

1

Approches méthodologiques et réflexions sur la prévalence du dopage

Dans le domaine du dopage, la question de l'ampleur réelle du phénomène demeure une préoccupation d'actualité, non résolue, qui fait l'objet de façon régulière de publications scientifiques sous la forme de revues de la littérature, suivant plus ou moins une procédure systématique. Certaines utilisent une approche globale (Dimeo et Taylor, 2013 ; De Hon et coll., 2015 ; Gleaves et coll., 2021 ; Petróczi et coll., 2022b), et d'autres une approche par sources de données (Dimeo et Taylor, 2013 ; Erickson et Backhouse, 2018), par type de substances susceptibles de modifier les performances, qu'il s'agisse de substances interdites par l'Agence mondiale antidopage (AMA) ou non (Kindermann, 2007 ; Graham et coll., 2008 ; Sagoe et coll., 2014 ; Brisola-Santos et coll., 2016 ; Knapik et coll., 2016 ; McDuff et coll., 2019 ; Docter et coll., 2020 ; Ekhtiari et coll., 2020), ou par type de populations, par exemple chez les sportifs de haut niveau, les étudiants, les membres de club de sport ou de fédération, à l'échelle d'un pays... (Diehl et coll., 2012 ; Sagoe et coll., 2014 ; De Hon et coll., 2015 ; Vernec et coll., 2020 ; Exner et coll., 2021).

Les mesures de prévalence prennent en compte l'ensemble des cas d'un événement observés à un instant donné ou dans une période donnée dans une population donnée. Elles ont comme objectif d'estimer la proportion de personnes concernées par un phénomène de santé au sein d'une population à un temps donné bien défini.

La prévalence absolue (nombre de cas prévalents) correspond au nombre de cas d'un événement observés à un instant donné. Il est important d'indiquer la population source et la période de temps dans lesquelles ces cas prévalents sont identifiés.

La prévalence (ou prévalence relative) P se définit ainsi :

$$P = \frac{\text{nombre de cas prévalents}}{\text{nombre de sujets observés}} \text{ à un instant donné}$$

La prévalence indique ainsi l'ampleur d'un problème dans un temps défini. Elle peut être obtenue par la réalisation d'une enquête ponctuelle, puisque c'est une photographie instantanée de la population dans laquelle on souhaite estimer ce problème. Cette estimation se fait à partir d'une étude transversale descriptive. La mesure de la prévalence nécessite donc une définition précise du numérateur (qui, quand, comment) et du dénominateur (sur quelle population porte la mesure).

Lorsqu'on cherche à déterminer la prévalence du dopage, on établit donc un rapport entre le nombre de personnes répondant à une définition donnée du dopage et l'ensemble de la population concernée par l'interrogation, à une date définie, et pour une fenêtre de temps particulière (jour, semaine, mois, année, vie entière, pendant une période de sa vie). Ainsi on se rend compte rapidement que de nombreuses difficultés émergent, liées :

- aux méthodes des études qui nécessitent la coopération des personnes interrogées, car le recueil de données relève d'un questionnaire (plutôt auto-administré), ou du résultat d'un test biologique ;
- à une méconnaissance des définitions réglementaires, certains sportifs étant parfois étonnés que des substances « récréatives » (cocaïne, cannabis...) soient interdites en compétition ;
- au fait que compte tenu de leur courte fenêtre de détection, certaines substances ne sont pas détectables lors des contrôles en compétition.

La difficulté pour déterminer la prévalence du dopage à partir des données disponibles tient principalement à la définition du phénomène d'intérêt et à la population cible.

Dopage, pratiques ou conduites dopantes ?

Dans le langage commun, selon le dictionnaire Larousse, le dopage se définit comme le fait d'administrer, d'inciter à l'usage, de faciliter l'utilisation, en vue d'une compétition sportive, de substances ou de procédés de nature à accroître artificiellement les capacités physiques d'une personne ou d'un animal ou à masquer leur emploi en vue d'un contrôle.

Selon l'AMA, le dopage est défini comme une ou plusieurs violations des règles antidopage, énoncées dans le Code mondial antidopage. Ces violations font l'objet de 11 articles du Code⁶¹ parmi lesquels sont détaillés la « Présence d'une substance interdite, de ses métabolites ou marqueurs dans un échantillon

61. Article 2 du Code mondial antidopage (https://www.wada-ama.org/sites/default/files/resources/files/wada_anti-doping_code_2021_french_v9.pdf).

fourni par un sportif » (article 2.1) ou « Usage ou tentative d'usage par un sportif d'une substance interdite ou d'une méthode interdite » (article 2.2). Les substances ou les méthodes interdites sont celles inscrites sur la Liste des interdictions de l'AMA qui remplissent deux des trois critères d'inclusion suivants : i) la preuve que la substance ou méthode a le potentiel d'améliorer ou améliore effectivement la performance sportive ; ii) la preuve que la substance ou méthode est un risque avéré ou potentiel pour la santé du sportif ; et iii) l'usage de la substance ou méthode est contraire à « l'esprit sportif » tel que décrit dans le Code. Nombre de publications sur la prévalence du phénomène de dopage s'appuie sur cette définition de l'AMA pour estimer l'ampleur du phénomène.

Dans la littérature internationale, le terme « *doping* » traduit par dopage correspond en général à la notion de dopage de l'AMA. Le terme « *doping behaviour* », traduit en français par « conduite dopante » ou « comportement dopant », est également rapporté dans la littérature, notamment dans certaines revues systématiques sur la prévalence du dopage, mais il renvoie à plusieurs ambiguïtés.

En premier lieu, le terme « conduite dopante⁶² » est utilisé en France avec une proposition de traduction sous le terme de « *doping behaviour* » (Laure et Allouche, 2015). D'autre part, « *doping behaviour* » est parfois utilisé dans la littérature internationale en référence à des approches plus comportementalistes, d'où une traduction plus appropriée de « comportement dopant » ou de « comportement de dopage ».

Un des intérêts de la notion de « conduite dopante », dans l'acception française, est d'étendre la question du dopage au-delà de la pratique sportive : la prise de produits avant un examen, une présentation devant un public, un entretien d'embauche, relève du même principe. Cette notion peut donc être utile aux acteurs de la prévention pour qualifier une démarche, même si celle-ci ne débouche pas forcément vers une consommation de produits dits dopants dans le cadre d'une pratique sportive en référence à la Liste des interdictions de substances et méthodes de l'AMA. Elle permet aussi d'élargir le public que l'on souhaite toucher par des actions de prévention. Par extension, dans la communauté antidopage française, le terme est parfois utilisé pour préciser une cible (généralement des sportifs amateurs voire des personnes qui ne sont pas des sportifs – au sens du Code du sport – ou qui ne sont pas des compétiteurs).

Dans la littérature, le terme « *doping behaviour* » est entendu comme un comportement, lié à une motivation de mieux performer, parfois rapporté

62. De manière générale, une conduite dopante pourrait se définir comme le recours à l'utilisation de produits en vue d'affronter un obstacle, qu'il soit réel ou ressenti.

à une intentionnalité (la volonté d'obtenir des résultats plus rapidement). Cependant, les différentes approches déclinées en référence à ce comportement sont parfois peu opérationnelles en particulier pour déterminer la prévalence, puisque dans les études réalisées il s'agit parfois de l'exploration des représentations des répondants sur le dopage, plutôt que d'une identification de leurs pratiques réelles. Ainsi, bien qu'elles puissent être intéressantes, les mesures indirectes telles que l'intention, la volonté ou l'attitude vis-à-vis du dopage ne reflètent pas directement des pratiques de dopage.

Une autre ambiguïté concerne les substances et méthodes dont il est question. Certains utilisent le terme de « conduite dopante » en cas de recours à l'utilisation de substances et de méthodes dites autorisées, car elles ne font pas partie de la Liste des interdictions de l'AMA. Il peut s'agir de médicaments prescrits ou non permettant d'anticiper une possible douleur qui pourrait altérer le niveau de performances (par exemple le recours à des anti-inflammatoires non stéroïdiens de façon massive pour les participants d'épreuves d'endurance ; Martínez et coll., 2017) ou bien de compléments alimentaires.

Dans cette perspective, la qualification de la consommation devient un objet de controverses, qui dépasse l'arène académique lorsque des enjeux juridiques surgissent. Certains parlent d'une « zone grise », pour désigner une pratique dopante qui peut se traduire, ou non, par l'usage de substances ou de méthodes interdites.

En conséquence, nous proposons de conserver le terme de « *doping behaviour* », traduit par comportement de dopage, pour nous référer à la notion très largement utilisée dans la littérature scientifique internationale et d'utiliser le terme de « pratique dopante » pour désigner une pratique en lien avec la volonté de mieux performer grâce au recours à différents produits et méthodes.

Enfin, dans un objectif de surveillance sanitaire du phénomène et pour l'estimation de la prévalence, ce seront surtout les données qui permettent de caractériser un usage de substances ou de méthodes dans une population donnée qui vont nous intéresser.

Pour quelle population cible ?

Lorsque l'on souhaite évaluer l'ampleur du phénomène de dopage dans des populations sportives différentes, s'il s'agit de sujets sportifs de haut niveau, éventuellement sportifs professionnels, ou bien de la population générale, incluant les sportifs amateurs ou de loisir, quel que soit leur âge, il faut se questionner sur la pertinence du concept de dopage auquel on se réfère.

En effet, Frenger et coll. (2016), s'intéressant à la problématique de la consommation de substances dans un contexte sportif hors sport de haut niveau, posent la question de l'adéquation du concept de dopage selon l'AMA au contexte du sport amateur ou de loisir. Les auteurs identifient trois approches possibles. Deux approches, conçues pour les athlètes de haut niveau, se distinguent par leurs critères fondamentaux. La première se concentre sur la motivation de l'athlète à recourir à la consommation de substances. Cette notion apparaît dès les années 1960 dans une définition du dopage avancée par le Conseil de l'Europe qui l'entend comme « l'administration à un sujet sain ou l'utilisation par lui-même, par quelque moyen que ce soit, de substances étrangères à l'organisme ou de substances physiologiques en quantité ou par une voie anormale, et ce dans le seul but d'influer artificiellement et de façon déloyale sur la performance de ce sujet à l'occasion de sa participation à une compétition » ; dans cette approche, c'est la motivation de dopage qui prime. En revanche, la deuxième approche repose sur la notion de la responsabilité objective selon laquelle le dopage correspond à l'utilisation de substances ou de méthodes dopantes violant la Liste des interdictions de l'AMA. Que le sportif ait eu ou non l'intention d'avoir recours à ces produits à des fins de dopage importe peu, puisque cette définition repose sur sa stricte responsabilité à veiller à ne pas violer les règles antidopage. Les substances et méthodes qui sont interdites peuvent l'être parce qu'elles améliorent les performances, mais aussi parce qu'elles sont contraires à « l'esprit du sport » ou présentent un risque pour la santé. La troisième approche, que les auteurs suggèrent comme étant la mieux adaptée au sport amateur ou de loisir, correspond à la compréhension qu'a le grand public de l'utilisation de substances dans le contexte sportif. En population générale, dans le contexte du sport de loisir, et parfois dans un contexte de compétition, les sujets peuvent utiliser des médicaments, dans une approche thérapeutique, sans avoir la notion d'enfreindre les règles antidopage, alors que certains de ces médicaments comme les analgésiques opioïdes sont inclus sur la Liste des interdictions de l'AMA. De façon similaire, un sportif amateur pourrait être contrôlé positif à l'occasion d'une compétition, parce que la veille il a participé à un événement festif avec consommation de cannabis ou de cocaïne, alors que cette consommation n'avait pas pour objectif d'améliorer ses performances physiques et n'était pas contraire à « l'esprit du sport ». Dans cette population béotienne, il est important de tenir compte de l'intention derrière la (ou les) substance(s) utilisée(s). C'est cette approche, qui a d'ailleurs été utilisée dans le projet FAIR (*Forum for Anti-Doping in Recreational Sport*) qui s'est intéressé aux sportifs amateurs ou de loisir (voir la section « Consommation de substances visant à améliorer les performances en milieu sportif amateur » dans le chapitre 2).

