

## Le pouvoir discriminant de l'analyse des cheveux

**Résumé** L'analyse de substances augmentant la performance à partir d'une mèche de cheveux, de poils du corps ou d'ongles permet de mettre en évidence une exposition (unique ou répétée) à un xénobiotique sur une longue période, de plusieurs mois (1 cm de cheveux = pousse pendant 1 mois). En cela, cette approche permet d'augmenter la durée de la fenêtre de détection des substances, communément de l'ordre de 2 à 4 jours dans le sang ou les urines, sauf pour les anabolisants et certaines substances avec une demi-vie longue (ostarine, ligandrol, dorzolamide). À partir des cheveux, les résultats peuvent donner, par segmentation, des renseignements sur le profil de consommation pendant plusieurs mois, voire des années, en particulier sur sa sévérité et son évolution. Depuis l'affaire Gasquet (arbitrage CAS 2009/A/1930) en 2009, le Tribunal arbitral du sport à Lausanne (Suisse) accepte ces preuves biologiques pour démontrer la bonne foi d'un athlète mis en cause dans une affaire de dopage. À l'aube des Jeux olympiques en France, l'auteur présente la place de l'analyse des cheveux dans la lutte antidopage et sa stratégie dans un contexte de contamination, dont la source peut être l'utilisation de complément alimentaire, de viande, une exposition environnementale ou encore un ou des rapports intimes avec une personne ayant consommé un produit interdit.

**Mots-clés** Cheveux, poils, ongles, dopage, contamination, sport, athlète, toxicologie.

**Abstract** **Testing for performance-enhancing drugs in human hair. Applications to contamination cases in doping control**

A low or a very low urine concentration can be interpreted in two different ways: it can be the tail end of a drug used to enhance performance or it is the direct consequence of a contamination. By contamination, one can include laced supplements, contaminated meat by growth promoters, poor quality pharmaceuticals and finally drug transfer during intimate moments. Testing for doping agents in hair allows discriminating cheating from contamination based on the measured concentration or even the absence of the target drug. Hair is receiving more and more attention by scientists and lawyers due to its long detection window, particularly when compared to blood and urine, its less embarrassing conditions of collection and its storage at ambient temperature. By providing information on exposure to drugs over time, hair analysis may be useful in verifying self-reported histories of drug use in any situation in which a history of past rather than recent drug use is desired. Hair analysis can also provide a retrospective calendar of an individual's drug use. For this, multi sectional analysis is required and involves taking a length of hair and cutting it into sections to measure drug use during shorter periods of time. Although hair is not yet a valid specimen for the International olympic committee or the World anti-doping agency (WADA), it is accepted in most courts of justice in the world.

**Keywords** Hair, nail, doping, contamination, sport, athlete, toxicology.

Depuis 1968 et les Jeux olympiques d'hiver de Grenoble, le Comité international olympique (CIO) et la plupart des fédérations sportives internationales sont concernés par le problème du dopage. Dès le début des contrôles, l'urine a été choisie comme milieu d'investigation. Cette approche, utilisée comme règle de nos jours, permet d'obtenir des informations sur 48 ou 72 heures, exceptionnellement plus, comme pour le cannabis ou les anabolisants présentant des métabolites d'élimination longue ou sous forme estérifiée. C'est aussi le cas pour quelques molécules avec des demi-vies d'élimination longues, comme certains modulateurs sélectifs des récepteurs androgènes (SARMs) tels que l'ostarine ou le ligandrol, ou encore le dorzolamide, un diurétique. La recherche des hormones (érythropoïétine et dérivés, hormone de croissance et analogues, insuline) se pratique essentiellement dans le sang. À partir de 1979, date des premiers travaux américains [1] et allemands, la fenêtre de détection standard de quelques jours a été complètement modifiée par l'introduction du cheveu dans l'arsenal analytique de la toxicologie judiciaire et la lutte contre les addictions. Cette matrice possède la propriété unique d'être le marqueur historique d'une exposition unique ou répétée. C'est un milieu cumulatif par opposition à l'urine, milieu incrémental [2]. L'analyse des cheveux

