République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Dr Yahia Farés de Médéa
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département du Génie de la Matière
Filière Génie Mécanique
Spécialité Génie Des Matériaux



MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Pour l'obtention du diplôme de Master en Génie-Mécanique
option Sciences des Matériaux

THÈME

"Étude de l'empreinte du percuteur à tête hémisphérique sur différentes amorces à percussion centrale "

Proposé et dirigé par :

- **Dr. AMOURA Nasreddine;**
- **Dr. HEMMOUCHE Larbi.**

Présenté par :

- **Mr. TRIKI Moncef**

Année universitaire 2015-2016

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Pour l'obtention du diplôme de Master en Génie-Mécanique
option Sciences des Matériaux

THÈME

"Étude de l'empreinte du percuteur à tête hémisphérique sur différentes amorces à percussion centrale "

Proposé et dirigé par :

- **Dr. AMOURA Nasreddine;**
- **Dr. HEMMOUCHE Larbi .**

Présenté par :

- **Mr. TRIKI Moncef**

Année universitaire 2015-2016

« La vérité est que nul ne peut agir avec l'intensité que suppose l'action criminelle sans laisser des marques multiples de son passage [...] Tantôt le malfaiteur a laissé sur les lieux les marques de son passage, tantôt, par une action inverse, il a emporté sur son corps ou sur ses vêtements les indices de son séjour ou de son geste".

EDMOND LOCARD

À mes très chers parents qui ont toujours été là pour moi, qui m'ont guidé durant les moments les plus pénibles de ce long chemin et qui m'ont donné un magnifique modèle de labeur et de persévérance. J'espère qu'ils trouveront dans ce travail toute ma reconnaissance et tout mon amour.

À ma très chère épouse pour sa générosité, son sacrifice au quotidien et son soutien et encouragements.

À mes petits anges WAIL WASSIM et NIHEL qui sont devenus

REMERCIMENTS

Toute ma gratitude, grâce et remerciement vont à Dieu le tout puissant de m'avoir donné la foi, la force, la patience, le courage et la volonté d'achever cet humble travail.

J’adresse mes sincères remerciements et toute ma reconnaissance aux docteurs **AMOURA Nasreddine** et **HEMMOUCHE larbi** pour leur encadrement, leurs conseils, leur patience, leur disponibilité et leurs aides précieuses.

Mes chaleureux remerciements vont aux membres du jury d’avoir honoré notre soutenance et tout l’effort fourni afin de juger ce modeste travail.

Je remercie également toutes les personnes qui ont contribué de prés ou de loin à l’élaboration de ce projet de fin d’études.

« و ما توفيقي إلا بالله عليه توكلت و إليه أنيب »

SOMMAIRE

MOTIVATIONS 13
INTRODUCTION GENERALE 1
I.1 La balistique au cours de l'histoire 3
I.1.1 La balistique dans la police scientifique 4
I.2 Définitions de la balistique : 4
I.2.1 La balistique interne 5
I.2.2 La balistique externe 5
I.2.3 La balistique terminale 6
I.3 Initiation aux armes à feu et leurs munitions 6
I.3.1 Les armes longues 6
I.3.2 Les Munitions 11
I.4 Analyse des traces balistiques des armes à feu 17
I.4.1 Les caractéristiques d'identification d'une arme 17
I.4.1.4 Les traces présentes sur le projectile 18
I.4.2 Traces laissées par une arme sur une douille 19
II.1 Introduction 29
II.2 Protocole du travail 29
II.2.1 Les armes à feu choisies : 30
II.2.2 La munition choisie : 30
II.3 Équipement et Instrument de mesure et de caractérisation 30
II.3.1 Micro-fluorescence à rayons X 30
II.3.2 Diffraction à rayons X (XRD) 31
II.3.3 Essais de dureté 32
II.3.4 Le Dynamomètre 33
II.3.5 Microscope de comparaison 34
II.4 Mesure des profondeurs et des diamètres de percussion 34
II.4.1 La technique du moulage : 34
II.4.2 La numérisation dans le système IBIS TRAX-3D 37
II.5 Conclusion : 39
III.1 Introduction 40
III.2 Resultats et Discussions 40
III.2.1 Diffractométrie X : 40

III.2.2 Résultats des analyses par micro-fluorescence à rayons X 42
III.3.3 Résultats des essais de dureté 44
III.3.4 Mesure des profondeurs et des diamètres de percussion 47
III.5 Discussion des facteurs qui régissent l'augmentation des 52
III.6 Conclusion 52
IV.1 Introduction 53
IV.2 Présentation du logiciel de simulation 53
IV.3 Simulation de l'impact percuteur-amorce en dynamique rapide sous ANSYS 54
IV.3.1 Conception des modèles 54
IV.3.1.1 Choix des matériaux 55
IV.3.2 Modélisation en Dynamique explicite 56
IV.3.2.2 Les caractéristiques des amorces et des percuteurs 58
IV.3.2.3 Résultats de la simulation 60
IV.4 Conclusion : 63
CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES 64
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES 67

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Caractéristiques des armes à feu et de leurs percuteurs ..... **Erreur ! Signet non défini.**

Tableau 3: les coordonnées des pics dans les spectres de diffraction des rayons avec les plans (h,k,l) qui y correspondent 41

Tableau 4: % massiques moyens du percuteur de l'AKS (Iran) 42

Tableau 5: % massiques moyens du percuteur de l'AK47 (Bulgarie) 42

Tableau 6: % massiques moyens du percuteur de l'AK 103-2 (Russie) 42

Tableau 7: % massiques moyens des composants de l'amorce fabriquée en Algérie (S08) 43

Tableau 8: % massiques moyens des composants de l'amorce issue fabriquée en Belgique (93 0) 43

Tableau 9: % massiques moyens des composants de l'amorce issue fabriquée en Russie (711 88) 43

Tableau 10: % massiques moyens des composants de l'amorce issue fabriquée en Pologne (21 01) 43

Tableau 11: Duretés Vickers et résistances à la rupture des percuteurs 44

Tableau 12: Duretés Vickers et résistances à la rupture des percuteurs 46

Tableau 13: Mesures des profondeurs de percussion de l'AK47 47

Tableau 14: mesures des diamètres de percussion de l'AK47 47

Tableau 16: mesures des diamètres de percussion de l'AKS 48

Tableau 15: mesures des profondeurs de percussion de l'AKS 49

Tableau 18: mesures des diamètres de percussion de l'AK103-2 50

Tableau 17: mesures des profondeurs de percussion de l'AK103-2 50

Tableau 27: les propriétés mécaniques de l'acier-S7 avec une équation d'état du type Johnson-Cook 55

Tableau 28: les propriétés mécaniques du CART BRASS 56

Tableau 29: Les caractéristiques des amorces 58

Tableau 30: Les caractéristiques des percuteurs 59

Tableau 31 : Simulation des empreintes de percussion de l'AK47 60

Tableau 32 : Simulation des empreintes de percussion de l'AKS 61

Tableau 33 Simulation des empreintes de percussion de l'AK103-2 62

Tableau 34 : PROFONDEUR D'EMPREINTE NUMERIQUE 63

Tableau 35 : PROFONDEUR D'EMPREINTE EXPERIMENTALE 63

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : a- Baliste, b- Catapulte, c- Lanceur de projectile. 3

Figure 2 : les trois types de la balistique. 5

Figure 3 : La balistique interne. 5

Figure 4 : La balistique externe. 5

Figure 5 : La balistique terminale. 6

Figure 6: Différents types de fusil de chasse. 7

Figure 7: fusil de chasse mixte Sagittaire (Canon lisse et canon rayé). 7

Figure 8: Fusil à pompe WINCHESTER MODEL 1897. 7

Figure 9 :a- Fusil d'assaut FAMAS FELIN, b- Fusil d'assaut AK47. 8

Figure 10: pistolet automatique Beretta 93R. 8

Figure 11 : Arme automatique Heckler & Koch 21A1. 9

Figure 12: Une mitraillette CZ Scorpion Vz 61. 9

Figure 13: Les carabines à répétition manuelle. 9

Figure 14: a- Carabine à ressort (piston), b- Pistolet à CO2 liquide. 10

Figure 15: le Revolver et son barillet. 10

Figure 16: (a) Beretta FS 92, (b) Colt Combat Elite,(c) Sig-sauer P226. 11

Figure 17: Les deringers. 11

Figure 18: Formes des différents culots de douilles. 12

Figure 19: Différentes formes des douilles pour armes à canon rayé. 12

Figure 20: Cartouche à percussion annulaire 13

Figure 21: Cartouches à percussion centrale 14

Figure 22: (a) Capsule d'amorçage Berdan, (b) Capsule d'amorçage Boxer 15

Figure 23: Différents types et formes de projectiles. 16

Figure 24: Usinage des différentes pièces constituant les armes à feu. 17

Figure 25: a- Différentes traces issues d'un canon conventionnel et polygonal, b- Les impressions de rayure et de champs sur le projectile. 18

Figure 26: Différentes traces balistiques laissées sur le projectile. 19

Figure 27 : (a) Traces produites lors de la fabrication de l'amorce (b) et (c) Stries laissées durant la fabrication de l'amorce se prolongeant jusqu'à l'intérieur de la trace du percuteur. 20

Figure 28 : Traces des lèvres du magasin laissées par un pistolet semi-automatique Beretta 92 S calibre 9 mm Parabellum. 21

Figure 29: Contact entre la douille et la partie inférieure du bloc de culasse lors du passage de la cartouche dans la chambre (Flèche rouge). 22

Figure 30: Détail d'une trace du percuteur laissée par un pistolet semi-automatique 23

Figure 31 : Traces de la tète de culasse 24

Figure 32: Trace laissée par des parties en creux de la tête de culasse 25

Figure 33: Chambre à cartouches cannelée (à gauche) et traces laissées par ce genre de chambre à cartouche (à droite). 25

Figure 34: Trace de l'extracteur 26

Figure 35: trace de l'éjecteur 27

Figure 36 : a-Aplatissement du collet d'une douille ; b- Trace laissée par le contact avec la fenêtre d'éjection 28

Figure 37: Trace du percuteur avec trainée sur des cartouches tirées par le même pistolet semi-automatique calibre 9 mm Parabellum 28

Figure 38: µFRX de marque 30

Figure 39: Interférence des ondes diffusée (phénomène de diffraction) 31

Figure 40: principe de la diffraction à rayons X 31

Figure 41: Diffractomètre de marque « Italstructures modèle X A PD 2000 » 32

Figure 42 : (a) Microduromètre numérique de marque « AFFRI, modèle DM2D », ... 33

Figure 43: Dynamomètre mécanique de marque Kontaktor 33

Figure 44: Microscope de comparaison motorisée modulaire Leica FS C 34

Figure 47: Kit forensic de moulage PVS200 35

Figure 48: Micromètre digital MITUTOYO, modèle DIGIMATIC, 0 -25MM 35

Figure 49: 1-Injection de la matière de moulage ; 2- Soulèvement de l'empreinte moulée de percussion 36

Figure 50: 1- Mesure de la profondeur de percussion « P » ; 2- Mesure du diamètre de percussion « D » 36

Figure 52: Mesure du diamètre de percussion 38

Figure 53: Mesure de la profondeur de percussion (programme développé sous MATLAB 39

Figure 55: Spectre de diffraction des rayons X de l'amorce fabriquée en Algérie (S 08) 40

Figure 56: Spectre de diffraction des rayons X de l'amorce fabriquée en Russie (711 88) 40

Figure 57: Spectre de diffraction des rayons X de l'amorce fabriquée en Pologne (21 01) 40

Figure 58: Spectre de diffraction des rayons X de l'amorce fabriquée en Belgique (93 0). 41

Figure 59: Schéma des zones de déformation sous un pénétrateur de type Vickers (Rm≈ 3.5HV). 44

Figure 60: Courbe de traction représentant le le comportement mécanique statique d'un matériau.....44

Figure 61: Histogramme des duretés HVmoyenne des percuteurs 45

Figure 62: Histogramme des Résistance à la rupture des percuteurs.....45

Figure 64: Histogramme des duretés $HV_{moyenne}$ des amorces.....46

Figure 64: Histogramme des Résistance à la rupture des amorces 46

Figure 68: Modélisation de l'amorce par révolution 54

Figure 69 : Modélisation du bout du percuteur par révolution.....54

Figure 70: Position « Percuteur-Amorce » avant impact 56

Figure 71: Dimensions des amorces 58

Figure 72: Dimensions des extrémités du percuteur de l'AK103-2.....59

Figure 73: Dimensions des extrémités du percuteur de l'AKS 59

Figure 74: Dimensions des extrémités du percuteur de l'AK47.....59

LISTE DES ABREVIATIONS ET SYMBOLES

INCC	**Institut National de Criminalistique et de Criminologie**
GN	**Gendarmerie Nationale**
C/C	**Coup par Coup**
RF	**Rafale**
Ce	**la concentration de l'élément dans le standard**
Ie	**l'intensité corrigée de l'élément dans le standard**
Ce	**la concentration de l'élément dans le standard**
Ie	**l'intensité corrigée de l'élément dans le standard**
µFRX	**Micro-fluorescence à rayons X**
XRD	**Diffraction à rayons X**
d	**l'ordre de réflexion (nombre entier)**
θ	**longueur d'onde des rayons X**
d	**l'ordre de réflexion (nombre entier)**
λ	**longueur d'onde des rayons X**
IBIS	**Integrated Balistics Identification System**
Rm	**Resistance à la rupture**
HV	**Dureté vickers**
σ0 :	**constante d'écrouissage**
$\dot{\varepsilon}_{p0}$	**coefficient d'adoucissement thermique**
T	**température à l'essai**
σ0	**constante d'écrouissage**
K1	**constante de vitesse de déformation**
m	**coefficient d'adoucissement thermique**
T_{fus}	**température de fusion**

MOTIVATIONS

Les motivations de ce travail sont dictées par des considérations purement pratiques donc expérimentales. En effet, très souvent au sein de notre laboratoire de balistique mécanique, relevant de l'Institut National de Criminalistique et de Criminologie-GN, nous recevons des demandes d'expertises balistiques émanant des magistrats et des requérants ayant pour objets la réponse aux questions suivantes:

- *Quel est le nombre d'armes à feu utilisées dans le crime ainsi que leurs types ?*
- *Quel est l'état fonctionnel de l'arme saisie ?*
- *Quelle est la trajectoire des projectiles lors des tirs (présence de ricochets, orifices d'entrée et de sortie.., etc.) ?*
- *Est-ce que l'arme saisie a servi dans le tir de la douille ou du projectile incriminé ?*
- *Vérifier si cette arme est liée à d'autres affaires criminelles précédentes ?*

Pour répondre à ces questions, les experts en la matière essayeront dans la plupart des cas, d'établir un lien tangible entre les traces trouvées sur les lieux et une source (objet ou personne) suspecte, ou de relier entre deux traces pour évaluer l'unicité de leurs sources, sans avoir une source suspecte. Pour ce faire, des méthodes et procédures de travail doivent être utilisées tout au long des examens scientifiques comme la comparaison macroscopique entre les éléments de munition. Cette dernière est considérée comme étant la pierre angulaire du processus de l'expertise balistique à cause de la pertinence des résultats obtenus à l'issu de son emploi.

Néanmoins, à travers notre expérience professionnelle au niveau du laboratoire susmentionné, nous avons pu constater que l'empreinte de percussion, une des signatures balistique de l'arme, change de dimension (diamètre et profondeur) d'une munition à l'autre pour la même arme à feu. Cette constatation constitue un risque de faux négatif pour les experts en balistique surtout quand les traces pertinentes de percussion ne sont pas suffisantes pour pouvoir valider les résultats de la comparaison. Ce genre de situation suscite ainsi des questions auxquelles le thème de recherche proposé, tentera d'apporter une réponse:

1) Quels sont les paramètres intrinsèques et extrinsèques influençant sur les dimensions de l'empreinte de percussion ?
2) Quelles sont les différences entre les amorces de munition de même calibre (7.62x39mm)?
3) Quelles sont les différences entre les percuteurs issus des armes de même type (Kalachnikov)?
4) Peut-on modéliser et simuler le processus de percussion ?

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Pour établir la matérialité du fait judiciaire et l'identification de son auteur, particulièrement en matière criminelle, aucune investigation ne doit être négligée afin de connaître la vérité. L'examen des éléments matériels, allié aux techniques relevant d'autres domaines scientifiques, étaye ou supplée les preuves fragiles, incertaines, fournies par les témoignages ou même les aveux.

La science forensique, ou la forensique, applique une démarche scientifique et des méthodes techniques dans l'étude des traces qui prennent leur origine dans une activité criminelle, ou litigieuse en matière civile, réglementaire ou administrative. Elle aide la justice à se déterminer sur les causes et les circonstances de cette activité. [1]

L'investigation des armes à feu, est une branche faisant partie des sciences forensiques. Même s'il s'agit d'un sous-ensemble des sciences forensiques, le domaine des armes à feu reste très vaste, nécessitant des connaissances variées et étendues. Les affaires criminelles impliquant des armes à feu peuvent concerner diverses branches en même temps, parmi lesquelles : la balistique, l'analyse des résidus de poudre provenant d'un tir et l'identification d'une arme à partir d'un ou de plusieurs éléments de munition tirés. [2]

L'identification d'une arme à feu peut être définie comme le processus employé pour mettre en relation un élément de munition, tel qu'un projectile ou une douille, à l'arme qui l'a tiré, sur la base des traces transmises par l'arme à la cartouche. Ce procédé implique, non seulement la recherche de similitudes entre un élément de munition indiciaire et un autre d'origine connue, mais également l'évaluation de ces similitudes, si elles existent. Cette dernière étape demeure la plus importante et nécessite une expérience solide. Dans le domaine balistique, il est admis que l'interprétation des résultats reste une étape subjective manquant de lignes directrices. [3]

A chaque fois qu'un projectile est tiré d'une arme à feu automatique ou semi-automatique, une douille est également éjectée sur place. En effet, pendant le processus de décharge, les surfaces de contact des parties mécaniques à l'intérieur de l'arme à feu confèrent des marques microscopiques sur diverses parties de la douille et du projectile. Une de ces surfaces de contact est le percuteur, une tige métallique située à l'intérieur de la culasse et qui vient frapper, lorsqu'actionnée, l'amorce située à l'arrière de la cartouche contenant l'explosif primaire qui va servir à enflammer la poudre explosive emballée à l'intérieur de la douille, engendrant ainsi une augmentation importante de la pression (due au gaz) et la mise en mouvement du projectile à haute vitesse. Les douilles éjectées sont l'un des éléments clés de

preuve dans des crimes liés aux armes à feu. Plus précisément, ce sont les marques microscopiques gravées par les percuteurs, des armes à feu, sur les amorces des douilles que les experts en balistique examinent afin de déterminer si une identification peut être conclue avec d'autres traces issues des armes à feu suspectes ou non.

