

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

كلية العلوم

FACULTE DES SCIENCES

قسم البيولوجيا

DEPARTEMENT DE BIOLOGIE



Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de Master

Filière : Sciences Biologiques

Option : Pharmacotoxicologie

THEME

L'impact de la pharmaco-toxicologie sur les investigations médico-légales

Présenté par :

- DJOUBAR Aya
- BENTABET Soudjoud

Devant le jury composé de :

M. BOUBRIMA Youcef	MCB (Université Amar Telidji, Laghouat)	Président
M. SIFI Ibrahim	MCA (Université Amar Telidji, Laghouat)	Examineur
Dr ALEM Farid	MAHU (Faculté de médecine, Laghouat)	Rapporteur
Dr BENAIDJA Abdelkader	MAHU (Faculté de médecine, Laghouat)	Co-Rapporteur

Année universitaire 2024-2025



Résumé

Ce mémoire vise à souligner le rôle essentiel de la pharmacotoxicologie en médecine légale, en particulier dans l'identification des causes de décès suspects ou inexpliqués.

La partie théorique présente cette discipline comme une science interdisciplinaire réunissant pharmacologie, toxicologie et médecine légale, et étudiant les effets des substances toxiques (médicaments, drogues, poisons) sur l'organisme humain. Les substances fréquemment rencontrées incluent le fentanyl, le paracétamol, la cocaïne, l'héroïne, ainsi que des gaz toxiques comme le monoxyde de carbone et le cyanure. Le mémoire détaille également le rôle de la médecine légale à travers les enquêtes judiciaires, l'autopsie et les analyses biologiques permettant de déterminer la cause du décès.

La partie pratique repose sur une étude rétrospective descriptive menée au service de médecine légale, analysant plusieurs dossiers médico-légaux de décès suspects. Les données ont été recueillies à partir des rapports d'autopsie et des résultats toxicologiques, identifiant les substances impliquées, les circonstances des intoxications (suicide, accident, homicide), ainsi que les profils cliniques associés.

Parmi les cas étudiés, un décès particulier d'une femme survenu dans une salle d'audience a révélé une intoxication suicidaire à la paraphénylènediamine (PPD), substance toxique utilisée dans les teintures capillaires, connue sous le nom de « pierre noire ». Ce cas illustre la complexité des investigations toxicologiques et l'importance de la pharmacotoxicologie dans la recherche de la vérité judiciaire.

Mots clés : Pharmacotoxicologie – médecine légale – PPD – autopsie – intoxication – GC-MS – toxicologie post-mortem.



Abstract

This thesis aims to highlight the crucial role of pharmacotoxicology in forensic medicine, particularly in determining the causes of suspicious or unexplained deaths.

The theoretical section presents this field as an interdisciplinary science combining pharmacology, toxicology, and forensic medicine, focusing on the effects of toxic substances (drugs, narcotics, and poisons) on the human body. Substances commonly involved include fentanyl, paracetamol, cocaine, heroin, as well as toxic gases such as carbon monoxide and cyanide. The study also examines the role of forensic medicine through judicial investigations, autopsy, toxicological analyses, and biological examinations to accurately establish the cause of death.

The practical part is based on a retrospective descriptive study conducted at the forensic medicine department, analyzing several cases of suspicious deaths through autopsy reports and toxicological results, identifying the substances involved, the circumstances of intoxication (suicide, accident, homicide), and the clinical profiles observed.

Among the studied cases, one involved the death of a woman inside a courtroom, where toxicological analyses revealed suicidal poisoning by paraphenylenediamine (PPD), a toxic substance used in hair dyes and known as "black stone". This case illustrates the complexity of toxicological investigations and the essential role of pharmacotoxicology in establishing judicial truth.

Keywords : Pharmacotoxicology - forensic medicine - PPD - autopsy - intoxication - GC-MS - post-mortem toxicology

ملخص

تهدف هذه الدراسة إلى إبراز الدور الحيوي الذي تؤديه علم الصيدلة والسموم في الطب الشرعي، خاصة في تحديد أسباب الوفيات المشبوهة أو غير المبررة.

يتناول الجزء النظري هذا المجال كعلم متعدد التخصصات يجمع بين علم الأدوية والسموم والطب الشرعي، لدراسة تأثيرات المواد السامة (الأدوية، المخدرات، والسموم) على جسم الإنسان. ومن بين المواد الأكثر شيوعاً: الفنتانيل، الباراسيتامول، الكوكايين، الهيروين، وأيضاً الغازات السامة كأحادي أكسيد الكربون والسيانيد. كما يعرض البحث دور الطب الشرعي من خلال التحقيقات القضائية والتشريح والتحليل البيولوجية لتحديد سبب الوفاة بدقة.

أما الجزء التطبيقي فيعتمد على دراسة استعادية وصفية أجريت بمصلحة الطب الشرعي، تم خلالها تحليل عدة ملفات لوفيات مشبوهة بالاعتماد على تقارير التشريح ونتائج التحاليل السمية، مما سمح بتحديد المواد السامة والظروف المحيطة بحالات التسمم (انتحار، حادث، جريمة)، وكذا الأنماط السريرية المرتبطة بها.

ومن بين الحالات المدروسة، تم تسجيل حالة وفاة لامرأة داخل قاعة محكمة، أظهرت التحاليل السمية تعرضها لتسمم ، وهي مادة سامة تستخدم في صبغات الشعر وتعرف بـ "الحجرة السوداء". (PPD) انتحاري بمادة البارافينيلين ديامين تعكس هذه الحالة تعقيد التحقيقات السمية وأهمية علم الصيدلة والسموم في الوصول إلى الحقيقة القضائية.

الكلمات المفتاحية: علم السموم الدوائية – الطب الشرعي – تشريح الجثة – التسمم – الحجرة السوداء – علم السموم بعد الوفاة.

لم تكن الطرق سهلة، ولم نكن بذاتِ الصبرِ في كل مرة، ولم تقف
الظروف معنا في طريقنا..
لكننا أكملنا المسير، وصبرنا، ومشينا الطرق رغم وعورتها..
لأننا كنا نثق بالله، ثم بقدرتنا على ذلك.

*Portées par notre foi et guidées par notre
détermination,
ce travail est né d'un effort sincère, d'une conviction
profonde
et de trois années de persévérance continue.*


*À nos familles, source de notre force et refuge dans les
tempêtes,*

*Et à ces quelques âmes sincères qui, par un mot ou un
geste, ont laissé une trace... merci.*

*Aujourd'hui, nous sommes fières de ce chemin
parcouru,
et de voir trois années de travail prendre vie entre ces
pages.*



Remerciement



Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu, le Tout-Puissant, de nous avoir accordé la santé, la force, la patience et la volonté qui nous ont permis de poursuivre nos études et d'achever ce travail modeste.

*Nous adressons nos plus sincères remerciements à **Dr ALEM Farid**, notre encadrant, pour la confiance qu'il nous a accordée, pour son accompagnement constant, ses conseils précieux, sa rigueur scientifique et sa grande disponibilité. Son soutien a été d'un apport inestimable tout au long de cette recherche.*

*Nos remerciements les plus respectueux vont également à **Dr BENAIDJA Abdelkader**, notre co-encadrant, pour ses orientations claires, son suivi rigoureux et sa bienveillance. Sa présence à nos côtés a été d'une aide considérable à chaque étape de ce travail.*

*Nous tenons à remercier vivement **Mr SIFI Ibrahim**, pour nous avoir fait l'honneur de siéger en tant qu'examinateur. Enseignant passionné et source de savoir, il a marqué notre parcours par sa générosité intellectuelle et son rôle fondamental dans la création de notre spécialité.*

*Nous exprimons également notre reconnaissance à **Mr BOUBRIMA Youcef**, Président du jury, pour l'honneur qu'il nous a fait par sa présence, sa bienveillance et son regard attentif. Son statut d'enseignant respecté et d'homme sage a donné à cette soutenance une valeur toute particulière.*

Nous remercions également l'ensemble du corps enseignant du département des sciences biologiques, ainsi que l'équipe administrative, les techniciens de laboratoire et les responsables de la bibliothèque, pour leur soutien constant.



Table des matières

LISTE DES TABLEAUX	12
LISTE DES FIGURES	13
LISTE DES ABREVIATIONS	14
INTRODUCTION GENERALE	16
PARTIE I : ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE	18
I.1. DEFINITIONS ET CADRE THEORIQUE	18
I.1.1. Définition de la pharmacotoxicologie.	18
I.1.2. Notions de base en toxicologie : Toxicité. Dose létale :	18
I.1.3. Substances les plus impliquées dans les cas médico-légaux :	19
I.1.3.1. Médicaments	19
I.1.3.2. Drogues	23
I.1.3.3 Poisons	23
I.2. LA MEDECINE LEGALE ET SON LIEN AVEC LA PHARMACOTOXICOLOGIE	25
I.2.1. Rôle de la médecine légale dans la recherche de causes de décès :.....	25
a) Enquête Criminelle et Judiciaire	25
b) Autopsie Médico-légale.....	25
c) Analyses Toxicologiques.....	25
d) Histopathologie et Biologie	26
e) Datation de la Mort	26
I.2.2. Contributions de la Pharmaco-toxicologie aux Investigations Médico-légales.....	26
I.1.3.1. Identification et Quantification des Substances Toxiques	27
I.1.3.2. Évaluation des Effets Toxiques et Interprétation des Résultats	27
I.1.3.3. Contribution aux Enquêtes Judiciaires	27
I.1.3.4. Applications en Toxicologie Post-Mortem.....	28
I.2.3. Cadre Législatif et Réglementaire : Normes et Procédures en Toxicologie Médico-légale.....	28
I.2.4 Deux centres nationaux au service de la toxicologie médico-légale en Algérie :	30
I.2.4.1. Le Laboratoire Central de la Police Scientifique et Technique (LCPST) à Châteauneuf (Alger) :	30



I.2.4.2. L'Institut National de Criminalistique et de Criminologie (INCC) de la Gendarmerie Nationale à Bouchaoui (Alger) :	30
---	----

I.3. METHODES D'INVESTIGATION PHARMACOTOXICOLOGIQUE.....32

I.3.1. Techniques analytiques : 32

a) Chromatographie en Phase Gazeuse couplée à la Spectrométrie de Masse (GC-MS).....	32
b) Chromatographie Liquide Haute Performance couplée à la Spectrométrie de Masse (LC-MS/MS).....	33
c) Spectroscopie Infrarouge (IR) et Spectroscopie Raman	34
d) Techniques Immunochimiques (ELISA, RIA).....	35
e) Électrophorèse Capillaire (CE)	35

I.3.2. Analyse des Matrices Biologiques : 37

a) Sang.....	37
b) Urine.....	37
c) Cheveux.....	38
d) Tissus biologiques	38
e) Le contenu gastrique	38
f) La bile.....	39

I.4. APPLICATIONS EN MEDECINE LEGALE40

I.4.1. Détection des surdoses et des intoxications : Méthodes et Approches 40

I.4.1.1. Signes cliniques et symptômes	40
a) Syndrome cholinergique (inhibiteurs de l'acétylcholinestérase : organophosphorés, carbamates) :	40
b) Syndrome anticholinergique (antihistaminiques, atropine, antidépresseurs tricycliques) :	40
c) Syndrome opioïde (morphine, héroïne, fentanyl) :	40
d) Syndrome sympathomimétique (cocaïne, amphétamines, caféine)	41
e) Syndrome sédatif-hypnotique (benzodiazépines, barbituriques, alcool).....	41
I.4.1.2. Analyses biologiques et examens complémentaires.....	41
I.4.1.3. Approches technologiques avancées	42

I.4.2. Formes médico-légales : empoisonnement criminel, intoxications accidentelles ou suicidaires : 42

I.4.2.1. Empoisonnement criminel.....	42
I.4.2.2. Intoxication accidentelle.....	43
I.4.2.3. Intoxication suicidaire.....	43

PARTIE II : MATERIELS ET METHODES.....46

II.1 Type d'étude : 46

II.2 Méthode..... 46

II.2.1 Recrutement des cas :	46
II.2.2 Recueil des données :	46
II.2.3 les paramètres étudiés :	47
II.2.6. Contexte du stage en médecine légale	48
II.2.7. Collecte et analyse des données.....	48



II .3. Matériels.....	48
II .3.1. Prélèvements effectué lors de l'autopsie :.....	48
II .3.2. L'acheminement des prélèvements aux laboratoires :	49
II .3.3. Les laboratoires d'analyses toxicologiques :	49
PARTIE III : RESULTATS ET DISCUSSION.....	52
III.1 Résultats.....	52
III.1.1 Données épidémiologiques :	52
III.1.1.1 Age :	52
III.1.1.2 Sexe :	53
III.1.2 Antécédents médicaux :	54
III.1.3 Examen externe :	55
III.1.4 Examen interne :	55
III.1.5 Analyses toxicologie :	56
III.1.5.1 Résultat d'analyse	56
III.1.5.2 Substances détectées dans les cas positifs :	56
III.2 Discussion	57
III.2.1 Le temps... un facteur silencieux mais déterminant :.....	57
III.2.2 Comment expliquer le retard d'obtention des résultats toxicologiques post-autopsie ?	57
III.2.3 Une nécessité qui s'impose : un service de toxicologie au Sud :	58
III.2.4 Comparaison des paramètres avec les données de la littérature :	59
PARTIE IV : PRESENTATION DU CAS ETUDIE.....	63
IV. INTRODUCTION.....	63
IV.1. La demande d'autopsie judiciaire :	63
IV.2 Le déroulement de l'autopsie médico-judiciaire :	63
IV.2.1 Interrogatoire :	63
IV.2.1.1 Antécédents de la de la défunte :.....	63
IV.2.1.2 Circonstances de décès :	64
IV.3 Examen externe du cadavre :	64
IV.3.1 Examen de vêtements :.....	64
IV.3.2 Examen du corps :.....	64
IV.4 Examen interne du cadavre (ouverture des cavités) :	64
IV.5 Examens complémentaire :	65



IV.6 Acheminement des prélèvements :	65
IV.7 Résultats toxicologiques :	65
IV.8 La paraphénylènediamine (PPD):	67
IV.9 Conclusion :	68
V. SYNTHÈSE DES POINTS FORTS ET DES LIMITES DU MÉMOIRE :	69
V.1 Points forts :	69
V.2 Limites :	69
VI. RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES :	70
VII. CONCLUSION GÉNÉRALE :	72
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :	74