permet également d'établir le profil de consommation sur le long terme (en fonction de la longueur des cheveux) et son évolution si l'on pratique des mesures par segmentation. En effet, le cheveu pousse chez 90 à 95 % de la population à une vitesse de 1 cm par mois et, donc, chaque segment de 1 cm correspond à ce qui a circulé dans le sang et qui a pu s'incorporer pendant un mois. Dans la pratique, l'analyse urinaire et l'analyse des cheveux s'avèrent plutôt complémentaires. Un tableau synthétique réunit les caractéristiques propres à chaque milieu dans le cadre du contrôle du dopage (voir *tableau*). Depuis 1998, plusieurs affaires judiciaires ont permis de documenter des observations dans le monde du sport, en France et dans d'autres pays. Les cheveux de sportifs ont ainsi été utilisés pour mettre en évidence des pratiques de dopage, des situations de trafic de substances classées comme vénéneuses, généralement des anabolisants, ou encore pour infirmer des analyses urinaires contestées. C'est l'affaire dite « Festina » dans le cyclisme qui a conduit à la création de l'Agence mondiale antidopage (AMA). Cette agence a désormais la responsabilité internationale de la politique antidopage, en particulier en maintenant à jour le Code mondial antidopage [3]. En France, c'est l'Agence française de lutte contre le dopage (AFLD) qui gère l'ensemble

Paramètres	Urines	Cheveux
Reconnu AMA	Oui	Sous réserve*
Fenêtre de détection	2-5 jours, sauf quelques molécules	Plusieurs mois selon la longueur des cheveux
Adultération	Possible	Très difficile, voire impossible
Recueil	Invasif	Non invasif
Conservation	+ 4 °C ou - 20 °C	Température ambiante
Analyte majeur	Métabolites	Substance mère
Recueil à distance d'un 2 <sup>e</sup> échantillon identique	Non	Oui
Type de mesure	Incrémentale	Cumulative
Risque de faux positifs	Théoriquement nul	Théoriquement nul
Molécules retrouvées	Toute la liste des substances interdites	Toute la liste des substances interdites, sauf les hormones

\* ne doit pas s'opposer à un résultat anormal (= positif) et accepté par le Tribunal arbitral du sport.

des actions. Dans sa version définitivement adoptée le 23 mars 1999, la loi (99-223) relative à la protection de la santé des sportifs et à la lutte contre le dopage complétée par le décret n° 2001-35 du 11 janvier 2001 autorise la mise en évidence d'une pratique dopante à partir d'un échantillon de phanères (cheveux, poils, ongles).

### Prélèvement et analyse

Les cheveux sont généralement prélevés en vertex postérieur. Une mèche de 50 à 80 cheveux (diamètre d'un crayon à papier) est suffisante (prélever, à titre conservatoire, une seconde mèche). Celle-ci doit être prélevée le plus près de la peau, coupée au ciseau (ne pas arracher) et orientée racine-extrémité au moyen d'une cordelette, fixée 1 cm au-dessus du niveau de la racine (figure 1). La conservation est aisée ; elle s'effectue en tube sec ou dans une enveloppe, à température ambiante [4]. Ce procédé de stockage est nettement plus favorable que celui des urines ou du sang, qui nécessite le froid. Le recueil d'un deuxième échantillon identique de cheveux est toujours possible dans la semaine qui suit le prélèvement initial, alors que cela s'avère irréalisable avec les urines. Si les cheveux sont manquants (calvitie) ou qu'ils ne peuvent pas être prélevés pour cause religieuse ou traitement cosmétique particulièrement agressif, des poils (axillaires, pubiens, de la poitrine, des jambes ou des bras) ou des ongles peuvent être utilisés [5, 6]. Chaque prélèvement a ses propres caractéristiques en termes de vitesse de pousse et de fenêtre de détection, et il convient d'adapter l'interprétation en tenant compte de ces spécificités. À ce jour, parmi les classes de substances interdites et celles soumises à certaines restrictions, les analystes ont pu identifier dans les phanères la plupart des produits interdits selon le Code mondial antidopage, à l'exception majeure des hormones peptidiques du fait de leur encombrement stérique interdisant le transfert depuis les capillaires sanguins. Une revue récente a listé les agents dopants détectables dans les cheveux et, par extension, dans les poils et les ongles [7]. Toutes les méthodes font appel à la spectrométrie de masse, en général en tandem (MS/MS), mais de plus en plus en haute résolution (HRMS). Pour de nombreuses molécules, la chromatographie en phase gazeuse reste une option viable par rapport à la chromatographie en phase liquide, malgré le recours quasi-systématique à une étape supplémentaire de dérivation. Que ce soit en France, en Europe, aux États-Unis et, plus généralement, dans

