



HAL
open science

Analyse de flacons d'ayahuasca séculaires : détermination de la composition des substances actives après cent ans de conservation

Nadia Arbouche, Aymon de Lestrangé, Romain Hacquet, François-Xavier Ricaut, Jean-Sébastien Raul, Pascal Kintz

► **To cite this version:**

Nadia Arbouche, Aymon de Lestrangé, Romain Hacquet, François-Xavier Ricaut, Jean-Sébastien Raul, et al.. Analyse de flacons d'ayahuasca séculaires : détermination de la composition des substances actives après cent ans de conservation. *Toxicologie Analytique et Clinique*, A paraître, pp.480. 10.1016/j.toxac.2023.07.004 . hal-04222816

HAL Id: hal-04222816

<https://hal.science/hal-04222816v1>

Submitted on 29 Sep 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Analyse de flacons d'ayahuasca séculaires : détermination de la composition des substances actives après cent ans de conservation

Testing secular ayahuasca bottles: Determination of the composition of the active substances after 100 years of storage

Nadia Arbouche^{1,*}, Aymon De Lestrangé², Romain Hacquet³,
François-Xavier Ricaut⁴,
Jean-Sebastien Raul¹, Pascal Kintz^{1,5}

¹ Institut de médecine légale, Strasbourg, France

² École pratique des Hautes Études, Paris, France

³ Centre de recherches sur la cognition animale (CRCA), centre de biologie intégrative (CBI), CNRS UMR5169, UPS, université de Toulouse, Toulouse, France

⁴ Laboratoire évolution et diversité biologique (EDB UMR 5174), CNRS, IRD, UPS, université Toulouse–Midi-Pyrénées, Toulouse, France

⁵ X-Pertise Consulting, Mittelhausbergen, France

Résumé L'ayahuasca, ou yagé, est une boisson hallucinogène consommée principalement lors de rituels chamaniques à des fins thérapeutiques et divinatoires. Traditionnellement, ce breuvage est préparé à partir de lianes de *Banisteriopsis caapi*, sources de 13-carbolines (har- mine, harmaline et tétrahydroharmine) mélangées à différentes feuilles provenant de plantes telles que *Psychotria viridis* qui contiennent de la N,N-diméthyltryptamine (DMT). Suite aux recherches d'un historien parisien, trois flacons contenant du « yagé » ont été retrouvés au domicile d'un pharmacien français ayant vécu au début du **XX^e** siècle. Le laboratoire de toxi- cologie de l'institut de médecine légale de Strasbourg a été chargé d'analyser le contenu des bouteilles afin de déterminer la présence d'alcaloïdes de l'ayahuasca et de détermi- ner l'état de conservation des breuvages. Les échantillons ont fait l'objet d'une recherche d'éthanol par HS-GC/FID, de substances volatiles par HS-GC/MS et des principaux alcaloïdes Psychoactifs par LC-HRMS et LC-MS/MS après dilutions appropriées dans l'eau. La recherche d'éthanol se révèle positive pour tous les liquides avec des concentrations entre 67,3° et 81,1°. La recherche d'alcaloïdes a révélé la présence d'harmine dans les trois échantillons avec des concentrations comprises entre 0,13 et 1,5 g/L, d'harmaline et de tétrahydroharmine seulement dans deux échantillons avec des concentrations comprises entre 53 et 80 mg/L pour le premier composé et entre 49 et 142 mg/L pour le deuxième. La DMT ainsi que les tryptamines 5-OH- DMT et 5-MeO-DMT n'ont été trouvées dans aucun échantillon. Ces analyses montrent une probable absence totale de plantes contenant des tryptamines et une composition complexe de 13-carbolines due à des processus de dégradation et d'interconversion.