Liste des tableaux

Tableau 01	Tableau récapitulatif : Substances fréquemment rencontrées en contexte médico-légal
Tableau 02	Formes médico-légales : empoisonnement criminel, intoxications accidentelles ou suicidaires
Tableau 03	Répartition des défunts selon l'âge
Tableau 04	Répartition des défunts selon le sexe
Tableau 05	Résultats de les antécédents médicaux
Tableau 06	Résultats de l'examen interne
Tableau 07	Substances détectées dans les cas positifs
Tableau 08	Comparaison entre les substances toxiques identifiées localement (Laghout) et celles retrouvées à l'échelle mondiale

Liste des figures

Figure N°	Titre de la Figure
Figure 01	Flacon de fentanyl injectable (Fresenius Kabi Canada, 2023)
Figure 02	Comprimés de paracétamol (acétaminophène) (U.S. National Library of Medicine, 2023)
Figure 03	Boîte de Xanax (Alprazolam) (U.S. National Library of Medicine, 2023)
Figure 04	Comprimés de Diazépam (Valium®) (U.S. National Library of Medicine, 2024)
Figure 05	Appareil de chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (GC-MS) (Photo prise le 21 mai 2024)
Figure 06	Appareil de chromatographie liquide haute performance couplée à la spectrométrie de masse en tandem (LC-MS/MS) (Seger et Wächter, 2020)
Figure 07	Spectromètre infrarouge à transformée de Fourier (FT-IR) de routine (Bruker France, 2023)
Figure 08	Appareil utilisé pour les techniques immunochimiques (ELISA) (BioTek (Agilent), 2020)
Figure 09	Appareil d'électrophorèse capillaire (CE) (Agilent Technologies, 2024)
Figure 10	Représentation graphique de la répartition des défunts selon l'âge (Réalisation personnelle)
Figure 11	Représentation graphique de la répartition des défunts selon le sexe (Réalisation personnelle)
Figure 12	Représentation graphique de la répartition des défunts selon les antécédents médicaux (Réalisation personnelle)
Figure 13	Substances détectées dans les cas positifs (Réalisation personnelle)
Figure 14	Aspect de l'estomac prélevé pendant l'autopsie (Photo prise le 13 mai 2020)
Figure 15	Aspect macroscopique du contenu gastrique riche en fragments de paraphénylène diamine (PPD) observé lors de l'autopsie (Photo prise le 13 mai 2020)



Liste des abréviations

Abréviation	Signification
PPD	Paraphénylènediamine
GC-MS	Chromatographie en Phase Gazeuse couplée à la Spectrométrie de Masse
LC-MS/MS	Chromatographie Liquide Haute Performance couplée à la Spectrométrie de Masse en Tandem
IR	Spectroscopie Infrarouge
ELISA	Enzyme-Linked Immunosorbent Assay
RIA	Radioimmunoassay
CE	Électrophorèse Capillaire
CPP	Code de Procédure Pénale
DGSN	Direction Générale de la Sûreté Nationale
LCPST	Laboratoire Central de la Police Scientifique et Technique
INCC	Institut National de Criminalistique et de Criminologie
EPH	Établissement Public Hospitalier
HPLC	Chromatographie Liquide Haute Performance (souvent équivalent à LC)
DL50	Dose Létale 50
THC	Tétrahydrocannabinol
GABA	Acide Gamma-Aminobutyrique
SNC	Système Nerveux Central
ECG	Électrocardiogramme
ALAT	Alanine Aminotransférase
ASAT	Aspartate Aminotransférase
PCO ₂	Pression Partielle de Dioxyde de Carbone



Introduction générale



Introduction générale

Dans l'univers complexe et rigoureux de la médecine légale, chaque observation, chaque indice peut être porteur de vérité. Toutefois, il est essentiel de reconnaître que **tous les éléments déterminants ne sont pas nécessairement visibles à l'œil nu**. Certaines causes de décès échappent à l'examen superficiel ou même au regard expérimenté du médecin légiste, surtout lorsqu'elles relèvent de mécanismes biochimiques internes. C'est précisément dans ces zones d'ombre que s'impose une discipline à la fois discrète, technique et redoutablement efficace : **la pharmacotoxicologie**.

À la croisée de trois domaines fondamentaux – la pharmacologie, la toxicologie et la médecine légale – la pharmacotoxicologie s'intéresse à l'étude des substances chimiques (médicaments, drogues, poisons) et à leurs effets toxiques sur l'organisme. Elle constitue **un levier scientifique essentiel pour l'élucidation des morts suspectes, inexplicables ou litigieuses**. Grâce à ses outils analytiques et ses méthodes de détection toujours plus performantes, elle permet non seulement de **révéler la présence de substances toxiques**, mais également d'évaluer leur concentration, leur effet biologique et leur rôle possible dans le décès.

Il faut souligner que **les éléments macroscopiques** généralement examinés dans les autopsies traditionnelles – tels que les lésions apparentes, l'état des organes ou les signes extérieurs – **ne permettent pas toujours d'identifier avec certitude la cause exacte de la mort**. Dans de nombreux cas, l'absence d'analyses toxicologiques peut orienter les enquêteurs vers des interprétations erronées, comme attribuer un décès à une pathologie préexistante ou à un choc émotionnel, alors qu'il s'agissait en réalité d'une intoxication volontaire ou criminelle. Une telle confusion peut avoir des **implications judiciaires graves**.

C'est donc **dans cette capacité à décoder l'invisible** que réside toute la puissance de la pharmacotoxicologie. En retraçant le parcours d'une substance dans l'organisme – depuis son absorption jusqu'à son élimination – cette science offre une relecture précise et rigoureuse des événements ayant précédé le décès. Elle permet ainsi de distinguer un empoisonnement d'un accident thérapeutique, un suicide d'une erreur médicale, ou encore d'identifier des expositions toxiques passées.



Etude bibliographique



Partie I : Étude Bibliographique

I.1. Définitions et cadre théorique

I.1.1. Définition de la pharmacotoxicologie.

La **pharmacotoxicologie** est une branche de la science qui étudie les effets toxiques des substances chimiques, en particulier des médicaments et des produits pharmaceutiques, sur l'organisme, en s'assurant que ces derniers sont non seulement efficaces mais également sûrs pour les patients. Elle combine les connaissances issues de la pharmacologie, qui analyse les mécanismes d'action des médicaments dans l'organisme, et de la toxicologie, qui s'intéresse aux effets délétères de diverses substances chimiques. Cette discipline permet d'identifier les doses thérapeutiques maximales, de comprendre les effets indésirables, et d'évaluer le potentiel de toxicité aiguë ou chronique des médicaments. Les études de pharmacotoxicologie portent sur différents niveaux d'analyse, allant de l'observation des effets moléculaires, cellulaires et organiques, jusqu'à l'étude des conséquences systémiques sur l'organisme. En outre, la pharmacotoxicologie prend en compte des facteurs individuels tels que l'âge, le sexe, la génétique et les pathologies sous-jacentes, car ces éléments peuvent influencer la réponse de l'organisme à une substance médicamenteuse. Ce champ d'étude est primordial pour minimiser les risques lors des phases de développement clinique des médicaments, en garantissant que seuls les traitements avec un rapport bénéfice/risque favorable sont autorisés sur le marché. Elle s'appuie sur des techniques modernes d'expérimentation, notamment les tests in vitro, in vivo et les modèles animaux, pour simuler et prévoir les réactions humaines face aux médicaments [1].

I.1.2. Notions de base en toxicologie : Toxicité. Dose létale :

La toxicité désigne la capacité d'une substance à provoquer des effets nuisibles sur un organisme vivant. Elle dépend de plusieurs facteurs comme la dose, la durée d'exposition et la voie d'administration. Selon le principe de Paracelse : « Tout est poison, c'est la dose qui fait le poison. » Une substance peut être inoffensive à faible dose mais toxique à concentration élevée. L'évaluation toxicologique repose sur des études expérimentales et épidémiologiques pour déterminer les seuils critiques et prévenir les risques sanitaires [2].



La dose létale est un paramètre clé en toxicologie qui désigne la quantité d'une substance provoquant la mort d'un organisme. La DL50 (Dose Létale 50) correspond à la dose entraînant la mortalité de 50 % d'une population testée et varie selon l'espèce, la voie d'administration et la durée d'exposition.

L'évaluation de la dose létale repose sur des études expérimentales essentielles pour l'analyse des risques toxicologiques et l'établissement de seuils de sécurité visant à protéger la santé publique et l'environnement [3].

I.1.3. Substances les plus impliquées dans les cas médico-légaux :

Les substances toxiques impliquées dans les cas médico-légaux peuvent être classées en trois catégories principales : les médicaments, les drogues illicites et les poisons chimiques et industriels.

I.1.3.1. Médicaments

A) Fentanyl

Le fentanyl est un analgésique opioïde synthétique 50 à 100 fois plus puissant que la morphine. Il est utilisé principalement pour traiter la douleur intense, par exemple chez les patients cancéreux. Toutefois, son potentiel élevé pour la dépression respiratoire et la toxicité fait de lui une substance fréquemment impliquée dans des décès par overdose.

Le fentanyl agit sur les récepteurs opioïdes dans le cerveau pour réduire la douleur, mais il ralentit également la respiration, ce qui peut être fatal en cas de surdosage.

L'abus de fentanyl est responsable d'une proportion élevée de décès par overdose dans le cadre de la crise des opioïdes. Il est souvent mélangé avec d'autres drogues illicites (comme l'héroïne) sans que l'utilisateur en soit informé, ce qui augmente considérablement les risques d'intoxication [4].



Figure 01 : Flacon de fentanyl injectable (Fresenius Kabi Canada, 2023)

B) Paracétamol (Acétaminophène)

Le paracétamol est l'un des médicaments les plus couramment utilisés pour traiter la douleur légère et la fièvre. Cependant, lorsqu'il est pris à des doses supérieures à celles recommandées, il peut causer des dommages graves au foie, souvent de manière silencieuse.

Le paracétamol agit principalement sur le système nerveux central pour réduire la douleur et la température corporelle. Une surdose peut saturer les voies métaboliques du foie, entraînant une hépatotoxicité sévère.

L'empoisonnement au paracétamol est souvent lié à des tentatives de suicide ou des erreurs médicales. Une intoxication aiguë peut provoquer une insuffisance hépatique aiguë, nécessitant une greffe du foie, et est parfois fatale si elle n'est pas traitée immédiatement [5].



Figure 02 : Comprimés de paracétamol (acétaminophène) (U.S. National Library of Medicine, 2023)

C) Benzodiazépines

Les benzodiazépines, comme le diazépam (Valium), le lorazépam (Ativan) et l'alprazolam (Xanax), sont des médicaments anxiolytiques et sédatifs. Bien qu'ils soient efficaces pour traiter l'anxiété et les troubles du sommeil, ils présentent un potentiel élevé de dépendance et d'abus.

Ces médicaments agissent en se liant aux récepteurs GABA dans le cerveau, augmentant ainsi les effets inhibiteurs du GABA, ce qui induit un effet calmant.

Lorsqu'ils sont mélangés avec d'autres substances comme l'alcool ou les opioïdes, les benzodiazépines peuvent provoquer une dépression respiratoire, souvent fatale. L'overdose de benzodiazépines est fréquente dans les cas de suicides ou d'abus de drogues [6].



Figure 03 : Xanax (Alprazolam) (U.S. National Library of Medicine, 2023)



Figure 04 : Comprimés de Diazépam (Valium®) (U.S. National Library of Medicine, 2024)



I.1.3.2. Drogues

A) Cocaïne

La cocaïne est un stimulant du système nerveux central extrait de la feuille de coca. Elle est utilisée à des fins récréatives, mais son abus peut entraîner des effets graves, allant de troubles cardiaques à des AVC.

La cocaïne inhibe la recapture de la dopamine, de la noradrénaline et de la sérotonine dans le cerveau, provoquant une intense euphorie et une stimulation du système nerveux.

L'intoxication à la cocaïne peut entraîner des arrêts cardiaques, des crises convulsives ou des AVC, ce qui explique sa forte association avec les décès subits. Les risques sont amplifiés lorsqu'elle est consommée avec de l'alcool ou d'autres drogues [7].

B) Héroïne

L'héroïne est un opioïde dérivé de la morphine, souvent utilisée de manière illicite pour ses effets euphorisants. C'est une drogue extrêmement addictive, et son usage prolongé entraîne une tolérance accrue et des risques de surdose fatale.

L'héroïne se transforme en morphine dans le cerveau, se liant aux récepteurs opioïdes pour soulager la douleur et induire un sentiment d'euphorie, tout en supprimant la respiration.

L'overdose d'héroïne est une cause majeure de décès par toxicité aiguë, principalement à cause de la dépression respiratoire sévère qu'elle provoque [8].

I.1.3.3 Poisons

A) Monoxyde de carbone (CO)

Le monoxyde de carbone est un gaz incolore et inodore produit lors de la combustion incomplète de matières organiques. Il se lie à l'hémoglobine dans le sang, empêchant l'oxygène d'être transporté aux tissus corporels.

En se liant à l'hémoglobine, le CO forme la carboxyhémoglobine, réduisant ainsi la capacité du sang à transporter l'oxygène, ce qui entraîne une suffocation.

L'intoxication au monoxyde de carbone survient principalement lors de fuites de gaz dans des espaces fermés ou d'incendies, et elle est souvent mortelle si elle n'est pas détectée rapidement [9].

B) Cyanure

Le cyanure est un poison extrêmement toxique qui interfère avec l'utilisation de l'oxygène par les cellules. Il peut être trouvé sous diverses formes, notamment le cyanure d'hydrogène et les sels de cyanure.

Le cyanure bloque les enzymes essentielles pour la respiration cellulaire, entraînant une hypoxie cellulaire généralisée.

Le cyanure est utilisé dans des empoisonnements meurtriers en raison de sa rapidité d'action. Les décès par cyanure sont souvent liés à des suicides ou des homicides [10].

Tableau 01 : Tableau récapitulatif : Substances fréquemment rencontrées en contexte médico-légal

Catégorie	Substance	Effets toxiques majeurs	Circonstance fréquente
Médicaments	Fentanyl	Dépression respiratoire, coma, décès par overdose	Overdose, usage détourné
	Paracétamol	Hépatotoxicité, insuffisance hépatique aiguë	Tentative de suicide, erreur
	Benzodiazépines	Sédation, détresse respiratoire	Surdose, interaction médicamenteuse
Drogues	Cocaïne	Troubles cardiaques, AVC, arrêt cardiaque	Usage récréatif, overdose
	Héroïne	Dépression respiratoire, coma profond	Toxicomanie, surdose
Poisons	Monoxyde de carbone	Anoxie cellulaire, coma, décès silencieux	Accident domestique, suicide
	Cyanure	Blocage de la respiration cellulaire, mort rapide	Empoisonnement criminel/suicide



I.2. La médecine légale et son lien avec la pharmacotoxicologie

I.2.1. Rôle de la médecine légale dans la recherche de causes de décès :

La médecine légale joue un rôle essentiel dans la détermination des causes de décès, en combinant des analyses médico-scientifiques et judiciaires pour identifier les circonstances et raisons du décès. Ce rôle est divisé en plusieurs étapes principales :

a) Enquête Criminelle et Judiciaire

La médecine légale collabore étroitement avec les autorités judiciaires pour déterminer la nature du décès : naturel, accidentel, criminel ou suicidaire. Cela implique de revoir les circonstances du décès, d'examiner les lieux de l'incident, et d'étudier tous les éléments de preuve à disposition. Les médecins légistes aident également à interpréter les preuves physiques et à fournir des témoignages dans les tribunaux [15].