Panorama des différentes sources d'information pour estimer la prévalence du dopage

Données relatives aux violations des règles de l'AMA

Données analytiques (contrôle antidopage)

Les résultats des contrôles antidopage constituent une source d'information très largement utilisée pour donner une indication sur la prévalence du dopage. Il s'agit des résultats des analyses effectuées sur des échantillons d'urine ou de sang par les laboratoires accrédités par l'AMA, et figurant dans leur système d'administration et de gestion antidopage (ADAMS ; *Anti-Doping Administration and Management System*). Ces résultats sont publiés par l'Agence, depuis 2003, dans un rapport annuel dans lequel les données sont ventilées par sport et autorité de contrôle. Ces rapports concernent une cinquantaine de sports, et incluent les tests réalisés lors des Jeux Olympiques et Paralympiques. Ils présentent les résultats d'analyse anormaux (RAA) ainsi que les résultats atypiques (RA) qui restent à confirmer ou non comme des violations des règles antidopage (VRAD) compte tenu, par exemple, des autorisations d'usage à des fins thérapeutiques (AUT). Initialement difficilement accessibles au grand public, l'AMA a amélioré depuis une dizaine d'années la transparence sur ces données. À cet égard, l'Agence publie chaque année depuis 2013 un bilan plus précis du nombre de VRAD « analytiques » (basées sur des analyses biologiques), mais également les décisions sur les violations « non analytiques » qui ne font pas l'objet de la présente expertise collective (par exemple, se soustraire au prélèvement d'un échantillon, ou manquements aux obligations en matière de localisation). Les versions les plus récentes de ces rapports font état des données des contrôles antidopage de 2024 et des VRAD de 2022⁶³.

Ces données sont le reflet direct de la proportion de tests biologiques susceptibles de constituer une violation du Code de l'AMA (identification d'une substance ou d'une méthode interdite), sans préjuger de l'existence d'un comportement de dopage. Tout d'abord, ces résultats ne concernent que les substances identifiées dans un échantillon biologique donné, au moment du prélèvement. Les fenêtres de détection des substances sont très hétérogènes avec une grande variabilité pouvant aller de quelques heures à plusieurs jours. Quelques substances effectivement dopantes peuvent être utilisées à faible dose en amont des contrôles, et seront donc sous le seuil de détection, et

63. Les rapports sur les données de contrôles antidopage et sur les violations des règles antidopage sont disponibles sur le site de l'AMA : <https://www.wada-ama.org/fr/ressources/statistiques-antidopage/rapport-sur-les-donnees-de-contrôle-antidopage> et <https://www.wada-ama.org/fr/ressources/statistiques-antidopage/rapport-sur-les-violations-des-regles-antidopage-vrad>

notamment si leur fenêtre de détection est très courte. La connaissance des propriétés pharmacologiques de ces produits permet d'anticiper ces situations et de gérer au mieux la consommation éventuelle de ces produits. Lorsqu'ils sont réalisés, les tests ne sont pas réalisés tous les jours compte tenu de leur caractère intrusif, ni forcément sur une périodicité préétablie, sans aucune standardisation ni harmonisation selon les pays, les sports et/ou les compétitions (Cuddihy, 2020). En effet, ces contrôles peuvent être réalisés pendant ou hors compétition, et dans un temps variable d'un type de sport à l'autre, ou selon les compétitions, l'imprévisibilité faisant partie aujourd'hui de la lutte antidopage. Par ailleurs, il est possible d'augmenter les taux de contrôles positifs en ciblant davantage les populations à risque comme les culturistes, mais l'augmentation traduirait un changement de population testée et pas un changement de prévalence dans le temps (figure 1.1).

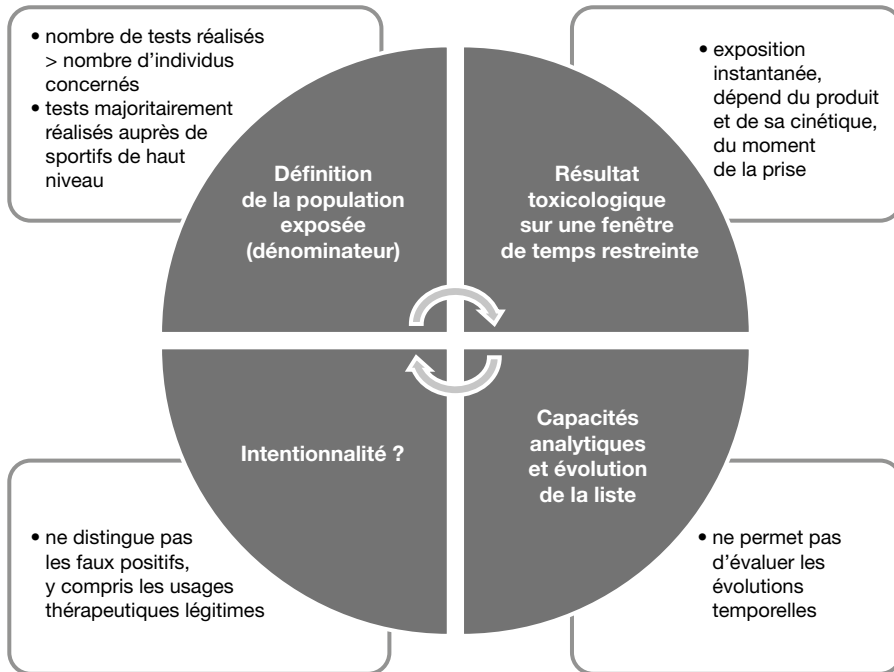


Figure 1.1 : Limitations inhérentes aux résultats des contrôles antidopage de l'AMA pour l'estimation de la prévalence du dopage

Un autre problème majeur pour estimer la prévalence du dopage (au sens de l'AMA) à partir des données de contrôles antidopage concerne la nature du dénominateur ; dans les données mises à disposition du public, et faisant l'objet de publications scientifiques visant à estimer la prévalence du dopage, il s'agit en fait du nombre de tests réalisés, et pas d'individus,

deux prélèvements étant réalisés (échantillons dits A et B), un pour le test de dépistage, le deuxième conservé en cas de besoin pour le contrôle d'un résultat anormal au premier test. Par ailleurs, la nature du numérateur est tout aussi cruciale : celui-ci correspond au nombre de tests positifs, c'est-à-dire de résultats d'analyse anormaux (RAA) ou atypiques (RA), résultats nécessitant une vérification sur le deuxième échantillon. Ces résultats se réfèrent aux substances identifiées par le laboratoire antidopage, alors que dans certains cas le sportif peut bénéficier d'une AUT (c'est le cas pour environ 1 RAA sur 6, d'après le dernier rapport sur les VRAD publié par l'AMA en 2025). Compte tenu que les laboratoires effectuent les dosages sans connaître l'identité des individus, il n'est pas possible d'associer les résultats et les circonstances. Ainsi, un sportif asthmatique légitimement traité par un bêta-2 agoniste et un corticoïde apparaîtra deux fois dans les tests positifs. Enfin, la catégorie des stéroïdes anabolisants androgènes (SAA) présentée de façon globale pourrait correspondre à un profil stéroïde atypique qui ne constitue pas forcément une violation du Code de l'AMA.

Certains auteurs contestent la pertinence de mettre à disposition de telles données, qui obèrent la possibilité d'avoir des données de prévalence fiables, et demandent des évolutions dans la présentation de cette source d'information, avec des informations précises sur les faux positifs (AUT), et des approches complémentaires avec différentes techniques d'analyse (Simon et coll., 2018).

Malgré ces limitations évidentes, de nombreuses publications rapportent les résultats de ces contrôles antidopage, sous la forme d'estimation de prévalence à l'échelle internationale (Aguilar et coll., 2017 ; Aguilar-Navarro et coll., 2020a et b ; Aguilar-Navarro et coll., 2021a ; Lara et coll., 2021) ou à une échelle nationale (Mercado Soberanes et coll., 2019 ; Collomp et coll., 2022).

Les données françaises sont peu représentées, une seule publication des données récentes françaises issues du contrôle antidopage mené par l'Agence française de lutte contre le dopage (AFLD) entre 2013 et 2019. Dans cette analyse, la proportion de résultats positifs semble plus élevée chez les hommes (1,81 % *versus* 1,42 % chez les femmes), avec des différences qualitatives dans les substances impliquées : plus de SAA et d'érythropoïétine (EPO) chez les hommes, plus de bêta-2 stimulants chez les femmes (Collomp et coll., 2022).

Calero et coll. (2018) ont présenté des données à l'échelle européenne, sur la période 2003-2015, en utilisant les résultats des laboratoires antidopage européens, avec un objectif de comparer les résultats avant, pendant et après les olympiades qui se sont déroulées en Europe, à Athènes en 2004 et

Londres en 2012. En premier lieu, les auteurs rapportent leur étude comme une analyse de cohorte, répondant aux recommandations STROBE⁶⁴, alors qu'il s'agit de données transversales annuelles portant sur des échantillons biologiques et pas des individus (le principe des tests biologiques induisant qu'un même sportif puisse être testé plusieurs fois). Les données présentées dans l'article sont difficilement exploitables car parcellaires. Sur la totalité de la période 2003-2015, le taux de tests positifs auprès des 16 laboratoires européens concernés variait de 1,07 % pour le laboratoire de Londres à 5,09 % pour le laboratoire de Gand (juste devant le laboratoire de Paris avec 4,91 %), mais aucune information n'était disponible pour savoir qu'elle était l'activité de ces laboratoires (nombre de prélèvements analysés), ni s'il y avait une évolution dans le temps.

Ces résultats sont présentés dans les revues de la littérature sur la prévalence du dopage (De Hon et coll., 2015 ; Gleaves et coll., 2021 ; Petróczi et coll., 2022b). Globalement, les données présentées estiment une prévalence de tests antidopage positifs entre 1 et 2 %, avec des variations modestes qui dépendent de l'hétérogénéité dans la fréquence du *testing* (certaines disciplines faisant l'objet de contrôles plus systématiques que d'autres, comme le cyclisme et l'athlétisme), et également en fonction des pays. Ces données de contrôles antidopage concernent presque toujours des sportifs de haut niveau, participant à des compétitions de niveau national ou international. En mars 2016, dans un objectif de sensibilisation et d'éducation à l'antidopage, l'AFLD décidait de réaliser un contrôle antidopage lors d'une compétition cycliste de niveau régional en Guadeloupe, en testant 42 des 99 participants à la fin de l'épreuve (Marchand et coll., 2017). Sur ce contrôle inhabituel, sept cas de dopage ont été identifiés (soit 16,6 % des testés) avec 5 substances interdites. À l'exception de l'EPO qui était retrouvée chez 5 sujets (dont 4 utilisateurs d'EPO de 3^e génération pegylée), les autres substances identifiées (hormone de croissance, heptaminol, prednisone, et diméthylbutylamine) étaient à des concentrations élevées. Aucun de ces compétiteurs n'avait participé à des épreuves nationales ou internationales, suggérant ainsi que la prévalence d'utilisation de produits dopants chez ces sportifs amateurs serait plus élevée que chez les sportifs de haut niveau.

Passeport biologique

La première proposition d'établir une identification d'un potentiel dopage par EPO remonte à près de trente ans (Gareau et coll., 1996). Ces auteurs font le constat des difficultés techniques pour identifier et

64. *Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology.*

doser l'érythropoïétine chez des sportifs, puisqu'il s'agit d'un facteur de croissance hématopoïétique physiologique avec une demi-vie très courte. Ces auteurs ont l'idée d'explorer un marqueur indirect de l'activité érythroïde, le récepteur soluble de la transferrine (Tfr), principalement produit par les cellules souches hématopoïétiques stimulées par EPO. En comparant les valeurs de ce biomarqueur chez des sportifs volontaires sains traités par placebo ou EPO recombinante, ils ont observé une différence significative, d'autant plus marquée en divisant le Tfr par le taux de ferritine, liée à l'usage d'EPO. Considérant la valeur de ce biomarqueur, ainsi que la valeur de l'hématocrite (même niveau d'association avec l'exposition à l'EPO), ces indicateurs à explorer permettraient de s'assurer de l'absence de dopage sanguin. Sur la base de ces résultats, Gareau et coll. ont proposé de diagnostiquer la manipulation sanguine à l'aide de l'EPO par des paramètres sanguins de l'érythropoïèse, le Tfr et la ferritine. Cette proposition a conduit au développement d'un passeport biologique à partir des années 2000, permettant de réaliser une surveillance en continu de paramètres biologiques sélectionnés qui révèlent indirectement les effets du dopage, par opposition à la détection directe traditionnelle du dopage au moyen d'analyses.

L'AMA a introduit le concept du passeport biologique de l'athlète (PBA) avec une mise en place officielle en 2009 dans le cyclisme, puis élargie en 2011 notamment dans l'athlétisme, en proposant une méthode normalisée de profilage des variables hématologiques des sportifs pour la détection du dopage sanguin. À partir de 2014, le module stéroïdien est venu s'ajouter au système initial afin d'établir des profils longitudinaux de sportifs basés sur des variables urinaires liées au métabolisme des stéroïdes endogènes.