A vrai dire, la balistique est un domaine très riche en études scientifiques, pour lequel de nombreuses recherches ont été menées aussi bien sur les projectiles que sur les douilles. Cependant, il reste encore des sujets de recherche qui mérite d'être initier et développer parmi lesquels s'inscrit le thème du présent mémoire qui s'intitule *« Étude de l'empreinte du percuteur à tête hémisphérique sur différentes amorces à percussion centrale »*. L'objectif à terme de ce travail est d'étudier, à travers la réalisation d'essais pratiques, l'évolution des dimensions de l'empreinte de percussion laissée par trois (03) percuteurs, issus de trois armes différentes de type Kalachnikov, sur quatre (04) échantillons d'amorces issues d'une munition de calibre 7.62x39 mm.

Pour arriver aux résultats souhaités, nous avons adopté un plan de travail divisé en quatre (04) chapitres dont chacun est résumé comme suit :

- Le premier chapitre aborde, en premier lieu, l'histoire de la balistique ainsi que ses définitions, ensuite une introduction aux armes à feu et leurs munitions, et enfin l'analyse des traces balistiques des armes à feu.
- Le deuxième chapitre résume le protocole expérimental adopté durant notre travail, et les techniques expérimentales utilisées.
- Le troisième chapitre est une synthèse de tous les résultats obtenus lors de la partie expérimentale.
- Le quatrième chapitre est dédié à la simulation du processus de percussion avec le logiciel ANSYS.

Enfin nous terminerons notre étude par une conclusion générale et des perspectives.

CHAPITRE I

INTRODUCTION A LA BALISTIQUE

I.1 La balistique au cours de l'histoire

La balistique existe depuis des millénaires, notamment au temps de la chasse et des guerres. Les hommes lançaient des projectiles sur leurs proies, et même si la science de la balistique n'existait pas encore, ils essayaient après plusieurs essais d'améliorer leur précision. Le mot "Balistique" est d'origine latine, il vient de ballista : qui signifie baliste, qui est une sorte de grosse arbalète et de ballistica : science qui étudie le mouvement du corps et le comportement d'un projectile [4].

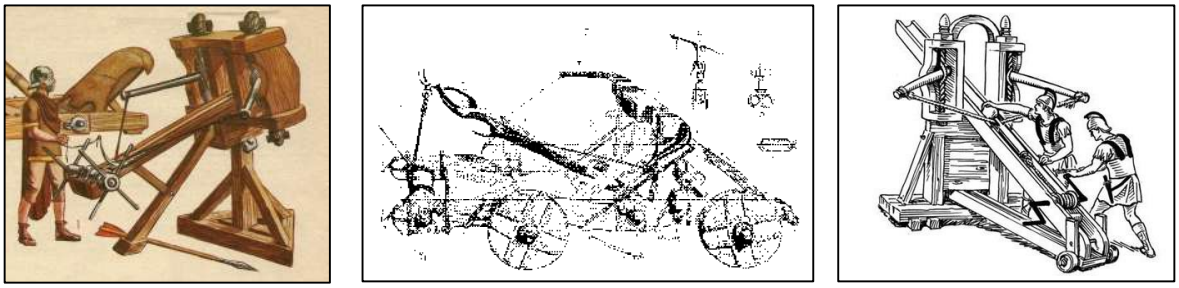
Les Romains sont les précurseurs de la balistique. En effet, ils utilisaient de nombreuses armes de guerre, développées pour l'époque comme la baliste ou la catapulte. Pour avoir une meilleure précision, ils avaient recours à l'étude de la balistique.

Jusqu'à la Renaissance, on croyait que la trajectoire des projectiles était rectiligne. C'est vers cette époque que cette idée a été changée, et que des expériences ont apporté l'idée d'une trajectoire curviligne entre le lanceur et la cible, dépendant de l'angle de tir.

C'est en 1537 que l'Italien Nicolo TARTAGLIA Fontana publie sa "Nova Scienza", dans laquelle il fait apparaître la balistique extérieure (étude des trajectoires du projectile en dehors du lanceur). Il affirme alors que la trajectoire du projectile ne peut être rectiligne et qu'elle dépend de la vitesse, plus cette dernière est grande, plus la trajectoire est plate. Il établit aussi une symétrie entre la première phase et la dernière phase. Ainsi, le projectile voit sa vitesse décroissante juste après le tir, et sa vitesse croît dans la chute libre à la fin [5].

Ensuite, Euler, d'Alembert et Robins créèrent une balistique vraiment scientifique tenant compte de tous les facteurs possibles telle la résistance de l'air.

Toutes les études concernant la balistique se sont donc développées rapidement depuis l'essor des armes à feu. Au XVIIIème siècle, on pouvait alors compter deux méthodes. Tout d'abord, la mesure de la quantité de mouvement d'un projectile, grâce à des outils comme le pendule balistique ou le canon-pendule, puis la mesure de la vitesse de ce même projectile en calculant le temps nécessaire au parcours d'une distance.



(a) (b) (c)

Figure 1 : a- Baliste, b- Catapulte, c- Lanceur de projectile.

I.1.1 La balistique dans la police scientifique

- En 1889, Alexandre LACASSAGNE découvre que grâce aux stries de la balle, celle-ci peut être associée à l'arme correspondante [5].
- Pour la première fois dans la police scientifique, la balistique aida à résoudre une scène de crime en 1898, après avoir tiré une balle avec l'arme d'un suspect.
- Charles WAITE a trouvé un outil pour déterminer quel modèle d'arme a tiré un coup de feu en examinant les balles retrouvées.
- En 1929, Un grand expert nommé Calvin GODDARD identifia les armes employées par les tueurs d'Al Capone qui a conduit à l'arrestation d'un d'entre eux.
- En 1959, des experts développèrent un test par coloration pour pouvoir identifier les résidus des coups de feu, qui permettent de dire si un suspect a utilisé une arme ou non en utilisant un révélateur chimique.
- Depuis le début du 20^{ième} siècle, les balisticiens n'ont eu de cesse que de réussir à améliorer les techniques et matériels nécessaires à ce travail. L'invention du microscope comparateur (macroscope de comparaison) de Philip O. GRAVELLE en 1925, fut une étape primordiale. Les progrès de l'optique et de l'éclairage de précision ont fait, à ce jour, de la technique d'identification au microscope comparateur, la méthode de référence en usage dans tous les pays dotés d'une Police scientifique.

I.2 Définitions de la balistique :

La balistique, au sens littéral du terme, est l'étude du mouvement des mobiles soumis à la force gravitationnelle. Galilée (1564-1642) a été le premier à décrire de façon adéquate le mouvement des projectiles et à démontrer qu'il était possible de le comprendre en analysant ses composantes horizontale et verticale séparément [5].

D'un point de vue criminalistique, il s'agit d'exploiter tout ce qui concerne, de près ou de loin, les armes à feu, leurs munitions ainsi que les dégâts qu'elles peuvent causer. La balistique sert à déterminer la nature de l'arme utilisée, le nombre de coups de feu tirés et aussi la direction et la distance de tir. La balistique se divise en trois phases distinctes, à savoir :

- *La balistique interne :* la science qui étudie tous les phénomènes se déroulant à l'intérieur de la chambre à cartouche et du canon de l'arme.
- *La balistique externe :* la science qui étudie le comportement et la trajectoire du projectile entre sa sortie de l'arme et le moment où il atteint sa cible.

- *La balistique terminale :* la science qui étudie les effets du projectile sur la cible.

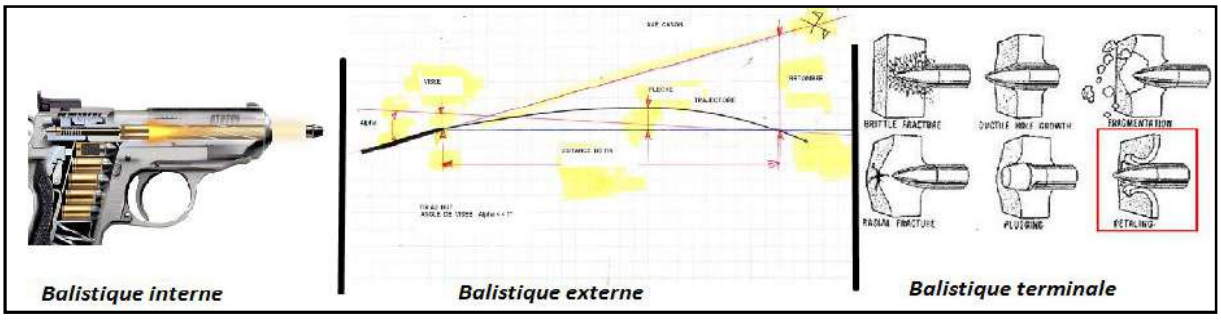


Figure 2 : les trois types de la balistique.

I.2.1 La balistique interne

La balistique interne est l'étude de l'ensemble des phénomènes se produisant à l'intérieur du canon d'une arme à feu. On étudie alors la pression des gaz dans le canon, la température et le volume de ceux-ci. Dans une arme à feu, il y a ce qu'on appelle la chambre de combustion, où l'on insère les cartouches qui sont par la suite percutées, engendrant la combustion de la poudre puis la projection du projectile dont le mouvement est provoqué par des rayures qui sont sculptées à l'intérieur du canon. Lors de la combustion, la température augmente, donc la pression en fait de même et le projectile est propulsé vers l'extérieur du canon à haute vitesse.

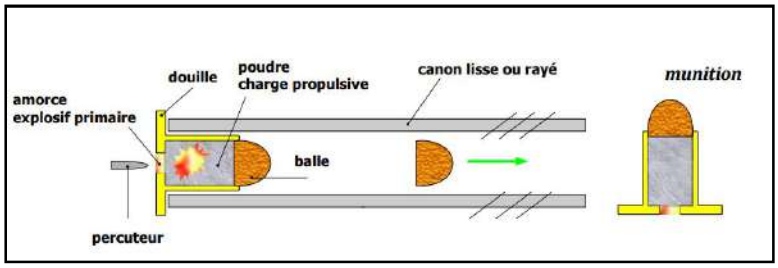


Figure 3 : La balistique interne.

I.2.2 La balistique externe

La balistique externe est la science qui étudie la trajectoire et la vitesse du projectile entre sa sortie de l'arme et le moment ou il atteint sa cible.

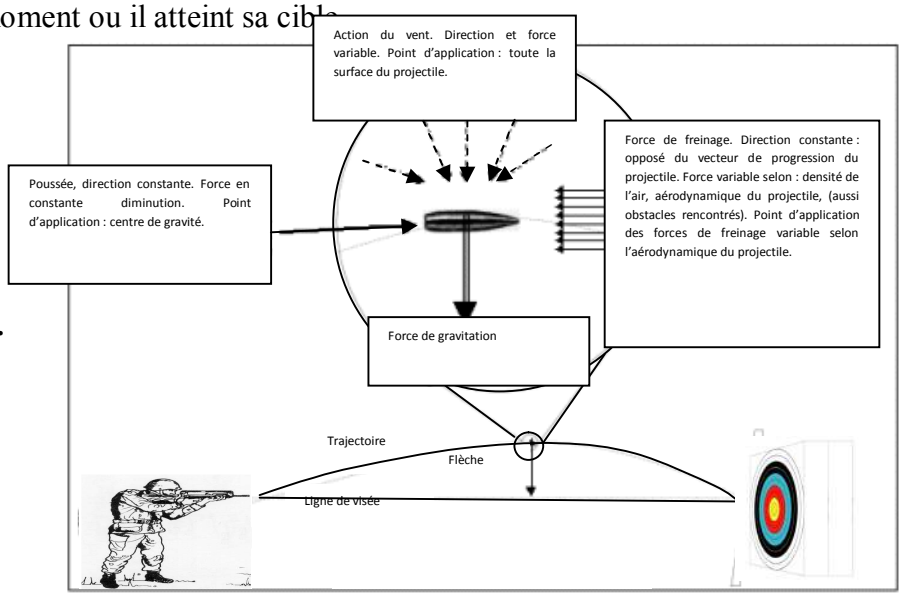


Figure 4 : La balistique externe.

I.2.3 La balistique terminale

La balistique terminale est la science qui étudie les effets du projectile sur la cible. Pour que son efficacité soit maximale, il faut que le projectile délivre le maximum d'énergie dans le minimum de temps et de trajet. Autrement dit, la gravité d'une blessure dépend non seulement du siège de l'impact, mais encore de la quantité d'énergie perdue dans les tissus et non de la quantité d'énergie transportée.

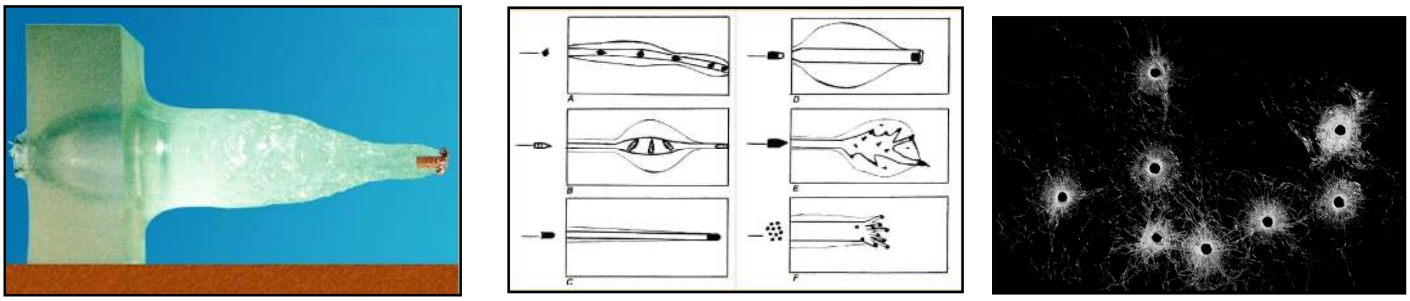


Figure 5 : La balistique terminale.

I.3 Initiation aux armes à feu et leurs munitions

Une arme à feu est une arme permettant d'envoyer à distance des projectiles, au moyen de gaz produits par une déflagration (combustion rapide et confinée d'un composé chimique détonnant).[7] Il y a deux grandes catégories d'armes à feu, à savoir :

Les armes longues (Fusil, Carabine) ;

- ✓ **Les armes de poing** (Pistolet, Revolver, Derringer)

I.3.1 Les armes longues

Les armes longues concernent toutes les armes épaulées lors du tir, à l'inverse des armes de poing. Au sein des armes longues, on distingue les armes à **canon lisse** et les armes à canon rayé. Les armes à canon lisse sont des armes de chasse alors que les armes à canon rayé comptent aussi bien des armes de chasse que des armes militaires.

I.3.1.1 Les armes longues à canon lisse

I.3.1.1.1 Les fusils de chasse

Ce genre d'arme possède en général deux canons de même calibre, basculant vers l'avant pour le chargement des cartouches. Les canons peuvent être soit superposés l'un à l'autre, soit juxtaposés.



Figure 6: Différents types de fusil de chasse.

Il existe des fusils de chasse appelés mixtes qui possèdent un canon lisse et un canon rayé (juxtaposé ou superposé) avec des calibres différents. Certains fusils de chasse mixtes possèdent 3 canons (deux lisses et un rayé), voire 4 canons (deux lisses et deux rayés).



Figure 7: fusil de chasse mixte Sagittaire (Canon lisse et canon rayé).

Les armes longues à canons lisses tirent en général des cartouches à grenaille, à chevrotine, ou des projectiles uniques (slug).

I.3.1.1.2 Les fusils à pompe

Le mécanisme du fusil à pompe a été développé par John Browning et commercialisé pour la première fois sous le nom de Winchester Model 1893. Les cartouches sont généralement placées dans un chargeur tubulaire, situé sous le canon et se trouvent les unes derrière les autres. Le chargement s'effectue par un mouvement de va-et-vient d'une poignée située sous le canon.



Figure 8: **Fusil à pompe WINCHESTER MODEL 1897.**

I.3.1.2 Les armes longues à canon rayé

Dans cette catégorie, on trouve des armes de chasse, des armes de sport et des armes militaires.

I.3.1.2.1 Les armes longues automatiques : qui sont les fusils d'assaut, les pistolets automatiques, les fusils mitrailleurs ainsi que les pistolets mitrailleurs.

a) Les fusils d'assaut *:*

Un fusil d'assaut est une arme d'épaule conçue pour qu'un soldat soit capable de tirer de façon efficace jusqu'à environ 300 mètres en mode semi-automatique (distance au-delà de laquelle les cibles sont difficilement distinguables sans lunette), et à environ 30 mètres en tir automatique.