Leur travail est essentiel pour orienter les enquêtes vers des pistes précises et garantir que les résultats sont fiables d'un point de vue juridique.


b) Autopsie Médico-légale

Cela comprend un examen externe du corps pour rechercher des traumatismes visibles, des ecchymoses, ou d'autres blessures qui pourraient indiquer un décès violent. L'examen interne du corps permet d'évaluer les organes et de détecter des maladies préexistantes telles que des infections graves, des cancers, ou des pathologies cardiaques qui pourraient avoir conduit au décès.

Cette étape permet de recueillir des informations sur l'état général du corps et d'identifier des signes de violence ou d'une maladie sous-jacente non diagnostiquée [11].

c) Analyses Toxicologiques

L'analyse des substances toxiques présentes dans le corps est cruciale dans les cas où un décès est suspecté d'être causé par un empoisonnement ou une surdose. Les drogues, les poisons, et les médicaments peuvent être détectés et leurs concentrations mesurées dans le



sang, l'urine ou d'autres échantillons biologiques. Cela permet de déterminer le rôle de ces substances dans la cause du décès, qu'il s'agisse d'un suicide, d'un homicide ou d'une overdose accidentelle.

Les tests permettent également d'examiner les interactions possibles entre différentes substances qui peuvent avoir contribué à la mort [12].

d) Histopathologie et Biologie

L'examen histopathologique des tissus permet de détecter des infections, des cancers, ou des pathologies cardiaques qui auraient pu jouer un rôle dans le décès. Par ailleurs, des études génétiques peuvent être menées pour identifier d'éventuelles anomalies héréditaires ou des prédispositions à certaines maladies.

Cette étape est cruciale dans les cas de décès naturels où la cause du décès n'est pas immédiatement évidente [13].


e) Datation de la Mort

La détermination du moment du décès repose sur l'étude de la température corporelle, de la rigidité cadavérique et des lividités cadavériques (lorsque le sang se dépose dans les parties du corps en fonction de la gravité après la mort). Des études entomologiques peuvent également être réalisées, en analysant la faune présente sur le cadavre pour estimer le délai écoulé depuis la mort [14].

Ces méthodes sont particulièrement utiles dans les cas où la date exacte du décès est inconnue.

I.2.2. Contributions de la Pharmaco-toxicologie aux Investigations Médico-légales

La pharmaco-toxicologie médico-légale joue un rôle essentiel dans les enquêtes judiciaires en identifiant et en quantifiant les substances toxiques impliquées dans des affaires criminelles, accidentelles ou médicales. Grâce aux avancées technologiques, cette discipline



permet d'évaluer l'impact des toxiques sur l'organisme et d'aider à établir la cause d'un décès ou d'une intoxication.

I.1.3.1. Identification et Quantification des Substances Toxiques

L'une des premières étapes des investigations médico-légales est la détection des substances toxiques dans les fluides biologiques (sang, urine, liquide gastrique) et les tissus (foie, cheveux). Les techniques comme la chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (GC-MS) et la chromatographie liquide haute performance (HPLC) permettent une identification précise des substances impliquées dans un cas d'empoisonnement ou de surdose [16].

Par exemple, dans les cas d'intoxications médicamenteuses ou de consommation de drogues, l'analyse des cheveux permet de retracer une exposition prolongée aux substances psychoactives. Cette technique est particulièrement utile dans les cas de soumission chimique, où une victime peut avoir été exposée à des drogues comme le GHB ou les benzodiazépines sans s'en rendre compte [17].

I.1.3.2. Évaluation des Effets Toxiques et Interprétation des Résultats

Une fois la substance identifiée, son effet sur l'organisme doit être évalué en fonction de sa concentration et de son métabolisme.

La pharmacocinétique aide à comprendre comment une substance a été absorbée, distribuée, métabolisée et éliminée. Par exemple, l'alcool est éliminé à un rythme moyen de 0,15 g/L/h, ce qui permet de reconstituer le moment de consommation en cas d'accident de la route [18].

La redistribution post-mortem peut fausser les résultats toxicologiques. Certaines substances, comme la morphine, peuvent migrer des organes vers le sang après la mort, nécessitant une analyse rigoureuse pour éviter des erreurs d'interprétation [19].

I.1.3.3. Contribution aux Enquêtes Judiciaires

La toxicologie médico-légale est souvent utilisée pour apporter des preuves scientifiques dans des affaires criminelles ou civiles.



Homicides et empoisonnements : Des toxiques comme le cyanure ou l'arsenic peuvent être détectés même plusieurs semaines après l'exposition, notamment via l'analyse des cheveux.

Accidents de la route : L'identification de stupéfiants (THC, cocaïne, opiacés) dans le sang d'un conducteur peut être une preuve de conduite sous influence.

Erreurs médicales et surdosages : La toxicologie permet de détecter des erreurs de prescription ou d'administration de médicaments ayant entraîné une intoxication fatale [20].

I.1.3.4. Applications en Toxicologie Post-Mortem

L'analyse toxicologique post-mortem est essentielle pour établir si un décès est lié à une intoxication accidentelle, criminelle ou naturelle.


Overdoses médicamenteuses et drogues d'abus : L'analyse du sang et des organes permet d'identifier les concentrations létales de substances comme les opioïdes (fentanyl, héroïne) .

Intoxications environnementales : L'exposition à des gaz toxiques comme le monoxyde de carbone peut être confirmée en mesurant la carboxyhémoglobine dans le sang [21]

I.2.3. Cadre Législatif et Réglementaire : Normes et Procédures en Toxicologie Médico-légale

Dans le cadre des enquêtes médico-légales en Algérie, lorsque la cause d'un décès suscite des interrogations, notamment en cas d'empoisonnement, d'overdose médicamenteuse ou d'intoxication, le médecin légiste peut être amené à recourir à des analyses toxicologiques. Ces dernières permettent de détecter la présence de substances toxiques dans l'organisme de la victime et d'établir de manière précise la cause du décès. Ce processus est régulé par des dispositions légales strictes, notamment par le Code de Procédure Pénale (CPP) algérien, et plus spécifiquement par l'article 149, qui définit les conditions de recours à des experts spécialisés pour réaliser ces analyses.

L'article 149 du Code de procédure pénale stipule que :
« Si les experts demandent à être éclairés sur une question échappant à leur spécialité, le juge peut les autoriser à s'adjoindre des techniciens nommément désignés et spécialement qualifiés par leur compétence. Les techniciens ainsi désignés prêtent serment dans les conditions prévues à l'article 145. »




Cet article offre la possibilité au médecin légiste de solliciter l'assistance d'un toxicologue ou d'un autre spécialiste lorsque des analyses toxicologiques s'avèrent nécessaires mais que l'expert ne dispose pas des compétences techniques requises. La demande de recours à un technicien ou laboratoire spécialisé est adressée au juge d'instruction, qui évalue la demande et peut autoriser sa mise en œuvre. L'expert désigné doit prêter serment conformément à l'article 145 du CPP, s'engageant ainsi à accomplir sa mission avec rigueur et objectivité, en respectant les principes de transparence et d'intégrité scientifique.

Au moment de l'autopsie, le médecin légiste peut identifier la nécessité d'effectuer des analyses toxicologiques, notamment dans les cas où la cause de la mort demeure floue ou suspecte. Ce besoin peut survenir en présence de signes d'empoisonnement, d'abus de substances ou d'exposition à des produits chimiques dangereux. Une fois ce constat fait, le médecin légiste soumet une demande écrite au procureur de la république, en expliquant la pertinence de ces investigations complémentaires.

Si le juge valide la demande, il autorise l'intervention d'un toxicologue ou la consultation d'un laboratoire spécialisé en toxicologie. Le médecin légiste procède ensuite à la collecte des prélèvements biologiques nécessaires (sang, urine, tissus hépatiques, gastriques, etc.), en suivant des protocoles médico-légaux stricts et en respectant la chaîne de custode afin de préserver l'intégrité des échantillons. Une fois ces prélèvements effectués, ils sont envoyés à l'expert ou au laboratoire désigné pour les analyses toxicologiques. Les résultats, accompagnés des méthodes utilisées et des conclusions obtenues, sont ensuite transmis au médecin légiste, qui les intègre dans son propre rapport d'autopsie.

En conclusion, l'article 149 du Code de procédure pénale est un élément fondamental qui permet au médecin légiste d'obtenir l'expertise nécessaire en toxicologie, assurant ainsi la fiabilité et la précision des analyses dans le cadre des enquêtes sur des décès suspectés. Néanmoins, pour améliorer l'efficacité de ces procédures, il serait pertinent d'envisager des mesures telles que la formation continue des médecins légistes, l'accréditation des laboratoires d'analyses toxicologiques, la standardisation des protocoles de prélèvement et d'analyse, ainsi que le renforcement de la collaboration entre experts, magistrats et autres professionnels impliqués dans le processus[22].

La toxicologie médico-légale est encadrée par des réglementations strictes qui visent à garantir la fiabilité et l'objectivité des analyses. Les échantillons biologiques doivent être collectés, stockés et analysés en suivant des protocoles rigoureux afin d'assurer l'intégrité des preuves [23].



Les laboratoires appliquent des méthodes validées, telles que la chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (GC-MS) et la chromatographie liquide à haute performance (HPLC), pour détecter et quantifier les substances.

En outre, des normes internationales comme ISO/IEC 17025 garantissent la qualité et la reproductibilité des résultats.

L'interprétation des données toxicologiques doit prendre en compte divers facteurs, notamment les interactions médicamenteuses, la tolérance individuelle et les concentrations post-mortem, pour éviter toute erreur judiciaire [24].

I.2.4 Deux centres nationaux au service de la toxicologie médico-légale en Algérie :

En pratique, les médecins légistes algériens ne disposent pas de laboratoires toxicologiques dans leurs propres services hospitaliers. Lorsqu'une analyse est nécessaire, ils doivent faire appel à l'un des deux seuls établissements officiellement habilités :

I.2.4.1. Le Laboratoire Central de la Police Scientifique et Technique (LCPST) à Châteauneuf (Alger) :

- Placé sous la tutelle de la Direction Générale de la Sûreté Nationale (DGSN), ce laboratoire est un centre de référence national en matière de criminalistique.
- Il dispose d'équipements modernes permettant l'identification de drogues, de médicaments, de poisons, et de substances volatiles ou organiques dans divers échantillons biologiques (sang, urine, organes, etc.).
- Il centralise la majorité des demandes provenant des médecins légistes exerçant dans les zones urbaines.

I.2.4.2. L'Institut National de Criminalistique et de Criminologie (INCC) de la Gendarmerie Nationale à Bouchaoui (Alger) :

- Représente le pendant scientifique de la Gendarmerie Nationale, avec une expertise similaire au LCPST mais une compétence territoriale généralement étendue aux zones rurales.



- Il prend en charge les expertises toxicologiques relatives aux affaires traitées par les brigades de gendarmerie, mais aussi celles transmises par les services de médecine légale pour des cas à caractère médico-légal.

I.3. Méthodes d'investigation pharmacotoxicologique

I.3.1. Techniques analytiques :

L'analyse toxicologique est un domaine clé en médecine légale, en pharmacologie et en santé publique. Elle vise à identifier et quantifier les substances toxiques dans des échantillons biologiques (sang, urine, salive, cheveux, tissus). Différentes techniques analytiques sont utilisées en fonction de la nature chimique des toxiques recherchés, de leur concentration et de la matrice biologique étudiée.

a) Chromatographie en Phase Gazeuse couplée à la Spectrométrie de Masse (GC-MS)

La chromatographie en phase gazeuse (GC) est une technique de séparation utilisée pour analyser les composés volatils et semi-volatils. Couplée à la spectrométrie de masse (MS), elle permet une identification précise basée sur le rapport masse/charge des ions formés. La GC-MS est couramment employée pour détecter les drogues, les solvants, les pesticides et autres toxiques organiques. Son avantage principal est sa haute sensibilité et spécificité, mais elle nécessite une préparation préalable des échantillons et une dérivation chimique pour les composés non volatils [25].



Figure 05 : Chromatographie en Phase Gazeuse couplée à la Spectrométrie de Masse (GC-MS) (Photo prise le 21 mai 2024).

b) Chromatographie Liquide Haute Performance couplée à la Spectrométrie de Masse (LC-MS/MS)

La chromatographie liquide haute performance (HPLC ou LC) est adaptée à l'analyse des substances non volatiles et thermolabiles, comme certains médicaments, métabolites et toxines biologiques. Couplée à la spectrométrie de masse en tandem (MS/MS), elle permet une détection plus sensible et sélective des toxiques présents en faible concentration. Cette technique est largement utilisée en toxicologie clinique et en contrôle antidopage en raison de sa capacité à analyser plusieurs analytes simultanément avec une faible consommation d'échantillon [26].