L'analyse du PBA repose sur un modèle probabiliste adaptatif basé sur une approche bayésienne permettant de déterminer la probabilité que les variations hématologiques d'un athlète soient dues à une manipulation exogène (Sottas et coll., 2007 ; van Renterghem et coll., 2010 ; Pottgiesser et coll., 2011 ; van Renterghem et coll., 2011 ; Lobigs et coll., 2017 et 2018). Le principe pour explorer la pertinence de différents biomarqueurs, repose sur la comparaison des valeurs d'un score ABPS (*abnormal blood profile score*) évocateur d'un dopage potentiel en distinguant des situations de dopage et de non dopage (Sottas et coll., 2007 ; van Renterghem et coll., 2010 ; Pottgiesser et coll., 2011 ; van Renterghem et coll., 2011). La validité et la prédictivité de ce score ont été explorées en confrontant un set de données issues de sujets reconnus comme dopés aux données de sportifs non dopés, afin de calibrer les valeurs « normales » et « supraphysiologiques », évocatrices d'une situation anormale (Sottas et coll., 2007).

À ce jour, la pertinence de ces biomarqueurs est relativement bien établie pour le dopage sanguin, elle reste à déterminer de façon plus solide pour le dopage aux stéroïdes.

Faiss et coll. ont estimé par exemple la prévalence du dopage sanguin à partir des valeurs de biomarqueurs hématologiques enregistrés dans le PBA chez des sportifs ayant participé à deux événements majeurs d'athlétisme (Championnats du monde 2011 et 2013), en faisant l'hypothèse préalable que cette prévalence devrait avoir diminué en raison de l'introduction du PBA en 2011 (Faiss et coll., 2020). Leur analyse a porté sur un total de 3 683 échantillons de sang de tous les athlètes participants provenant de 209 pays différents (1 808 échantillons à Daegu, Corée du Sud en 2011 et 1 875 à Moscou, Russie en 2013). Pour tenir compte de facteurs de confusion potentiels, les auteurs ont intégré dans leur modèle bayésien plusieurs variables liées à l'individu (comme le sexe, l'âge, le groupe ethnique) ou au contexte (comme l'altitude ou le niveau d'endurance de la discipline sportive...). La prévalence de dopage sanguin, pour les épreuves d'endurance, était estimée à 18 % (intervalle de confiance à 95 %, IC 95 % : 14-22) en 2011 et à 15 % (IC 95 % [12-19]) en 2013 ; soit une évolution non significative entre les deux périodes. La prévalence apparaissait plus élevée (mais non significative) en 2011 chez les femmes par rapport aux hommes (22 % ; IC 95 % [16-28] *versus* 15 % ; IC 95 % [9-20]), pour les disciplines d'endurance, avec une diminution significative pour les femmes entre 2011 et 2013 (12 % ; IC 95 % [9-16]) mais pas chez les hommes. Les résultats stratifiés par pays montraient également de grandes variations : entre 0 et 89 % en 2011 et entre 0 et 61 % en 2013, mais avec de très faibles effectifs par pays. Les auteurs suggèrent qu'une analyse adéquate des paramètres du PBA représente l'approche la plus performante pour repérer les athlètes qui ont recours à des méthodes ou des produits interdits indétectables au travers des contrôles antidopage classiques.

Cette approche apparaît séduisante, puisqu'elle permet d'évaluer une situation sur une fenêtre de temps prolongée, en mesurant la variabilité individuelle anormale de biomarqueurs de dopage plutôt que des expositions ponctuelles avec identification de substances. Il faut cependant retenir plusieurs points (figure 1.2) : tout d'abord, la contrainte imposée par le PBA et son caractère intrusif rendent son acceptation difficile et son extension délicate ; les hypothèses et les modèles mis en œuvre sont propres à chaque discipline et ne sont pas forcément opérationnels pour les autres disciplines. Les études de Sottas et coll. (2007) et de Faiss et coll. (2020), par exemple, ne concernent que des disciplines d'endurance et les valeurs « normales » et « supraphysiologiques » des paramètres ne sont pas applicables à tous les sports. Malgré tout, cette approche permet d'aborder

selon les modèles des facteurs de confusion contextuels, qui eux ne sont pas interdits (entraînement en altitude, déshydratation involontaire). Une revue de la littérature mettant en exergue le panorama de ces facteurs de confusion potentiels (figure 1.3) permet de tenir compte de ces éléments lors de l'analyse du PBA (Krumm et Faiss, 2021). Mais, les modèles développés pour détecter le dopage sanguin ne sont pas transposables pour le dopage aux stéroïdes.

Enfin, depuis son déploiement en 2009, les analyses issues du PBA ont progressé en nombre, mais plus de 60 % des échantillons prélevés pour le PBA concernent toujours le cyclisme et l'athlétisme, les autres sports concernés étant le ski, le patinage, le biathlon et les para-disciplines de ces sports (Bækken et coll., 2022), ce qui reste peu représentatif de l'ensemble des sports potentiellement impliqués dans le recours au dopage sanguin ou aux stéroïdes (Petróczi et coll., 2022b).

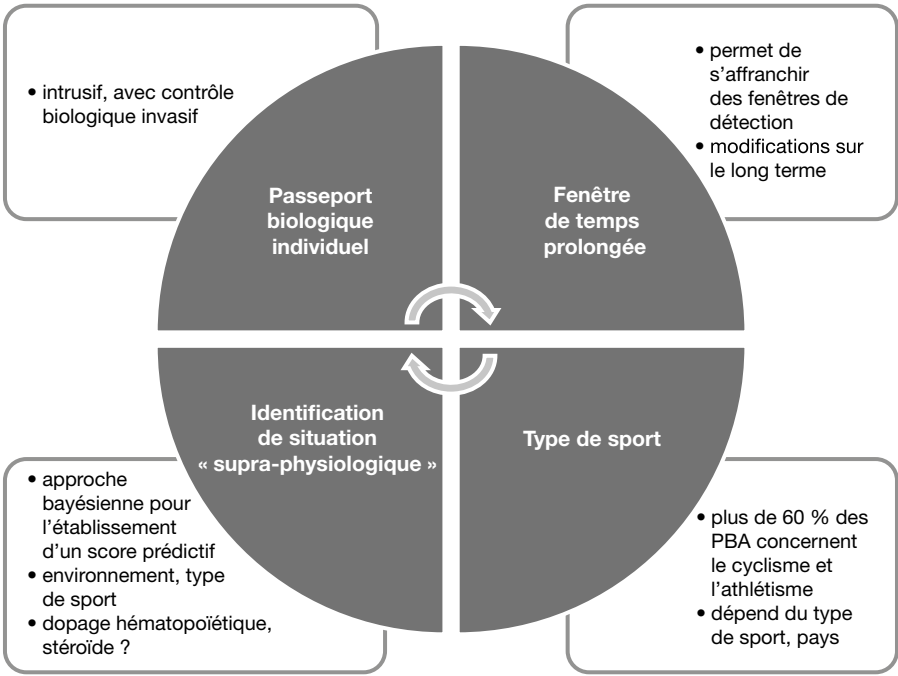


Figure 1.2 : Avantages et inconvénients des marqueurs biologiques du passeport biologique de l'athlète (PBA) pour l'estimation de la prévalence

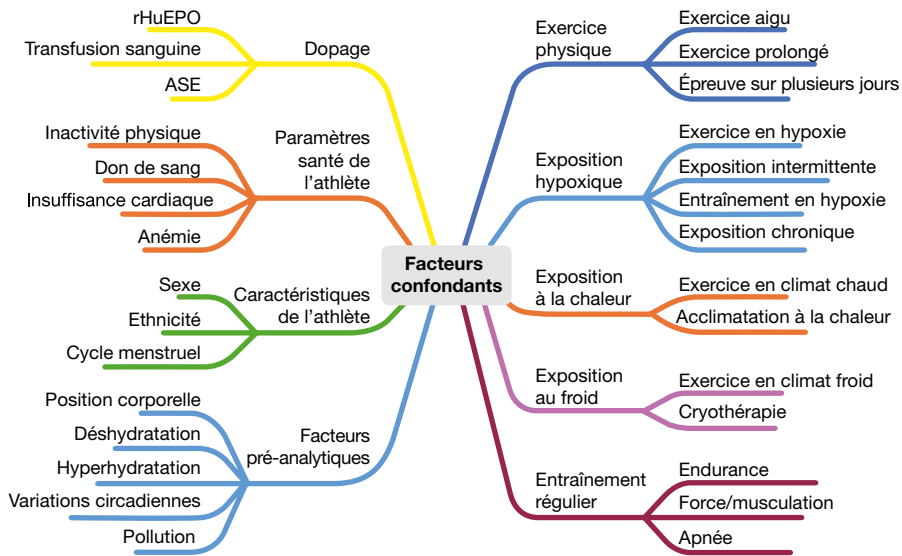


Figure 1.3 : Facteurs de confusion potentiels pour l'analyse des données du passeport biologique de l'athlète (PBA) (Source : Krumm et Faiss, 2021)

ASE : Agents stimulant l'érythropoïèse ; rHuEPO : Érythropoïétine recombinante humaine.

Traduction à partir de « Factors Confounding the Athlete Biological Passport: A Systematic Narrative Review », de Krumm B, Faiss R. Sports Med – Open 2021 ; 7 : 65. © The Author(s) 2021. Cet article est sous licence Creative Commons Attribution License.

Analyse des sanctions (violation des règles antidopage de l'AMA)

La problématique majeure des résultats des analyses biologiques (urines, sang ou PBA) concerne l'incertitude sur l'interprétation de résultats anormaux qui peuvent correspondre à des véritables violations du Code, à des cas liés à des autorisations d'usage à des fins thérapeutiques, ou des faux positifs. Quelques auteurs ont pris en compte uniquement les données concernant les sportifs sanctionnés pour une violation des règles de l'AMA (substance ou méthode interdite ou autre violation). À partir des rapports de l'Agence sur les VRAD entre 2013 et 2017, Aguilar-Navarro et coll. rapportent que les sports avec la proportion la plus élevée aboutissant en sanction étaient l'haltérophilie, la lutte et le volley-ball ; alors qu'inversement, l'escrime, le patinage et le tennis étaient les sports pour lesquels la proportion de RAA évoluant vers l'absence de sanction était la plus élevée (Aguilar-Navarro et coll., 2021b).

Lauritzen et Holden ont présenté les résultats des activités de lutte contre le dopage en Norvège de 2003 à 2019, en s'appuyant sur les données de 48 709 échantillons biologiques (urines, sang, PBA) et des cas avérés de violation des règles antidopage (Lauritzen et Holden, 2023). Ces données montrent

tout d'abord l'hétérogénéité dans le nombre d'échantillons collectés selon les sports (maximum [6 758] pour le ski, suivi du football [4 643] puis de l'athlétisme [4 101]), pour globalement 0,4 % de violations des règles antidopage (urines, sang et PBA confondus, ou 0,58 % hors PBA). Les sports les plus concernés étaient le football américain (1,88 %), la boxe (1,23 %) la force athlétique (1,16 %), le basket (0,80 %), l'haltérophilie (0,68 %), le football (0,62 %) et le hockey sur glace (0,59 %). Les agents anabolisants étaient le plus fréquemment retrouvés (43 %), suivis des stimulants (25 %) puis des cannabinoïdes (23 %). Moins de 2 % de ces violations concernaient des sportifs de niveau international ; 26,4 % des sportifs de niveau national ; et la majorité (71,8 %) considérés comme sportifs récréatifs. Selon les auteurs, l'information la plus importante de leur étude est que l'augmentation du nombre de tests ne permet pas d'identifier plus de dopage, et qu'il est donc nécessaire de revoir les pratiques en ciblant le *testing*. À partir de 2016, l'agence antidopage norvégienne a mis en place un guichet unique permettant de recueillir des informations issues de dénonciations ou bien d'enquêtes antidopage. Entre 2016 et 2019, 52 % des cas de violations des règles antidopage repérés étaient issus de cette source, et n'avaient pas tous été identifiés par les analyses biologiques.

Fares et coll. ont exploré la prévalence du dopage en s'appuyant sur les données publiques de l'UFC (*Ultimate Fighting Championship*), une organisation américaine d'arts martiaux mixtes (MMA⁶⁵), actuellement reconnue comme la plus importante ligue mondiale de ce sport de combat, et celles de l'agence antidopage américaine entre 2015 et 2019 (Fares et coll., 2021). Sur cette période, 1 070 sportifs ont été testés (avec un nombre de tests supérieurs à 12 000), aboutissant à 209 résultats anormaux. Contrairement à la façon de rapporter les données dans les autres disciplines, dans cette étude, les auteurs insistent sur le nombre de sujets qui ont été reconnus comme ayant violé les règles antidopage, avec une prévalence observée de 8,7 % (pour un taux de résultats positifs de 1,65 % des tests, et un taux de violation de 0,81 % des tests). L'utilisation de SAA était la plus fréquente (54 % des violations), suivie par des modulateurs hormonaux et métaboliques (15 %), et des diurétiques et agents masquants (11 %).