Le fusil d'assaut offre une grande polyvalence, à savoir :

- Il peut en effet tirer au coup par coup, comme un fusil classique. Il dispose alors d'une précision et d'une portée pratique comparables à celles du fusil ;
- Il peut aussi tirer par rafales, limitées ou non. La précision et la portée diminuent, mais l'arme dispose alors de la capacité de saturation à courte distance du pistolet mitrailleur ;
- Bon nombre de fusils d'assaut peuvent aussi tirer des grenades spécifiques depuis leur canon (dites « grenades à fusil »).



(a)



(b)

Figure 9 :**a- Fusil d'assaut FAMAS FELIN, b- Fusil d'assaut AK47.**

b) Les pistolets automatiques

Il s'agit d'arme de poing pouvant tirer soit au coup par coup soit en rafale. Ces armes ont la dimension d'une arme de poing, mais possèdent soit une poignée rabattable à l'avant (Beretta 93 R) soit une crosse amovible qui permet de les épauler ou de tirer à la hanche.



Figure 10: **pistolet automatique Beretta 93R.**

c) Les fusils mitrailleurs

La mitrailleuse est une arme à feu à fonctionnement automatique, chambrée pour une munition de calibre inférieur ou égal à 15 millimètres, les armes similaires de calibre supérieur étant généralement appelées « canons automatiques » ou « mitrailleurs ». Son

objectif est d'offrir une puissance de feu maximale par une capacité au tir en rafale soutenue, ainsi qu'une portée pratique supérieure à celle d'une arme individuelle. Son apparition est souvent considérée comme l'un des éléments majeurs marquant l'entrée de la guerre dans l'ère industrielle.

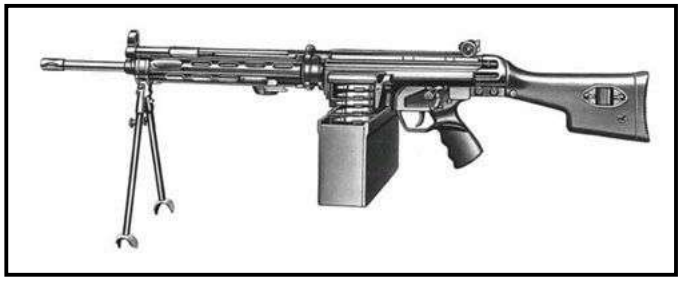


Figure 11 : Arme automatique Heckler & Koch 21A1.

d) Les pistolets mitrailleurs

Il s'agit d'une arme automatique faisant partie des armes de poing et armes longues, car elles peuvent être tenues à deux mains, sans les épaules. Certaines de ces armes ont une crosse rabattable permettant un épaulement (pour avoir une meilleure maitrise de tir). Les mitraillettes les plus célèbres sont le MAT 49 et le Scorpion Vz 61.



Figure 12: **Une mitraillette CZ Scorpion Vz 61.**

I.3.1.3 Les armes de chasse :

Il s'agit des carabines à répétition manuelle qui sont des armes longues militaires avec un seul canon rayé, pouvant être à un coup (sans chargeur) ou à plusieurs coups (avec chargeur). L'éjection des douilles vides et le chargement des cartouches dans la chambre à cartouche se font soit par un mouvement de la culasse d'arrière en avant actionnée manuellement, soit par une poignée placée sur le côté de l'arme.



Figure 13: **Les carabines à répétition manuelle.**

I.3.1.4 Les armes à air comprimé

Ces armes concernent toutes les armes de poing (revolver et pistolet) et armes longues (fusils et carabines) utilisant la détente d'un gaz afin de propulser un projectile. On distingue les armes à ressort (ou piston), les armes à air pré-comprimés et les armes à CO2.



(a) (b)

Figure 14: **a- Carabine à ressort (piston), b- Pistolet à CO2 liquide.**

I.3.1.5 Les armes de poing

Comme leur nom l'indique, les armes de poing concernent toutes armes utilisables d'une seule main et facilement dissimulables de par leur petite taille qui sont les revolvers et les pistolets.

I.3.1.5.1 Les revolvers

Un revolver est un système équipant une arme à feu dans laquelle les chambres (partie de l'arme contenant la charge propulsive et le projectile) sont amenées tour à tour par rotation devant un canon indépendant, permettant de tirer plusieurs coups sans interruption. Le revolver désigne également, par synecdoque, l'arme à feu portative de poing équipée de ce système rotatif. L'invention du premier revolver revient à l'américain Samuel Colt en 1836 avec le **Colt Paterson**. Le chargement se faisait à l'époque par la bouche du canon et la mise à feu était faite à l'aide d'une capsule au fulminate de mercure.



Figure 15: **le Revolver et son barillet.**

I.3.1.5.2 Les pistolets

Les pistolets semi-automatiques sont apparus à la fin du XIXe siècle grâce à Hugo BORCHARDT (1893), Théodore BERGMANN (1894) et Paul MAUSER (1896). En effet, le terme pistolet englobe l'ensemble des armes de poing dépourvues de barillet et tirant à un seul ou plusieurs coups. Les militaires l'ont utilisé les premiers, puis les civils et finalement les

policiers. C'est le type d'arme de poing le plus populaire, et le plus utilisé, car il contient plus de coups, est plus puissant et rapide que le revolver. Il est aussi plus facile à transporter, car il est plus petit.



(a) (b) (c)

Figure 16: (a) Beretta FS 92, (b) Colt Combat Elite,(c) Sig-sauer P226.

I.3.1.6 Les deringers

Le deringer est un type de petit pistolet de poche, sans barillet. Il a été développé par Henri Deringer, armurier américain, qui lui a donné son nom et l'a fabriqué entre 1835 et 1868. Il s'agit d'une variante du pistolet à un coup avec plusieurs canons (généralement deux), dont chaque canon peut recevoir une cartouche et le percuteur est sélectif.



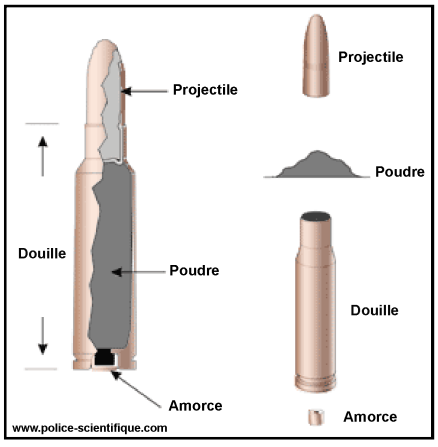
Figure 17: **Les deringers.**

I.3.2 Les Munitions

I.3.2.1 Les munitions pour armes à canon rayé

En général, les munitions sont composées de cinq éléments, à savoir :

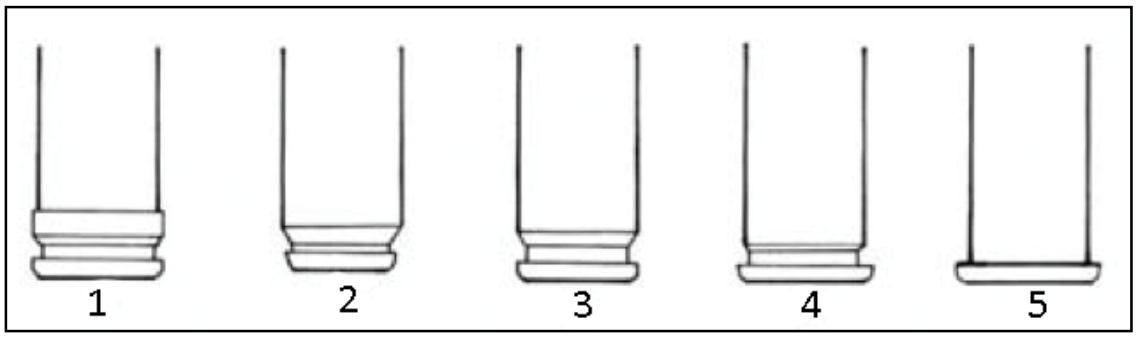
1. ***La douille (ou étui),***
2. ***La capsule d'amorçage,***
3. ***L'amorce de la capsule,***
4. ***La poudre (ou charge propulsive),***
5. ***Le projectile.***



I.3.2.1.1 La douille

Sa fonction primaire est de solidariser l'ensemble des éléments entre eux. Elle constitue le récipient pour la poudre et le dispositif d'allumage (amorce et capsule d'amorçage). Elle est souvent en laiton, car cet alliage a la capacité de se déformer plastiquement sans se rompre et facilite la mise en forme lors du rechargement. Elle peut également être en aluminium, en acier recouvert de cuivre ou de nickel ou en cuivre.

A son extrémité (appelé collet de la douille), se trouve le projectile serti entre les lèvres de la douille. Le sertissage est généralement enduit d'un vernis ou d'une couche de graisse afin d'éviter que l'humidité pénètre à l'intérieur de la cartouche et n'atteigne pas la poudre.On distingue cinq (05) formes principales de culot des douilles pour les armes de poing et armes d'épaule comme suit :



(1) Douille à culot renforcé ; *(2) Douille à bourrelet réduit* ; *(3) Douille à gorge* ; *(4) Douille à demi-bourrelet* ; *(5) Douille à bourrelet.*

Figure 18: **Formes des différents culots de douilles.**

Les douilles peuvent avoir des formes coniques, cylindriques, à col de bouteille ou cylindriques à col de bouteille.

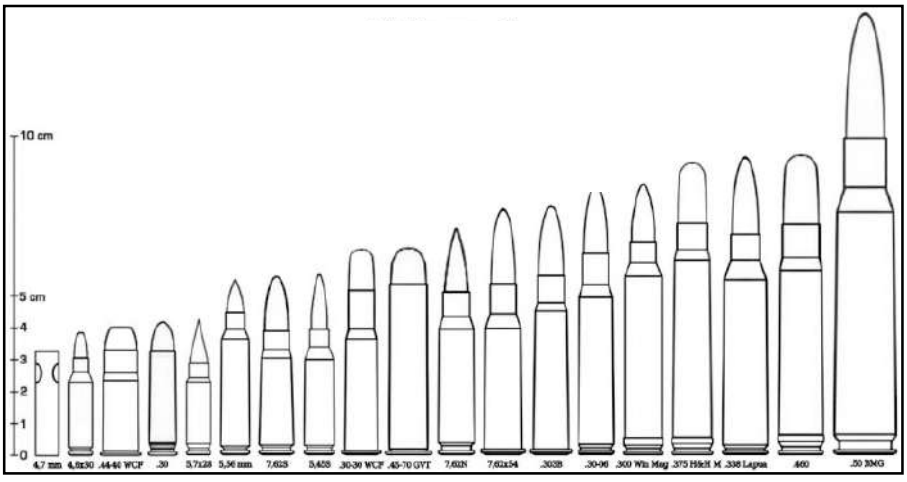


Figure 19: **Différentes formes des douilles pour armes à canon rayé.**

I.3.2.1.2 La capsule d'amorçage et l'amorce

Le terme « amorce » désigne à la fois l'explosif primaire, sensible au choc, et la capsule métallique contenant cet explosif. L'explosif primaire permet l'allumage de la poudre se trouvant dans la douille [22]. Contrairement aux cartouches de grand calibre qui comportent toujours un système d'amorçage à percussion centrale, celles utilisées pour des armes de petit calibre peuvent être classées en cartouches à percussion centrale ou annulaire en fonction de la position de l'amorce [18] .

En effet en distingue deux types d'amorce, à savoir :

a) Les cartouches à percussion annulaire

Dans ce genre de cartouche, il n'y a pas de capsule d'amorçage. L'explosif primaire est réparti dans le bourrelet de la douille et va s'enflammer dès que le percuteur annulaire va venir taper le culot de la douille.



Figure 20: **Cartouche à percussion annulaire .**

b) Les cartouches à percussion centrale

Dans les cartouches à percussion centrale, l'amorce consiste en une capsule de métal relativement mou, contenant une composition d'amorçage très sensible. Cette capsule est logée à la base de la douille. Cette loge communique avec l'intérieur de la douille par un ou plusieurs évents. Une capsule d'amorçage idéale devrait pouvoir se dilater suffisamment pour éviter une fuite des gaz et être suffisamment résistante pour supporter la frappe du percuteur et la pression développée par l'explosion de l'amorce et par la combustion de la poudre. Les capsules d'amorçage sont souvent composées d'une fine bande de laiton ou de cuivre, laquelle peut être nickelée. Des alliages de cuivre ou du cupronickel, comme de l'acier recouvert de zinc, peuvent également être employés. Certaines capsules d'amorçage peuvent être recouvertes de vernis afin d'assurer leur étanchéité, c'est notamment le cas des munitions fabriquées par la compagnie tchèque Sellier & Bellot (S&B). Sur certaines munitions, la coloration à l'aide de vernis est employée pour faciliter l'inspection visuelle lors de la

fabrication ou pour identifier le type de projectile dans la cartouche [7] . La dureté et l'épaisseur de la capsule sont choisies en fonction de l'arme dans laquelle la cartouche sera utilisée [8] . En effet, les capsules d'amorçage pour armes utilisant la poudre noire étaient fabriquées en cuivre tendre. Par contre, les capsules utilisées actuellement dans les cartouches à poudre sans fumée sont plus dures et plus puissantes, car la pression ainsi que la violence de la frappe du percuteur sont devenues plus importantes ; la charge primaire reste également plus difficile a allumer. Le cuivre tendre est donc employé essentiellement pour les armes qui développent de faibles pressions. Les capsules d'amorçage utilisées, par exemple, pour des munitions de fusils d'assaut différent en dimensions, épaisseur et quantité d'amorces (quantité de charge primaire) par rapport a celles employées dans les revolvers et les pistolets. En effet, la frappe du percuteur ainsi que la pression développée dans des fusils d'assaut sont relativement plus importantes [7] .



Figure 21: **Cartouches à percussion centrale .**

Pendant le tir, lorsque le percuteur de l'arme vient frapper l'amorce, cette dernière va s'écraser sur une petite enclume, ce qui entraine sa mise à feu ; une flamme pénètre alors a l'intérieur de la douille, provoquant l'inflammation de la charge propulsive principale [9] ils existent deux types principaux d'amorces pour les cartouches a percussion centrale : Boxer et Berdan. Ces deux systèmes comportent des différences importantes au niveau de leur conception et donc de leur fonctionnement, comme suit :

1. **L'amorçage Berdan**, du nom de son inventeur, le colonel américain H. Berdan, possède les caractéristiques suivantes :

- ✓ Un logement destiné à recevoir l'amorce ;
- ✓ Une protubérance appelée enclume, avec deux trous d'évents permettant la propagation de la flamme pour la mise à feu.

- ✓ C'est le système généralement utilisé par les cartoucheries européennes.

2. **L'amorçage Boxer**, du nom de son inventeur, un militaire anglais, possède les particularités suivantes :

- ✓ Le logement de l'amorce est percé d'un trou central qui permet la mise à feu.
- ✓ L'enclume, indépendante de l'étui, est placée au fond de la capsule d'amorce.
- ✓ L'amorçage à évent central est surtout utilisé outre-Atlantique.
- ✓ Il se prête remarquablement bien au rechargement.

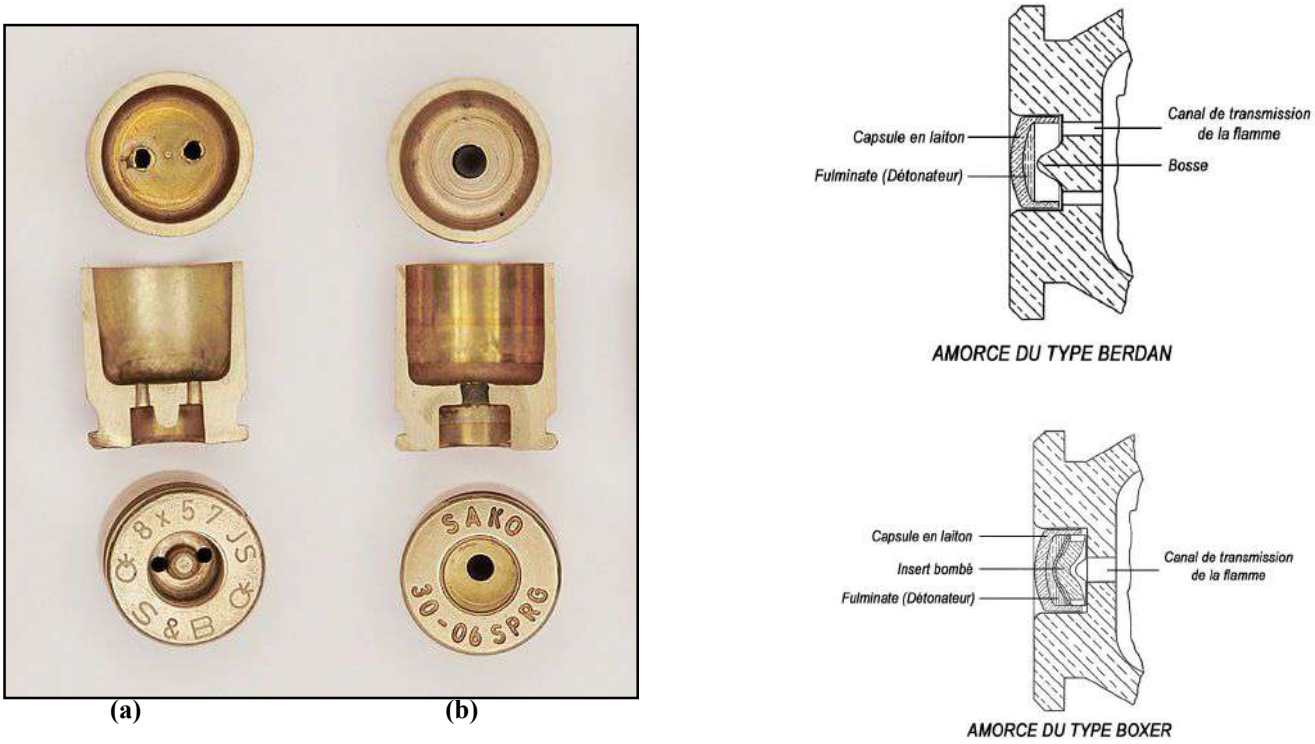


Figure 22: (a) Capsule d'amorçage Berdan, (b) Capsule d'amorçage Boxer .