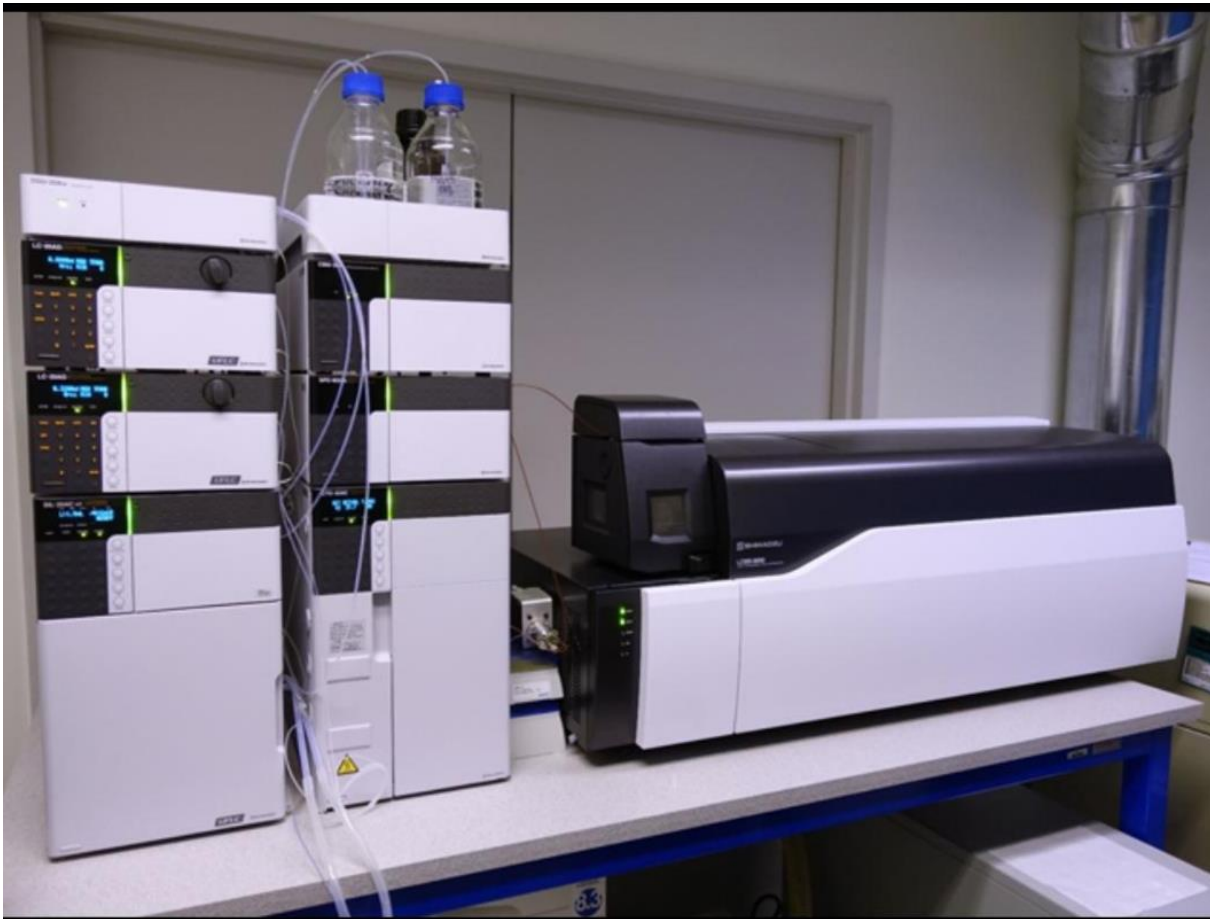


Figure 06 : Appareil de chromatographie liquide haute performance couplée à la spectrométrie de masse en tandem (LC-MS/MS) (Seger et Wächter, 2020).

c) Spectroscopie Infrarouge (IR) et Spectroscopie Raman

La spectroscopie infrarouge repose sur l'absorption du rayonnement IR par les molécules, générant un spectre caractéristique permettant l'identification des substances toxiques. Elle est utilisée pour l'analyse qualitative des échantillons solides, liquides et gazeux.

La spectroscopie Raman, quant à elle, exploite la diffusion inélastique de la lumière laser pour obtenir des informations structurales sur les molécules. Contrairement à l'IR, elle est plus efficace pour l'analyse d'échantillons aqueux et biologiques. Ces techniques sont avantageuses pour leur rapidité et leur capacité d'analyse non destructive, bien qu'elles puissent manquer de sensibilité pour certaines matrices complexes [27]

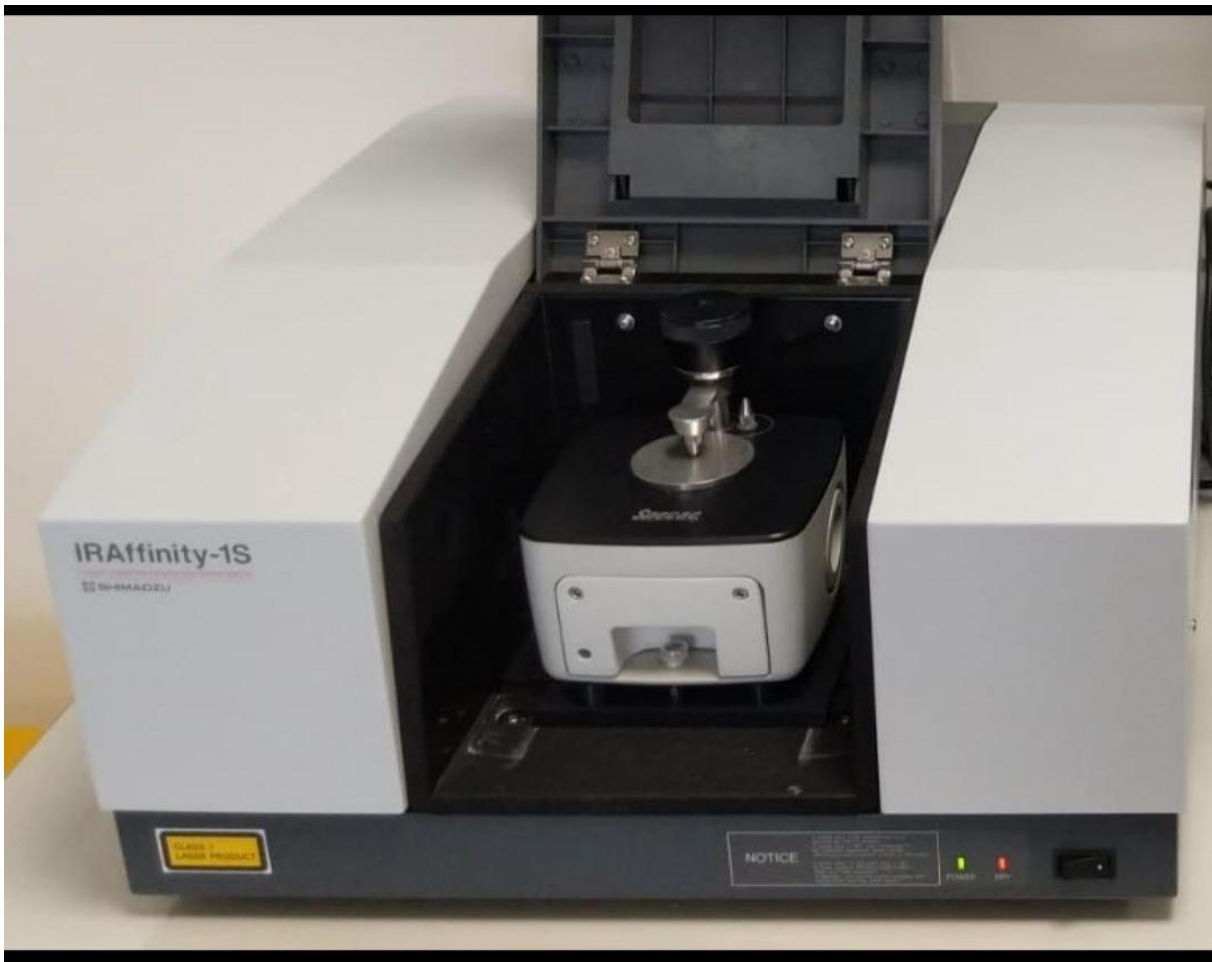


Figure 07 : Spectromètre infrarouge à transformée de Fourier (FT-IR) de routine (Bruker France, 2023).

d) Techniques Immunochimiques (ELISA, RIA)

Les méthodes immunochimiques, telles que l'ELISA (Enzyme-Linked Immunosorbent Assay) et le RIA (Radioimmunoassay), sont utilisées pour détecter des toxiques à l'aide d'anticorps spécifiques. L'ELISA repose sur une réaction enzymatique produisant un signal colorimétrique proportionnel à la concentration de l'analyte, tandis que le RIA utilise des isotopes radioactifs pour une détection plus sensible. Ces techniques sont couramment employées pour le dépistage des drogues et des toxines biologiques en raison de leur rapidité et de leur coût réduit, bien qu'elles puissent souffrir de réactions croisées réduisant leur spécificité [28].



Figure 08 : Appareil utilisé pour les techniques immunochimiques (ELISA) (BioTek (Agilent), 2020).

e) Électrophorèse Capillaire (CE)

L'électrophorèse capillaire (CE) est une technique de séparation basée sur la migration différentielle des molécules sous l'effet d'un champ électrique dans un capillaire rempli d'un tampon électrolytique. Elle est particulièrement utile pour analyser les toxines peptidiques, les protéines et les métabolites de médicaments. La CE se distingue par sa haute résolution et sa

rapidité d'analyse, mais elle nécessite une instrumentation spécialisée et un ajustement précis des conditions expérimentales pour optimiser la séparation des analytes [29].



Figure 09 : Appareil d'électrophorèse capillaire (CE) (Agilent Technologies, 2024)

I.3.2. Analyse des Matrices Biologiques :

L'analyse des matrices biologiques est essentielle en pharmacotoxicologie pour détecter, identifier et quantifier des substances toxiques ou médicamenteuses. Chaque matrice offre des informations spécifiques sur l'exposition d'un individu à une substance. Les principales matrices étudiées incluent le sang, l'urine, les cheveux et les tissus biologiques [30].

a) Sang

Le sang est l'une des matrices biologiques les plus utilisées en pharmacotoxicologie, car il permet une évaluation précise de la concentration d'une substance active au moment du prélèvement. Il est principalement analysé sous forme de plasma ou de sérum, ce qui permet d'évaluer la biodisponibilité d'un médicament ou la présence d'une substance toxique. Les méthodes analytiques employées comprennent la chromatographie en phase liquide couplée à la spectrométrie de masse (LC-MS/MS) et la chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (GC-MS), qui offrent une haute sensibilité et spécificité. L'analyse du sang est particulièrement utile en toxicologie clinique et dans le suivi thérapeutique des médicaments. Toutefois, le prélèvement sanguin est invasif et certaines substances sont rapidement métabolisées, ce qui peut limiter la fenêtre de détection [30].

b) Urine

L'urine est une matrice non invasive et fréquemment utilisée pour le dépistage des substances médicamenteuses et des drogues. Contrairement au sang, elle permet de détecter non seulement la molécule mère, mais aussi ses métabolites, prolongeant ainsi la fenêtre de détection. Les techniques analytiques incluent les immunoessais (ELISA, EMIT, CEDIA) pour un dépistage rapide, et les méthodes confirmatoires comme le GC-MS et LC-MS/MS, qui garantissent une identification plus spécifique. Cette matrice est particulièrement utile dans le dépistage de l'abus de substances en milieu professionnel ou sportif. Cependant, la concentration urinaire des substances varie en fonction de l'état d'hydratation du sujet, et certaines molécules peuvent être éliminées rapidement, ce qui nécessite une interprétation prudente des résultats [30].



c) Cheveux


L'analyse capillaire permet une détection rétrospective des substances sur une longue période, allant de plusieurs semaines à plusieurs mois, voire années. Cette approche est utilisée en toxicologie médico-légale, notamment pour établir un historique de consommation de drogues ou de médicaments. Les segments de cheveux permettent une reconstitution chronologique de l'exposition aux substances, ce qui est un atout majeur dans les enquêtes judiciaires. Les méthodes d'analyse incluent la chromatographie en phase liquide ou gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (LC-MS/MS, GC-MS) ainsi que la spectroscopie infrarouge (IR). Toutefois, l'analyse capillaire est sujette à des contaminations externes (fumée, contact cutané), ce qui nécessite des étapes rigoureuses de lavage et d'extraction des échantillons [30].

d) Tissus biologiques

L'analyse des tissus biologiques est essentielle en toxicologie post-mortem et pour les études sur l'accumulation chronique des substances dans l'organisme. Les tissus les plus étudiés incluent le foie, les reins, les poumons et le cerveau, car ces organes sont impliqués dans la métabolisation et le stockage des substances toxiques. L'examen des tissus permet d'évaluer la distribution d'une substance après absorption et son éventuelle toxicité sur le long terme. Les techniques utilisées incluent la chromatographie (HPLC-MS/MS, GC-MS) pour quantifier les substances, et les techniques histologiques et immunohistochimiques, qui permettent d'identifier des dommages cellulaires spécifiques liés à l'exposition aux toxiques. Néanmoins, cette approche est limitée par le processus de dégradation post-mortem, qui peut altérer les résultats analytiques et nécessite des conditions de conservation optimales [30].

e) Le contenu gastrique

L'analyse des contenus gastriques est essentielle pour comprendre l'absorption des substances chimiques, notamment les médicaments et les toxines, après ingestion. Les contenus gastriques, qui comprennent des acides, des enzymes digestives et des résidus alimentaires, jouent un rôle clé dans la dégradation des substances ingérées. En cas d'intoxication, cette analyse permet de déterminer la quantité de toxines présentes dans



l'estomac, d'évaluer leur solubilité dans le milieu acide et d'orienter le traitement, comme dans le cas des lavages gastriques ou de l'administration de charbon actif pour limiter l'absorption. Les substances chimiques peuvent interagir différemment selon leur solubilité dans un environnement acide, ce qui affecte leur capacité à être absorbées dans l'intestin grêle. Par exemple, certains médicaments à libération prolongée peuvent se dissoudre uniquement dans un milieu moins acide, comme dans l'intestin, ce qui peut limiter leur absorption au niveau de l'estomac. Les techniques analytiques telles que la chromatographie liquide haute performance (HPLC) et la spectrométrie de masse (MS) sont utilisées pour détecter et quantifier les substances présentes dans les contenus gastriques, permettant d'évaluer leur impact potentiel et de prendre des décisions thérapeutiques appropriées [30].

f) La bile

L'analyse de la bile est également cruciale dans l'étude des produits chimiques, en particulier ceux qui sont métabolisés par le foie. La bile, un fluide produit par le foie, joue un rôle fondamental dans l'émulsification des graisses et l'absorption des nutriments liposolubles. Elle contient des sels biliaires, du cholestérol, des bilirubines, et des métabolites de divers médicaments et produits chimiques. Lorsqu'un médicament ou une toxine est métabolisé par le foie, il peut être excrété dans la bile et, par la suite, être éliminé par les selles. L'analyse de la bile permet de comprendre le métabolisme des substances chimiques, en particulier celles qui subissent un cycle entéro-hépatique, où elles peuvent être réabsorbées par l'intestin et retourner au foie. Cela peut prolonger la durée d'exposition à ces substances, affectant ainsi leur toxicité. L'étude de la bile est réalisée à l'aide de méthodes comme la chromatographie en phase gazeuse (GC) et la chromatographie liquide, permettant de quantifier les médicaments et leurs métabolites, offrant ainsi des informations sur leur disposition et leur excrétion [30].