Enquêtes par questionnaire direct

On retrouve peu de données publiées à partir de questionnaires auto-administrés en population. En France, les études qui ont abordé cette problématique sont anciennes et concernent les jeunes lycéens ou étudiants (Turblin et coll., 1995 ; Pillard et coll., 2000 et 2002 ; Laure et Binsinger, 2005 et 2007 ; Rouchaud et

coll., 2008). Dans ces études, la prévalence estimée du dopage sportif était de l'ordre de 4 à 7 %, et concernait principalement les garçons. Aucune enquête épidémiologique en population générale telle que les différentes éditions du Baromètre santé n'a abordé clairement cette problématique, alors que les questionnements sur l'activité physique et sportive ont été introduits dès les années 2000. La première édition de l'Enquête sur la santé et les consommations lors de l'appel de préparation à la défense (Escapad) en 1999 menée par l'Observatoire français des drogues et des tendances addictives (OFDT) sur un échantillon représentatif de jeunes français de 17 ans, intégrait une question portant sur le dopage, avec 3,8 % des répondants indiquant avoir déjà pris des produits pour améliorer leurs performances physiques (Arvers et Choquet, 2003). Cependant, le questionnaire ne permettait pas de renseigner les motifs et modalités de ces usages. Deux questions spécifiques ont été introduites dans l'édition 2016 de l'enquête ESPAD (*European School Survey Project on Alcohol and Other Drugs*), réalisée en 2015 auprès d'un échantillon représentatif de 6 642 lycéens français (Janssen et Spilka, 2018 ; Shah et coll., 2019) :

- « AU COURS DES 12 DERNIERS MOIS, pour vos ACTIVITÉS SPORTIVES, avez-vous pris un des produits suivants ? ». Deux types de substances étaient présentés : d'une part, des substances licites regroupant les boissons énergisantes, les médicaments antalgiques ou anti-inflammatoires (sans ordonnance médicale), les produits à base de vitamines ou de caféine à haut dosage, les corticoïdes, les anabolisants et les autres hormones ; d'autre part, des substances illicites (cannabis, amphétamines, cocaïne) ;
- « AU COURS DES 12 DERNIERS MOIS, pour vos ACTIVITÉS SPORTIVES, combien de fois vous est-il arrivé de prendre un produit pour : améliorer vos performances physiques ; gérer le stress ; lutter contre la fatigue ; agir sur la douleur ? ».

Dans cette enquête, 7,0 % des lycéens rapportaient l'usage des produits cités pour les activités sportives, plus fréquemment chez les garçons (10,4 %) que chez les filles (3,8 %). Les produits concernés étaient majoritairement des boissons énergisantes, des antalgiques ou anti-inflammatoires et des produits vitaminés ou contenant de la caféine.

Ces enquêtes par questionnaire couvrent une fenêtre de temps variable (qui peut concerner la vie entière, les 12 derniers mois...). Pour des raisons pratiques (questionnaire souvent généraliste avec une ou deux questions relatives au dopage), l'exposition est imprécise (usage actuel, au moins une fois), et la nature des produits est également floue, voire non précisée. Ces auto-questionnaires directs sont soumis à un biais d'information important, qui peut varier selon la population interrogée, avec des questions qui peuvent être considérées comme neutres en population générale, alors qu'elles sont

intrusives et socialement risquées dans un groupe restreint (au sein d'un club sportif ou lors d'une compétition), avec un risque élevé de non-réponse ou de réponse fausse.

Enquêtes par questionnaire indirect

Les situations de non-réponse ou de réponse fausse sont courantes dans les enquêtes par questionnaires (même s'il s'agit de répondre à un auto-questionnaire complètement anonyme). Elles peuvent donner lieu à une estimation biaisée d'un paramètre donné dans la population cible de l'étude, l'importance et le sens de ce biais étant inconnus. Ainsi, la désirabilité sociale est susceptible de modifier la réponse d'un individu, d'autant plus qu'il n'a pas la certitude que sa réponse puisse garantir son anonymat. La validité des questionnaires directs peut être remise en cause si la réponse à certaines questions expose l'individu à dévoiler des positions personnelles qui peuvent être socialement contestées, notamment dans le contexte du dopage sportif.

Si la qualité des réponses à un questionnaire dépend de la coopération et de la compréhension de l'individu, elle dépend également de l'honnêteté du répondant. À travers un questionnaire traditionnel avec des questions directes, l'individu peut en effet volontairement fournir une réponse faussement négative et socialement souhaitable dans le but de cacher une pratique réprouvée. Dans le cas de questions sensibles, l'utilisation de stratégies fondées sur la réponse aléatoire à l'étape de la conception de l'enquête pourrait réduire les taux de non-réponses et de réponses mensongères parce qu'elles donnent l'impression à l'individu interrogé d'un accroissement de la protection des renseignements personnels qu'il fournit. Une caractéristique commune de ces méthodes est que les questions directes sur le sujet sensible sont remplacées par un questionnaire conçu de telle manière que l'enquêteur n'est pas capable d'identifier la question (sélectionnée aléatoirement) à laquelle l'enquêté a répondu, tout en permettant encore d'estimer le paramètre étudié. L'idée est de réduire de cette façon chez les enquêtés la crainte d'une « révélation » embarrassante et de s'assurer ainsi qu'ils seront disposés à coopérer.

Cette approche alternative « méthode (ou technique) de réponse aléatoire » (MRA) a été développée pour donner une garantie plus importante de l'anonymat de la réponse (figure 1.4). Le principe est le suivant, la MRA consiste à poser deux questions successives à réponse binaire (oui ou non), l'une dont la probabilité de réponse est connue, comme « la pièce est tombée du côté pile ? » et l'autre à probabilité inconnue, comme « avez-vous consommé des produits dopants ? ». Le sujet participant à l'enquête tire au sort la question à laquelle

il va répondre et le résultat de ce tirage n'est pas accessible à l'enquêteur, qui reçoit uniquement la réponse (oui ou non). Un calcul relativement simple sur l'ensemble de l'échantillon permet de retrouver la probabilité manquante, sachant qu'on connaît les deux autres (probabilité de tirer chaque question au sort, et pour le jeté de pièce, une chance sur deux).

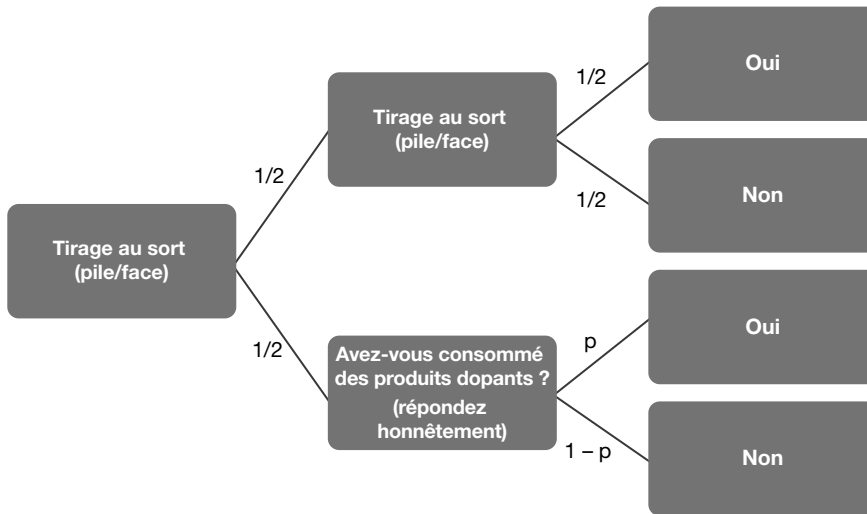


Figure 1.4 : Représentation graphique du principe de la méthode de réponse aléatoire. À chaque question « sensible », le sujet tire au sort (pile ou face), soit il répond honnêtement, soit c'est le jet de pièce qui va indiquer la réponse à la question.

p : probabilité.

La MRA a été développée depuis plusieurs décennies par des chercheurs des sciences humaines et sociales pour explorer la prévalence de divers comportements socialement indésirables, comme les atteintes à la loi ou les habitudes sexuelles. Dans le domaine du dopage, cette approche a été utilisée dans des populations de sportifs d'élite, dans le sport de loisir en milieu étudiant ou en population générale ou dans des salles de sport-fitness (Dietz et coll., 2013 ; Dimeo et Taylor, 2013 ; Stubbe et coll., 2014 ; De Hon et coll., 2015 ; Dietz et coll., 2016 ; Frenger et coll., 2016 ; Petróczi, 2016 ; Pitsch, 2016 ; Schröter et coll., 2016 ; Dietz et coll., 2018 ; Elbe et Pitsch, 2018 ; Ulrich et coll., 2018 ; Seifarth et coll., 2019 ; Heller et coll., 2020 ; Hilkens et coll., 2021 ; Sayed et coll., 2022 ; Christiansen et coll., 2023a et b ; Petrou et Lazuras, 2023 ; Ulrich et coll., 2023 ; Robach et coll., 2024). À chaque fois, les taux de prévalence du dopage issus de cette conception d'étude sont plus élevés que ceux qui résultent de questions directes, et des auteurs suggèrent que ces taux plus élevés se rapprochent de la réalité.

La conception initiale de la MRA a été adaptée et enrichie par plusieurs variantes complémentaires, parmi lesquelles on peut citer la méthode de « question non reliée » (*unrelated question model*), la méthode de réponse forcée (*forced response method*), la méthode de comptage des items (*item count technique* ou *simple sample count*), la méthode croisée (*crosswise method*), la méthode de détection de tricheur (*cheater detection model*) et la méthode de détection de mensonge aléatoire (*stochastic lie detector*) (Dietz et coll., 2018). Ces différentes déclinaisons de la MRA permettent d'affiner un peu plus le taux de prévalence d'un comportement socialement réprouvé, sans pour autant compenser les limites de ces approches indirectes.

La figure 1.5 schématise la méthode de « question non reliée », dans laquelle l'enquêteur aura le total des réponses positives, mais ne saura pas si l'enquêté a répondu à une question neutre ou à la question sensible.

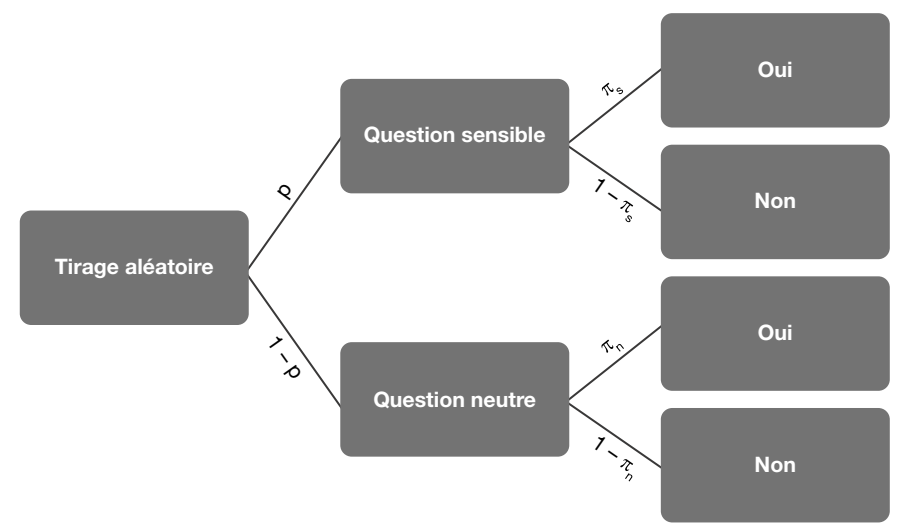


Figure 1.5 : Diagramme de la méthode de question non reliée
(Source : Dietz et coll., 2018)

« p » correspond à la probabilité d'être confronté à la question sensible ; π_n correspond à la probabilité de répondre « oui » à la question neutre ; π_s correspond à la prévalence pour la situation sensible (« avez-vous utilisé des produits dopants : oui »). La prévalence estimée pour la question sensible peut être calculée par la formule suivante :

$$\pi_s = \frac{a - (1 - p)\pi_n}{p}$$

Dans cette formule, « a » correspond au total des réponses « oui » dans l'échantillon. L'intervalle de confiance à 95 % de cette estimation du taux de prévalence peut être calculé à partir de la variance du paramètre, $\text{Var}(\pi_s) = \frac{a - (1 - a)}{Np^2}$, dans laquelle N correspond à la taille de l'échantillon d'étude (d'après Dietz et coll., 2018).

Adaptation et traduction à partir de « Physical and cognitive doping in university students using the unrelated question model (UQM): Assessing the influence of the probability of receiving the sensitive question on prevalence estimation », de Dietz P, Quermann A, van Poppel MNM, et coll. PLoS One 2018 ; 13 : e0197270.
© Cet article est sous licence Creative Commons.

Ces méthodes sont assez largement utilisées pour l'exploration de la prévalence du dopage, mais elles doivent être considérées avec précaution. Elles sont les plus nombreuses retrouvées dans la littérature dans les dernières années au détriment des études par questionnaire direct (Dietz et coll., 2013 ; Frenger et coll., 2016 ; Schröter et coll., 2016 ; Elbe et Pitsch, 2018 ; Sayed et coll., 2022 ; Christiansen et coll., 2023b). Comme pour les questionnaires directs, les mêmes limites persistent sur les fenêtres de temps, et sur la nature intrinsèque des produits ou méthodes dopantes. Les choix de construction (modèles de question) et d'interprétation de ces MRA influencent de façon marquée les taux de prévalence estimés, avec parfois des variations conséquentes.