Au sein de la capsule d'amorçage, on observe une sorte de canaux reliant l'amorce à l'intérieur de la douille, il s'agit des évents dont leur but étant de faire le lien entre l'explosif primaire (enflammé) et la charge propulsive.

I.3.2.1.3 Le projectile

Les premières munitions étaient pourvues de projectiles sous forme de simples sphères de plomb mou de 31 à 37 grammes environ et d'un diamètre moyen de 18mm. On chargeait ces projectiles par la bouche du canon. La vitesse moyenne de ces projectiles était d'environ 230m/s. C'est à partir des années 1850, que les premiers projectiles coniques apparaissent, permettant ainsi une plus grande vitesse (environ 310m/s pour les armes de poing et environ 610m/s pour les armes longues).

De nos jours, il existe un très grand nombre de formes de projectiles et de type / composition de chemisage. Les projectiles peuvent être classés dans les deux catégories suivantes :

- ✓ **Les projectiles homogènes** (une seule matière ex. plomb nu) ;
- ✓ **Les projectiles chemisés** (ex. noyau en plomb avec chemisage cuivre).

Le chemisage **TMJ** (Totally Metal Jacketed) concerne les projectiles dont la totalité de celui-ci est chemisée (base comprise). Ce type de chemisage est souvent utilisé pour les munitions sans plomb ou métaux lourds dans l'amorce, car il permet d'éviter que le noyau en plomb du projectile ne s'évapore lors de la mise à feu. Le chemisage **FMJ** (Full Metal Jacketed) (à base ouverte) recouvre entièrement le projectile à l'exception de sa base (en contact avec la charge propulsive).

Il arrive que la surface de certains projectiles homogènes ou chemisés soit recouverte d'une couche métallique infime (galvanisage). Cette technique réalisée par électrodéposition de cuivre, nickel ou de zinc, permet d'éviter la déposition de plomb à l'intérieur du canon (le projectile étant de diamètre plus important que celui du canon). Cette couverture de protection peut présenter des alliages spéciaux. Certaines munitions militaires sont pourvues de projectile en noyau en plomb nu ou d'un mélange plomb acier avec un chemisage complet TMJ en acier ou tombac (Cuivre + 5 à 20% de Zinc). Ce chemisage spécial « munition militaire » évite au projectile d'éclater ou de « champignonner » dans un corps (Convention de La Haye de 1899 interdisant les projectiles expansifs pour l'usage militaire).



Figure 23: **Différents types et formes de projectiles.**

I.4 Analyse des traces balistiques des armes à feu

La fabrication des différentes pièces constitutives d'une arme à feu laisse des traces sur leur surface due à l'action mécanique de matériaux plus durs sur des matériaux plus doux. Ces marques vont à leur tour laisser des traces sur les douilles et projectiles rentrant en contact avec ces différentes pièces. De ce fait, chaque arme possède sa propre empreinte. En effet, la combinaison des différentes traces laissées sur le percuteur, l'éjecteur, l'extracteur et le canon permet de déterminer l'unicité d'une arme à feu.



Figure 24: **Usinage des différentes pièces constituant les armes à feu.**

I.4.1 Les caractéristiques d'identification d'une arme

Les traces imprimées par une arme sur la surface d'une douille peuvent être décrites sur plusieurs niveaux, ou mieux, elles possèdent différentes caractéristiques qui sont utilisées pour effectuer une description exhaustive d'une trace. Ces dernières sont transmises par l'arme à la douille en question. Elles peuvent être des caractéristiques plutôt générales, en relation à la manière dont l'arme a été conçue, ou des caractéristiques beaucoup plus fines, représentant les irrégularités microscopiques des parties de l'arme en question. Ces caractéristiques peuvent ainsi être groupées en trois niveaux différents : les caractéristiques de classe, les caractéristiques de sous – classe et les caractéristiques individuelles [6] .

I.4.1.1 Les caractéristiques de classe

Ce sont des caractéristiques mesurables dues aux processus de fabrication (appelées également caractéristiques de fabrication). Elles permettent de connaître généralement la marque de l'arme, par le sens des rayures, le nombre de champs, la forme de la trace du percuteur ou les positions relatives aux traces d'extracteur et d'éjecteur. Il s'agit de caractéristiques généralement communes aux armes du même modèle, mais il est tout a fait possible que des armes de modèle différent aient les mêmes caractéristiques de classe.

I.4.1.2 Les caractéristiques de sous-classe

Ce sont des processus dus à la fabrication, mais de façon plus restreinte. Le processus de fabrication d'une arme fait intervenir des outils généralement utilisés pour une cinquantaine ou une centaine d'armes puis sont aiguisé ou jeter. La finition sera donc

différente. Les procédés de fabrication comme le brochage, le clivage et le martelage peuvent entraîner des différences sur les armes fabriquées par phénomène d'usure (car il y a un enlèvement de métal). On parle, donc de caractéristiques de sous – classe lorsqu'il s'agit de caractéristiques qui sont propres à des armes du même type ou au même lot de fabrication. Ce genre de caractéristique n'est pas intentionnel, mais n'est pas non plus spécifique à une seule arme ou produit.

I.4.1.3 Les caractéristiques individuelles

Les caractéristiques individuelles (appelées aussi caractéristiques acquises) apparaissent et évoluent avec le temps. Elles sont généralement dues à l'usure du canon et sont produites par l'usage de l'arme. Ce sont ces caractéristiques qui permettent réellement l'identification d'une arme à feu.

I.4.1.4 Les traces présentes sur le projectile

Toutes les traces présentes sur les projectiles sont des traces glissées et concernent :

a) Les impressions de champs :

Ce sont des traces laissées par les champs du canon sur le projectile. La forme et la profondeur des bords droits et gauches des impressions de champs ne sont pas les mêmes, ceci est dû à la pression exercée par les bords de champs, pression dépendante de l'orientation du rayage. Les bords sont généralement bien marqués et des stries sont présentes à l'intérieur.

Pour les canons polygonaux : il y a plus de pression, donc une plus grande vitesse du projectile. Les impressions de champs sont plus arrondies sur les canons à formes polygonales.

b) Les impressions de rayure :

Ces traces proviennent des rayures du canon. Elles ont la forme de stries et le marquage dépend du diamètre du projectile.

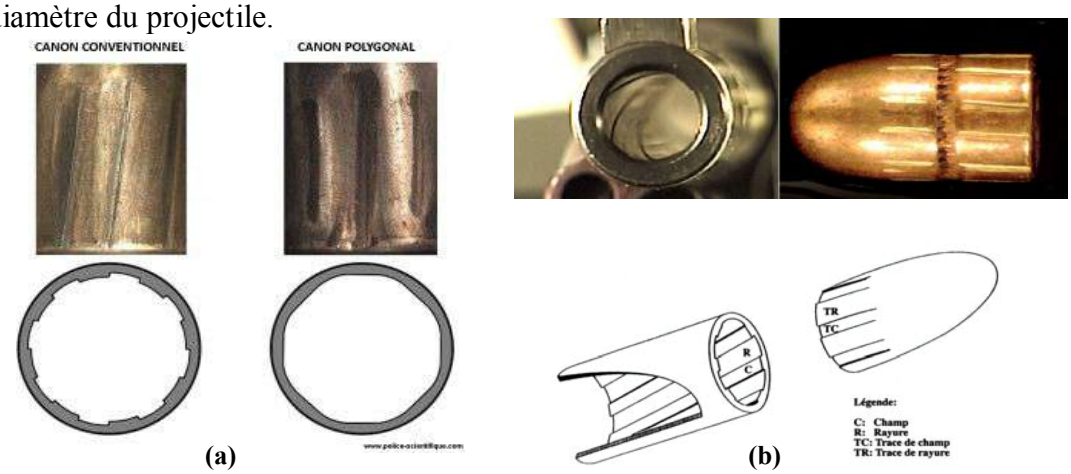


Figure 25: **a- Différentes traces issues d'un canon conventionnel et polygonal, b- Les impressions de rayure et de champs sur le projectile.**

c) Les traces de ripage :

Elles ont la forme de stries parallèles à l'axe du projectile et rejoignent le bord de fuite de l'impression de champs.

d) Les traces de rabotage :

Ces traces sont généralement retrouvées sur les revolvers. Ces traces sont dues au mauvais alignement du barillet avec l'âme du canon. On les retrouve souvent sur le sommet des projectiles.

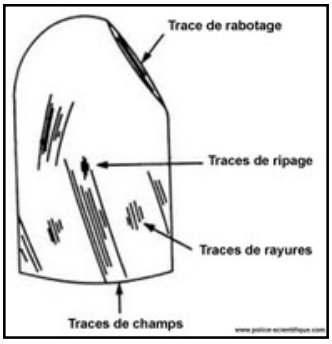


Figure 26: **Différentes traces balistiques laissées sur le projectile**

I.4.2 Traces laissées par une arme sur une douille

Les matériaux constituant la munition sont généralement moins durs que ceux utilises pour la fabrication des armes, par conséquent, les douilles recueillent les impressions des parties de l'arme avec lesquelles elles ont été en contact [10].

I.4.2.1 Traces antécédentes au tir

La surface d'une cartouche n'est jamais complètement lisse et polie. Une observation sous un microscope peut mettre en évidence plusieurs défauts morphologiques, surtout au niveau de la capsule d'amorçage qui est composée d'un métal relativement tendre par rapport au reste de la cartouche. Ces traces peuvent provenir de la fabrication de la douille ou suite à des chocs antécédents au tir. Les marques provoquées par des collisions antécédentes au tir (ou postérieurs) sont souvent reconnaissables et peuvent être exclues comme étant laissées par l'arme. Au contraire, certaines marques produites lors de l'assemblage de la munition peuvent s'apparenter à des traces communément laissées par une arme [11].

En 2001, Tam divise les marques issues de la fabrication de la cartouche en trois catégories en fonction de l'influence qu'elles peuvent avoir pendant le processus de comparaison. La première catégorie présente les marques qui sont facilement identifiables et qui ne posent pas de problèmes pendant le processus de comparaison. Il s'agit notamment des logos imprimés sur les capsules d'amorçage. La deuxième catégorie est composée par les traces qui peuvent poser des problèmes pendant la comparaison, mais qui en même temps peuvent être pondérées avec des efforts de la part de l'expert. Sur la capsule d'amorçage, ce genre de traces peut parfois se présenter sous la forme d'un ensemble de stries (Figure 27). Ces traces, qui peuvent être confondues, par leur nature, avec des traces laissées par la tète de

culasse, plongent souvent à l'intérieur de la trace du percuteur ce qui permet à l'expert de les reconnaitre et de les exclure comme étant des marques laissées par l'arme (Figure 27). La troisième catégorie inclut les traces de fabrication qui peut être problématique pendant la comparaison et difficiles à interpréter [11].



(a) (b) (c)

Figure 27 : (a) Traces produites lors de la fabrication de l'amorce (b) et (c) Stries laissées durant la fabrication de l'amorce se prolongeant jusqu'à l'intérieur de la trace du percuteur.

D'autres marques, telles que des traces glissées sur les bords de la capsule, peuvent être présentes sur des douilles non tirées. Ces dernières peuvent résulter des opérations qui ont lieu pendant le placement de la capsule d'amorçage dans son emplacement dans la douille. [12].

Parfois, les traces laissées lors de la fabrication de la cartouche sont reproduites sur un ou plusieurs lots de munitions. Il est donc important de contrôler les munitions avant d'effectuer des tirs de référence avec une arme suspecte afin de pouvoir exclure l'arme en question comme source potentielle de ces marques. Des munitions du même type peuvent également présenter des marques de fabrication complètement différentes ; lors des tirs de référence, il est donc possible d'observer des différences importantes entre les douilles [13]. Pour classifier ce genre de marque, le terme «trace parasite » lui a été attribué. Suite au tir, la douille n'est pas forcement éliminé ; elle peut être récupérée pour être rechargée afin de pouvoir l'employer dans une nouvelle cartouche. De manière générale, lors du rechargement, la douille tirée retrouve ses dimensions initiales et la capsule d'amorçage qui a été percutée est retirée. Cette dernière est remplacée par une nouvelle capsule, une charge de poudre appropriée est introduite dans la douille avant que le sertissage du projectile ait lieu [14]. Ainsi, la « nouvelle » cartouche possède sur le corps et le culot de la douille les traces du tir précédent (exception faite par la capsule d'amorçage). Les différentes étapes qui ont lieu lors du rechargement peuvent également imprimer des traces sur la surface de la douille. Il est donc tout à fait possible qu''une douille tirée présente une multitude de traces laissées par des tirs antérieurs et par des rechargements successifs. Enfin, d'autres marques peuvent être présentes sur une douille avant que la cartouche soit tirée, il s'agit des traces laissées par l'introduction antérieure de la cartouche dans une arme sans qu'un tir ait eu lieu.

I.4.2.2 Traces laissées par l'arme

Traces laissées suite au chargement de l'arme et à l'armement du système de percussion L'expression « charger une arme » désigne l'ensemble des opérations nécessaires pour introduire une cartouche dans la chambre à cartouche, alors que le terme « armer » est employé pour décrire l'opération effectuée pour armer le système de percussion. Une arme peut être considérée prête à tirer seulement une fois qu'elle est chargée et armée. Pour charger une arme, il est nécessaire d'introduire les cartouches dans le magasin ; ce dernier est ensuite introduit dans l'arme. Le mouvement de charge amène la première cartouche dans la chambre à cartouche à proximité du canon en passant par la rampe d'alimentation et permet également l'armement du système de percussion.

a) Trace des lèvres du magasin

L'introduction des cartouches dans le magasin et leur passage dans la chambre à cartouche peuvent laisser des traces, moulées ou glissées, causées par le contact avec les lèvres du magasin. Ces traces, qui peuvent être observées sur le corps et le bourrelet de la douille se présentent normalement sous la forme de stries parallèles a l'axe longitudinal de la douille (Figure 28) [10].



Figure 28 : Traces des lèvres du magasin laissées par un pistolet semi-automatique Beretta 92 S calibre 9 mm Parabellum.

b) Traces laissées lors du passage vers la chambre à cartouche

Le mouvement de la glissière, qui permet le passage de la cartouche vers la chambre, peut également laisser des traces sur le corps de la douille et éventuellement sur le bord du culot. Lorsque la glissière glisse vers l'arrière, la première cartouche dans le magasin peut entrer en contact avec le fond du bloc de culasse (Figure 29). Ce dernier peut laisser des traces le long du corps de la douille [15]. La qualité de cette trace pourrait dépendre de la quantité des cartouches présentes dans le magasin [10] et [13]. En effet, les dernières cartouches, qui sont normalement soumises à une pression plus faible du ressort à l'intérieur du magasin, peuvent présenter des traces moins marquées et plus courtes par rapport aux autres munitions.

Une fois que la glissière arrive à bout de course, elle revient vers l'avant pour chambrer une nouvelle cartouche (Figure 29). À ce moment, une trace peut s'imprimer sur le bord du culot de la douille suite au contact avec la partie inférieure du bloc de culasse [10] et [13]. Cette trace se présente souvent sous la forme d'un ensemble de stries délimitées par une zone en forme de Demi-lune.

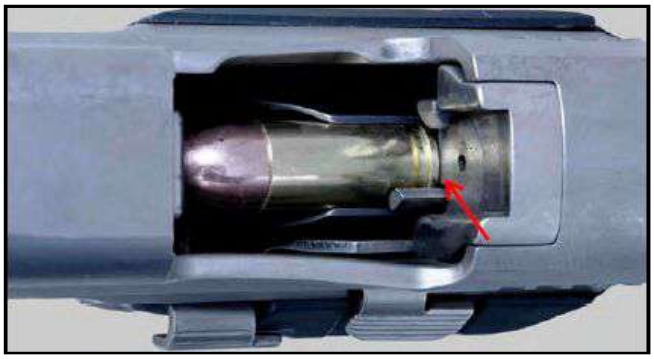


Figure 29: **Contact entre la douille et la partie inférieure du bloc de culasse lors du passage de la cartouche dans la chambre (Flèche rouge).**

En fonction de l'arme, il est également possible d'observer des traces glissées laissées par la rampe d'alimentation de l'arme. Si la rampe d'alimentation de l'arme se trouve en dessous du canon, ces traces se trouveront à 6 heures par rapport aux traces citées ci-dessus. En fonction de la façon dont l'arme a été conçue et de la manière dont elle a été chargée lors du chargement, l'extracteur peut toucher le bord du culot avant de frotter contre le bourrelet pour enfin saisir la douille dans la gorge. Il est donc possible d'observer trois traces laissées par le contact avec l'extracteur avant que l'extraction ait lieu [10] et [13].

