ^a			x	x ^a						
	Methadone	x	x ^a	x	x			x	x ^a	x	x ^a	x	x ^a	x	x ^a
	EDDP (2-ethylidene-1,5-dimethyl- 3,3-diphenyl-pyrrolidine)	x	x ^a	x	x			x	x ^a	x	x ^a	x	x ^a	x	x ^a
	Buprenorphine							x	x ^a	x	-	x	x	x	-
Cannabinoids	THC	x	x					x	-						
	THC-COOH	x	x ^a	x	x			x	-	x	x ^a	x	x ^a	x	x ^a
	OH-THC	x	-												
Benzodiazepines	Oxazepam									x	x ^a	x	x ^a	x	x ^a
	Alprazolam	x	x												
NPS (new psychoactive substance)	Mephedrone							x	-	x	-	x	-	x	-
	Methylone							x	x						
	4-MEC (4-methyl-N-ethylcathinone)									x	-	x	-	x	-
Other	LSD (Lysergic acid diethylamide)	x	x												
	OH-LSD	x	x												
	Nor-LSD	x	-												
	Ketamine			x	x			x	x						
	Nor-ketamine			x	x			x	x						

		Country of the prison and reference						
		Spain (Postigo et al., 2011)	Australia (van Dyken et al., 2014)	n.a. (Brewer et al., 2016)	Australia (van Dyken et al., 2016)	France (1) (Néfau et al., 2017)	France (2a) ^c (Néfau et al., 2017)	France (2b) ^c (Néfau et al., 2017)
Sampling	Location	Inlet of the STP serving the prison	Sewer draining multiple parts of the prison (excluding female inmates)	Parshall flume at the outlet of the prison	Sewer draining multiple parts of the prison (excluding female inmates)	Sewer at the outlet of the prison	Sewer at the outlet of the building	Sewer at the outlet of the building
	Type	n.a.	Discrete, Volume proportional	Continuous, Constant flow	Discrete, Volume proportional	Discrete, Flow proportional	Discrete, Flow proportional	Discrete, Flow proportional
	Composite	24-h	24-h	24-h and 1-h	24-h	24-h	24-h	24-h
Inmates	Type	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	Sex	n.a.	Male	Male	Male	n.a.	n.a.	n.a.
	Age	n.a.	n.a.	18 – over 61 normally distributed	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	Number	n.a.	376 (in average)	2083	390	n.a.	n.a.	n.a.
	Presence	Yes	Yes	Yes	Yes	n.a.	n.a.	n.a.
Staff	Number	n.a.	90 (in average)	162 per hour (average staff+visitors) Not available for every period sampled	45 (in average)	n.a.	n.a.	n.a.
	Presence	n.a.	Yes	Yes	Yes	n.a.	n.a.	n.a.
Visitors	Number	n.a.	29 (in average)	162 per hour (average staff+visitors) Not available for every period sampled	2	n.a.	n.a.	n.a.
Average total daily population		No details. 3500 persons in total	494	n.a.	437	n.a.	n.a.	n.a.
Type of penal institution		n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

Substance	Parameters	Country of the prison and reference						
		Spain (Postigo et al., 2011)	Australia (van Dyken et al., 2014)	n.a (Brewer et al., 2016)	Australia (van Dyken et al., 2016)	France (1) (Néfau et al., 2017)	France (2a) ^c (Néfau et al., 2017)	France (2b) ^c (Néfau et al., 2017)
Cocaine	Substance used for back-calculation	Benzoyllecgonine		Benzoyllecgonine	Benzoyllecgonine	Benzoyllecgonine	Benzoyllecgonine	Benzoyllecgonine
	Excretion rate [%]	45		n.a	n.a	45	45	45
	Dose [mg]	100		n.a	n.a	n.a	n.a	n.a
	Consumption estimates [doses/day/1000inh]	3		<LOQ	<LOQ	2-4	1-2	2
MDMA	Substance used for back-calculation	MDMA			MDMA	MDMA	MDMA	MDMA
	Excretion rate [%]	26			n.a	65	65	65
	Dose [mg]	100			n.a	n.a	n.a	n.a
	Consumption estimates [doses/day/1000inh]	0.1-1.4			<LOQ	0	n.a (2-8 mg/day)	<LOQ
Amphetamine	Substance used for back-calculation	Amphetamine	Amphetamine		Amphetamine			
	Excretion rate [%]	30	n.a		n.a			
	Dose [mg]	30	n.a		n.a			
	Consumption estimates [doses/day/1000inh]	2.3 (1 sample only)	n.a		n.a			
Methamphetamine	Substance used for back-calculation	Methamphetamine	Methamphetamine	Methamphetamine	Methamphetamine			
	Excretion rate [%]	43	39	n.a	39			
	Dose [mg]	30	30	30	30			
	Consumption estimates [doses/day/1000inh]	0.7-2.2 (2 samples only)	2-8	6-32	2-25			
Ephedrine	Substance used for back-calculation	Ephedrine						
	Excretion rate [%]	75						
	Dose [mg]	25						
	Consumption estimates [doses/day/1000inh]	46						
Heroin	Substance used for back-calculation	6-MAM				Morphine	Morphine	Morphine
	Excretion rate [%]	1.3				42	42	42
	Dose [mg]	30				n.a	n.a	n.a
	Consumption estimates [doses/day/1000inh]	27-120				<LOQ	<LOQ	<LOQ
Codeine	Substance used for back-calculation		Codeine		Codeine			
	Excretion rate [%]		10		10			
	Dose [mg]		100		100			
	Consumption estimates [doses/day/1000inh]		103-182		25-275			

Methadone	Substance used for back-calculation	Methadone	EDDP		EDDP	EDDP	EDDP	EDDP
	Excretion rate [%]	27.5	55		3-55	23	23	23
	Dose [mg]	25	50		53	n.a.	n.a.	n.a.
	Consumption estimates [doses/day/1000inh]	156	6-14		2-18	6-15	18-43	7-16
Buprenorphine	Substance used for back-calculation				Buprénorphine	Buprénorphine	Buprénorphine	Buprénorphine
	Excretion rate [%]				1-5	95	95	95
	Dose [mg]				17	n.a.	n.a.	n.a.
	Consumption estimates [doses/day/1000inh]				32-167	<LOQ	n.a.	<LOQ
Cannabis	Substance used for back-calculation	THC-COOH	THC-COOH			THC-COOH	THC-COOH	THC-COOH
	Excretion rate [%]	2.5	0.6			0.6	0.6	0.6
	Dose [mg]	30	30			34	34	34
	Consumption estimates [doses/day/1000inh]	33	43-91			973-2432	711-1777	1103-2758
Alprazolam	Substance used for back-calculation	Alprazolam						
	Excretion rate [%]	20						
	Dose [mg]	1						
	Consumption estimates [doses/day/1000inh]	129						
Oxazepam	Substance used for back-calculation					Oxazepam	Oxazepam	Oxazepam
	Excretion rate [%]					n.a.	n.a.	n.a.
	Dose [mg]					n.a.	n.a.	n.a.
	Consumption estimates [doses/day/1000inh]					n.a.	n.a.	n.a.
Methylone	Substance used for back-calculation				Methylone			
	Excretion rate [%]				20.3			
	Dose [mg]				100-200			
	Consumption estimates [doses/day/1000inh]				7-11 (1 sample only)			
LSD	Substance used for back-calculation	LSD						
	Excretion rate [%]	<1						
	Dose [mg]	0.25						
	Consumption estimates [doses/day/1000inh]	n.a.						
Ketamine	Substance used for back-calculation		Nor-ketamine		Nor-ketamine			
	Excretion rate [%]		1.6		1.6			
	Dose [mg]		n.a.		60			
	Consumption estimates [doses/day/1000inh]		n.a.		0-5			

Aim	Remark
State of consumption in the prison	<ul style="list-style-type: none"> • Nature of illicit consumption • Monitoring of loads and per capita loads • Consumption estimates and per capita
Longitudinal perspective	Evolution of illicit consumption over time in a given prison
Comparing prison	Similarities and differences of illicit consumption across various prisons (to be performed with caution)
Comparison with the general population	Similarities and differences of illicit consumption within the prison compared to the nearest city
Triangulation with other indicators (conventional methods, prescription data, syringe content analysis)	<ul style="list-style-type: none"> • Confirmation and refutation of results • Characteristics of users and of their use • Production of intelligence • Assessment of prevention, harm reduction and repressive policies

Annexe C

Testing wastewater from a music festival in Switzerland to assess illicit drug use

Lisa Benaglia^{1*}, Robin Udrisard¹, Anne Bannwarth¹, Aline Gibson¹, Frederic Béen², Foon Yin Lai³, Pierre Esseiva¹, Olivier Delémont¹

¹*École des Sciences Criminelles, University of Lausanne, 1015 Lausanne, Switzerland*

²*KWR Watercycle Research Institute, 3433BB Nieuwegein, Netherlands*

³*Department of Aquatic Sciences and Assessment, Swedish University of Agricultural Sciences (SLU), Box 7050, SE-750 07 Uppsala, Sweden*

*Corresponding author. Tel.: +41 21 692 46 39. E-mail address: lisa.benaglia@unil.ch

Abstract

A logical framework for deploying wastewater-based epidemiology (WBE) to monitor illicit drug use within the festive environment was recently proposed (Benaglia, 2019). This article follows the suggested strategy, whose different steps were translated under the following objectives (a) assessing the state of illicit drug consumption during a Swiss music festival using WBE, (b) conducting a longitudinal comparison during two consecutive editions of this festival, (c) comparing the results to those obtained during an Australian festival (d) comparing the results to the consumption that occurs during normal times, (e) comparing the results with the seizures made during the festival. During the 2014 and 2015 editions of a Swiss music festival, WBE highlighted that the most consumed illicit drugs are cannabis, MDMA, cocaine and amphetamine. Means of per capita loads of all illicit drugs are not statistically different between both years of the festival, except for cannabis. The results were then compared to those of an Australian festival (Lai, 2013). This comparison between festivals has confirmed that MDMA is very prevalent in festive settings, as well as amphetamine, although to a lesser extent. Consumption of cocaine (in Switzerland) and methamphetamine (in Australia) are also high, but their use seems to be related to their availability, or in other words, to the country where the festive event takes place. Illicit drug use highlighted during the Swiss festival was subsequently compared to that of the general population of the city where the event takes place, when there is no festival. It appears that MDMA and amphetamine are more consumed during the festival compared to normal times. If MDMA and amphetamine are more consumed during the festival, it might suggest that their availability is increased and therefore, that a market for these substances potentially exists during the festival. This last hypothesis was assessed by consulting police seizures made during the festival in 2015, as these sometimes help to know where arrested persons bought their product. Despite very limited data, it is observed that most of the arrested persons bought these drugs on the site of the festival, which supports the hypothesis of the existence of a market of MDMA and amphetamine during this event. Results validate, on the one hand, WBE as a useful indicator to monitor illicit drug use within the festive context and on the other hand, the strategy of deployment outlined previously. In addition, it suggests the need for a targeted prevention strategy on MDMA and amphetamine during the Swiss festival.

Keywords:

Sewage, epidemiology, nightlife, police seizures, MDMA, illicit drug market

1. Introduction

The concept of wastewater-based epidemiology (WBE) was proposed in 2001 to monitor illicit drug use of the general population [1]. Although it has been widely applied in urban areas since its first application in 2005 [2-3], only few studies have implemented it in music festivals. To the authors' knowledge, two peer-reviewed publications relate indeed the investigation of traces of illicit drugs and NPS in festivals' wastewater [4-5]. However, Causanilles et al. analyzed the wastewater samples with a screening method, so only the identification of the substances was carried out [5]. Hence, only Lai et al. performed a quantitative analysis of illicit drug traces in wastewater samples, providing loads and consumption estimates. During a music festival in Australia, consumption estimates, in descending order, were thus determined as cannabis, MDMA, methamphetamine and finally cocaine [4]. A further discussion of WBE applications in festive settings may be found in Benaglia et al [6].

Illicit drug use in festive settings has been initially studied through self-reported surveys by estimating prevalence of substance use, and through interviews [7]. Lately, drug checking laboratories [8], and analysis of urines contained in portable toilets [9] were also proposed. A study recently illustrated the current state of knowledge on illicit drug use within the festive environment according each of these indicators, including WBE. Interestingly, a convergence of all indicators concerning the nature of illicit drug use in the festive context was highlighted, showing that the most consumed products are cannabis, cocaine, MDMA and amphetamine. Moreover, assessing knowledge from various indicators about illicit drug use within the festive context stressed how WBE complements to other existing indicators. A logical framework for deploying WBE in the festive environment was therefore subsequently proposed so it may provide useful information about the nature and extent of illicit drug use within such environment [6].

The proposed strategy begins with assessing levels of illicit drug use during a festival using WBE. Then, as WBE promotes comparability over time, its potential must be exploited by applying WBE during several editions of a given festival, to evaluate changes in illicit drug use over time. As WBE also promotes comparability through space, the results may then be compared to those obtained during other festivals, to determine whether illicit drug use is similar or different across different festivals. The fourth step of the strategy is then to assess the impact of the festival on illicit drug use by comparing the results obtained during the festival to those obtained during normal times, when there is no festival. This allows to compare illicit drug use between the festive and the general populations, as the former is characterized by prevalence of use well above the latter according self-reported surveys and interviews [7]. Finally, we aim to compare and contextualize the results with existing indicators of illicit consumption during the investigated festival to assess WBE results, or to use WBE results to guide for instance preventive, repressive or harm reduction measures.

This article therefore follows the suggested strategy, whose different steps were translated under the following objectives: (a) to assess the state of illicit drugs consumption at a music festival in Switzerland using WBE, (b) to conduct a longitudinal comparison for two consecutive years, (c) to compare the results to those obtained during the Australian festival investigated by Lai et al. [4], (d) to compare the results to the consumption that occurs during normal times, and eventually (e) to compare the results with the seizures made during the festival, as seizures sometimes reveal where the arrested person bought his product.

2. Material and methods

2.1. Festival setting

The festival under investigation is dedicated to all types of audiences, from families to older people and to people who are fond of electronic music, thanks to its eclectic programming. The event takes place in a rather rural area, in a city of approximately 30'000 inhabitants between 2011 and 2015. Every day, about 50'000 people attend the festival. There is a campsite to welcome spectators. Concerts start every day at mid-afternoon and finish at 2 or 3 am. In 2014, the festival lasted six days and six nights, from Tuesday 22nd to Sunday 27th July. In 2015, the festival celebrated its 40 anniversaries and thus lasted an entire week, from Monday 20th to Sunday 26th July.