Dietz et coll. ont utilisé l'approche « question non reliée » pour estimer le taux de prévalence au cours des 12 derniers mois du dopage sportif ou intellectuel de 1 243 étudiants de l'Université de Mayence en Allemagne (Dietz et coll., 2018). Ces étudiants devaient répondre (sur questionnaire papier distribué en début de classe, avec instruction de le remplir immédiatement puis de le déposer dans une urne opaque à la sortie de la classe) à deux questions à réponse aléatoire dont une sur le dopage sportif et une sur le dopage intellectuel. La probabilité de répondre à des questions « sensibles » était différente : la moitié des questionnaires distribués avait une probabilité de 1/3 de recevoir une question « sensible », et l'autre moitié une probabilité de 2/3, avec un ordre aléatoire pour chacune des deux questions (dopage sportif ou intellectuel).

Ainsi, pour explorer le dopage sportif, les participants pouvaient lire l'assertion suivante :

« Les substances utilisées pour l'amélioration des performances physiques (dopage) sont des produits pharmaceutiques ou des drogues illicites, que vous ne pouvez pas acheter dans une pharmacie et qui ne vous ont pas été prescrites pour traiter une maladie.

La seule raison pour laquelle vous utilisez cette substance est d'améliorer vos performances physiques ou votre apparence (exemples cités : stéroïdes anabolisants avec par exemple nandrolone et testostérone), hormones peptidiques (par exemple, érythropoïétine, hormones de croissance), stimulants (par exemple, amphétamines). »

Pour un étudiant répondant à un questionnaire pour lequel la probabilité de répondre à la « question sensible » était de 1/3, le texte était formulé de la façon suivante :

« Considérez une date d'anniversaire (la vôtre, celle de votre mère...). Si à la question « cette date tombe-t-elle dans les deux premiers tiers du mois

(c'est-à-dire entre le 1^{er} et le 20 du mois) ? » vous répondez « oui » alors répondez à la question A, si « non », répondez à la question B.

Question A : est-ce que cette date d'anniversaire tombe dans la première moitié de l'année (avant le 1^{er} juillet) ?

Question B : avez-vous utilisé des substances pour le dopage sportif dans les 12 derniers mois ?

Votre réponse à la question A ou B est : « oui » ou « non » (notez que vous seul savez laquelle des deux questions vous répondrez). »

Dans cette étude, le taux de prévalence estimé pour le dopage sportif était de 22,5 % (IC 95 % [10,8-34,1]) avec la probabilité de 1/3 d'avoir la question « sensible », et de 12,8 % (IC 95 % [7,6-18,0]) avec la probabilité de 2/3. Les résultats étaient similaires pour le dopage intellectuel avec la probabilité de 1/3, mais la prévalence était plus élevée (18 % ; IC 95 % [12,5-23,5]) avec la probabilité de 2/3. Même si les auteurs de cette étude argumentent que les taux estimés selon les choix de probabilité ne mettent pas en évidence de différence statistiquement significative, cette étude souligne que ces méthodes sont très sensibles et fluctuantes selon les choix initiaux de modèle de réponse aléatoire.

Une autre étude réalisée en Allemagne en 2014 auprès de 2 967 sportifs participant à deux épreuves régionales de triathlon a comparé la prévalence de dopage physique et intellectuel selon l'application de la méthode de détection de tricheur ou de la méthode de question non reliée (Schröter et coll., 2016). Les auteurs ne retrouvaient pas de différence notable entre les deux approches, mais la prévalence de dopage physique était estimée à 4 % pour le triathlon de Wiesbaden, et à 12 % pour celui de Francfort.

D'autres enquêtes récentes par questionnaire indirect, s'appuyant sur des supports d'enquête dématérialisés, tiennent compte du temps de réponse des individus selon la nature des questions (neutres ou sensibles). Par exemple, un temps très court pour répondre à une question sensible peut suggérer une réponse « automatique » délibérément mensongère. L'enquêteur ne pourra pas savoir si un participant a répondu directement à la question « vous êtes-vous déjà dopé ? » ou bien « si vous obtenez 1 ou 2 au jet de dés, répondez juste « oui » à la question sur le dopage », « si vous obtenez 3 ou 4, alors répondez honnêtement à la question ».

Ulrich et coll. (2018) ont examiné le taux de prévalence du dopage à l'occasion d'une enquête s'appuyant sur la méthode de « question non reliée » lors de deux compétitions sportives en 2011 dont les championnats du monde d'athlétisme (1 841 sportifs engagés) et les Jeux panarabes (3 346 sportifs

engagés). Sur les 1 290 sportifs sollicités lors des championnats du monde, 1 203 avaient participé à l'enquête, alors qu'ils étaient 965 sur les 1 030 sollicités lors des Jeux panarabes. Dans les deux compétitions, l'évaluation du dopage était abordée par la question « j'ai délibérément enfreint les règles antidopage en utilisant une substance ou une méthode interdite au cours des 12 derniers mois ». Une question supplémentaire concernant les compléments alimentaires était rajoutée dans l'enquête menée lors des Jeux panarabes, sous la forme suivante : « j'ai utilisé au cours des 12 derniers mois des compléments alimentaires à base de vitamines, plantes ou minéraux ». La méthode de réponse aléatoire dans cette étude s'appuyait sur la méthode de « question non reliée ». Les questions « sensibles » étaient incorporées dans des propositions non reliées, portant sur les dates anniversaires, avec une probabilité de 2/3 de réponse à la question neutre. Les questionnaires étaient accessibles sur tablettes, avec un enregistrement du temps de réponse à chaque question. Les résultats montraient un taux de prévalence du dopage de 43,6 % (IC 95 % [39,4-47,9]) pour les championnats du monde, et de 57,1 % (IC 95 % [52,4-61,8]) pour les Jeux panarabes. En comparaison, les auteurs confrontaient les résultats obtenus avec ceux des contrôles antidopage réalisés au cours de ces mêmes compétitions qui ont abouti à des taux de tests positifs beaucoup plus faibles dont 2/440 athlètes testés (0,5 %) et 24/670 athlètes testés (3,6 %), respectivement, suggérant une inefficacité du contrôle antidopage classique. Cependant, on peut s'interroger sur la pertinence de comparer directement un taux de prévalence annuel estimé à travers une définition floue du dopage (utilisation délibérée de produit ou de méthode interdite, sans avoir aucune information sur la nature de ce produit/méthode interdit), alors que les analyses biologiques ciblent spécifiquement dans des matrices une liste limitative de substances interdites. Par ailleurs, la fenêtre de temps est totalement différente (exposition ponctuelle sur la période de compétition pour les contrôles antidopage ; exposition au moins une fois sur une période d'un an, potentiellement en dehors de toute activité sportive). Enfin, la population évaluée est difficilement superposable, quelques centaines d'échantillons testés au cours des deux épreuves, avec potentiellement plusieurs échantillons différents pour un même individu ; alors que les deux enquêtes sur support électronique avaient mobilisé plus de 2 000 sportifs.

La prévalence du dopage à ces deux événements sportifs a été étudiée également avec un deuxième modèle, basé sur la méthode de comptage des items (Petróczi et coll., 2022a). Avec cette approche différente, la prévalence estimée du dopage au cours des 12 derniers mois était de 21,2 % (IC 95 % [9,69-32,7]) pour les championnats du monde d'athlétisme et de 10,6 % (IC 95 % [1,76-19,4]) pour les Jeux panarabes. Pour ce dernier, la prévalence de recours aux compléments alimentaires à base de vitamines, plantes et/ou minéraux était

de 8,57 % (IC 95 % [1,3-16,11]). Ces valeurs étaient nettement inférieures à celles obtenues par Ulrich et coll. dans la même population d'athlètes (par exemple, la valeur estimée par Petróczi et coll. pour les compléments alimentaires était presque 10 fois inférieure). Par ailleurs, les estimations de la prévalence du dopage avancées par Petróczi et coll. étaient moins précises, avec des intervalles de confiance très larges. Compte tenu des incertitudes de l'une ou l'autre de ces approches, et la contestation de ces valeurs plus basses dans une publication ultérieure de l'équipe d'Ulrich (Ulrich et coll., 2023), il paraît hasardeux de s'appuyer sur ces méthodes pour estimer l'ampleur du phénomène de dopage.

Comparaison des performances

Certains auteurs ont comparé les performances de sportifs selon les résultats des analyses antidopage. En utilisant les données accessibles sur le site de la Fédération internationale d'haltérophilie (FIH), Ryoo et coll. ont comparé les performances entre 1998 et 2019 aux compétitions organisées par la FIH entre les sportifs ayant violé les règles antidopage (n=289) et les autres (n=26 740), en stratifiant sur l'âge et le poids (Ryoo et coll., 2022). Globalement, les performances étaient plus élevées chez les sujets sanctionnés à âge égal, et la différence de performance la plus importante entre sujets dopés et sujets non dopés concernait les sportifs dans la trentaine. Dans l'analyse en fonction du poids, les auteurs montraient une différence de performance la plus marquée pour la catégorie des 96 kilos. Les auteurs concluent que ces données montrent que les contrôles antidopage, même réalisés de façon aléatoire, portent davantage sur les sportifs les plus performants. Les auteurs préconisent de prioriser les contrôles vers les sujets pour lesquels les performances ont été modifiées par rapport à leur niveau habituel, même s'il ne s'agit pas des plus performants dans leur catégorie.

Cette position semble contradictoire avec l'analyse d'autres auteurs sur les mêmes données qui suggèrent d'optimiser les contrôles antidopage selon les pays d'origine des athlètes, en ciblant prioritairement ceux originaires d'Europe et d'Asie, qui présentaient des taux de détection de biomarqueurs d'imprégnation de SAA et d'autres métabolites les plus élevés par rapport aux compétiteurs d'Amérique du Sud ou d'Afrique (Kolliari-Turner et coll., 2021). D'ailleurs, la réanalyse des échantillons prélevés aux Olympiades de 2008 et 2012 avait permis d'identifier 61 haltérophiles dopés, dont 34 médaillés.

De façon globale, les résultats de ces études soulignent bien que l'analyse des sanctions ne permet pas d'estimer la prévalence du dopage dans l'haltérophilie.

Autres approches

Méthode Delphi pour estimer la prévalence de consommateurs de stéroïdes anabolisants androgènes

Au Royaume-Uni, l'utilisation problématique des SAA est reconnue comme un enjeu majeur de santé publique. Cependant, les données disponibles sur ce phénomène en population générale restent limitées. Cette utilisation peut se faire par voie orale ou injectable, les données des programmes d'échange de seringues (PES) au Royaume-Uni permettent ainsi d'avoir des informations sur le recours à ce service par les consommateurs de SAA injecteurs. Cependant, en l'absence d'autres sources permettant de cibler l'usage de SAA, une approche capture-recapture pour estimer la prévalence d'usage des SAA n'est pas envisageable. Ainsi, Hope et coll. ont proposé d'apporter une première étape de réponse par un avis d'experts en appliquant la méthode Delphi⁶⁶ (Hope et coll., 2022). À partir des données des PES, cette étude visait à mieux comprendre : i) la proportion de la population d'injecteurs de SAA utilisant des PES ; ii) la proportion des usagers de SAA uniquement par voie orale ; et iii) les variations régionales dans l'étendue de l'utilisation des SAA au Royaume-Uni. Les données des PES étaient complétées par les données nationales de l'étude « IPED info » (enquête en population sur l'usage de produits pour augmenter les performances), des données de vente directe de seringues pour l'administration de SAA, et des données d'une structure d'écoute et de conseil pour la prévention des crimes⁶⁷. Les auteurs ont fait appel à un large éventail d'experts (n=63), en 3 vagues successives. Un large consensus s'est dégagé sur : les variations régionales d'utilisation ; la proportion d'hommes utilisant des SAA uniquement par voie orale ; la proportion d'hommes injecteurs de SAA utilisant les PES ; et la proportion des usagers de SAA qui sont des femmes. Les auteurs concluent que les estimations antérieures sur l'usage des SAA au Royaume-Uni à partir d'enquêtes en population générale semblent peu plausibles, la fourchette probable retenue par les experts (328 000 à 687 000 hommes, 15-64 ans) étant plus de 10 fois supérieure aux dernières enquêtes réalisées (31 000 à 62 000 hommes et femmes, 16-59 ans). Cette approche apparaît intéressante, mais son application nécessite plusieurs sources de données pour estimer ce phénomène de manière fiable. À notre connaissance, aucune donnée de ce type n'est disponible en France (enquêtes en population générale, repérage d'usagers problématiques de SAA pas ou peu vus dans les structures de bas seuil et de réduction des risques en France).