En revanche, si la façon dont l'arme a été conçue prévoit que la cartouche passe en dessous et derrière l'extracteur pendant le chargement, la seule trace observable sera une petite entaille dans la gorge de la douille ou, pour des munitions dépourvues de gorge, sur la surface supérieure du bourrelet [15].

c) Traces diverses

Pendant l'introduction de la cartouche dans le magasin, le contact entre les différentes cartouches peut entrainer la formation des traces qui peuvent être définies comme parasites [10]. Traces laissées suite à la percussion de la capsule d'amorçage lorsque le système de percussion est relâché suite à la pression sur la détente, le percuteur vient frapper l'amorce, laquelle, à son tour, initie l'allumage de la charge propulsive. Une grande pression est développée à l'intérieur de la chambre à cartouche. L'augmentation de la pression pousse la douille vers la tète de culasse et le corps de la douille se dilate pour adhérer aux parois de la chambre afin de minimiser la perte de pression [17].

d) Trace du percuteur :

Il s'agit d'une trace moulée qui est le résultat du mouvement perpendiculaire (sauf exception) du percuteur par rapport à la capsule d'amorçage. Celui-ci vient frapper l'explosif primaire sensible au choc. Dans le cas d'une cartouche à percussion centrale, le percuteur frappera sur la capsule d'amorçage qui se trouve au centre du culot de la douille (Figure 30). Par contre, pour des munitions comportant un système d'amorçage à percussion annulaire, le percuteur frappera le bourrelet de la douille.



Figure 30: **Détail d'une trace du percuteur laissée par un pistolet semi-automatique**

Les traces du percuteur, qui se présentent souvent, pour des cartouches à percussion centrale, sous la forme d'un cratère, peuvent également comporter à l'intérieur, des stries concentriques, des lignes droites ou des conformations particulières de tout type [18]. Le diamètre de la tète du percuteur varie suivant le modèle d'arme ; en revanche, l'intensité de l'empreinte laissée peut également varier pour la même arme d'un tir à l'autre [19], surtout si la dureté des capsules d'amorçage ou des bourrelets varie entre un tir et un autre. Cette caractéristique dépend de plusieurs facteurs, comme entre autres, la pression développée par la cartouche [20].

Un autre aspect lié à la trace du percuteur, pouvant varier d'un tir à l'autre, est la position de cette trace par rapport à celle de la tette de culasse. Ce phénomène est accentué pour des armes qui comportent un percuteur rotatif. Souvent, ce type d'armes produit des traces du percuteur qui ne sont pas reproductibles. C'est également le cas pour des douilles tirées par des armes ou la position du percuteur peut varier en fonction de l'inclinaison de l'arme [21]. Il est aussi possible qu'une pression trop élevée soit développée lors du tir en poussant la trace du percuteur vers l'extérieur, qui par conséquent, apparaitra en relief. Deux cartouches de charge différente tirées par la même arme peuvent donc, en observant la trace du percuteur, se différencier macroscopiquement [8]. Des phénomènes plus particuliers peuvent être liés à l'impression laissée par le percuteur. C'est notamment le cas du *flow-back*. Ce dernier a lieu lorsque l'arme possède un trou du logement du percuteur trop large permettant ainsi, lors du tir, à la capsule d'amorçage de « couler » à l'intérieur et autour du percuteur. La formation d'un cratère autour de la trace du percuteur peut aussi s'expliquer par le développement d'une pression trop élevée lors du tir [22].

e) Trace de la tête de culasse

Cette trace moulée provient de l'impression des caractéristiques de surface de la tête de culasse sur le culot de la douille, causée par la forte pression engendrée par le tir. Ce type de trace ne se trouve donc que lorsque la munition a été tirée. Les dessins généraux des traces de la tète de culasse se distinguent des caractéristiques imprimées lors de la fabrication de l'arme

et peuvent être classés principalement en quatre catégories : **lignes parallèles, à cercles concentriques, à arc ou lisses** (Figure 31).

Les détails de l'impression de la tète de culasse dépendent de plusieurs facteurs, dont la charge propulsive, l'acuité du dessin de la tète de culasse, le type de fabrication de la tête de culasse, la malléabilité du métal composant la douille et la pression dans la chambre à cartouche. Cette dernière varie, pour un même calibre, en fonction du poids du projectile, de la qualité et de la quantité de la charge propulsive ainsi que de la propreté du canon. Des cartouches, générant des pressions plus basses, présentent souvent des traces de la tête de culasse de qualité médiocre. La saleté et les résidus de plomb dans l'arme peuvent également réduire les détails de surface imprimés sur le culot lors du tir [23]. Ce genre de trace s'imprime mieux sur la capsule d'amorçage, car cette dernière est normalement composée d'un métal plus malléable que le reste du culot de la douille. Toutefois, il n'est pas rare qu'elles puissent être révélées également sur d'autres parties du culot constituées d'un métal plus dur [20]. Les douilles à percussion annulaire sont normalement constituées d'un métal relativement dur, tel que le laiton, et le recul engendré lors du tir est minime. Par conséquent, ces cartouches recueillent moins fréquemment les traces de la tête de culasse [19].

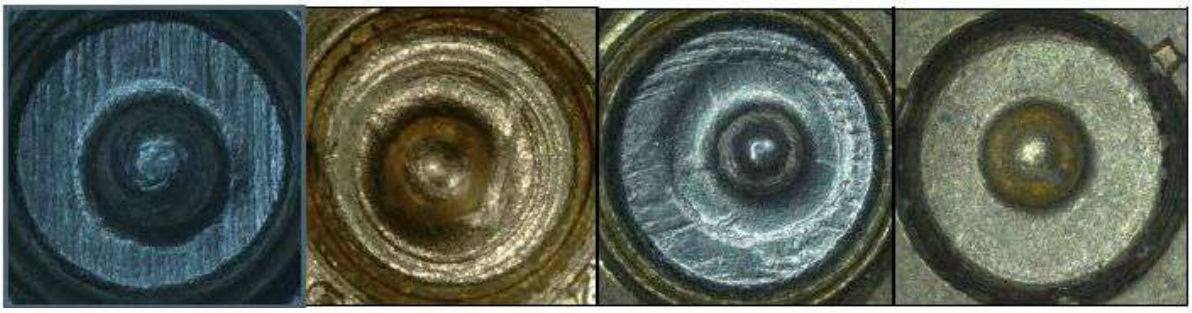


Figure 31 : Traces de la tète de culasse

À cause de l'emplacement des traces de la tète de culasse sur la surface de la douille, il faut être particulièrement attentif pendant l'observation de ces traces, car certaines munitions à percussion centrale possèdent des marques, souvent similaires à celles laissées par l'arme, qui ne sont pas consécutives au tir (traces parasites), mais qui résultent du processus de fabrication de la cartouche [11].

f) Trace laissée par des parties en creux de la tête de culasse

Il s'agit d'une trace qui est laissée sur le culot de la douille lors du tir. Il s'agit de marques laissées principalement par des parties de la surface de la culasse qui résultent en creux par rapport au reste de la tète de culasse. Les images ci-dessous montrent les caractéristiques morphologiques de cette trace ainsi que la partie de l'arme qui cause la déposition de cette trace (Figure 32).

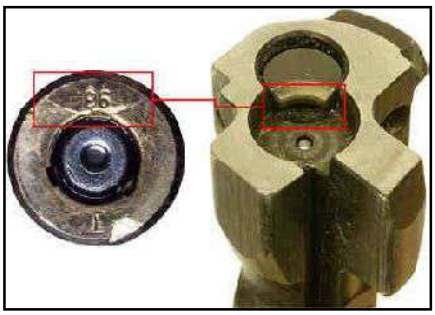


Figure 32: **Trace laissée par des parties en creux de la tête de culasse**

g) Trace de la chambre à cartouche

Les traces de la chambre à cartouche peuvent être, soit des traces glissées, soit des traces moulées. Elles s'impriment essentiellement sur le corps de la douille [10]. Ces traces sont obtenues lors du départ du coup. En effet, les gaz produits lors du tir provoquent la dilatation de la douille, ainsi, elle adhère à la chambre à cartouche et lors de ce contact, les défauts de surface de la chambre à cartouche peuvent être transférés sur le corps de la douille. La rugosité de la chambre à cartouche peut également griffer la surface extérieure d'une douille lorsqu'elle est éjectée de la chambre, mais également lorsqu'elle est chargée. Ce genre de traces peut être confondu, de par leur nature et de leur localisation, avec des traces préexistantes dues a la fabrication de cette dernière [10]. En outre, la chambre à cartouche peut également laisser des marques dans la gorge de la douille lors du processus de chargement de la cartouche [10]. Les traces produites par la chambre à cartouche peuvent avoir plusieurs formes. Il est possible d'observer des stries parallèles à l'axe longitudinal de la douille. Par contre, dans certains pistolets, le canon tout comme la chambre à cartouche, tourne légèrement lorsque la douille (ou la cartouche) est retirée. Étant donné que la douille est retirée de manière linéaire par l'extracteur, cette opération donne lieu à des traces hélicoïdales le long du corps de la douille [18]. Occasionnellement, il est possible d'observer une série de marques parallèles sur le corps d'une douille tirée par une arme rayée. De telles marques correspondent à la présence d'une chambre cannelée dans l'arme. Pendant la fabrication de l'arme, les petites cannelures parallèles sont taillées dans la chambre pour permettre à la cartouche de « flotter » sur les gaz en facilitant ainsi l'extraction (Figure 33). [13].

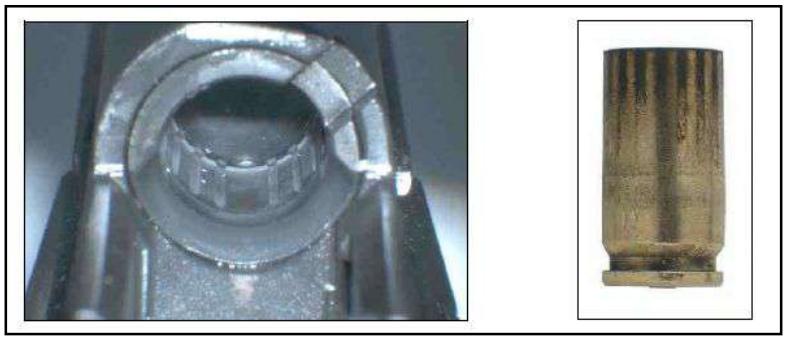


Figure 33: **Chambre à cartouches cannelée (à gauche) et traces laissées par ce genre de chambre à cartouche (à droite).**

h) Traces laissées pendant l'éjection de la douille

Une fois que la pression dans la chambre à cartouche commence à diminuer, suite au départ du projectile, la douille reprend ses dimensions initiales et la glissière commence à reculer [17]. L'extracteur saisit la douille dans la gorge (pour une douille à gorge) et la tire vers l'arrière. Aux deux tiers de sa course environ, le culot de la douille vient heurter l'éjecteur. La douille est éjectée à travers la fenêtre d'éjection [21].

i) Trace de l'extracteur

La trace d'extracteur est, par nature, une trace glissée, située normalement dans la gorge de la douille ou sur la surface supérieure du bourrelet (Figure 34). En fonction de l'arme, les traces d'extracteur peuvent s'imprimer sur la douille simplement lors de l'éjection de la cartouche sans que le tir ait lieu ; dans ce cas de figure, les traces résultantes peuvent être moins marquées par rapport aux traces laissées lors du tir [15] et [16]. La présence ou l'absence de cette trace sur le bord supérieur du bourrelet dépend également du système de verrouillage de l'arme. En effet, cette trace sera plus facilement observable sur des douilles tirées par des armes pourvues de système de verrouillage. Sur une arme qui n'est pas équipée d'un système de verrouillage de la culasse, l'extracteur n'est pas fonctionnel, puisque la douille est littéralement expulsée de la chambre à cartouche. Pour ce genre d'armes, l'extracteur est donc présent pour permettre l'extraction de la cartouche pendant le déchargement manuel de l'arme [15]. Lors du processus de fabrication, des cartouches, la machine introduisant les capsules d'amorçage, ou d'autres machines destinées à la fabrication des douilles, peuvent laisser des traces similaires aux traces laissées par l'extracteur ; phénomènes qui impliquent une certaine prudence lors de l'observation de ces traces [10].



Figure 34: **Trace de l'extracteur**

j) Trace de l'éjecteur

La trace laissée par l'éjecteur est généralement une trace moulée, imprimée sur le culot de la douille (Figure 35). Elle peut également se présenter sous la forme d'une trace glissée. Les traces laissées par l'éjecteur peuvent être utilisées à des fins d'identification, ainsi que pour déterminer si la douille a bien été tirée. En fonction de l'arme, les traces d'éjecteur peuvent se reproduire seulement si la cartouche vient d'être tirée. En effet, il faut une certaine pression,

et donc une certaine force pour produire ce genre de trace sur le culot d'une douille. Une simple éjection manuelle d'une cartouche chambrée ne pourrait pas laisser des traces avec la même intensité. Il en est de même pour des armes qui possèdent un système d'éjection manuel, par exemple des carabines à répétitions manuelles [15]. Certaines armes possèdent deux éjecteurs ; dans ce cas de figure, la présence de deux traces donne des indications précieuses concernant le type d'arme employée. Dans d'autres armes, c'est le percuteur ou les lèvres du magasin qui font office d'éjecteur [20]. Dans ce dernier cas, la trace d'éjecteur observée normalement ne sera donc pas présente. Le nombre de traces d'éjecteurs, mais surtout leur disposition sur la douille, sont une information importante afin de déterminer l'orientation de la douille lors d'une comparaison [24].

Lors de la recherche des traces d'éjecteur, il faut être attentif au fait qu'au cours du processus de fabrication de certaines cartouches, des traces ayant la même forme et le même emplacement que des traces d'éjecteur, peuvent s'imprimer sur la douille [10]. En outre, il s'agit d'une trace qui dépend de la pression développée par la cartouche. De ce fait, les douilles faisant partie de cartouches développant une pression importante, posséderont des traces d'éjecteur bien marqué et distinct, contrairement aux cartouches qui développent une faible pression lors du tir [20].



Figure 35: **trace de l'éjecteur**

L'analyse de la trace de l'éjecteur peut être difficile, car elle se retrouve souvent imprimée sur le bord du culot de la douille, zone présentant les inscriptions du fabricant de la cartouche [24].

k) Autres traces dues à l'éjection

Lorsqu'une douille est éjectée, il est parfois possible d'observer un aplatissement du collet de la douille. En effet, cette dernière peut frapper la glissière lors de l'éjection [8]. Pendant cette étape, il est également possible que la douille entre en contact avec la partie postérieure de la porte d'éjection [14]. Ce contact peut causer la formation d'une petite trace glissée sur le corps de la douille (Figure N° 36).



Figure 36 : **a-Aplatissement du collet d'une douille ; b- Trace laissée par le contact avec la fenêtre d'éjection**

l) Trainée du percuteur

L'action du percuteur ne se limite pas toujours à une simple impression sur la capsule d'amorçage, il peut être également à la source d'autres phénomènes. C'est notamment le cas de la formation de la « trainée du percuteur ». Cette dernière est une trace glissée qui est liée à la trace du percuteur. Ce type de trace glissée est causé, dans le cas des revolvers, par une frappe oblique du percuteur [8] et [10]. Par contre, dans le cas des pistolets semi-automatiques, la présence d'une telle trace glissée est due à l'interaction entre le percuteur et la capsule d'amorçage lors des phases préliminaires de l'éjection de la douille (Figure 37).

Une fois que la phase principale de combustion a eu lieu, le percuteur peut rester enfoncé (pendant une fraction de second) dans la capsule d'amorçage. Certains canons s'abaissent légèrement pendant que le recul force l'ouverture de la culasse (comme les pistolets Glock). La douille, qui se trouve encore dans la chambre à cartouche, s'abaisse avec le canon, en causant ainsi une trainée de la pointe du percuteur sur la capsule d'amorçage [15] et [16]. La reproductibilité de ce genre de trace n'est pas toujours constante. Entre plusieurs tirs effectués l'un après l'autre, il est tout à fait possible de constater des différences morphologiques plus ou moins importantes au niveau de la trainée du percuteur (Figure 37).

