NANTES UNIVERSITÉ

_____

FACULTÉ DE MÉDECINE

_____

Année : 2022 N°

THÈSE

pour le

DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN MÉDECINE

RADIOLOGIE et IMAGERIE MÉDICALE

par

Charles MATSOUNGA

_____

Présentée et soutenue publiquement le 14/10/2022

_____

Modalités de réalisation et d'interprétation de l'imagerie lors de la prise en charge initiale d'un patient vivant au décours d'un traumatisme balistique pénétrant

_____

Président : Professeur Jean-Michel SERFATY

Directeur de thèse : Docteur Mathilde DUCLOYER

NANTES UNIVERSITÉ

_____

FACULTÉ DE MÉDECINE

_____

Année : 2022 N°

THÈSE

pour le

DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN MÉDECINE

RADIOLOGIE et IMAGERIE MÉDICALE

par

Charles MATSOUNGA

_____

Présentée et soutenue publiquement le 14/10/2022

_____

Modalités de réalisation et d'interprétation de l'imagerie lors de la prise en charge initiale d'un patient vivant au décours d'un traumatisme balistique pénétrant

_____

Président : Professeur Jean-Michel SERFATY

Directeur de thèse : Docteur Mathilde DUCLOYER

Membre du jury : Docteur David LEBOSSE

Remerciements

A Monsieur le Professeur Serfaty, merci de me faire l'honneur de présider mon jury de thèse. Votre expérience saura, sans nul doute, enrichir ce travail. Merci pour votre écoute, pour votre soutien dans nos projets farfelus et pour nos échanges toujours intéressant sur la médecine, la radiologie et son avenir.

A Madame le Docteur Ducloyer, merci d'avoir accepté de t'engager une fois encore, dans l'exercice de l'encadrement d'une thèse. Merci pour ce sujet d'étude passionnant et enrichissant, pendant lequel chaque lecture bibliographique était un objet de curiosité et chaque lecture de dossier patient ou de scanner, une intrigue. De mes premiers pas en échographie jusqu'à ma thèse … Merci pour ton encadrement et tes conseils.

A Monsieur le Docteur Lebosse, merci d'avoir accepté de prendre part à l'évaluation de ce travail. Votre jugement à l'aune de votre expérience dans le domaine très particulier de la balistique sera, sans nul doute, très enrichissant pour ce travail.

A toutes celles et ceux qui ont pris un moment pour partager leur savoir médical, depuis le premier stage d'externe au sein du service de rééducation du Professeur Casillas (la liste est longue), vous avez toute ma reconnaissance.

Au Professeur Frampas, au Professeur Desal et au Professeur Serfaty, merci de m'avoir accueilli au sein de la radiologie Nantaise. A celles et ceux qui m'ont subi d'un peu plus près que les autres à l'Hôtel Dieu : ***Pierre-Marie, Jeremy, Arthur*** et à Laennec : ***Claire, Renan, Olivier***, merci pour votre enseignement et pour certains, vos boutades (amplement méritées). Un remerciement tout particulier au ***Docteur Aymeric Nicolas*** et au ***Docteur Lara Marteau***, super team d'assistant et chef de clinique de l'été 2021.

A toute l'équipe de Neuroradiologie, merci pour votre bonne humeur et pour votre enseignement en radiologie (mais pas seulement).

Aux radiologues des centres hospitaliers de la Roche sur Yon et de Saint-Nazaire, merci pour votre gentillesse et pour avoir partagé avec moi votre expérience de la radiologie et parfois votre expérience de la vie.

Au Professeur Blum et à son équipe, merci de m'avoir fait découvrir une approche très différente de la pratique de la radiologie et offert des expériences professionnelle et personnelle enrichissantes et tout à fait singulières.

Au Docteur Gibaud et au Docteur Esslimani, merci pour votre accueil, votre implication durant mon stage et votre amicalité. Merci pour ce semestre unique que vous m'avez offert.

Aux équipes de manipulateurs radio de Nantes, de la Roche sur Yon, de Challans, de Saint-Nazaire, de Nancy ; merci pour votre patience, vos explications, vos encouragements et votre travail.

A tous mes co-internes, qu'ils aient été radiologues, gastro-entérologues ou médecins nucléaires venus de Nantes, de Rennes, de Tours ou de Brest ; mais aussi à la fine (?) équipe rencontrée à Nancy : ce fut un plaisir de travailler (entre autres) avec vous !

Aux plus vieux copains de la fac de médecine qui ont insufflé un peu de divertissement dans ce cursus bien trop sérieux et une pensée aux copains encore plus anciens.

Au groupe de parole du samedi soir, merci pour vos échanges passionnés sur les sujets les plus raffinés (?) et élégants (?) que l'on puisse imaginer … Au Barbarian ou occasionnellement dans des locaux plus annexes.

A Laurent et Damien, énergumènes uniques, sans qui j'exercerais sous doute une autre profession aujourd'hui. Nos discussions élaborées sur les canards, les saumons, les chemises et les bouteilles ; les séances de visionnage de vidéo du mercredi après-midi ; ces longues sessions nocturnes dédiées à la réalisation de projets collaboratifs numériques ; auront vraiment été déterminantes (?) dans mon parcours. (*#dédicace #amitiéenkdo)*

A mes beaux-parents, merci pour votre vision du monde, pour m'avoir fait découvrir un endroit formidable et pour me laisser embêter votre fille. Une mention spéciale au BOP pour l'introduction théorique et pratique du sujet traité dans la suite de cet ouvrage.

A mon père, merci pour ta tempérance, ton écoute, ton soutien et nos discussions apaisées.

A mes frères, pour être fidèles à vous-mêmes. A ces aventures et mésaventures partagées ensemble et qui nous ont faits tels que nous sommes. Merci pour chacune de nos retrouvailles simples et pleines de fous rires.

A ma mère, pour ta générosité, ta force et ta volonté d'agir hors du commun. A notre histoire et ses moments de légèretés et ses moments plus difficiles…. Merci de nous avoir tout donné, merci de n'avoir jamais vraiment abandonné. Il n'existe pas de mots pour exprimer ma gratitude et ce travail, seul ouvrage que j'ai prévu d'écrire au cours de mon existence, t'es entièrement dédié. Du fond du cœur, merci de m'avoir offert le monde.

A Leila, merveilleuse découverte de ces dernières années.
Merci d'être là, jour après jour, de m'encourager, de me supporter, de m'écouter.
Ces discussions légères, ces moments de parfaits misanthropes, ces soirées improvisées, ces excursions excentriques et ces moments de travail partagé (merci d'être une superbe relectrice de thèse) …. Je chéris chacun des instants que nous avons passés ensemble ; et je me réjouis des moments à venir.
Merci d'illuminer chaque jour de ma vie, de faire résonner en moi ta douceur et ta joie, et d'épicer la platitude de notre quotidien (qu'il me tarde de partager à nouveau avec toi :D). Si je ne suis ni un boxer, ni un père de famille et tout juste un docteur ; je suis, et pour un moment encore je l'espère, ton homme. De tout mon être merci d'être toi, merci d'exister !

A toutes celles et ceux que j'oublie et qui ont pris un moment pour partager leur savoir ou leur savoir-faire ; leur soutien ; ou quelques moments de joie….

Table des matières

ABREVIATIONS 6

Partie 1 : Introduction 7

I. Définition 7

II. Epidémiologie 7

III. Mécanismes du traumatisme balistique pénétrant 8

1. Classes d'armes à feu 9
2. Munitions 10
3. Mécanismes lésionnels du traumatisme par arme à feu 13

IV. Apport de l'imagerie dans le traumatisme balistique pénétrant 17

1. Radiographie 17
2. Echographie 20
3. Scanner 21
4. IRM 35

Partie 2 : Modalités de réalisation et d'interprétation de l'imagerie lors de la prise en charge initiale d'un patient vivant au décours d'un traumatisme balistique pénétrant 37

I. Introduction 37

II. Matériel et méthodes 38

1. Design et objectifs de l'étude 38
2. Population étudiée 39
3. Recueil des données 40

III. Résultats 45

1. Population 45
2. Modalités d'imagerie utilisées pour l'exploration du traumatisme 48
3. Analyse des comptes rendus de scanner 49

VI. Discussion 54

1. Population d'étude 54
2. Modalités de réalisation du scanner 56
3. Informations médico-légales dans le compte-rendu de scanner 57
4. Apport du scanner dans la réalisation du bilan lésionnel 60
5. Compte-rendu de scanner type 61
6. Points forts et limites de l'étude 63

V. Conclusion 64

Index des figures 65

Annexe 1 66

Annexe 2 67

Bibliographie 68

SERMENT D'HIPPOCRATE 70

ABREVIATIONS

3D : 3 Dimensions

CHU : Centre Hospitalo-Universitaire

MPR : Reconstruction multiplanaire (MultiPlanar Reconstrucion)

PACS : Système d'archivage et de transmission d'images (Picture Archiving and Communication System)

IRM : Imagerie par Résonnance Magnétique

ITT : Incapacité Totale de Travail

MAR : algorithme de Réduction des Artéfacts Métalliques (Metal Artifact Reduction)

SEMAR : Réduction des Artéfacts Métalliques en Simple Energie (Single Energy Metal Artifact Reduction)

SAMU : Service d'Aide Médicale Urgente

GNEDS : Groupe Nantais d'Ethique dans le Domaine de la Santé

INSEE : Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques

ORL : Otorhinolaryngologue

HSD : Hématome sous dural

HED : Hématome extra-dural

HSA : Hémorragie sous-arachnoïdienne

HIP : Hématome intra-parenchymateux

HIV : Hémorragie intra-ventriculaire

HTIC : Hypertension intracrânienne

DLP : Produit Dose Longueur

INVS : Institut National de Veille Sanitaire

Projet EPAC : Enquête Permanente sur les Accidents de la Vie Courante

Partie 1 : Introduction

I. Définition

Un traumatisme balistique pénétrant se définit par un traumatisme où les dommages tissulaires sont en rapport avec la pénétration dans l'organisme d'un projectile, quelle que soit sa nature. Il existe ainsi une multitude d'objets potentiellement impliqués, avec de la manière la plus classique, les armes à feu. Mais ces traumatismes concernent également, bien que plus rarement rencontrés : les engins explosifs divers (grenade, mine, bombe, obus), les armes à air comprimé dont les pistolets d'abattage, les pistolets à clous, les arcs et les arbalètes ; etc.

II. Epidémiologie

Les études les plus récentes estiment qu'il y aurait plus d'un milliard d'armes à feu en circulation dans le monde, dont environ 850 millions au sein de la population civile et seulement 12% d'entre elles seraient enregistrées (1).
Au total, 44% des homicides seraient à rapporter à l'usage d'une arme à feu. Elles auraient été responsables de 1,4 millions de morts dans le monde entre 2012 et 2016 et 2 millions de personnes vivraient avec des séquelles de blessures par arme à feu (2).

Leur répartition au sein de la population mondiale est très hétérogène, avec 120 armes pour 100 habitants aux Etats-Unis contre 19,6/100 habitants en France et 0.3/100 habitants au Japon. Celle-ci n'est toutefois pas superposable à leur usage ou à leur létalité ; ainsi au Brésil (8,3/100 habitants), au Salvador (12/100 habitants), au Honduras (14,1/100 habitants), respectivement 72%, 91% et 58,9% des homicides le sont par arme à feu (1).

Les Etats-Unis, vivier d'une réserve d'armes civiles importante, ne sont néanmoins pas épargnés par les violences associées aux armes à feu. Avec 45 222 décès (13,7 décès/100 000 habitants) en 2020, les armes à feu constituent la 2de cause de mortalité par traumatisme, avant les accidents de la voie publique (12,4/100 000 habitants) et à ce chiffre s'ajoutent les près de 90 000 personnes blessées chaque année de manière non létale (3).

En France, les statistiques associées au traumatisme par arme à feu sont moins connues car il n'existe pas de registre dédié. En 2014, elles seraient en cause dans 1594 décès (2,4/100 000 habitants), dont 24 accidents, 89 homicides, 1102 suicides et 379 causes indéterminées. Ce nombre serait en baisse depuis 2005 où l'on dénombrait 2187 décès ; en revanche, le nombre de blessures associées aux traumatismes par arme à feu n'est quant à lui pas connu.

III. Mécanismes du traumatisme balistique pénétrant

La compréhension des traumatismes balistiques pénétrants est facilitée par des connaissances élémentaires relatives aux différents types d'armes, de munitions, à leurs mécanismes d'action et à des concepts balistiques simples. Il existe une multitude d'armes à feu différentes qui peuvent être distinguées par : leur taille, la forme ou l'aspect de leur canon, la vitesse du projectile à la sortie du canon mais encore par les munitions employées et etc.

Dans les chapitres suivants, ces notions seront détaillées, mais quelle que soit l'arme, le mécanisme élémentaire est le même (***Figure 1***) : un projectile contenu dans une cartouche est propulsé à grande vitesse dans les airs par l'intermédiaire d'un canon. Cette propulsion résulte de la pression exercée sur la munition par la colonne de gaz dans le canon, créée par l'inflammation de la poudre suite au contact de la gâchette avec l'amorce (4).

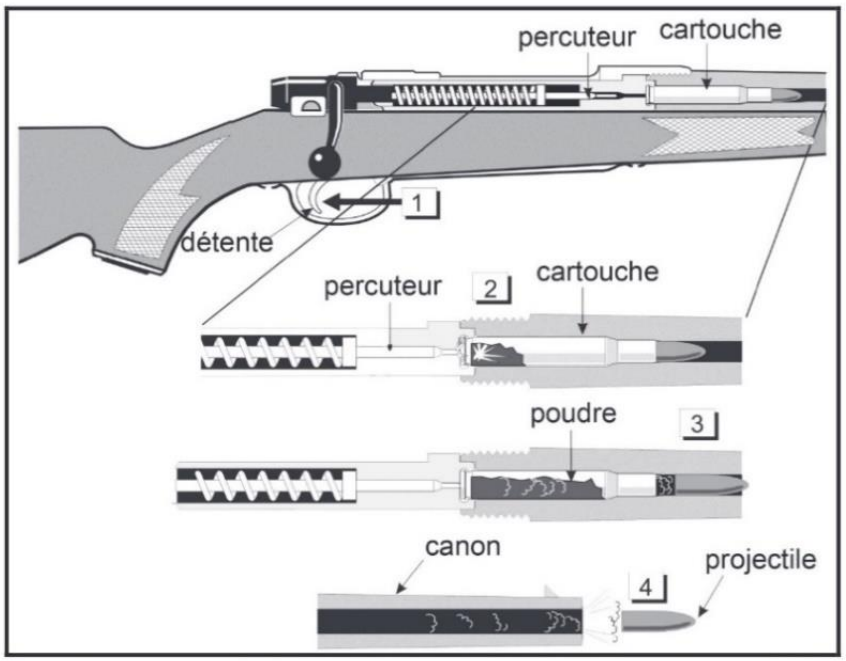


Figure 1. Illustration du fonctionnement élémentaire d'une arme à feu

1. Classes d’armes à feu

La vitesse du projectile à sa sortie du canon et le type de canon et de munitions employées sont deux caractéristiques de classifications communes des armes à feu (4–6).

A. Vitesse du projectile

Les armes à basse et haute vélocité sont différenciées par la vitesse d’expulsion du projectile à la sortie du canon selon qu’elle soit inférieure ou supérieure à 600m.s, celle-ci pouvant atteindre jusqu’à 1000m.s. Les premières sont représentées par les pistolets et les fusils à pompe tandis que les secondes sont représentées par les armes de guerre et certaines armes de chasse.

B. Type de canon

Les armes à canon lisse se distinguent par un alésage totalement poli. Les munitions employées correspondent à des cartouches remplies de billes. A la sortie du canon, les billes se dispersent dans l’espace selon une forme conique (appelé « gerbe »), plus ou moins marquée selon la longueur et la forme du canon (***Figure 2)***. Les fusils à pompe et les fusils de chasse sont deux types d’armes à feu équipées de ce canon (4).

Les armes à canon rayé se distinguent par la présence de rainures sur toute la longueur de ce dernier ***(Figure 2)***. Les munitions employées sont des cartouches avec un projectile unique, la balle, dont les caractéristiques peuvent être très différentes.
Les rainures présentes à l'intérieur du canon imposent un mouvement de rotation sur son axe à la balle lors de son passage, responsable de son accélération et de sa stabilisation sur sa trajectoire. Certaines imperfections du canon, si elles existent, vont être responsables d’un mouvement indésirable d’oscillation du projectile sur son axe. Les armes de poing, les fusils d’assaut et certains fusils de chasse sont équipés de ce type de canon (4).

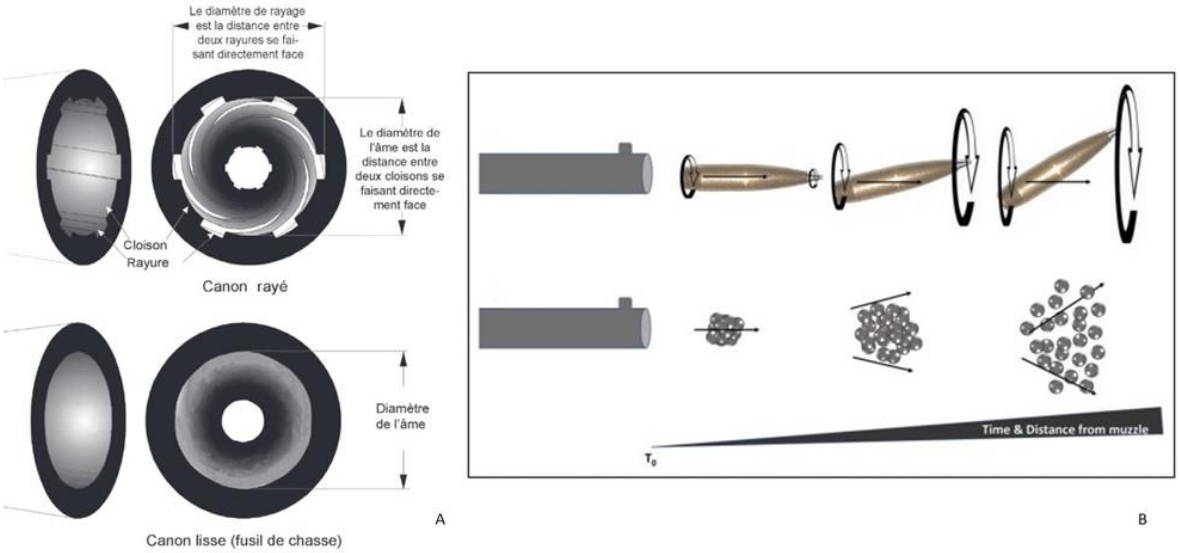


Figure 2. Distinction entre canon rayé et canon lisse

A : Schéma de l'intérieur d'un canon rayé (en haut), lisse (en bas)
B : Illustration du comportement des projectiles selon le type de canon (rayé en haut, lisse en bas).

2. Munitions

Une « munition » est un terme générique désignant un ensemble destiné à charger une arme à feu. Lorsqu'il s'agit d'un fusil ou d'une arme de poing, il s'agit d'une enveloppe, appelée « douille » ou « étui » selon la taille du projectile. Celle-ci est constituée des éléments suivants : une amorce, une charge propulsive (à base de poudre), une matière tampon (appelé "bourre") et le ou les projectile(s) expédié(s) par le canon, généralement une balle ou de la grenaille (4,7) ***(Figure 3)*** :

- La grenaille contenue dans les cartouches des armes à canon lisse est un amas de billes constituées de plomb ou d'acier, et dans plus rarement, de polymères ou de tungstène (4).

- Les balles des armes à canon rayés, aux modèles multiples, peuvent être distinguées selon : la forme de leur pointe (ronde, creuse, chemisée, conique, ogive), le mécanisme d'amorçage (percussion centrale ou annulaire) ou leur enveloppe extérieure.
  L'ensemble de ces propriétés modifie le « comportement » de la balle lors de sa trajectoire et de son impact, et donc les dommages corporels provoqués par chaque projectile (7).

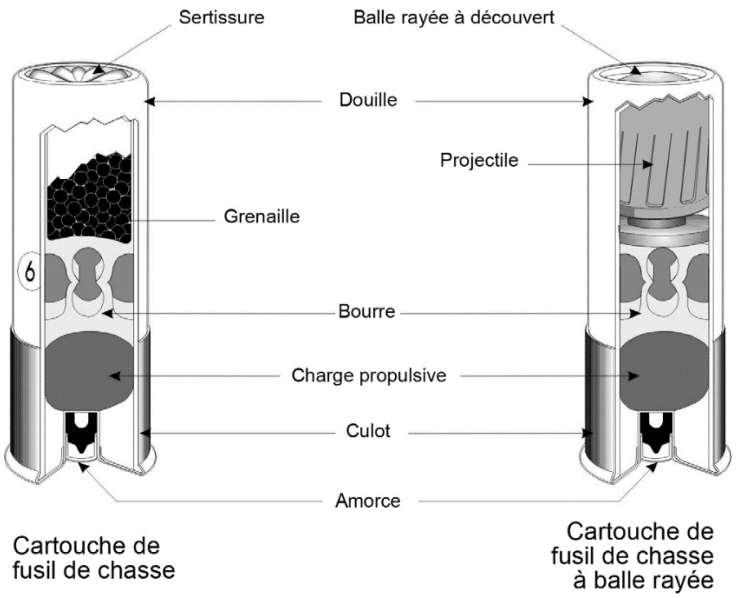


Figure 3. Eléments constituant les cartouches utilisées selon le type de canon

Concernant les balles plus spécifiquement, leur enveloppe extérieure a un impact primordial sur leurs capacités de perforation (4,7) ***(Figure 4)*** :

- Les balles type « Full metal jacket », ou « balles blindées », dites aussi « balles chemisées » sont conçues pour rester intactes à l'impact, et possèdent un fort potentiel de perforation. Cette propriété leur permet de traverser des structures solides telles que des murs. Au contact du corps, elles traversent la cible avec facilité, réduisant l'énergie déposée au sein des tissus et donc la mortalité et morbidité associées au traumatisme. Ce type de munition a été adopté par la conférence de Haye en 1899, légiférant sur le type de projectile à utiliser dans le domaine militaire.

- Les balles type "Semi jacket" ou "demi-blindées" sont conçues pour se déformer lors de l'impact. Cette propriété maximise l'énergie déposée dans les tissus et donc les dommages potentiels. Leur caractère moins perforant diminue toutefois nettement le risque que la balle traverse la cible et permet d'éviter les dommages collatéraux.

- Les balles non blindées ne sont recouvertes d'aucun alliage métallique. Elles se déforment ou se fragmentent aisément lors de l'impact (5).

Figure 4. Enveloppe extérieure des balles de canon rayé
A : Balle non blindée ; B : Balle semi-blindée ; C : Balle blindée

A noter qu'il existe également des balles adaptées aux canons lisses, dont les formes peuvent être variées et parfois bien différentes de celles utilisées dans les canons rayés ***(Figure 5)*** ; c'est le cas des balles Brenneke, Blondeau, Solengo, Slug, Sauvestre, etc.

La chevrotine est un type de munition semblable à la grenaille, à l'exception que les billes qui la composent sont de calibre supérieur, leur conférant des propriétés de « mini-balles ». Son usage est très règlementé en France.

L'évolution récente de la législation européenne vise à interdire l'utilisation du plomb dans la composition des munitions utilisés pour la chasse dès l'année 2023. Celui-ci sera remplacé par de nouveaux métaux tels que le cuivre ou l'acier. Ces changements de matériaux pourraient avoir un impact sur certains aspects de l'imagerie, tel qu'il est décrit dans la partie 4 du IV à propos de l'IRM.

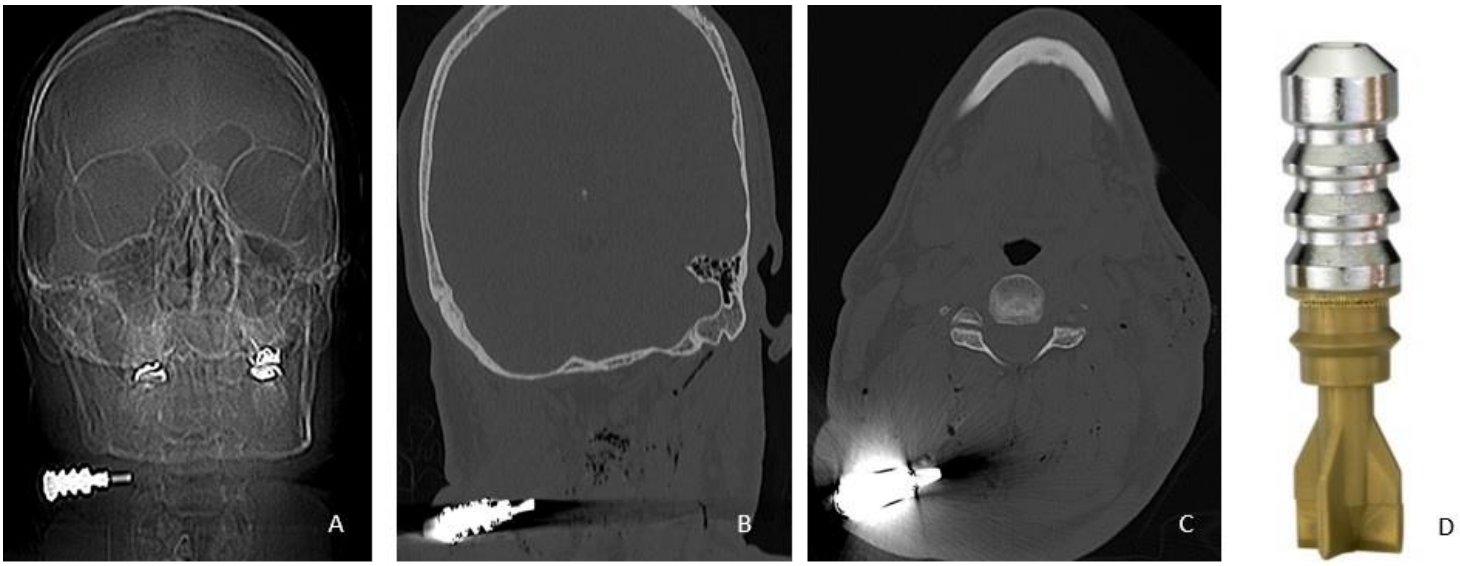


Figure 5. Balle "Sauvestre" pour canon lisse
A : Topogramme Coronal ; B : Coronale ; C : Axiale ; D : Aspect réel

3. Mécanismes lésionnels du traumatisme par arme à feu

A. Généralités

Les lésions rencontrées dans le traumatisme balistique pénétrant sont la conséquence d'une destruction des tissus du corps humain suite à l'apport et à la distribution d'énergie cinétique en leur sein par le projectile.
Cette destruction résulte de l'association d'un phénomène de dissection des tissus lors du passage du projectile et d'un phénomène de cavitation temporaire (8–10). Le premier est prépondérant avec les armes à faible vélocité et le second avec les armes à haute vélocité (5).