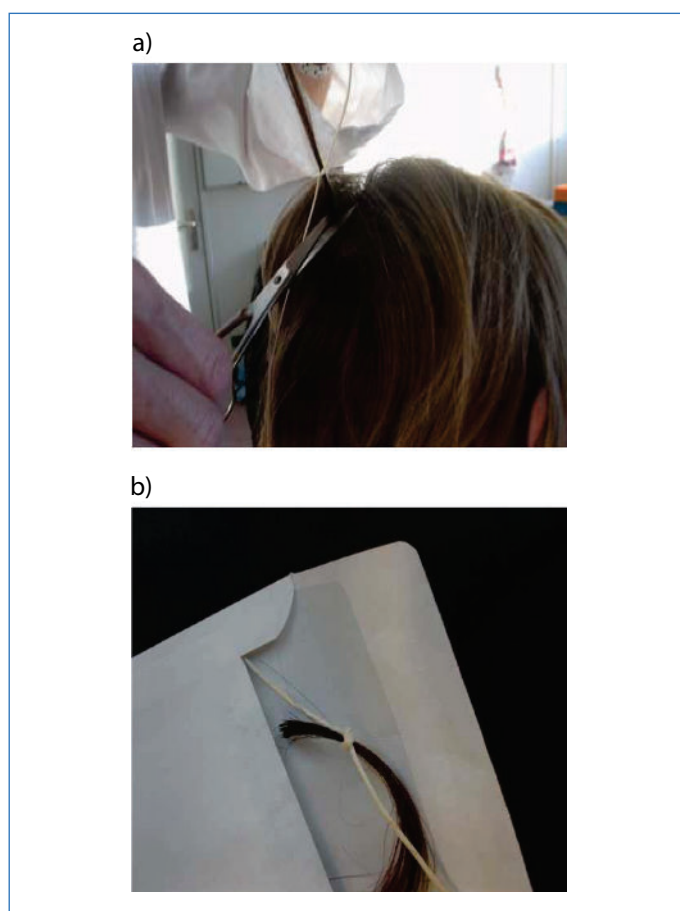


Figure 1 - Protocole de prélèvement des cheveux :  
a) phase de coupe avec la cordelette posée à 1 cm du cuir chevelu ;  
b) la conservation dans une enveloppe au sec et à température ambiante.

les pays où le contradictoire existe, l'expertise toxicologique à partir de cheveux, des poils ou des ongles est désormais reconnue par les tribunaux en charge des affaires criminelles. Dans ces conditions, mais sans polémique, il convient de s'interroger sur l'absence de considération par l'AMA des matrices kératinisées, alors que des milliers d'analyses sont faites chaque jour sur les cheveux dans des domaines aussi variés que la sécurité routière, la protection infantile, le suivi des addictions ou encore l'aptitude professionnelle au travail. L'analyse des agents dopants dans les cheveux, poils ou ongles reste controversée [8-11] et s'apparente parfois à des luttes très politiques alors même que rien ne s'oppose dans

ces choix. Il convient de garder à l'esprit les limites de l'analyse capillaire [12, 13] et de ne pas interpréter des résultats sans validation complète sur le plan analytique. De même, il convient d'être très rigoureux pour établir la signification pharmaco-toxicologique d'une concentration d'une molécule très peu étudiée dans la littérature [14].

À ce jour, l'acceptabilité des cheveux est contestée par l'absence d'études contrôlées, en particulier pour les anabolisants, les SARM et les diurétiques, qui sont des substances qui s'incorporent mal dans les cheveux. Dans ces conditions, il peut être difficile de documenter un cas avec des urines positives et des cheveux négatifs si l'expert n'est pas capable de faire la preuve d'une sensibilité analytique suffisante. Pour de nombreux agents dopants, il n'existe pas de référentiel (dose minimale détectable, influence de la couleur des cheveux, stabilité, biais d'incorporation, etc.), ce qui peut compliquer les interprétations et surtout donner des arguments aux instances qui s'opposent aux analyses capillaires.