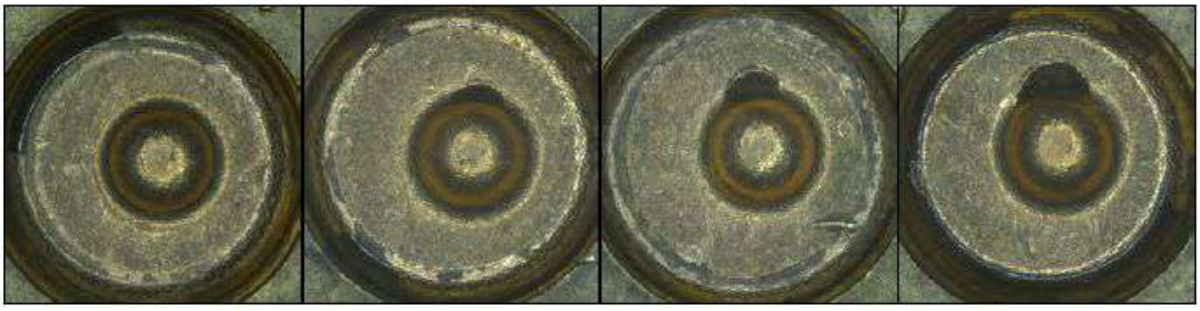


Figure 37: **Trace du percuteur avec trainée sur des cartouches tirées par le même pistolet semi-automatique calibre 9 mm Parabellum**

CHAPITRE II

« TECHNIQUES EXPÉRIMENTALES»

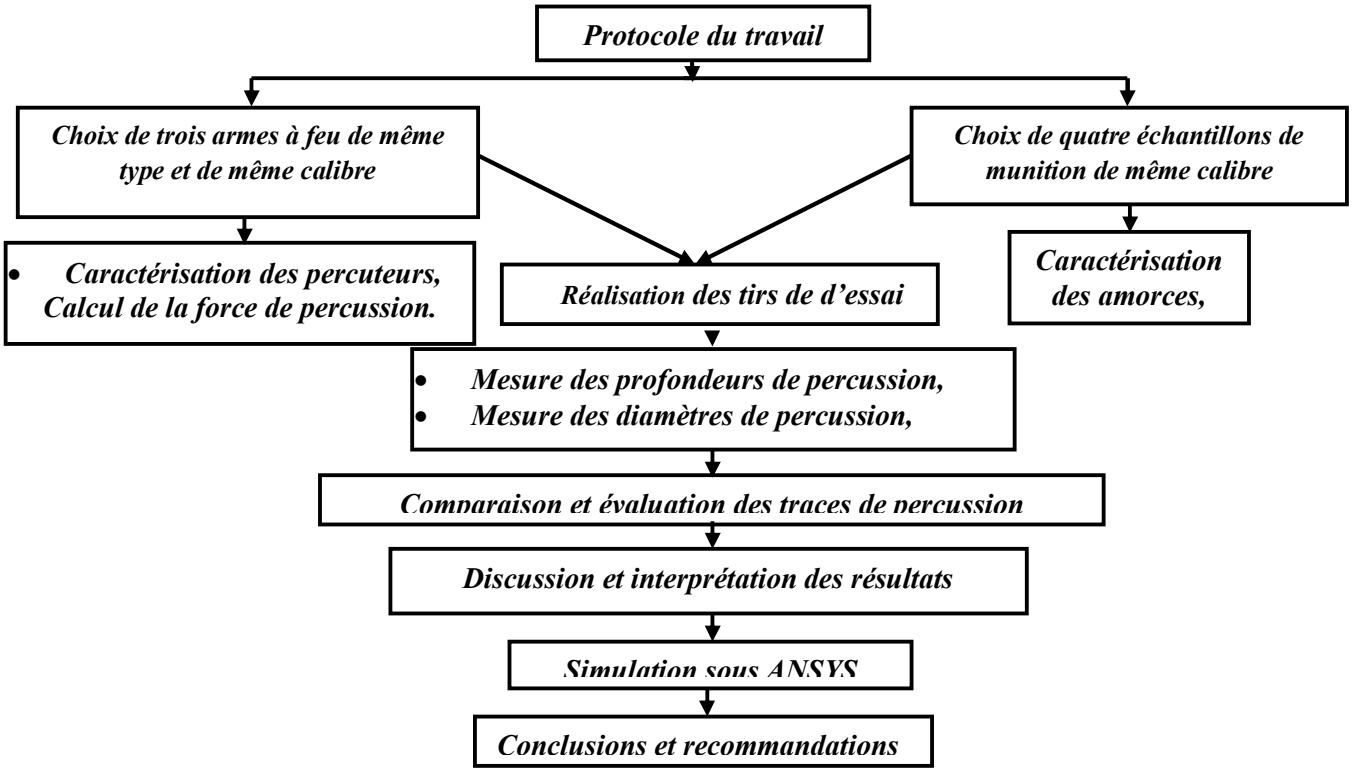
II.1 Introduction :

Dans ce chapitre, nous nous intéresserons au protocole expérimental adopté durant notre travail, tout en présentant avec détails les échantillons étudiés ainsi que les équipements et les appareils de mesure utilisés pour obtenir les résultats souhaités.

II.2 Protocole du travail

Pour mener à bien notre étude, un protocole de travail a été préparé, élaboré et mis en œuvre dont ses principales étapes se résument dans les points suivants :

1- Choisir trois (3) armes à feu de même calibre et de même type, mais de fabricants différents ;
2- Choisir quatre (04) échantillons de munition de même calibre, mais de fabricants différents,
3- Caractériser les percuteurs et les amorces issus des armes à feu et des munitions choisies ;
4- Réaliser des tirs de récupération par les trois (03) armes à feu choisies, au niveau du tunnel de tir du département balistique de l'INCC, comme suit :
    - En mode **rafale** (automatique) : dix (10) tirs d'essais pour chaque échantillon de munition et par chaque arme choisie,
    - En mode **Coup/Coup** (semi-automatique) : dix (10) tirs d'essais pour chaque échantillon de munition et par chaque arme choisie.
5- Mesurer la force, la profondeur et le diamètre de percussion ;
6- Comparer et évaluer les traces de percussion gravées sur les amorces ;
7- Discuter et interpréter les résultats ;
8- Simuler le processus de percussion sous ANSYS ;
9- Tirer les Conclusions et les recommandations.



II.2.1 Les armes à feu choisies :

Le choix des armes à feu est fait sur la base des deux critères suivants :

1. Les trois armes à feu sont de même type, mais de fabricants différents,
2. Les trois armes choisies permettent le tir en deux modes : Rafale et Coup/Coup.

II.2.2 La munition choisie :

Quatre types d'amorces issues de quatre échantillons de munitions ont été choisis sur la base des trois critères suivants :

1. Les quatre (04) échantillons de munition sont de même calibre : 7.62x39 mm ;
2. Chaque échantillon de munition est issu du même lot (même année de fabrication) ;
3. Les échantillons choisis sont fabriqués dans quatre pays différents.

II.3 Équipement et Instrument de mesure et de caractérisation

II.3.1 Micro-fluorescence à rayons X

La micro fluorescence à rayons X (µFRX) est une technique d'analyse élémentaire non destructive, qualitative et quantitative et destinée pour tout échantillon (solide, liquide ou gazeux). Sous l'effet de rayons X, l'échantillon entre en résonance et émet un rayonnement qui lui est propre. Les pics obtenus sont caractéristiques des éléments présents dans l'échantillon et leur hauteur permet de déterminer la quantité de ces éléments.

La concentration d'un élément dans l'échantillon est calculée à partir de l'expression suivante:

$$(Ie/ Ist) = (Ce / Cst) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1.II)$$

- ***Ce**: la concentration de l'élément dans l'échantillon.*
- ***Cst**: la concentration de l'élément dans le standard.*
- ***Ie**: l'intensité corrigée de l'élément dans l'échantillon.*
- ***Ist**: l'intensité corrigée de l'élément dans le standard.*

Le dispositif µFRX utilisé est de marque « Horiba,modèle XGT 5000 » de l'INCC, doté d'une source de rayons X en rhodium.



Figure 38: µFRX de marque « Horiba,modèle XGT 5000 »

II.3.2 Diffraction à rayons X (XRD)

La diffraction des rayons est une méthode universellement utilisée pour identifier la nature et la structure des produits cristallisées. En effet, cette méthode ne s'applique qu'à des milieux cristallins (roches, cristaux, minéraux, pigments, argiles…) présentant les caractéristiques de l'état cristallin, c'est-à-dire un arrangement périodique, ordonné et dans des plans réticulaires tridimensionnels des atomes constitutifs. Lorsque les rayons X frappent un morceau de matière, ils sont donc diffusés par chacun des atomes de la cible. Ces rayons X diffusés interfèrent entre eux. Si les atomes sont ordonnés, c.-à-d. placés à des intervalles réguliers (ce qui caractérise les cristaux), alors ces interférences vont être constructrices dans certaines directions (c.-à-d. les ondes s'additionnent), destructrices dans d'autres (c.-à-d. les ondes s'annulent). Ces interférences d'ondes diffusées forment le phénomène de diffraction.

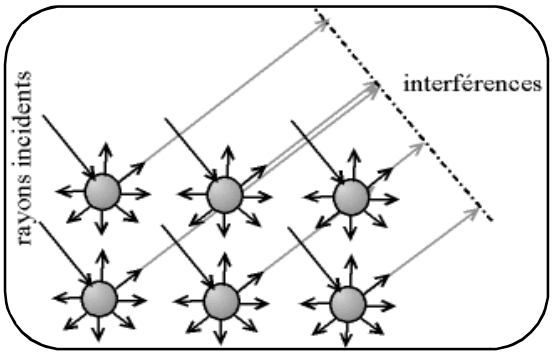


Figure 39: Interférence des ondes diffusée (phénomène de diffraction)

La caractérisation d'un composé par DRX s'adosse sur la position et sur l'intensité des raies de diffraction: l'intensité détectée en fonction de l'angle de déviation 2θ du faisceau est ainsi enregistrée. Les directions pour les diffractions peuvent être déterminées par la loi de Bragg , comme suit:

$$2d_{hkl}\,sin(\theta) = n\lambda \qquad \text{……(2.II)}$$

- ***d*** *: la distance interréticulaire entre deux plans cristallographiques,*
- ***n*** *: l'ordre de réflexion (nombre entier),*
- ***θ*** *: le demi-angle de déviation (moitié de l'angle entre le faisceau incident et la direction du détecteur)*
- ***λ*** *: longueur d'onde des rayons* ***X****.*

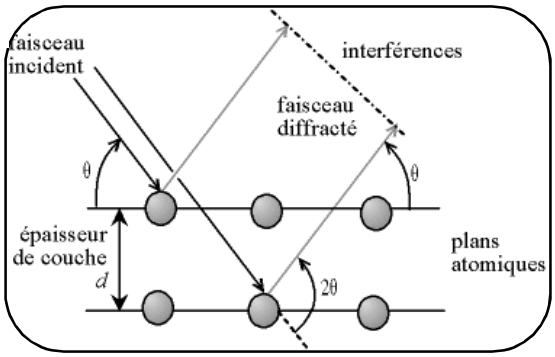


Figure 40: principe de la diffraction à rayons X

Les analyses structurales des échantillons ont été réalisées sur un diffractomètre de marque « Italstructures modèle **XA PD 2000** » de l'INCC, doté d'un goniomètre de modèle GD et d'une source anticathode en cuivre, fonctionnant à 40 kV / 30 mA, assurant des rayons X de longueur d'onde λ = 1.540598°A, le balayage a été fait entre 5°< 2θ <120°en mode Step Scan 0,01° durant 4 heures.



Figure 41: Diffractomètre de marque « Italstructures modèle X A PD 2000 »

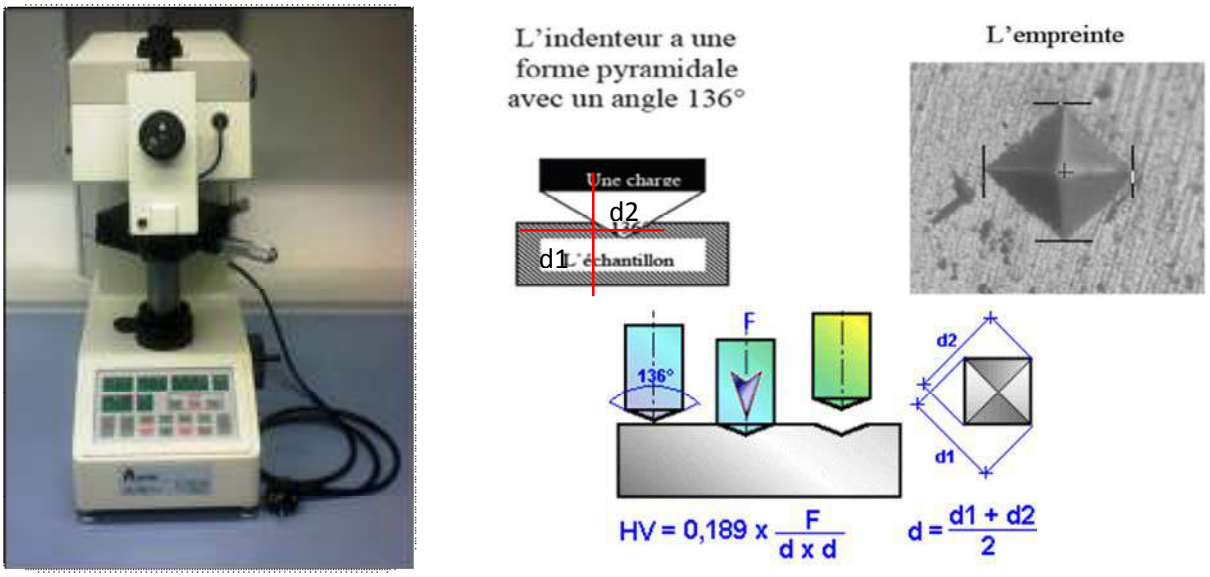
II.3.3 Essais de dureté

La dureté d'un matériau définit la résistance qu'oppose une surface de l'échantillon à la pénétration d'un poinçon, par exemple une bille en acier trempé (dureté Brinell) ou une pyramide en diamant (dureté Vickers). S'il y résiste bien, il est dit dur, sinon il est dit mou. La dureté se mesure sur différentes échelles selon le type de matériau considéré.

a- Principe: Un pénétrateur ou indentateur, de forme et de résistance appropriées (sphère, pyramide, cône...) est appliqué progressivement sous l'action d'une force « **F** » sur la surface et maintenu pendant un temps précis. Si le matériau est plastiquement déformable, une empreinte de surface latérale « **S** » et de profondeur « **e** » subsiste après retrait de la charge. La dureté s'exprime alors par le rapport : ***H= F/S***. Bien qu'homogène à une contrainte de résistance à la pénétration, la dureté doit être exprimée selon les normes comme un nombre adimensionnel.

b- Essai Vickers : L'essai de dureté Vickers fait appel à un pénétrateur de forme pyramidale. La pyramide est en diamant et à une base carrée d'angle au sommet 136°, appliquée avec une force F de 49 à 980N. On mesure la longueur « $d_{moyenne}$» des deux diagonales de l'empreinte, à l'aide d'un système optique.

Les essais de dureté ont été réalisés à l'INCC en utilisant le Micro-duromètre numérique de marque « **AFFRI, modèle DM2D** » de l'INCC (voir Figure 42) qui est équipé d'un oculaire (×15) et des objectifs (10×,40×) pour permettre de positionner l'empreinte et régler les lignes de mire afin de mesurer la valeur de la diagonale « d ». La gamme de charges utilisée par cet appareil varie entre : 25gf, 50 gf, 100 gf, 200 gf, 300 gf, 500 gf et 1000gf.



(a) **(b)**

Figure 42 : (a) Microduromètre numérique de marque « AFFRI, modèle DM2D », (b) principe de la dureté Vickers.

II.3.4 Le Dynamomètre

Afin de mesurer la force de percussion des armes à feu, un dynamomètre mécanique de la marque allemande « **Kontaktor** », d'une marge de mesure allant jusqu'à 200 Newtons, a été utilisé.



Figure 43: Dynamomètre mécanique de marque Kontaktor .

II.3.5 Microscope de comparaison

Le microscope de comparaison motorisée modulaire **Leica FS C** de l'INCC, est utilisé pour réaliser des comparaisons côte à côte entre les éléments de munition de même calibre, afin de confirmer ou infirmer les ressemblances qui peuvent exister entre elles. Il contient cinq macro-objectifs à correction apochromatique comprenant une grande ouverture numérique et des diaphragmes d'iris réglables intégrés pour des performances optiques optimales. Il permet aussi de prendre des images en plusieurs modes : fractionnée, superposée et combinée.



Figure 44: Microscope de comparaison motorisée modulaire Leica FS C

II.4 Mesure des profondeurs et des diamètres de percussion

Après avoir effectué les tirs d'essais avec les trois armes à feu et les échantillons de munition choisie comme indiqué dans notre protocole de travail, nous avons procédé à l'exploitation des empreintes de percussion gravées sur les culots des douilles de test en essayons de mesurer simultanément les profondeurs et les diamètres de percussion. Pour y parvenir, nous avons adopté deux techniques de mesure qui sont :

a- Le moulage (casting) ;

b- La numérisation dans le système IBIS TRAX-3D.

II.4.1 La technique du moulage *:*

Elle consiste en l'utilisation du Kit Forensic de moulage pour mouler les empreintes de percussion puis utiliser le micromètre numérique de précision afin de mesurer ses dimensions qui sont : la profondeur et le diamètre.

a) Kit Forensic de moulage :

Le moulage des traces de percussion a été réalisé en utilisant la mallette de moulage PVS 200 du département balistique de l'INCC qui est composée de deux cartouches côte à côte de « Polyvinyl-

siloxane » (base et catalyseur), d'un pistolet à calfeutrer et d'embouts applicateurs, permettant, ainsi, de soulever des impressions et des traces sur différents types de surfaces rugueuses ou irrégulières.