Summary Ayahuasca, or yagé, is a hallucinogenic drink mainly consumed during shamanic rituals for therapeutic and divinatory purposes. Traditionally, this drink is prepared from *Banisteriopsis caapi* vines, sources of 13-carbolines (harmine, harmaline and tetrahydroharmine) mixed with various leaves from plants such as *Psychotria viridis* that contain N,N-dimethyltryptamine (DMT). Following the investigations of a Parisian historian, three bottles containing “yagé” were found in the home of a French pharmacist who lived at the beginning of the 20th century. The laboratory of toxicology of the Institute of Legal Medicine of Strasbourg was asked to analyse the contents of the bottles in order to determine the presence of ayahuasca alkaloids and, after the dosage, to determine the state of conservation of the beverages. The samples were analysed for ethanol by HS-GC/FID, for solvents by HS-GC/MS and for the main psychoactive substances by LC-HRMS and LC-MS/MS after appropriate dilutions in water. The ethanol test was positive for all solutions with an alcohol content between 67.3° and 81.1°. The alkaloid test revealed the presence of harmine in all three samples with concentrations between 0.13 and 1.5 g/L, harmaline and tetrahydroharmine only in two samples with concentrations between 53 and 80 mg/L for the first compound and between 49 and 142 mg/L for the second. DMT as well as 5-OH-DMT and 5-MeO-DMT were not found in any of the three samples. These analyses suggest a probable total absence of plants containing tryptamines and a complex composition of 13-carbolines due to degradation and interconversion processes.
© 2023 Published by Elsevier Masson SAS on behalf of Société Française de Toxicologie Analytique.

Introduction

L'ayahuasca, également connue sous les noms de *yage*, *caapi*, *mihi*, *natem*, est une boisson hallucinogène originaire de la forêt amazonienne, consommée depuis des siècles par les peuples indigènes lors de rituels chamaniques à des fins spirituelles et médicinales [1].

La boisson est obtenue par une décoction de lianes de *Banisteriopsis caapi* mélangées à des feuilles de diverses plantes telles que *Psychotria viridis*, *Psychotria carthagenensis* ou *Diplopterys cabrerana*. L'effet psychédélique recherché dans la consommation de la boisson est provoqué par les feuilles de *P. viridis* et d'espèces apparentées qui contiennent de la N,N-diméthyltryptamine (DMT), un puissant agoniste du récepteur 5-HT_{2A} et d'autres récepteurs de la sérotonine. Cependant, ces molécules sont rapidement inactivées par les inhibiteurs de la monoamine oxydase (MAO) après administration orale. L'intérêt de l'utilisation des lianes de *B. caapi* est lié à la présence d'alcaloïdes appelés 13-carbolines (harmine, harmaline et tétrahydroharmine) (Fig. 1) qui sont des inhibiteurs de la MAO et qui rendent ainsi

la DMT active après administration orale [2]. Le contenu en 13-carbolines et en tryptamines varie en fonction de la source des plantes et du mode de préparation de la boisson. Il semblerait que les 13-carbolines aient non seulement un rôle d'inhibiteur des MAO mais aussi des effets psychoactifs [3]. Bien que l'usage de cette boisson était limité à l'Amazonie, au cours des 40 dernières années, celle-ci s'est largement répandue en Europe et dans le monde entier. Avant la colonisation européenne de l'Amérique du Sud, la boisson était utilisée lors de rituels religieux pour diagnostiquer et traiter les maladies [4]. Aujourd'hui, elle continue d'être utilisée par divers groupes religieux en Amérique du Sud et en Europe et fait l'objet d'études en tant que thérapie psychédélique potentielle dans le traitement de la dépression et de la toxicomanie [5,6]. La littérature est riche en articles rapportant des analyses de boissons à base d'ayahuasca analysées par chromatographie liquide ou gazeuse couplée à la spectrométrie de masse et à d'autres détecteurs [7–10].

Différentes analyses des alcaloïdes de l'ayahuasca ont été décrites sur des découvertes archéologiques de cheveux ou de vêtements de momies, mais la littérature manque de

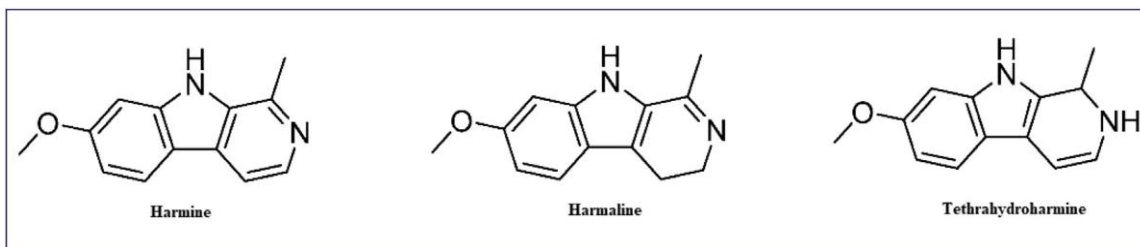


Figure 1. Structures chimiques des 13-carbolines.