66. Une méthode de prévision reposant sur la consultation d'un panel d'experts sur un sujet précis dans l'objectif d'obtenir un consensus collectif.

67. Voir le site internet CrimeStoppers : <https://crimestoppers-uk.org/give-information>

Approche de prévalence perçue ou « boule de neige »

Quelques études rapportent une estimation de la prévalence à partir de questionnaires ou d'entretiens avec des sportifs ou des personnels encadrant les sportifs, sur leur propre estimation de la prévalence du dopage. Cette approche surestime en général la prévalence, à la fois dans le sport pratiqué (en considérant que les concurrents dans la discipline ont une probabilité plus élevée que soi-même d'avoir recours au dopage, ou parce que la personne interrogée a connaissance de pratiques dopantes par ses pairs – ou adversaires), en comparaison à d'autres sports, ou en comparaison à d'autres pays.

Dans un rapport récent sur le MMA en France (Ohl, 2023), 20,7 % des participants disent connaître personnellement quelqu'un qui se dope, et 25 % pensent avoir combattu contre un adversaire dopé. Comme rapporté généralement, les participants estiment la proportion de dopage dans le MMA plus élevée à l'étranger, et augmentant avec le niveau de compétition.

Ce type d'estimation de la prévalence peut difficilement être retenu, de même que les déclarations de repentis. Cette approche est souvent citée dans des revues de littérature, mais n'apporte aucune information crédible à l'estimation du phénomène, tout en ne permettant aucune vérification de la validité des estimations fournies (Dimeo et Taylor, 2013 ; De Hon et coll., 2015 ; Gleaves et coll., 2021 ; Petróczi et coll., 2022b).

Approche d'épidémiologie des eaux usées

Le terme « épidémiologie des eaux usées » (*wastewater-based epidemiology*) est apparu dans les années 2000 dans la littérature internationale. L'analyse des eaux usées à une échelle géographique donnée constitue un outil épidémiologique permettant d'identifier précocement des agents infectieux à l'origine d'épidémie potentielle, et d'évaluer et de comparer dans le temps et dans l'espace, la diffusion d'un phénomène directement ou indirectement lié à la santé. Cette approche est plus rarement utilisée pour surveiller l'état de santé des populations par la recherche de virus (pour identifier l'apparition ou l'ampleur d'une épidémie) ou de bactéries multirésistantes, et a été mise à profit à l'occasion de la pandémie de SARS-CoV-2 pour mettre en place cet outil de veille sanitaire. C'est ainsi qu'en France, le réseau Obépine (Groupement d'Intérêt Scientifique regroupant 10 membres partenaires : CNRS, Eau de Paris, EPHE, Ifremer, Inserm, IRBA, Sorbonne Université, Université Clermont Auvergne, Université de Lorraine et Université de Paris) a officiellement vu le jour en octobre 2021 (Bertrand et coll., 2021). Après avoir prouvé l'utilité de mesurer les

niveaux de circulation du SARS-CoV-2 dans les eaux usées pour surveiller l'évolution de l'épidémie de Covid-19, le maillage territorial du réseau devrait se développer pour permettre des signaux d'alerte plus rapides sur différentes sources infectieuses. L'analyse des eaux usées est aussi consacrée à l'évaluation de l'impact environnemental de contaminants, par exemple par la détection de polluants tels que les métaux lourds, pesticides, produits domestiques ou industriels, ou bien la détection des antibiotiques qui par ce biais participent à l'augmentation de l'antibiorésistance. En France, c'est l'Anses⁶⁸ en relation avec les ARS⁶⁹ par leur mission de vigilances sanitaires à l'échelon décentralisé, qui pilote cette veille sanitaire. Enfin, un autre champ d'application possible concerne la recherche de substances psychoactives à potentiel addictif, permettant d'appréhender l'évolution des usages et de réaliser des comparaisons géographiques. Cette dernière démarche a également été appliquée dans le contexte de la recherche épidémiologique sur le dopage, avec quelques études ponctuelles ciblées sur une zone géographique délimitée (Shimko et coll., 2019), ou en recherchant des signaux de consommation de substances à l'occasion d'une manifestation sportive (Causanilles et coll., 2018).

L'objectif de l'étude de Causanilles et coll. consistait à valider la pertinence d'une approche d'épidémiologie des eaux usées pour identifier la pratique de dopage et la nature des substances utilisées à l'échelle de la population générale et à l'occasion de compétitions sportives. Dans cet objectif, les auteurs ont testé une batterie de différents marqueurs de dopage potentiel en prise aiguë (SAA, stimulants, produits masquants) à l'entrée de 4 stations d'épuration, en prélevant des échantillons de 24 heures de flux entrants, et pendant 15 jours consécutifs incluant une manifestation sportive. La figure 1.6 présente, pour chacune des stations d'épuration, la quantité en mg/jour pour 1 000 habitants (population couverte par chaque station d'épuration) des molécules identifiées en quantités les plus importantes. L'étude portait sur 3 événements sportifs A, B et C. L'événement A correspondait à une compétition olympique sur 5 jours dans une grande ville (entre 500 000 et un million d'habitants) à laquelle participaient plus de 1 000 sportifs de haut niveau soumis aux contrôles antidopage pendant la compétition. Par ailleurs, 125 000 visiteurs avaient aussi assisté à cette compétition (estimé par la vente de billets). L'événement B concernait une compétition de taille plus modeste de culturisme, sur une seule journée et dans une ville de moins de 100 000 habitants. Cette compétition accueillait en tout 500 personnes (sportifs, staff et bénévoles), et plus de 800 visiteurs. Aucun contrôle

68. Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail.

69. Agence régionale de santé.

antidopage n'était réalisé au cours de cette manifestation. Le dernier événement était une compétition de culturisme relativement importante sur deux jours dans une ville de moins de 100 000 habitants, voisine d'une ville plus grande (entre 100 000 et 500 000 habitants). Plus de 100 compétiteurs étaient enregistrés, soutenus par 8 000 visiteurs. Comme pour B, aucun contrôle antidopage n'était réalisé. Pour cet événement, les prélèvements étaient réalisés à deux endroits directement à la station de pompage dans la ville accueillant la compétition, puis dans la station d'épuration de la communauté urbaine (les deux villes réunies).

Les quatre molécules identifiées et présentées sur la figure 1.6 sont indirectement révélatrices de l'utilisation de substances pour perdre du poids (dont des amines sympathicomimétiques), se révèlent présentes en quantités significativement différentes pendant la fin de semaine (du vendredi au lundi) selon les stations. La part significative pour la noréphédrine pour l'événement A peut correspondre à la prise de cette substance pour perdre du poids juste avant la compétition, mais elle peut aussi être le reflet d'une consommation d'amphétamine dont elle est le métabolite. Le profil d'augmentation pendant le week-end évoque plus un mésusage festif qu'une utilisation thérapeutique dans le TDAH⁷⁰. La substance qui émerge avec un effet de pic le plus marqué sur un week-end et dans 3 des quatre stations d'épuration est le 2-4 dinitro-phénol, un produit industriel (utilisé comme réactif de laboratoire et dans l'industrie pharmaceutique, pour la fabrication de certains explosifs et de colorants). C'est également un produit détourné de son usage à visée de perte de poids (démontré expérimentalement en toxicologie préclinique). Il n'est pas évident que ce signal d'usage important soit lié au dopage, mais le mésusage de ce produit présente des risques majeurs avec des prises aiguës qui peuvent être létales.

Cette approche constitue une méthode complémentaire à la connaissance épidémiologique à un échelon véritablement populationnel, puisqu'il s'agit d'une approche indirecte, qui mesure dans un environnement donné, la somme des excréta d'un nombre d'individus non déterminé. Cette méthode pourrait donc être plutôt utilisée dans un principe de veille sanitaire.

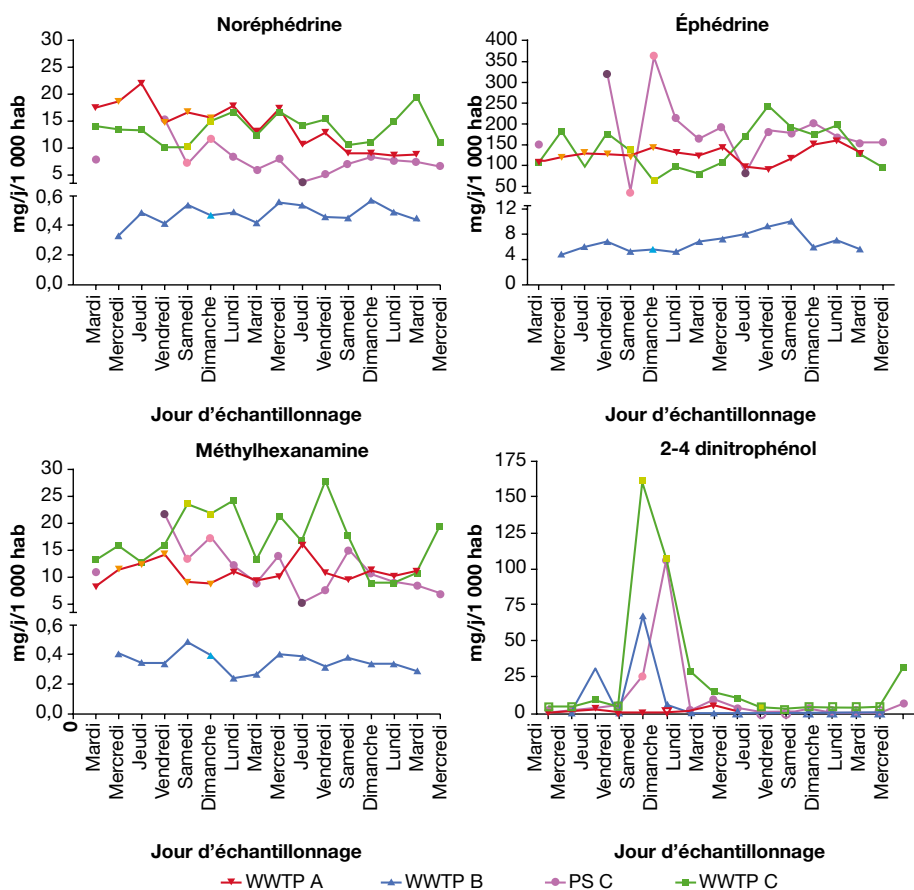


Figure 1.6 : Évolution des taux de 4 substances dopantes (en mg/jour pour 1 000 habitants) quantifiées dans les eaux usées collectées à des stations d'épuration (wastewater treatment plant ; WWTP) ou de pompage (pumping station ; PS) pendant 3 événements sportifs (A, B et C) (Source : Causanilles et coll., 2018)

Adaptation et traduction de « Wastewater-based tracing of doping use by the general population and amateur athletes », de Causanilles A, Nordmann V, Vuhs D, et coll. Anal Bioanal Chem 2018 ; 410 : 1793-803.

© Cet article est sous licence Creative Commons Attribution 4.0 International License.

Revue de la littérature dont l'objectif était d'estimer la prévalence du dopage sportif

Quelques revues de la littérature proposent d'estimer la prévalence du dopage sportif. Quatre revues sont particulièrement intéressantes et informatives, publiées à quelques années d'intervalle, et reprenant chacune les études déjà abordées dans les revues précédentes (Dimeo et Taylor, 2013 ; De Hon et coll., 2015 ; Gleaves et coll., 2021 ; Petróczi et coll., 2022b).

Ces revues reprennent à leur compte les rapports de l'AMA, avec une présentation systématique des taux de tests positifs selon les années : 2003-2010 (Dimeo et Taylor, 2013) ; 1987-2013 (De Hon et coll., 2015) ; 2016-2019 (Petróczi et coll., 2022b), à l'exception de Gleaves et coll. (2021) qui est une revue systématique de la littérature scientifique. Les 3 revues les plus récentes sont issues du groupe de travail des experts de l'AMA sur la prévalence du dopage. Seule la revue de Gleaves et coll. portant sur la période 1975-2019 est une revue systématique suivant les recommandations PRISMA⁷¹. Cette revue met en exergue l'extrême hétérogénéité de la littérature sur ce phénomène : le résultat synthétique indique que sur un total de 102 515 participants (en poolant les effectifs des 105 études retenues dans la revue) les taux de prévalence de dopage estimés variaient entre 0 et 73 %⁷², avec une majorité des études rapportant une prévalence entre 0 et 5 %. Plus de 80 % des études retenues reposaient sur des questionnaires auto-rapportés, mais le périmètre des produits et la temporalité de leur usage (au moins une fois dans sa vie, actuellement, dans les 12 derniers mois) étaient totalement hétérogènes.

Compte tenu que les données existantes ne permettent d'établir une estimation de la prévalence du dopage de façon satisfaisante, le groupe de travail de l'AMA a établi des recommandations pour améliorer les estimations futures, tout en mettant en exergue que les données des tests et les rapports de l'AMA sont une des sources les plus riches d'information (au moins par le nombre de publications reprenant ces valeurs). Gleaves et coll. (2021) proposent des recommandations de bonne pratique en 2 étapes ci-dessous.