2.2. Wastewater sampling

The festival has sanitary facilities directly connected to the STP (sewage treatment plant) of the city where it takes place. In some areas of the campsite, portable toilets are also available. Their emptying is carried out at the STP as well. All festival's wastewater is thus conveyed to this particular STP. Therefore, sampling has been carried out at the inlet of this STP, implying that during the festival, the contributions of both festivalgoers and inhabitants of the city are sampled. This sampling strategy is commonly applied when applying WBE during music festivals [6]. To assess the background consumption of the population of the city, sampling was thus conducted during an "off-festival" week from Wednesday 17th to Tuesday 23rd June 2015. It was assured beforehand that this was a normal week, with no particular event. Sampling was performed during the festival in 2014 from Monday 22st to Sunday 27th July and during the festival in 2015 from Sunday 20th to Sunday 26th July, since the campsite opened one day before the first day of the festival. A storm on Wednesday 22nd 2015 has led to the destruction of the sampling setup at the STP. No sample was therefore acquired this day. See Supporting Information for detailed sampling information and Table S.1 for flowrates.

2.3. Analytical procedure and Data Treatment

The analytical procedure targeted benzoylecgonine (BE, metabolite of cocaine consumption), MDMA, amphetamine (AMPH), methamphetamine (MAMPH), THC-COOH (metabolite of cannabis consumption), heroin (HER), mephedrone, ketamine, LSD, méthylone, MDPV and benzylpiperazine (BZP). The targeted illicit drugs were analyzed and quantified using liquid chromatography coupled to tandem mass spectrometry.

Monte Carlo simulations were performed to consider at best the uncertainties generated by all stages of calculation, as proposed by Jones et al. [10]. Simulations were performed using the R software.

Numerous comparisons were made to characterize the extent of illicit consumption during the Swiss festival. In order to give a statistical value to these comparisons, statistical tests to evaluate the equality or the difference of two means were applied (t-test if the variances of the two data sets are equal or Welch's test if the variances are not equal). The tests are two-sided or one-sided depending on the a priori assumption. A risk of 5% was admitted for all performed tests.

See Supporting Information for detailed methodology about the analytical procedure and the calculation.

2.4. Size of the population

The size of the population has been measured with ammonium as a biomarker [11]. The estimated size of the population during each of the three periods is reported in Supporting Information, Table S.12.

2.5. Seizures

Seizures performed during the 2015 festival were transmitted to the École des Sciences Criminelles. 117 seizures were carried out in total onsite during the seven days of the 2015 festival, of which 80% (93) were cannabis, 9% (11) MDMA, 8% (9) amphetamine and 3% (4) cocaine.

3. Results and discussion

3.1. Results of the analytical procedure and data treatment

Benzoylcegonine, MDMA, amphetamine and THC-COOH were quantified every day during the 2014 and 2015 normal week and both festival years. Heroin has rarely been quantified. Methamphetamine was not detected during the normal week, but was quantified during the 2014 and 2015 festivals. Ketamine has been detected every day, but never quantified (values below LOQ). Mephedrone and methylone were only rarely detected, but never quantified. MDPV, BZP and LSD have never been detected. Results of ketamine, mephedrone, methylone, BZP and LSD are thus not further discussed.

Daily concentration means (abbreviated μ) from the triplicate analysis and their associated standard error (abbreviated SE) for illicit drugs are reported in the Supporting Information, Table S.13. Absolute loads, per capita loads and per capita consumption estimates resulting from the statistical simulations are reported in the Supporting Information, Table S.14, S.15 and S.16 respectively. Only consumption estimates of cocaine from benzoylcegonine, MDMA, amphetamine and methamphetamine were calculated. The results of statistical simulations are reported as the mean calculated from all simulated values. The 2.5th and 97.5th percentiles represent a 95% confidence interval [10].

3.2. State of illicit drug consumption

Figure 1 shows the per capita loads of BE, MDMA, AMPH, MAMPH, THC-COOH and HER during the 2014 festival (note that y-axis is different for each compound). Monday is the opening day of the campsite, the festival starting on Tuesday to finish Sunday. Subsequently, the opening day of the campsite has been excluded from statistical comparisons because it is not strictly speaking a festival day. However, it is represented on the graphs.

An important increase of the per capita loads on Friday and Saturday is observed for BE and MDMA, while it is less pronounced for AMPH. On Sunday, values turn back to what is observed during the weekdays. Per capita loads of MAMPH slightly increase throughout the week, but remain very low. Per capita loads of THC-COOH remain relatively stable throughout the festival week. Heroin was not detected during the 2014 festival.

3.3. Longitudinal perspective

Figure 2 illustrates per capita loads of BE, MDMA, AMPH, MAMPH, THC-COOH and HER during the 2014 and 2015 festivals. In 2015, the campsite opened on Sunday, with the festival starting on Monday and ending the following Sunday. The opening day of the campsite has also been excluded from statistical comparisons, although it is represented on the graphs. Increase of BE, MDMA and AMPH per capita loads is observed during the weekend as during the 2014 festival. Per capita loads of MAMPH are still very low and HER has been detected once. Heroin is not associated to the festive context according self-reported surveys [12-13], which is confirmed with WBE. Heroin will not be further discussed in this manuscript. Per capita loads of THC-COOH vary greatly in 2015. Heavy rain episodes occurred during the 2015 festival, which could have affected stability of THC-COOH in sewers, as it is sensitive to a combination of various environmental factors (pH, temperature, sorption) [14]. Moreover, THC-COOH is a very difficult

compound to analyze in wastewater [15], as shown by bias, extraction yield and matrix effects of the implemented analytical method (See Supporting Information, Table S.6).

Means of per capita loads of BE, MDMA, AMPH, MAMPH and THC-COOH during the 2014 and 2015 festivals were compared using a two-sided t-test or Welch t-test. We have indeed no a priori about the statistical differences that may be observed from one year to another (See Supporting Information, Table S.17 for detailed statistical test results). Means of per capita loads of BE, HER, MDMA, AMPH and MAMPH are thus not significantly different between the 2014 and 2015 festivals. However, mean of per capita loads of THC-COOH are significantly higher during the 2014 festival compared to the 2015 festival. As it was said before, THC-COOH results should be taken with caution during 2015 because of the heavy rain episodes, thus this significant difference is not further discussed. Besides cannabis use, illicit drug use appears therefore to be similar during both 2014 and 2015 festival editions. We could suggest that the same type of population attended the festival both years, or that consumers did not modify their consumption, or that the illicit drug market is stable over the two years, or some combination of the three.

WBE has therefore highlighted the state of illicit drug use during the Swiss festival over time. Stability of cocaine, MDMA and AMPH consumptions is observed. Cannabis use is high. These results are consistent with those of self-reported surveys carried out in festive settings in Switzerland some years ago [12-13].

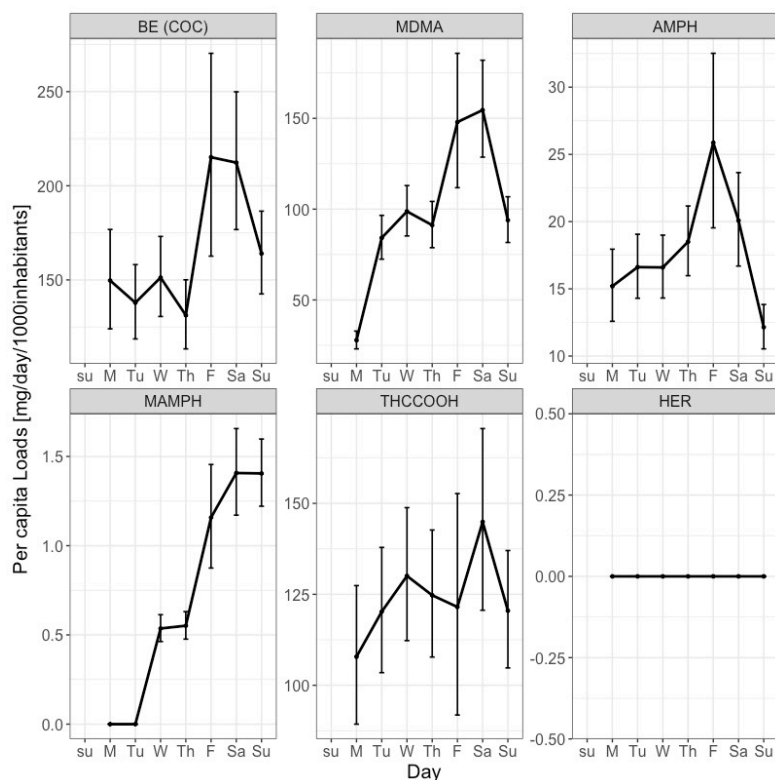


Figure 1 : Weekly pattern of per capita loads during the 2014 Swiss festival

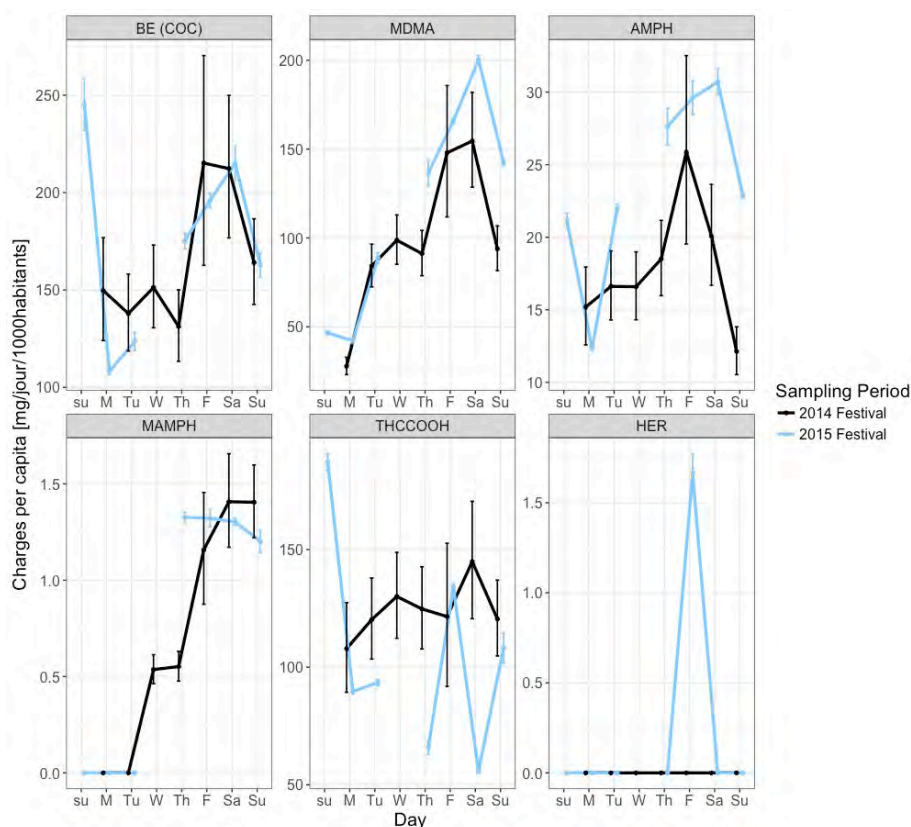


Figure 2: Weekly pattern of per capita loads during the 2014 and 2015 Swiss festivals

3.4. Comparison between festivals

To make this comparison, results from the 2014 Swiss festival were selected since results from the 2015 festival have one missing value on the Wednesday. Concerning the Australian festival, WBE was carried out during the 2010 and 2011 editions [4]. Means of per capita loads between 2010 and 2011 data were not calculated, since methamphetamine use is significantly higher in 2010 compared to 2011. The 2010 Australian festival data was thus selected to compare with the 2014 Swiss festival. This comparison is made for the illicit drugs that are in common between the two festivals, namely BE, MDMA, AMPH, MAMPH and THC-COOH. It is important to mention that the Swiss festival and the Australian festival are two all-public music festivals, i.e. of the same type. Moreover, two similar analytical procedures have been validated by interlaboratory tests for all the compounds further discussed, with the exception of THC-COOH [16]. We thus consider that the data are comparable with each other.

Figure 3 shows per capita loads of BE, MDMA, AMPH, MAMPH, THC-COOH during the 2014 Swiss festival and an Australian festival in 2010 [4]. Dynamic of per capita loads is different between both festivals. Per capita loads increase on the weekend during the Swiss festival to go back to weekdays values on Sunday. However, during the Australian festival, per capita loads increase steadily throughout the festival week to reach their maximum on the last day of the festival. Increase is thus greater on the weekend compared to the increase observed on weekdays.

Differences between the means of per capita loads measured during the two festivals were assessed using two-sided statistical tests. We do not have a priori about the statistical differences that may be observed between Switzerland and Australia. If a statistically significant difference is found, then a one-sided test is performed to assess the direction of the recorded difference (See Supporting Information, Table S.18 for detailed statistical test results).

Means of per capita loads of BE and THC-COOH are significantly higher during the Swiss festival compared to the Australian festival. Mean of per capita loads of MAMPH is significantly lower during the Swiss festival compared to the Australian festival. MAMPH use is very prevalent in Australia [17] which has also been observed with WBE [18]. Presence of MAMPH is observed together with a very low use of cocaine during the Australian festival, while during the Swiss festival, the opposite is observed. In Switzerland, cocaine is of good quality and available at a good price [19]. It is a stimulant of choice, unlike MAMPH, whose consumption is very marginalized and limited to specific Swiss regions [19-20]. Consumption of cannabis is drastically higher during the Swiss festival compared to the Australian festival. Yet, the last year prevalence of people over 14 in Australia was until 2013 higher than in Europe [21]. As it was stressed before, interlaboratory tests have shown that THC-COOH is a very difficult compound to measure in wastewater [16], which has been indeed noted in this study, according to the poor bias and performance measured. The differences observed between the two festivals for THC-COOH are thus not further discussed.

No statistically significant difference is found between means of per capita loads of MDMA and AMPH during the Swiss festival and the Australian festival. Per capita loads of MDMA are very high during both festivals, much more than those of AMPH. While AMPH is a widely-consumed stimulant in the festive context, it does not compete directly with MDMA, which is favored. Self-reported surveys and interviews also illustrate this observation, at the international level [7].

WBE has thus highlighted convergences and divergences in matter of illicit drug use between between two music festivals, of the same, although geographically distant. This comparison confirms that MDMA is very prevalent in festive settings, as well as AMPH to a lesser extent. Consumption of cocaine and MAMPH are also important. However, their use seems conditioned to the country where the festive event takes place. By providing an image of illicit drug use, WBE allows to assess the availability of illicit drugs and thus informs us about the illicit drug market, at the international level.