Figure 2. Bouteilles de yagé retrouvées au domicile du pharmacien français Alexandre Rouhier. A. Bouteille contenant un liquide et étiquetée « teinture de yagé » au 1/5 (alcool à 70°) yagé du Putumayo, proven. Pinto Valderama. B. Bouteille contenant des feuilles de yagé et étiquetée « yagé feuilles épuisées par l'alcool ». C. Bouteille contenant un liquide et étiquetée « teinture de yagé » au 1/5 (alcool à 70°) 250 grammes.

données sur les analyses de boissons à l'ayahuasca conservées sur une très longue période [11–13].

Dans cette étude, les auteurs ont pu analyser le contenu de trois flacons d'ayahuasca (Fig. 2) datant de 1925, ayant appartenu à un pharmacien français nommé Alexandre Rouhier et retrouvés suite aux recherches d'un historien (Aymon De Lestrang) passionné par les plantes visionnaires. Deux des trois flacons sont étiquetés « teinture de yagé » et un « yagé feuilles ».

Le contenu des bouteilles a été analysé pour déterminer la présence d'alcaloïdes de l'ayahuasca et remonter aux espèces de plantes utilisées. Le second objectif a été d'interpréter les concentrations trouvées en les comparant aux données de la littérature afin de vérifier la stabilité.

Matériels et méthodes

Agents chimiques et réactifs

Les poudres certifiés de harmine, harmaline, tétrahydroharmine, N,N-diméthyltryptamine (DMT) et 5-hydroxydiméthyltryptamine (5-OH-DMT) ont été achetées auprès de LGC (Molsheim, France). La solution méthanolique de 5-méthoxy-diméthyltryptamine (5-MeO-DMT) à 1 g/L a été fourni par Euromedex (Souffelweyersheim, France).

L'acétonitrile a été acheté auprès de V.W.R. Chemicals ProLabo (Fontenay-sous-Bois, France). L'eau a été distribuée par un purificateur d'eau MilliQ Direct-Q® 3 UV-R (Merck, Allemagne). Le formiate d'ammonium a été acheté chez

Alfa Aesar Thermo Fischer (Karlsruhe, Allemagne). L'acide formique a été fourni par Carlo Erba (Chaussée-du-Vexin, France).

Préparation des échantillons

Le contenu des flacons d'ayahuasca a été analysé après dilution à 1/100 dans l'eau.

Les échantillons ont ensuite été injectés directement dans les systèmes LC-HRMS et LC-MS/MS. En ce qui concerne le dosage de l'éthanol, après avoir prélevé 1 mL d'échantillon dilué à 1/100 et ajouté l'étalon interne (NaCl/1-propanol), l'échantillon a été injecté dans un système HS-GC/FID. Une gamme d'étalonnage allant de 0,2 à 3 g/L a été utilisée pour le dosage de l'éthanol. Pour la recherche des solvants, 1 mL d'échantillon a été prélevé auquel ont été ajoutés du chlorure de sodium et du chlorure de potassium et 20 µL de THF à 1 g/L (S.I.) avant injection sur le système HS-GC/MS.

Instruments

La présence d'alcool éthylique a été recherchée par chromatographie en phase gazeuse, après injection dans un système à espace de tête et détection spécifique par ionisation de flamme (HS-GC-FID, Perkin Elmer, Waltham, MA, États-Unis). Les substances volatiles ont été testées par HS-GC/MS sur un système ThermoFischer (Focus GC & DSQII) en utilisant une procédure standard validée.

Tableau 1 Transitions spécifiques des 13-carbolines et des tryptamines.