13.4. Applications en médecine légale

13.4.1. Détection des surdoses et des intoxications : Méthodes et Approches

La détection des surdoses et des intoxications repose sur l'analyse des signes cliniques, des analyses biologiques et des techniques avancées de diagnostic. Ces méthodes permettent d'identifier rapidement l'agent toxique, d'évaluer sa gravité et d'orienter la prise en charge médicale.

13.4.1.1. Signes cliniques et symptômes

Les manifestations d'une intoxication varient en fonction de la substance impliquée, de la dose absorbée, du délai post-exposition et de la sensibilité individuelle. Les syndromes toxidromiques permettent d'orienter le diagnostic en fonction des effets physiopathologiques observés [31].

13.4.1.1.1. Syndromes toxidromiques courants

a) Syndrome cholinergique (inhibiteurs de l'acétylcholinestérase : organophosphorés, carbamates) :

Signes : myosis (pupilles très serrées), hypersalivation, sueurs, bradycardie, vomissements, diarrhée, troubles respiratoires, convulsions.

Exemple : intoxication aux pesticides organophosphorés.


b) Syndrome anticholinergique (antihistaminiques, atropine, antidépresseurs tricycliques) :

Signes : mydriase (pupilles dilatées), tachycardie, confusion, hallucinations, rétention urinaire, hyperthermie, peau sèche.

Exemple : surdose d'atropine ou de diphénhydramine.

c) Syndrome opioïde (morphine, héroïne, fentanyl) :

Signes : myosis serré, bradypnée, hypoventilation, somnolence, coma, cyanose.



Exemple : overdose d'héroïne ou de fentanyl.

d) Syndrome sympathomimétique (cocaïne, amphétamines, caféine)

Signes : mydriase, tachycardie, hypertension, agitation, hyperthermie, convulsions.

Exemple : intoxication à la cocaïne.

e) Syndrome sédatif-hypnotique (benzodiazépines, barbituriques, alcool)

Signes : dépression du SNC, hypotonie, bradypnée, hypothermie, coma.

Exemple : surdose de benzodiazépines.

13.4.1.2. Analyses biologiques et examens complémentaires

a) Dosage des toxiques

Analyse sanguine et urinaire : permet de détecter la présence et la concentration des toxiques. Des techniques comme la chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (GC-MS) et la chromatographie liquide à haute performance (HPLC) sont couramment utilisées [32].

Tests immunologiques rapides : permettent d'identifier certaines substances (ex. : opioïdes, benzodiazépines, cannabis) en quelques minutes, bien qu'ils puissent présenter des faux positifs et faux négatifs [33].

b) Marqueurs biologiques

Tests hépatiques (ALAT, ASAT) : permettent d'évaluer la toxicité hépatique, comme dans l'intoxication au paracétamol [34].

Gaz du sang (pH, PCO₂, lactates) : aide à détecter les troubles métaboliques et respiratoires liés à l'intoxication [35].

c) Imagerie médicale

Radiographie ou scanner : utiles pour identifier l'ingestion de substances radio-opaques (ex. : métaux lourds, sachets de drogue ingérés) [36].

Électrocardiogramme (ECG) : permet d'évaluer les effets cardiotoxiques, comme ceux des antidépresseurs tricycliques qui provoquent un élargissement du QRS [37].



13.4.1.3. Approches technologiques avancées

a) Intelligence artificielle et big data

L'utilisation d'algorithmes de machine learning permet d'analyser les données cliniques et biologiques pour prédire les intoxications et optimiser les traitements [38].

b) Capteurs et dispositifs connectés

Capteurs biochimiques : dispositifs portables capables de détecter certains toxiques dans la sueur ou le sang [39].

Tests électrochimiques : utilisés pour détecter rapidement des toxines dans les liquides biologiques [40].

13.4.2. Formes médico-légales : empoisonnement criminel, intoxications accidentelles ou suicidaires :

Les intoxications peuvent être classées en trois catégories principales : empoisonnement criminel, intoxication accidentelle et intoxication suicidaire. Chaque type présente des particularités cliniques et des méthodes d'investigation spécifiques.

13.4.2.1. Empoisonnement criminel

L'empoisonnement criminel implique l'administration délibérée d'une substance toxique dans le but de causer des lésions ou de tuer. Les substances les plus courantes dans ces cas sont des poisons comme le cyanure, l'arsenic, et certains médicaments.

Signes cliniques :

Cyanure : Difficulté respiratoire, convulsions, cyanose, coma.

Arsenic : Douleurs abdominales, vomissements, défaillance multiviscérale.

Alcaloïdes (ex. strychnine) : Crises convulsives, rigidité musculaire.

Méthodes d'investigation :

Autopsie médico-légale : Recherche des substances dans les fluides corporels.

Analyses toxicologiques : GC-MS, HPLC-MS/MS pour identifier les toxines.

Examen des circonstances du décès : Témoignages, historique médical [41].

13.4.2.2. Intoxication accidentelle

Les intoxications accidentelles sont dues à une ingestion involontaire de substances toxiques telles que des médicaments, des produits chimiques domestiques ou des aliments contaminés.

Signes cliniques :

Alcool ou médicaments en surdose : Somnolence, confusion, dépression respiratoire.

Exposition chimique : Irritations des voies respiratoires, douleurs thoraciques.

Ingestion de toxines alimentaires : Vomissements, diarrhée, défaillance organique.

Méthodes d'investigation :

Dépistage initial : Tests immunoenzymatiques (ELISA) pour drogues et médicaments.

Autopsie : Recherche de traces dans les organes et analyse du contenu gastrique.

Analyses biochimiques : Identification des métaux lourds ou des pesticides [42].

13.4.2.3. Intoxication suicidaire

Les intoxications suicidaires surviennent lorsqu'une personne cherche délibérément à se suicider par ingestion de toxines, de médicaments ou par inhalation de gaz comme le monoxyde de carbone.

Signes cliniques :

Surdose médicamenteuse : Somnolence extrême, dépression respiratoire, coma.

Monoxyde de carbone : Maux de tête, nausées, confusion, cyanose.

Poison chimique (cyanure, pesticide) : Difficultés respiratoires, convulsions.

Méthodes d'investigation :

Tests toxicologiques : Recherche de la substance dans le sang, l'urine et le contenu gastrique.

Autopsie : Recherche de toxines dans les organes, vérification des conditions de décès.

Historique médical : Recherche de troubles psychiatriques, tentatives de suicide précédentes [43].

Ces cas nécessitent des analyses toxicologiques approfondies pour une identification précise de la cause de l'intoxication. L'autopsie médico-légale et les tests de laboratoire jouent un rôle clé dans l'évaluation de la nature de l'intoxication et de ses circonstances.

Tableau 02 : Principales formes médico-légales des intoxications

Forme médico-légale	Définition	Substances fréquentes	Exemples de signes cliniques	Particularités médico-légales
Empoisonnement criminel	Introduction volontaire de toxique pour nuire ou tuer	Cyanure, arsenic, strychnine	Convulsions, coma rapide, cyanose, douleurs abdominales	Discrétion de l'acte, nécessite preuve judiciaire
Intoxication accidentelle	Ingestion non intentionnelle d'un produit toxique	Médicaments, produits ménagers, alcool	Confusion, vomissements, brûlures, troubles respiratoires	Souvent chez enfants ou personnes âgées
Intoxication suicidaire	Acte volontaire visant à mettre fin à sa vie par ingestion ou inhalation	Paracétamol, PPD, benzodiazépines, CO	Somnolence, coma, cyanose, détresse respiratoire	Contexte psychiatrique, lettres ou tentatives connues



Matériels et Méthodes



Partie II : Matériels et Méthodes

Le travail expérimental a été réalisé au niveau du service de médecine légale de l'EPH de Laghouat, où nous avons évalué l'activité toxicologique et l'implication des substances médicamenteuses ou toxiques identifiées dans différents cas médico-légaux.

II.1 Type d'étude :

Il s'agit d'une étude rétrospective, descriptive, réalisée sur étude de registre et du rapport d'autopsie, menée au service de médecine légale de l'Établissement Public Hospitalier (EPH) de la wilaya de Laghouat, sur une période allant du 1er janvier 2020 au 1er janvier 2025.

II.2 Méthode

II.2.1 Recrutement des cas :

Seuls les cas d'autopsie ayant fait l'objet d'une demande d'analyse toxicologique et pour lesquels les résultats ont été dûment obtenus ont été retenus pour cette étude.

II.2.2 Recueil des données :

- Les registres des autopsies.
- Les rapports d'autopsie et d'expertises médico-légales.

II.2.3 les paramètres étudiés :

FICHE TECHNIQUE :

Initiale de la victime :

Age :

Sexe :

Date d'autopsie :

Antécédents médicaux :

Examen externe :

Examen interne :

Analyse toxicologie :

- **Résultats :**
- **Substance :**

II .2.4. Critères d'inclusion

- Les cas d'autopsie pour lesquels une analyse toxicologique a été demandée et dont les résultats ont été effectivement obtenus.
- Les rapports d'autopsie complets et finalisés.

II .2.5 Critères d'exclusion

- Les cas d'autopsie pour lesquels aucune analyse toxicologique n'a été sollicitée.
- Les cas pour lesquels une analyse toxicologique a été demandée, mais dont les résultats étaient encore en attente au moment de l'étude.



II .2.6. Contexte du stage en médecine légale

Le stage principal a été effectué au sein du service de médecine légale de l'EPH «HMIDA BENADJILA » de Laghouat ainsi qu'au niveau de l'EPH mixte de la même wilaya. Cette immersion en milieu professionnel a permis un accès direct aux dossiers médico-légaux des personnes autopsiées. Elle a également offert un cadre propice à la collecte des données, en fournissant à la fois les ressources documentaires nécessaires et un contexte clinique riche et pertinent.

II .2.7. Collecte et analyse des données

Les données ont été extraites des dossiers médico-légaux et des rapports toxicologiques correspondants. Pour chaque cas, les substances identifiées (médicaments, drogues, toxiques divers) ont été relevées ainsi que leurs concentrations sanguines ou biologiques lorsque disponibles. Une analyse descriptive a ensuite été réalisée : la fréquence d'apparition de chaque substance dans les 12 cas a été calculée pour établir un profil toxique de l'échantillon étudié. Par ailleurs, chaque dossier a été caractérisé selon sa circonstance médico-légale prédominante (intoxication accidentelle, intoxication volontaire, décès suspect, suicide, etc.). Cette approche a permis de dégager les tendances observées en termes de substances incriminées et de contextes cliniques ou judiciaires associés.


II .3. Matériels

II .3.1. Prélèvements effectué lors de l'autopsie :

Au cours de l'autopsie médico-légale, différents échantillons biologiques sont systématiquement prélevés afin de permettre des analyses toxicologiques fiables et complètes. Ces prélèvements sont essentiels pour détecter la présence éventuelle de substances toxiques, médicamenteuses ou stupéfiantes susceptibles d'avoir contribué au décès.

Les prélèvements réalisés incluent généralement :

- **Le sang central**
- **Le sang périphérique** (prélevé au niveau de la veine fémorale),
- **L'urine**

- 
- **Le contenu gastrique**
 - **Le foie**
 - **Les reins**
 - **Le cerveau**, en cas de suspicion d'action neurotoxique,
 - **Les cheveux** (si disponibles), pour l'évaluation d'une exposition chronique.

Chaque échantillon est recueilli dans un contenant approprié, étiqueté avec soin, et conservé dans des conditions optimales afin de garantir l'intégrité des analyses ultérieures. [44]

II .3.2. L'acheminement des prélèvements aux laboratoires :

L'acheminement des échantillons biologiques vers les laboratoires d'analyses toxicologiques est encadré par les services de sécurité compétents, en fonction du lieu de découverte du corps :

- Lorsque le décès survient **en zone urbaine**, les **services de la police** sont chargés du transport des prélèvements vers le laboratoire compétent.
- Pour les décès survenus **en dehors des centres urbains**, c'est **la gendarmerie nationale** qui se charge de l'acheminement des échantillons vers les laboratoires spécialisés.

Cette procédure garantit une traçabilité complète des échantillons, dans le respect des normes médico-légales, et permet de préserver la chaîne de conservation jusqu'à l'analyse. [44]

II .3.3. Les laboratoires d'analyses toxicologiques :

En Algérie, l'acheminement des prélèvements biologiques vers les laboratoires spécialisés en toxicologie médico-légale dépend principalement du lieu du décès. En zone urbaine, la police assure le transport des échantillons vers le **laboratoire de toxicologie médico-légale du CHU Château Neuf (Hôpital Nafissa Hamoud, ex-Parnet) à Alger**, qui est une référence nationale dans l'analyse des substances toxiques à des fins cliniques, judiciaires et post-mortem. Ce laboratoire intervient notamment dans les enquêtes médico-légales en cas de suspicion d'intoxication, de surdose ou de mort suspecte, en collaboration avec les services de médecine légale et la police scientifique.



Pour les décès survenus en dehors des centres urbains, la **gendarmerie nationale** est chargée d'acheminer les prélèvements vers le **laboratoire de toxicologie médico-légale de Bouchaoui**, situé également à Alger, qui assure la réception, la conservation et l'analyse des échantillons issus des zones rurales et périurbaines.

Dans les deux cas, les analyses toxicologiques au niveau de ces laboratoires sont réalisées uniquement sur **réquisition de Monsieur le Procureur de la République**, garantissant ainsi le cadre légal et judiciaire des investigations. Cette organisation garantit une chaîne de conservation et de traçabilité rigoureuse, essentielle à la fiabilité des résultats toxicologiques et à leur validité dans les procédures judiciaires [45].

II .3.4.L'obtention des résultats :

Le rapport d'expertise toxicologique est transmis au Procureur de la République, qui en remet ensuite une copie au médecin légiste ayant réalisé l'autopsie. Cette procédure assure une communication efficace entre les différents intervenants et permet une interprétation précise des résultats dans le cadre de l'enquête médico-légale.



Résultats et discussion

Partie III : Résultats et discussion

III.1 Résultats

Au total, douze dossiers médico-légaux ont été retenus pour l'étude, conformément aux critères d'inclusion définis. Parmi ces douze cas, cinq présentent des résultats toxicologiques positifs et sept des résultats négatifs. La sélection s'est faite à partir de la base de données interne du service de médecine légale, en recherchant les dossiers de la période 2020–2024 répondant aux critères fixés. Chaque cas retenu comprenait systématiquement un rapport toxicologique complet et les informations cliniques ou cadavériques associées.

III.1.1 Données épidémiologiques :

III.1.1.1 Age :

Tableau 03 : Répartition des défunts selon l'âge.