### Physiologie des cheveux et des ongles

Les cheveux en croissance (environ 85 % de la quantité totale) incorporent les substances présentes dans le sang et la sueur et peuvent ainsi représenter le calendrier rétrospectif de la consommation chronique d'un xénobiotique. En effet, les cheveux poussent d'environ 1 cm par mois et leur analyse centimètre par centimètre, de la racine (exposition la plus récente) vers la pointe des cheveux (exposition la plus ancienne dans le temps) permet de suivre l'évolution (diminution, augmentation ou pas de variation) de la consommation mois après mois. Aujourd'hui, l'analyse segmentaire est un outil indispensable pour la justice et le corps médical afin de suivre l'évolution d'une toxicomanie ou la substitution par d'autres produits. Néanmoins, les résultats quantitatifs, quels qu'ils soient, doivent être interprétés avec beaucoup de rigueur et de précautions, car si l'analyse segmentaire présente des avantages par rapport aux analyses traditionnelles dans le sang ou les urines (calendrier rétrospectif, fenêtre de détection, évolution de la consommation etc.), il faut garder en mémoire que la croissance des cheveux n'est pas continue et que des phénomènes de migration à l'intérieur du cheveu peuvent affecter les concentrations.

Sur le plan anatomique, l'ongle est une partie dure et insensible de l'orteil ou du doigt, faite essentiellement de kératine. À l'opposé des cheveux, l'ongle ne contient pas de pigment de type mélanine et, à ce titre, n'est pas sujet à des biais de couleur. La vitesse de pousse des ongles de la main est de l'ordre de 3 mm par mois, alors qu'elle est plus réduite pour les ongles des pieds, de l'ordre de 1 à 1,5 mm par mois. L'incorporation des xénobiotiques se fait à 80 % au niveau de la matrice proximale et à 20 % au niveau du lit de l'ongle. Il est communément admis qu'après avoir coupé les ongles, la partie coupée représente une fenêtre de détection de 3 à 6 mois pour les mains et 8 à 16 mois pour les pieds. À l'exclusion de l'éthylglucuronide, marqueur de l'éthanol, les concentrations dans les ongles sont généralement plus faibles que dans les cheveux [15].

### Cheveux et contrôle antidopage, ça marche

L'analyse des cheveux autorise la différenciation entre un usage unique et une consommation régulière. De cette façon, l'usage récréatif de cannabis ou de cocaïne, en particulier

dans certains sports collectifs pourrait être documenté. La contamination « accidentelle » ou dans l'intention de nuire (par sabotage) d'une boisson, conduisant ainsi à un résultat urinaire positif, pourrait être élucidée par analyse des cheveux, l'athlète pouvant alors prouver une exposition unique. Dans le cadre de la protection de la santé des sportifs (suivi longitudinal), un usage prolongé d'anabolisants stéroïdiens, de corticoïdes ou de  $\beta$ 2-adrénergiques (salbutamol) ne peut être mis en évidence par analyse urinaire. Au contraire, les cheveux remplissent parfaitement leur rôle de mémoire historique. Les révélations des expertises judiciaires pratiquées après le Tour de France 1998 sont, dans ce sens, tout à fait éloquentes. Le nombre de contestations de résultat anormal (dans le dopage, on ne parle pas de résultat positif) semble en augmentation constante, comme en atteste l'activité croissante de certains cabinets d'avocats spécialisés dans le sport. Ainsi, les demandes d'assistance à la suite d'un échec à un contrôle sont essentiellement le fait d'athlètes de haut, voire très haut niveau international, avec des dossiers instruits par des juristes majoritairement issus de la culture anglo-saxonne, dont le système juridique est basé sur le contradictoire. La mise sur le marché d'outils analytiques particulièrement sensibles a singulièrement compliqué les investigations lorsque les concentrations urinaires sont de l'ordre du pg/mL. Ainsi, plus les concentrations sont faibles, plus le risque de contamination augmente. Dans ces conditions, il a semblé important à l'auteur d'établir les critères d'acceptabilité scientifique dans les situations où une contamination est suggérée [16, 17]. La source de la contamination peut être l'utilisation de compléments alimentaires, de viande, une exposition environnementale ou encore des contacts intimes avec une personne ayant consommé un produit interdit. Le concept est d'introduire le raisonnement médico-judiciaire dans l'antidopage [18-20]. La stratégie du cabinet, basée sur notre expérience de 25 années dans le domaine est la suivante :