- ***Recommandations sur le schéma d'étude***

- Les études doivent clairement différencier le « dopage » (utilisation de substances interdites dans la Liste de l'AMA) d'autres substances non interdites (compléments alimentaires, médicaments, produits d'usage récréatif) ;
- Présenter clairement le taux de prévalence et les éléments permettant de l'estimer (numérateur, dénominateur) et indiquer « prévalence » comme mot-clé ;
- Indiquer clairement la temporalité de l'interrogation (en précisant dans les 30 derniers jours, dans les 12 derniers mois, la question « vie entière » étant peu informative) ;

71. *Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses.*

72. Le taux de prévalence de 0 % avancé dans la revue systématique de Gleaves et coll. (2021) est irréaliste et reflète les limites méthodologiques des études prises en compte. Le taux de 73 %, quant à lui, correspond à la consommation auto-déclarée de SAA dans une étude menée sur des culturistes de compétition (n=48) évoluant au niveau national ou international. Cette différence marquée illustre la grande variabilité des estimations de prévalence de dopage dans la littérature.

- Éviter d'utiliser le terme « prévalence » pour des mesures indirectes du phénomène (par exemple, l'intention de se doper) ;
- La prévalence perçue (ou « boule de neige ») ne correspond pas à la prévalence réelle ;
- Les études s'appuyant sur des MRA doivent tenir compte de la non-observance aux instructions du questionnaire. Cette non-observance peut être délibérée, mais elle peut également être le reflet d'une incompréhension du questionnaire. Les études analysées dans ce chapitre soulignent la nécessité d'une prudence extrême dans l'utilisation des résultats obtenus par ce biais, puisque les estimations de prévalence peuvent varier du simple au double, ou au quadruple selon la méthode utilisée, ce qui laisse perplexe sur leur objectivité ;
- Les études de prévalence devraient indiquer le niveau de compétition et la nationalité des sportifs analysés ;
- Les études devraient porter une attention particulière à une analyse par sexe, et assurer une représentativité par sexe ;
- La majorité des études portent sur un nombre limité de sports – cyclisme, athlétisme, haltérophilie – alors que peu (ou pas) d'études explorent d'autres sports, pourtant largement pratiqués ;
- Pour les études basées sur les analyses biologiques, distinguer précisément le nombre de tests réalisés du nombre d'individus testés (dénominateur indispensable pour estimer une prévalence).

• **Recommandations pour les rapports d'étude**

Les recommandations de Gleaves et coll. (2021) ne s'appliquent pas qu'au domaine du dopage, mais relèvent des recommandations internationales pour améliorer la qualité et la transparence dans le domaine de la recherche⁷³. Elles peuvent être résumées sous la forme d'une *check-list* :

- Nombre de sportifs interrogés et/ou testés ;
- Nombre de sportifs identifiés par sexe, et prévalence déclinée par sexe si possible ;
- Période dans laquelle l'étude est réalisée ;
- Définition claire et opérationnelle de la pratique dopante utilisée dans l'étude, en indiquant comment les participants ont été informés de cette définition ;
- Méthode utilisée (questionnaire indirect, méthode aléatoire...) ;

73. Voir le site internet Equator Network : <https://www.equator-network.org/>

- Période de temps considérée (30 jours, 12 mois, carrière...) ;
- Nombre et pourcentage de sportifs rapportant une pratique dopante dans la (ou les) période(s) considérée(s) ;
- Type de sports dans l'étude, selon les classifications utilisées par les fédérations sportives internationales ainsi que les fédérations para sportives ;
- Niveau des sportifs (international, national, espoirs...) selon les terminologies des organisations sportives internationales ;
- Nations représentées ;
- En cas de réutilisation de données ou de données déjà publiées, indiquer clairement la source primaire et les doublons potentiels ;
- En cas de MRA, ou de prévalence estimée à partir du PBA, indiquer l'intervalle de confiance de l'estimateur. Cette recommandation doit être appliquée également à la présentation du pourcentage, puisqu'il s'agit d'une estimation sur un échantillon.

Conclusion

L'analyse des différentes méthodes utilisées pour estimer la prévalence du dopage et l'hétérogénéité des populations concernées dans les études tendent à confirmer que la prévalence du dopage ne peut être résumée par une seule approche et une seule valeur (tableau 1.I). Les données de la littérature scientifique dans le champ du dopage explorent des populations très hétérogènes avec des méthodes différentes. Les données analytiques relevant des contrôles antidopage de l'AMA concernent presque exclusivement les sportifs de haut niveau, lors de compétitions de niveau national ou international. Les données issues du passeport biologique de l'athlète avec l'évaluation en continu concernent uniquement quelques catégories de sportifs de haut niveau, sont particulièrement intrusives, et non transposables au contexte de la population de sportifs tout-venant. Curieusement, aucune étude s'appuyant sur des sources de données différentes (à l'exception d'une sur les SAA en population générale) n'a été retrouvée dans la littérature, alors que des approches complémentaires font partie des recommandations issues des revues générales.

Enfin, dans le contexte du sport récréatif, que les individus soient compétiteurs ou non, les études réalisées disponibles explorent le plus souvent la prévalence d'une pratique dopante, avec un périmètre de définition des substances impliquées très large, le plus souvent en dehors du champ défini par la Liste des interdictions de l'AMA.

Tableau 1.1 : Résumé des principaux résultats de l'estimation de la « prévalence » du dopage chez les sportifs de haut niveau

Référence	Source des données Type d'étude	Population Définition du dopage	Discipline « Prévalence »	Commentaire
Aguilar-Navarro et coll., 2021a	Données des contrôles antidopage Monde 2016-2018	Sportifs de haut niveau Définition AMA	Athlétisme : Entre 0,77 et 1,70 % selon la discipline ; moyenne 0,95 %	Donnent des indications indirectes de prévalence Correspond surtout à un taux de violations du Code de l'AMA par une description de l'activité des laboratoires. Ces mesures donnent une indication sur le ciblage des sports et des pays par les contrôleurs, mais pas vraiment une prévalence sur une année.
Aguilar-Navarro et coll., 2020a	Données des contrôles antidopage Monde 2003-2015	Sportifs de haut niveau Définition AMA	Sports individuels : Cyclisme 3,3 % Haltérophilie 3,0 % Boxe 2,9 % Sports collectifs : Hockey 2,2 % Rugby 2,0 % Basketball 2,0 %	Idem
Aguilar-Navarro et coll., 2020b	Données des contrôles antidopage Monde 2014-2017	Sportifs de haut niveau Définition AMA	Sports individuels : 1,0±0,6 % Sports collectifs : 0,8±0,3 %	Idem
Calero et coll., 2018	Données des contrôles antidopage Europe 2003-2015	Sportifs de haut niveau Définition AMA	Entre 1,07 et 5,09 %	Données parcellaires Pas une vraie étude de cohorte
Collomp et coll., 2022	Données des contrôles antidopage France 2013-2019	Sportifs de haut niveau Définition AMA	Hommes : 1,81 % Femmes : 1,42 %	Différence significative entre les sexes
De Hon et coll., 2015	Revue narrative Comparaison des résultats des contrôles antidopage et d'enquêtes par questionnaire (y compris MRA)	Sportifs d'élite adultes	Contrôles antidopage : entre 1 et 2 % Enquêtes par questionnaire : entre 1 et 12 % selon les disciplines ; 70 % si les sports de force et résistance en salle sont inclus Selon les différentes approches : taux de dopage global entre 14 et 39 %	Hétérogénéité des résultats en fonction des méthodes et des types de sport

Référence	Source des données Type d'étude	Population Définition du dopage	Discipline « Prévalence »	Commentaire
Dimeo et Taylor, 2013	Revue narrative Comparaison des contrôles antidopage (2003-2010) et enquêtes par questionnaire	Sportifs de haut niveau	Contrôles antidopage : entre 1,62 et 2,13 % Enquêtes par questionnaire : entre 0,2 et 48,1 %	Hétérogénéité des résultats en fonction de la méthodologie
Gleaves et coll., 2021 Petróczi et coll., 2022b	Revue systématique de 105 études basées sur l'auto-déclaration (89) et/ou sur des analyses biologiques (17)	Sports de compétition Définition AMA	Taux de dopage < 5 % Variation selon les disciplines de 0 à 73 %	Évaluation rigoureuse de la qualité des études analysées Impossible d'en tirer des conclusions pertinentes en fonction du sexe, discipline, ou pays

AMA : Agence mondiale antidopage ; MRA : Méthode (ou technique) de réponse aléatoire.

RÉFÉRENCES

Aguilar M, Muñoz-Guerra J, Del Plata MM, *et al.* Thirteen years of the fight against doping in figures. *Drug Test Anal* 2017 ; 9 : 866-9.

Aguilar-Navarro M, Salinero JJ, Munoz-Guerra J, *et al.* Frequency and type of adverse analytical findings in athletics: Differences among disciplines. *Drug Test Anal* 2021a ; 13 : 1561-8.

Aguilar-Navarro M, Baltazar-Martins G, Salinero JJ, *et al.* Outcomes of adverse analytical findings in individual and team sports. *Bioanalysis* 2021b ; 13 : 5-11.

Aguilar-Navarro M, Munoz-Guerra J, Plata MDM, *et al.* Analysis of doping control test results in individual and team sports from 2003 to 2015. *J Sport Health Sci* 2020a ; 9 : 160-9.

Aguilar-Navarro M, Salinero JJ, Munoz-Guerra J, *et al.* Sport-Specific Use of Doping Substances: Analysis of World Anti-Doping Agency Doping Control Tests between 2014 and 2017. *Subst Use Misuse* 2020b : 1-9.

Arvers P, Choquet M. Pratiques sportives et consommation d'alcool, tabac, cannabis et autres drogues illicites. Analyse réalisée à partir des données de l'enquête ESPAD 99. *Ann Med Interne* 2003 ; 154 : S25-S34.

Bækken LV, Holden G, Gjeldstad A, *et al.* Ten years of collecting hematological athlete biological passport samples-perspectives from a National Anti-doping Organization. *Front Sports Act Living* 2022 ; 4 : 954479.

Bertrand I, Challant J, Jeulin H, *et al.* Epidemiological surveillance of SARS-CoV-2 by genome quantification in wastewater applied to a city in the northeast of France:

Comparison of ultrafiltration- and protein precipitation-based methods. *Int J Hyg Environ Health* 2021 ; 233 : 113692.

Brisola-Santos MB, Gallinaro JG, Gil F, *et al.* Prevalence and correlates of cannabis use among athletes-A systematic review. *Am J Addict* 2016 ; 25 : 518-28.

Calero MIF, Cárceles FA, Marqueta PM. The prevalence of adverse analytical findings in european antidoping laboratories: Monitoring and analysis in the Athens and London Olympic Games. *Arch Med Deporte* 2018 ; 35 : 9-15.

Causanilles A, Nordmann V, Vughs D, *et al.* Wastewater-based tracing of doping use by the general population and amateur athletes. *Anal Bioanal Chem* 2018 ; 410 : 1793-803.

Christiansen AV, Frenger M, Chirico A, *et al.* Authors' Reply to Petrou & Lazuras: 'Recreational Athletes' Use of Performance-Enhancing Substances: Results from the First European Randomized Response Technique Survey'. *Sports Med – Open* 2023a ; 9 : 37.

Christiansen AV, Frenger M, Chirico A, *et al.* Recreational Athletes' Use of Performance-Enhancing Substances: Results from the First European Randomized Response Technique Survey. *Sports Med Open* 2023b ; 9 : 1.

Collomp K, Ericsson M, Bernier N, *et al.* Prevalence of Prohibited Substance Use and Methods by Female Athletes: Evidence of Gender-Related Differences. *Front Sports Act Living* 2022 ; 4 : 839976.

Conseil de l'Europe. *Convention contre le dopage*: 16.X.1989 ; ETS n° 135. Strasbourg : Conseil de l'Europe, 1989 : 9 p.

Cuddihy B. No standarisation or harmonisation in anti-doping testing frequency. *BMJ Open Sport Exerc Med* 2020 ; 6 : e000739.

De Hon O, Kuipers H, van Bottenburg M. Prevalence of doping use in elite sports: a review of numbers and methods. *Sports Med* 2015 ; 45 : 57-69.

Diehl K, Thiel A, Zipfel S, *et al.* How Healthy is the Behavior of Young Athletes? A Systematic Literature Review and Meta-Analyses. *J Sports Sci Med* 2012 ; 11 : 201-20.

Dietz P, Quermann A, van Poppel MNM, *et al.* Physical and cognitive doping in university students using the unrelated question model (UQM): Assessing the influence of the probability of receiving the sensitive question on prevalence estimation. *PLoS One* 2018 ; 13 : e0197270.