Analyte	RT (min)	Transition MRM	Cône (V)	EC (eV)
Harmine	3,93	212,96 > 197,97	38	22
		212,96 > 144,1	38	22
Harmaline	3,89	215,04 > 200,05	18	24
		215,04 > 174,05	18	24
Tétrahydroharmine	3,25	217,06 > 188,09	22	16
		217,06 > 157,69	22	16
DMT	2,63	189,2 > 58,2	30	14
		189,2 > 127,1	30	28
5-OH-DMT	0,86	204,97 > 57,94	22	12
		204,97 > 114,54	22	12
5-MeO-DMT	2,5	219,01 > 57,94	24	14
		219,01 > 158,98	24	14

Un screening non ciblé a été effectué sur un système de chromatographie liquide couplé à la spectrométrie de masse à haute résolution (UPLC-Xevo G2-XS Q-TOF, Waters Corporation, Milford, MA, États-Unis) opérant en ionisation positive. La séparation chromatographique a été réalisée avec une colonne HSS C18 (150 µ.m, 2,1 µ.m, 1,8 µ.m) (Waters, Milford, États-Unis). Nous avons utilisé une injection de 2 µ.L avec un débit de 0,4 mL/minutes de tampon formate ajusté à pH 3 (phase A) et 0,1 % d'acide formique dans l'acétonitrile (phase B). L'élution en gradient était la suivante : la composition initiale (13 % B) a été augmentée de 13 à 50 % en 10 minutes, de 50 % à 95 % en 2,25 minutes et est revenue aux conditions initiales en 2,25 minutes. La durée totale de l'analyse est de 15 minutes. Le débit de gaz de désolvatation a été réglé à 1000 L/h à une température de 600 °C, le gaz de cône à 50 L/h et la température de la source à 120 °C. La tension capillaire et la tension du cône ont été réglées à 3 et 15 V, respectivement. Dans le scan MS, les données ont été acquises de 100 à 2000 m/z. L'énergie de collision était comprise entre 20 et 80 V. Le logiciel UNIFI a été utilisé pour l'acquisition des données, des chromatogrammes et des spectres. Un système LC-MS/MS (UPLC-XEVO TQD, Waters Corporation, Milford, MA, États-Unis) a été utilisé pour doser les produits identifiés lors du criblage. Les paramètres chromatographiques utilisés sont les mêmes que ceux utilisés pour le criblage en HRMS.

Les conditions suivantes se sont avérées optimales pour l'analyse des 13-carbolines et des tryptamines : tension capillaire à 1,5 kV ; température du bloc source à 150 °C ; azote gazeux de désolvatation chauffé à 600 °C et délivré à un débit de 1000 L/h. La tension du cône et l'énergie de collision ont été ajustées pour maximiser l'intensité et optimiser le signal des ions plus abondants. La tension du cône, l'énergie de collision et les transitions m/z sont décrites dans le [Tableau 1](#). Le logiciel Mass Lynx V 4,2 a été utilisé pour la quantification.

La détermination de la concentration de chaque alcaloïde dans les flacons a été effectuée en effectuant un produit en croix avec des solutions de référence certifiées de 13-carbolines à une concentration de 1 mg/L.

Résultats et discussion

L'analyse des trois flacons d'ayahuasca a révélé la présence d'éthanol entre 67,3 et 81,1°. Les 13-carbolines ont été retrouvés dans tous les échantillons à la suite d'un criblage par LC-HRMS. Le dosage des composants identifiés a été effectué par LC-MS/MS. L'harmine a été quantifiée entre 130 et 1500 mg/L, l'harmaline entre 53 et 80 mg/L et la tétrahydroharmine entre 49 et 142 mg/L. La DMT n'est présente dans aucun échantillon. D'autres alcaloïdes tropaniques potentiellement présents dans les feuilles de *P. viridis* et d'espèces apparentées (scopolamine, atropine, aposcopolamine, apatropine, hyoscyamine, noratropine, norhyoscyne) ont été recherchés par criblage HRMS et n'ont pas été trouvés dans les trois échantillons. Les résultats sont détaillés dans le [Tableau 2](#).