- les concentrations urinaires des substances identifiées chez l'athlète doivent être très faibles (en général, inférieures à 2-3 ng/mL, voire du domaine du pg/mL) ;
- si possible, la dose entrée dans l'organisme doit être estimée, ce qui permettra de contester tout effet pharmacologique augmentant la performance ;
- une analyse de cheveux de l'athlète doit confirmer l'absence de consommation de la substance identifiée à dose efficace pour augmenter les performances (la période couverte par l'analyse capillaire doit englober celle du contrôle urinaire) ;
- l'athlète et ses conseils doivent présenter des éléments vérifiables justifiant une contamination et la source de contamination doit être identifiée. Cet élément d'identification de la source est primordial pour pouvoir établir ensuite la non-intentionnalité de consommation ;
- l'athlète doit démontrer qu'il (ou elle) ne savait pas qu'une substance prohibée était présente, et qu'il (ou elle) ne l'avait pas consommée de façon intentionnelle ;
- un pharmacologue ou un toxicologue expérimenté doit vérifier si les déclarations de l'athlète sont acceptables sur le plan scientifique ;
- enfin, une analyse de cheveux du partenaire (en cas de contamination par contact) doit confirmer un usage de la substance incriminée, afin de pouvoir être identifié comme étant la source de contamination.

Dans les cheveux comme les ongles, la substance la plus concentrée est la molécule-mère et les métabolites sont détectés surtout pour discriminer une contamination externe.

Dans le cas d'un abus de dérivés de la testostérone, les cheveux montrent ici un avantage absolu sur les urines. La qualification de dopage se fait sur un rapport Testostérone/Épitéstostérone supérieur à un seuil-cible (T/E < 4). Or, la testostérone est essentiellement administrée par voie injectable, sous forme estérifiée (propionate, énanthate, décanoate...) qui, en se métabolisant, va être hydrolysée pour donner de la testostérone, qu'on va retrouver dans les urines en mélange avec la forme endogène. Le dosage urinaire est facile, accessible à de nombreux laboratoires et certains sportifs n'hésitent pas à se faire contrôler régulièrement pour être « en dessous de la barre » ou pour prétexter une sécrétion naturelle importante. Dans ces conditions, s'agissant d'un composé physiologique, la différenciation est particulièrement délicate, même si l'utilisation des rapports isotopiques du carbone a été proposée. Au contraire, dans les cheveux, l'ester de testostérone, la substance-mère, sera présente et signera de façon indiscutable un apport exogène [21]. De même, un sportif peut être convaincu de dopage lorsque l'on retrouve de la norandrostérone (NA) dans ses urines avec un signal supérieur à celui que donne un contrôle à 2 ng/mL. Or, la NA est le métabolite commun à la nandrolone, la nandrolone décanoate, la 19-norandrostènediol et la 19-norandrostènedione. L'analyse des cheveux permet alors de distinguer la substance originelle, ce qui permet de démarrer des investigations de type médico-judiciaires [22]. Le contrôle du dopage par l'AMA par analyse des cheveux ne semble pas être à l'ordre du jour et, dans les faits, ne devrait pas faire l'objet de profondes modifications des règles du Code de l'AMA. En revanche, dans le cadre des expertises judiciaires, cette approche calquée sur les analyses de stupéfiants peut se révéler déterminante dans la lutte contre les trafics d'agents dopants, mais surtout dans la mise en évidence d'une altération du comportement (libido, agressivité) sous l'influence de substance de la performance [23], en particulier les anabolisants ou les décès inattendus d'origine cardiaque [21, 24-26]. Récemment, trois jugements [27-29] ont été favorables (*no fault*) à trois athlètes féminines ayant toutes présenté un résultat urinaire anormal. Ces affaires sont en tous points superposables : très faible(s) concentration(s) de la substance ou de ses métabolites dans les urines, analyse négative des cheveux de l'athlète, consommation de la (ou les) substance(s) incriminée(s) vérifiée chez le partenaire et analyse de cheveux positives du partenaire. Dans les trois cas, le tribunal a considéré que le résultat anormal des athlètes était plus que probablement la conséquence d'une contamination pendant des moments intimes par l'intermédiaire d'un partenaire consommant le (ou les) produit(s) retrouvé(s) dans les urines de l'athlète.