A l'impact et lors de la traversée du projectile, une onde sonique se propage dans le corps perpendiculairement à la trajectoire de celui-ci. Son potentiel lésionnel est discuté et si il est admis qu'il n'est pas associé aux dommages tissulaires (11), certains auteurs incluent cette composante dans le phénomène de cavitation temporaire, décrit dans le paragraphe suivant (4,12).

L'énergie maximale portée par un projectile est corrélée à son potentiel lésionnel, et peut être évaluée selon la formule : $E = 1/2mc^2$ (E= énergie (J), m = masse (g), c = célérité (m.s)) (4,12).
Dans le cadre des traumatismes par armes à feu, l'énergie du projectile dépend majoritairement de sa célérité, car la masse des billes ou d'une balle est relativement faible. De cette manière, le potentiel lésionnel est donc plus important pour les armes à haute célérité.
Il faut toutefois noter que la dispersion de l'énergie dans les tissus est un facteur plus important que l'énergie du projectile lui-même et celle-ci a lieu lorsque le projectile s'arrête. Ainsi, un projectile projeté à grande vitesse traversant le corps de part en part disperse son énergie de manière moindre qu'un projectile dont la trajectoire s'interrompt au sein des tissus (12,13).
Ce phénomène est illustré par le potentiel lésionnel majeur des fusils à pompe à courte distance. Bien qu'appartenant à la classe d'armes à basse vélocité, d'importantes lésions tissulaires sont constatées. En effet, la distribution de l'ensemble de l'énergie des projectiles employés dans ce type d'arme, à courte distance, se fait dans la cible (5).
Au final, les dommages occasionnés par une arme à feu sont corrélés à l'énergie libérée par le projectile au sein des tissus.

Comme chaque tissu du corps humain a des capacités de déformation qui lui sont propres, chaque organe présente une sensibilité différente au traumatisme balistique pénétrant. En effet, cette propriété modifie la dispersion de l'énergie cinétique, précédemment décrite.
Les structures vasculaires de petit calibre y sont très sensibles ; et par comparaison, les tissus de plus forte densité comme l'os ou de plus faible élasticité comme le cerveau et le foie, sont bien plus sensibles que le poumon (très élastique et peu dense) (12).
L'os constitue un tissu particulier dans les traumatismes balistiques, puisque sa densité et sa résistance sont capables de modifier ou d'interrompre la trajectoire d'un projectile. De cette manière, la rencontre d'un projectile avec une structure osseuse est susceptible d'accroitre la libération d'énergie de celui-ci et donc les dommages aux tissus environnants (8,11).

En conclusion, le profil d'entrée du projectile, son calibre, son « design », la distance parcourue dans le corps, sa capacité à se fragmenter et les caractéristiques biologiques des tissus traversés sont autant d'éléments susceptibles d'influencer la dispersion de l'énergie cinétique portée par le projectile. De ce fait, compte tenu des très nombreux paramètres impliqués, il n'existe à l'heure actuelle aucun modèle permettant de prédire pour une arme ou une munition donnée les dommage corporels qui leur sont associés (11,12).

B. Traumatisme balistique par balle

Les traumatismes par balle peuvent être distinguées selon leur caractère « perforant » ou « pénétrant ». Ils sont dits perforant lorsque la balle traverse une structure de part en part et pénétrant si un de ses fragments reste dans le corps (8,12). Certains auteurs qualifient le traumatisme « d'avulsif » lorsque le projectile traverse le corps de part en part en rapport avec une perte de substance tissulaire majeure (12). Le mécanisme lésionnel de cavitation adopte un schéma particulier : un phénomène de cavité temporaire s'ajoute à la cavité permanente (4).

- La cavité permanente correspond à la zone de destruction des tissus au contact de la balle sur sa trajectoire. Elle est de forme théorique conique, mais présente en réalité une forme sinusoïdale ou elliptique, car la balle adopte un mouvement d'oscillation sur son axe, causé par les imperfections du canon. Cette trajectoire imparfaite explique : la différence entre la taille du projectile et l'orifice d'entrée (la balle ne s'impacte pas toujours dans la cible par la pointe), l'aspect de la cavité au sein des tissus ***(Figure 6)*** et l'aspect non arrondi de l'orifice de sortie (4).

- La cavité temporaire est un phénomène éphémère qui résulte de la déformation des tissus provoquée par l'onde de choc lors du passage de la balle (4,11) ***(Figure 6)***. Elle dépend de l'énergie apportée par la balle et dure le temps de la contraction et de la décontraction des tissus en périphérie de la cavité permanente. Des dommages peuvent donc survenir à distance de la cavité permanente, lorsque la limite d'élasticité des tissus lors de leur contraction et décontraction est atteinte.

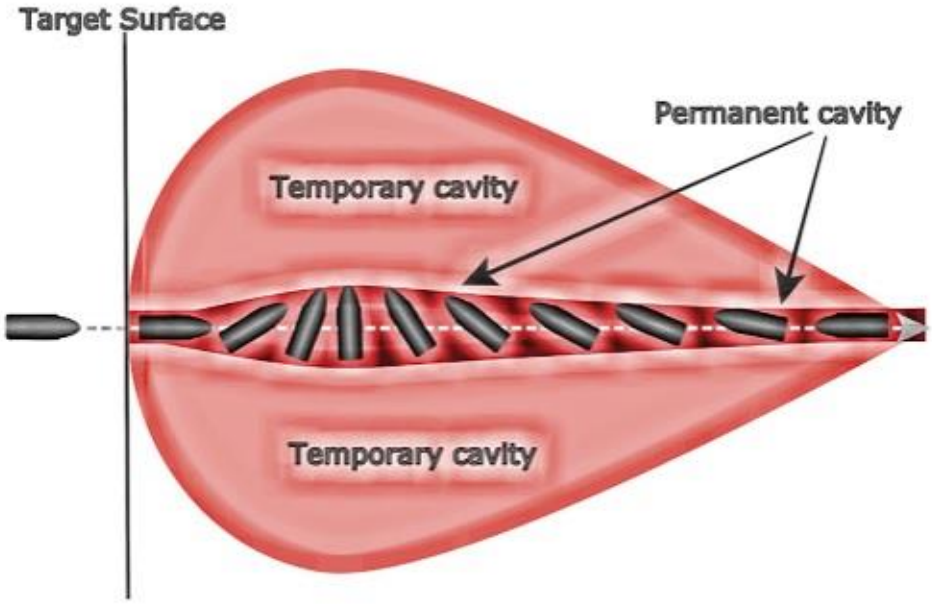


Figure 6. Schéma des cavités permanente et temporaire au sein d'une cible

Classiquement, une balle traverse la victime de part en part en réalisant sa cavité permanente sur sa trajectoire. Elle peut alors, soit s'arrêter dans la cible, faute d'énergie suffisante ; soit ressortir du corps de la victime, en l'absence de résistance significative ; ou elle peut entrer en contact avec une structure osseuse. A ce contact, sa course peut être stoppée ou déviée de sa trajectoire initiale et dans certains cas, elle peut se fragmenter. Ces fragments annexes sont alors susceptibles d'adopter un comportement de « nouveaux » projectiles au sein de la cible (8,12).

C. Traumatisme balistique par grenaille

Dans les traumatismes par grenaille, les blessures et le pattern lésionnel diffèrent selon la distance entre la cible et le canon. En effet à sa sortie, les plombs se dispersent dans l'espace et l'énergie associée au traumatisme dépend du nombre de projectiles atteignant la victime et de la proximité de celle-ci avec le canon. Lorsque le canon est proche de la cible, les plombs ne sont pas dispersés dans l'espace ***(Figure 7)*** et l'énergie cinétique totale de l'ensemble est importante, responsable d'un fort potentiel lésionnel et de lésions majeures (4). A l'inverse, lorsque le canon est situé à distance, l'énergie de chaque plomb décroît rapidement et présente ainsi un potentiel lésionnel nettement moins important. Les plombs déposent dans la plupart des cas la totalité de leur énergie restante au sein des tissus et y sont retenus (4,14).

La distance entre le canon et la victime peut être estimée, selon la distribution des lésions : à plus de 12 mètres, il est observé un criblage des tissus cutanés et sous-cutanées superficiels alors qu'entre 3 et 12 mètres, le criblage des tissus est plus profond. A moins de 3 mètres, l'absence de dispersion des plombs il peut être observé un "effet balle" avec un orifice d'entrée unique et des lésions importantes (15) .

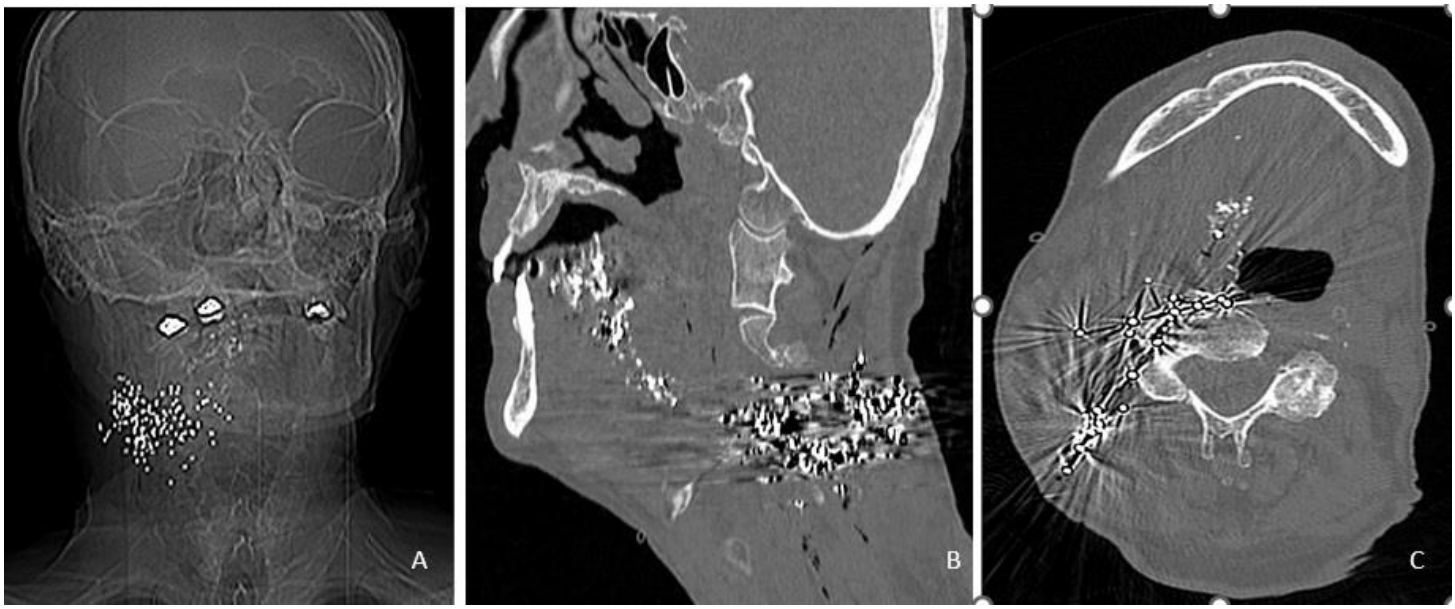


Figure 7. Faible dispersion de la grenaille à faible distance
Traumatisme balistique par grenaille au décours d'une tentative de suicide avec canon situé dans la cavité buccale.
A : Topogramme coronal ; B : TDM Sagittale en reconstruction osseuse ; C : TDM Axiale (C3) en reconstruction osseuse.

IV. Apport de l’imagerie dans le traumatisme balistique pénétrant

Dans la prise en charge du patient traumatisé balistique hémodynamiquement stable, l’intérêt de l’imagerie repose sur sa capacité à réaliser un bilan lésionnel précis et à apporter des informations nécessaires au raisonnement médico-légal. L'objectif de l’imagerie est d'orienter les équipes médicales impliquées dans la prise en charge initiale dans le choix des examens complémentaires et des thérapeutiques les moins invasives possibles pour améliorer le pronostic vital et fonctionnel.

Le médecin légiste, lui, se réfère au bilan lésionnel pour déterminer l'ITT (ou incapacité totale de travail qui correspond à l’unité de mesure utilisée en droit pénal pour quantifier les blessures subies par une victime), élément déterminant dans le cadre médico-judiciaire. Il peut également s'appuyer sur les données de l'imagerie pour déterminer : la trajectoire du projectile, le nombre et la localisation des orifices d’entrée et de sortie, la localisation du projectile et des fragments à l’intérieur du corps. Ces éléments lui permettent d'affiner sa compréhension du traumatisme et d'établir une corrélation et une compatibilité entre ces données objectives et les faits supposés ou rapportés (6,12).

Dans ce chapitre, nous allons exposer pour chaque modalité d'imagerie, son apport potentiel à la réalisation du bilan lésionnel et du bilan médico-légal.

1. Radiographie

A. Bilan médico-légal

La radiographie standard est un outil historique dans l’étude des traumatismes balistiques. Les premiers usages rapportés de recherche d’un projectile balistique suite à une blessure par arme à feu avant son extraction chirurgicale datent de 1896 (16).

Elle permet d’identifier et de localiser le projectile aisément sous forme d’une opacité de taille et de forme caractéristiques ***(Figure 8)***. Elle permet également de préciser sa nature en distinguant la grenaille de plomb et les balles, et pour ces dernières d’attester de leur caractère fragmenté.

La trajectoire est estimée sur les images essentiellement par la présence d’emphysème et par les fractures osseuses sur le parcours du projectile. L'analyse des fractures osseuses fait l'objet de plusieurs études détaillées, car elle permet de déterminer la direction du projectile.

L’orifice d’entrée et l’orifice de sortie peuvent être estimés sur la radiographie en analysant les modifications radiographiques des parties molles et la présence d’un emphysème sous-cutané (8).

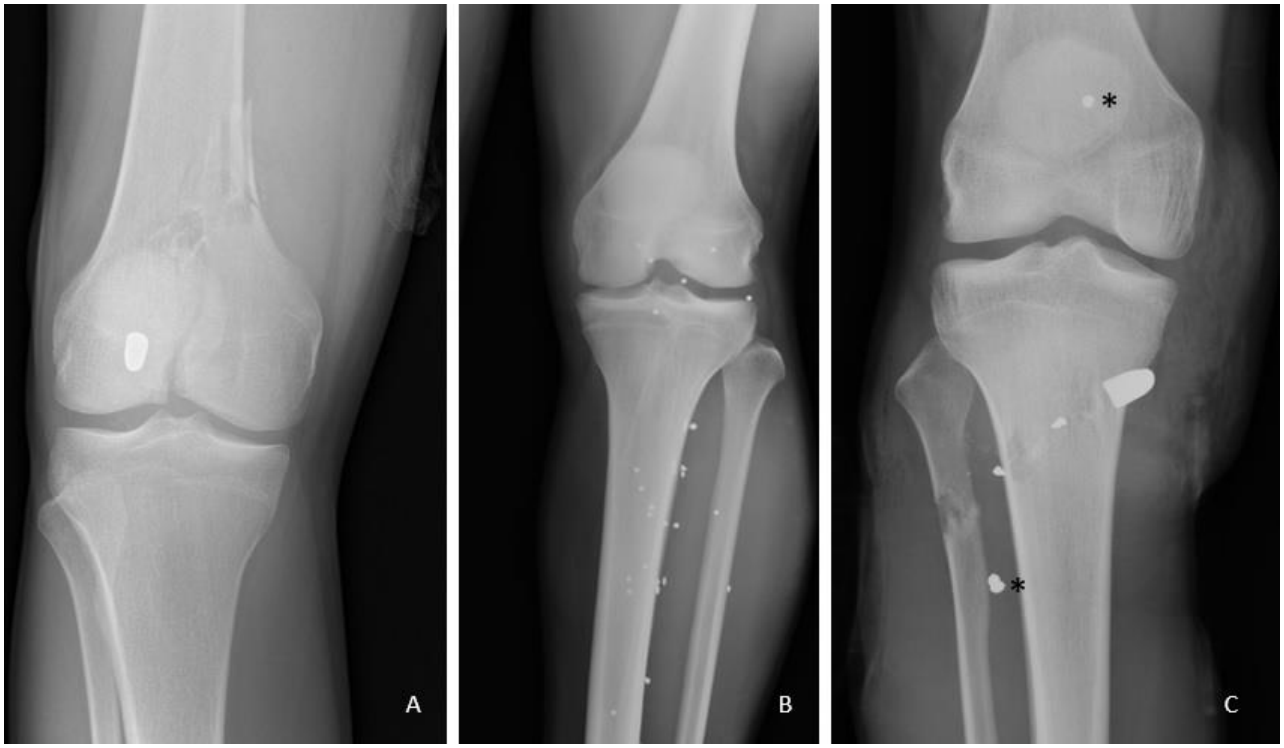


Figure 8. Nature du projectile à la radiographie

A : Traumatisme par balle ; B : Traumatisme par grenaille ; C : Traumatisme aiguë par balle, chez un patient aux antécédents de traumatisme par grenaille (*)

La radiographie est un examen disponible facilement et rapidement, constituant un avantage dans la prise en charge en urgence. D'un point de vue technique, elle dispose d'une excellente résolution spatiale et elle n'est pas sensible aux artefacts métalliques ; elle est, de ce fait une méthode d'exploration de choix dans ce type de traumatisme. Si les radiographies sont la seule modalité d'imagerie utilisée pour l'exploration du traumatisme, il convient de les réaliser dans deux incidences orthogonales, afin de ne pas limiter l'analyse de la trajectoire à un seul plan de dimension (8).

Il faut toutefois noter que les conditions techniques de réalisation d'un examen radiographique sont responsables d'un phénomène d'agrandissement, inhérent à cette méthode d'imagerie. Celui-ci est susceptible, ajouté à la déformation du projectile, d'entraîner des erreurs dans la mesure de ce dernier, si celle-ci est réalisée sur les clichés.

Il convient également de préciser que l'analyse des trajectoires limitée à deux plans de l'espace en radiographie est moins précise que l'analyse permise par le scanner. De la même manière, l'analyse des parties molles sur cette modalité est très sommaire et les informations obtenues pour déterminer les orifices d'entrée et de sortie sont moins précises qu'une analyse clinique visuelle (8) ***(Figure 9)***.

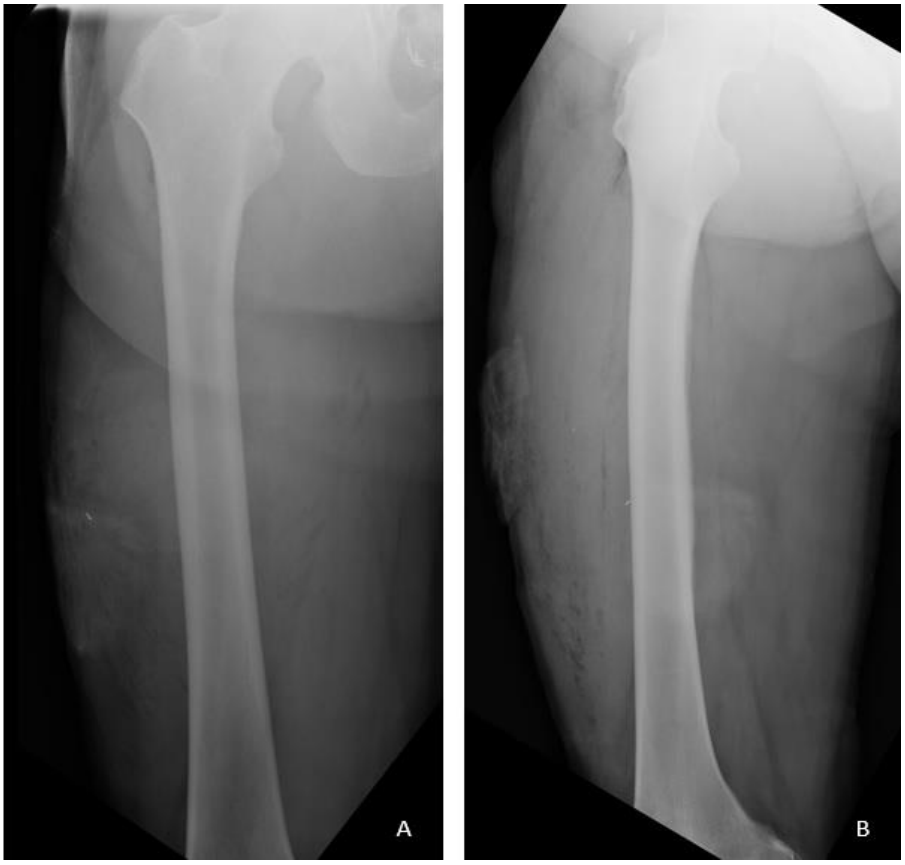


Figure 9. Difficultés à visualiser l'orifice d'entrée et de sortie en radiographie

A : Radiographie de face ; B : Radiographie de profil
*A l'examen clinique : orifice d'entrée de la balle à la face antérieure de cuisse droite 3*3cm, ronde et orifice de sortie à la face postéro-externe de la cuisse de 5*3cm.*

B. Bilan lésionnel

L'exploration radiographique des traumatismes balistiques de la région crânio-encéphalique est d'une faible rentabilité pour établir le bilan lésionnel.

Dans l'exploration des traumatismes du tronc, la radiographie standard a un intérêt pour rechercher des lésions engageant le pronostic vital immédiat (un pneumothorax, un hémothorax ou une tamponnade). Elle ne dispose toutefois pas d'une précision suffisante pour évaluer l'intérêt de réaliser des investigations complémentaires ou pour indiquer une exploration chirurgicale (5).

Dans le cadre de l'exploration d'un traumatisme des membres périphériques, elle peut être une suffisante pour le bilan lésionnel initial. En effet, celui-ci est complété par le parage chirurgical de la plaie, qui est la règle lors des traumatismes par armes à feu. Des explorations complémentaires peuvent toutefois être demandées, particulièrement si une lésion vasculaire est suspectée cliniquement.

2. Echographie

A. Bilan médico-légal

L’échographie n’est pas une modalité d'imagerie de choix dans le cadre du bilan médico-légal. Les artefacts générés par le matériel sont responsables de difficultés à identifier le projectile. S’y associent les artéfacts générés par le gaz, l'air extrinsèque et les éventuels fragments métalliques, qui avec à la perte de repère anatomique par la destruction tissulaire rendent l'évaluation de la trajectoire difficile (17).

Ajouté à cela, aucune information nouvelle ne serait apportée par l'échographie concernant les orifices d'entrée et de sortie comparativement à l'analyse clinique seule.

B. Bilan lésionnel

En urgence, l'exploration échographique des traumatismes crânio-encéphaliques n'est pas de l'ordre de la pratique courante. L'étude de la vascularisation cérébrale par les méthodes de doppler transcrânien pourrait apporter des informations utiles sur la perfusion cérébrale mais ne permettrait toutefois pas de surseoir à l'investigation scanographique.

Dans l'exploration des traumatismes du tronc, comme la radiographie, l’échographie de type “fast echo” bénéficie d’une place de choix dans la stratégie d'évaluation initiale. Elle permet de rechercher les lésions engageant le pronostic vital immédiat, tels qu’une tamponnade, un pneumothorax ou un hémothorax. Elle dispose d'un avantage particulier sur la radiographie, car elle permet la détection d'un hémopéritoine, avec une très bonne sensibilité (évaluée supérieure à 97 %) dès lors qu'il est supérieur à 600mL (5).

Dans l'exploration des traumatismes des membres périphériques, l'échographie ne semble pas être une méthode d’exploration de choix. En effet, elle n'est pas la modalité de référence pour rechercher les fractures, fréquentes dans ce contexte. Elle peut permettre de préciser les lésions vasculaires, mais l'exploration doppler vasculaire par un opérateur qualifié présente une faible disponibilité en urgence et les artefacts, cités ci-dessus, sont également une limite technique potentielle importante.

Au total, l'échographie présente un intérêt dans la prise en charge en urgence sur une modalité de type « fast echo » mais reste insuffisante pour établir un bilan lésionnel précis et ne permet pas à elle seule de dispenser d’explorations complémentaires ou d’une prise en charge chirurgicale (5).