Dietz P, Dalaker R, Letzel S, *et al.* Analgesics use in competitive triathletes: its relationship to doping and on predicting its usage. *J Sports Sci* 2016 ; 34 : 1965-9.

Dietz P, Ulrich R, Dalaker R, *et al.* Associations between physical and cognitive doping--a cross-sectional study in 2.997 triathletes. *PLoS One* 2013 ; 8 : e78702.

Dimeo P, Taylor J. Monitoring drug use in sport: The contrast between official statistics and other evidence. *Drug Reduc prev polic* 2013 ; 20 : 40-7.

Docter S, Khan M, Gohal C, *et al.* Cannabis Use and Sport: A Systematic Review. *Sports Health* 2020 ; 12 : 189-99.

Ekhtiari S, Yusuf I, AlMakadma Y, *et al.* Opioid Use in Athletes: A Systematic Review. *Sports Health* 2020 ; 12 : 534-539.

Elbe AM, Pitsch W. Doping prevalence among Danish elite athletes. *Perform Enhanc Health* 2018 ; 6 : 28-32.

Erickson K, Backhouse S. Prevalence of doping in sport. In : Mottram D, Chester N, eds. *Drugs in Sport*. New York, NY, US : Routledge/Taylor & Francis Group, 2018 : 39-49.

Exner J, Bitar R, Berg X, *et al.* Use of psychotropic substances among elite athletes – a narrative review. *Swiss Med Wkly* 2021 ; 151 : w20412.

Faiss R, Saugy JJ, Zollinger A, *et al.* Prevalence Estimate of Blood Doping in Elite Track and Field Athletes During Two Major International Events. *Front Physiol* 2020 ; 11 : 160.

Fares MY, Baydoun H, Salhab HA, *et al.* Doping in the Ultimate Fighting Championship (UFC): A 4-year epidemiological analysis. *Drug Test Anal* 2021 ; 13 : 785-93.

Frenger M, Pitsch W, Emrich E. Sport-Induced Substance Use-An Empirical Study to the Extent within a German Sports Association. *PLoS One* 2016 ; 11 : e0165103.

Gareau R, Audran M, Baynes RD, *et al.* Erythropoietin abuse in athletes. *Nature* 1996 ; 380 : 113.

Gleaves J, Petróczi A, Folkerts D, *et al.* Doping Prevalence in Competitive Sport: Evidence Synthesis with « Best Practice » Recommendations and Reporting Guidelines from the WADA Working Group on Doping Prevalence. *Sports Med* 2021 ; 51 : 1909-34.

Graham MR, Davies B, Grace FM, *et al.* Anabolic Steroid Use. *Sports Med* 2008 ; 38 : 505-25.

Heller S, Ulrich R, Simon P, *et al.* Refined Analysis of a Cross-Sectional Doping Survey Among Recreational Triathletes: Support for the Nutritional Supplement Gateway Hypothesis. *Front Psychol* 2020 ; 11 : 561013.

Hilkens L, Cruyff M, Woertman L, *et al.* Social Media, Body Image and Resistance Training: Creating the Perfect 'Me' with Dietary Supplements, Anabolic Steroids and SARM's. *Sports Med Open* 2021 ; 7 : 81.

Hope VD, Walker Bond V, Boardley I, *et al.* Anabolic androgenic steroid use population size estimation: a first stage study utilising a Delphi exercise. *Drugs Educ Prev Policy* 2022 ; 30 : 461-73.

Janssen E, Spilka S. *Substances et performance à l'adolescence. Résultats de l'enquête ESPAD 2015 menée auprès des lycéens français*. Saint-Denis : OFDT (Observatoire français des drogues et des tendances addictives), 2018 : 7 p.

Kindermann W. Do inhaled beta(2)-agonists have an ergogenic potential in non-asthmatic competitive athletes? *Sports Med* 2007 ; 37 : 95-102.

Knapik JJ, Steelman RA, Hoedebecke SS, *et al.* Prevalence of Dietary Supplement Use by Athletes: Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med* 2016 ; 46 : 103-23.

Kolliari-Turner A, Oliver B, Lima G, *et al.* Doping practices in international weightlifting: analysis of sanctioned athletes/support personnel from 2008 to 2019 and retesting of samples from the 2008 and 2012 Olympic Games. *Sports Med Open* 2021 ; 7 : 4.

Krumm B, Faiss R. Factors Confounding the Athlete Biological Passport: A Systematic Narrative Review. *Sports Med – Open* 2021 ; 7 : 65.

Lara B, Aguilar-Navarro M, Jose Salinero J, *et al.* Study of frequency and type of adverse analytical findings in the different disciplines of aquatics. *Bioanalysis* 2021 ; 13 : 1467-76.

Laure P, Allouche S. Doping Behaviour as an Indicator of Performance Pressure. In : Bateman S, Gayon J, Allouche S, *et coll.*, eds. *Inquiring into Human Enhancement: Interdisciplinary and International Perspectives*. London : Palgrave Macmillan UK, 2015 : 161-80.

Laure P, Binsinger C. Doping prevalence among preadolescent athletes: a 4-year follow-up. *Br J Sports Med* 2007 ; 41 : 660-3.

Laure P, Binsinger C. Adolescent athletes and the demand and supply of drugs to improve their performance. *J Sports Sci Med* 2005 ; 4 : 272-7.

Lauritzen F, Holden G. Intelligence-based doping control planning improves testing effectiveness: Perspectives from a national anti-doping organisation. *Drug Test Anal* 2023 ; 15 : 506-15.

Lobigs LM, Sottas P-E, Bourdon PC, *et al.* A step towards removing plasma volume variance from the Athlete's Biological Passport: The use of biomarkers to describe vascular volumes from a simple blood test. *Drug Test Anal* 2018 ; 10 : 294-300.

Lobigs LM, Sottas P-E, Bourdon PC, *et al.* The use of biomarkers to describe plasma-, red cell-, and blood volume from a simple blood test. *American J Hematol* 2017 ; 92 : 62-7.

Marchand A, Buisson C, Martin L, *et al.* Report on an anti-doping operation in Guadeloupe: high number of positive cases and inferences about doping habits. *Drug Test Anal* 2017 ; 9 : 1753-61.

Martínez S, Aguiló A, Moreno C, *et al.* Use of Non-Steroidal Anti-Inflammatory Drugs among Participants in a Mountain Ultramarathon Event. *Sports* 2017 ; 5 : 11.

McDuff D, Stull T, Castaldelli-Maia JM, *et al.* Recreational and ergogenic substance use and substance use disorders in elite athletes: a narrative review. *Br J Sports Med* 2019 ; 53 : 754-60.

Mercado Soberanes K, Camacho Frías E, Rodríguez Balandrán L, *et al.* Banned substances and their incidence: A retrospective view of the national laboratory of prevention and doping control of Mexico. *Adicciones* 2019 ; 31 : 201-11.

Ohl F. *Le dopage dans le MMA : étude exploratoire sur l'utilisation de substances destinées à améliorer les performances*. Lausanne : AFLD (Agence Française de Lutte contre le Dopage), 2023 : 63 p.

Petróczi A, Cruyff M, de Hon O, *et al.* Hidden figures: Revisiting doping prevalence estimates previously reported for two major international sport events in the context of further empirical evidence and the extant literature. *Front Sports Act Living* 2022a ; 4 : 1017329.

Petróczi A, Gleaves J, De Hon O, *et al.* Prevalence of doping in sport. In : Mottram D, Chester N, eds. *Drugs in sport*. New York, NY, US : Rutgers University Piscataway, NJ, 2022b : 37-71.

Petróczi A. Indirect measures in doping behavior research. In : Barkoukis V, Lazuras L, Tsorbatzoudis H, eds. *The psychology of doping in sport*. New York, NY, US : Routledge/Taylor & Francis Group, 2016 : 93-110.

Petrou M, Lazuras L. Comment on « Recreational Athletes' Use of Performance-Enhancing Substances: Results from the First European Randomized Response Technique Survey ». *Sports Med Open* 2023 ; 9 : 36.

Pillard F, Grosclaude P, Navarro F, *et al.* Sport-practice and doping among a representative sample of adolescents attending school in a French region. *Sci Sports* 2002 ; 17 : 8-16.

Pillard F, Grosclaude P, Navarro F, *et al.* Enquête épidémiologique sur le dopage sportif en milieu scolaire dans la région Midi-Pyrénées en 1999. Résultats préliminaires. *BEH* 2000 : 185-6.

Pitsch W. Minimizing response bias: An application of the randomized response technique. In : Barkoukis V, Lazuras L, Tsorbatzoudis H, eds. *The psychology of doping in sport*. New York, NY, US : Routledge/Taylor & Francis Group, 2016 : 111-25.

Pottgiesser T, Sottas P-E, Ehteler T, *et al.* Detection of autologous blood doping with adaptively evaluated biomarkers of doping: a longitudinal blinded study. *Transfusion* 2011 ; 51 : 1707-15.

Robach P, Trebes G, Buisson C, *et al.* Prevalence of Drug Use in Ultra-Endurance Athletes. *Med Sci Sports Exerc* 2024 ; 56 : 828-38.

Rouchaud A, Ferley J-P, Roche Bigas B, *et al.* *Recours à des produits dopants chez les jeunes du Limousin. Approche quantitative chez les collégiens, lycéens et étudiants*. Limoges : Observatoire Régional de la Santé du Limousin, 2008 : 16 p.

Ryoo H, Ryu S, Kim D, *et al.* Importance of weightlifting performance analysis in anti-doping. *PLoS One* 2022 ; 17 : e0263398.

Sagoe D, Molde H, Andreassen CS, *et al.* The global epidemiology of anabolic-androgenic steroid use: a meta-analysis and meta-regression analysis. *Ann Epidemiol* 2014 ; 24 : 383-98.

Sayed KHA, Cruyff MJLF, van der Heijden PGM, *et al.* Refinement of the extended crosswise model with a number sequence randomizer: Evidence from three different studies in the UK. *PLoS One* 2022 ; 17 : e0279741.

Schröter H, Studzinski B, Dietz P, *et al.* A Comparison of the Cheater Detection and the Unrelated Question Models: A Randomized Response Survey on Physical and Cognitive Doping in Recreational Triathletes. *PLoS One* 2016 ; 11 : e0155765.

Seifarth S, Dietz P, Disch AC, *et al.* The Prevalence of Legal Performance-Enhancing Substance Use and Potential Cognitive and or Physical Doping in German Recreational Triathletes, Assessed via the Randomised Response Technique. *Sports (Basel)* 2019 ; 7 : 241.

- Shah J, Janssen E, Le Nézet O, *et al.* Doping among high school students: findings from the French ESPAD survey. *Eur J Public Health* 2019 ; 29 : 1135-40.
- Shimko KM, O'Brien JW, Barron L, *et al.* A pilot wastewater-based epidemiology assessment of anabolic steroid use in Queensland, Australia. *Drug Test Anal* 2019 ; 11 : 937-49.
- Simon P, Neuberger EWL, Wang G, *et al.* Antidoping Science: Important Lessons From the Medical Sciences. *Curr Sports Med Rep* 2018 ; 17 : 326-31.
- Sottas P-E, Baume N, Saudan C, *et al.* Bayesian detection of abnormal values in longitudinal biomarkers with an application to T/E ratio. *Biostatistics* 2007 ; 8 : 285-96.
- Stubbe JH, Chorus AMJ, Frank LE, *et al.* Prevalence of use of performance enhancing drugs by fitness centre members. *Drug Test Anal* 2014 ; 6 : 434-8.
- Turblin P, Grosclaude P, Navarro F, *et al.* Enquête épidémiologique sur le dopage en milieu scolaire dans la région Midi-Pyrénées. *Sci Sports* 1995 ; 10 : 87-94.
- Ulrich R, Cléret L, Comstock RD, *et al.* Assessing the Prevalence of Doping Among Elite Athletes: An Analysis of Results Generated by the Single Sample Count Method Versus the Unrelated Question Method. *Sports Med Open* 2023 ; 9 : 112.
- Ulrich R, Pope HG, Cléret L, *et al.* Doping in Two Elite Athletics Competitions Assessed by Randomized-Response Surveys. *Sports Med* 2018 ; 48 : 211-9.
- van Renterghem P, van Eenoo P, Sottas P-E, *et al.* A pilot study on subject-based comprehensive steroid profiling: novel biomarkers to detect testosterone misuse in sports. *Clin Endocrinol* 2011 ; 75 : 134-40.
- van Renterghem P, van Eenoo P, Sottas P-E, *et al.* Subject-based steroid profiling and the determination of novel biomarkers for DHT and DHEA misuse in sports. *Drug Test Anal* 2010 ; 2 : 582-8.
- Vernec A, Slack A, Harcourt P, *et al.* Glucocorticoids in elite sport: current status, controversies and innovative management strategies-a narrative review. *Br J Sports Med* 2020 ; 54 : 8-12.