## Une chaîne de qualité

Au total, la demande sans cesse croissante des magistrats d'expertises judiciaires à partir d'échantillons de cheveux a naturellement conduit à standardiser de façon très rigoureuse l'ensemble de la procédure, du prélèvement et de sa conservation à l'interprétation des résultats. Cela implique une chaîne de qualité identique à celle mise en place pour les urines. Chaque laboratoire pratiquant des analyses à partir d'échantillons de cheveux doit avoir une méthodologie complètement validée, incluant précision, justesse, sensibilité et spécificité, et doit avoir établi ses études de population. L'analyse des xénobiotiques dans les cheveux semble promise à un bel avenir. À partir d'une standardisation rigoureuse de la

méthode de prélèvement et de la technique d'analyse, l'implication des cheveux dans la lutte contre le dopage devrait être reconnue. En 2013, Sir Craig Reddie, le président de l'AMA, avait publiquement déclaré qu'il souhaitait que les contrôles puissent se faire avec des prélèvements alternatifs au sang et à l'urine et qu'à ce titre, les cheveux apparaissaient comme une excellente opportunité. Il n'est certes pas envisageable de rechercher directement l'ensemble des substances classées comme dopantes dans une seule mèche de cheveux ou des ongles. L'urine reste à cet effet le meilleur milieu de dépistage. Mais l'athlète devrait être autorisé à faire pratiquer une analyse de cheveux en cas de contestation.