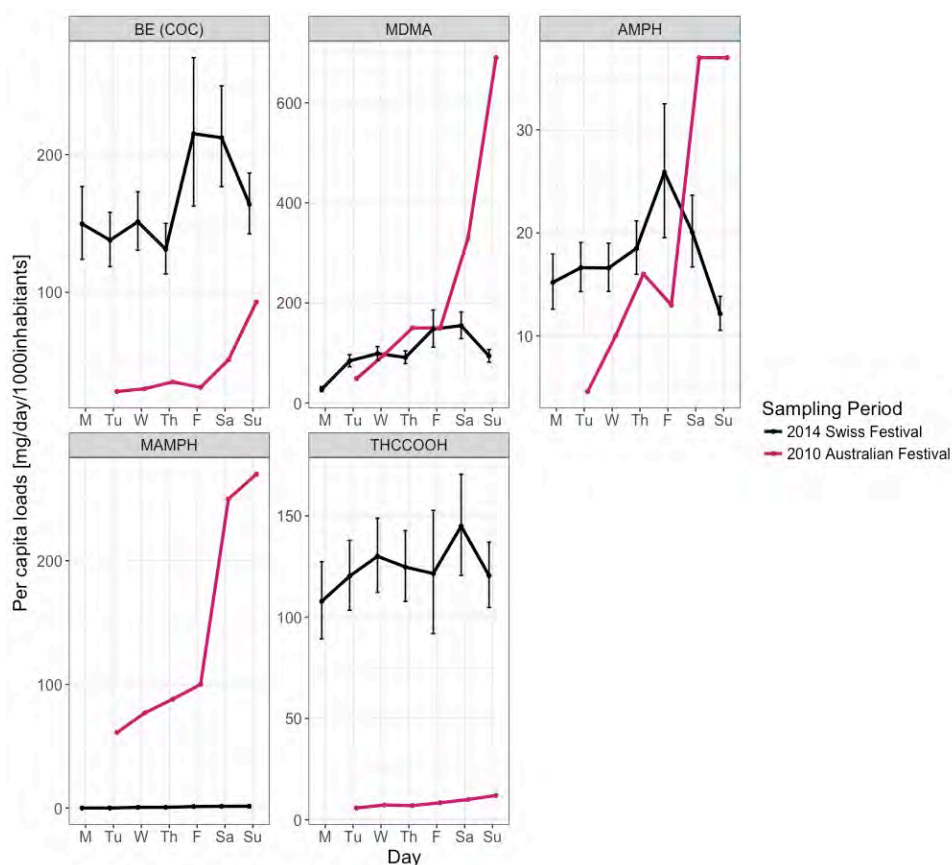


Figure 3: Weekly pattern of per capita loads during the 2014 Swiss festival and a 2010 Australian festival

3.5. Comparison with the general population

Figure 4 illustrates absolute loads of BE, MDMA, AMPH, MAMPH, THC-COOH during the normal week and the 2014 and 2015 festivals. It must be stressed that absolute loads do not consider the size of the population. The impact of the festival on illicit drug use observed during normal times can therefore be assessed.

Differences between means of absolute loads of the normal week and those of the 2014 and 2015 festivals were assessed using one-sided statistical tests. Self-reported surveys and interviews have indeed shown that illicit drug use of the festive population is greater compared to the general population [7] (See Supporting Information, Table S.19 and S.20 for detailed statistical test results). Means of absolute loads of BE, MDMA, AMPH, MAMPH and THC-COOH are significantly superior during the 2014 festival compared to the normal week. The same is observed between the 2015 festival and the normal week. It means that the festival leads to the increase of cocaine, MDMA, AMPH, MAMPH and THC-COOH consumptions in absolute. This observation is particularly robust since it is verified two consecutive years. If the festival does increase illicit drug use, it might be simply because the size of the population contributing to wastewater is larger during the festival. This point may be assessed by considering per capita loads, which take into account the size of the contributing population during each period.

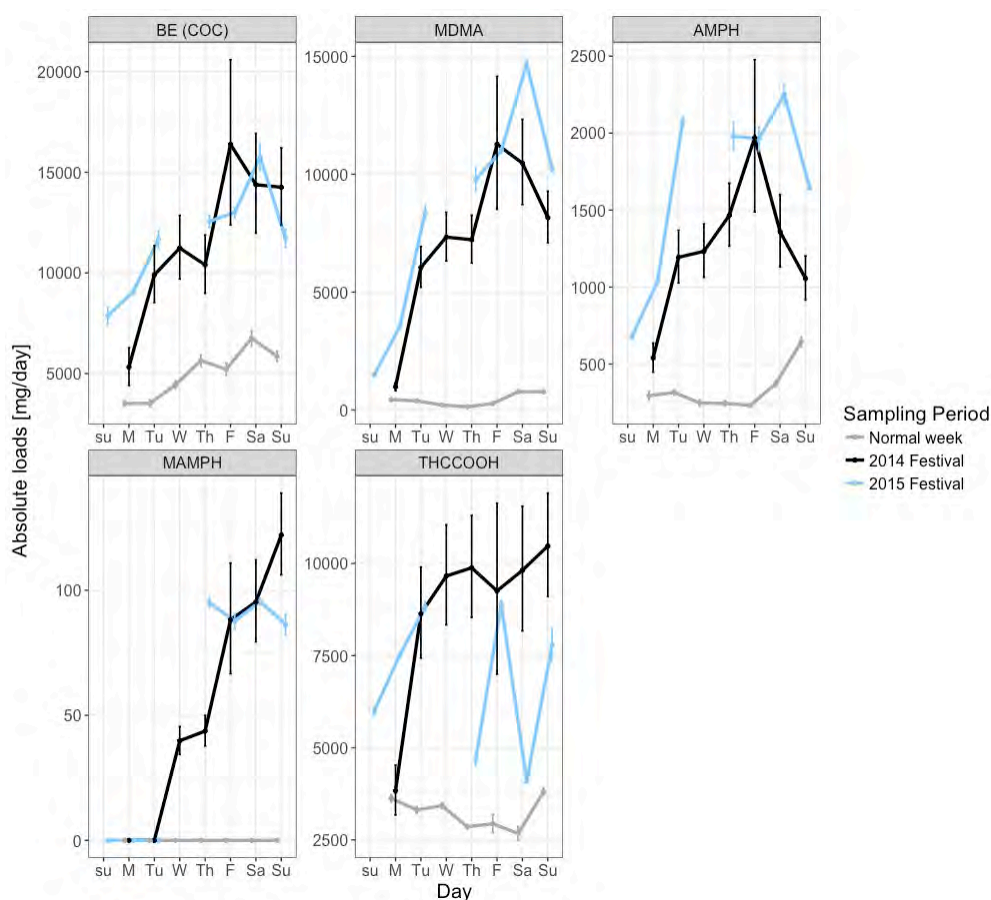


Figure 4 : Weekly pattern of absolute loads during the normal week and the 2014 and 2015 festivals

Figure 5 shows per capita loads of BE, MDMA, AMPH, MAMPH, THC-COOH during the normal week and the 2014 and 2015 festivals. Normalizing by the size of the contributing population brings a very different view when comparing the per capita loads of the normal week to the 2014 and 2015 festivals. Indeed, the values are now for most of the substances of the same order of magnitude between the three different periods of study.

Differences between means of per capita loads of the normal week and those of the 2014 and 2015 festivals were assessed using one-sided statistical tests. We indeed expect illicit drug use of the festive population to be higher compared to the general population (See Supporting Information, Table S.21 and S.22 for detailed statistical test results). No statistically significant difference is observed between mean of per capita loads of BE during the normal week and the 2014 festival. However, means of per capita loads of MDMA, AMPH and MAMPH are significantly higher during the 2014 festival compared to the normal week. The same results are observed between the 2015 festival and the normal week, except for the mean of per capita loads of THC-COOH which are not significantly different between the normal week and the 2015 festival. Results of the statistical tests applied to THC-COOH are not further discussed for the reasons mentioned above. We note, however, that cannabis use is relatively equivalent during the three investigated periods. We assume that it rivals MDMA or cocaine consumptions, either during the normal week or the festival, based on the per capita loads observed. Results of both festival years are discussed jointly below for other illicit drugs. Although cocaine consumption is higher in absolute during the festival, consumption per capita is similar to what is observed during normal times. The increase in the cocaine absolute consumption can thus be explained by the increase in the size of the population during the festival, i.e. an increase in the number of

consumers. However, this is not the case for MDMA, AMPH and MAMPH. The increase in the absolute consumption of these substances can not only be explained by the increase in the number of consumers, since per capita loads are significantly higher during the festival. This increase might therefore be linked to an increase in the quantities consumed per person. This confirms the observations of other indicators that evoke the special status of MDMA within the festive context [6]. To further support this statement, we recall that MDMA per capita loads means do not show a statistically significant difference between the 2014 festival and the Australian festival, which are two geographically distant festive contexts. The same observations can be made for AMPH, except that per capita loads are lower compared to MDMA. Concerning MAMPH, per capita loads are also higher during the festival compared to the normal week, although values are extremely low. Study of the stimulants market in the canton of Vaud has shown that MAMPH consumption is very sparse [19]. According to our results, the city where the Swiss festival takes place does not appear to be affected by the MAMPH niche in normal times, but perhaps a part of this niche is present during the Swiss festival.

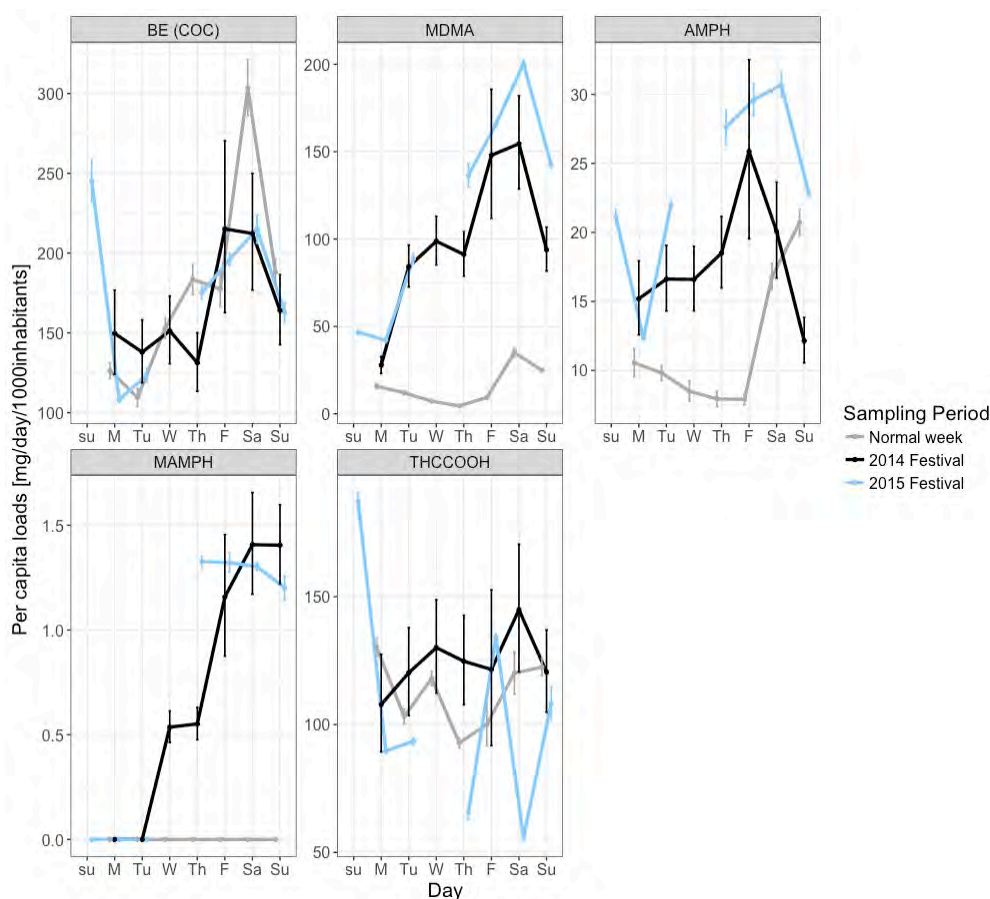


Figure 5: Weekly pattern of per capita loads during the normal week and the 2014 and 2015 festivals

The discussion has so far focused on absolute and per capita loads. In order to better understand the extent of illicit drug use, consumption estimates are discussed below. Figure 6 reports the average consumption estimates per day of cocaine, MDMA, AMPH and MAMPH during the normal week and the 2014 and 2015 festivals. The most consumed illicit drug is MDMA, followed by cocaine, AMPH, and MAMPH during the two years of the festival. During normal times, consumptions are in descending order cocaine, AMPH, MDMA and MAMPH. Once again, MDMA is characterized as the favorite illicit drug within the festive

environment. However, it can be stressed that consumption estimates are very small. Indeed, 0.71 g/day/1000 inhabitants of pure MDMA are consumed during the 2014 festival, which corresponds to approximately 5.5 doses/day/1000inhabitants (considering a dose of MDMA as 130 ± 20 mg).

Illicit Drug	Sampling Period	Per capita consumption estimates (g/day/1000inh)
Cocaine	Normal week	0.62 [0.39-0.87]
	2014 festival	0.59 [0.46-0.75]
	2015 festival	0.57 [0.38-0.74]
MDMA	Normal week	0.10 [0.032-0.20]
	2014 festival	0.72 [0.55-0.99]
	2015 festival	0.83 [0.31-1.3]
AMPH	Normal week	0.040 [0.027-0.065]
	2014 festival	0.063 [0.044-0.086]
	2015 festival	0.083 [0.047-0.11]
MAMPH	Normal week	n.d.
	2014 festival	0.0030 [0.00024-0.0050]
	2015 festival	0.0030 [0-0.0047]

Figure 6 : Per capita consumption estimates of cocaine, MDMA, amphetamine and methamphetamine

MDMA and AMPH confirm their status as favorite illicit drugs within the festive scene. Cocaine is also consumed in the festive environment, but its use is not different from what is usually observed in the city when there is no festival. Concerning MAMPH, use during the festival is higher compared to the use observed usually in the city when there is no festival, but remains very low. WBE thus allows to compare illicit drug use between the festive and the general populations. It highlights that MDMA and AMPH are more consumed during the festival compared to a non-festive context. This could suggest that their availability is increased during this festival.

3.6. Comparison with seizures

MDMA, AMPH and MAMPH are more consumed during the festival compared to the normal week. However, MAMPH consumption estimates are very low. Thus, it is especially MDMA and AMPH which are characterized by higher use during the 2014 and 2015 festivals. If MDMA and AMPH were more consumed during the festival, it is perhaps because their availability is increased during this period, that is, they are sold on site. In other words, is there a market for these substances during the festival?

The existence of a market of MDMA and AMPH during this festival was assessed thanks to police seizures, which would allow to know where the arrested person bought the product. Of the eleven MDMA seizures, nine specify where the pill(s) were purchased. It turns out that seven people bought their pill on the site of the festival, when two bought them in Lausanne. If these people have mostly bought their MDMA on the site of the festival, it means that this illicit drug is available for sale on the spot. The presence of a specific MDMA market during this festive event is therefore plausible. Of the nine seizures of AMPH, six specify where it was purchased. Four people bought AMPH on the site of the festival, one bought it in Geneva and one in the Netherlands. Like MDMA, this could support the hypothesis of an AMPH market on the festival site. In addition, the person who bought the AMPH in the Netherlands was arrested with 44g of substance. She confessed to have bought 500g in the Netherlands and to come to the festival to sell it for the first time to known or unknown people. If this person came to festival to resell AMPH to known people, it means that she knew that consumers would be interested by this product.