Plusieurs articles de la littérature rapportent des dosages d'alcaloïdes effectués sur des boissons à base d'ayahuasca. En 2021, Kaasik et al. [14] ont analysé 102 boissons provenant de différentes communautés consommant de l'ayahuasca. Ils rapportent des concentrations d'harmine comprises entre 0,4 et 4,4 g/L, entre 4 et 387 mg/L d'harmaline, entre 0,03–3,8 g/L de tétrahydroharmine et entre 0,09 et 2,7 g/L de DMT. Dans une autre étude publiée en 2019 [15] et réalisée sur 38 échantillons d'ayahuasca provenant du Brésil, des concentrations d'harmine comprises entre 0,4 et 1,8 g/L ont été retrouvés, ainsi que 60–420 mg/L d'harmaline, 0,5–3,3 g/L de tétrahydroharmine et 75–340 mg/L de DMT. Dans nos cas, il est intéressant de constater que, à l'exception de l'échantillon contenant les feuilles, les concentrations des 13-carbolines trouvées dans les liquides de yagé se situent dans les fourchettes rapportées dans la littérature. En ce qui concerne les résultats obtenus pour l'échantillon B, la faible concentration d'harmine et l'absence des deux autres 13-carbolines pourraient s'expliquer par l'utilisation des feuilles au lieu de la tige. Dans une étude réalisée par Wang et al. en 2010, les auteurs, après avoir analysé les différentes parties de plusieurs échantillons de *B. caapi*, concluent que les concentrations de 13-carbolines dans les feuilles sont beaucoup plus faibles que dans les autres parties de la plante [16].

Tableau 2 Résultats de l'analyse des échantillons d'ayahuasca.

Analyte	Flacon A	Flacon B	Flacon C	Littérature
Éthanol (%)	81,1	67,3	69,4	
Harmine (mg/L)	1400	132	1500	450–23 000
Harmaline (mg/L)	80	ND	53	0–900
Tétrahydroharmine (mg/L)	49	ND	142	480–24 000
DMT (mg/L)	ND	ND	ND	0–14 000
5-OH-DMT (mg/L)	ND	ND	ND	
5-MeO-DMT (mg/L)	ND	ND	ND	

En général, on peut constater que les concentrations d'harmine et de tétrahydroharmine sont souvent très proches avec un rapport de 1:1, tandis que les concentrations d'harmaline sont toujours plus faibles [17].

Dans notre cas, dans les deux flacons contenant l'harmine et la tétrahydroharmine, nous constatons que les concentrations d'harmine sont beaucoup plus élevées que celles de la tétrahydroharmine. Dans la littérature, Callaway [18] a rapporté en 2005 que dans le temps le rapport entre l'harmine et la tétrahydroharmine change avec une tendance, dans leur cas, à l'augmentation de la tétrahydroharmine par rapport à l'harmine. Il explique ce phénomène par une réduction chimique de l'harmine en tétrahydroharmine au cours du processus de cuisson de la boisson. Les résultats de Callaway montrent un changement dans la composition des 13-carbolines mais ne représentent pas ce qui a été observé dans notre étude, puisque dans notre cas le ratio change dans le sens inverse avec une augmentation de la concentration d'harmine par rapport à la tétrahydroharmine. Dans une autre étude publiée par Silveira et al. [19], les auteurs ont évalué la stabilité d'échantillons d'ayahuasca et ils constatent une dégradation de la tétrahydroharmine après 4 mois de conservation à température ambiante (avec des profils de décroissance différents) et une augmentation de presque 13 % de la concentration d'harmine. Selon les auteurs, les variations non schématiques des concentrations de 13-carbolines dans leurs différents échantillons, sous différentes conditions, sont dues à des processus complexes impliquant la dégradation et l'interconversion de ces substances. Il semble important de souligner que ces échantillons, bien qu'étiquetés comme « yagé », n'ont pas été créés par le processus de cuisson classique en milieu aqueux. Il s'agit en fait de teintures de yagé créées et conservées dans de l'éthanol. Politi et al. en 2019 [20] évaluent l'effet du milieu utilisé pour l'extraction des alcaloïdes du yagé sur la composition de ces produits. Ils comparent notamment les teintures (dans lesquelles des solvants tels que l'éthanol sont utilisés) et les préparations aqueuses traditionnelles, mettant en évidence une concentration plus élevée de substances peu polaires (notamment les 13-carbolines) dans les extraits à base d'éthanol.

Le dernier point intéressant de nos résultats concerne l'absence totale de DMT. La cause de cette absence pourrait initialement être expliquée par un problème d'instabilité de la DMT. Mais en parcourant la littérature, plusieurs études rapportent que la DMT, comme aussi l'harmine, ont tendance à être assez stables à la fois dans des conditions de stockage appropriées (réfrigération à +4 °C ou –20 °C) et aussi à température ambiante (jusqu'à 37 °C)

[19,21,22]. Par conséquent, il est possible d'imaginer l'absence totale de *P. viridis* ou d'espèces apparentées contenant des tryptamines dans les boissons analysées. Dans la même étude publiée par Callaway [18], sur 30 échantillons d'ayahuasca analysés, la DMT n'a pas été trouvée dans 2 échantillons.