Age (ans)	<20	[20-30[[30-40[[40-50]	<50	Σ
Nombre de patients	01	02	04	04	01	12
Pourcentage %	8.3%	16.6%	33.3%	33.3%	8.3%	100%

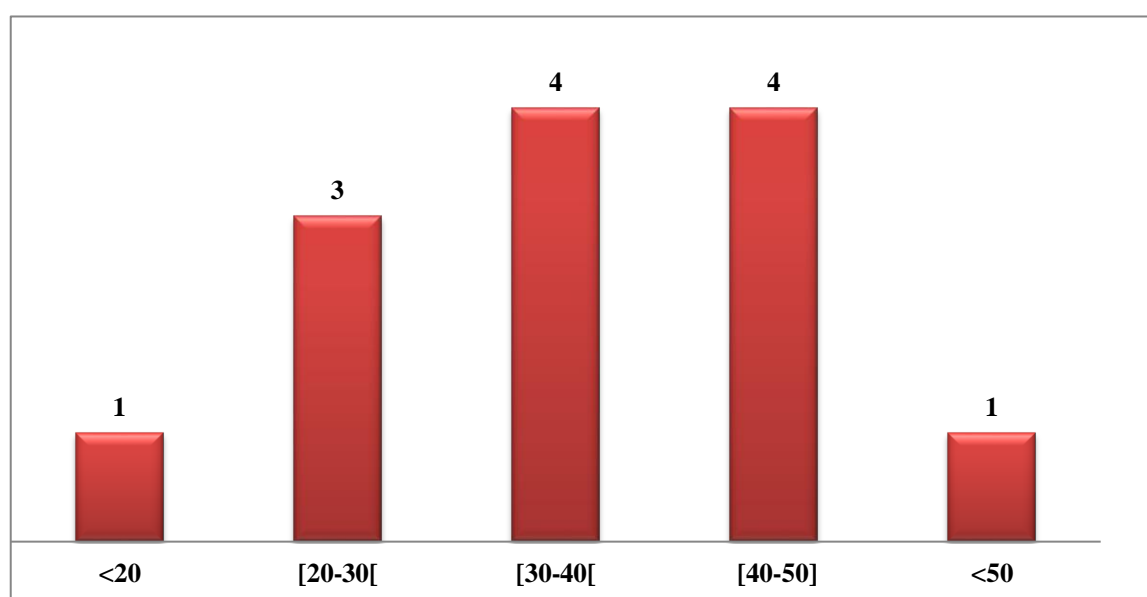


Figure 10 : Répartition des défunts selon l'âge.



Commentaire :

- L'analyse des données montre que les tranches d'âge [30-40[et [40-50[regroupent chacune **33,3 %** des patients, ce qui représente la majorité des cas étudiés.
- À l'inverse, les tranches <20 ans et >50 ans sont les moins représentées, avec seulement **8,3 %** pour chacune.
- Cette répartition suggère que les personnes d'âge **adulte actif** sont les plus concernées par la problématique étudiée.

III.1.1.2 Sexe :

Tableau 04 : Répartition des défunts selon sexe.

Sexe	Femme	Homme	Σ
Nombre de patients	3	9	12
Pourcentage %	25 %	75 %	100%

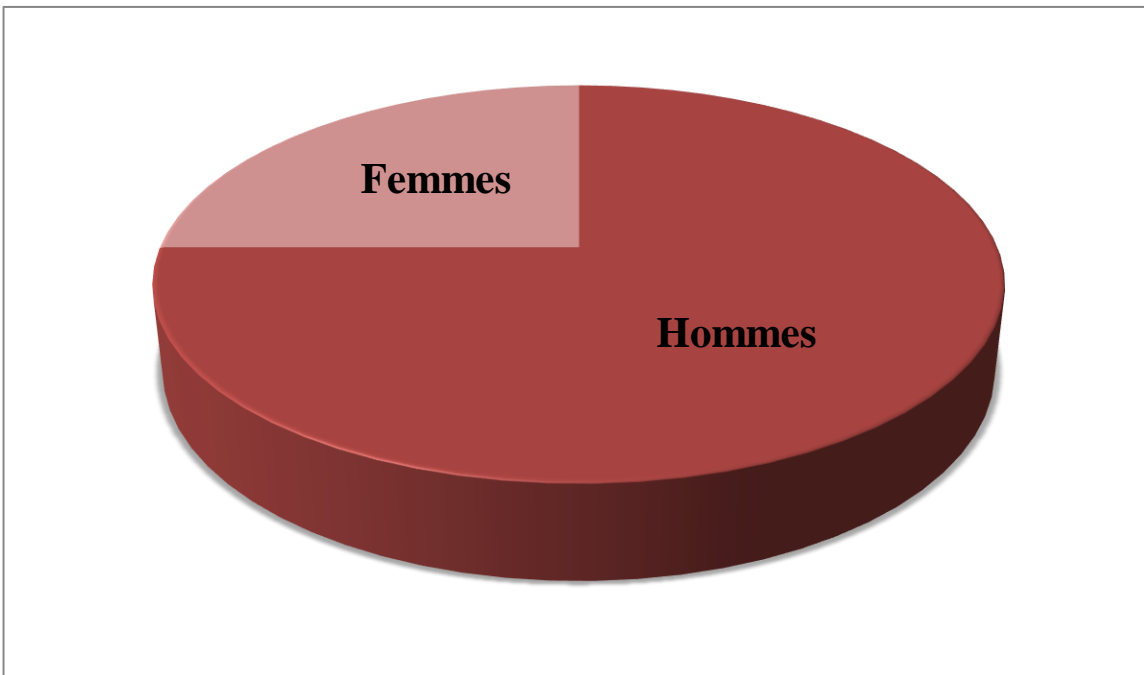


Figure 11 : Répartition des défunts selon le sexe.

Commentaire :

- Une prédominance de sexe masculin était évidente par rapport à celle du sexe féminin.
- Le ratio-sexe était de 3.



III.1.2 Antécédents médicaux :

Tableau 05 : Répartition des défunts selon Antécédents médicaux.

	Cancer du sein	Toxicomane	hypoglycémie	pathologie psychiatre chronique	Non mentionné
Nombre des cas	1	1	1	1	8

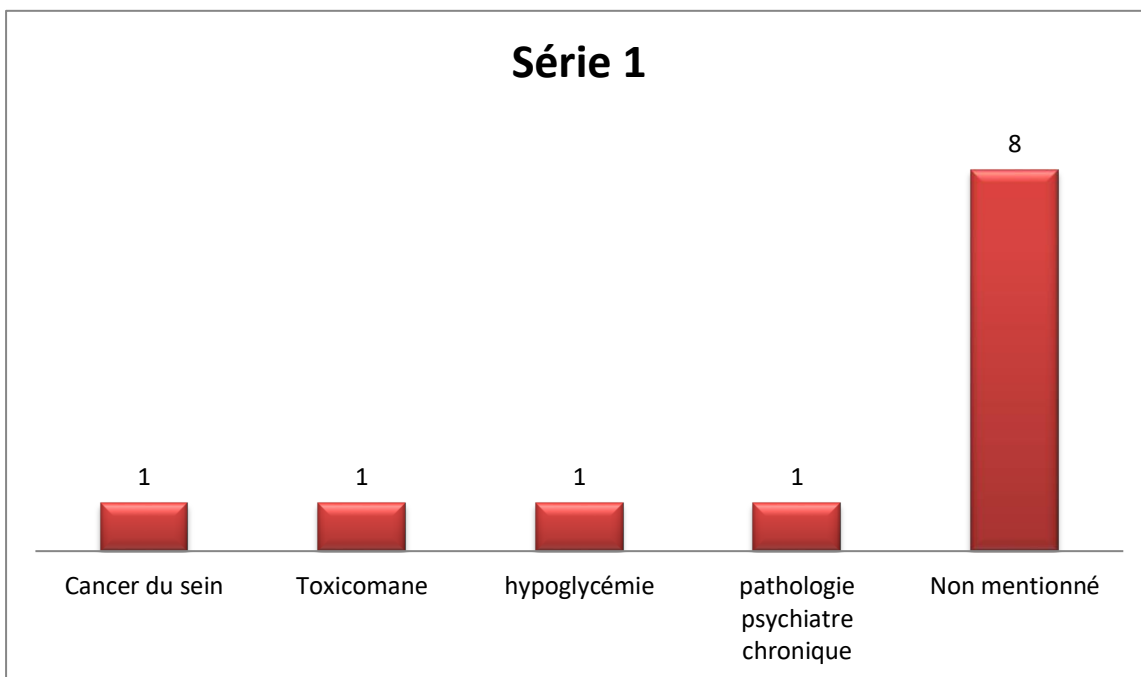


Figure 12 : Répartition des défunts selon Antécédents médicaux.

Commentaire :

L'analyse des antécédents médicaux montre que la majorité des cas (8 sur 12) ne mentionnaient aucun antécédent médical, ce qui peut être dû à un manque d'information ou à l'absence de pathologies connues. Parmi les cas documentés, on observe une répartition équitable entre différentes pathologies : un cas de cancer du sein, un cas de toxicomanie, un cas d'hypoglycémie, et un cas de pathologie psychiatrique chronique. Cette diversité des antécédents médicaux souligne l'importance de considérer le profil médical global des individus dans les investigations médico-légales.



III.1.3 Examen externe :

- L'examen externe a été réalisé sur un total de 12 cas. Dans 09 cas, aucune trace de violence n'a été retrouvée, indiquant une absence de signes visibles de traumatisme externe.
- Un cas a présenté **13 plaies linéaires**, en rapport avec un crime par arme blanche.
- Un autre cas a révélé plusieurs **lésions anciennes en voie de cicatrisation**, avec des **traces d'injections thérapeutiques** au niveau du poignet gauche et du pli du coude droit.

Enfin, un dernier cas a présenté des **lésions traumatiques multiples** :

- une plaie contuse frontale gauche de 3 cm,
 - des abrasions faciales,
 - une plaie contuse postérieure à la cuisse gauche avec **fracture déplacée du fémur**,
 - ainsi que de **multiples abrasions** réparties sur le thorax, la tête, l'abdomen et les membres.
- Ces éléments traduisent un **polytraumatisme grave**, suggérant une agression ou un accident violent.

III.1.4 Examen interne :

Tableau 06 : Répartition des défunts selon examen interne.

Examen interne	Syndrome asphyxique	Un œdème aigue de poumons	Altération cardiaque	Altération pulmonaire	Atteinte multiviscérales	Plais vasculaires	Rien à signalé
Cas	04	05	02	01	02	01	01

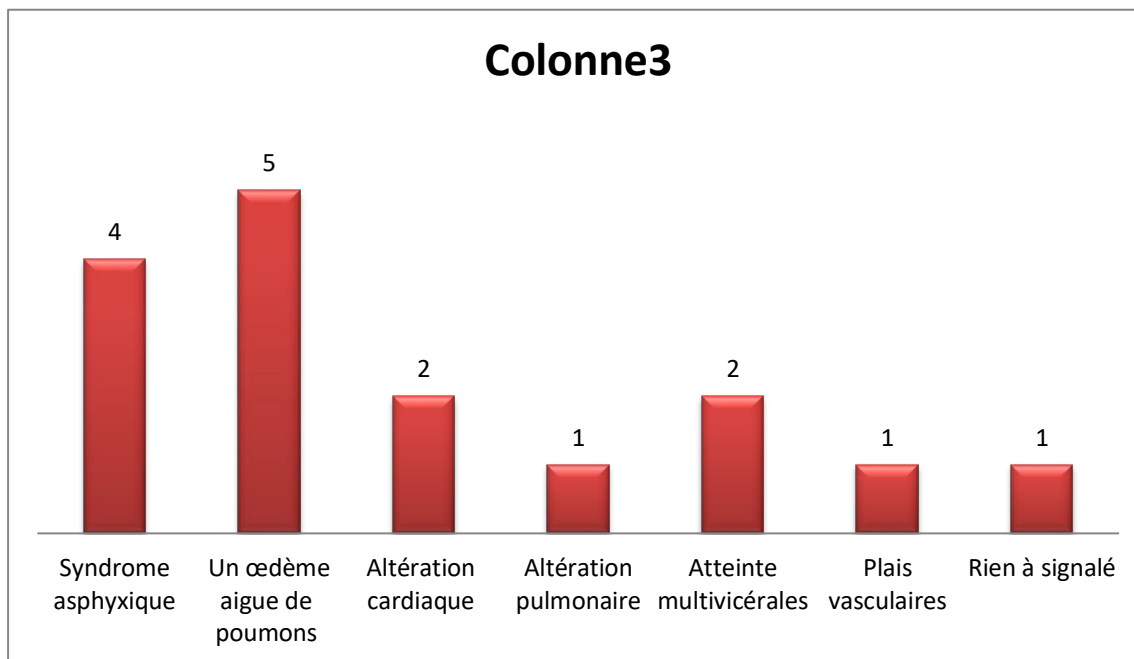


Figure 13 : Répartition des défunts selon examen interne

Commentaire :

On note une Prédominance de l'œdème aigu du poumon et du syndrome asphyxique généralisé. Altérations cardiaques, pulmonaires, multiviscérales et vasculaires également présentes à l'examen interne.

III.1.5 Analyses toxicologie :

III.1.5.1 Résultat d'analyse

- **Nombre total de cas analysés** : 12 cas.
- **Cas positifs** : 5 cas (soit 41,7 %).
- **Cas négatifs** : 7 cas (soit 58,3 %), aucune substance toxique détectée.

III.1.5.2 Substances détectées dans les cas positifs :

Tableau 07 : Substances détectées dans les cas positifs

Cas	1	2	3	4	5
Substance	Prégabaline Ecstasy	Éthanol Cannabis	Ecstasy	Cannabis, Noradiazepam Sulpiride	La paraphénylènediamine (PPD)

III.2 Discussion

"Quand le Temps Retarde la Vérité : Plaidoyer pour une Justice Toxicologique Équitable au Sud"

III.2.1 Le temps... un facteur silencieux mais déterminant :

Parmi tous les paramètres analysés, **le délai de rendu des résultats toxicologiques** s'est imposé comme un élément troublant. Derrière chaque dossier se cache une attente... une attente parfois insupportable. **Deux mois**, c'est le délai le plus court observé. Encouragement ? Peut-être. Mais face à cela, une réalité bien plus dérangeante : **23 mois** pour obtenir un simple rapport. Et parfois... **cela peut même s'étendre à plusieurs années.**

Pourquoi ce contraste aussi brutal ? **Les procédures sont les mêmes**, les canaux administratifs aussi. Et pourtant, **les délais fluctuent de façon inexplicée**, laissant place à l'interrogation, à l'incompréhension, voire au doute.