As MDMA and AMPH consumptions were not significantly different between the 2014 and 2015 festivals, perhaps the market for these substances during the 2014 festival site was also in place. Unfortunately, this hypothesis cannot be verified because the seizures made that year were not available.

The comparison of WBE results to seizures data thus made it possible to discuss the hypothesis of the existence of a MDMA and AMPH market during the festival. Seizures data are extremely limited, which makes it impossible to test the hypothesis in depth. However, most of the arrested people have bought these drugs on the site of the festival, which supports our hypothesis.

4. Conclusion

WBE highlighted the state of illicit drug use during the 2014 and 2015 festivals, to compare it to an Australian festival and to the general population of the city where the Swiss festival takes place. Finally, WBE results were compared to the seizures made during the 2015 edition, which allowed to study the possibility of the existence of a MDMA and AMPH market during the event. The results obtained are consistent with previous knowledge, namely that the festival is a festival for all audiences, with existing illicit drug use, which is however not excessive. A posteriori, WBE results suggest that a targeted prevention campaign on the consumption of MDMA and AMPH could be put in place during the festival.

The organizers of this festival were reassured by the extent of illicit drug use highlighted using WBE. The transparent approach, i.e., to communicate at each step of the WBE procedure, has been highly appreciated and demonstrates its importance here.

This work thus confirms WBE as an indicator of illicit drug use in the festive context. Furthermore, it validates the strategy of its deployment within a festive environment to monitor illicit drug use [6].

References

- [1] C. G. Daughton, "Illicit drugs in municipal sewage: Proposed new nonintrusive tool to heighten public awareness of societal use of illicit-abused drugs and their potential for ecological consequences," in *Pharmaceuticals and Care Products in the Environment*, C. G. Daughton and T. L. Jones-Lepp, Eds. Washington, DC: American Chemical Society, 2001, pp. 348–364.
- [2] E. Zuccato *et al.*, "Cocaine in surface waters: a new evidence-based tool to monitor community drug abuse," *Environmental health: a global access science source*, vol. 4, no. 14, pp. 10–1186, 2005.
- [3] European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction, *Assessing illicit drugs in wastewater: Advances in wastewater-based drug epidemiology*. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2016.
- [4] F. Y. Lai *et al.*, "Using quantitative wastewater analysis to measure daily usage of conventional and emerging illicit drugs at an annual music festival: Illicit drugs in music event wastewaters," *Drug and Alcohol Review*, vol. 32, no. 6, pp. 594–602, 2013.
- [5] A. Causanilles *et al.*, "Qualitative screening for new psychoactive substances in wastewater collected during a city festival using liquid chromatography coupled to high-resolution mass spectrometry," *Chemosphere*, vol. 184, pp. 1186–1193, 2017.
- [6] L. Benaglia, Frank Zobel, O. Delémont, and P. Esseiva, "Evaluer les consommations de produits psychotropes en milieu festif : à la croisée des indicateurs. Assessing psychotropic use in a festive context: at the crossroads of indicators. In press.," *Revue internationale de criminologie et de police technique et scientifique*, 2019.
- [7] European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction, *Annual report 2006*. Luxembourg:

Publications Office of the European Union, 2006.

- [8] I. P. Spruit, "Monitoring synthetic drug markets, trends, and public health," *Substance Use and Misuse*, vol. 36, no. 1–2, pp. 23–47, 2001.
- [9] J. R. H. Archer, P. I. Dargan, S. C. Hudson, and D. M. Wood, "Analysis of anonymous pooled urine from portable urinals in central London confirms the significant use of novel psychoactive substances," *QJM*, vol. 106, no. 2, pp. 147–152, 2013.
- [10] H. E. Jones, M. Hickman, B. Kasprzyk-Hordern, N. J. Welton, D. R. Baker, and A. E. Ades, "Illicit and pharmaceutical drug consumption estimated via wastewater analysis. Part B: Placing back-calculations in a formal statistical framework," *Science of The Total Environment*, vol. 487, pp. 642–650, 2014.
- [11] L. Benaglia, "Investiguer les consommations illicites au sein du milieu festif et du milieu carcéral grâce à l'analyse des eaux usées," Université de Lausanne, Lausanne, Suisse, 2019.
- [12] L. Chinet, P. Stéphan, F. Zobel, and O. Halfon, "Party drug use in techno nights: A field survey among French-speaking Swiss attendees," *Pharmacology Biochemistry and Behavior*, vol. 86, no. 2, pp. 284–289, 2007.
- [13] P. Tossman, S. Boldt, and M.-D. Tensil, "The Use of Drugs within the Techno Party Scene in European Metropolitan Cities," *European Addiction Research*, vol. 7, no. 1, pp. 2–23, 2001.
- [14] A.-K. McCall *et al.*, "Critical review on the stability of illicit drugs in sewers and wastewater samples," *Water Research*, vol. 88, pp. 933–947, 2016.
- [15] A. Causanilles *et al.*, "Improving wastewater-based epidemiology to estimate cannabis use: focus on the initial aspects of the analytical procedure," *Analytica Chimica Acta*, vol. 988, pp. 27–33, 2017.
- [16] A. L. N. van Nuijs *et al.*, "Multi-year inter-laboratory exercises for the analysis of illicit drugs and metabolites in wastewater: Development of a quality control system," *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, vol. 103, pp. 34–43, Jun. 2018.
- [17] United Nations Office On Drugs And Crime, *World Drug Report. Analysis of drug markets*. Austria: United Nations publication, 2018.
- [18] A. Bannwarth *et al.*, "The use of wastewater analysis in forensic intelligence: drug consumption comparison between Sydney and different European cities," *Forensic Sciences Research*, 2019.
- [19] F. Zobel, P. Esseiva, R. Udrisard, S. Locicero, and S. Samitca, "MARSTUP - Structure du marché des stupéfiants dans le canton de Vaud. Partie 2 : cocaïne et autres stimulants," *Addiction Suisse*. École des Sciences Criminelles - Université de Lausanne. Institut Universitaire de Médecine Sociale et Préventive - Centre Hospitalier Universitaire Vaudois, Lausanne, Suisse, 2018.
- [20] F. Been *et al.*, "Assessing geographical differences in illicit drug consumption—A comparison of results from epidemiological and wastewater data in Germany and Switzerland," *Drug and Alcohol Dependence*, vol. 161, pp. 189–199, 2016.
- [21] United Nations Office On Drugs And Crime, *World Drug Report. Market analysis of plant-based drugs*. Austria: United Nations publication, 2017.

Supporting Information

1. Wastewater sampling

Sampling was performed with an ISCO 6714FR autosampler (Teledyne ISCO, Lincoln, Nebraska, United States) refrigerated at 4°C. The sampler was equipped with a carousel of 24 one-liter propylene bottles, each bottle representing one hour. Each sampling day started at 11am, the opening time of a free access place located right next to the festival entrance. During the normal week, sampling also started at 11am for consistency. 40mL of wastewater were therefore sampled every five minutes from 11h to 10h55 the day after. Once the carousel was transported to the laboratory, a volume proportional to the hourly flow was taken from each bottle. Thus, a flow-proportional daily composite sample was constituted.

2. Flow rates

Sampling Period	Date	Daily Flow (L)	Standard Error (L)
2014 festival	Monday 21.07	8536000	639280
	Tuesday 22.07	7791900	414060
	Wednesday 23.07	7917900	407477
	Thursday 24.07	7806900	397305
	Friday 25.07	10463400	1226990
	Saturday 26.07	9317500	674143
	Sunday 27.07	8471000	395692
Normal week 2015	Wednesday 17.06	7090000	10583
	Thursday 18.06	7347000	11597
	Friday 19.06	6521000	10295
	Saturday 20.06	5771000	10241
	Sunday 21.06	6897000	11440
	Monday 22.06	7581000	20569
	Tuesday 23.06	7057000	11907
2015 festival	Sunday 19.07	6713000	10632
	Monday 20.07	7843000	19561
	Tuesday 21.07	8238000	10617
	Thursday 23.07	8441000	8896
	Friday 24.07	9012000	15765
	Saturday 25.07	7206000	8776
	Sunday 26.07	8327000	15722

Table S.1 : Daily flow rates

3. Standards and chemicals

Standards of benzoylecgonine (BE), heroin (HER), MDMA, amphetamine (AMPH), methamphetamine (MAMPH), THC-COOH, mephedrone, methylone, benzylpiperazine (BZP), LSD, methylenedioxypropylvalerone (MDPV) as 1 mg.mL⁻¹ solutions and their deuterated analogues (COC-d₃, BE-d₃, HER-d₃, 6MAM-d₃, MDMA-d₃, AMPH-d₃, MAMPH-d₅, THC-COOH-d₃, MEPH-d₃, methylone-d₃, BZP-d₇, LSD-d₃) as 0.1 mg.mL⁻¹ solutions in acetonitrile, ethanol or methanol were purchased from Lipomed (Arlesheim, Switzerland). HMMA-d₃ was purchased from ReseaChem (Burgdorf, Switzerland) as a powder, further reconstituted as 0.1 mg.mL⁻¹ solution in methanol, and MDPV-d₈ was purchased from LGC Standards (Wesel, Germany) as 0.1 mg.mL⁻¹ solution in methanol. Ketamine and ketamine-d₄ were purchased respectively as 1 and 0.1 mg/mL⁻¹ solutions in methanol from Sigma-Aldrich (Buchs, Switzerland).

A stock solution of **classic illicit drugs (BE, HER, MDMA, AMPH, MAMPH, THC-COOH)** and a stock solution of their deuterated analogs at 1 µg/mL were prepared in methanol and stored in the freezer. Before each calibration curve, working solutions of 100 and 10 ng/mL were freshly prepared as well as a deuterated solution of 20 ng/mL, all in water + 0.1% formic acid: methanol (90: 10 v: v).

A stock solution of **other illicit drugs (mephedrone, methylone, BZP, MDPV, LSD, ketamine)** at 5 µg/mL and a stock solution of their deuterated analogs at 0.1 µg/mL were prepared in methanol and kept in the freezer. Before each calibration curve, working solutions of 50 and 5 ng/mL were freshly prepared

as well as a deuterated solution of 8 ng/mL, all in water + 0.1% formic acid: methanol + 0.1% formic acid (90:10 v: v).

Water LC-MS Ultra Chromasolv™, water with 0.1% formic acid LC-MS Ultra Chromasolv™ and methanol LC-MS Ultra Chromasolv™, ammonium hydroxyde (25%) and hydrochloric acid (37%) were high purity grade and purchased from Sigma-Aldrich (Buchs, Switzerland). Evian water was used as clean water matrix.

4. Analytical procedure

4.1. Pretreatment

After the composite sample prepared, it is vacuum filtered through a Buchner funnel using a 0.7µm GF / F glass microfiber filter (Whatman, Kent, UK) to remove suspended particles. The ammonium measurement is carried out at this time according to a further discussed procedure. The sample is then adjusted to pH 2 using 37% HCl. Once filtered and acidified, 150 mL of sample is transferred in a bottle. At this point, each sample is spiked with the deuterated stock solution of classic illicit drugs at a concentration of 250 ng/L and with the deuterated stock solution of other illicit drugs at a concentration of 16.7 ng/L. In case the extraction could not be carried out immediately, the sample was kept frozen at -22°C.

4.2. Solid Phase Extraction (SPE)

The SPE procedure is entirely performed using the GX-274 ASPEC (Gilson, Middleton, Wisconsin, USA) on Oasis MCX cartridges (3mL, 60mgm 30 µm) (Waters Milford, Massachusetts, United States). Table S.2 lists all parameters related to the extraction and elution steps. 100 mL of sample is extracted. After drying, the cartridge is stored in the freezer in aluminum if the elution procedure could not be carried out immediately.

Step	Parameters	Flow rate
Conditionning	4 mL methanol	1 mL/mn
Conditionning	6 mL acidified milli-Q	1 mL/mn
Extraction	100 mL sample	5 mL/mn
Drying	20 mn	
Elution	2.5 mL methanol	1 mL/mn
Elution	2.5 mL basified methanol with 5% ammonium hydroxyde	1 mL/mn

Table S.2 : SPE parameters

The final eluate is 5mL. 500 µl of this eluate are placed in a vial and evaporated to dryness under a nitrogen stream. A second vial is prepared in the same way and kept in the freezer for later analysis. The first vial is reconstituted in 1 mL of injection solvent (water + 0.1% formic acid: methanol (90:10)). This vial is analyzed for the research of classic illicit drugs. In order to obtain a better sensitivity for the analysis of other illicit drugs, 3mL of the eluate are placed in a third vial (twice 1.5 ml) and evaporated to dryness. This third vial is reconstituted in 500 µl of injection solvent (water + 0.1% formic acid: methanol + 0.1% formic acid (90:10)) and is analyzed for other illicit drugs.

4.3. Analytical method

Two distinct analytical methods have been developed: one for classic illicit drugs and one for other illicit drugs. The method for classic illicit drugs was implemented first and was validated by inter-laboratory tests [1]. The “other illicit drugs” method has been developed subsequently, in order to be more flexible because it partially targets NPS compounds. It is therefore possible to add compounds depending on the emergence of new substances.

The targeted illicit drugs were analyzed and quantified using liquid chromatography (Agilent 1290, California, United States) coupled to tandem mass spectrometry (QTRAP 5500, Ontario, Canada). The

chromatographic separation is carried out at 50°C. on a Kinetex Core Shell C18 Biphenyl column, 100 mm × 2.1 mm, with a particle size of 2.6µm (Phenomenex, Torrance, California, United States). The interface used is an ESI probe and the acquisition is performed in MRM mode. Two transitions per analyte and one for its deuterated analog are selected [2-3].

The validation of each method was carried out during three successive days. A calibration curve is prepared daily as well as intermediate controls prepared in Evian water. Evian procedure blanks and wastewater doped with deuterated solutions before or after extraction are also prepared to evaluate extraction yields and matrix effects. Each analysis is done in triplicate. The performance of each method is evaluated by estimating linearity, intermediate precision, bias (or systematic error), extraction yields, and matrix effect. Linearity (R^2), intermediate precision and bias are evaluated on the basis of controls prepared in Evian water every day. The set of compounds follows a quadratic response weighted on 1/x. Intermediate precision and bias were calculated by the ANOVA approach for each control value. Extraction yields in Evian water and in wastewater are calculated as the ratio between the area of the deuterated standard in the matrix under study doped before extraction, and that in the doped matrix under study after extraction, the latter corresponding to a 100% extraction yield [4]. Matrix effects in Evian water and in wastewater are evaluated by calculating the ratio between the area of the deuterated standard prepared in solvent and that in the matrix under study doped after extraction. At this ratio is then subtracted the value of 100%. The total should ideally be equivalent to 0%. In case of ionic suppression, then the answer is negative, in case of ionic increase, then the answer is positive. Means of extraction yields and matrix effects of the three controls were calculated for each substance. An arbitrary quantification limit (LOQ) was determined at 0.1 ng/mL for all compounds (equivalent to 10 ng/L for conventional narcotics and 0.83 ng/L for NPS).