En outre, il a été constaté dans la littérature qu'après une analyse de plusieurs échantillons de *P. viridis* sur les marchés, ces plantes contenaient un large éventail d'alcaloïdes et certains échantillons ne contenaient que des quantités infimes voire indétectables de DMT [23].

L'hypothèse d'une non-détection des tryptamines due à un manque de sensibilité de nos équipements pourrait également être avancée. Cela nous semble toutefois peu probable étant donné que notre laboratoire maîtrise les dosages des tryptamines dans d'autres matrices telles que les cheveux pour lesquels il existe une méthode validée et publiée dans la littérature. La LOD rapportée pour cette méthode est de 0,1 pg/mg [24]. Compte tenu de la bonne stabilité de la DMT selon la littérature et des concentrations élevées attendues, une non-détection due à un manque de sensibilité de la méthode pourrait être exclue.

Néanmoins, afin de comparer ces résultats avec d'autres échantillons de yagé, des bouteilles d'ayahuasca provenant de la saisie à un chaman en 1999 ont été analysées au cours de la même période. L'analyse des deux bouteilles a révélé non seulement la présence des 13-carbolines à des concentrations allant de 100 à 1900 mg/L mais aussi la présence de DMT aux concentrations de 80 et 104 mg/L ainsi que de la 5-OH-DMT à 3,2 et 0,1 mg/L. La Fig. 3 rapporte les chromatogrammes de la DMT dans les deux bouteilles de ayahuasca.

Conclusion

Dans cette étude, qui présente un intérêt historique important, des breuvages de yagé datant de plus de 100 ans ont été analysés. La détermination de la composition du contenu des flacons a permis de remonter aux éventuelles espèces de plantes utilisées dans leur préparation et de déterminer leur état de conservation. La présence d'harmine dans tous les échantillons suggère la présence de *B. caapi* et l'absence de DMT pourrait indiquer une absence totale de *P. viridis* ou d'espèces apparentées dans les boissons, compte tenu des concentrations élevées attendues. Enfin, la composition complexe des 13-carbolines suggère une combinaison de processus de dégradation et d'interconversion de ces alcaloïdes