3. Scanner

A. Bilan médico-légal

Au scanner, le projectile est facilement identifié sous forme d'un corps étranger spontanément hyperdense. Il s'agit également de la meilleure modalité d'imagerie pour déterminer l'existence de fragments et les localiser de manière précise.

L'orifice d'entrée et l'orifice de sortie peuvent être localisés par les modifications de densité des tissus sous-cutanés. Ils peuvent être visualisés directement sous forme d'un défect épidermique ou par des signes indirects comme les bulles d'emphysème et l'infiltration des tissus sous-cutanés. Lorsqu'il s'agit d'un traumatisme par grenaille et en l'absence de contact direct entre le canon et la peau, il existe généralement une multitude d'orifices d'entrée. Il n'existe pas de consensus sur leur description au scanner, mais préciser le décompte exact peut s'avérer fastidieux. Dans ce cas, renseigner l'ordre de grandeur du nombre de plombs et préciser la zone d'impact semblent un compromis dans les informations apportées.

Dans le cadre des traumatismes par balle perforants, il peut être difficile de différencier l'orifice d'entrée et l'orifice de sortie. Pour les distinguer, outre la connaissance des données cliniques et l'analyse de la trajectoire, il faut noter que l'orifice d'entrée est généralement plus petit que l'orifice de sortie.

Dans les cas particuliers des traumatismes par balle avec un contact entre le canon et la peau (bout touchant voire bout touchant appuyé), il est possible de localiser l'orifice d'entrée grâce au marquage hyperdense sous-cutané ***(Figure 10)***. Il s'agit de la traduction scanographique du tampon épidermique noirâtre visible cliniquement et du décollement cutané provoqué par les gaz sortant de la bouche du canon (effet « chambre de mine ») (13,18).

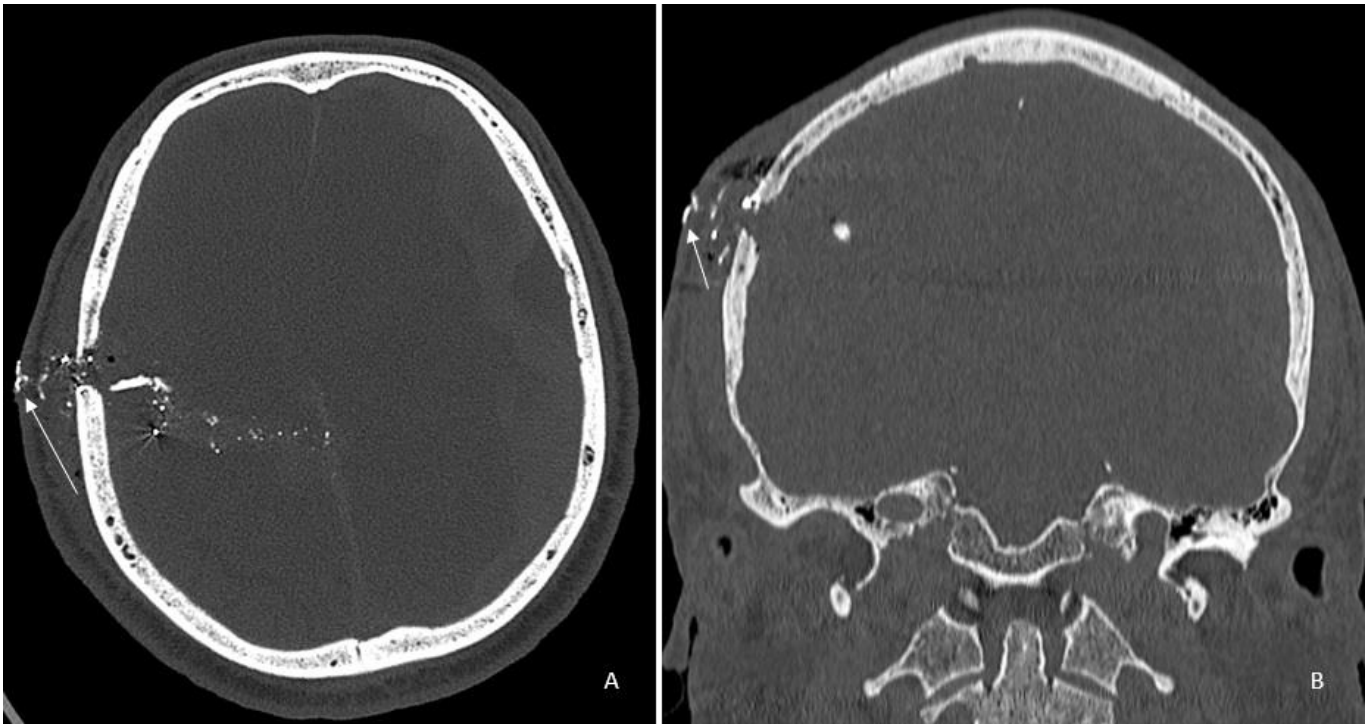


Figure 10. Hyperdensité linéaire épidermique

A : Axiale en reconstruction osseuse ; B : Coronale en reconstruction osseuse

La trajectoire intracorporelle du projectile est visualisée sous forme d'une empreinte associant des remaniements hémorragiques, des bulles d'air et parfois des fragments de projectile ou d'os (8,13). L'intérêt d'évaluer les trajectoires par scanner est établi depuis le milieu des années 1980. Cette application s'est nettement améliorée avec la possibilité de recourir à des reconstructions multiplanaires et de réaliser des coupes en double oblique permettant une analyse précise des trajectoires, conférant à cette méthode d'imagerie une sensibilité et une spécificité excellentes pour ce type d'étude (13,19) ***(Figure 12)***.

Au cours de l'analyse de la trajectoire, il est important de prendre en compte la possible déviation du projectile par les structures osseuses, mais également la position d'exploration du sujet d'étude en décubitus dorsal. Cette position est susceptible de modifier l'aspect de la cavité permanente, car les tissus se compactent dans les régions postérieures sous l'effet de la gravité (8). De la même manière, elle peut entraîner de sérieuses difficultés à l'élaboration des trajectoires au scanner. En effet, cette posture correspond rarement à celle du patient lors du traumatisme (exemple : trajectoire courbe chez un patient penché) et le caractère statique de l'étude ne prend pas en compte le caractère mobile des différents segments anatomiques, qui pourraient s'être trouvés dans une autre configuration lors du traumatisme ***(Figure 11)***. A titre d'exemple, on peut citer : la modification de la position des coupoles diaphragmatiques par la respiration ; la modification de l'orientation de la tête dans l'espace ; le déplacement antérieur d'une cuisse dans le plan sagittal ; etc. (4,8).

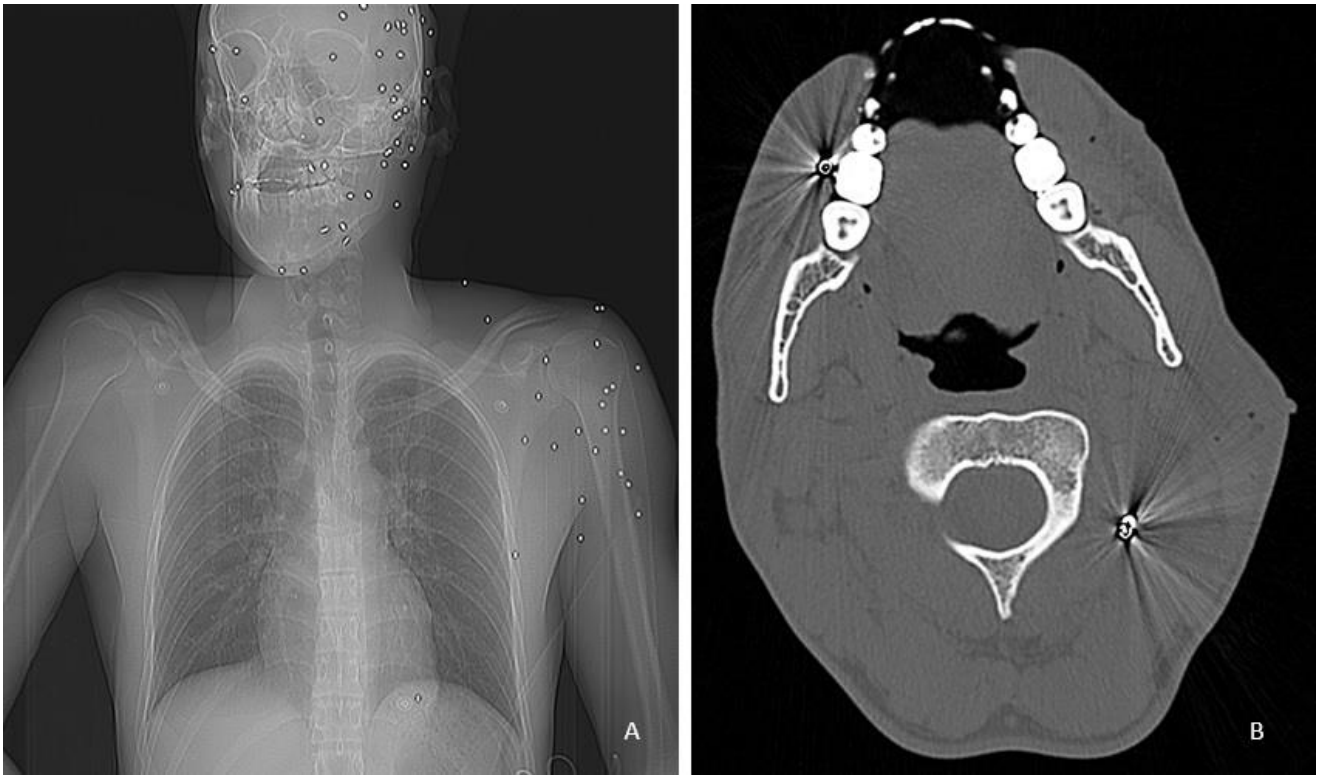


Figure 11. Position différente d'un segment anatomique entre le scanner et le traumatisme

A : Topogramme coronal ; B : Axiale en reconstruction osseuse.
Patient victime d'un traumatisme hétéro-infligé. L'atteinte de l'hémiface droite contraste avec l'épargne de l'hémicorps droit ; la tête du patient était vraisemblablement dans une position différente lors du traumatisme.

En pratique et dans les cas les plus simples de traumatisme par balle, il convient de repérer l'orifice d'entrée et l'orifice de sortie si ceux-ci sont présents. Sinon, il convient de repérer le projectile intracorporel. Ces deux points constituent les repères proximal et distal de la trajectoire.

Ensuite, à l'aide des reconstructions en double oblique, il faut établir un plan de coupe passant par ces deux points. Dans certains cas, cette trajectoire sera adéquate et constituera la trajectoire intracorporelle vraisemblable, dans les autres cas il conviendra de rechercher les points de repère intermédiaires, représentés par les structures osseuses.

Depuis l'orifice d'entrée, il s'agit alors de rechercher le premier os rencontré par le projectile. À son contact, il faut établir deux paramètres : si la balle se fragmente d'une part et si la trajectoire de la balle est déviée d'autre part. Il est alors possible de déterminer un nouveau plan en double oblique entre le point de contact osseux (point intermédiaire) et le point de repère distal (ou jusqu'à une nouvelle structure osseuse intercurrente).

Les trajectoires secondaires des principaux fragments peuvent être recherchées en reproduisant cette procédure depuis le point de contact osseux (repère proximal) jusqu'aux fragments (repère distal) (20).

Cette analyse permet une description de la trajectoire dans les trois plans de l'espace qui est la méthode de référence en médecine légale pour décrire le parcours d'une balle dans le corps humain (8,12). Il est important de souligner que cette trajectoire intracorporelle est proposée par le radiologue ; sa validation définitive est établie avec le médecin légiste.

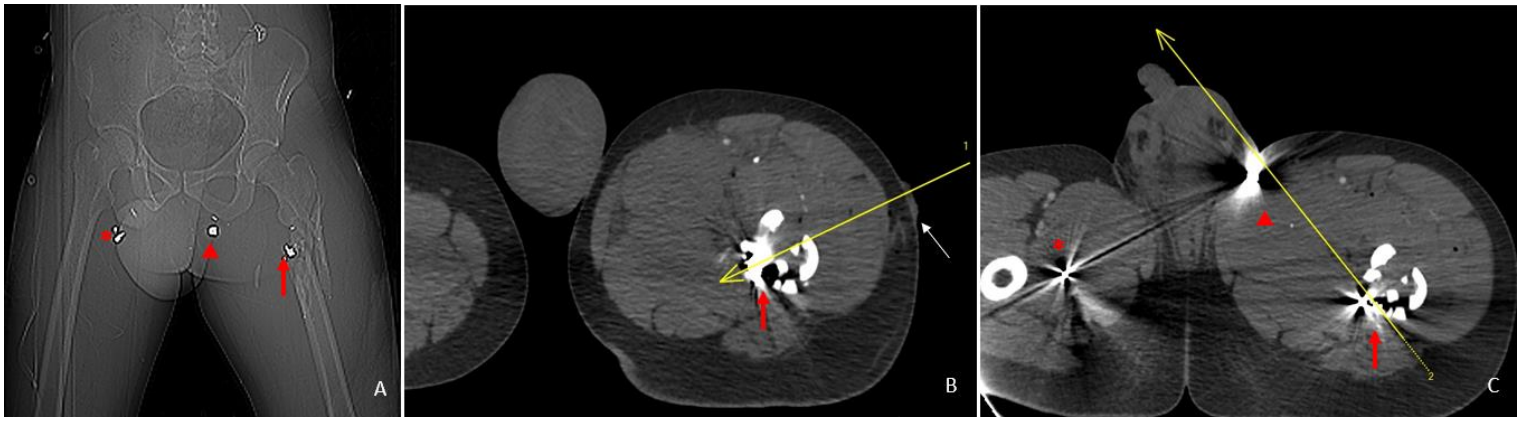


Figure 12. Annotation d'une trajectoire au scanner
A : Topogramme coronal ; B : Axiale, passant par l'orifice d'entrée (flèche blanche) et le premier fragment (flèche rouge) ; C : Axiale visualisant des fragments plus à distance (tête de flèche et astérisque).
Trajectoire déviée par la diaphyse fémorale gauche avec un fragment arrêté (flèche rouge), puis par l'ischion gauche avec des fragments arrêtés dans le creux inguinal gauche et des fragments poursuivant leur trajectoire dans la loge musculaire médiale du membre inférieur droit.

Le traumatisme perforant et le traumatisme par de multiples balles sont deux situations susceptibles de compliquer l'interprétation scanographique. En effet lors d'un traumatisme perforant, l'absence de lésion d'organe plein ou de structure osseuse peut nuire à la visibilité de la trajectoire et sa direction peut être très difficile à déterminer. Pareillement, dans l'exploration d'un traumatisme avec de multiples balles, l'association des trajectoires des projectiles et leur correspondance avec les orifices d'entrée et les orifices de sortie peut s'avérer extrêmement fastidieuse, voire impossible (8).

Au scanner comme en radiographie, il existe des limites à l'analyse biométrique du projectile, car sa composition est génératrice d'artefacts métalliques susceptibles d'altérer significativement la qualité de l'image. Ces artefacts, associés à la déformation possible du projectile, peuvent également engendrer des erreurs de mesure de ce dernier (8).

L'analyse des parties molles est de meilleure qualité au scanner qu'en radiographie, mais la détermination des orifices d'entrée et des orifices de sortie reste imparfaite. Cette analyse pourrait être moins précise qu'un examen visuel direct, et cela est encore plus vrai pour les orifices d'entrée et de sortie situés dans la région dorsale, du fait de la compression des tissus mous par la table de scanner. Il faut toutefois souligner que l'examen visuel des plaies n'est pas toujours réalisable en urgence compte tenu des soins locaux (exemple : multiples pansements) ou en raison de la difficulté de visualiser certaines régions anatomiques (exemple : cuir chevelu) (8).

B. Bilan lésionnel

Le scanner est à l'heure actuelle la modalité d'imagerie de référence pour établir le bilan lésionnel chez un patient victime d'un traumatisme balistique pénétrant et stable sur le plan hémodynamique. Il est relativement accessible et il dispose d'une spécificité et d'une sensibilité dans la détection des lésions très satisfaisante (4,21).

a. Traumatisme de la région crânio-encéphalique

Dans l'évaluation des traumatismes crânio-encéphaliques, le scanner permet d'établir le caractère intra ou extra-encéphalique de la trajectoire. Il permet de rechercher et de quantifier le saignement intracrânien et les dommages sur le parenchyme cérébral, qui conditionnent l'engagement thérapeutique (5) ***(Figure 13)***.

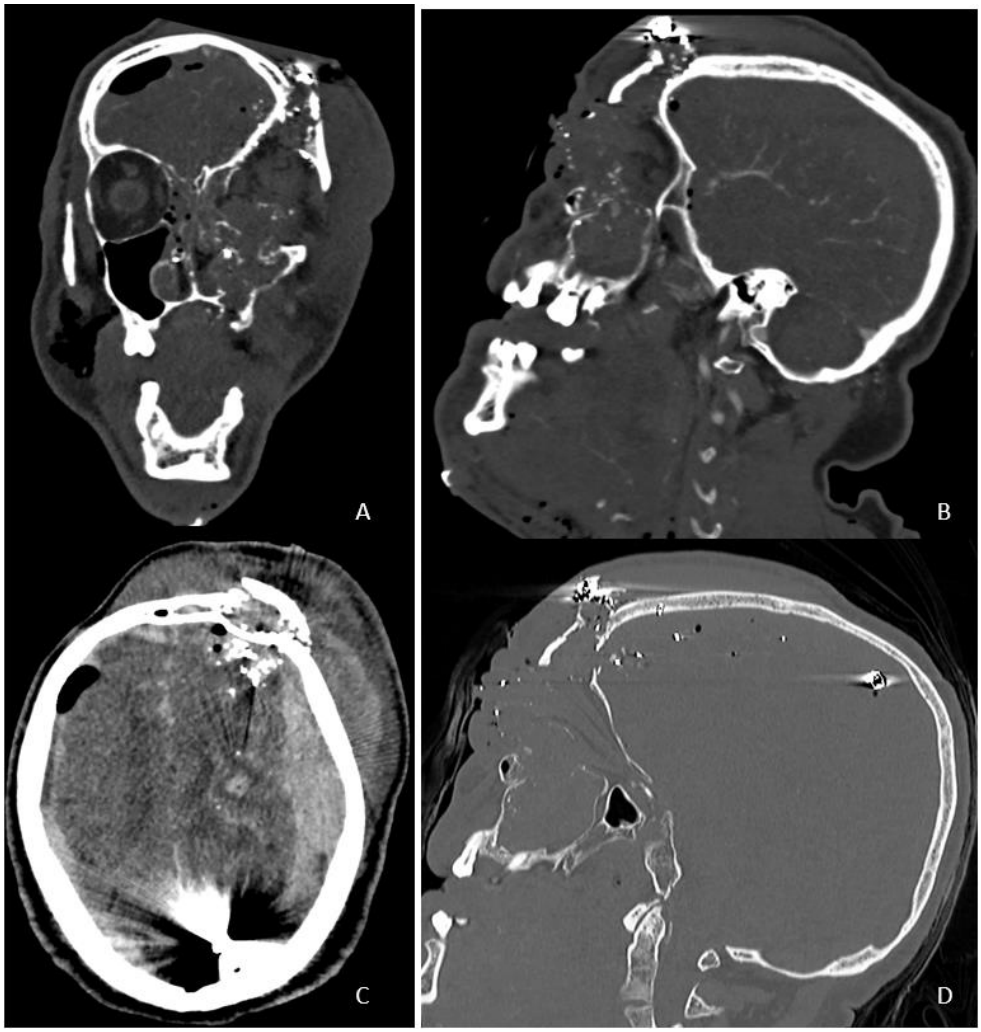


Figure 13.Caractère intra et extra-encéphalique d'un traumatisme par balle

A : Paracoronale en fenêtre osseuse après injection ; B : Parasagittale en fenêtre osseuse après injection
C : Parasagittale en reconstruction osseuse ; D : Axiale sans injection.
Traumatisme par balle avec orifice d'entrée sous-mentonnier et orifice de sortie visible cliniquement (balle sous la peau) dans la région frontale. Fragmentation de la balle au contact de l'os frontal gauche avec trajectoire intracérébrale d'un volumineux fragment responsable de lésions intracrâniennes fatales.

Chez les patients réalisant une tentative de suicide, l'orifice d'entrée sous-mandibulaire est souvent associé à des traumatismes complexes et très délabrants du massif facial ***(Figure 14)***. Des prises en charge chirurgicales maxillo-faciales conséquentes sont souvent nécessaires pour rétablir un pronostic fonctionnel et esthétique satisfaisant. Le scanner est alors un outil indispensable à la planification des gestes thérapeutiques et à la conception des prothèses.

Le scanner permet d'évaluer les atteintes oculaires, parfois difficiles à préciser à l'examen clinique en raison du délabrement des tissus ou de la tuméfaction des parties molles périorbitaires. Aussi, il facilite la recherche des fragments millimétriques intra-orbitaires et oriente la prise en charge chirurgicale ophtalmologique.

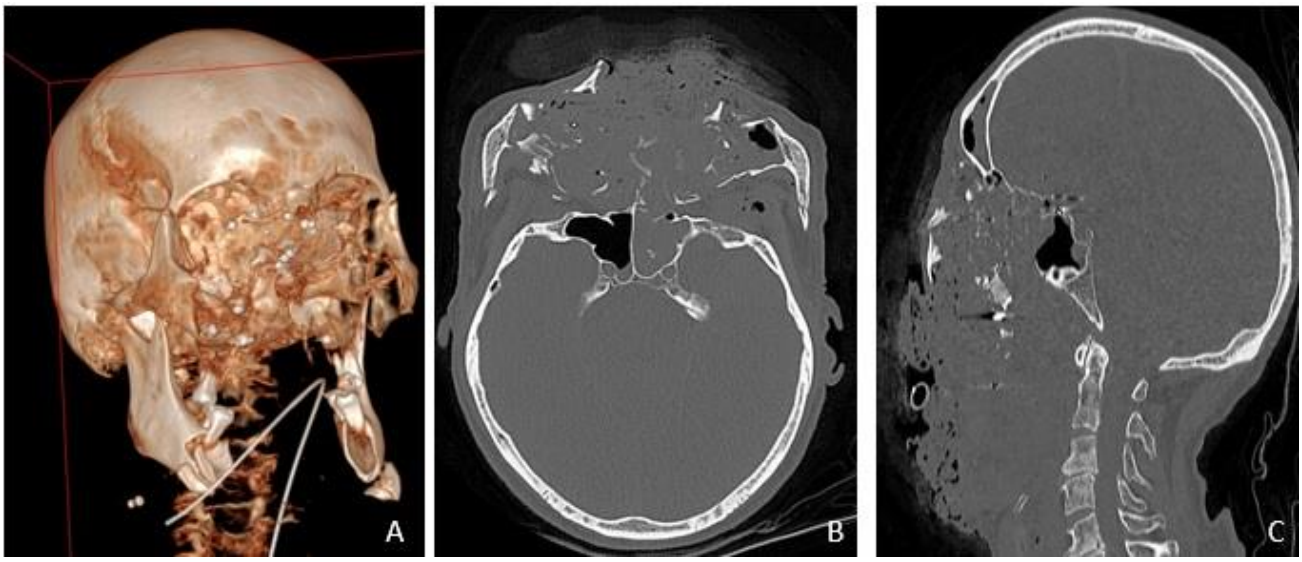


Figure 14.Traumatisme du massif facial délabrant

A. Reconstruction 3D ; B. Axiale reconstruction osseuse ; C Sagittale reconstruction osseuse.

b. Traumatisme de la région cervicale

Dans l'exploration des traumatismes cervicaux, le scanner dispose d'une bonne sensibilité pour détecter les lésions vasculaires. Il précise de manière satisfaisante les lésions de la langue et l'éventuel rétrécissement des voies aériennes supérieures, qui sont une indication formelle à la réalisation d'une ventilation invasive ***(Figure 15)***.

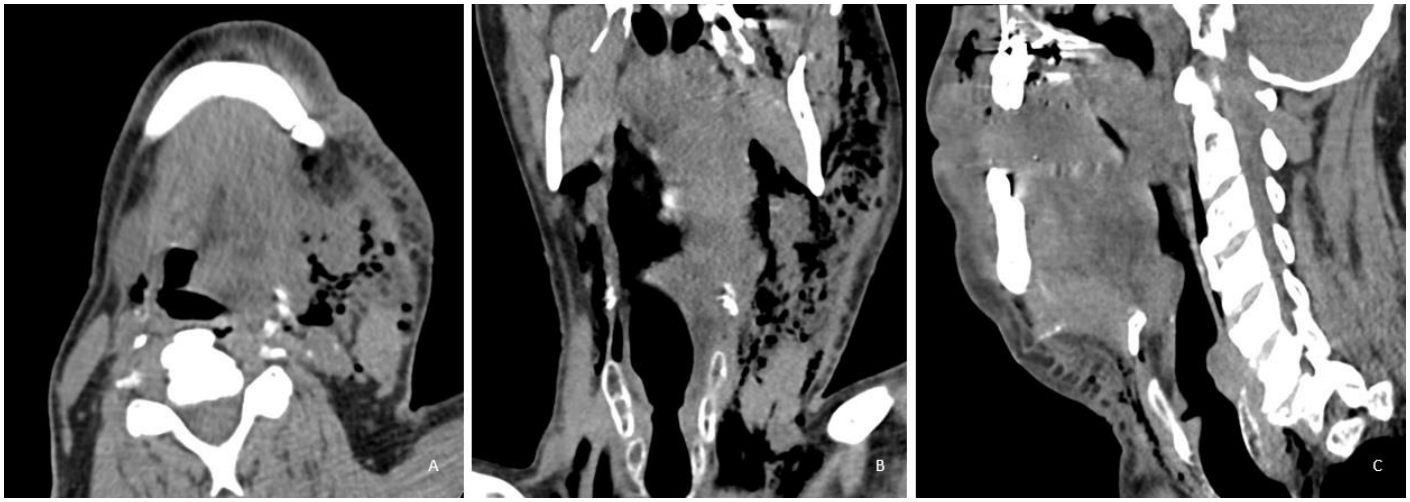


Figure 15. Rétrécissement de la filière aérienne supérieure
A : Coupe axiale : B : Coupe coronale ; C : Coupe sagittale.
Atteinte des parties molles cervicales gauches et hématome de la base de langue au contact de l'épiglotte.