4.3.1. Classic illicit drugs

The mobile phase consists of A: water + 0.1% formic acid and B: methanol. The gradient and source parameters applied to the positive and negative modes are reported in Table S.3 and S.4. The micrometer screw is positioned at 5cm, default value. Parameters related to the compounds, analyzed in positive or negative modes, are reported in Table S.5. Only THC-COOH and its deuterated analogue were analyzed in negative mode, all the other compounds were analyzed in positive mode.

Time (mn)	Flowrate (µL/mn)	A%	B%
0	400	90	10
0.5	400	90	10
7	400	5	95
7.6	400	5	95
7.61	400	90	10
13.3	400	90	10

Table S.3: Gradient for the classic illicit drugs method

Parameter	Positive	Negative
Curtain gas (ua)	Nitrogen	30
Collision gas	Nitrogen	Medium
IonSpray Voltage (V)	3000	-2500
Temperature (°C)	650	
Ion Source Gas 1 (nebulizer) (ua)	Air	70
Ion Source Gas 2 (auxiliary) (ua)	Air	70
Entrance Potential (V)	10	-10
Collision Cell Exit Potential (V)	13	-16

Table S.4: Source parameters for the classic illicit drugs method

Mass Q1 (Da)	Mass Q3 (Da)	Retention Time (mn)	Transition Name	Collision Energy (eV)	Declustering Potential (V)
136.1	91.1	2.54	AMPH.1	24	29
136.1	119.1	2.54	AMPH.2	12	29
150.1	119.1	2.95	MAMPH.1	14	38
150.1	65	2.95	MAMPH.2	53	38
194.1	163.1	3.25	MDMA.1	17	40
194.1	105.1	3.25	MDMA.2	32	40
290.1	168.1	4.11	BE.1	25	60
290.1	77.1	4.11	BE.2	75	60
370.1	165.1	4.27	HER.1	61	60
370.1	268.1	4.27	HER.2	37	60
304.1	82.2	4.41	COC.1	36	60
304.1	105.1	4.41	COC.2	45	60
139.1	92.1	2.53	IS AMPH-d3	23	34
155.1	92	2.93	IS MAMPH-d5	29	47
197.1	163.1	3.24	IS MDMA-d3	16	41
293.1	171.1	4.08	IS BE-d3	26	62
373.1	271.1	4.24	IS HER-d3	38	65
343.2	299.3	7.2	THCCOOH.1	-28	-46
343.2	245.1	7.2	THCCOOH.2	-35	-46
346.1	302.2	7.18	IS THCCOOH-d3	-40	-46

Table S.5: Acquisition parameters for the classic illicit drugs method

The classic illicit drugs calibration curve consists of five levels, 0.1, 1, 5, 10, 15 ng/mL (equivalent to 10, 100, 500, 1000 and 1500 ng/L with the extraction method developed) with deuterated standards added at a fixed concentration of 2.5 ng/mL (equivalent to 250 ng/L). Controls are prepared at 0.5, 2.5 and 12.5 ng/mL (equivalent to 50, 250 and 1250 ng/L). Validation results are reported in Table S.6.

Illicit drug	Linearity R ²		Intermediate precision RSD%			Bias %			Extraction yield in Evian %		Extraction yield in wastewater %		Matrix effect in Evian %		Matrix effect in wastewater %	
	μ	SD	QC1	QC2	QC3	QC1	QC2	QC3	μ	SD	μ	SD	μ	SD	μ	SD
AMPH	0.99993	0.00003	4.21%	3.70%	3.22%	1.56%	-4.78%	-2.24%	98.2%	4.46%	95.0%	3.99%	-29.9%	12.0%	-25.4%	11.0%
MAMPH	0.99986	0.00007	3.52%	3.88%	3.75%	-6.54%	-4.54%	-1.24%	96.5%	7.16%	93.3%	4.18%	-20.8%	3.81%	-9.6%	1.93%
MDMA	0.99992	0.00005	3.63%	4.19%	3.42%	-3.79%	-6.45%	-2.02%	96.7%	10.5%	93.4%	3.45%	-25.7%	7.30%	-14.1%	3.10%
BE	0.99990	0.00006	3.81%	5.74%	4.90%	-5.21%	-5.65%	-2.69%	97.3%	8.24%	95.6%	2.22%	-11.1%	10.4%	-10.0%	6.60%
HER	0.99978	0.00013	7.56%	4.41%	4.00%	-0.355%	-4.14%	-0.275%	25.7%	5.68%	45.5%	8.50%	-28.1%	15.4%	-24.5%	14.4%
MET	0.99991	0.00004	3.97%	5.68%	2.72%	-3.00%	-5.15%	0.297%	92.0%	12.9%	98.0%	4.50%	-30.7%	13.0%	-18.7%	3.22%
THC-COOH	0.99932	0.00044	7.55%	8.32%	11.6%	45.9%	20.9%	38.7%	9.5%	3.57%	18.9%	2.27%	-57.0%	12.2%	-53.4%	6.86%

Table S.6: Validation criteria

4.3.2. Other illicit drugs

The mobile phase consists of A: water + 0.1% formic acid and B: methanol + 0.1% formic acid. The gradient and source parameters are reported in Table S.7 and S.8. The micrometer screw is positioned at 5cm, default value. All source parameters were determined by experimental design. Details of the adopted experimental design and the results are not presented as part of this article, as the approaches were the subject of collaborative work falling outside the scope of this study. This approach has shown that temperature, gas 1 and spray voltage are the most influential source parameters to favor the sensitivity of the analysis. Parameters related to the compounds are reported in Table S.9. All compounds were analyzed in positive mode.

Time (mn)	Flowrate (μL/mn)	A%	B%
0	400	85	15
3	400	53	47
5.50	400	47	53
5.60	400	5	95
7.50	400	5	95
7.60	400	85	15
13.40	400	85	15

Table S.7: Gradient for the other illicit drugs method

Parameters	Positive
Curtain gas (ua)	Nitrogen 20
Collision gas	Nitrogen Medium
IonSpray Voltage (V)	2000
Temperature (°C)	650
Ion Source Gas 1 (nebulizer) (ua)	Air 40
Ion Source Gas 2 (auxiliary) (ua)	Air 70
Entrance Potential (V)	10
Collision Cell Exit Potential (V)	10
Declustering Potential (V)	80

Table S.8: Source parameters for the other illicit drugs method

Mass Q1 (Da)	Mass Q3 (Da)	Retention Time (mn)	Transition Name	Collision Energy (eV)
177.1	91.1	1.15	BZP.1	31
177.1	65	1.15	BZP.2	63
208.1	160.1	2.42	Methylone.1	24
208.1	132.1	2.42	Methylone.2	37
178.1	145.1	2.88	MEPH.1	28
178.1	119.2	2.88	MEPH.2	28
238.1	125.1	3.69	KET.1	36
238.1	207.1	3.69	KET.2	20
276.2	126.2	4.15	MDPV.1	36
276.2	135	4.15	MDPV.2	38
324.2	223.3	4.47	LSD.1	31
324.2	208.1	4.47	LSD.2	37
184.1	70.1	1.05	IS.BZP-d7	63
211.1	163.1	2.40	IS Methylone-d3	25
181.1	148.1	2.86	IS MEPH-d3	30
242.2	129	3.66	IS KET-d4	40
284.2	134.2	4.11	IS MDPV-d8	35
327.2	226.2	4.45	IS LSD-d3	31

Table S 9: Acquisition parameters for the other illicit drugs method

The other illicit drugs calibration curve consists of five levels, 0.1, 1, 3, 6, 10 ng/mL (equivalent to 0.83, 8.3, 25, 50 and 83 ng/L with the extraction method developed) with the standards deuterated added at a fixed concentration of 2 ng/mL (equivalent to 16.7 ng / L). Controls are prepared at 0.5, 2 and 8 ng/mL (equivalent to 4.2, 16.7 and 66.7 ng/L). The validation results are reported in Table S.10.

Illicit drug	Linearity R ²		Intermediate precision RSD%			Biais %			Extraction yield in Evian %		Extraction yield in wastewater %		Matrix effect in Evian %		Matrix effect in wastewater %	
	μ	SD	QC1	QC2	QC3	QC1	QC2	QC3	μ	SD	QC1	QC2	QC3	QC1	QC2	SD
BZP	0.99972	0.00017	37.40%	14.84%	10.43%	-12.20%	5.47%	5.95%	63%	12%	91%	9%	-49%	17%	-81%	2%
Methylone	0.99982	0.00017	3.44%	3.03%	4.78%	4.31%	1.13%	4.33%	76%	7%	86%	5%	-16%	9%	-77%	3%
Mephedrone	0.99991	0.00011	5.17%	3.61%	5.90%	4.53%	1.26%	4.21%	76%	10%	83%	4%	-16%	8%	-60%	3%
Ketamine	0.99980	0.00018	1.44%	0.92%	4.08%	1.88%	-3.05%	0.69%	83%	7%	85%	7%	-15%	11%	-68%	3%
MDPV	0.99984	0.00020	2.13%	3.16%	7.56%	1.38%	-1.01%	2.38%	75%	6%	85%	7%	-25%	12%	-73%	2%
LSD	0.99978	0.00006	5.53%	3.92%	4.43%	-5.80%	-7.02%	-9.29%	61%	3%	75%	9%	-18%	23%	-59%	5%

Table S.10: Validation criteria

5. Measuring the size of population

Ammonium measurement was carried out using a HACH Pocket Colorimeter II photometer (Hach, Loveland, Colorado, USA). The daily composite sample is filtered before taking the measurement to prevent it from being disturbed by the presence of suspended particulate matter. A portion of the wastewater sample is placed in a LCK 303 (Hach) pan for measuring the ammonium concentration between 2 and 47 mg/L. If the result is above this range, then the sample is diluted. The measurement is carried out three times. By multiplying it to the daily flow rate, ammonium loads are obtained in grams per day and are reported in Table S.11.

Sampling Period	Date	Daily Flow (L)	Daily ammonium concentration (mg/L)	Ammonium Loads (g/day)
2014 festival	Monday 21.07	8536000	33.72	287834
	Tuesday 22.07	7791900	46.52	362477
	Wednesday 23.07	7917900	47.34	374814
	Thursday 24.07	7806900	51.22	399845
	Friday 25.07	10463400	36.74	384416
	Saturday 26.07	9317500	36.69	341886
	Sunday 27.07	8471000	51.78	438661
Normal week 2015	Wednesday 17.06	7090000	33.16	235122
	Thursday 18.06	7347000	33.91	249118
	Friday 19.06	6521000	36.50	237984
	Saturday 20.06	5771000	31.22	180171
	Sunday 21.06	6897000	36.52	251878
	Monday 22.06	7581000	29.74	225478
	Tuesday 23.06	7057000	36.89	260297
2015 festival	Sunday 19.07	6713000	38.73	259994
	Monday 20.07	7843000	44.12	346014
	Tuesday 21.07	8238000	47.36	390152
	Thursday 23.07	8441000	35.08	296068
	Friday 24.07	9012000	30.41	274010
	Saturday 25.07	7206000	42.03	302832
	Sunday 26.07	8327000	35.67	296982

Table S.11: Daily ammonium loads

It is then possible, thanks to the ammonium population equivalent, to calculate the size of the population that contributed to the wastewater for 24 hours. The ammonium population equivalent used during the normal week is 8.1 g/day/inhabitant. During the 2014 and 2015 festivals, the population equivalent are respectively of 5.0 and 4.1 g/day/inhabitant [5]. The estimated size of the population are reported in Table S.12.

Sampling Period	Date	Size of the population contributing to the STP of Nyon (inhabitants)
2014 festival	Monday 21.07	35535
	Tuesday 22.07	71827
	Wednesday 23.07	74272
	Thursday 24.07	79232
	Friday 25.07	76175
	Saturday 26.07	67747
	Sunday 27.07	86924
Normal week 2015	Wednesday 17.06	27837
	Thursday 18.06	32135
	Friday 19.06	29027
	Saturday 20.06	30755
	Sunday 21.06	29381
	Monday 22.06	22243
	Tuesday 23.06	31096
2015 festival	Sunday 19.07	32098
	Monday 20.07	83781
	Tuesday 21.07	94468
	Thursday 23.07	71687
	Friday 24.07	66346
	Saturday 25.07	73325
	Sunday 26.07	71909

Table S.12: Estimated size of the population

6. Data treatment

Monte Carlo simulations were performed to consider at best the uncertainties generated by all stages of calculation, as proposed by Jones et al [6]. Parameters used for simulations were taken from a previous work [7]. To summarize, the concentrations and flow rates follow a normal distribution (mean, variance) and the excretion data of the compounds a beta distribution (a, b). The parameters a and b are determined from the averages and variances of the excretion values that may be found in the same article [7].

Daily concentration means (abbreviated μ) from the triplicate analysis and their associated standard error (abbreviated SE) for illicit drugs are reported in Table S.13. Absolute loads, per capita loads and per capita consumption estimates resulting from the statistical simulations are reported in Table S.14, S.15 and S.16 respectively. Only consumption estimates of cocaine from benzoylecgonine, MDMA, amphetamine and methamphetamine were calculated. The results of statistical simulations are reported as the mean calculated from all simulated values. The 2.5th and 97.5th percentiles represent a 95% confidence interval [6].