Figure 45: Kit forensic de moulage PVS200

b) Le micromètre digital

Afin de mesurer les profondeurs et les diamètres de percussion après l'opération de moulage nous avons utilisé le micromètre digital de marque « **MITUTOYO, modèle DIGIMATIC MDC 293-821-30, 0 -25MM »** du département balistique de l'INCC qui offre d'une plage de mesure de 0 à 25.4mm et qui donne des mesures avec une précision de +/- **0.002mm.**



Figure 46: Micromètre digital MITUTOYO, modèle DIGIMATIC, 0 -25MM .

c) Les étapes de moulage

En utilisant le kit forensic de moulage susmentionné, les empreintes de percussion ont été moulées et mesurées comme illustré dans les images suivantes :

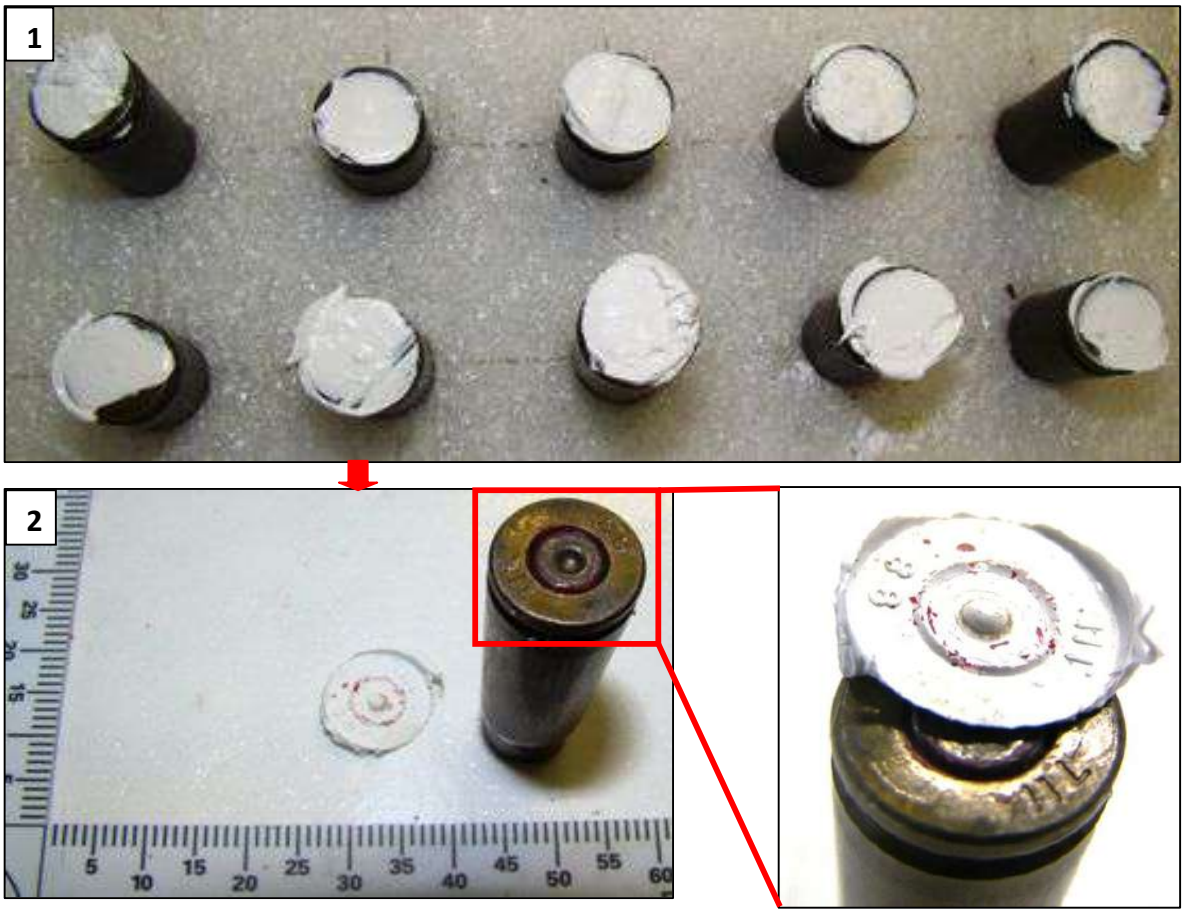


Figure 47: 1-Injection de la matière de moulage ; 2- Soulèvement de l'empreinte moulée de percussion

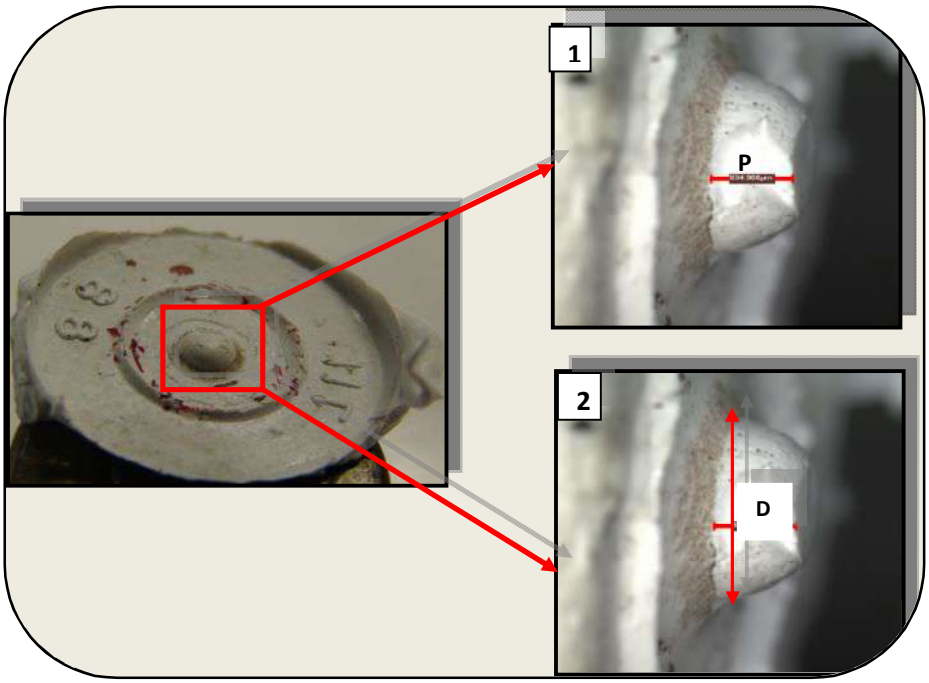


Figure 48: 1- Mesure de la profondeur de percussion « P » ; 2- Mesure du diamètre de percussion « D ».

II.4.2 La numérisation dans le système IBIS TRAX-3D

IBIS (*Integrated Balistics Identification System)*, est un système d'expertise balistique, utilisé pour enregistrer et comparer les images numériques des douilles et des balles, à l'aide des algorithmes de corrélation très sophistiqués, en interrogeant une base de données, il permet de :

- ✓ Acquérir des images de douilles et de balles rapidement et efficacement,
- ✓ Comparer automatiquement les pièces nouvellement acquises avec celles figurant dans la base de données,
- ✓ Présenter une liste de toutes les concordances potentielles,
- ✓ Stocker les images de pièces pour une récupération aisée,
- ✓ Examiner et annoter des images.

- **La station « BRASSTRAX »**: est l'une des deux stations d'acquisition **du Système IBIS TRAX-3D** qui se trouve au niveau de l'INCC. Elle est dédiée à la numérisation des empreintes balistiques gravées sur les douilles qui sont : la surface de la culasse, l'empreinte du percuteur sur l'amorce ainsi que la marque d'éjecteur, tout en permettant d'enregistrer des images de hautes résolutions en 2D et 3D.

Après avoir numérisé les empreintes de percussions gravées sur les culots des douilles dans le système IBIS TRAX 3D, des images en 2D et en 3D appropriées à chaque empreinte sont affichées sur l'écran du système. En effet, le système nous propose uniquement la mesure du diamètre de percussion par contre la mesure de la profondeur n'est pas permise. Pour parer à cette contrainte, nous avons développé un programme sous MATLAB afin d'exploiter la trace de percussion en 3D et pouvoir mesurer, ainsi, sa profondeur.

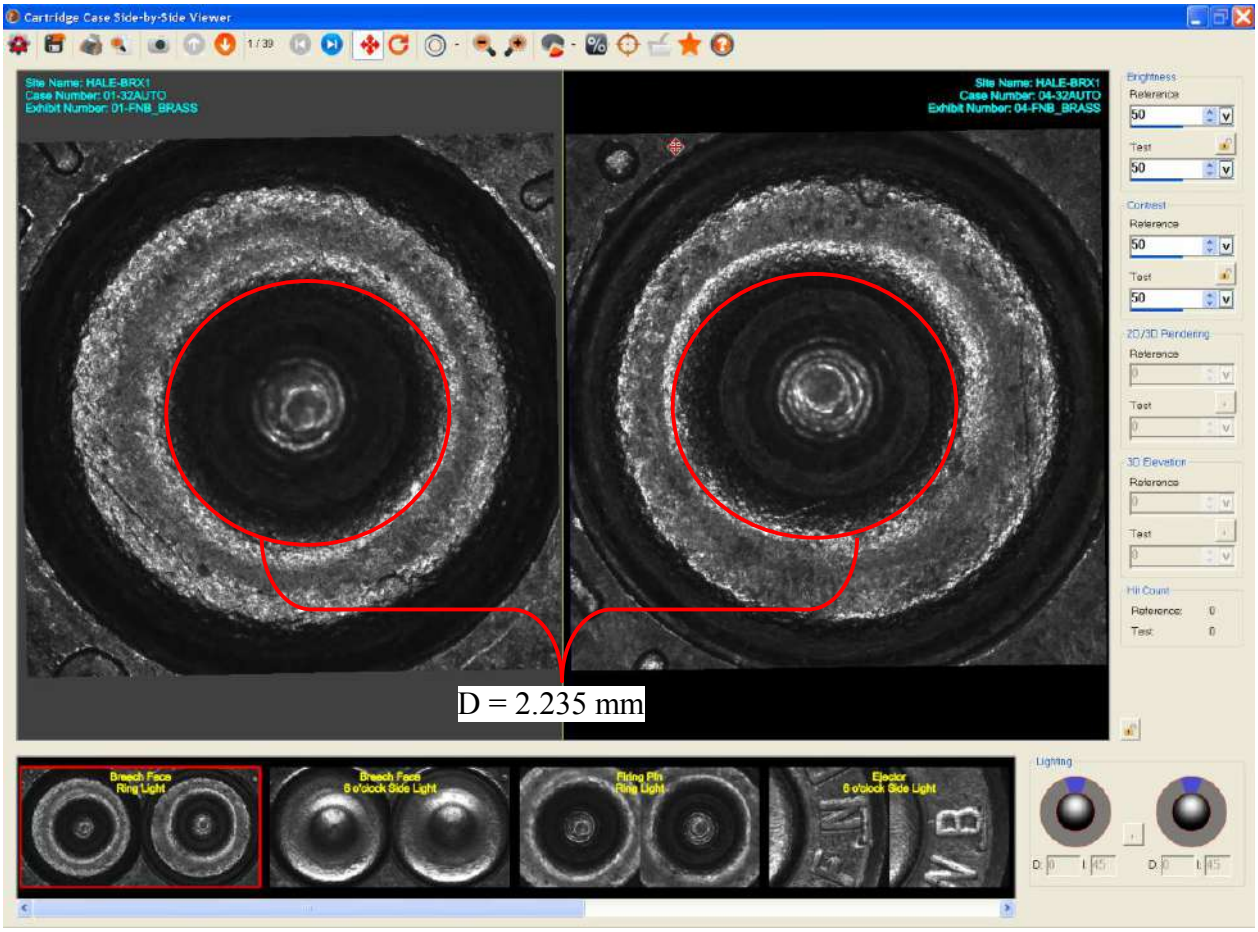


Figure 49: Mesure du diamètre de percussion

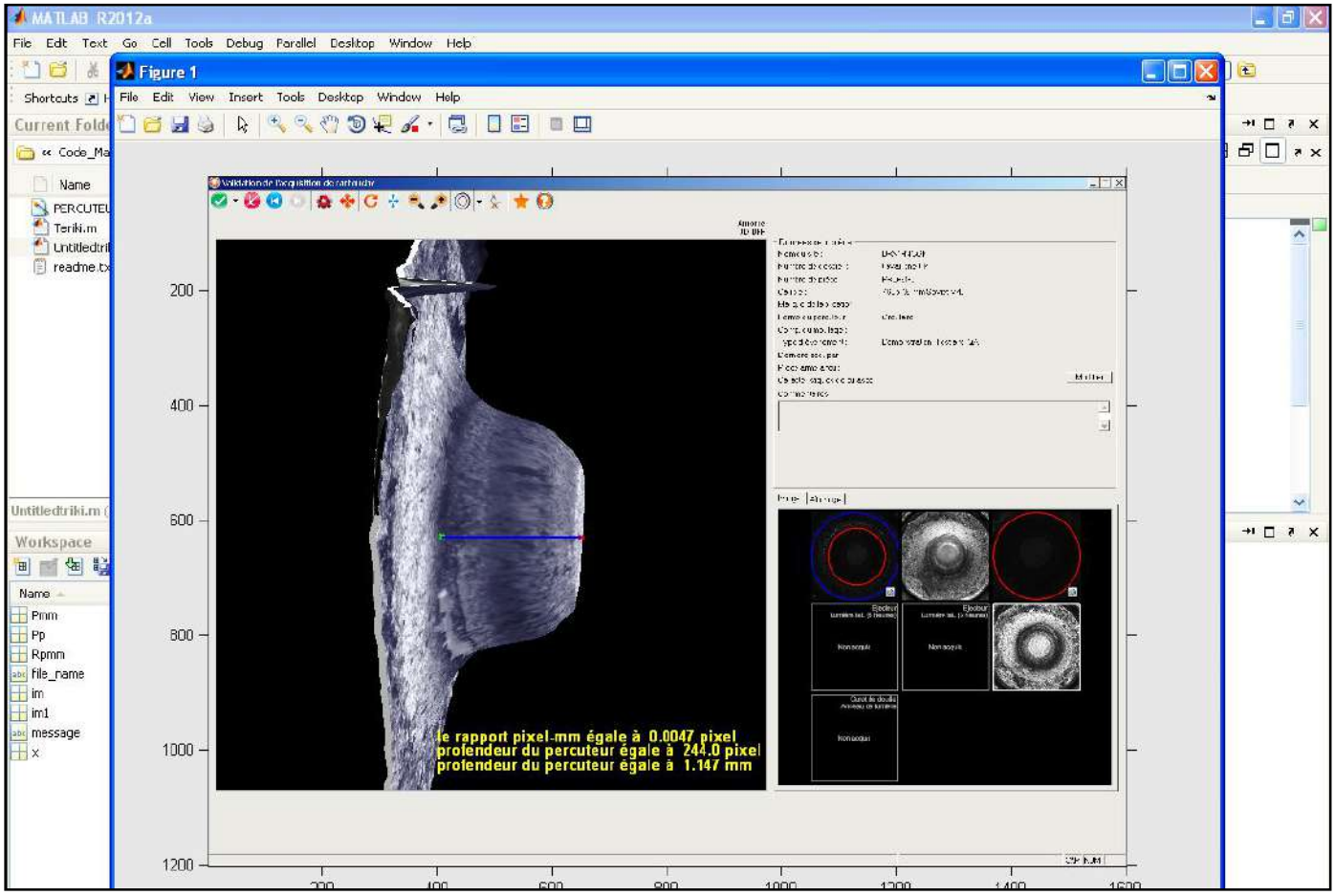


Figure 50: Mesure de la profondeur de percussion (programme développé sous MATLAB

II.5 Conclusion :

Les équipements utilisés lors du travail expérimental étaient plus que nécessaires pour bien maîtriser le sujet abordé et parvenir, ainsi, aux résultats souhaités.

CHAPITRE III

« RESULTATS ET DISCUSSIONS»

III.1 Introduction

Le présent chapitre abordera avec analyse et discussion tout ce qui a été obtenu comme résultats lors de la partie expérimentale.

III.2 Resultats et Discussions

III.2.1 Diffractométrie X :

Le DRX utilisé, modèle **XA PD 2000,** est doté d'un goniomètre de modèle GD et d'une source anticathode en cuivre, fonctionnant à 40 kV / 30 mA, assurant des rayons X de longueur d'onde λ = 1.540598°A. Les échantillons à analyser ont été très bien aplatis et déposés ensuite sur les portes-échantillons adéquates. Le balayage a été fait entre 5°< 2θ <120° en mode Step Scan 0,01° durant 4 heures. Les résultats obtenus ont été traités par le logiciel d'exploitation de données *type WinDust32 winsearch*.

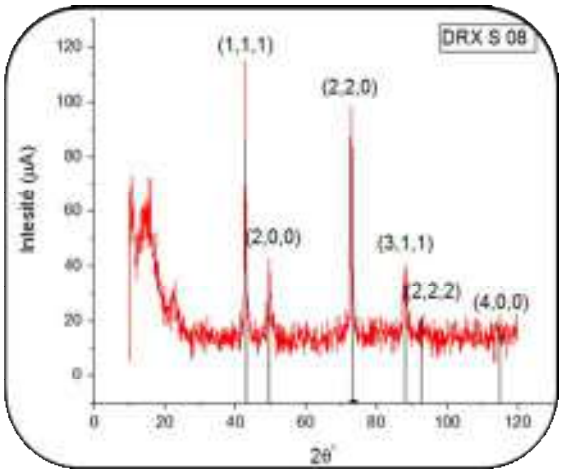


Figure 51: **Spectre de diffraction des rayons X de l'amorce fabriquée en Algérie (S 08)**

.

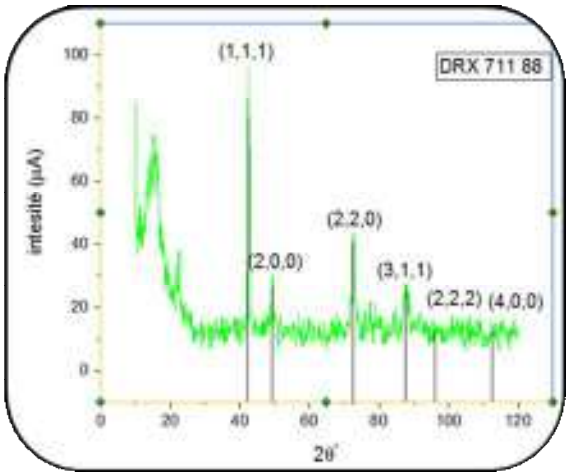


Figure 52: Spectre de diffraction des rayons X de l'amorce fabriquée en Russie (711 88)

.