Ses performances diagnostiques ne sont pas aussi excellentes pour visualiser les lésions du tractus aérodigestif mais des éléments indirects comme la proximité de la trajectoire avec les structures d'intérêt (œsophage, trachée, pharynx) et la localisation de l'emphysème permettent de les suspecter avec une sensibilité satisfaisante et d'indiquer la réalisation des examens complémentaires nécessaires (22).

c. Traumatisme de la région thoracique

Dans l'exploration des traumatismes thoraciques, le scanner dispose d'une très bonnes sensibilité et spécificité pour la détection des hémothorax, des pneumothorax et pour l'évaluation de l'atteinte parenchymateuse sur la trajectoire de la balle (23).

Si le scanner dispose de très bonnes performances diagnostiques (sensibilité de 100% ; spécificité de 97,5%) pour détecter les lésions de la trachée et de l'œsophage, il existe des situations où l'examen médiastinal peut être non conclusif. En effet, la présence d'un hématome médiastinal, d'un pneumomédiastin ou d'un emphysème marqué des parties molles sous-cutanées médiastinales sont susceptibles d'altérer la visibilité des lésions. Une atteinte des voies aérodigestives ou vasculaires doit alors être suspectée dès que la trajectoire est à proximité de ces structures et des explorations complémentaires (œsophagoscopie, bronchoscopie, angiographie) doivent être réalisées (13,21).

Les atteintes du cœur ou des gros axes vasculaires découvertes au scanner sont rarissimes. Elles sont généralement responsables du décès préhospitalier du patient ou d'un état clinique instable ne permettant pas la réalisation de l'examen (13,21). Il reste nécessaire de les rechercher et de traquer la présence de projectiles ou de fragments à proximité des cavités cardiaques ou au sein des structures vasculaires car ceux-ci sont à risque d'embolisation (24).

Les ruptures trans-diaphragmatiques peuvent être difficiles à mettre en évidence au scanner mais sont pourtant responsables d'une augmentation de la morbidité non négligeable (13,25,26). Il convient de rechercher les éléments suivants : signe du sablier (ou signe du collier) ; viscères apposés contre la paroi thoracique postérieure (“dependent viscera sign”) ; une hernie ; des lésions continues des deux côtés du diaphragme ; une discontinuité diaphragmatique ; une trajectoire trans-diaphragmatique. Ces éléments permettent d'améliorer nettement les performances diagnostiques (sensibilité de 73% à 100%, spécificité de 50% à 92%, précision de 70% à 89%) pour la détection de cette lésion (27).

d. Traumatisme de la région abdominale

Depuis le milieu des années 2000, le scanner a révolutionné la prise en charge des patients victimes d'un traumatisme balistique pénétrant abdominal, hémodynamiquement stable, en autorisant une surveillance médicale simple chez ceux ne présentant pas d'effraction péritonéale (28). Cette anomalie est aisément mise en évidence avec une sensibilité de 97%, une spécificité de 98% et une précision de 98% (13,29).

Le scanner présente des performances très satisfaisantes pour le diagnostic des lésions des organes pleins (30), même si dans le cadre du traumatisme balistique les lésions directes du pancréas et des voies biliaires peuvent être difficiles à constater. Il est alors nécessaire de se reposer sur la proximité de la trajectoire avec l'organe pour ne pas méconnaître une lésion de celui-ci.

Les capacités du scanner à établir un diagnostic d’atteinte des organes creux sont plus contrastées, mais les performances diagnostiques sont correctes (sensibilité de 88%, spécificité de 72%) lorsque le radiologue recherche à la fois des signes directs (discontinuité de la paroi des anses ; fragments intra-digestifs) et des signes indirects (épaississement des parois digestives ; structures digestives sur la trajectoire ; fragments au contact des structures digestives) (23,26,31).

Le pneumopéritoine est une lésion avec une valeur particulière dans le traumatisme balistique pénétrant. En effet, il n’est pas directement corrélé à la présence ou à l’absence de perforation digestive car l'air peut suivre le projectile sur sa trajectoire depuis l’extérieur, responsable d’un pneumopéritoine d’origine exogène (13) ***(Figure 16)***. Si le pneumopéritoine présente une bonne valeur prédictive de l'effraction péritonéale, il dispose d'une sensibilité et d'une spécificité médiocres concernant l'atteinte des organes creux.

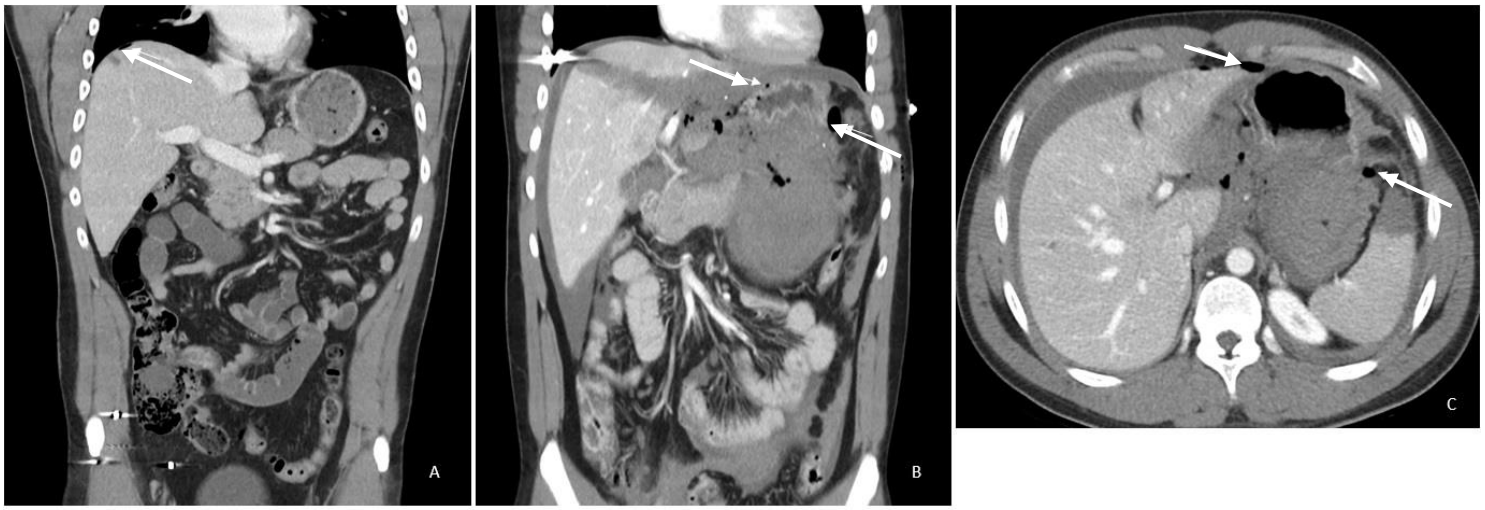


Figure 16. Pneumopéritoine
A : Coronale au temps portal ; B et C : Coronale et axiale au temps portal chez un autre patient.
Sur l'image A, un pneumopéritoine exogène (flèche blanche), visible sous la coupole diaphragmatique, chez un patient victime d'un traumatisme par grenaille de plomb (dont un visible en fosse iliaque droite), sans lésion digestive à la chirurgie. Sur les images B et C un pneumopéritoine endogène chez un patient victime d'un traumatisme par balle ; notez l'amas d'anses digestives grêliques non rehaussées avec perforation digestive confirmée chirurgicalement.

La qualité du bilan lésionnel fourni par le scanner permet de proposer une exploration chirurgicale adaptée (laparoscopie seule pour les lésions isolées du flanc gauche) ainsi que des gestes de radiologie interventionnelle (pour les atteintes vasculaires ***(Figure 17)*** ou des organes pleins compliquées de saignements actifs) et donc de diminuer le nombre de laparotomies non thérapeutiques, responsables d'une morbidité importante chez les patients (5,13).

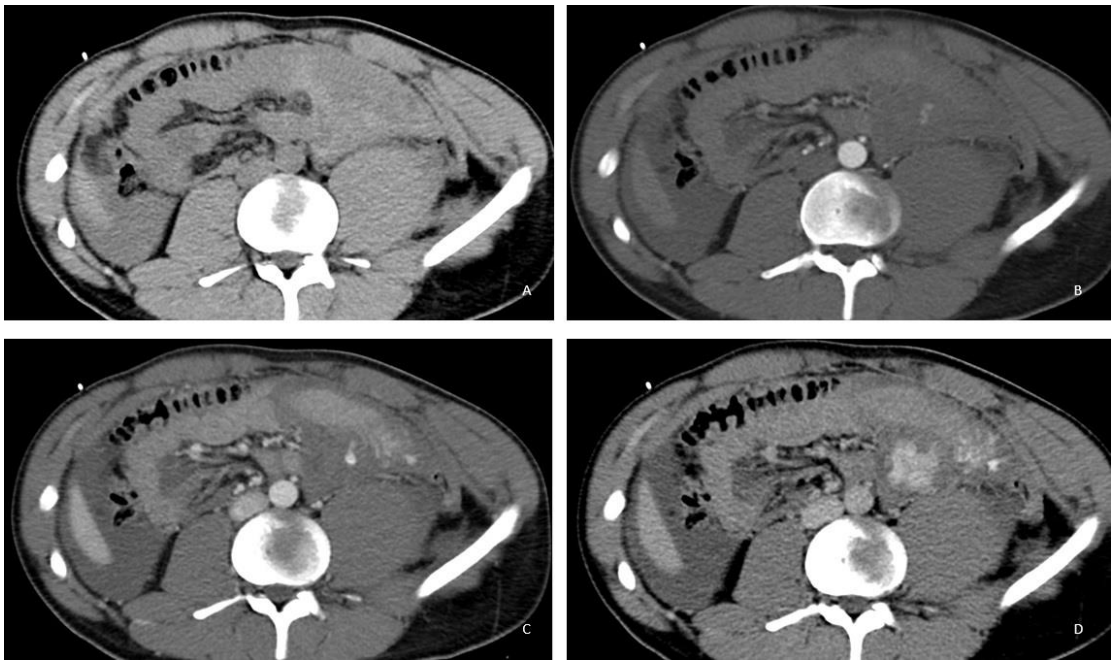


Figure 17. Atteinte des anses digestives avec saignement actif
A : Axiale sans injection ; B Axiale au temp artériel ; C : Axiale au temps portal ; D : Axiale au temps tardif. Hémopéritoine du flanc droit, saignement actif du mésentère avec défaut de rehaussement d'une anse digestive et hématome du psoas gauche.

e. Traumatisme des membres périphériques

Pour l'exploration des traumatismes des membres périphériques, comme vu précédemment, le scanner n'est pas réalisé de manière systématique. Ses qualités diagnostiques ne sont pas en cause dans cette stratégie thérapeutique puisqu'il s'agit de l'examen aux meilleures performances pour détecter les lésions osseuses, fréquentes dans ce contexte. Celles-ci sont volontiers complexes et le scanner permet de mieux appréhender les rapports entre chaque structure osseuse, apportant une aide à la planification des interventions chirurgicales orthopédiques.

Cette modalité d'imagerie permet aussi de préciser les rapports anatomiques entre le projectile ou ses fragments et la cavité articulaire. Le caractère intra articulaire d'un élément métallique doit être minutieusement recherché et bénéficier le cas échéant d'une prise en charge adaptée car la dégradation du corps métallique au sein de l'articulation est responsable d'arthropathies destructrices graves.
Bien plus anecdotique, il s'agit de la seule localisation (avec le canal médullaire), où la présence d'un élément métallique expose le patient à un risque d'intoxication au plomb (32).

Toutefois dans les traumatismes des membres, son principal atout est de mettre en évidence les lésions vasculaires et de permettre la réalisation d'une cartographie vasculaire précise, utile à la prise en charge chirurgicale ***(Figure 18)***. Comme il s'agit d'un examen peu invasif comparativement à l'angiographie, il s'inscrit comme la modalité de référence pour l'étude de ces lésions (33).

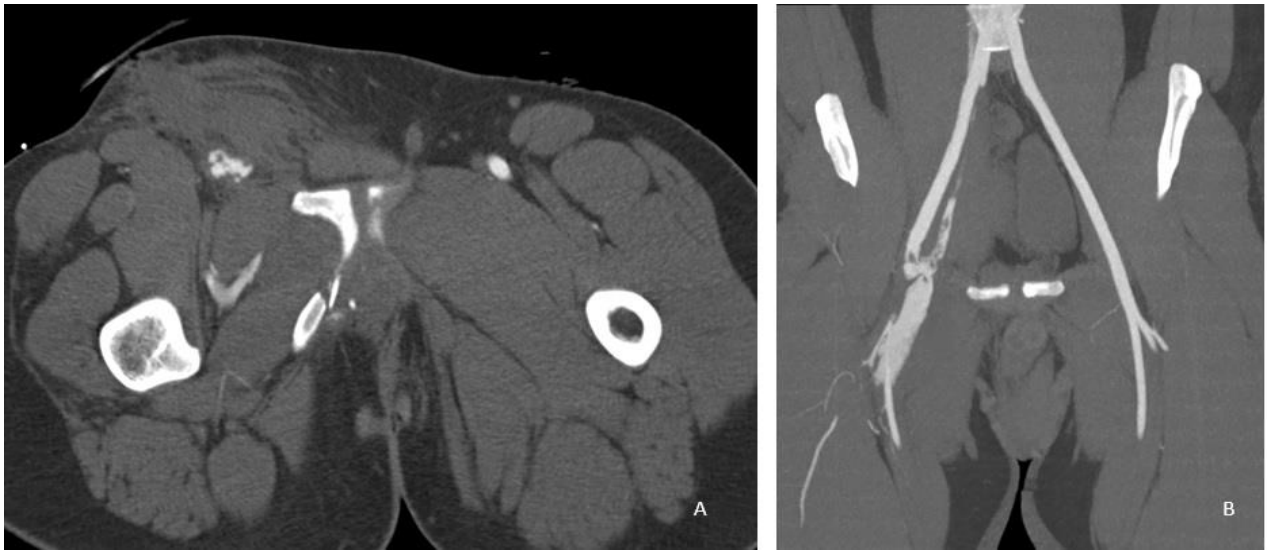


Figure 18. Fistule artério-veineuse post-traumatique
A : Para-axiale, suivant la trajectoire de la balle ; B : Coronale MIP au temps artériel.

C. Modalités de réalisation du scanner

a. Généralités

En l'absence de recommandations officielles et compte tenu de l'hétérogénéité des traumatismes rencontrés, les modalités de réalisation des explorations sont laissées à l'appréciation du radiologue responsable de l'examen et doivent être adaptées au cas par cas directement à la console d'acquisition (4).

L'étude du topogramme réalisé au début d'examen est fondamentale. Sur celui-ci peuvent être estimées la nature et la distribution du projectile et des fragments afin d'adapter le champ d'exploration du scanner (15) ***(Figure 19)***. Lorsque les conditions techniques le permettent, il est préférable d'obtenir l'ensemble de la trajectoire sur la même boite d'acquisition, afin de faciliter son interprétation.

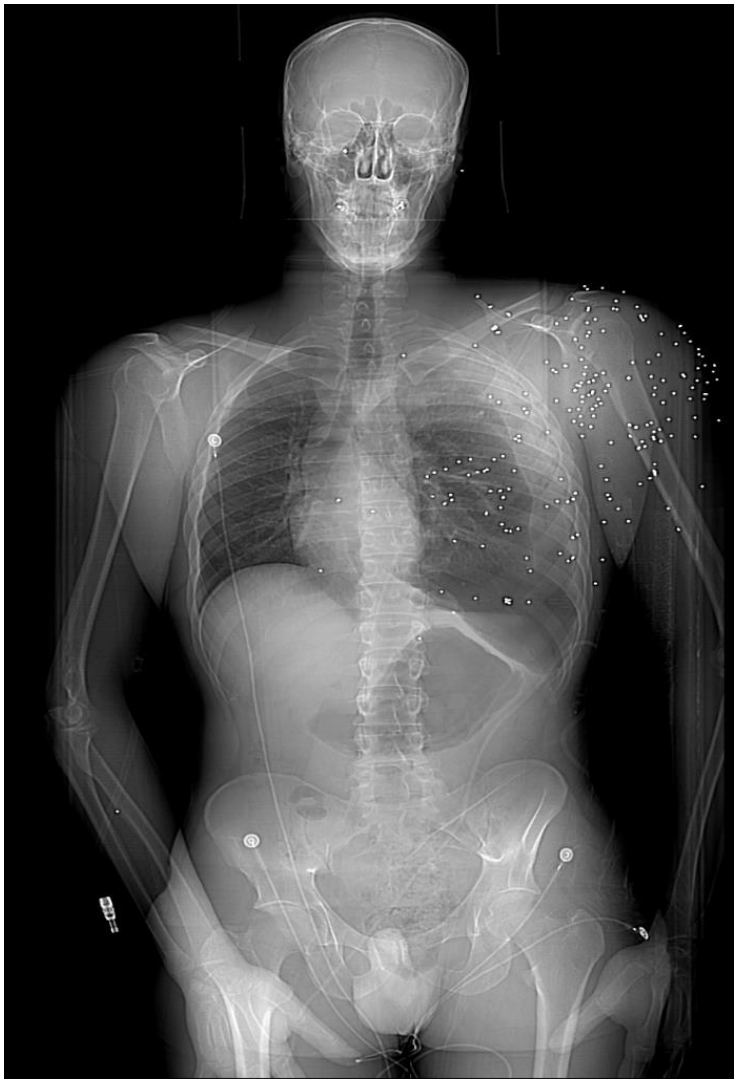


Figure 19. Distribution anatomique de la grenaille sur le topogramme

Bonne visualisation de la zone d'impact à gauche et des plombs les plus distaux : en projection de l'hémiface droite, en projection de l'aire cardiaque et en projection du radius droit.

L’orifice d’entrée et l’orifice de sortie visualisés cliniquement devraient être repérés par des marqueurs radio-opaques, dans le but de faciliter leur détection au scanner. Lorsqu’il s’agit d’un traumatisme par balle, il est important de les comptabiliser pour s’assurer de la cohérence du traumatisme : le nombre d’orifices d’entrée doit être égal au nombre d’orifices de sortie moins le nombre de projectiles retenus (4).

b. Injection de produit de contraste.

Dans le cadre des explorations crânio-encéphaliques, l'injection de produit de contraste n'est pas la règle mais elle peut toutefois procurer des informations complémentaires intéressantes sur les lésions vasculaires. Son intérêt est indiscutable pour l'exploration de la région cervicale compte tenu de la présence de nombreuses structures vasculaires nobles, dont il convient de vérifier l’intégrité (5).

Dans le cadre des explorations thoraciques, l’injection de produit de contraste devrait être systématique dès lors qu'une lésion médiastinale est suspectée, sinon elle est plus discutée.

Dans le cadre de l'exploration de la région abdominale, les premières études évaluant les capacités du scanner pour surseoir à l'exploration chirurgicale systématique étaient réalisées avec une injection intraveineuse de produit de contraste associée à une opacification digestive par voie haute et par voie basse (30,34). Ce type de protocole, très lourd, est difficile à réaliser dans le cadre de l'urgence. Des études plus récentes ont démontré que le scanner réalisé avec une injection de produit de contraste seule, sans opacification digestive, possédait des performances diagnostiques très satisfaisantes pour établir l'effraction péritonéale. Il est donc possible de surseoir aux opacifications digestives lors du bilan initial, même si cela entraine une altération de la sensibilité et de la spécificité pour la détection de l'atteinte des organes creux (4,35).

c. Post-traitement

Le post-traitement des images peut s’appuyer sur plusieurs outils utiles à la détection des lésions ou à la diffusion des images à un public moins averti. Les reconstructions osseuses dédiées, qui permettent une analyse fine des structures osseuses devraient être réalisées de manière systématique.

Plusieurs logiciels de reconstructions uni-planaires du gril costal ont été développés ces dernières années, avec l’objectif d'améliorer la détection des fractures costales ***(Figure 20)***. Leur utilisation trouverait toute sa place dans l'évaluation du patient victime d'un traumatisme balistique pénétrant (36,37).

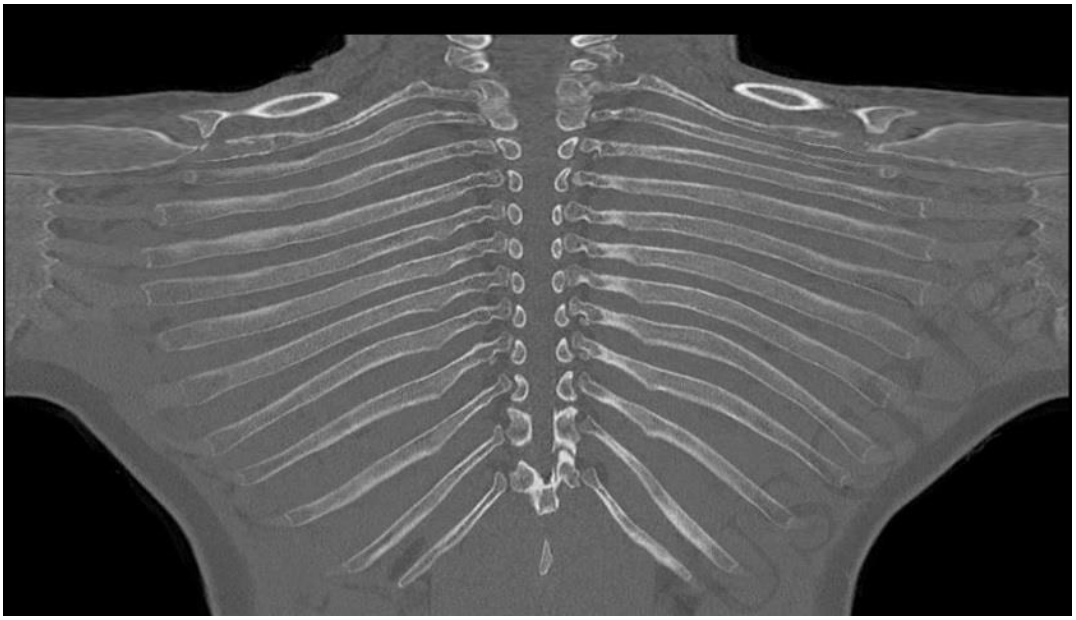


Figure 20. OpenRIB

Les artefacts métalliques générés par les projectiles balistiques sont une problématique courante dans ce contexte. Les solutions de correction d'image basées sur des algorithmes de réduction des artefacts métalliques de type MAR présentent un intérêt pour l'analyse des tissus au contact du projectile et sont relativement accessibles en pratique courante (38) ***(Figure 21)***.

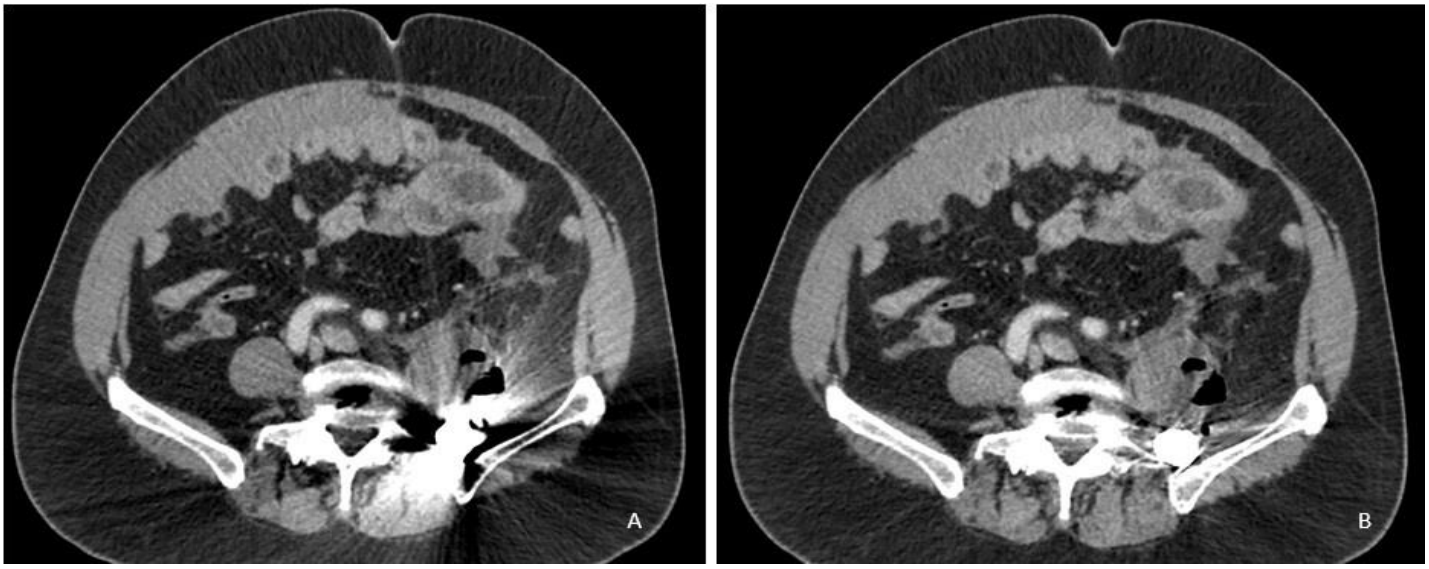


Figure 21. Algorithme de réduction des artefacts métalliques

A : Axiale au temps portal B : Axiale au temps portal avec algorithme SEMAR.