Period of sampling	Date	COC		BE		HER		MDMA		AMPH		MAMPH		THCCOOH	
		μ (ng/L)	SE (ng/L)	μ (ng/L)	SE (ng/L)	μ (ng/L)	SE (ng/L)	μ (ng/L)	SE (ng/L)	μ (ng/L)	SE (ng/L)	μ (ng/L)	SE (ng/L)	μ (ng/L)	SE (ng/L)
festival 2014	Monday 21.07	230	11.5	623	31.2	n.d.	n.a.	116	5.79	63.3	3.16	n.d.	n.a.	449	22.4
	Tuesday 22.07	395	19.8	1271	63.56	n.d.	n.a.	776	38.8	153	7.66	n.d.	n.a.	1108	55.41
	Wednesday 23.07	413	20.7	1419	70.93	n.d.	n.a.	926	46.3	157	7.83	5.03	0.251	1220	61.00
	Thursday 24.07	413	20.7	1332	66.58	n.d.	n.a.	925	46.3	189	9.44	5.60	0.280	1266	63.30
	Friday 25.07	576	28.8	1567	78.33	n.d.	n.a.	1077	53.85	190	9.49	8.43	0.422	885	44.24
	Saturday 26.07	395	19.7	1544	77.18	n.d.	n.a.	1124	56.19	148	7.39	10.2	0.512	1054	52.69
	Sunday 27.07	500	25.0	1683	84.14	n.d.	n.a.	964	48.2	127	6.36	14.4	0.721	1236	61.82
Normal week 2015	Wednesday 17.06	188	2.70	626	13.1	<LOQ	n.a.	29.6	1.03	34.8	1.53	n.d.	n.a.	483	5.79
	Thursday 18.06	220	1.50	768	20.8	<LOQ	n.a.	18.8	0.736	33.2	1.19	n.d.	n.a.	389	3.90
	Friday 19.06	271	8.69	799	24.7	<LOQ	n.a.	42.0	2.30	35.6	0.873	n.d.	n.a.	451	19.1
	Saturday 20.06	471	4.50	1170	34.68	12.4	0.325	135	5.61	64.7	1.89	n.d.	n.a.	463	16.4
	Sunday 21.06	205	2.34	849	19.1	<LOQ	n.a.	112	0.507	93.4	2.16	n.d.	n.a.	552	7.72
	Monday 22.06	180	3.22	464	8.9	<LOQ	n.a.	58.1	2.64	38.8	1.93	n.d.	n.a.	478	6.21
	Tuesday 23.06	247	2.88	498	13.0	11.2	0.364	54.9	2.27	44.7	1.25	n.d.	n.a.	470	6.70
festival 2015	Sunday 19.07	329	0.58	1173	32.50	<LOQ	n.a.	223	2.75	101	1.26	<LOQ	n.a.	895	8.68
	Monday 20.07	447	3.02	1156	8.79	<LOQ	n.a.	450	6.24	132	0.445	<LOQ	n.a.	958	5.08
	Tuesday 21.07	621	5.55	1416	27.48	<LOQ	n.a.	1018	16.61	252	1.52	<LOQ	n.a.	1072	7.892
	Thursday 23.07	621	2.52	1488	17.26	<LOQ	n.a.	1159	30.27	237	5.48	11.3	0.113	557	11.5
	Friday 24.07	655	3.97	1443	14.13	12.3	0.401	1221	5.778	220	4.32	9.73	0.169	987	5.15
	Saturday 25.07	751	16.6	2188	46.35	<LOQ	n.a.	2038	11.89	315	4.59	13.3	0.0954	567	3.44
	Sunday 26.07	405	3.56	1406	27.07	<LOQ	n.a.	1231	7.63	199	0.474	10.4	0.254	934	27.7

n.d.: not detected; <LOQ: detected, but not quantified; n.a.: not applicable

Table S.13: Daily measured concentration means and associated standard errors

Period of sampling	Date	BE			HER			MDMA			AMPH			MAMPH			THC-COOH		
		μ (mg/jour)	2.5th percentile	97.5th percentile	μ (mg/jour)	2.5th percentile	97.5th percentile	μ (mg/jour)	2.5th percentile	97.5th percentile	μ (mg/jour)	2.5th percentile	97.5th percentile	μ (mg/jour)	2.5th percentile	97.5th percentile	μ (mg/jour)	2.5th percentile	97.5th percentile
festival 2014	Monday 21.07	5319	4407	6283	n.d.	n.a.	n.a.	989	819	1168	540	447	638	n.d.	n.a.	n.a.	3832	3174	4527
	Tuesday 22.07	9904	8522	11358	n.d.	n.a.	n.a.	6047	5203	6935	1193	1027	1369	n.d.	n.a.	n.a.	8636	7432	9905
	Wednesday 23.07	11233	9698	12856	n.d.	n.a.	n.a.	7334	6330	8391	1232	1063	1411	40	34	46	9660	8338	11053
	Thursday 24.07	10397	8981	11889	n.d.	n.a.	n.a.	7224	6240	8260	1466	1266	1677	44	38	50	9884	8538	11305
	Friday 25.07	16390	12388	20595	n.d.	n.a.	n.a.	11269	8518	14153	1970	1488	2477	88	67	111	9257	6995	11631
	Saturday 26.07	14383	11974	16932	n.d.	n.a.	n.a.	10470	8714	12329	1360	1131	1602	95	79	112	9817	8171	11554
	Sunday 27.07	14256	12392	16215	n.d.	n.a.	n.a.	8163	7096	9285	1056	916	1203	122	106	139	10474	9107	11912
Normal week 2015	Wednesday 17.06	4441	4258	4623	<LOQ	n.a.	n.a.	210	195	224	247	225	268	n.d.	n.a.	n.a.	3426	3345	3507
	Thursday 18.06	5646	5346	5945	<LOQ	n.a.	n.a.	138	128	149	244	227	261	n.d.	n.a.	n.a.	2855	2798	2912
	Friday 19.06	5212	4895	5528	<LOQ	n.a.	n.a.	274	245	303	232	221	243	n.d.	n.a.	n.a.	2938	2694	3182
	Saturday 20.06	6752	6360	7145	72	68	75	778	715	842	374	352	395	n.d.	n.a.	n.a.	2672	2486	2857
	Sunday 21.06	5853	5594	6112	<LOQ	n.a.	n.a.	776	768	783	644	615	673	n.d.	n.a.	n.a.	3807	3702	3912
	Monday 22.06	3514	3380	3648	<LOQ	n.a.	n.a.	441	401	480	294	265	323	n.d.	n.a.	n.a.	3625	3531	3719
	Tuesday 23.06	3516	3336	3697	79	74	84	387	356	419	315	298	333	n.d.	n.a.	n.a.	3314	3221	3408
festival 2015	Sunday 19.07	7873	7444	8301	<LOQ	n.a.	n.a.	1496	1460	1533	679	662	695	<LOQ	n.a.	n.a.	6006	5891	6122
	Monday 20.07	9063	8921	9205	<LOQ	n.a.	n.a.	3528	3430	3626	1033	1024	1041	<LOQ	n.a.	n.a.	7511	7425	7597
	Tuesday 21.07	11669	11224	12114	<LOQ	n.a.	n.a.	8385	8116	8654	2077	2052	2102	<LOQ	n.a.	n.a.	8833	8704	8962
	Thursday 23.07	12562	12275	12849	<LOQ	n.a.	n.a.	9782	9280	10283	1980	1889	2072	95	93	97	4702	4511	4894
	Friday 24.07	13001	12747	13254	110	103	118	11006	10898	11115	1964	1887	2041	88	85	91	8896	8800	8992
	Saturday 25.07	15768	15113	16423	<LOQ	n.a.	n.a.	14688	14516	14859	2251	2186	2317	96	94	97	4087	4038	4137
	Sunday 26.07	11710	11267	12154	<LOQ	n.a.	n.a.	10251	10120	10381	1645	1631	1657	86	82	91	7782	7328	8235

n.d.: not detected; <LOQ: detected, but not quantified; n.a.: not applicable

Table S.14: Daily absolute loads

Period of sampling	Date	BE			HER			MDMA			AMPH			MAMPH			THC-COOH		
		µ (mg/jour/1000hab)	2.5th percentile	97.5th percentile	µ (mg/jour/1000hab)	2.5th percentile	97.5th percentile	µ (mg/jour/1000hab)	2.5th percentile	97.5th percentile	µ (mg/jour/1000hab)	2.5th percentile	97.5th percentile	µ (mg/jour/1000hab)	2.5th percentile	97.5th percentile	µ (mg/jour/1000hab)	2.5th percentile	97.5th percentile
festival 2014	Monday 21.07	150	124	177	n.d.	n.a.	n.a.	28	23	33	15	13	18	n.d.	n.a.	n.a.	108	89	127
	Tuesday 22.07	138	119	158	n.d.	n.a.	n.a.	84	72	97	17	14	19	n.d.	n.a.	n.a.	120	103	138
	Wednesday 23.07	151	131	173	n.d.	n.a.	n.a.	99	85	113	17	14	19	0.54	0.46	0.61	130	112	149
	Thursday 24.07	131	113	150	n.d.	n.a.	n.a.	91	79	104	19	16	21	0.55	0.48	0.63	125	108	143
	Friday 25.07	215	163	270	n.d.	n.a.	n.a.	148	112	186	26	20	33	1.2	0.9	1.5	122	92	153
	Saturday 26.07	212	177	250	n.d.	n.a.	n.a.	155	129	182	20	17	24	1.4	1.2	1.7	145	121	171
	Sunday 27.07	164	143	187	n.d.	n.a.	n.a.	94	82	107	12	11	14	1.4	1.2	1.6	120	105	137
Normal week 2015	Wednesday 17.06	153	147	159	<LOQ	n.a.	n.a.	7.2	6.7	7.7	8.5	7.8	9.2	n.d.	n.a.	n.a.	118	115	121
	Thursday 18.06	184	174	193	<LOQ	n.a.	n.a.	4.5	4.2	4.8	7.9	7.4	8.5	n.d.	n.a.	n.a.	93	91	95
	Friday 19.06	177	167	188	<LOQ	n.a.	n.a.	9.3	8.3	10.3	7.9	7.5	8.3	n.d.	n.a.	n.a.	100	92	108
	Saturday 20.06	304	286	321	3.2	3.1	3.4	35	32	38	17	16	18	n.d.	n.a.	n.a.	120	112	128
	Sunday 21.06	188	180	197	<LOQ	n.a.	n.a.	25	25	25	21	20	22	n.d.	n.a.	n.a.	122	119	126
	Monday 22.06	126	121	131	<LOQ	n.a.	n.a.	16	14	17	11	10	12	n.d.	n.a.	n.a.	130	127	134
	Tuesday 23.06	109	104	115	2.5	2.3	2.6	12	11	13	10	9.3	10	n.d.	n.a.	n.a.	103	100	106
festival 2015	Sunday 19.07	245	232	259	<LOQ	n.a.	n.a.	47	45	48	21	21	22	<LOQ	n.a.	n.a.	187	184	191
	Monday 20.07	108	106	110	<LOQ	n.a.	n.a.	42	41	43	12	12	12	<LOQ	n.a.	n.a.	90	89	91
	Tuesday 21.07	124	119	128	<LOQ	n.a.	n.a.	89	86	92	22	22	22	<LOQ	n.a.	n.a.	94	92	95
	Thursday 23.07	175	171	179	<LOQ	n.a.	n.a.	136	129	143	28	26	29	1.3	1.3	1.4	66	63	68
	Friday 24.07	196	192	200	1.7	1.6	1.8	166	164	168	30	28	31	1.3	1.3	1.4	134	133	136
	Saturday 25.07	215	206	224	<LOQ	n.a.	n.a.	200	198	203	31	30	32	1.3	1.3	1.3	56	55	56
	Sunday 26.07	163	157	169	<LOQ	n.a.	n.a.	143	141	144	23	23	23	1.2	1.1	1.3	108	102	115

n.d.: not detected; <LOQ: detected, but not quantified; n.a.: not applicable

Table S.15: Daily per capita loads

Période d'étude	Date	BE			MDMA			AMPH			MAMPH		
		μ (mg/jour/ 1000hab)	2.5th percentile	97.5th percentile	μ (mg/jour/ 1000hab)	2.5th percentile	97.5th percentile	μ (mg/jour/ 1000hab)	2.5th percentile	97.5th percentile	μ (mg/jour/ 1000hab)	2.5th percentile	97.5th percentile
festival 2014	Monday 21.07	0.52	0.39	0.68	0.18	0.13	0.24	0.052	0.043	0.062	n.d.	n.a.	n.a.
	Tuesday 22.07	0.48	0.37	0.62	0.54	0.41	0.71	0.057	0.049	0.066	n.d.	n.a.	n.a.
	Wednesday 23.07	0.52	0.40	0.68	0.63	0.48	0.83	0.057	0.049	0.066	0.0019	0.0015	0.0024
	Thursday 24.07	0.46	0.35	0.59	0.59	0.45	0.76	0.064	0.054	0.074	0.0019	0.0015	0.0024
	Friday 25.07	0.75	0.52	1.02	0.95	0.66	1.3	0.089	0.067	0.113	0.0041	0.0029	0.0055
	Saturday 26.07	0.74	0.55	0.97	0.99	0.74	1.3	0.069	0.057	0.082	0.0050	0.0038	0.0063
	Sunday 27.07	0.57	0.44	0.73	0.60	0.46	0.78	0.042	0.036	0.048	0.0050	0.0040	0.0062
	Average consumption estimate	0.59	0.46	0.75	0.72	0.55	0.99	0.063	0.044	0.086	0.0030	0.0024	0.0050
Normal week 2015	Wednesday 17.06	0.53	0.43	0.66	0.046	0.037	0.059	0.029	0.026	0.032	n.d.	n.a.	n.a.
	Thursday 18.06	0.64	0.51	0.80	0.029	0.023	0.037	0.027	0.025	0.030	n.d.	n.a.	n.a.
	Friday 19.06	0.62	0.49	0.77	0.060	0.046	0.077	0.027	0.025	0.029	n.d.	n.a.	n.a.
	Saturday 20.06	1.05	0.84	1.32	0.22	0.18	0.29	0.058	0.053	0.063	n.d.	n.a.	n.a.
	Sunday 21.06	0.65	0.53	0.82	0.16	0.13	0.20	0.071	0.066	0.077	n.d.	n.a.	n.a.
	Monday 22.06	0.44	0.35	0.55	0.10	0.08	0.13	0.036	0.032	0.041	n.d.	n.a.	n.a.
	Tuesday 23.06	0.38	0.31	0.48	0.077	0.061	0.10	0.034	0.031	0.037	n.d.	n.a.	n.a.
Average consumption estimate	0.62	0.39	0.87	0.10	0.032	0.20	0.040	0.027	0.065	n.d.	n.a.	n.a.	
festival 2015	Sunday 19.07	0.85	0.68	1.07	0.30	0.24	0.38	0.073	0.068	0.078	<LOQ	n.a.	n.a.
	Monday 20.07	0.38	0.30	0.47	0.27	0.22	0.34	0.042	0.040	0.045	<LOQ	n.a.	n.a.
	Tuesday 21.07	0.43	0.35	0.54	0.57	0.45	0.72	0.076	0.071	0.081	<LOQ	n.a.	n.a.
	Thursday 23.07	0.61	0.49	0.76	0.88	0.69	1.11	0.095	0.088	0.103	0.0047	0.0039	0.0056
	Friday 24.07	0.68	0.55	0.85	1.1	0.85	1.3	0.10	0.094	0.11	0.0047	0.0039	0.0056
	Saturday 25.07	0.75	0.60	0.93	1.3	1.0	1.6	0.11	0.098	0.11	0.0046	0.0039	0.0055
	Sunday 26.07	0.57	0.46	0.71	0.92	0.73	1.2	0.079	0.074	0.084	0.0042	0.0035	0.0051
Average consumption estimate	0.57	0.38	0.74	0.83	0.31	1.26	0.083	0.047	0.11	0.0030	0	0.0047	

n.d.: not detected; <LOQ: detected, but not quantified; n.a.: not applicable

Table S.16: Daily per capita consumption estimates

7. Statistical Tests

The following Table outline the results of the statistical tests performed.