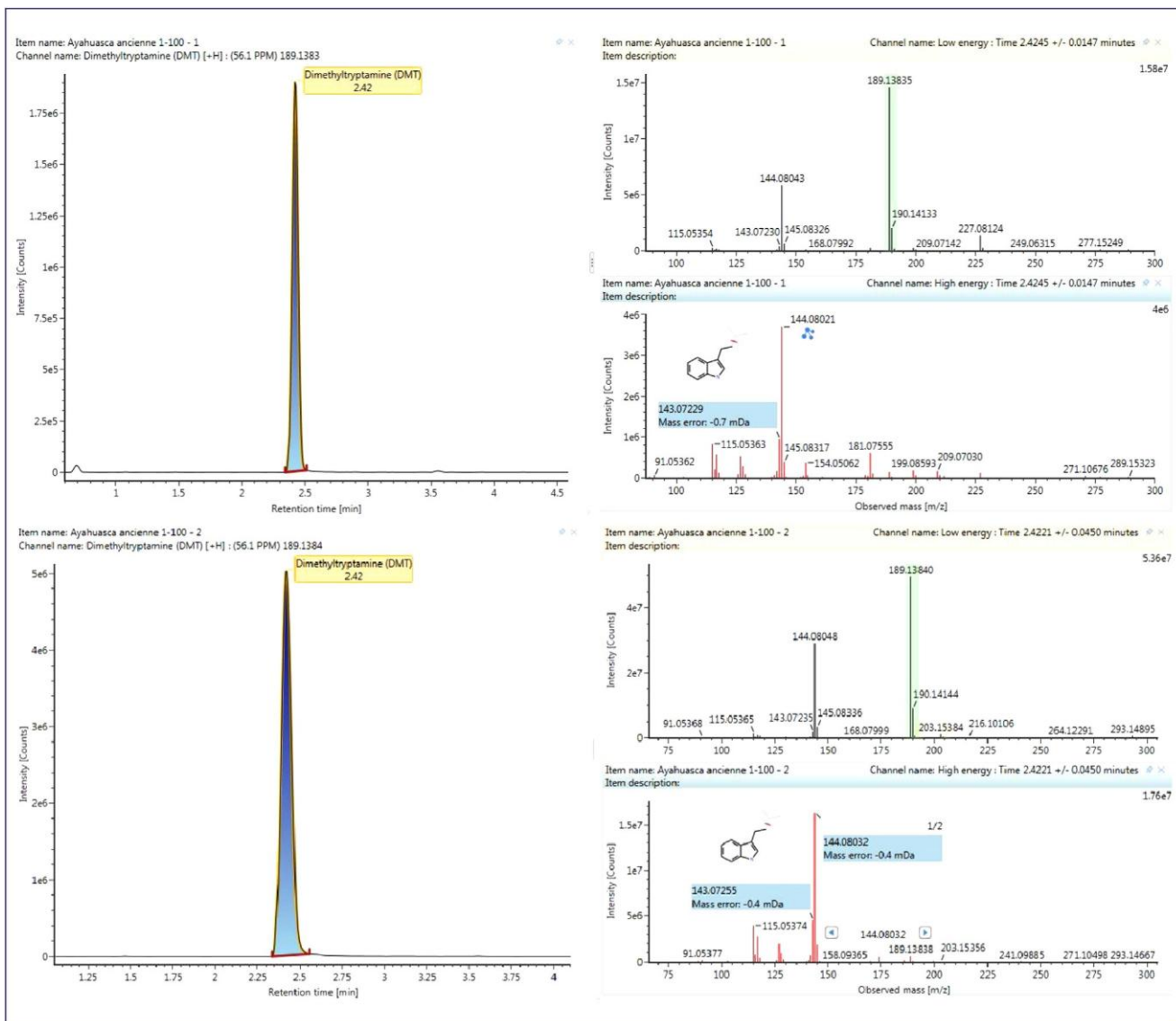


Figure 3. Chromatogrammes de la DMT obtenus après injection du yagé contenu dans les bouteilles saisies à un « guru » en 1999. Les concentrations de DMT retrouvées sont égales à 0,1 mg/L, dans le premier flacon, et 80 mg/L dans la deuxième bouteille.

après une longue période de conservation à température ambiante.

Références

- [1] Rodriguez L, Lopez A, Moyna G, Seoane GA, Davit D, Vazquez A, et al. New insights into the chemical composition of ayahuasca. *ACS Omega* 2022;14(7):12307–17.
- [2] Aronson JK. Plant poisons and traditional medicines. In: Manson's tropical infectious diseases; 2014. p. 1128–50.
- [3] Samorini G. Psychoactive plants in the ancient world. In: Routledge companion to ecstatic experience in the ancient world; 2021. p. 73–89.
- [4] Freedland CS, Mansbach RS. Behavioral profile of constituents in ayahuasca, an Amazonian psychoactive plant mixture. *Drug Alcohol Depend* 1999;54(3):183–94.
- [5] Brierley DI, Davidson C. Developments in harmine pharmacology – Implications for ayahuasca use and drug-dependence treatment. *Prog Neuropsychopharmacol Biol Psychiatry* 2012;39:263–72.
- [6] Palhano-Fontes F, Barreto D, Onias H, Andrade KC, Novaes MM, Pessoa JÁ, et al. Rapid antidepressant effects of the psychedelic ayahuasca in treatment-resistant depression: a randomised placebo-controlled trial. *Psychol Med* 2018;49:655–63.
- [7] McIlhenny EH, Pipkin KE, Standish LJ, Wechkin HA, Strassman R, Barker SA. Direct analysis of psychoactive tryptamine and harmful alkaloids in the Amazonian botanical medicine ayahuasca by liquid chromatography-electrospray ionization-tandem mass spectrometry. *J Chromatogr A* 2009;1216:8960–8.
- [8] Gaujac A, Dempster N, Navickiene S, Brandt SD, de Andrade JB. Determination of N,N-dimethyltryptamine in beverages consumed in religious practices by headspace solid-phase microextraction followed by gas chromatography ion trap mass spectrometry. *Talanta* 2013;106:394–8.