- [1] A.M. Baumgartner, P.F. Jones, W.A. Baumgartner, C.T. Black, Radioimmunoassay of hair for determining opiate-abuse histories, *J. Nucl. Med.*, **1979**, *20*, p. 748-752.
- [2] P. Kintz, Drug testing in addicts: a comparison between urine, sweat and hair, *Ther. Drug Monit.*, **1996**, *18*, p. 450-455.
- [3] <https://www.wada-ama.org/fr/ressources/code-mondial-antidopage-et-standards-internationaux/code-mondial-antidopage> (consulté le 8/01/24)
- [4] <http://www.x-pertise.com/x-pertise.com/Specialites.html> (consulté le 8/01/24)
- [5] P. Kintz, L. Gheddar, J.S. Raul, Simultaneous testing for anabolic steroids in human hair specimens collected from various anatomic locations has several advantages when compared with the standard head hair analysis, *Drug Test. Anal.*, **2021**, *13*, p. 1445-51.
- [6] P. Kintz, L. Gheddar, J.S. Raul, Testing for anabolic steroids in human nail clipping, *J. Forensic Sci.*, **2021**, *66*, p. 1577-82.
- [7] P. Kintz, L. Gheddar, A. Ameline, N. Arbouche, J.S. Raul, Hair testing for doping agents. What is known and what remains to do, *Drug Test. Anal.*, **2020**, *12*, p. 316-322.
- [8] L. Rivier, Is there a place for hair analysis in doping controls? *Forensic Sci. Int.*, **2000**, *107*, p. 309-323.
- [9] A. Petoczi *et al.*, Incongruence in doping related attitudes, beliefs and opinions in the context of discordant behavioural data: in which measure do we trust? *PLoS One*, **2011**, *6*, p. e18804.
- [10] D. Thieme, Potential and limitations of alternative specimens in doping control, *Bioanalysis*, **2012**, *4*, p. 1613-22.
- [11] M. Thevis, M. H. Geyer, L. Tretzel, W. Schänzer, Sports drug testing using complimentary matrices: Advantages and limitations, *J. Pharm. Biomed. Anal.*, **2016**, *130*, p. 220-230.
- [12] P. Kintz, V. Cirimele, B. Ludes, Pharmacological criteria that can affect the detection of doping agents in hair, *Forensic Sci. Int.*, **2000**, *107*, p. 325-334.
- [13] P. Kintz, Hair analysis in forensic toxicology: an update review with a special focus on pitfalls, *Curr. Pharm. Des.*, **2017**, *23*, p. 5480-86.
- [14] J.J. Palamar, A. Salomone, On the challenges of hair testing to detect underreported substance use in research settings, *Am. J. Drug Alcohol Abuse*, **2023**, *19*, p. 1-4.
- [15] D. Cappelle *et al.*, Keratinous matrices for the assessment of drugs of abuse consumption: a correlation study between hair and nails. *Drug Test Anal.*, **2018**, *10*, p. 1110-18.
- [16] P. Kintz, What are the prerequisites to account for "no fault" in doping control after an adverse analytical finding possibly due to drug contamination? Perspective from a hair testing analyst, *J. Anal. Toxicol.*, **2021**, *45*, e3-e5.
- [17] P. Kintz, Drug transfer during intimate moments: a key issue in doping control that can be documented by hair tests of the athlete and the partner, *Med. Sci. Law*, **2023**, *64*, p. 72-76.
- [18] P. Kintz, Dopage sportif : appliquer les principes de la toxicologie judiciaire. À propos de 3 cas dans le tennis, l'athlétisme et le football, *Rev. Med. Leg.*, **2016**, *7*, p. 81-83.
- [19] P. Kintz, Contrôles anti-dopage : trop, pas assez, autrement ? *Toxicol. Anal. Clin.*, **2020**, *32*, p. 141-143.
- [20] P. Kintz, The forensic response after an adverse analytical finding (doping) involving a selective androgen receptor modulator (SARM) in human athlete, *J. Pharm. Biomed. Anal.*, **2022**, *207*, 114433.
- [21] L. Gheddar *et al.*, The power of keratinous matrices (head hair, body hair and nail clippings) analysis in a case of death involving anabolic agents, *J. Anal. Toxicol.*, **2023**, *46*, p. e307-e313.
- [22] P. Kintz, V. Cirimele, B. Ludes, Discrimination of the nature of doping with 19-norsteroids through hair analysis, *Clin. Chem.*, **2000**, *46*, p. 2020-22.
- [23] F. Aknouche *et al.*, Anabolic steroids and extreme violence: a case of murder after chronic intake and acute influence of metandienone and trenbolone, *Int. J. Leg. Med.*, **2021**, *135*, p. 1449-53.
- [24] P. Kintz *et al.*, In a case of death involving steroids, hair testing is more informative than blood or urine testing, *J. Anal. Toxicol.*, **2021**, *45*, p. 829-834.
- [25] L. Gheddar *et al.*, Testing for trenbolone, an anabolic steroid, in biological fluids and head hair in a post-mortem case. *J. Anal. Toxicol.*, **2021**, *46*, p. e88-e91.
- [26] P. Kintz *et al.*, Complete post-mortem investigations in a death involving clenbuterol after long-term abuse. *J. Anal. Toxicol.*, **2019**, *43*, p. 660-665.
- [27] [www.canoeicf.com/news/icf-decision-laurence-vincent-lapointe](http://www.canoeicf.com/news/icf-decision-laurence-vincent-lapointe) (consulté le 08/01/24).
- [28] [www.usada.org/sanction/madilyn-nickles-found-at-no-fault/](http://www.usada.org/sanction/madilyn-nickles-found-at-no-fault/) (consulté le 11/07/23).
- [29] [www.usada.org/sanction/virginia-fuchs-found-not-at-fault/](http://www.usada.org/sanction/virginia-fuchs-found-not-at-fault/) (consulté le 11/07/23).

**Pascal KINTZ**<sup>1,2</sup>, professeur conventionné.

<sup>1</sup>Institut de médecine légale, Strasbourg.

<sup>2</sup>X-Pertise Consulting, Mittelhausbergen.

\* [pascal.kintz@wanadoo.fr](mailto:pascal.kintz@wanadoo.fr)