Illicit drug	μ_1 : per capita loads mean during the 2014 festival μ_2 : per capita loads mean during the 2015 festival	p-value
BE	Two-sided t-test	0.8231 → No statistically significant difference
MDMA	Two-sided t-test	0.5179 → No statistically significant difference
AMPH	Two-sided t-test	0.1086 → No statistically significant difference
MAMPH	Two-sided t-test	0.9661 → No statistically significant difference
THC-COOH	Two-sided Welch t-test	0.02587 → Statistically significant difference

Table S.17: Results of statistical tests between per capita loads means during the 2014 and 2015 festival

Illicit Drug	μ_1 : per capita loads mean during the 2014 festival μ_2 : per capita loads mean during the 2010 Australian Festival	p-value
BE	Two-sided t-test	4.588.10⁻⁵ → Statistically significant difference
	One-sided t-test, $H_1 : \mu_1 > \mu_2$	2.294.10⁻⁵ → Statistically significant difference
MDMA	Two-sided Welch t-test	0.2325 → No statistically significant difference
AMPH	Two-sided Welch t-test	0.8358 → No statistically significant difference
MAMPH	Two-sided Welch t-test	0.0002831 → Statistically significant difference
	One-sided Welch t-test, $H_1 : \mu_1 < \mu_2$	0.0001415 → Statistically significant difference
THC-COOH	Two-sided Welch t-test	2.451.10⁻⁷ → Statistically significant difference
	One-sided Welch t-test, $H_1 : \mu_1 > \mu_2$	1.225.10⁻⁷ → Statistically significant difference

Table S.18: Results of statistical tests between per capita loads means during the 2014 festival and the 2010 Australian Festival

Illicit Drug	μ_1 : absolute loads mean during the normal week μ_2 : absolute loads mean during the 2014 festival	p-value
BE	One-sided t-test, $H_1 : \mu_1 < \mu_2$	1.058.10⁻⁵ → Statistically significant difference
MDMA	One-sided Welch t-test, $H_1 : \mu_1 < \mu_2$	9.111.10⁻⁵ → Statistically significant difference
AMPH	One-sided t-test, $H_1 : \mu_1 < \mu_2$	8.797.10⁻⁶ → Statistically significant difference
MAMPH	One-sided Welch t-test, $H_1 : \mu_1 < \mu_2$	0.008221 → Statistically significant difference
THC-COOH	One-sided t-test, $H_1 : \mu_1 < \mu_2$	9.851.10⁻¹¹ → Statistically significant difference

Table S.19: Results of statistical tests between absolute loads means during the normal week and the 2014 festival

Illicit Drug	μ_1 : absolute loads mean during the normal week μ_2 : absolute loads mean during the 2015 festival	p-value
BE	One-sided t-test, $H_1 : \mu_1 < \mu_2$	5.27.10⁻⁶ → Statistically significant difference
MDMA	One-sided Welch t-test, $H_1 : \mu_1 < \mu_2$	0.0008054 → Statistically significant difference
AMPH	One-sided Welch t-test, $H_1 : \mu_1 < \mu_2$	0.0001061 → Statistically significant difference
MAMPH	One-sided Welch t-test, $H_1 : \mu_1 < \mu_2$	0.01265 → Statistically significant difference
THC-COOH	One-sided Welch t-test, $H_1 : \mu_1 < \mu_2$	0.003216 → Statistically significant difference

Table S.20: Results of statistical tests between absolute loads means during the normal week and the 2015 festival

Illicit Drug	μ_1 : per capita loads mean during the normal week μ_2 : per capita loads mean during the 2014 festival	p-value
BE	One-sided t-test, $H_1 : \mu_1 < \mu_2$	0.6138 → No statistically significant difference
MDMA	One-sided Welch t-test, $H_1 : \mu_1 < \mu_2$	0.000172 → Statistically significant difference
AMPH	One-sided t-test, $H_1 : \mu_1 < \mu_2$	0.01622 → Statistically significant difference
MAMPH	One-sided Welch t-test, $H_1 : \mu_1 < \mu_2$	0.007577 → Statistically significant difference
THC-COOH	One-sided t-test, $H_1 : \mu_1 < \mu_2$	0.02572 → Statistically significant difference

Table S.21: Results of statistical tests between per capita loads means during the normal week and the 2014 festival

Illicit Drug	μ_1 : per capita loads mean during the normal week μ_2 : per capita loads mean during the 2015 festival	p-value
BE	One-sided t-test, $H_1 : \mu_1 < \mu_2$	0.6726 → No statistically significant difference
MDMA	One-sided Welch t-test, $H_1 : \mu_1 < \mu_2$	0.001938 → Statistically significant difference
AMPH	One-sided t-test, $H_1 : \mu_1 < \mu_2$	0.001481 → Statistically significant difference
MAMPH	One-sided Welch t-test, $H_1 : \mu_1 < \mu_2$	0.01262 → Statistically significant difference
THC-COOH	One-sided t-test, $H_1 : \mu_1 < \mu_2$	0.947 → No statistically significant difference

Table S.22: Results of statistical tests between per capita loads means during the normal week and the 2015 festival

8. References

- [1] A. L. N. van Nuijs *et al.*, “Multi-year inter-laboratory exercises for the analysis of illicit drugs and metabolites in wastewater: Development of a quality control system,” *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, vol. 103, pp. 34–43, Jun. 2018.
- [2] Commission of the European Communities, “Council Directive 96/23/EC,” *Official Journal of the European Communities*, vol. L221, pp. 8–36, 2002.
- [3] L. Rivier, “Criteria for the identification of compounds by liquid chromatography–mass spectrometry and liquid chromatography–multiple mass spectrometry in forensic toxicology and doping analysis,” *Analytica Chimica Acta*, vol. 492, no. 1–2, pp. 69–82, Sep. 2003.
- [4] A. Poletini, *Applications of LC-MS in Toxicology*. London, United Kingdom: Pharmaceutical Press, 2006.
- [5] L. Benaglia, “Investiguer les consommations illicites au sein du milieu festif et du milieu carcéral grâce à l’analyse des eaux usées,” Université de Lausanne, Lausanne, Suisse, 2019.
- [6] H. E. Jones, M. Hickman, B. Kasprzyk-Hordern, N. J. Welton, D. R. Baker, and A. E. Ades, “Illicit and pharmaceutical drug consumption estimated via wastewater analysis. Part B: Placing back-calculations in a formal statistical framework,” *Science of The Total Environment*, vol. 487, pp. 642–650, 2014.
- [7] F. Been *et al.*, “Assessing geographical differences in illicit drug consumption—A comparison of results from epidemiological and wastewater data in Germany and Switzerland,” *Drug and Alcohol Dependence*, vol. 161, pp. 189–199, 2016.

Annexe D

Analysis of influence factors in ionization of BZP, mephedrone and MDPV using LC-ESI-MS/MS

Lisa Benaglia et Anne Bannwarth

Design of Experiments, EPFL Doctoral School, Dr. Jean-Marie Fuerbringer

Abstract

Sewage-based epidemiology has been introduced recently as a new indicator of monitoring illicit drugs consumption. It consists in analyzing wastewater samples using liquid chromatography coupled to tandem mass spectrometry (LC-MS/MS) on which an analytical method has to be implemented. Thus, it was chosen to optimize the electrospray ionization (ESI) that intervenes at the inlet of the mass spectrometer. In the present study, ionization is controlled by seven parameters and interactions were initially suspected. A design of experiments was performed to screen which of the seven factors were statistically significant on the ionization of three new psychoactive substances, namely BZP (benzylpiperazine), mephedrone and MDPV (methylenedioxypropylvalerone) mixed in a clean matrix. The results demonstrate that the temperature, the nebulizer gas and the Ion Spray voltage are very important for all the analyzed substances, whereas the Ion Spray voltage is the most crucial one. The responses are the best when the highest temperature and the lowest Gas 1 and Ion Spray voltage are applied. It appears that BZP and MDPV follow a linear model and mephedrone follows a linear model with interactions. Because ESI is subject to matrix effects, experiments should be performed with wastewater samples as well. In order to find the best ionization settings, it is considered to only pursue the optimization of BZP as its response is the worst and as it elutes at the beginning of the run where matrix effects are deemed to be the highest.

1 Introduction

Illicit drug consumption is a major global problem for authorities and policy makers. According to the World Drug Report 2016, about 5% of the world population, between the ages of 15 and 64 years, consumed at least one drug in 2014 [United Nations Office On Drugs And Crime, 2016]. Therefore, monitoring the current illicit drug situation is necessary.

Traditional indicators of illicit drug use include the number of illicit drug seizures by law enforcement agencies and epidemiological methods such as population surveys. Wastewater-based epidemiology (WBE) complements these conventional methods. It provides information about the consumption of illicit drugs in a population by analyzing ideally human metabolic excretion products and/or their parent compounds in wastewater [European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction, 2016].

Wastewater samples are commonly analyzed by liquid chromatography coupled to tandem mass spectrometry (LC-MS/MS) on which a method has to be implemented in order to analyze the target compounds [Castiglioni et al., 2005, van Nuijs et al., 2009, Berset et al., 2010]. This analytical technique is very complex and consists of a multitude of chemical and physical processes, implying a large number of parameters. It was decided to focus on ionization, which intervenes after the chromatography step, at the inlet of the tandem mass spectrometer. Ionization generates the transformation of molecules into ions, allowing their subsequent analysis by mass spectrometry. In the present study, Electrospray Ionization (ESI) has been used, which is the most common ionization technique in liquid chromatography when coupled to quadrupole, ion trap and magnetic instruments analyzers [de Hoffmann and Stroobant, 2007]. ESI probes can be characterized by different parameters, depending on the manufacturer. Because ions can be positively or negatively charged, ionization can be performed in positive or negative mode which can be switched from one to another during analysis (depending on the manufacturer). Usually, more than one compound will be detected during a given polarity period, meaning that ionization parameters can not be set depending each compound. Therefore, these parameters are set for the ionization mode in question and a compromise must be found so that ionization of all the compounds analyzed in a given polarity mode is optimal.

A method previously implemented was chosen and three compounds were selected, namely BZP (benzylpiperazine), mephedrone and MDPV (methylenedioxypyrovalerone). The aim of this project was to perform a design of experiment on the ionization of these new psychoactive substances (NPS) in order to find which factors are significant.

2 Design of experiments

2.1 Factors

Seven parameters have been selected in order to optimize the ionization and are indicated in Table 1. All factors are continuous and the selected ranges are those advised by the manufacturer. Factors B, C, D, E and F are set electronically by the machine, while parameters A and G are set up manually by the operator.

These seven parameters control the electrospray ionization. The Source position (1) allows to vertically position the probe. The more its setting is close to 0, the more the probe is closer to the inlet of the quadrupole. The Electrode tip (7) controls the portion of the electrode which exceeds from the end of the probe where the liquid gets out. A high voltage (6) is applied to the liquid to break its surface, creating charged droplets. The Gas 1 (4) focuses these droplets which are vaporized thanks to the combination of the Temperature (2) and the Gas 2 (5) at the entrance of the quadrupole. The Curtain Gas (3) avoids then some remaining droplets from entering the quadrupole and helps focusing ions in it [de Hoffmann and Stroobant, 2007, Sciex, 2015].

Table 1: Parameters and associated range

Factor	Range
1 - Source position	0 - 6 cm
2 - Temperature	425 - 700 C
3 - Curtain Gas	20 - 35 u
4 - Gas 1 (nebulizer gas)	40 - 70 u
5 - Gas 2 (heater gas)	40 - 70 u
6 - Ion Spray voltage	2000 - 5000 V
7 - Electrode tip	0.5 - 1 mm

2.2 Compounds

It was decided to select three compounds eluting at different times: BZP, eluting at the beginning of the run, mephedrone, eluting in the middle and MDPV, eluting at the end of the run. All of these compounds are analyzed in the positive ionization mode.

2.3 Response

Optimizing the ionization means increasing the production of ions. If the detector counts more ions, the peak height will be increased. Therefore, the peak height of each of the three substances is the response chosen for this design of experiments.

2.4 Model choice

Linear and linear with interaction models are considered. In fact, an interaction between the Temperature (2) and the Gas 2 (5) is suspected as they work in combination.

With seven factors, it is necessary to observe which of the seven factors are significant. A 2_{IV}^{7-2} fractional factorial design was therefore chosen. 32 runs have to be performed and three centre points were added in order to study the curvature of the model. All factors have been randomized except factor seven, the Electrode tip. Aliases are observed between the effects a_{35} and a_{67} , between a_{36} and a_{57} and between a_{37} and a_{56} for all of the three NPS.

The equation is the following :

$$Y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_4 + a_5x_5 + a_6x_6 + a_7x_7 + a_{12}x_1x_2 + a_{13}x_1x_3 + a_{14}x_1x_4 + a_{15}x_1x_5 + a_{16}x_1x_6 + a_{17}x_1x_7 + a_{23}x_2x_3 + a_{24}x_2x_4 + a_{25}x_2x_5 + a_{26}x_2x_6 + a_{27}x_2x_7 + a_{34}x_3x_4 + a_{35}x_3x_5 + a_{36}x_3x_6 + a_{37}x_3x_7 + a_{45}x_4x_5 + a_{46}x_4x_6 + a_{47}x_4x_7$$

with Y the response, a_0 the constant, a_i a coefficient containing a main effect, a_{ij} a coefficient containing an interaction effect and x_i a variable of the model.

2.5 LC-ESI-MS/MS analysis

Liquid chromatography separation was achieved with an Agilent 1290 Infinity equipped with a Kinetex C18 Biphenyl column (2.6 μm x 2.1 mm x 100 mm). The mass spectrometer is a Sciex 5500 QTRAP operating in multiple reaction monitoring.

A mix of BZP, mephedrone and MDPV was prepared in 90:10 water with 0.1% formic acid : methanol at a concentration of 5 ng.mL^{-1} . It was injected on the LC-MS/MS and the peak height of each compound was extracted.

3 Results and discussion

3.1 BZP

Figure 1 shows the relative half effects of the different factors. Five of the seven factors are emphasized, including the temperature, Gas 1 and 2, the Ion Spray voltage and the screw position. The normal plot (Figure 2) confirms this observation, as these factors are out of the straight line.

An ANOVA analysis has been performed to verify the statistical significance of these factors and the model. Table 2 shows the ANOVA results of the factors and Table 3 the ones of the model. It can be observed that all factors are statistically significant as their p-value is below the threshold of 5%. The most important factor is the Ion Spray voltage followed by the temperature and the Gas 1. The ANOVA results of the model show that the linear model is statistically significant and as there are no significant interactions observed, the model for BZP is linear.