- [9] Simão AY, Gonçalves J, Caramelo D, Rosado T, Barroso M, Restolho J, et al. Determination of N,N-dimethyltryptamine and beta-carbolines in plants used to prepare ayahuasca beverages by means of solid-phase extraction and gas-chromatography–mass spectrometry. *SN Appl Sci* 2020;2:1–11.
- [10] Gambelunghé C, Aroni K, Rossi R, Moretti L, Bacci M. Identification of N,N-dimethyltryptamine and -carbolines in psychotropic ayahuasca beverage. *Biomed Chromatogr* 2008;22:1056–9.
- [11] Brown EL. Investigating the use of coca and other psychoactive plants in pre-Columbian mummies from Chile and Peru. An analytical investigation into the feasibility of testing ancient hair for drug compounds. University of Bradford; 2012 [consulté le 11 mai 2023].
- [12] Miller MJ, Albarracin-Jordan J, Moore C, Capriles JM. Chemical evidence for the use of multiple psychotropic plants in a 1,000-year-old ritual bundle from South America. *Proc Natl Acad Sci U S A* 2019;116:11207–12.
- [13] Ogalde JP, Arriaza BT, Soto EC. Identification of psychoactive alkaloids in ancient 709 Andean human hair by gas chromatography/mass spectrometry. *J Archaeol Sci* 2009;36:467–72.
- [14] Kaasik H, Souza RCZ, Zandonadi F, Tofoli LF, Sussulini A. Chemical composition of traditional and analog ayahuasca. *J Psychoactive Drugs* 2021;53(1):65–75.
- [15] Souza RCZ, Zandonadi FS, Freitas DP, Tofoli LFF, Sussulini A. Validation of an analytical method for the determination of the main ayahuasca active compounds and application to real ayahuasca samples from Brazil. *J Chromatogr B* 2019;1124:197–203.
- [16] Wang YH, Samoylenko V, Tekwani BL, Khan IA, Miller LS, Chaurasiya ND, et al. Composition, standardization and chemical profiling of *Banisteriopsis caapi*, a plant for the treatment of neurodegenerative disorders relevant to Parkinson’s disease. *J Ethnopharmacol* 2010;128(3):662–71.
- [17] Niznansky L, Niznanska Z, Kuruc R, Szoradova A, Sikuta J, Zummerova A. Ayahuasca as a decoction applied to human: analytical methods, pharmacology and potential toxic effects. *J Clin Med* 2022;11(4):1147.
- [18] Callaway JC. Various alkaloid profiles in decoctions of *Banisteriopsis caapi*. *J Psychoactive Drugs* 2005;37:151–5.
- [19] Silveira GO, Dos Santos RG, Lourenço FR, Rossi GN, Hallak JEC, Yonamine M. Stability evaluation of DMT and harmala alkaloids in ayahuasca tea samples. *Molecules* 2020;25(9):2072.
- [20] Politi M, Tresca G, Soffiato M, Montes RG, Mendive F. Phytochemical profiling of Amazonian herbal medicinal products: the role of traditional processing methods. *J Med Herbs Ethnomed* 2019;5:1–7.
- [21] McIlhenny EH, Pipkin KE, Standish LJ, Wechkin HA, Strassman R, Barker SA. Direct analysis of psychoactive tryptamine and harmala alkaloids in the Amazonian botanical medicine ayahuasca by liquid chromatography–electrospray ionization–tandem mass spectrometry. *J Chromatogr A* 2009;1216:8960–8.
- [22] Aniszewski T. Chapter 2 – Alkaloid chemistry. In: *Alkaloids—secrets of life: alkaloid chemistry, biological significance, applications and ecological role*. 1st ed Amsterdam, The Netherlands: Elsevier Science; 2007. p. 80.
- [23] Callaway JC, Brito GS, Neves ES. Phytochemical analyses of *Banisteriopsis caapi* and *Psychotria viridis*. *J Psychoactive Drugs* 2011;37(2):145–50.
- [24] Kintz P, Ameline A, Raul JS. Human hair tests to document drug environmental contamination: application in a family law case involving N,N-dimethyltryptamine. *Drug Test Anal* 2020;13(2):447–50.