Les reconstructions 3D sont un excellent outil pour appréhender visuellement le traumatisme. Leur impact dans la détection des lésions par les spécialistes en radiologie est modéré, bien qu'elles puissent faciliter la détection de l'orifice d'entrée ou de sortie. En revanche, elles améliorent la compréhension de la distribution des lésions pour l'ensemble des autres spécialistes impliqués dans la prise en charge et il s'agit également d'images facilement présentables au public non médical (magistrat, jury, etc.). Ce caractère iconographique ne devrait pas être sous-estimé par le radiologue et l'utilisation récente d'algorithmes de reconstruction 3D type « global illumination » dans le domaine de la radiologie renforce cette fonction ***(Figure 22)***.

Figure 22. Reconstruction 3D d'une image de scanner basée sur les algorithmes Global Illumination

d. Méthode du domaine expérimental

Certaines fonctionnalités du scanner sont encore de l'ordre du domaine expérimental. Ainsi, des méthodes sont en cours de développement afin de déterminer, de manière standardisée, l'angle de tir à partir de l'angle de la trajectoire intracorporelle (20). D'autres techniques sont développées dans le but de discriminer la nature des projectiles, basées sur leur densité en unité Hounsfield. Les résultats sont toutefois mitigés car elles nécessiteraient un calibrage spécifique du scanner pour être déterminantes dans l'identification des projectiles (38).

4. IRM

L'IRM est une modalité diagnostique de choix dans l'évaluation des atteintes de certaines structures anatomiques, mais sa réalisation reste une source d'interrogations chez le patient traumatisé balistique. En effet, les propriétés magnétiques de l'IRM sont susceptibles d'interagir avec certains matériaux de nature métallique et d'être responsables au sein du tunnel, d'un déplacement de ces éléments ou d'une modification de leur température, qui constitueraient un risque pour la sécurité du patient (39,40).

En pratique courante, avant de débuter un examen par IRM d'un patient, la présence de toute structure métallique intracorporelle est recherchée pour éviter les incidents. La composition métallique des projectiles balistiques constitue de ce fait une contre-indication classique de l'exploration par cette méthode des patients victimes d'un traumatisme balistique pénétrant (41).
Ce dogme est remis en question par plusieurs études car l'ensemble des métaux constituant les projectiles ne sont pas ferromagnétiques (40,42) ; c'est le cas du plomb et du cuivre, contrairement à l'acier et au nickel. D'ailleurs, dans plusieurs études ex vivo, les plombs soumis à un champ magnétique de 1,5 à 7 teslas ne présentent pas de déplacement ou de hausse de température significatifs, et seraient donc compatibles avec une exploration IRM (39,40).
Certains auteurs ont donc proposé des protocoles pour que les patients puissent bénéficier de cette imagerie en toute sécurité, mais compte tenu de la nature ex vivo de la plupart des études et le faible nombre de munitions étudié, leur mise en place dans la pratique quotidienne reste difficile (40).

Même si les opérateurs étaient prêts à appliquer ces nouveaux protocoles, connaître la composition du projectile pour déterminer son caractère ferromagnétique avant l'exploration reste un challenge. Si les munitions réglementaires traditionnellement utilisées par les forces de l'ordre et les chasseurs ne présentent généralement pas de composante ferromagnétique, des impuretés métalliques au sein des projectiles ou l'usage de munitions anciennes ou non réglementées ne peuvent jamais être exclus (40). De la même manière, les modifications réglementaires récentes concernant l'interdiction des projectiles au plomb devraient inviter à la prudence quant à la composition des munitions.
Le scanner et la radiographie peuvent apporter des informations sur la composition du projectile selon sa forme et sa capacité à se déformer, mais ces considérations relèvent d'un certain degré d'expertise. De nouvelles études essayent d'utiliser les propriétés du scanner double énergie pour permettre l'analyse des éléments chimiques constituant les projectiles et ainsi de déterminer leur caractère ferromagnétique ou non. Les résultats sont prometteurs, mais celles-ci relèvent encore du domaine expérimental (40,43,44).

La qualité des images IRM constitue également un défi technique car il s'agit d'un examen très sensible aux artefacts générés par le matériel métallique, même s'ils ne présentent pas de caractère ferromagnétique. En effet, il est très difficile de prédire l'ampleur de ces artefacts à priori, car ceux-ci sont très variables selon les projectiles (39). Les méthodes de corrections ne sont pas spécifiques au traumatisme balistique et il est ainsi recommandé de privilégier les explorations sur des IRM à faible champ magnétique et d'utiliser des séquences pondérées en écho de spin. Le développement de nouvelles séquences IRM dédiées à la réduction des artefacts métalliques (type MAVRIC ou SEMAC) pourrait également trouver une application dans ce contexte.

Au final, si la présence de projectiles ou de fragments ne devrait plus constituer une contre-indication formelle à une exploration par IRM, les conditions nécessaires pour réaliser l'examen dans des conditions de sécurité satisfaisantes ne sont pas adaptées au contexte de l'urgence et à l'exploration des traumatismes balistiques lors de leur prise en charge initiale.

Partie 2 : Modalités de réalisation et d'interprétation de l'imagerie lors de la prise en charge initiale d'un patient vivant au décours d'un traumatisme balistique pénétrant

I. Introduction

La prise en charge du patient traumatisé par balle est une thématique symbolique, à la croisée des chemins entre la médecine civile et la médecine de guerre. Domaine pluridisciplinaire par excellence, elle fait intervenir des médecins légistes, des médecins urgentistes, des anesthésistes-réanimateurs, des chirurgiens et des radiologues.

Aujourd'hui, des études récentes estiment qu'il y aurait plus d'un milliard d'armes à feu en circulation, dont 850 millions détenues par des civils (1), avec une répartition des traumatismes par balle et une mortalité associée très hétérogène. En diminution en France avec 1594 décès en 2014 (2.4/100 000 habitants) contre 2187 en 2005 (45), ils étaient en cause dans 45 222 décès en 2020 (13,7 décès/100 000 habitants) aux Etats unis(3). Si leur prévalence apparaît relativement faible en Europe occidentale, où les principales causes de décès par arme à feu sont constituées par les suicides, les homicides et les accidents, il apparaît nécessaire de conserver une expertise dans la prise en charge de ces traumatismes responsables d'une mortalité et d'une morbidité importantes.

L'intérêt de l'imagerie dans le traumatisme balistique est connu de longue date avec une première utilisation rapportée dès 1896 (16). Le développement de l'imagerie en coupe et son accessibilité ces dernières années ont rendu possible l'élaboration de plusieurs travaux de recherche, permettant de mieux comprendre la physiopathologie de ce traumatisme, les lésions associées (4,13,30), l'apport de l'imagerie dans la prise en charge des patients (5,29) ainsi que l'apport du scanner sur le plan médico-légal (8). Mais à ce jour, il n'existe encore pas de recommandations formelles concernant l'imagerie du traumatisé balistique pénétrant et le nombre d'études évaluant les pratiques au sein des services d'imagerie est faible.

Ce travail de recherche avait pour objectif : 1) de déterminer si les radiologues se sont appropriés les implications médico-légales inhérentes à ce type de traumatisme ; 2) d'évaluer les modalités techniques et d'interprétation des imageries chez les patients pris en charge pour un traumatisme balistique pénétrant au sein d'un centre hospitalier civil ; 3) d'évaluer l'utilisation de l'imagerie dans l'évaluation médico-légale.

II. Matériel et méthodes

1. Design et objectifs de l'étude

Nous avons réalisé une enquête de pratique rétrospective monocentrique au sein du service de radiologie du CHU de Nantes, étudiant les modalités de réalisation et d'interprétation des imageries réalisées chez les patients victime d'un traumatisme balistique pénétrant et vivants lors de la prise en charge initiale.

A. Objectif principal de l'étude

L'objectif principal de cette étude était d'étudier les informations présentes et les termes utilisés dans les comptes rendus de scanner chez les patients vivants pris en charge au décous d'un traumatisme balistique pénétrant.

B. Objectifs secondaires de l'étude

Les objectifs secondaires de cette étude permettaient d'explorer le parcours médical des patients bénéficiant d'une imagerie et d'explorer les modalités techniques de réalisation de ces imageries, incluant le scanner et la radiographie.
Ils permettaient également d'explorer l'impact du compte rendu de scanner sur la prise en charge du patient, d'une part en évaluant l'utilisation du compte rendu par le médecin légiste et d'autre part par l'étude des divergences entre les lésions répertoriées dans le compte rendu et celles répertoriées dans le dossier clinique du patient.

C. Comité d'éthique

Cette étude a bénéficié d'un avis favorable du groupe nantais d'éthique dans le domaine de la santé (GNEDS), le 14 février 2022.

2. Population étudiée

A. Population

L'ensemble des dossiers en rapport avec des traumatismes balistiques pénétrants, ayant eu lieu entre 2015 et 2021, ont été recherchés au sein de la base de données numériques anonyme du CHU de Nantes (contenant l'ensemble des comptes rendus d'hospitalisations, de consultations et chirurgicaux). Cette recherche était à la fois textuelle, et reposait sur les mots-clés suivants : « traumatisme balistique », « arme à feu », « arme de poing », « fusil » » carabine » « revolver » « plaie par balle » et basée sur les codes CIM10 : W32%, W33%, W34%, X72%, X73%, X74%, X93%, X94%, X95%, Y22% et Y24%. Ces dossiers ont été triés et une sélection des dossiers concernant des patients ayant bénéficié d'une prise en charge initiale en urgence pour un traumatisme balistique pénétrant a été réalisée.

B. Critères d'inclusion et de non inclusion

L'ensemble des patients pris en charge en urgence au CHU de Nantes entre 2015 et 2021 pour un traumatisme balistique pénétrant aiguë ont été inclus, exception faite des patients disposant d'un statut de protection particulier des données.
Conformément à la politique de protections des données de la clinique des données, certains patients sont déclarés opposés de principe à la consultation de leur dossier (statut déterminé lors de la création du dossier par le patient ou selon le contexte médico-légal). Pour les projets de recherche rétrospectifs, un consentement oral est alors nécessaire. Celui-ci a été recherché après contact téléphonique pour chaque patient concerné et en l'absence de consentement, ces patients n'ont pas été inclus.

C. Critères d'exclusion

Les patients pris en charge initialement dans un autre centre hospitalier, avec un bilan d'imagerie réalisé en dehors du CHU de Nantes et transférés secondairement ont été exclus.

La réalisation d'une chirurgie de type « damage control » avant l'imagerie était également un critère d'exclusion car la modification de l'aspect des tissus est susceptible d'avoir un impact significatif sur l'interprétation du scanner dans ce contexte et notamment sur certaines informations évaluées dans notre étude.

3. Recueil des données

A. Population

Pour chaque patient ont été répertoriés son âge, son sexe et la région anatomique concernée par le traumatisme. Ces régions ont été distinguées de la manière suivante : crâne (du vertex à la base du crâne), cervicale (de la base du crâne à la région sus-claviculaire), tronc (des clavicules aux creux inguinaux), membres périphériques (bras, avant-bras, main, bassin, cuisse, jambe, pieds).

Le mode supposé de chaque traumatisme a été répertorié à la lecture des dossiers cliniques, en distinguant : les traumatismes volontaires auto-infligés (représentés par les suicides et les tentatives de suicide), les traumatismes accidentels auto-infligés (comme les erreurs de manipulation d'arme à feu) et les traumatismes hétéro-infligés (incluant tous les traumatismes infligés par une tierce personne quel que soit son intention).

Le type de munition a été déterminé par l'investigateur principal à l'aide des données cliniques et des données de l'imagerie en distinguant : les balles ; la grenaille et les projectiles autres, incluant les plombs uniques (tirés par des carabines à air comprimé et les pistolets d'abattage)

Le statut vivant ou décédé de chaque patient a été contrôlé en se référant aux registres de décès de l'Insee. Les décès survenus après un délai de 120 jours à partir du traumatisme initial n'ont pas été comptabilisés.

B. Analyse des modalités de réalisation de l'imagerie

Via l'étude du dossier de chaque patient, une exploration par une radiographie et/ou un scanner a été recherchée, ainsi que l'ordre de réalisation des examens.

Pour chaque radiographie réalisée, les régions explorées ont été notifiées en distinguant les atteintes du crâne, du thorax, d'un membre périphérique. Sur le plan technique, le délai de réalisation et la présence d'incidences orthogonales ont été répertoriés.

Pour chaque scanner réalisé, les régions explorées ont été relevées, en distinguant les atteintes : du crâne ; cervicales ; thoraciques ; abdomino-pelviennes ; des membres périphériques. Les explorations ont été réalisées via un scanner Siemens Somatom Definition As20 et un scanner Canon Medical - Aquilion Prime.

Sur le plan technique, les données suivantes ont été relevées : le délai entre l'admission intra-hospitalière et la réalisation du scanner ; ses constantes de réalisation ; la présence de reconstructions avec réduction des artefacts métalliques et la réalisation d'une injection de produit de contraste.
Les cas où le protocole d'imagerie « bodyscanner » dédié du CHU de Nantes a été utilisé ont également été relevés. Ce protocole inclut : une exploration du crâne, du thorax, de l'abdomen sans injection ; une exploration du crâne, cervicale, du thorax, de l'abdomen et du pelvis au temps artériel ; une exploration de l'abdomen et du pelvis au temps portal ; une exploration éventuelle de l'abdomen et du pelvis au temps tardif.

C. Analyse des comptes rendus de scanner

a. Modalités de réalisation des comptes rendus

L'expérience du radiologue responsable de l'examen et de la validation du compte rendu a été répertoriée en distinguant quatre groupes : radiologue avec une sensibilisation en imagerie médico-légale (groupe 1) ; radiologue > 10 ans d'expérience (groupe 2) ; radiologue ayant entre 5 et 10 ans d'expérience (groupe 3) ; radiologue < 5 ans d'expérience (groupe 4). Le groupe 1 était constitué de deux radiologues avec une affinité particulière pour l'imagerie médico-légale, ayant acquis une expérience dans ce domaine par une formation individuelle (congrès, lecture d'articles dédiés, etc…). Les cas où le compte rendu a été réalisé par un interne de radiologie et par un radiologue senior ont été répertoriés. Les scanners intéressant les explorations du crâne et de la région cervicale réalisés entre 18h30 et 08h et les dimanches ont été validés par des internes de radiologie et ont bénéficié d'une relecture avec une correction dans un second temps. Pour ces examens l'expérience retenue était celle du radiologue senior responsable de la relecture.

Le délai de validation des comptes rendus a été estimé en relevant l'heure de fin de réalisation du scanner et l'heure de validation des comptes rendus sur le PACS.

L'ensemble des examens ont été visualisés sur une console d'interprétation dédiée, équipée du logiciel Carestream Vue PACS®.

b. Analyse sémantique des comptes rendus de radiologie

Une analyse sémantique des termes associés aux traumatismes balistiques a été effectuée dans l'ensemble des comptes rendus et il a été recherché, les termes faisant référence :

- Aux caractéristiques du projectile ;
- Aux fragments ;
- Aux orifice(s) d'entrée et de sortie ;
- À la trajectoire.

Cette liste de termes a été déterminée en concordance avec les caractéristiques attendues de la description d'un traumatisme balistique dans le contexte médico-légal et d'après les données de la littérature. La liste des termes recherchés pour chaque élément est présentée dans le **tableau 1**.

Tableau 1. Liste des termes recherchés dans l'analyse sémantique

Elément :	Termes recherchés
Spécifique pour mentionner le projectile	« balle » , « grenaille » , « plomb »
Non spécifique, faisant référence à la nature du projectile ou aux fragments	« corps métallique » , « corps étranger » , « matériel balistique » , « projectile » , « multiples corps métalliques » , « nombreux corps étrangers » , « débris métalliques »
Trajectoire	« trajet », « trajectoire »
Orifice d'entrée	« point d'entrée », « orifice d'entrée », « impact »
Orifice de sortie	« point de sortie », « orifice de sortie »

D. Analyse des objectifs secondaires

a. Parcours de soin des patients bénéficiant d'une imagerie

Le service responsable de la prise en charge initiale de chaque patient a été relevé en distinguant : les urgences, le bloc opératoire des urgences et les cas où les patients ont été orientés au scanner directement par le SAMU.

L'heure d'arrivée intra-hospitalière, utilisée pour calculer le délai de réalisation des examens, était estimée en se référant aux horaires d'enregistrement administratif disponibles dans le dossier patient. Pour chaque patient, les interventions chirurgicales réalisées dans les 72 heures après le début de la prise en charge ont été répertoriées, en distinguant les chirurgies : digestives (incluant les cœlioscopies exploratrices et laparotomies), cervico-faciales (par un chirurgien maxillo-facial, ORL ou ophtalmologue), neuro-traumatologiques, orthopédiques, vasculaires et urologiques.

Enfin, les patients ont été recherchés dans la base de données de médecine légale afin de déterminer s'ils avaient bénéficié d'une évaluation spécialisée.

b. Impact de l'imagerie sur la prise en charge du patient

❖ *Réalisation du bilan médico-légal*

Afin de déterminer l'utilisation des données de l'imagerie par le médecin légiste, les évaluations médico-légales disponibles ont été étudiées. Nous avons recherché si y figuraient : des images de radiographie ou de scanner, le compte rendu du radiologue, des annotations ou reconstructions complémentaires réalisées par le médecin légiste.

Une relecture de l'ensemble des scanners a été effectuée par un radiologue junior, afin d'apprécier le caractère visible ou non de l'orifice d'entrée, de l'orifice de sortie, de la trajectoire.

❖ *Apport de l'imagerie à la réalisation du bilan lésionnel*

Les lésions décrites dans chaque compte rendu ont été répertoriées dans une grille de lésions standardisée et une relecture des comptes rendus opératoires et d'hospitalisation de chaque patient a été effectuée à la recherche de discordances entre les informations cliniques et les informations décrites par le radiologue. La grille de lecture permettait un recueil des lésions en distinguant, selon la région atteinte :

- Crânio-faciale : hématome sous-dural (HSD), hématome extradural (HED), hémorragie sous-arachnoïdienne (HSA), hématome intra-parenchymateux (HIP), hémorragie intraventriculaire (HIV), contusion parenchymateuse, lacération parenchymateuse, hydrocéphalie, hypertension intracrânienne (HTIC), fracture de la voûte, fracas facial, fracture de la mandibule isolée.

- Cervicale : atteinte du larynx, atteinte du tractus aérodigestif supérieur, atteinte de la langue.

- Thoracique : pneumothorax, hémothorax, épanchement pleural liquidien (dont la nature n'était pas précisée), épanchement péricardique, pneumomédiastin, atteinte cardiaque, atteinte parenchymateuse pulmonaire, rupture trans-diaphragmatique, fracture costale.

- Abdomino-pelvienne : atteinte hépatique, des voies biliaires, splénique, pancréatique, rénale, du tube digestif, mésentérique, des voies excrétrices urinaires, vésicale, pneumopéritoine, hémopéritoine.

- Membres périphériques : fractures, atteinte des parties molles.

E. Analyses statistiques

Pour l'ensemble des résultats de l'étude, les variables qualitatives ont été exprimées en effectifs et pourcentages et les variables quantitatives ont été exprimées en médianes et intervalles interquartiles. Un test de Fisher a été utilisé pour comparer la fréquence avec laquelle était rapportée : la nature du projectile d'une part et les paramètres balistiques d'autre part ; dans les comptes rendus réalisés par les radiologues du groupe 1 (sensibilité à l'imagerie médico-légale) et ceux réalisés par chacun des autres groupes. Celui-ci était significatif pour $p < 0,05$.

III. Résultats

1. Population

A. Généralités

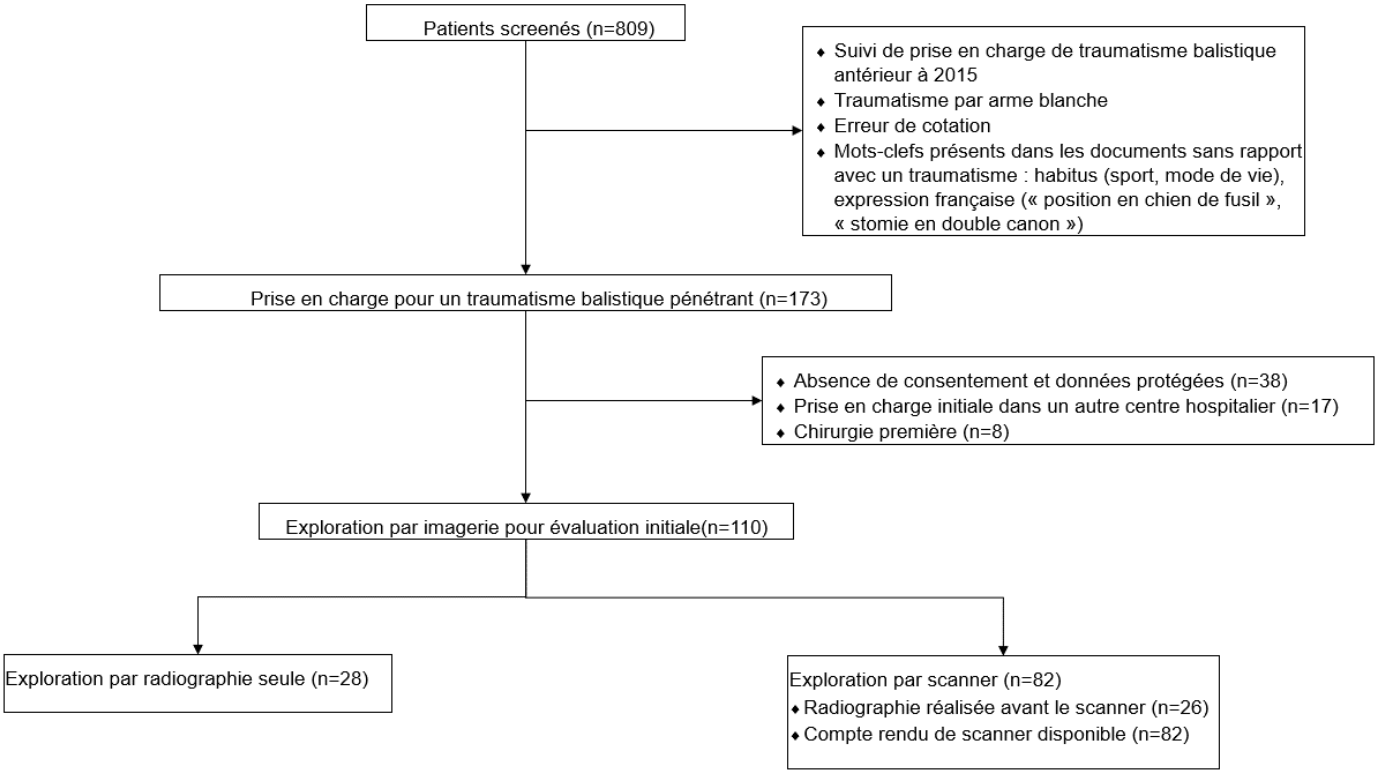


Figure 23. Diagramme de flux

Entre 2015 et 2021, 173 prises en charge pour un traumatisme balistique pénétrant au CHU de Nantes ont été identifiées ; 63 ont été exclues selon les critères définis dans le paragraphe « matériel et méthodes » et 110 composent la population finale de l'étude. Ces données sont présentées dans le diagramme de flux ***(Figure 23)***.

Cette population est majoritairement composée d'hommes qui représentent 94,5% (*n*=104) des effectifs et l'âge médian des patients est de 34,1 ans [18,6-64,4]. Les caractéristiques générales et les modalités de prise en charge des patients sont présentées dans le **tableau 2**

Tableau 2. Caractéristiques de la population

Caractéristiques de la population	n = 110 (%) ou médiane [IIQ]
Sexe	
Masculin	104 (94,5)
Féminin	6 (5,5)
Age médian	34,1 [20,7-60,3]
Traumatisme volontaire auto-infligé	61,1 [44,8-68,2]
Traumatisme accidentel auto-infligé	43,7 [18,6-64,4]
Traumatisme hétéro-infligé	23,9 [19,2-31,5]
Mode du traumatisme	
Volontaire auto-infligé	40 (36,4)
Accidentel auto-infligé	10 (9,1)
Hétéro-infligé	60 (54,5)
Nature du projectile	
Grenaille	30 (27,3)
Balle	60 (54,5)
Autre	2 (1,8)
Plomb unique	18 (16,4)
Prise en charge	
Secteur d'admission	
Urgence	57 (51,8)
Bloc des urgences	49 (44,5)
SAMU	4 (3,6)
Chirurgie	76 (69,1)
Orthopédique	36 (47,4)[1]
Cervico-faciale	21 (27,6)[1]
Digestive	8 (10,5)[1]
Neurotraumatologique	3 (3,9)[1]
Thoracique	2 (2,6)[1]
Vasculaire	2 (2,6)[1]
Multiples	4 (5,3)[1]
Evaluation médico-légale	51 (46,4)
Traumatisme volontaire auto-infligé	13 (25,5)
Traumatisme accidentel auto-infligé	3 (5,9)
Traumatisme hétéro-infligé	35 (68,6)
Décès	16 (14,8)

[1] *Pourcentage rapporté au sous-groupe chirurgie soit n=76*

B. Mécanismes du traumatisme

Les patients sont victimes d'un traumatisme auto-infligé volontaire (suicide ou tentative de suicide) dans 36,4% des cas (*n*=40), d'un traumatisme auto-infligé accidentel dans 9,1% (*n*= 10) des cas et d'un traumatisme infligé par une tierce personne dans 54,5% des cas (*n*=60).