Figure 1: Relative half effects of BZP model



Figure 2: Normal plot of BZP effects

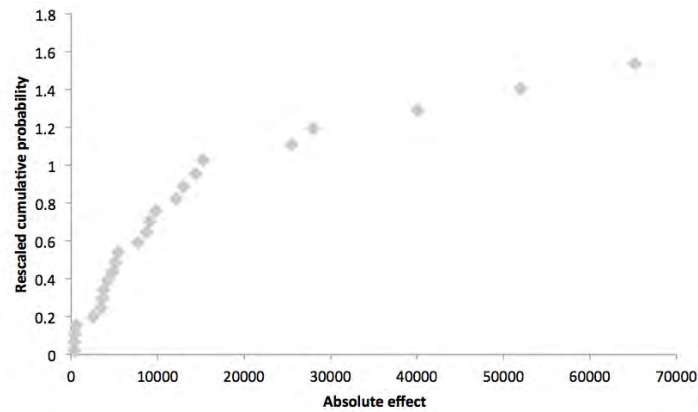


Table 2: ANOVA table for the selected coefficients of BZP model

Source	SS	Df	MS	F	p
Constant	2,74E+12	1			
a6	1,36E+11	1	1,36E+11	83	0.0000001%
a2	86559202813	1	86559202813	53	0.0000101%
a4	51464340313	1	51464340313	31	0.0006802%
a5	25082400313	1	25082400313	15	0.0582846%
a7	20751937813	1	20751937813	13	0.1451092%
Residual	42541435625	26	1636209063		
Total	3,10199E+12	32			

Table 3: ANOVA table for BZP linear model

Source	SS	Df	MS	F	p
Model	3,06E+12	6	5,10E+11	312	0.00000000000000000001%
Residual	42541435625	26	1636209063		
Total	3,10E+12	32			

The coefficient of determination R^2 has also been calculated. The linear model for BZP has a R^2 value of 98.63%. This indicates a linear regression that approaches the real data points very well. Thus, the fit of the model is excellent.

The study's design of experiments also included the analysis of three centre points to verify whether the model is linear between the responses and the factors or whether a curvature is present. The results of the ANOVA analysis of the model considering the centre points, the model without considering the centre points and the curvature are listed in Table 4. Looking at the p-value of the curvature, it can be observed that this value is below 5%. According to the literature [Box et al., 2005, ReliaWiki, 2017], a curvature is present when the p-value is below the threshold of 5%. Thus, BZP's model is not linear but contains a curvature. Further analysis should be performed to obtain more information about the curvature.

Table 4: ANOVA table for BZP linear model

Source	SS	Df	MS	F	p
Model considering centre points	4.07E+11	6	67770173841	3514	0.00000000000000000000000000000003%
Model not considering centre points	3.20E+11	5	63944338813	3316	0.00000000000000000000000000000020%
Curvature	86899348985	1	86899348985	4506	0.00000000000000000000000000000935545%
Residual	482086667	25	19283467		
Total	4.07E+11	31			

3.2 Mephedrone

Figure 3 shows the relative half effects, indicating the most important effects with the largest bars. These effects are the temperature, the Gas 1, the Ion Spray voltage, the screw position and the interaction between Gas 1 and the Electrode tip.

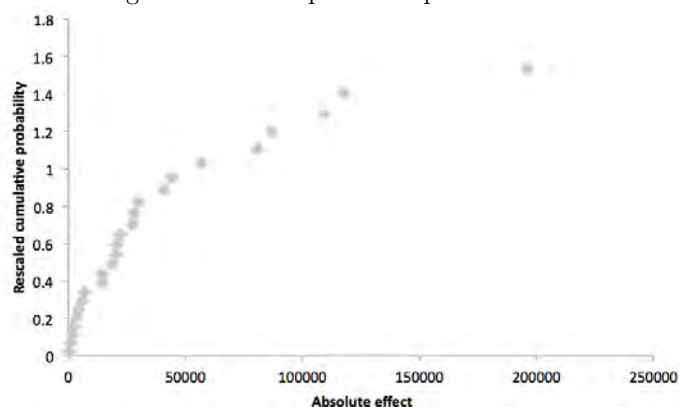
The normal plot shows similar results (Figure 4). According to this diagram, the parameter (6) is the most influencing factor as it is the furthest away from the plot's straight line. The other three factors and the interaction are close to the straight line but do not completely fit.

The ANOVA analysis of these factors shows their importance in detail (Table 5). All factors, including the interaction are statistically significant. The verification whether the single factors have a higher impact on the ionization of Mephedrone than the interaction, the coefficient of determination, with and

Figure 3: Relative half effects of mephedrone model



Figure 4: Normal plot of mephedrone effects



without considering the interaction a47, has been calculated. The R^2 considering all factors and the interaction is 98.57%, whereas the R^2 without the interaction is 97.81%. The fit of both models is very good as the R^2 values are higher than 95% but the difference is still notable and the interaction between the Gas 1 and the Electrode tip cannot be neglected. Looking at the two parameters interacting, the Gas 1, which is the nebulizer gas and the Electrode tip, an interaction between these two parameters is definitely conceivable.

The ANOVA of the model shows that this linear model with interactions is statistically significant (Table 6). Regarding the results of the ANOVA including the centre points, it can be concluded that a curvature is also present in this model (Table 7).

Table 5: ANOVA table for the selected coefficients of mephedrone model

Source	SS	Df	MS	F	p
Constant	2.43E+13	1			
a6	1.23E+12	1	1.23E+12	83	0.0000001%
a2	4.43E+11	1	4.43141E+11	30	0.0010215%
a4	3.81E+11	1	3.81043E+11	26	0.0028966%
a7	2.40E+11	1	2.40384E+11	16	0.0448321%
a47	2.08E+11	1	2.08029E+11	14	0.0927066%
Residual	3.87E+11	26	14904077813		
Total	2.72E+13	32			

Table 6: ANOVA table for mephedrone linear model with interactions

Source	SS	Df	MS	F	p
Model	2.68E+13	6	4.47E+12	300	0.000000000000000000001%
Residual	3.88E+11	26	14904077813		
Total	2.72E+13	32			

Table 7: ANOVA table for mephedrone linear model with interactions

Source	SS	Df	MS	F	p
Model considering centre points	3.09E+12	6	5.16E+11	5241	0.000000000000000000000000000002%
Model not considering centre points	2.51E+12	5	5.01E+11	5091	0.000000000000000000000000000010%
Curvature	5.89E+11	1	5.89E+11	5982	0.00000000000000000000000000002757685%
Residual	2460246667	25	98409867		
Total	3.10E+12	31			

3.3 MDPV

The diagram showing the relative half effects indicates several possible main effects: a2, a4 and a6 (Figure 5). Looking at the normal plot (Figure 6), it can be observed that these three effects are beyond the straight line that includes the other factors and interactions. Thus, the main effects in the ionization of MDPV are the parameters (2), (4) and (6). Comparing to the results of BZP, these factors are the three most important ones for the ionization of both substances.

As the visual examination of the relative half effect and normal plot diagrams is approximate, an ANOVA analysis has also been performed for the important factors. The results show that all three factors are statistically significant (Table 8).

The ANOVA results of the model (Table 9) demonstrates that the linear model is also statistically significant. However, the coefficient of determination R_2 is only 95.82%, which indicates that the model is accurate but the linear regression does not approach the real data points completely.

Figure 5: Relative half effects of MDPV model



Including the centre points into the model and calculating the curvature, a p-value inferior than 5% for the curvature was obtained (Table 10). This means that the curvature is statistically significant and therefore present in the model. For the determination of the position of the curvature in the model, further analysis need to be performed.

Figure 6: Normal plot of MDPV effects

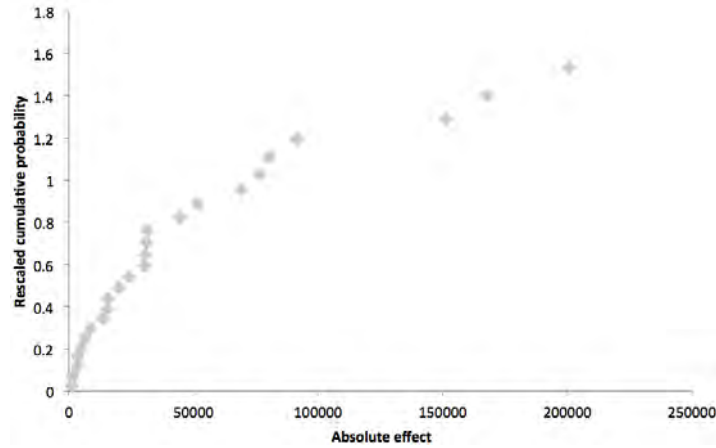


Table 8: ANOVA table for the selected coefficients of MDPV model

Source	SS	Df	MS	F	p
Constant	2.43E+13	1			
a6	1.29E+12	1	1.29E+12	30	0.0007%
a2	9.01E+11	1	9.01E+11	21	0.0081%
a4	7.32E+11	1	7.32E+11	17	0.0279%
Residual	1.19E+12	28	42416420938		
Total	2.84E+13	32			

Table 9: ANOVA table for MDPV linear model

Source	SS	Df	MS	F	p
Model	2.72E+13	4	6.81E+12	161	0.000000000000000011%
Residual	3.88E+11	28	42416420938		
Total	2.84E+13	32			

Table 10: ANOVA table for MDPV linear model

Source	SS	Df	MS	F	p
Model considering centre points	4.34E+12	4	1.09E+12	61808	0.000...5%
Model not considering centre points	2.92E+12	3	9.74E+11	55022	0.000...4%
Curvature	1.45E+12	1	1.45E+12	82166	0.000...1%
Residual	478106667	27	17707654		
Total	4.38E+12	31			

3.4 Design of experiments

3.4.1 Factors

The number of factors related to the ionization may vary depending on the manufacturer.

Factors (1) and (7) are set up manually. Settings of factor (1) are easily repeatable and reproducible because there is a micrometer screw allowing accuracy and exactitude. This is not the case for factor (7) where no metric mark is available. A metric mark was thus developed in order to limit inaccuracy and bias. Moreover, it was decided to consider this factor as *hard to change*, meaning it was not randomized, in order to keep each setting (low, centre, high) unique.

In general, this design of experiments revealed that three factors (2), (4) and (6) (temperature, Gas 1 and Ion Spray voltage) are important for the ionization of all analyzed NPS. The most important factor is the Ion Spray voltage, followed by the temperature and the Gas 1. The relative effect diagrams of the three analyzed compounds show that the orientation of the factors are the same throughout all experiments (negative relative effects for Gas 1 and the Ion Spray voltage and a positive relative effect for the temperature). Thus, values of 700C for the temperature, 40 u for the Gas 1 and 2000 V for the Ion Spray voltage are preferred.

Comparing the results obtained from this study with the advices from the LC-MS/MS manufacturer, a conformity has been observed. In fact, it is advised that a high temperature helps to increase the ionization of a sample. A low Ion Spray voltage is recommended as too high voltage can lead to a corona discharge which results in a decrease of sensitivity and stability. Moreover, if the Ion Spray Voltage is too high, it would lead to an increase in the signal, but in the noise

as well. Concerning the Gas 1, it is related to the sensitivity and stability of the signal. The authors assume that a lower Gas 1 is advantageous as it is easier for the machine to stabilize a mid-range setting of 40u rather than the maximum setting, which is 70u.

3.4.2 Compounds

Ionization is not equivalent between compounds, some of them ionize better than others. This is why three compounds were selected. In fact, it was necessary to assess if all compounds were influenced by the same factors.

Moreover, electrospray ionization is particularly subjected to matrix effects which may affect compounds in different ways. The time at which a compound elutes plays an important role [Taylor, 2005]. In fact, the majority of matrix effects happens in the solvent front of a run. Thus, compounds eluting early may be more affected than those eluting later.

3.4.3 Response

The better the ionization, the higher the sensitivity will be. But increasing the signal could lead to an increase of the noise as well. We decided to focus here on the signal, but it is important to keep in mind that the signal to noise ratio might be an other response to consider.

3.4.4 Model choice

It was decided to use a fractional factorial design to screen which factors of the seven were significant. Because an interaction between factors (2) and (5), respectively the temperature and the Gas 2, was suspected, a 2_{IV}^{7-2} fractional factorial design was chosen. A posteriori the authors think that a design implying 32 runs was already quite time-consuming. In fact, even if mephedrone shows to follow a linear model with interaction, it is not the case for the other two compounds. Moreover, the expected interaction between the factors (2) and (5) is not verified and all models show a significant curvature. Maybe a Hadamard design would have been more indicated for screening the factors in a first step.

4 Future perspectives

The analysis of this study has been performed with a standard solution sample. The matrix is a solvent meaning that it is a clean matrix. As it was mentioned previously, ESI is affected by matrix effects. Therefore, it is necessary to analyze a wastewater sample to check whether a difference in the response due to the matrix exists.

Moreover, as matrix effects generally occur at the beginning of a run, it can be considered to only continue with the optimization of BZP as it elutes first and gives the worst response. Because the model has shown evidence of curvature, it is necessary to explore second degree models.

References

- [Berset et al., 2010] Berset, J.-D., Brenneisen, R., and Mathieu, C. (2010). Analysis of licit and illicit drugs in waste, surface and lake water samples using large volume direct injection high performance liquid chromatography – Electrospray tandem mass spectrometry (HPLC–MS/MS). *Chemosphere*, 81(7):859–866.
- [Box et al., 2005] Box, G. E. P., Hunter, J. S., and Hunter, W. G. (2005). *Statistics for Experimenters: Design, Innovation, and Discovery*. Wiley series in probability and statistics. Wiley-Interscience, Hoboken, New Jersey, second edition.
- [Castiglioni et al., 2005] Castiglioni, S., Bagnati, R., Calamari, D., Fanelli, R., and Zuccato, E. (2005). A multiresidue analytical method using solid-phase extraction and high-pressure liquid chromatography tandem mass spectrometry to measure pharmaceuticals of different therapeutic classes in urban wastewaters. *Journal of Chromatography A*, 1092(2):206–215.
- [de Hoffmann and Stroobant, 2007] de Hoffmann, E. and Stroobant, V. (2007). *Mass Spectrometry: Principles and Applications*. J. Wiley, Chichester, West Sussex, England ; Hoboken, NJ, third edition.
- [European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction, 2016] European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction (2016). *Assessing Illicit*

- Drugs in Wastewater: Advances in Wastewater-Based Drug Epidemiology*. Number 22 in Insights. Publications Office of the European Union, Luxembourg.
- [ReliaWiki, 2017] ReliaWiki (2017). Two Level Factorial Experiments.
- [Sciex, 2015] Sciex (2015). Turbo V™ Ion Source - Operator Guide.
- [Taylor, 2005] Taylor, P. J. (2005). Matrix effects: The Achilles heel of quantitative high-performance liquid chromatography–electrospray–tandem mass spectrometry. *Clinical Biochemistry*, 38(4):328–334.
- [United Nations Office On Drugs And Crime, 2016] United Nations Office On Drugs And Crime (2016). *World Drug Report*. United Nations publication, Austria.
- [van Nuijs et al., 2009] van Nuijs, A. L. N., Tarcomnicu, I., Bervoets, L., Blust, R., Jorens, P. G., Neels, H., and Covaci, A. (2009). Analysis of drugs of abuse in wastewater by hydrophilic interaction liquid chromatography–tandem mass spectrometry. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 395(3):819–828.