Le cas de l'année 2024 illustre parfaitement cette faille : **48 analyses toxicologiques ont été envoyées**. Et aujourd'hui, alors que **nous avons franchi le seuil de la mi-2025, un seul résultat a été reçu**. Un seul.

À qui la faute ? Est-ce un manque de moyens ? Une surcharge du système ? Ou simplement... un oubli entre les piles de dossiers qui s'accumulent ? **Le silence autour de ces retards devient pesant, et les conséquences ne sont jamais anodines.**

"Lorsque les résultats toxicologiques mettent des mois, voire des années à parvenir, ce n'est pas seulement la vérité qui est retardée, c'est la confiance même du citoyen qui vacille. Une telle lenteur jette une ombre grave sur la crédibilité des systèmes judiciaire et médico-légal, nourrissant suspicion, frustration et sentiment d'abandon."

III.2.2 Comment expliquer le retard d'obtention des résultats toxicologiques post-autopsie ?

Au service de médecine légale de l'EPH de Laghouat, le recours obligatoire aux laboratoires centralisés de la police scientifique (à Châteauneuf) ou de la gendarmerie nationale (à Bouchaoui) pour



les examens toxicologiques entraîne un retard flagrant dans l'obtention des résultats, en particulier après les autopsies.

Ce retard s'explique par l'absence de laboratoire toxicologique régional ou hospitalier, ce qui impose l'envoi systématique des prélèvements à Alger, souvent par voie administrative ou sécuritaire lente. Cette centralisation engendre non seulement des délais prolongés, parfois de plusieurs semaines ou mois, mais complique également la traçabilité des échantillons, avec des risques de dégradation ou de perte.

De plus, le service de médecine légale de Laghouat ne dispose d'aucune autonomie quant aux méthodes d'analyse, aux priorités de traitement ou au suivi des dossiers. Les résultats sont souvent transmis sans possibilité de dialogue direct entre le médecin légiste en charge du dossier et le toxicologue analyste, ce qui peut limiter la pertinence médico-légale de l'interprétation.

Cette situation met en lumière les limites opérationnelles et scientifiques d'un système centralisé, et souligne la nécessité de renforcer les capacités analytiques locales pour répondre efficacement aux exigences des autopsies médico-légales.

III.2.3 Une nécessité qui s'impose : un service de toxicologie au Sud :

Face à ces délais alarmants et à la lenteur des réponses, **une évidence s'impose avec urgence** : il est temps de repenser la **répartition géographique des services de toxicologie médico-légale**. Aujourd'hui, l'ensemble des analyses doivent être centralisées dans des laboratoires situés au nord du pays, ce qui engendre des retards considérables, surtout pour les régions du Sud.

La wilaya de Laghouat, par exemple, ne dispose d'aucun laboratoire de toxicologie spécialisé. Cela implique que chaque prélèvement doit parcourir des centaines de kilomètres avant même d'être analysé, aggravant ainsi l'attente et compromettant parfois l'efficacité des investigations.

Mettre en place un service de toxicologie médico-légale dans le Sud, et notamment à Laghouat, n'est plus un luxe, mais une nécessité stratégique. Cela permettrait non seulement de réduire significativement les délais, mais aussi de garantir une meilleure équité territoriale dans l'accès à la vérité scientifique et judiciaire.



III.2.4 Comparaison des paramètres avec les données de la littérature :

L'analyse des données sociodémographiques et médicales des cas étudiés permet de faire ressortir certaines tendances, que l'on peut confronter aux données issues de la littérature scientifique dans le domaine médico-légal et toxicologique.

III.2.4.1. Âge :

Dans notre étude, les tranches d'âge les plus représentées étaient celles des 30-50 ans, regroupant 66,6 % des cas. Cette observation est cohérente avec plusieurs études publiées, qui soulignent que les intoxications médicamenteuses ou toxiques touchent majoritairement les adultes jeunes et actifs, souvent exposés à des facteurs de stress psychosociaux ou à un accès plus facile aux substances toxiques.

→ Dans la littérature, la tranche d'âge 20-50 ans est fréquemment impliquée dans les intoxications volontaires ou accidentelles.

III.2.4.2 Sexe :

Notre série montre une nette prédominance masculine (75 %), avec un ratio H/F de 3:1. Cette donnée est également en accord avec plusieurs recherches, qui rapportent une surreprésentation des hommes dans les cas de décès toxiques, en particulier dans les intoxications d'origine criminelle ou liées à la consommation de drogues.

→ Des études confirment cette tendance, en rapport avec des comportements à risque plus fréquents chez les hommes. [Santé Publique France](#)

III.2.4.3 Antécédents médicaux :

Parmi les cas analysés, seulement 4 défunts présentaient des antécédents médicaux notables (cancer du sein, toxicomanie, hypoglycémie, pathologie psychiatrique), tandis que les deux tiers (8 cas) n'avaient pas d'antécédents renseignés.

Ce manque d'information est fréquent dans les dossiers médico-légaux, en particulier dans les contextes où l'accès au dossier médical est limité. Toutefois, la présence d'antécédents psychiatriques ou de toxicomanie est bien documentée dans la littérature comme facteur de risque majeur d'intoxication volontaire ou accidentelle.



→ Une étude a montré que 21 patients sur 24 ayant réalisé une intoxication médicamenteuse volontaire aux benzodiazépines avaient des antécédents psychiatriques. Em Consulte

III.2.4.4 Résultats toxicologiques :

Dans notre série, 41,7 % des cas présentaient un résultat toxicologique positif. Cela est relativement cohérent avec les études régionales, qui indiquent une prévalence élevée d'intoxications à base de psychotropes, drogues de synthèse (comme l'ecstasy), ou substances comme la PPD.

→ La littérature nord-africaine, notamment au Maroc, fait état d'un usage croissant de la PPD à des fins suicidaires, surtout chez les femmes jeunes.

III.2.4.4.1 Comparaison entre les substances toxiques identifiées localement (Laghouat) et celles retrouvées à l'échelle mondiale :

Comparativement aux données théoriques, qui mettent souvent l'accent sur des drogues à usage récréatif répandues mondialement telles que le cannabis, la cocaïne, ou encore les opiacés, la situation à Laghouat présente une particularité marquée par une consommation abusive de médicaments à effet sédatif ou anxiolytique. Cette différence peut s'expliquer par la facilité d'accès à ces produits, l'absence de contrôle pharmaceutique rigoureux, et le manque de sensibilisation quant à leur dangerosité. La présence d'ecstasy et d'éthanol — substances également citées dans la littérature internationale — démontre néanmoins que certaines tendances mondiales commencent à s'implanter localement.

Tableau 08 : Comparaison entre les substances toxiques identifiées **localement (Laghouat)** et celles retrouvées à l'échelle **mondiale**

Substance	Catégorie	Fréquence locale	Fréquence mondiale	Remarques
Prégabaline	Médicament psychotrope	Très fréquente	En hausse	Détournement massif à usage récréatif
Ecstasy (MDMA)	Drogue de synthèse	Présente	Très fréquente	Usage festif, moins courant localement

Éthanol	Alcool	Présent	Très fréquent	Souvent sous forme frelatée et dangereuse
Cannabis (THC)	Drogue naturelle	Très fréquent	Très fréquent	Usage courant dans toutes les régions
Nordazépam	Benzodiazépine (sédatif)	Fréquent	Fréquent	Utilisation hors prescription
Sulpiride	Neuroleptique	Relativement fréquent	Rare comme toxique	Usage local abusif peu rapporté dans le monde



Type de description

Partie IV : Présentation du cas étudié

IV. Introduction

Le 13 mai 2020, un drame inattendu a bouleversé le tribunal de Laghouat. Quelques instants seulement après avoir entendu le verdict la condamnant à un an de prison ferme, une femme de 56 ans retrouve la mort.

Le décès soudain, survenu au cœur même d'une salle d'audience, a provoqué une polémique au niveau de la justice et dans la rue ; une femme jugé à tort par un juge à fait un arrêt cardiaque suite à un choc émotionnel après annonce de verdict.

IV.1. La demande d'autopsie judiciaire :

Face à un décès aussi soudain que troublant – une mort survenue en pleine audience judiciaire – les circonstances ont immédiatement éveillé le doute.

Afin de lever toute ambiguïté sur **l'origine réelle du décès**, le Procureur de la République a ordonné la réalisation d'une autopsie médico-légale.

C'est ainsi que **le médecin légiste de l'Établissement Public Hospitalier (EPH) de Laghouat** a été officiellement réquisitionné pour procéder à **l'examen post-mortem**.

IV.2 Le déroulement de l'autopsie médico-judiciaire :

IV.2.1 Interrogatoire :

IV.2.1.1 Antécédents de la de la défunte :

La défunte présentait un antécédent majeur de carcinome canalaire infiltrant du sein gauche, classé grade II, diagnostiqué en 2011. Elle avait bénéficié d'un traitement combiné comprenant une tumorectomie, une chimiothérapie adjuvante ainsi qu'une radiothérapie. L'évolution clinique avait été favorable, avec absence de récurrence documentée. Un suivi oncologique régulier avait été instauré depuis la fin du traitement, et aucune autre pathologie chronique notable n'avait été rapportée durant cette période.

IV.2.1.2 Circonstances de décès :

Le décès de la défunte est survenu juste après le prononcé d'un jugement lors de l'audience au tribunal. Selon les témoignages des présents, elle a soudainement perdu connaissance et a été victime d'une crise sévère immédiatement après l'issue du procès. Malgré les tentatives de réanimation sur place, le décès a été constaté. Les circonstances immédiates de la crise n'ont pas permis d'identifier de manière précise la cause, ce qui a conduit à la réalisation d'une autopsie pour élucider les causes exactes du décès.

IV.3 Examen externe du cadavre :

IV.3.1 Examen de vêtements :

Lors de l'examen des vêtements de la défunte, effectués après son admission, aucune trace évidente de violence externe n'a été retrouvée. Toutefois, des taches noires ont été observées sur le col de la chemise ainsi que sur d'autres parties du vêtement. Ces taches pourraient suggérer une exposition à une substance toxique ou un produit chimique.

IV.3.2 Examen du corps :

- Absence de traces de violences sur le corps.
- Une cyanose marquée au niveau des lèvres, des oreilles et des extrémités.
- Une cicatrice cutanée d'intervention chirurgicale au niveau du sein gauche.
- Une macroglossie avec aspect noirâtre de la langue.

IV.4 Examen interne du cadavre (ouverture des cavités) :

- Trachée inondée par une spume aérée.
- Un œdème aigu des poumons.
- Estomac : d'aspect externe intègre, à l'ouverture on retrouve :
- Un liquide de coloration noirâtre de moyenne abondance.
- La présence de pierres de colorations noires mouchetées en blancs et d'un fil en laine noué.
- La muqueuse gastrique est d'aspect goudronné.



Figure 14 : Aspect de l'estomac prélevé pendant l'autopsie

IV.5 Examens complémentaire :

Des prélèvements à visée d'analyse toxicologique ont été effectués notamment :

02 tubes de sang, un tube de bile, un tube des urines, une boîte de contenu gastrique.

IV.6 Acheminement des prélèvements :

Les prélèvements sont transmis sous réquisition à la police judiciaire chargé de l'affaire.

Le procureur de la république près tribunal Laghouat établi une réquisition à l'intention du responsable de laboratoire de police scientifique de château neuf pour effectuer les analyses toxicologiques.

IV.7 Résultats toxicologiques :

L'analyse toxicologique révèle la présence de PPD, une substance toxique connue pour être Utilisée dans des tentatives de suicide.

Dans le sang : PPD détectée.

→ Cela indique une exposition significative, possiblement toxique.

Dans l'urine :

Présence de métabolites de la PPD détectée

→ Le corps élimine la substance. Cela confirme une absorption antérieure.

Dans le contenu gastrique :

PPD non métabolisée détectée

→ Indique une ingestion récente (avant métabolisation).

Dans Les lésions internes (œdème pulmonaire, aspect du contenu gastrique, coloration des tissus) :

→ Confirment un décès par voie asphyxique secondaire à l'ingestion de cette substance.



Figure 15 : Aspect macroscopique du contenu gastrique riche en fragments de paraphénylènediamine (PPD) — « pierre noire » observé lors de l'autopsie.

IV.8 La paraphénylènediamine (PPD):

La paraphénylènediamine (PPD) est une amine aromatique dérivée de l'aniline, utilisée historiquement depuis la fin du XIXe siècle pour ses propriétés tinctoriales, notamment dans les produits cosmétiques. Elle est également employée dans divers secteurs industriels, tels que la fabrication du caoutchouc, la teinture des fourrures, la photographie, la tannerie ou encore la coiffure. Bien que son usage soit principalement externe, l'ingestion volontaire de cette substance est devenue au fil du temps un moyen courant de tentative de suicide, particulièrement dans les régions d'Afrique, d'Asie et du Moyen-Orient. Dans ces zones, la PPD est souvent utilisée comme adjuvant au henné pour colorer les mains, les pieds ou les cheveux, et son accessibilité en vente libre favorise son détournement à des fins toxiques.

Certains usages traditionnels inappropriés, comme son emploi dans un but abortif, aggravent encore les risques liés à cette substance. Au Maroc, par exemple, les intoxications à la PPD sont fréquentes et représentent un véritable problème de santé publique, la molécule étant vendue sous forme cristallisée, facilement dissimulable et rapidement absorbée.

En Europe, la législation a interdit l'usage de la PPD dans les produits cosmétiques destinés à être en contact direct avec la peau depuis 2005. Cependant, une dérogation subsiste pour les colorations capillaires, où elle est autorisée à condition que sa concentration ne dépasse pas 6 %. Malgré ces restrictions, les cas d'intoxication à la PPD persistent dans certaines Communautés, notamment à travers des produits non réglementés ou importés illégalement.





L'ingestion volontaire de PPD, souvent à visée suicidaire, est à l'origine de tableaux cliniques sévères et parfois fatals. L'un des signes les plus caractéristiques est l'œdème cervico-facial, souvent accompagné d'une macroglossie, qui entraîne un syndrome asphyxique mettant rapidement en jeu le pronostic vital. Cette asphyxie est aggravée par l'effet méthémoglobinisant de la PPD, qui provoque l'oxydation du fer ferreux (Fe^{2+}) de l'hémoglobine en fer ferrique (Fe^{3+}), rendant cette dernière incapable de fixer et transporter l'oxygène. Ainsi, l'hypoxie cellulaire s'installe malgré une oxygénation apparente normale, ce qui complique la prise en charge en urgence.