Le projectile utilisé est une balle dans 54,5% des cas (*n*=60) et de la grenaille dans 27,3% des cas (*n*=30). Des traumatismes par plomb unique ont été relevés dans 16,4% des cas (*n*=18), et il était constaté 1,8% (*n*=2) de traumatismes par pistolet d'abattage. Les projectiles utilisés selon le mode du traumatisme sont présentés dans l'annexe 1.

C. Région(s) anatomique(s) atteinte(s) lors du traumatisme

Les membres périphériques sont les plus fréquemment atteints dans cette étude, puisqu'ils représentent 42,7% des traumatismes (*n*=47).

Il est observé une atteinte de plusieurs régions dans 24,5% des cas (*n*=27). Il s'agit principalement d'une association entre l'atteinte de la région encéphalique et de la région cervicale retrouvée dans 19 cas (dont 18 traumatismes auto-infligés volontaires), puis d'associations entre une atteinte de la région du tronc et d'une autre région.

Les traumatismes de la région du tronc sont constatés dans 16,4% des cas et les atteintes isolées de la région cervicale seule sont plutôt rares, puisqu'elles représentent seulement 5,5% (*n*=6) des traumatismes ***(Figure 24)***.

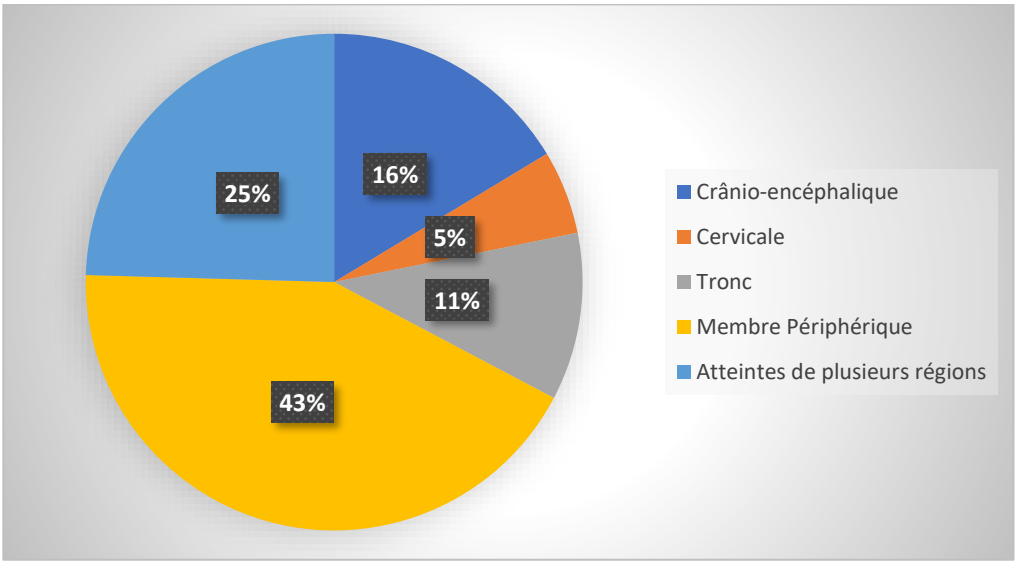


Figure 24. Région anatomique atteinte lors du traumatisme

(Exprimé en (%) rapporté au nombre total de traumatismes)

D. Décès

Au cours de la prise en charge initiale, 16 décès en rapport avec le traumatisme ont été rapportés dans notre étude, soit 14,8% de la population. L'ensemble des décès sont survenus au décours d'une tentative de suicide : chez 15 victimes d'un traumatisme cranio-encéphalique et 1 victime d'un traumatisme intéressant la région du tronc. Pour les décès, 56,3% (*n*=9) d'entre eux sont survenues au cours des premières 24 heures et 87,5% au cours des 72 premières heures (*n*= 12) après le début de la prise en charge.

2. Modalités d'imagerie utilisées pour l'exploration du traumatisme

A. Radiographie

Sur l'ensemble des patients, 25,5% ont été explorés par radiographie standard seule (*n*=28/110). Aucun des traumatismes explorés par radiographie seule n'est en rapport avec une tentative de suicide et aucun décès n'est survenu dans ce groupe. Les autres caractéristiques épidémiologiques de cette sous-population ainsi que les régions explorées sont présentées dans **l'annexe 1**.

Les radiographies ont été réalisées conformément aux bonnes pratiques avec au moins 2 incidences dans 96,4% *(n*=27/28*)* des cas. Après l'admission le délai médian de réalisation des radiographies était court, de 22 minutes [12,5-44,5].

Des radiographies de la région impliquée dans le traumatisme ont été réalisées avant le scanner chez 23,6% patients (*n*=26/110), principalement lors de l'atteinte d'un membre périphérique (15 cas).

B. Scanner

Sur l'ensemble des patients, 82 (74,5% de la population totale) ont été explorés par scanner lors de l'évaluation initiale. Les régions explorées au scanner selon l'atteinte anatomique sont présentées dans **l'annexe 1**.

Une injection de produit de contraste a été réalisée pour 70,7% des scanners *(n*=58/82*)* : pour 23 traumatismes de la région crânio-encéphalique ou cervicale ; 18 traumatismes de la région du tronc et 15 traumatismes des membres. Les scanners encéphaliques représentaient 91,7% des scanners non injectés (*n*=22/24).

Aucun scanner n'a été réalisé en procubitus et aucune exploration de la région abdomino-pelvienne n'a été réalisée après opacification digestive lors de l'évaluation initiale.

Le protocole d'exploration « Bodyscanner » a été utilisé lors de la réalisation de 4,9% des scanners *(n*= 4/82*)*. Il est associé à une irradiation notable avec une DLP médiane de de 4997 mGy.cm [4997-5871] contre 2330 [1594-3523] mGy.cm pour une exploration plus ciblée (incluant une acquisition thoracique et abdominpelvienne en contraste spontané, au temps artériel et au temps veineux).

Lors du post-traitement, le nombre de reconstructions réduisant les artefacts métalliques de type MAR disponible était faible, retrouvé pour seulement 5 scanners (6,25%).

Le délai médian entre le début de la prise en charge intra-hospitalière et la réalisation du scanner était de 43 minutes [32,5-84,75] et le délai médian de validation des comptes rendus était quant à lui estimé à 37,5 minutes [31-58,75].

3. Analyse des comptes rendus de scanner

A. Informations médico-légales au sein des comptes rendus de scanner

a. Le projectile

Le projectile est mentionné par un terme spécifique ou non dans 82,9% des comptes rendus (*n*= 68) ; et il n'est donc fait aucune mention du projectile dans 17,1% des comptes rendus.
Lorsqu'il est mentionné, il est présenté sous la forme ***(Figure 25)*** :

- D'un terme non spécifique comme « corps métallique » ; « corps étranger » ; « matériel balistique » ; « projectile » dans 41,5% des cas (*n*=34) ;
- Du terme « balle » dans 23,2% des cas (*n*=19) ;
- Du terme « grenaille » dans 2,4% des cas (*n*=2) ;
- Du terme « plomb » isolé dans 15,9% des cas (*n*=13).

La description du projectile semble avoir été erronée dans 6 cas : dans 4 cas avec utilisation du mot « balle » alors qu'il s'agissait d'un traumatisme par grenaille et dans 2 cas avec l'utilisation du mot « plomb » alors qu'il s'agissait d'un traumatisme par balle.

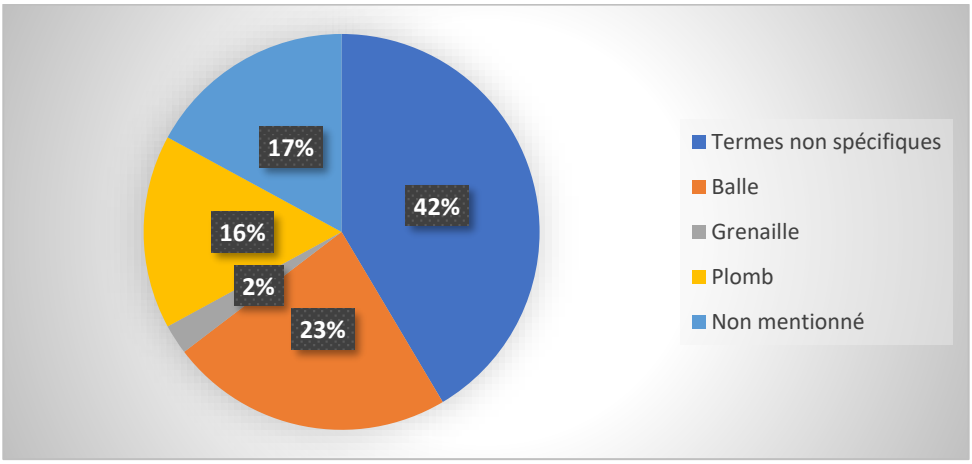


Figure 25. Termes employés pour décrire le projectile dans les comptes rendus de radiologie
(Exprimé en (%) rapporté au nombre total de comptes rendus)

b. *Les paramètres balistiques*

Les termes faisant référence à la trajectoire sont retrouvés dans 40,2% des comptes rendus (*n*=33), principalement lorsque le projectile est unique (balle) (24/33). La relecture des scanners permettait quant à elle de proposer une trajectoire intracorporelle sur 96,3% des examens (*n*=79) ***(Figure 26)***.

L'orifice d'entrée est mentionné dans 46,3% des comptes rendus (*n*=38). A la relecture, l'orifice d'entrée ou la zone d'impact sont visualisés sur 85,4 % d'entre eux (*n*=70) ***(Figure 26)***.

L'orifice de sortie est mentionné dans 23,75% des comptes rendus (*n*=19), dont 2 cas où c'est son absence qui est notifiée. La relecture des scanners a permis d'identifier l'orifice de sortie dans 17 cas. Il est donc décrit dans 100% des comptes rendus initiaux lorsqu'il est présent ***(Figure 26)***.

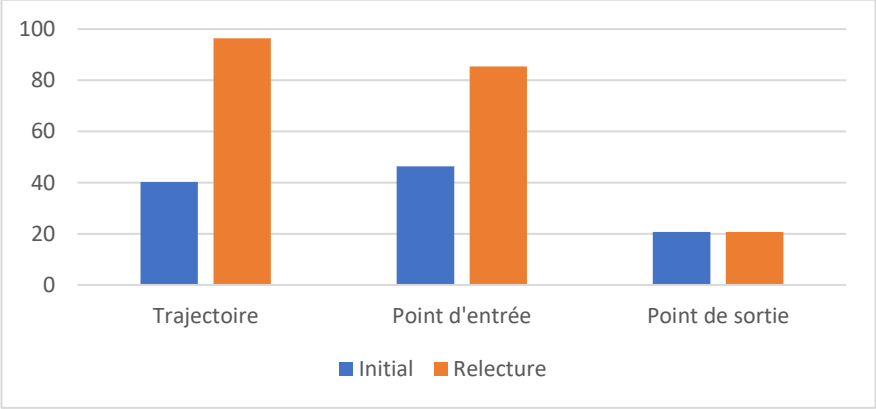


Figure 26. Paramètres balistiques au sein des comptes rendus initiaux versus relecture
(Exprimés en (%) rapporté au nombre total de scanner effectués)

Au total, 42,7% des comptes rendus ne comportent aucun paramètre balistique et seulement 14,6% des comptes rendus mentionnent à la fois l'orifice d'entrée, la trajectoire et l'orifice de sortie ***(Figure 27)***.

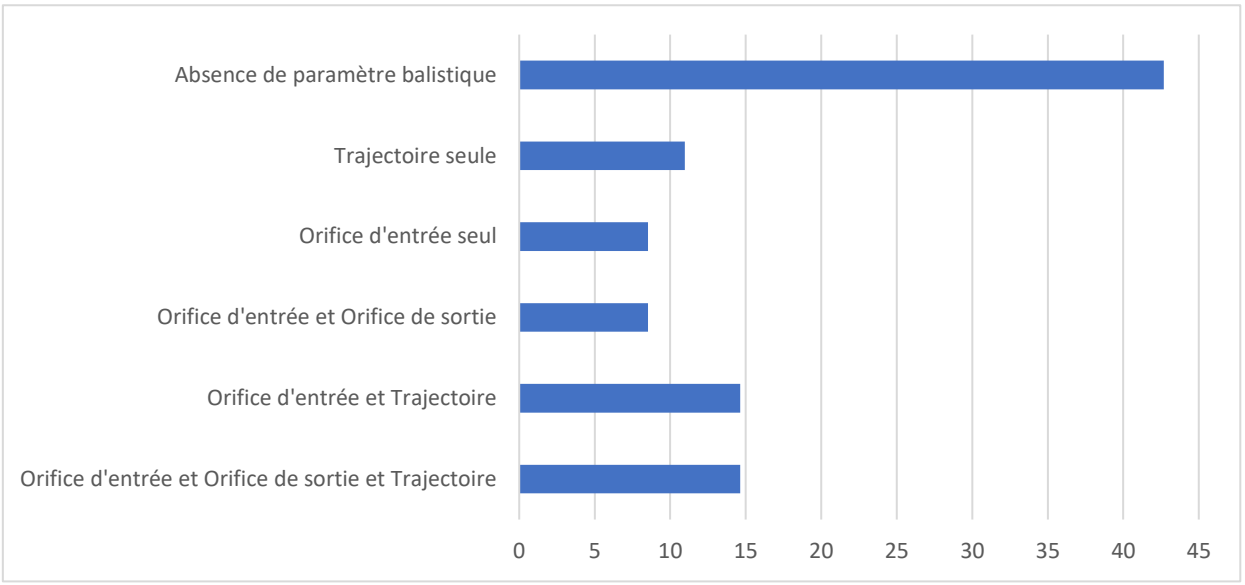


Figure 27. Description des paramètres balistiques dans les comptes rendus
(Exprimés en (%) rapporté au nombre total de comptes rendus)

a. *Impact de l'expérience du radiologue sur les informations médico-légales répertoriées dans le compte-rendu de scanner.*

En s'intéressant à l'expérience des radiologues réalisant les comptes rendus ***(Figure 28)***, on observe que 11% des comptes rendus (*n*=9) ont été réalisés par des radiologues du groupe 1, sensibilisés à l'imagerie médico-légale ; 40,2% par des radiologues du groupe 2, avec plus de 10 ans d'expérience (*n*=33) ; 17,1% par des radiologues du groupe 3, avec entre 5 et 10 ans d'expérience (*n*=14) et 31,7% par des radiologues du groupe 4, avec moins de 5 ans d'expérience (*n*=26).

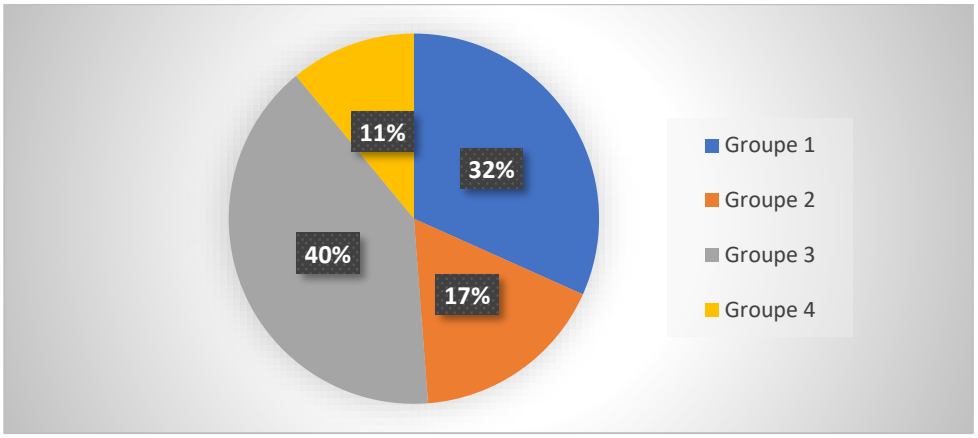


Figure 28. Expérience des radiologues ayant validé les comptes rendus de scanner
(Exprimés en (%) rapporté au nombre total de comptes rendus)

L'absence totale de description du projectile n'est jamais retrouvée dans les comptes rendus du groupe 1 et retrouvée dans 18,2% des comptes rendus des radiologues du groupe 2 (p=0,31) ; 21,4% des comptes rendu du groupe 3 (p=0,25) et 26,9% des comptes rendus du groupe 4 (p=0,29).
L'utilisation de termes aspécifiques est retrouvée dans plus de 30% des comptes rendus de l'ensemble des groupes ***(Figure 29)***.

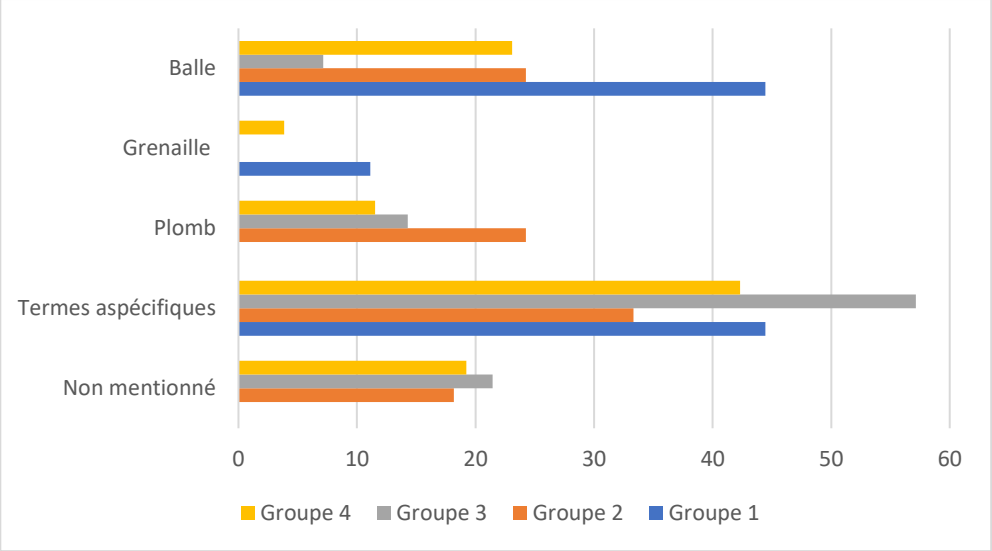


Figure 29. Description du projectile selon l'expérience du radiologue
(Exprimée en (%) rapporté au nombre de comptes rendus réalisés par chaque groupe)

Aucun paramètre balistique n'est décrit dans 11,1% des comptes rendus réalisés par le groupe 1 contre 45,5% (p=0,11) par le groupe 2 ; 50% (p=0,09) dans le groupe 3 et 46,2% (p=0,11) dans le groupe 4.

Les comptes rendus réalisés par les radiologues sensibilisés à l'imagerie médico-légale contiennent également plus fréquemment l'ensemble des paramètres balistiques ***(Figure 30)***, répertoriés dans 22,2% des cas contre respectivement 15,2% ; 7,1% et 15,4% des cas pour les groupes 2, 3 et 4. L'orifice d'entrée est répertorié dans 89% de leurs comptes rendus, contre 36,3% ; 50% et 54,4% pour les groupes 2,3 et 4.

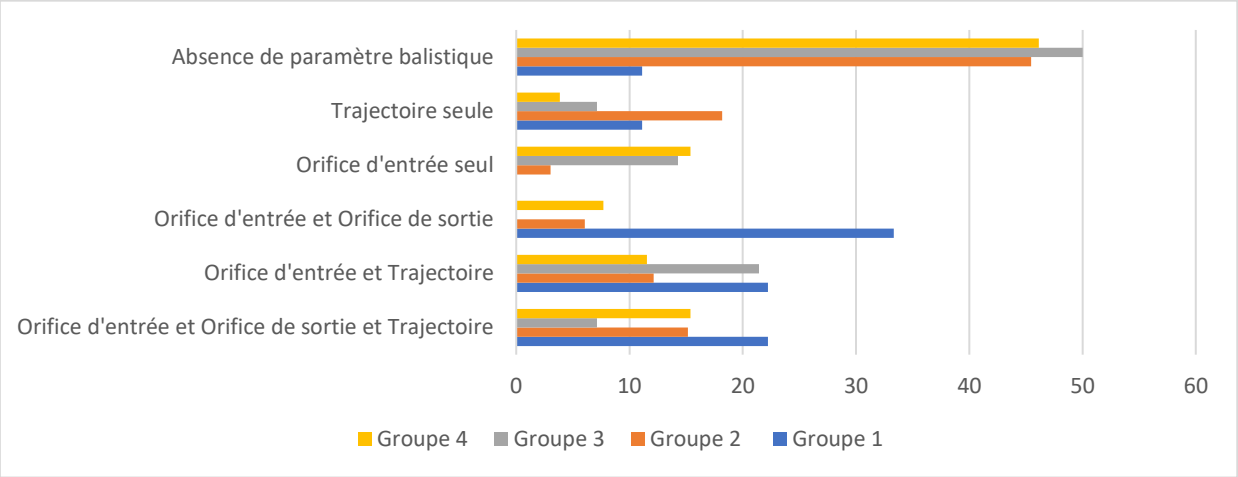


Figure 30. Description des paramètres balistiques selon l'expérience du radiologue
(Exprimée en (%) rapporté au nombre de comptes rendus réalisés par chaque groupe)

B. Apport de l'imagerie dans la prise en charge du patient

a. Utilisation des données de l'imagerie par le médecin légiste

Sur les 51 évaluations réalisées par les médecins légistes, 80,4% d'entre elles concernaient un patient ayant été exploré par scanner (*n* =41). Le compte rendu de scanner validé par le radiologue était intégré dans 75% d'entre elles (*n*=30) et dans 37,5% des cas (*n*=15), le médecin légiste a réalisé des annotations et des reconstructions complémentaires sur les images du scanner.

b. Apport du compte-rendu de scanner au bilan lésionnel

Chez les patients explorés par scanner, des divergences entre les lésions rapportées dans le compte rendu de scanner et les lésions du dossier clinique sont retrouvées dans 12 prises en charges soit chez 14,6% des patients ayant bénéficié d'un scanner.

Concernant le nombre de divergence, aucune n'a été retrouvée à l'étage crânio-encéphalique ; 5 ont été retrouvées dans le cadre d'une atteinte cervicale (soit 41,2% des divergences) ; 5 dans le cadre d'un traumatisme du tronc (soit 41,2% des divergences) et 2 dans le cadre d'un traumatisme d'un membre périphérique.

Sur les 5 divergences retrouvées lors d'une atteinte cervicale, 3 n'étaient pas visibles au scanner. Les 2 lésions visibles n'étaient pas décrites et correspondaient à des atteintes de la langue.

Sur les 5 divergences retrouvées lors d'une atteinte du tronc, 1 concernait une rupture trans-diaphragmatique et les 4 autres étaient des lésions digestives découvertes au cours de la chirurgie. Dans ces 4 derniers dossiers, au moins 1 autre lésion digestive ou suspecte d'effraction péritonéale était décrite.

Les principales lésions répertoriées dans les comptes rendus de scanner sont présentées, selon la région explorée, dans **l'annexe 2**.

VI. Discussion

1. Population d'étude

Notre étude avait pour objectif d'étudier les informations présentées par les radiologues dans leurs comptes rendus de scanner chez les patients vivants pris en charge au décours d'un traumatisme balistique pénétrant. Elle incluait au total 110 patients et parmi eux, 82 avait bénéficié d'un scanner. La majorité des traumatismes était par balle et concernait : soit des hommes d'environ 60 ans, au décours d'une tentative de suicide ; soit des hommes de moins de 30 ans, victimes d'un traumatisme infligé par une tierce personne. Au total, si le projectile était mentionné dans plus de 80% des cas, les paramètres balistiques (orifices d'entrée, de sortie et trajectoire) n'étaient pas mentionnés dans plus de 40% des cas. Dans le même temps, notre étude a permis d'observer la très large utilisation du compte rendu de scanner par le médecin légiste ; en effet celui-ci est présent dans 75% des évaluations médico-légales réalisées.

Les caractéristiques de notre population sont proches de celles présentées dans le travail de la société française de réanimation en 2012, rédigé par Daban et al (46), avec une forte prédominance masculine et une moyenne d'âge proche de 40 ans versus 34,1 ans dans notre étude.
La répartition des modes de traumatismes était également comparable avec 50% de traumatismes hétéro-infligés et 30% de traumatismes auto-infligés volontaires, versus 60% et 40% respectivement dans notre étude. La mortalité intra-hospitalière dans leur travail était évaluée à 16% versus 14,8% dans notre étude.

L'étude publiée par Dagfhous et al (23), seule autre étude s'intéressant à l'apport de l'imagerie chez les patients traumatisés balistiques civils, présente la particularité d'avoir été réalisée au cours de manifestations civiles violentes. De ce fait, la population est bien différente de celle de notre étude. Les patients présentent une moyenne d'âge moins élevée (26 ans) et une répartition anatomique des traumatismes tout à fait singulière avec une atteinte des membres dans 75% des cas contre 42,7% dans notre étude et moins de 2% de plaies crânio-encéphaliques contre près de 40% dans notre étude. De la même manière, l'ensemble des patients étaient des victimes de traumatismes hétéro-infligés et toutes les blessures étaient infligées par des fusils d'assauts.

Nos données sont également cohérentes avec l'enquête réalisée par l'INVS dans le cadre du projet EPAC réalisé de 2004 à 2011 (45) et avec l'étude de Pinto et al (12) parue en 2018 dans lesquelles on constate également une moyenne d'âge plus élevée chez les patients victimes d'un traumatisme auto-infligé volontaire et une population plus jeune chez les victimes de traumatismes hétéro-infligés.

Dans notre étude, il est intéressant de noter que l'ensemble des décès sont survenus chez des patients victimes d'un traumatisme auto-infligé. Ceci pourrait s'expliquer en partie par le potentiel lésionnel majoré de ces traumatismes compte-tenu de la plus faible distance avec l'arme ; mais surtout par la distribution anatomique des lésions avec des atteintes crânio-encéphaliques bien plus fréquentes chez ces patients.

L'exclusion des patients pris en charge chirurgicalement avant la réalisation du scanner était nécessaire pour évaluer l'objectif principal de notre étude. En effet, les interventions chirurgicales, par la modification de l'aspect des tissus, ont un impact significatif sur l'ensemble des paramètres que nous avons recherchés dans les comptes rendus de scanner. Cette exclusion est en revanche responsable d'une sélection de patients dont les atteintes sont potentiellement moins sévères lors de la prise en charge et cette information est à prendre en compte lors de l'extrapolation des résultats. Ainsi, certaines lésions peuvent être rares voire inexistantes dans notre étude comme les atteintes cardiaques en raison de leur forte mortalité pré-hospitalière ou de l'état instable du patient lors de la prise en charge.
Cette notion peut également expliquer certaines données épidémiologiques telle que la différence de mortalité des traumatismes crânio-encéphaliques constatée dans notre étude, qui était plus élevée lors des traumatismes auto-infligés par balle que par grenaille. En effet, le caractère très délabrant des traumatismes par grenaille limite l'engagement thérapeutique dès la prise en charge préhospitalière avec des décès survenant en préhospitalier, tandis qu'il peut être nécessaire d'attendre les résultats du scanner pour évaluer la gravité des lésions du parenchyme cérébral dans les traumatismes par balle.

Au final, la survie des patients victimes d'un traumatisme balistique et dont l'état clinique permet la réalisation d'un scanner avant toute prise en charge chirurgicale est bonne, soulignant la nécessité de déceler les lésions avec un impact fonctionnel notable.

2. Modalités de réalisation du scanner

Malgré l'absence de recommandation spécifique pour l'exploration des traumatisés balistiques, nous retrouvons une globale homogénéité de pratiques entre les différents praticiens.

L'injection de produit de contraste est la règle pour les traumatismes du tronc et des membres mais elle n'est pas réalisée de manière systématique pour les traumatismes crânio-encéphaliques. Ces données sont concordantes avec la littérature : d'après l'étude de Lichte (5), l'injection de produit de contraste dans l'exploration des traumatismes crânio-encéphaliques n'a pas démontré d'impact sur la survie. Elle pourrait toutefois avoir un intérêt dans l'identification fine des lésions vasculaires ***(Figure 31)***, permettant de proposer une embolisation ou une surveillance adaptée seule.

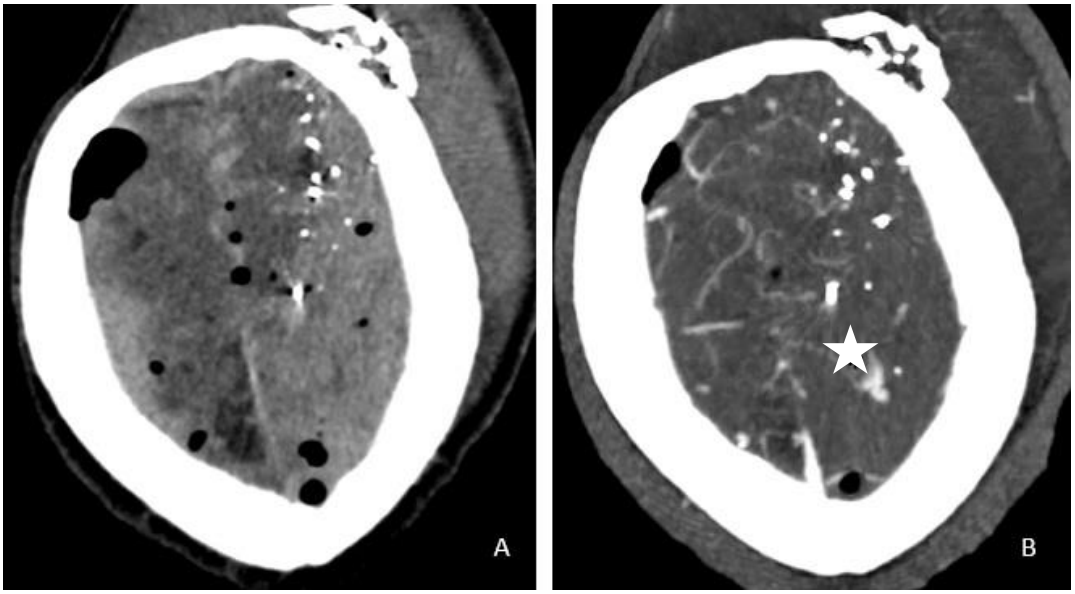


Figure 31. Saignement actif intracrânien

A : Axiale sans IV ; B : Axiale après injection de produit de contraste
Apparition d'une image d'addition (étoile blanche) signant le saignement actif.

Pour les traumatismes avec une composante intra-abdominale, le protocole des premières études comme celle de Shanmuganathan 2004 (30) rapportant l'intérêt du scanner pour surseoir à l'exploration chirurgicale systématique incluait une injection de produit de contraste et une opacification digestive par voies haute et basse. Les études plus récentes de Jawad et al. (35) et de Diftosky et al. (4) ont démontré que l'injection de produit de contraste seule permettait d'attester d'une effraction péritonéale avec de bonnes performances diagnostiques. Il s'agit de l'anomalie clé à rechercher dans ce type de traumatisme car c'est une indication théorique à une exploration chirurgicale.

L'utilisation du protocole « Bodyscanner » dédié du service reste une exception. La plupart des radiologues ciblent l'exploration sur la ou les région(s) atteinte(s) et cette approche semble bénéfique en termes de radioprotection. A titre d'exemple, pour l'exploration d'un traumatisme du tronc, la DLP médiane d'un bodyscanner est de 4997mGy.cm contre 2330mGy.cm pour une exploration plus ciblée (incluant une acquisition thoracique et abdominopelvienne en contraste spontané, au temps artériel et au temps veineux). Ainsi, si l'utilisation d'un protocole « Bodyscanner » est parfois justifiée (traumatismes aux circonstances difficiles à déterminer, traumatismes associés à de multiples lésions éparses, etc.) il est nécessaire de prendre en compte cette dimension de radioprotection. Cela est d'autant plus vrai que l'association d'une acquisition thoracique et abdominale est fréquente, retrouvée dans plus de 79% des cas lors de l'exploration des traumatismes du tronc. Une étude plus approfondie à propos de la radioprotection chez ce type de patient pourrait appuyer ces données préliminaires et permettrait également d'établir l'éventuel impact de la présence de matériel métallique fortement hyperdense sur la dose d'irradiation des patients.

Il n'existe à notre connaissance aucune étude démontrant l'intérêt formel des reconstructions visant à réduire les artefacts métalliques chez le patient traumatisé balistique. Or, les artefacts métalliques sont fréquents dans ce contexte et l'utilisation de telles reconstructions permet d'améliorer notablement la qualité de l'image. Nous avons malgré tout constaté qu'elles étaient très peu demandées par les radiologues. Cette faible utilisation pourrait être en rapport avec les difficultés à réaliser ces reconstructions par les manipulateurs en radiologie ou par méconnaissance de leur intérêt par les radiologues ; compte tenu de leur mise en place récente. On pourrait également supposer que le radiologue responsable de l'examen juge leur apport diagnostique insuffisant, notamment dans ce contexte d'urgence. Une enquête de pratique dédiée à l'utilisation de ces reconstructions permettrait d'identifier leur usage par les radiologues.

3. Informations médico-légales dans le compte-rendu de scanner

L'article publié par Wilson dans la revue RadioGraphics (6) avait pour objectif dès les années 1998 d'apporter à chaque radiologue les notions élémentaires pour comprendre le mécanisme du traumatisme balistique, complété par plusieurs publications depuis, afin que celui-ci propose des comptes rendus d'imagerie pertinents.

Dans notre étude, nous avons constaté qu'il n'était fait aucune mention du projectile (présence, absence et/ou description) dans 17% des comptes rendus. Cette absence totale de description n'apporte au lecteur aucune information sur l'éventuel présence ou non d'un projectile ou la possibilité d'un traumatisme perforant.
Nous avons également constaté qu'il existait des divergences entre la nature réelle du projectile et sa nature supposée par le radiologue dans 11,8% des cas (*n*=4) lorsque celui-ci utilise le terme « balle » alors qu'il s'agit de traumatismes par grenaille. De la même manière, le terme « plomb » était préférentiellement utilisé, à bon escient, lors des traumatismes par grenaille ou par un plomb unique, mais dans quelques cas pour désigner une balle.

Le fait que les paramètres balistiques (orifice d'entrée, orifice de sortie, trajectoire) soient totalement absents dans 42,7% des comptes rendus en fait le schéma de rédaction dominant. Lorsqu'ils sont répertoriés, les pratiques sont assez hétérogènes. En effet, le deuxième schéma de rédaction le plus souvent proposé est une description complète associant « l'orifice d'entrée, la trajectoire et l'orifice de sortie » mais celui-ci est retrouvé dans seulement 15% des cas.
Le troisième schéma de description le plus utilisé, associant « l'orifice d'entrée et la trajectoire » est également retrouvé dans environ 15% des cas et celui-ci est assez proche du schéma précédent. En effet, puisque l'ensemble des orifices de sortie existants ont actuellement été répertoriés, nous pouvons supposer qu'ils ne sont pas décrits lorsqu'ils ne sont pas visibles. Toutefois, il est alors laissé à l'appréciation du lecteur de supposer l'absence d'orifice de sortie lorsque celui-ci n'est pas mentionné dans le compte rendu. Ce procédé est susceptible d'entraîner une confusion lors de la lecture et il semblerait plus aviser de mentionner celui-ci, en suggérant son absence. Cette méthode a été employée dans 2 comptes rendus et nous semble être un moyen plus clair et plus adapté pour le partage de cette information.

Les différences observées entre les termes employés par les radiologues sensibilisés à l'imagerie médico-légale et les autres radiologues quelle que soit leur expérience, offre une piste de réflexion intéressante. Les premiers décrivent systématiquement le projectile (sans préciser sa nature dans près de 40% des cas) et l'absence de paramètre balistique n'est jamais retrouvée dans leurs comptes rendus. Ces données nécessiteraient d'être validées statistiquement par un travail dont la méthodologie serait adaptée. Elles nous permettent malgré tout d'avancer l'hypothèse que les radiologues, en l'absence d'intérêt spécifique pour l'imagerie médico-légale, ne disposent pas des connaissances suffisantes concernant les mécanismes du traumatisme ou des informations utiles aux médecins légistes devant figurer dans le compte rendu.

L'enjeu est d'autant plus grand lorsque l'on sait que le compte rendu du radiologue est inséré dans les évaluations médico-légales dans 75% des cas où les dossiers sont traités par l'unité médico-judiciaire. Un compte rendu pertinent est alors nécessaire car d'une part car le médecin légiste s'appuie sur le bilan lésionnel afin de déterminer l'ITT (incapacité totale de travail), ce qui implique une description exhaustive des lésions, avec une mise en valeur de celles à risque de retentissement fonctionnel (atteintes oculaires, suspicions de lésions nerveuses, atteintes des organes génitaux, fracture, etc). D'autre part, car le scanner est utilisé pour préciser la nature du projectile et corroborer la trajectoire en rapport avec les orifices d'entrée et de sortie. Or toute information manquante à ce sujet est déléguée à l'interprétation du médecin légiste seul. Si celui-ci dispose d'une expertise indéniable dans ce domaine, l'absence d'implication du radiologue est possiblement responsable d'une perte d'information concernant la lecture de l'image.

Devant l'ensemble de ces éléments, on peut se demander si le manque d'informations balistiques rapportées par le radiologue pourrait être un choix personnel de ce dernier du fait de son manque d'expertise, afin de ne pas proposer des éléments possiblement contradictoires avec l'expertise médico-légale. Néanmoins, un radiologue qui réaliserait son compte rendu de scanner en étant soucieux de l'impact médico-légal des informations qu'il contient devrait alors employer des termes descriptifs et être exhaustif dans son interprétation. Or, 17% des comptes rendus ne font aucune mention du projectile, que celui-ci soit présent ou non, omettant alors complètement la dimension balistique du traumatisme. De la même manière, le terme descriptif simple « orifice cutané », relatif aux orifices d'entrée et de sortie et qui n'implique aucune expertise, est très peu utilisé par les radiologues (retrouvé dans seulement 4 cas). Dans le même temps, les notions « d'entrée » ou de « sortie », qui elles, relèvent du domaine médico-légal, sont très souvent précisées dans les comptes rendus dès lors que le radiologue rapporte la mention d'un orifice. Au final l'hypothèse de la « prudence » radiologique lors de la rédaction des comptes rendus ne semble pas convaincante car soit le radiologue n'intègre pas, ou faiblement, la dimension balistique dans son compte rendu ; soit il emploi des termes indépendamment de leur portée médico-légale.

L'ensemble de ces données souligne la méconnaissance ou la confusion qui peuvent exister à la fois concernant les mécanismes mise en jeu dans ce type de traumatisme mais également concernant les informations pertinentes à rapporter dans le compte rendu.

Certaines équipes de médecine légale et de radiologie sont d'avis de ne pas faire apparaître ces données dans le compte rendu de scanner, car les divergences sont susceptibles d'entraîner des interrogations lors des éventuelles procédures judiciaires. Nous trouverions plus intéressant que les radiologues rapportent ces informations de manière descriptive mais exhaustive.

Afin de leurs apporter les outils nécessaires à développer ces capacités, les ressources pédagogiques actuelles traitant de ce sujet sont bien souvent apparentées à un domaine d'hyperspécialisation : ouvrage d'imagerie médicolégale, présentation dédiée dans les congrès, littérature spécialisée, etc..

Nous pourrions donc imaginer de dispenser le plus élémentaire des connaissances, nécessaire à la réalisation d'un compte rendu pertinent, par le biais d'un compte rendu type.

Il pourrait aussi être envisagé d'aborder cette thématique au cours de la formation des internes de radiologie, par le biais d'une présentation synthétique intégrée dans le module d'enseignement d'imagerie des urgences. Ainsi, chaque radiologue disposerait d'un aperçu de l'ensemble des informations attendues dans son compte rendu lorsqu'il est confronté à cette situation, tout en ayant connaissance de la nécessité d'employer des termes descriptifs pour rapporter les éléments médico-légaux.

Enfin, pour les informations moins consensuelles (comme la trajectoire), il pourrait être envisagé de préciser dans le compte rendu initial leur caractère hypothétique, afin que le radiologue s'efforce de les rechercher afin de faire bénéficier de son expérience de l'imagerie au médecin légiste. Ces données pourraient être utilisées comme une base de discussion avec l'équipe de médecine légale.

4. Apport du scanner dans la réalisation du bilan lésionnel

Chez les patients explorés par scanner, la relecture des dossiers médicaux a permis de mettre en évidence un nombre relativement faible de divergences entre les comptes rendus et les éléments cliniques ou chirurgicaux. L'absence totale de divergence à l'étage crânio-encéphalique s'explique par le faible nombre de chirurgies intracrâniennes réalisées et par le faible nombre d'éléments significatifs apportés par l'examen clinique.

Dans le cas de traumatismes du tronc, nous avons tout particulièrement recherché s'il existait des ruptures trans-diaphragmatiques ***(Figure 32)***. Ces lésions ne sont pas exceptionnelles dans ce contexte, mais les performances diagnostiques du scanner pour les détecter sont moyennes dans la littérature (27).

Au sein de notre étude, il existait 2 cas de ruptures trans-diaphragmatiques. L'une d'elle, survenue au décours d'un traumatisme thoracique auto-infligé par grenaille était évidente en raison d'une volumineuse hernie digestive au sein du thorax. La seconde n'a pas été répertoriée dans le compte rendu initial de scanner.

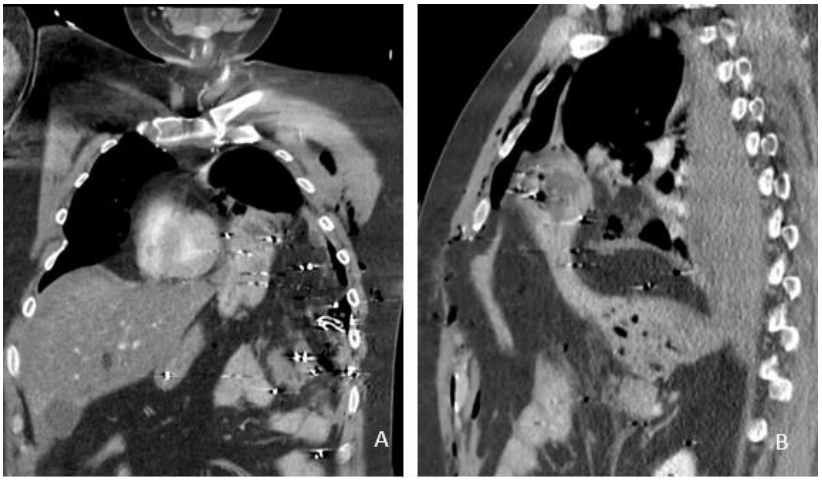


Figure 32. Hernie trans-diaphragmatique post-traumatique
A : Coronale au temps portal ; B : Sagittale au temps portal.

L'article de Dreizin élabore une liste de signes directs et indirects pour améliorer la détection de ces lésions et il propose au radiologue d'établir sur une échelle de 0 à 6 la probabilité qu'elles soient présentes, lors de l'évaluation d'un traumatisme balistique du tronc (13).

Dans les cas de traumatismes de la région abdominopelvienne, il est intéressant de noter que pour les 4 cas où nous avons observé des divergences, il existait d'autres anomalies, digestives ou suspectes d'effraction péritonéale rapportées dans le compte rendu du radiologue. Parmi ces anomalies, il pouvait s'agir du pneumopéritoine, décrit dans les articles de Dagfhous et de Dreizin (13,23) comme une lésion intéressante pour attester de l'effraction péritonéale. Il faut toutefois rappeler que cette lésion reste imparfaitement corrélée à l'atteinte des anses digestives. Ainsi, dans notre étude, nous avons constaté que le pneumopéritoine était absent dans 3 cas alors qu'il existait des lésions digestives. A contrario, la seule laparotomie qui n'a pas retrouvé de lésion (« blanche ») dans notre population, a été réalisé chez un patient présentant un plomb intra-péritonéal associé à un pneumopéritoine, vraisemblablement d'origine exogène.

5. Compte-rendu de scanner type

L'ensemble de nos observations nous conduit à proposer un compte rendu de scanner type, qui pourrait servir de support au radiologue lors de la prise en charge d'un patient victime d'un traumatisme balistique pénétrant.

- ***Indications*** **:**
  Traumatisme balistique [Auto/Hétéro infligé] par [Balle/Grenaille/Projectile non déterminé]
  Localisation des orifices cutanés cliniques

- ***Technique*** : Topogramme large permettant d'identifier et de localiser le(s) projectile(s)
  Boite d'acquisition couvrant l'intégralité de la trajectoire dans les traumatismes par balles
  Reconstruction osseuse ; SEMAR ; +/- 3D

- ***Résultats*** :

  A. Lésions nécessitant une intervention thérapeutique urgente :

     1. Atteinte des voies aériennes supérieures (en l'absence de ventilation invasive)
     2. Atteintes du massif cardiaque ; épanchement pleural (liquidien ou gazeux)
     3. Saignement actif
     4. Effraction péritonéale

  B. Analyse des éléments balistiques (sous réserve d'une concordance de ces résultats avec l'expertise du médecin légiste) :

     1. **Nature du projectile** : indéterminée / multiple, type grenailles/ multiple, type fragments / unique, type balle / unique, type plomb / absence de projectile visible
     2. **Orifice(s) ou défect(s) cutané(s)** :
        - Présence / absence
        - Unique/ multiple
        - Localisation
     3. **Trajectoire supposée** *(décrite dans le plan anatomique de référence : le dos du patient est à l'arrière dans le plan sagittal ; la droite de la description correspond à la gauche du patient dans un plan coronal de face)* : de l'avant vers l'arrière/ de l'arrière vers l'avant ; de la gauche vers la droite/ de la droite vers la gauche ; du haut vers le bas/du bas vers le haut

  C. Bilan lésionnel complet (en suivant la trajectoire du projectile) :

     1. Etablir la liste de chaque structure anatomique d'intérêt potentiellement atteinte
        - Rechercher une rupture trans-diaphragmatique
        - Rechercher un pneumopéritoine signant l'effraction péritonéale *(+/- rechercher des éléments en faveur d'une origine endogène ou exogène)*
     2. Mettre en valeur les lésions et les fragments :
        - Avec retentissement fonctionnel important : ophtalmique, organes génitaux, nerfs, vasculaire, intra articulaire, canal médullaire
        - A risque d'embolisation : vasculaire, aérienne, digestive

- ***Conclusion :***
  - Traumatisme balistique [pénétrant/perforant] (*pénétrant = persistance d'un projectile dans le corps ; perforant = projectile ayant traversé le corps du patient)* par [nature du projectile] avec une trajectoire dans le plan anatomique [XX].
  - Lésions nécessitant une intervention thérapeutique urgente : [nature des lésions] ; communiquées oralement au médecin responsable de la prise en charge.
  - Lésions nécessitant un avis spécialisé ou des examens complémentaires : [nature des lésions]

6. Points forts et limites de l'étude

Le nombre d'individus et les caractéristiques de population superposables aux travaux disponibles sur le sujet sont un point fort de ce travail. La sélection des patients, bien que rétrospective, est un reflet de la « pratique courante » et permet de répondre à la question principale sur une population adéquate. L'exclusion des patients en rapport avec le statut « confidentiel » de leurs données est possiblement responsable d'un biais de sélection. Ce statut est en effet souvent attribué aux personnes en milieu carcéral, plus vraisemblablement victimes d'un traumatisme hétéro-infligé, notre étude pourrait donc sous-pondérer cette catégorie au profit des traumatismes auto-infligés volontaires.

Dans la littérature, les méthodes pour évaluer un compte rendu de radiologie sont discutées mais notre approche par une analyse sémantique nous semble également être un point fort de notre étude (47). En effet, en l'absence de recommandations sur la manière de réaliser un compte rendu de scanner chez un patient victime d'un traumatisme balistique pénétrant, nous avons trouvé pertinent d'utiliser une méthode factuelle et objective pour analyser les informations rapportées par le radiologue dans son compte-rendu.

L'intégration dans notre étude de l'expérience des radiologues selon leurs années d'expérience ou leur sensibilisation à l'imagerie médico-légale permet une première approche intéressante de l'impact de la formation sur les termes utilisés dans les comptes rendus. Les tests statistiques réalisés dans notre étude n'étaient pas significatifs, toutefois sans doute lié aux effectifs faibles de chaque groupe. Un travail de recherche incluant un plus grand nombre de lecteurs d'expériences différentes, dont des radiologues formés en imagerie médico-légale, permettrait de préciser l'impact de la formation et de l'expérience des radiologues sur les termes employés dans les comptes rendus.

Notre étude a également permis de préciser la prise en charge des patients bénéficiant d'une imagerie au sein de notre structure de soins. Mais également de nous renseigner sur les principales lésions rencontrées dans ce type de traumatisme et de créer une base de données intéressante pour la réalisation de travaux ultérieurs, concernant les patients victimes d'un traumatisme balistique pénétrant.

Les caractères monocentrique et rétrospectif du recueil de données sont des limites de notre étude. Il est difficile de généraliser nos résultats à un autre centre et d'autres travaux pourraient être menés pour étudier les différences entre les sites, idéalement en tenant compte des interactions présentes entre le service de médecine légale et de radiologie.

Ces limites ne sont toutefois pas délétères dans l'évaluation de notre objectif principal qui nous a permis de mieux comprendre le travail des membres de notre équipe de radiologie lors de la prise en charge d'un patient victime d'un traumatisme balistique pénétrant.

Au final, la connaissance de l'ensemble de ces informations nous a permis de proposer un compte rendu type, dans le but d'assister les radiologues qui seront amenés à prendre en charge des patients victimes d'un traumatisme balistique pénétrant.