Sur le plan musculaire, la toxicité de la PPD entraîne une libération massive de myoglobine, responsable d'une atteinte rénale grave, se traduisant par une insuffisance rénale aiguë (IRA). Cette atteinte rénale est secondaire à une nécrose tubulaire et à une obstruction provoquée par les pigments musculaires filtrés. Le cœur n'est pas épargné non plus, puisque des lésions myocardiques peuvent survenir, conduisant à une myocardite toxique. Le seuil de toxicité par ingestion chez l'être humain est estimé à environ 3 grammes, ce qui en fait une substance hautement dangereuse même à faibles doses.

Ce tableau clinique spécifique et l'évolution fulgurante de l'intoxication à la PPD soulignent la nécessité d'une reconnaissance rapide des signes et d'une prise en charge médicale immédiate. Ce type de cas met également en lumière l'importance capitale de la pharmacotoxicologie médico-légale dans la compréhension et l'interprétation des circonstances de décès, en particulier lorsque des éléments judiciaires ou criminels sont en jeu.

IV.9 Conclusion :

Dans un premier temps, les circonstances du décès pouvaient orienter vers des hypothèses classiques telles que des complications liées à une décision judiciaire ou encore à l'évolution d'une pathologie préexistante, en l'occurrence un cancer du sein. Cependant, l'autopsie associée aux résultats des analyses toxicologiques a permis de mettre en évidence une cause totalement différente : une intoxication volontaire (suicidaire) à la paraphénylènediamine (PPD), communément appelée « pierre noire ». **Cette découverte inattendue souligne le rôle essentiel de la toxicologie médico-légale dans l'élucidation des causes réelles de décès**, en dépassant les apparences cliniques ou contextuelles, et **en apportant des preuves objectives et scientifiques** indispensables à la compréhension des cas médico-légaux complexes.



V. Synthèse des points forts et des limites du mémoire :

V.1 Points forts :

- Le choix d'un sujet d'actualité et rarement traité, témoignant d'une audace dans l'approche scientifique.
- Une contribution innovante ouvrant de nouvelles perspectives de recherche en médecine légale et en toxicologie.
- La mise en lumière d'une lacune scientifique encore peu explorée dans les travaux antérieurs.
- Le renforcement de l'interaction entre la toxicologie et la médecine légale dans la résolution des affaires judiciaires complexes.
- Une portée applicative claire susceptible d'améliorer les pratiques de terrain et les investigations médico-légales.
- Un enrichissement du domaine scientifique par une approche multidisciplinaire associant médecine, pharmacie, toxicologie et droit.

V.2 Limites :

- L'absence de données statistiques étendues, en raison de la difficulté d'accès aux bases de données médico-légales.
- La restriction des analyses toxicologiques aux cas disponibles, limitant ainsi la généralisation des résultats.
- Le manque de ressources techniques et logistiques pour approfondir certaines analyses spécifiques.
- Les contraintes éthiques et juridiques liées à l'exploitation de certains dossiers médico-légaux.
- La nécessité de recherches complémentaires pour valider et élargir les observations faites dans cette étude.

Malgré ces limites, le travail présenté constitue une contribution précieuse, apportant des éléments nouveaux et ouvrants des perspectives intéressantes pour des recherches futures en médecine légale et en toxicologie.



VI. Recommandations et Perspectives :

À la lumière des résultats obtenus et des réflexions menées tout au long de ce travail, plusieurs recommandations et perspectives s'imposent pour renforcer l'impact de la pharmacotoxicologie dans le champ médico-légal en Algérie :

- 1. Création de laboratoires régionaux de toxicologie médico-légale**, notamment dans des wilayas non couvertes comme Laghouat, afin de réduire les délais d'analyses et d'améliorer la réactivité des enquêtes médico-légales.
- 2. Sensibilisation des professionnels de la santé et de la justice** à l'importance de la pharmacotoxicologie, souvent méconnue, dans l'élucidation des causes de décès suspectes, et dans la prévention des erreurs judiciaires.
- 3. Intégration systématique d'une expertise toxicologique** dans les enquêtes médico-légales, en particulier lorsqu'il s'agit de décès non expliqués, de suspicion d'intoxication ou de consommation de substances psychoactives.
- 4. Mise en place de formations continues et spécialisées** pour les médecins légistes, pharmaciens, toxicologues, magistrats et enquêteurs, afin de garantir une approche multidisciplinaire cohérente et efficace.
- 5. Élaboration d'une base de données nationale sur les substances toxiques**, leurs effets et leur prévalence dans les affaires médico-légales, ce qui permettrait une meilleure interprétation des résultats analytiques.
- 6. Développement de projets de recherche appliquée**, ciblant les substances fréquemment rencontrées dans notre contexte local (pesticides, benzodiazépines, opioïdes, drogues illicites...), afin de mieux adapter les méthodes d'analyse et d'interprétation.
- 7. Encouragement de la collaboration interinstitutionnelle**, entre les universités, les hôpitaux, les laboratoires et les institutions judiciaires, pour mutualiser les compétences et les ressources.
- 8. Intégration progressive des nouvelles technologies**, telles que l'intelligence artificielle, dans l'analyse des données toxicologiques, pour améliorer la précision, la rapidité et l'aide à la décision.



Conclusion générale



VII. Conclusion générale :

À l'issue de ce travail, il apparaît clairement que la pharmacotoxicologie joue un rôle incontournable dans le domaine médico-légal. Bien au-delà d'un simple outil analytique, elle constitue un véritable pilier dans la quête de vérité face aux décès suspects ou inexplicables. Grâce à ses méthodes scientifiques rigoureuses, elle permet non seulement d'identifier les substances en cause, mais aussi de comprendre leur impact réel sur l'organisme, et par conséquent, de déterminer si elles ont contribué ou non au décès.

Dans un premier temps, les circonstances du décès pouvaient orienter vers des hypothèses classiques telles que des complications liées à une décision judiciaire ou encore à l'évolution d'une pathologie préexistante, en l'occurrence un cancer du sein. Cependant, l'autopsie associée aux résultats des analyses toxicologiques a permis de mettre en évidence une cause totalement différente : une intoxication volontaire à la paraphénylènediamine (PPD), communément appelée « pierre noire ». Cette découverte inattendue souligne le rôle essentiel de la toxicologie médico-légale dans l'élucidation des causes réelles de décès, en dépassant les apparences cliniques ou contextuelles, et en apportant des preuves objectives et scientifiques indispensables à la compréhension des cas médico-légaux complexes.

L'étude de cas traitée dans ce mémoire – une intoxication à la paraphénylènediamine (PPD) – illustre de manière concrète comment l'analyse toxicologique peut faire basculer une hypothèse initiale vers une conclusion totalement différente, et ainsi orienter les décisions judiciaires en s'appuyant sur des preuves scientifiques solides.

En somme, la pharmacotoxicologie ne se limite pas à analyser des échantillons : elle donne une voix aux corps silencieux, éclaire les zones d'ombre des enquêtes médico-légales, et renforce l'alliance entre science et justice. Il devient donc essentiel de renforcer son intégration dans les procédures médico-légales, par la formation continue des professionnels, la modernisation des laboratoires et la collaboration interdisciplinaire.



Références bibliographiques

Références bibliographiques :

- [1] Berton, P., & Collet, B. (2014). *Pharmacotoxicologie* (2e éd.). Elsevier Masson.
- [2] P. Grandjean, *Environmental Health: From Principles to Practice*, Oxford University Press, 2016.
- [3] M. E. Andersen et al., "Dose-Response Modeling in Toxicology: Current Practices and Emerging Trends," *Toxicological Sciences*, vol. 180, no. 2, pp. 251-267, 2021. Définition de l'huile essentielle
- [4] CDC, "Fentanyl: Drug Safety," Centers for Disease Control and Prevention, 2021.
- [5] L.P. James, P.R. Mayeux, J.A. Hinson, "Acetaminophen Toxicity and Hepatic Failure," *Journal of Clinical and Translational Hepatology*, vol. 3, no. 2, pp. 50-60, 2015.
- [6] D.J. Greenblatt, R.I. Shader, "The Pharmacology of Benzodiazepines," *Journal of Clinical Psychiatry*, vol. 76, no. 4, pp. 120-132, 2015.
- [7] B. Lerer, G. Yadid, "Cocaine Use and Its Effects on the Brain: Neuropharmacology," *Journal of Neuroscience*, vol. 22, no. 5, pp. 450-460, 2002.
- [8] "The Impact of Opioid Overdose and the Role of Naloxone," *Journal of Addiction Medicine*, vol. 11, no. 3, pp. 100-112, 2017.
- [9] "Carbon Monoxide Poisoning: Diagnosis and Management," *Journal of Clinical Toxicology*, vol. 10, no. 1, pp. 25-33, 2016.
- [10] S. Gorman, W. Uhl, "Cyanide Poisoning: Pathophysiology and Management," *Clinical Toxicology*, vol. 55, no. 8, pp. 730-742, 2017.
- [11] P. Kintz et P. Mangin, *Médecine légale et expertises médicales*, Elsevier Masson, 2013.
- [12] V. J. M. Di Maio, *Forensic Pathology*, 2nd ed. CRC Press, 2001.
- [13] B. Knight, *Forensic Pathology*, Arnold Publishers, 1996.
- [14] B. A. Logue, "Cyanide and Hydrogen Cyanide Poisoning," in *Handbook of Toxicology of Chemical Warfare Agents*, 2020.
- [15] L. R. Goldfrank, *Goldfrank's Toxicologic Emergencies*, McGraw-Hill, 2019.
- [16] P. Kintz, M. Villain, et V. Cirimele, « Hair analysis for drug detection », *Clinical Chemistry and Laboratory Medicine*, vol. 54, no. 2, pp. 195-206, 2016.

- [17] R. J. Levy, J. P. McCarthy, et R. L. Dufresne, « Drug-facilitated sexual assault: a forensic and medical overview », *Journal of Forensic Sciences*, vol. 62, no. 3, pp. 659-668, 2017.
- [18] D. J. Pounder et L. E. Jones, « Postmortem aspects of alcohol », *Forensic Science International*, vol. 142, no. 2-3, pp. 123-130, 2004.
- [19] R. W. Prouty et W. H. Anderson, « The forensic toxicology of postmortem redistribution », *Journal of Forensic Sciences*, vol. 35, no. 2, pp. 243-252, 1990.
- [20] O. H. Drummer, « Postmortem toxicology of drugs of abuse », *Forensic Science International*, vol. 142, no. 2-3, pp. 101-113, 2004.
- [21] P. F. Lasczkowski et W. E. Bligh, « Carbon monoxide poisoning: forensic implications », *Forensic Science International*, vol. 180, no. 1, pp. 37-42, 2008
- [22] R. Saferstein, *Forensic Science: From the Crime Scene to the Crime Lab*, Pearson, 2018.
- [23] A. Negrusz et G. Cooper, "Forensic Toxicology: Regulations and Quality Assurance," in *Handbook of Forensic Medicine*, Wiley, 2020.
- [24] D. K. Bailey, *Analytical Methods in Forensic Toxicology*, Springer, 2019.
- [25] H. H. Maurer, S. D. Brandt, et M. R. Meyer, "Analytical toxicology: Methods and techniques," *Journal of Analytical Toxicology*, vol. 40, no. 5, pp. 375-390, 2016.
- [26] D. A. Wells, I. W. Wainer, et B. David, "LC-MS in Drug Bioanalysis," *Pharmaceutical Analysis*, vol. 50, no. 2, pp. 223-235, 2018.
- [27] B. C. Smith et M. Denton, "Infrared and Raman Spectroscopy in Forensic Science," *Forensic Chemistry*, vol. 25, no. 1, pp. 75-88, 2019.
- [28] E. J. Cone et M. A. Huestis, "Immunoassay Techniques in Drug Testing," *Clinical Chemistry*, vol. 65, no. 4, pp. 541-556, 2017.
- [29] M. J. Bogusz et H. Hassan, "Capillary Electrophoresis in Forensic Toxicology," *Electrophoresis Journal*, vol. 36, no. 12, pp. 1932-1945, 2015.
- [30] M. Maurer, H. Hans et A. Krug, « Toxicological Analysis of Biological Matrices: Advances and Challenges », *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol. 68, no. 5, pp. 1123-1135, mai 2023.
- [31] H. A. Hoffman, "Toxidromes in Clinical Toxicology," *Journal of Emergency Medicine*, vol. 54, no. 3, pp. 339-347, 2022.

- [32] M. J. Peterson et al., "Advanced Chromatographic Techniques for Toxicology Screening," *Analytical Chemistry*, vol. 93, no. 7, pp. 1234-1245, 2021.
- [33] T. W. Smith and R. G. Brown, "Immunoassay-based Rapid Drug Screening: Benefits and Limitations," *Clinical Biochemistry*, vol. 57, pp. 145-157, 2020.
- [34] J. L. Anderson, "Liver Function Tests in Acetaminophen Overdose," *Hepatology Reviews*, vol. 48, no. 6, pp. 1112-1123, 2019.
- [35] S. N. Clarke et al., "Arterial Blood Gases in Poisoning Cases," *Toxicology Reports*, vol. 5, pp. 78-89, 2021.
- [36] K. P. Dawson, "Radiological Findings in Drug Ingestion Cases," *European Journal of Radiology*, vol. 95, pp. 210-219, 2022.
- [37] L. F. Williams, "Cardiotoxicity in Antidepressant Overdose," *Journal of Cardiology Research*, vol. 12, no. 4, pp. 254-267, 2020.
- [38] R. Chen et al., "AI in Toxicology: Predictive Models for Overdose Cases," *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol. 68, no. 5, pp. 1123-1135, 2022.
- [39] P. Gomez et al., "Wearable Sensors for Chemical Detection in Sweat," *Biosensors and Bioelectronics*, vol. 94, pp. 56-67, 2021.
- [40] J. K. Lee et al., "Electrochemical Sensing of Toxins in Biological Fluids," *Sensors and Actuators B: Chemical*, vol. 330, pp. 120-135, 2020.
- [41] A. O. Karch, *Forensic Pathology of Drug Abuse*, CRC Press, 2011.
- [42] B. Madea, *Handbook of Forensic Medicine*, 2nd ed., Wiley-Blackwell, 2019.
- [43] R. C. Baselt, *Disposition of Toxic Drugs and Chemicals in Man*, 11th ed., Biomedical Publications, 2017.
- [44] P. Kintz and M. Villain, *Toxicologie médico-légale*, Paris, France: Elsevier Masson, 2016.
- [45] E. Boudissa et A. Benaidja, « La toxicologie médico-légale en Algérie : organisation et défis », *Journées Nationales de Toxicologie*, Alger, 2022. [En ligne]. Disponible sur : <https://www.snt-dz.org/publications>. [Consulté le : 28-mai-2025].