V. Conclusion

Notre étude avait pour objectif d'évaluer les modalités de réalisation et d'interprétation des imageries réalisés chez les patients victimes d'un traumatisme balistique et vivants lors de la prise en charge initiale. Celle-ci a permis de constater que les informations relatives aux mécanismes balistiques étaient globalement insuffisamment rapportées avec une absence totale de mention du projectile dans 17% des comptes rendus et une absence de mention des paramètres balistiques (orifices d'entrée et de sortie et trajectoire) dans plus de 40% des comptes rendus, omettant la dimension balistique du traumatisme et la valeur ajoutée de ces informations au cours de la prise en charge de ces patients.

D'après les données de notre étude, ce manque d'information peut être expliqué par le défaut de connaissance des radiologues concernant à la fois les mécanismes mis en jeu dans ce type de traumatisme et les informations pertinentes à rapporter dans le compte rendu. Ces problématiques sont vraisemblablement associées à la formation du radiologue dans ce domaine. En effet, ces éléments sont bien plus souvent rapportés dans les comptes rendus réalisés par les radiologues qui portent un intérêt à l'imagerie médicolégale.

Ces éléments nous ont conduits à proposer un compte rendu scanographique type, afin de permettre à chaque radiologue d'identifier plus aisément les informations clés devant figurer dans son compte rendu lors de la prise en charge d'un patient victime d'un traumatisme balistique pénétrant. Ils nous invitent également à rechercher de nouvelles pistes d'enseignement, pour faire sortir cette thématique de l'hyperspécialisation et éveiller la communauté radiologique impliquée dans l'imagerie des urgences, que ce soit par le biais de posters scientifiques synthétiques ou de cours dispensés dans le module d'enseignement d'imagerie des urgences dispensé aux internes au cours de leur formation.

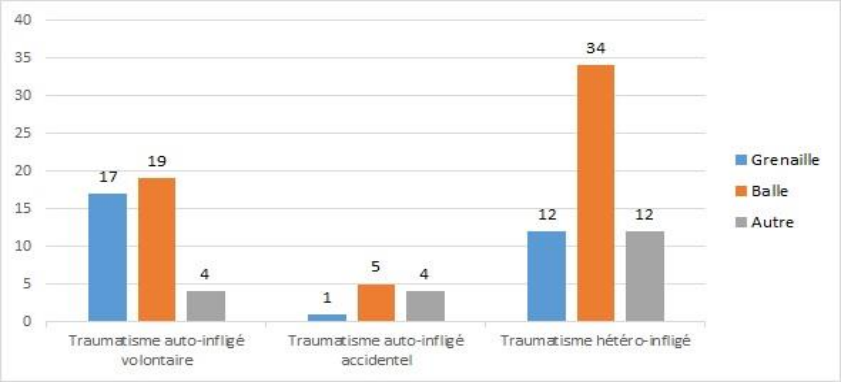
Index des figures

L'ensemble des images de radiographies et de scanners présentées, à l'exception des figures 18 et 20 proviennent d'examens réalisés au CHU de Nantes chez des patients vivants lors de la prise en charge.

Figure 1. Illustration du fonctionnement élémentaire d'une arme à feu 8
Source : Cours canadien de sécurité dans le maniement des armes à feu
Figure 2. Distinction entre canon rayé et canon lisse 10
Source : A : Cours canadien de sécurité dans le maniement des armes à feu ; B : Ballistic Injury Imaging: The Basics Curr Radiol Rep. 4 oct 2018;6(12):45
Figure 3. Eléments constituants les cartouches utilisées selon le type de canons 11
Source : Cours canadien de sécurité dans le maniement des armes à feu
Figure 4. Enveloppe extérieure des balles de canon rayé 12
Source : Ballistic Injury Imaging: The Basics. Curr Radiol Rep. 4 oct 2018;6(12):45
Figure 5. Balle "Sauvestre" pour canon lisse 12
Source : A, B, C : CHU Nantes ; D : https://www.roumaillac.com
Figure 6. Schéma des cavités permanente et temporaire au sein d'une cible 15
Source : Ballistic Injury Imaging: The Basics. Curr Radiol Rep. 4 oct 2018;6(12):45
Figure 7. Faible dispersion de la grenaille à faible distance 16
Figure 8. Nature du projectile à la radiographie 18
Figure 9. Difficultés à visualiser le point d'entrée et de sortie en radiographie 19
Figure 10. Hyperdensité linéaire épidermique 22
Figure 11. Position différente d'un segment anatomique entre le scanner et le traumatisme 23
Figure 12. Annotation d'une trajectoire au scanner 24
Figure 13.Caractère intra et extra-encéphalique d'un traumatisme par balle 25
Figure 14.Traumatisme du massif facial délabrant 26
Figure 15. Rétrécissement de la filière aérienne supérieure 27
Figure 16 : Pneumopéritoine 29
Figure 17. Atteinte des anses digestives avec saignement actif 29
Figure 18. Fistule artérioveineuse post-traumatique 30
Figure 19. Distribution anatomique de la grenaille sur le topogramme 31
Figure 20. OpenRIB : *Source : Service d'imagerie Guilloz CHRU de Nancy* 33
Figure 21. Algorithme de réduction des artefacts métalliques 33
Figure 22. Reconstruction 3D basé sur les algorithmes Global Illumination 34
Source : Service d'imagerie Guilloz CHRU de Nancy (patient décédé lors de la réalisation du scanner)
Figure 23. Flow chart de l'étude 45
Figure 24. Région anatomique atteinte lors du traumatisme 47
Figure 25. Termes employés pour décrire le projectile dans les comptes-rendus de radiologie 50
Figure 26. Paramètres balistiques : comptes rendus initiaux versus relecture 50
Figure 27. Description des paramètres balistiques dans les comptes-rendus 51
Figure 28. Expérience des radiologues ayant validé les comptes-rendus de scanner 51
Figure 29. Description du projectile selon l'expérience du radiologue 52
Figure 30. Description des paramètres balistiques selon l'expérience du radiologue 53
Figure 31. Saignement actif intracrânien 56
Figure 32. Hernie trans-diaphragmatique post-traumatique 61

Annexe 1

Nature du projectile selon type de mécanisme



Région(s) explorée(s) au scanner selon la région anatomique atteinte

Région anatomique atteinte/Région explorée TDM	Crane	Cervicale	Thorax	Abdomen-Pelvis	Membres
Crâne	18	5	2	1	0
Cervicale	6	6	2	0	0
Tronc	1	1	12	11	0
Membre périphérique	1	1	2	5	19
Multiples					
Crâne et cervical	18	14	4	1	0
Crâne et membre périphérique	2	0	0	0	0
Tronc et membre périphérique	0	0	3	2	2
Cervicale et Tronc et Membre périphérique	0	0	1	1	0
Toutes les régions	1	1	1	0	0
Total	**47**	**28**	**27**	**21**	**21**

Caractéristiques épidémiologiques des patients explorés par radiographie seule n = 28 (%) ou médiane [IIQ]

Nombre de patients	28 (26)
Sexe	
Masculin	25 (89,3)
Féminin	3(10,7)
Age médian	20,6(14,6-25,7)
Auteur traumatisme	
Tentative de suicide	0
Traumatisme accidentel auto-infligé	5(17,9)
Traumatisme accidentel hétéro-infligé	23(82,1)
Nature du projectile	
Grenaille	5 (17,9)
Balle	11 (39,3)
Plomb unique	12 (42,9)
Région explorée	
Crâne	0
Cervicale	0
Torse	0
Membre Périphérique	28(100)
Membre supérieur	10(35,7)
Membre inférieur	18 (64,3)

Annexe 2

Lésions décrites dans les comptes rendus de scanner

Crânioencéphalique	HSD	HED	HSA	HIP	HIV	Contusion	Laceration	Engagement	Hydrocéphalie	HTIC	Pneumencéphalie	Saignement actif	Fracture	Parties molles
Balle	10	0	12	7	5	5	3	9	5	7	12	1	15	5
Grenaille	3	0	3	3	0	2	0	1	1	3	6	1	15	12
Autre	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	3	2
Total	**14**	**0**	**16**	**11**	**6**	**8**	**3**	**11**	**7**	**11**	**18**	**2**	**33**	**19**

Thorax	Pneumothorax	Hémothorax	Epanchement Pleural	Pneumomédiastin	Rupture transdiaphragmatique	Parenchyme pulmonaire	Coeur	Vasculaire	Fractures	Parties molles
Balle	4	5	4	6	1	7	0	1	6	4
Grenaille	1	3	3	0	1	3	0	0	1	2
Autre	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1
Total	**6**	**8**	**8**	**6**	**1**	**10**	**0**	**1**	**7**	**7**

Abdomino-pelvienne	Hépatique	Splénique	Pancréas	Anses digestives et Mésentère	Reins et voies urinaires	Pneumopéritoine	Hémopéritoine	Saignement actif	Fractures	Organes génitaux
Balle	1	1	0	7	2	5	5	3	3	2
Grenaille	3	1	0	1	0	1	1	0	0	1
Total	**4**	**2**	**0**	**8**	**2**	**6**	**6**	**3**	**3**	**3**

Cervicale	Tractus aérodigestif	Langue	Saignement	Fracture	Parties molles
Balle	3	2	1	1	4
Grenaille	1	2	0	0	4
Total	**4**	**4**	**1**	**1**	**8**

Membres périphériques	Atteinte vasculaire	Fracture	Atteinte des parties molles
Balle	5	8	12
Grenaille	2	1	3
Total	**7**	**9**	**15**

Bibliographie

1. Karp A. Estimating Global Civilian- HELD Firearms Numbers. :12.
2. VIOLENCE PAR ARME À FEU – INFORMATIONS CLEFS. Amnesty International.
3. FastStats Centers for Disease Control and Prevention
4. Ditkofsky N, Elbanna KY, Robins J, Ali IT, O'Keeffe M, Berger FH. Ballistic Injury Imaging: The Basics. Curr Radiol Rep. 4 oct 2018;6(12):45.
5. Lichte P, Oberbeck R, Binnebösel M, Wildenauer R, Pape HC, Kobbe P. A civilian perspective on ballistic trauma and gunshot injuries. Scand J Trauma Resusc Emerg Med. 17 juin 2010;18:35.
6. Wilson AJ. Gunshot Injuries: What Does a Radiologist Need to Know? RadioGraphics. 1 sept 1999;19(5):1358-68.
7. Cours canadien de sécurité dans le maniement des armes à feu. GRC.RCMP
8. Angela D. Levy (Author)_ H. Theodore Harcke Jr. (Author) - Essentials of Forensic Imaging_ A Text-Atlas-CRC Press (2010).pdf.
9. Dreizin D, Munera F. Multidetector CT for Penetrating Torso Trauma: State of the Art. Radiology. nov 2015;277(2):338-55
10. Lichte P, Oberbeck R, Binnebösel M, Wildenauer R, Pape HC, Kobbe P. RAevicewivilian perspective on ballistic trauma and gunshot injuries. 2010;8.
11. Humphrey C, Kumaratilake J. Ballistics and anatomical modelling – A review. Leg Med. nov 2016;23:21-9.
12. Pinto A, Russo A, Reginelli A, Iacobellis F, Di Serafino M, Giovine S, et al. Gunshot Wounds: Ballistics and Imaging Findings. Semin Ultrasound CT MRI. févr 2019;40(1):25-35.
13. Dreizin D, Munera F. Multidetector CT for Penetrating Torso Trauma: State of the Art. Radiology. nov 2015;277(2):338-55.
14. Knight B, Saukko PJ. Knight's forensic pathology. Fourth edition. Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis Group; 2016. 666 p.
15. Jebri S, Kouki S, Megdiche I, Bouguerra S, Aloui M, Arous Y, et al. PLACE DU RADIOLOGUE DANS LA PRISE EN CHARGE DES PLAIES PAR ARMES A FEU. :60.
16. Brogdon BG. The Scope of Forensic Radiology. Clin Lab Med. 1 juin 1998;18(2):203-40.
17. Stevenson T, Carr DJ, Harrison K, Critchley R, Gibb IE, Stapley SA. Ballistic research techniques: visualizing gunshot wounding patterns. Int J Legal Med. mai 2020;134(3):1103-14.
18. Knight's forensic pathology; fourth edition; Knight,Bernard
19. Masson E. Apport de l'imagerie dans la prise en charge initiale des traumatismes balistiques
20. Folio LR. Combat radiology: diagnostic imaging of blast and ballistic injuries. New York: Springer; 2010. 220 p.
21. Gunn ML, Clark RT, Sadro CT, Linnau KF, Sandstrom CK. Current Concepts in Imaging Evaluation of Penetrating Transmediastinal Injury. RadioGraphics. nov 2014;34(7):1824-41.
22. Reginelli A, Russo A, Maresca D, Martiniello C, Cappabianca S, Brunese L. Imaging Assessment of Gunshot Wounds. Semin Ultrasound CT MRI. févr 2015;36(1):57-67.
23. Daghfous A, Bouzaïdi K, Abdelkefi M, Rebai S, Zoghlemi A, Mbarek M, et al. Apport de l'imagerie dans la prise en charge initiale des traumatismes balistiques. J Radiol Diagn Interv. sept 2015;96:S113-23.
24. Wilkins T, Rosenkranz ER, Nguyen D. Venous bullet embolus to the left pulmonary artery. J Card Surg. août 2016;31(8):523-5.
25. Shanmuganathan K, Mirvis SE, Chiu WC, Killeen KL, Hogan GJF, Scalea TM. Penetrating torso trauma: triple-contrast helical CT in peritoneal violation and organ injury--a prospective study in 200 patients. Radiology. juin 2004;231(3):775-84.
26. Chiu WC, Shanmuganathan K, Mirvis SE, Scalea TM. Determining the Need for Laparotomy in Penetrating Torso Trauma: A Prospective Study Using Triple-Contrast Enhanced Abdominopelvic Computed Tomography: J Trauma Inj Infect Crit Care. nov 2001;51(5):860-9.

27. Dreizin D, Borja MJ, Danton GH, Kadakia K, Caban K, Rivas LA, et al. Penetrating Diaphragmatic Injury: Accuracy of 64-Section Multidetector CT with Trajectography. Radiology. sept 2013;268(3):729-37.

28. Selective non-operative management of civilian gunshot wounds to the abdomen: a systematic review of the evidence

29. Múnera F, Morales C, Soto JA, Garcia HI, Suarez T, Garcia V, et al. Gunshot Wounds of Abdomen: Evaluation of Stable Patients with Triple-Contrast Helical CT. Radiology. mai 2004;231(2):399-405.

30. Shanmuganathan K, Mirvis SE, Chiu WC, Killeen KL, Hogan GJF, Scalea TM. Penetrating Torso Trauma: Triple-Contrast Helical CT in Peritoneal Violation and Organ Injury—A Prospective Study in 200 Patients. Radiology. juin 2004;231(3):775-84.

31. Single-Contrast CT for Detecting Bowel Injuries in Penetrating Abdominopelvic Trauma -

32. Apte A, Bradford K, Dente C, Smith RN. Lead toxicity from retained bullet fragments: A systematic review and meta-analysis. J Trauma Acute Care Surg. sept 2019;87(3):707-16.

33. Versier G, Ollat D. Blessures des membres et du rachis par projectiles. EMC - Rhumatol-Orthopédie. 1 mai 2005;2(3):262-75.

34. Lozano JD, Munera F, Anderson SW, Soto JA, Menias CO, Caban KM. Penetrating Wounds to the Torso: Evaluation with Triple-Contrast Multidetector CT. RadioGraphics. mars 2013;33(2):341-59.

35. Jawad H, Raptis C, Mintz A, Schuerer D, Mellnick V. Single-Contrast CT for Detecting Bowel Injuries in Penetrating Abdominopelvic Trauma. Am J Roentgenol. avr 2018;210(4):761-5.

36. Khung S, Masset P, Duhamel A, Faivre JB, Flohr T, Remy J, et al. Automated 3D Rendering of Ribs in 110 Polytrauma Patients: Strengths and Limitations. Acad Radiol. févr 2017;24(2):146-52.

37. Dankerl P, Seuss H, Ellmann S, Cavallaro A, Uder M, Hammon M. Evaluation of Rib Fractures on a Single-in-plane Image Reformation of the Rib Cage in CT Examinations. Acad Radiol. févr 2017;24(2):153-9.

38. Arrigoni C. Balistique et optimisation des paramètres techniques d'acquisition CT en imagerie forensique.

39. Hackenbroch C, Wafa M, Klinger S, Mauer UM. Magnetic resonance imaging in the presence of projectiles and projectile fragments: Artefacts, image quality, rotation and movement. Magn Reson Imaging. avr 2019;57:143-50.

40. Ditkofsky N, Colak E, Kirpalani A, Mathur S, Deva D, Pearce D, et al. MR imaging in the presence of ballistic debris of unknown composition: a review of the literature and practical approach. Emerg Radiol. oct 2020;27(5):527-32.

41. James CA, Karacozoff A, Shellock FG. Undisclosed and undetected foreign bodies during MRI screening resulting in a potentially serious outcome. Magn Reson Imaging. mai 2013;31(4):630-3.

42. Dedini RD, Karacozoff AM, Shellock FG, Xu D, McClellan RT, Pekmezci M. MRI issues for ballistic objects: information obtained at 1.5-, 3- and 7-Tesla. Spine J. juill 2013;13(7):815-22.

43. Ognard J, Dissaux B, Diallo I, Attar L, Saccardy C, Ben Salem D. Manual and Fully Automated Segmentation to Determine the Ferromagnetic Status of Bullets Using Computed Tomography Dual-Energy Index: A Phantom Study. J Comput Assist Tomogr. 2019;43(5):799-804.

44. Winklhofer S, Stolzmann P, Meier A, Schweitzer W, Morsbach F, Flach P, et al. Added Value of Dual-Energy Computed Tomography Versus Single-Energy Computed Tomography in Assessing Ferromagnetic Properties of Ballistic Projectiles: Implications for Magnetic Resonance Imaging of Gunshot Victims. Invest Radiol. juin 2014;49(6):431-7.

45. Traumatismes par arme à feu en France métropolitaine

46. Daban JL, Peigne V, Boddaert G, Ondo RO, Paul S. TRAUMATISME PÉNÉTRANT ET BALISTIQUE. :16.

47. Bachmann R, Ingebrigtsen RL, Madsen KS, Holm O, Christensen AF, Lauridsen CA. CO-score; a new method for quality assessment of radiology reports. Radiography. août 2020;26(3):e152-7.

SERMENT D'HIPPOCRATE

Au moment d'être admis à exercer la médecine, en présence des maîtres de cette école et de mes condisciples, je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité qui la régissent.

Mon premier souci sera, de rétablir, de préserver ou de promouvoir la santé dans tous les éléments physiques et mentaux, individuels, collectifs et sociaux. Je respecterai toutes les personnes, leur autonomie et leur volonté, sans aucune discrimination selon leur état ou leurs convictions.

J'interviendrai pour les protéger si elles sont affaiblies, vulnérables ou menacées dans leur intégrité ou dignité. Même sous la contrainte, je ne ferai usage de mes connaissances contre les lois de l'humanité.

J'informerai les patients de décisions envisagées, de leurs raisons et de leurs conséquences. Je ne tromperai jamais leur confiance et n'exploiterai pas le pouvoir hérité des circonstances pour forcer leurs consciences. Je donnerai mes soins à l'indigent et à quiconque me les demandera. Je ne me laisserai influencer ni par la recherche du gain ni par la recherche de la gloire.

Admis dans l'intimité des personnes, je tairai les secrets qui me sont confiés. Reçu à l'intérieur des maisons, je respecterai les secrets des foyers. Et ma conduite ne servira pas à corrompre les mœurs.

Je ferai tout pour soulager les souffrances, sans acharnement. Je ne provoquerai jamais la mort délibérément. Je préserverai l'indépendance nécessaire à l'accomplissement de ma mission. Que je sois modéré en tout, mais insatiable de mon amour de la science. Je n'entreprendrai rien qui ne dépasse mes compétences ; je les entretiendrai et les perfectionnerai pour assurer au mieux les services qui me seront demandés.

J'apporterai mon aide à mes confrères ainsi qu'à leurs familles dans l'adversité. Que les hommes et mes confrères m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses, Que je sois déshonoré et méprisé si j'y manque.

NOM : MATSOUNGA PRENOM : Charles

Titre de Thèse : Modalités de réalisation et d'interprétation de l'imagerie lors de la prise en charge initiale d'un patient vivant au décours d'un traumatisme balistique pénétrant

---

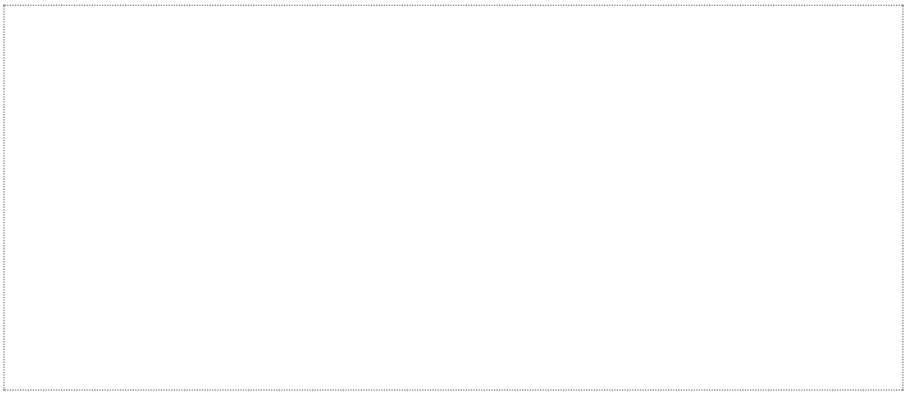
RESUME

Cette enquête de pratique monocentrique rétrospective avait pour objectif d'évaluer les modalités de réalisation et d'interprétation des imageries réalisés chez les patients victimes d'un traumatisme balistique et vivants lors de leur prise en charge initiale au CHU de Nantes.
Elle incluait au total 110 patients et parmi eux, 82 avaient bénéficié d'un scanner.
L'étude des comptes rendus a mis en évidence que les informations médico-légales relatives aux mécanismes balistiques apparaissaient insuffisamment rapportées par les radiologues avec une absence totale de mention du projectile dans 17% des comptes rendus et l'absence de mention des paramètres balistiques (orifice d'entrée et de sortie et trajectoire) dans plus de 40% des comptes rendus, omettant la dimension balistique du traumatisme et la valeur ajoutée de ces informations dans ce contexte. Ces données nous ont conduit à proposer un compte rendu scanographique type permettant aux radiologues de mieux identifier les informations clés lors de la prise en charge de ces patients.

MOTS-CLES

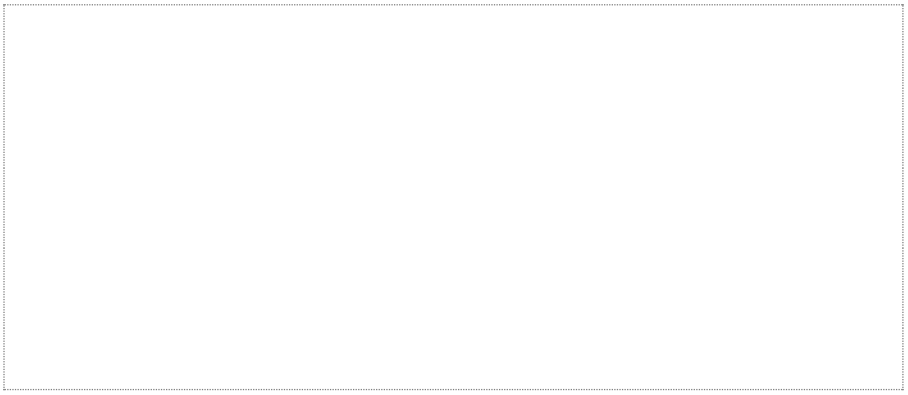
SCANNER MEDICO-LEGAL, TRAUMATISME BALISTIQUE, ARME A FEU, COMPTE RENDU DE SCANNER TYPE, MORT VIOLENTE, PLAIES PAR BALLE, ARME DE POING, FUSIL, CARABINE, REVOLVER, PLAIE PAR BALLE

Vu, le Président du Jury,



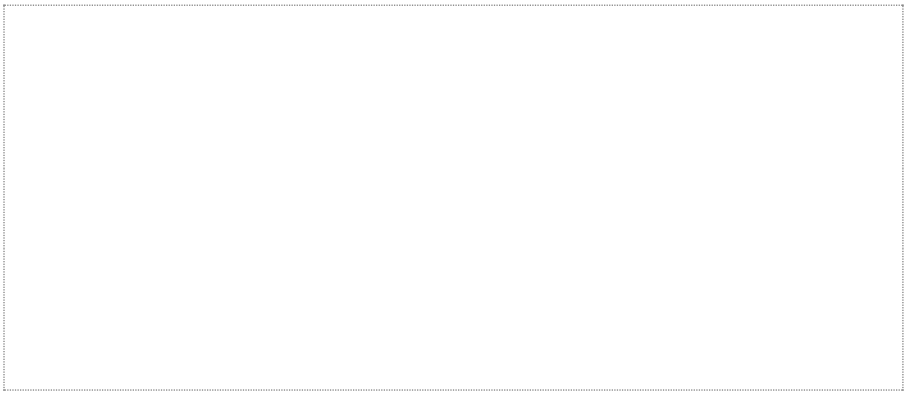
Professeur Jean-Michel SERFATY

Vu, le Directeur de Thèse,



Docteur Mathilde DUCLOYER

Vu, le Doyen de la Faculté,



Professeur Pascale JOLLIET