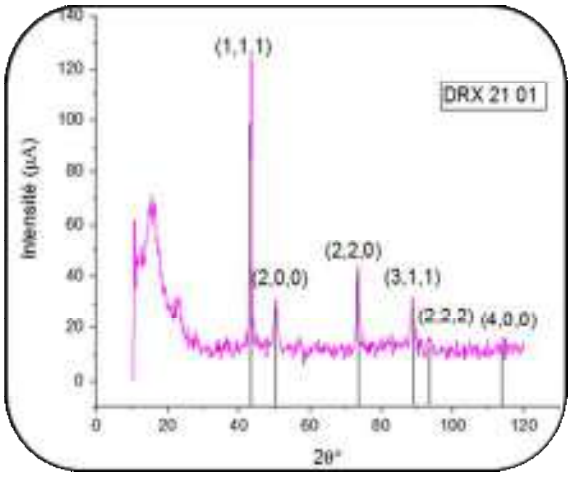


Figure 53: Spectre de diffraction des rayons X de l'amorce fabriquée en Pologne (21 01)

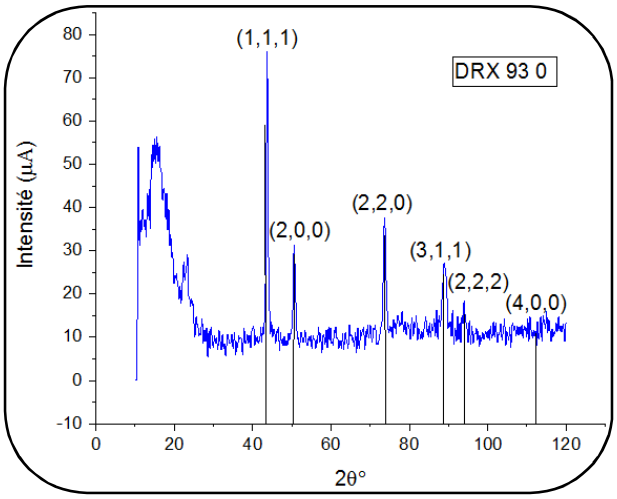


Figure 54: Spectre de diffraction des rayons X de l'amorce fabriquée en Belgique (93 0).

Tableau 1: les coordonnées des pics dans les spectres de diffraction des rayons avec les plans (h,k,l) qui y correspondent

2θ°	Intensité (µA)	h	k	l
42.666	999	1	1	1
49.440	433	2	0	0
72.513	179	2	2	0
87.813	165	3	1	1
92.824	44	2	2	2
113.518	19	4	0	0
131.403	58	3	3	1
138.486	55	4	2	0

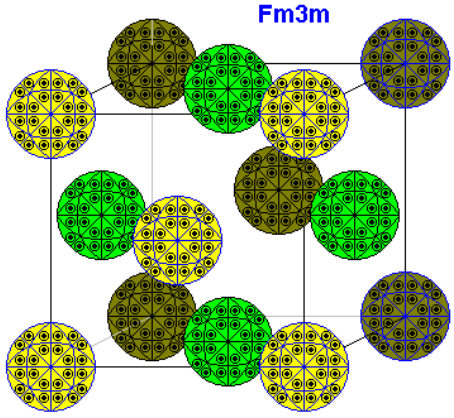
Système cristallographique	**Cubique**
SG (le symbole du groupe d'espace en trois dimensions)	**Fm-3m (le numéro du groupe d'espace 225)**
Dx (Densité calculée à partir des mesures de rayons X)	**8.515**
a (longueurs axiales en angströms)	**3.684**
z (Nombre d'unités de formule chimique par cellule unitaire)	**4**

Cu0.7 Zn0.3 → **laiton (Brass)**



Micrographie du laiton (x400)

Système Cristallin



➢ **Commentaire :**

L'analyse par DRX des quatre (04) échantillons d'amorces a révélé qu'ils ont le même système cristallin, à savoir Cubic (Fm-3m), et des spectres dont les coordonnées correspondent à celles du laiton (Cu70%-Zn30%). Néanmoins, nous remarquons qu'il y'a un certain décalage de θ entre les pics du même plan (h,k,l) pour les quatre échantillons qui est expliqué par la variation des distances interréticulaire soit en augmentation ou en diminution en fonction de la position du plan réticulaire par rapport aux contraintes résiduelles dans le matériau, ce qui engendre une diminution de cristallinité et l'augmentation d'un nombre de types de plan réticulaire par rapport à d'autres types.

III.2.2 Résultats des analyses par micro-fluorescence à rayons X

Les analyses ont été réalisées sous les conditions opératoires suivantes:

- Tension de 30 kV,
- Courant de 0.02 à 1.00 mA avec un incrément minimal de 0.02 mA,
- Radiation de type CuKα,
- Vitesse de balayage θ =1°/s.

Afin de caractériser les amorces et les percuteurs qui font l'objet de notre étude, trois (03) analyses par μXRF ont été effectuées sur chaque échantillon afin d'établir la moyenne des pourcentages des éléments qui les constituent. Les moyennes des pourcentages massiques sont présentées dans les tableaux suivants :

Tableau 2: % massiques moyens du percuteur de l'AKS (Iran)

Élément	Moy. Masse %
Cr	1.38
Mn	0.45
Fe	93.75
Ni	4.42

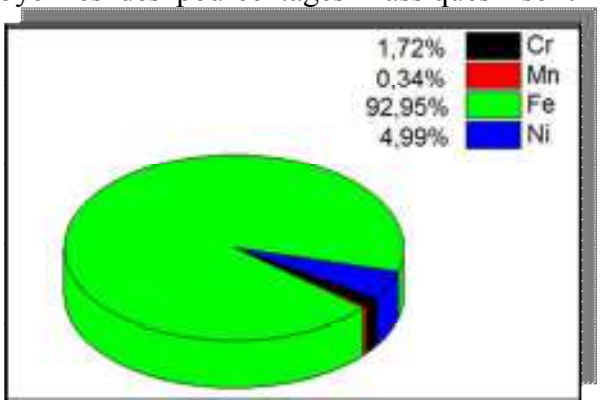


Tableau 3: % massiques moyens du percuteur de l'AK47 (Bulgarie)

Élément	Moy. Masse %
Cr	1.72
Mn	0.34
Fe	92.95
Ni	4.99

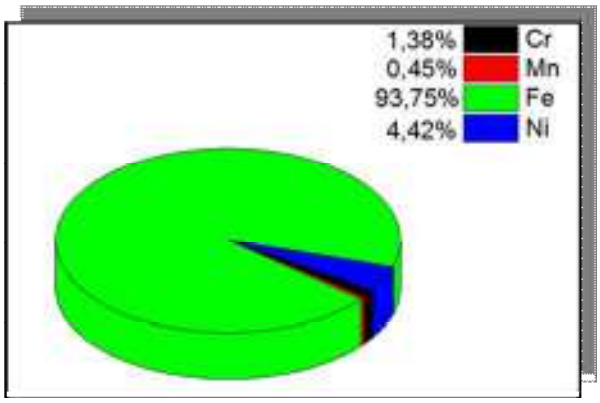
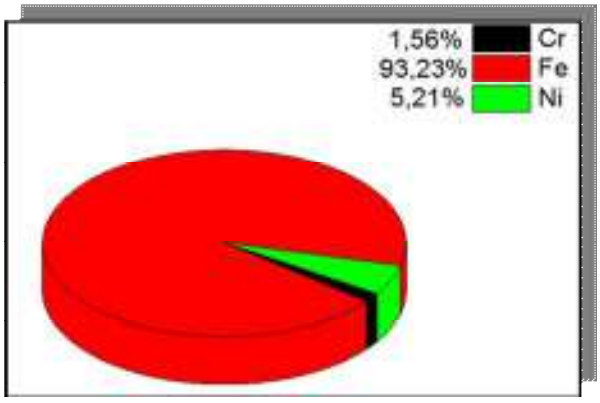


Tableau 4: % massiques moyens du percuteur de l'AK 103-2 (Russie)

Élément	Moy. Masse %
Cr	1.56
Fe	93.23
Ni	5.21



➢ **Commentaire :**

Les pourcentages massiques, moyens, des éléments constituants les trois percuteurs sont très proches et forment un alliage d'acier comportant : ≈ 93% du fer, ≈ 5% du Nickel et ≈2% du Chrome.

Tableau 5: % massiques moyens des composants de l'amorce issue de la munition fabriquée en Algérie (S08)

Élément	Moy. Masse %
Cu	67.56
Zn	32.44

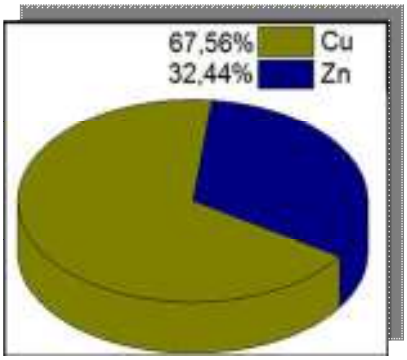


Tableau 6: % massiques moyens des composants de l'amorce issue de la munition fabriquée en Belgique (93 0)

Élément	Moy. Masse %
Cu	68.29
Zn	31.62

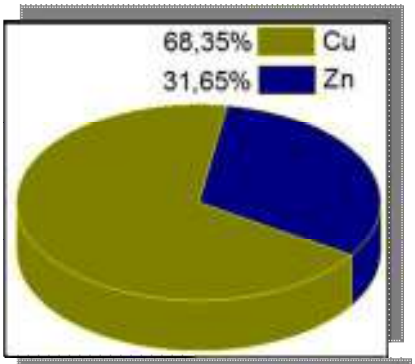


Tableau 7: % massiques moyens des composants de l'amorce issue de la munition fabriquée en Russie (711 88)

Élément	Moy. Masse %
Cu	69.82
Zn	30.18

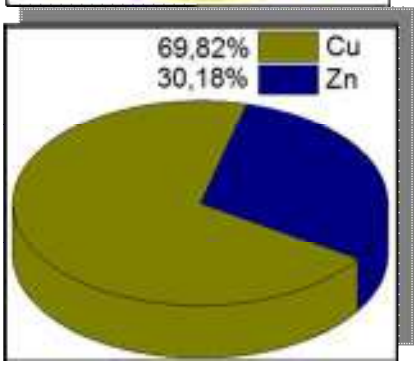
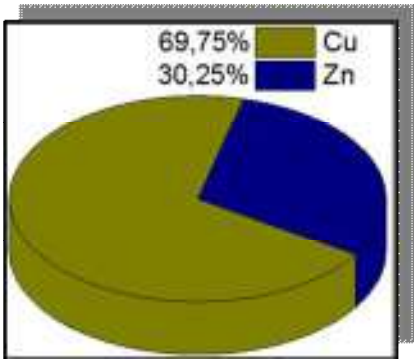


Tableau 8: % massiques moyens des composants de l'amorce issue de la munition fabriquée en Pologne (21 01)

Élément	Moy. Masse %
Cu	69.75
Zn	30.25



- **Commentaire :**

Les pourcentages massiques, moyens, des quatre (04) échantillons d'amorces rentre, essentiellement, dans la composition du laiton qui est un alliage binaire à base de cuivre dont les teneurs en **cuivre** sont entre **68.29% et 69.82%,** et en **zinc** sont entre **30.18 et 31.62%.**

III.3.3 Résultats des essais de dureté

La dureté d'un matériau est une caractéristique de sa résistance à la déformation plastique localisée. Les mesures de dureté sont non destructives et donnent essentiellement des valeurs comparatives qui permettent de faire la différence entre les caractéristiques mécaniques des matériaux. [25]

Les essais de dureté Vickers ont été réalisés dans les conditions suivantes :

- Charge de pénétration 200 gf avec une incertitude de ±1%),
- Temps de pénétration 15 secondes
- Grossissement de l'empreinte : (×40).

Lorsque les lignes sont réglées, une valeur apparaît sur l'afficheur pour désigner la longueur de la diagonale agrandie de 40 fois, et en poussant sur la touche 1/40, l'afficheur montre alors la diagonale réelle en micron. Le calcul du micro dureté HV, se fait automatiquement par un double clic sur le bouton "HARDNESS" se trouvant sur le cadran de l'appareil de mesure. Pour chaque essai de dureté, trois valeurs ont été mesurées afin de calculer une valeur qui présentera la dureté du matériau. Dans ce sens, les duretés Vickers moyennes mesurées ont été reprises dans les tableaux suivants :

III.3.3.1 Mesures de duretés des percuteurs:

Désignation de l'échantillon		
Percuteur de l'AKS (IRAN)	**Percuteur de l'AK47 (Bulgarie)**	**Percuteur de l'AK103-2 (Russie)**
Dureté Vickers moyenne ($HV_{moyenne}$)		
458	492	405
Résistance à la rupture Rm en N/mm² [26]		
1485	1595	1305

Tableau 9: Duretés Vickers et résistances à la rupture des percuteurs

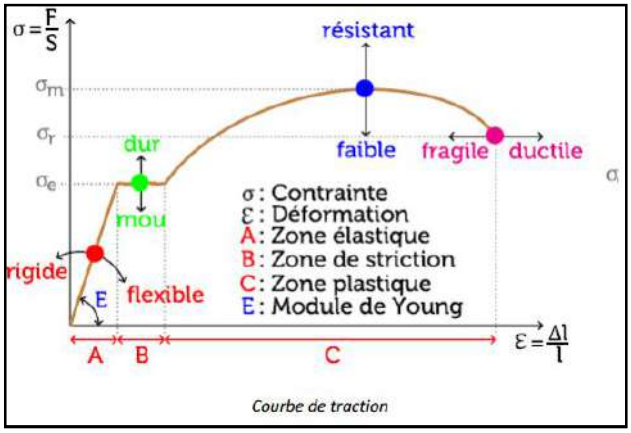


Figure 56: Courbe de traction représentant le le comportement mécanique statique d'un matériau

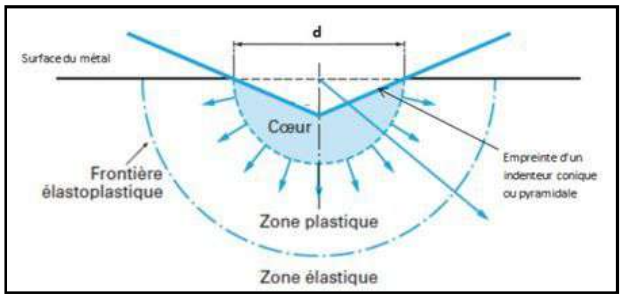


Figure 55: Schéma des zones de déformation sous un pénétrateur de type Vickers (Rm≈ 3.5HV).

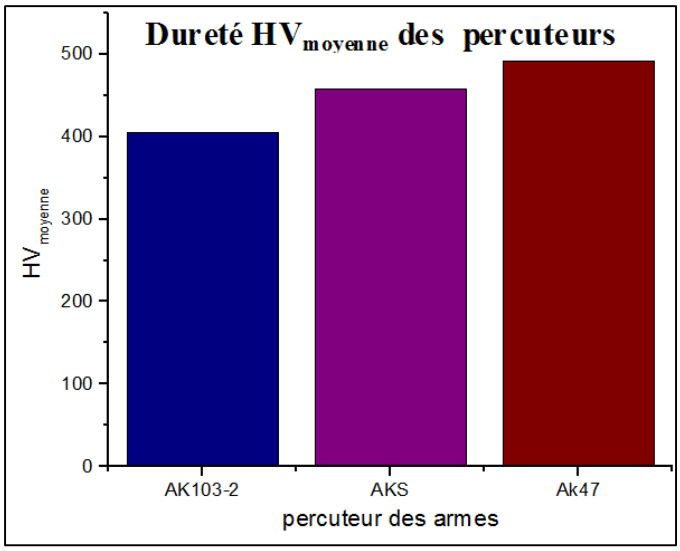


Figure 57: Histogramme des duretés HVmoyenne des percuteurs

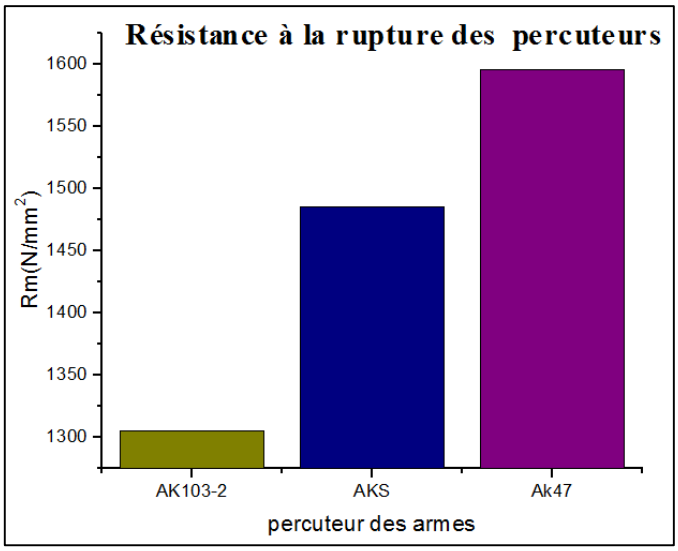


Figure 58: Histogramme des Résistance à la rupture des percuteurs

➢ **Commentaire :**

Les mesures de dureté des percuteurs des armes à feu n'étaient pas semblables et les différences entre elles sont notables. En effet, le percuteur de l'AK103-2 est d'une dureté HVmoyenne la moins importante équivalente à 405 (1305 N/mm²) comparativement au percuteur de l'AKS d'une dureté de 458 HV (1485 N/mm²) et beaucoup plus par rapport au percuteur de l'AK47 qui est le plus dure parmi les trois d'une dureté avoisinant 492 HV (1595 N/mm²). La différence de dureté qui existe entre les matériaux des trois percuteurs revient principalement à leurs processus d'usinage et aux facteurs de variations des caractéristiques mécaniques qui sont [27] :

- ***La composition chimique*** **:** un acier au carbone a une résistance d'autant plus grande que sa teneur en carbone est plus élevée. L'addition en proportion convenable d'autres métaux augmente encore les caractéristiques mécaniques.
- ***Le mode d'élaboration*** **:** obtention d'une structure cristalline différente, par exemple l'écrouissage, dû à une opération de laminage ou de déformation à froid, entraîne une **augmentation** de la résistance à la rupture et de la **dureté**.
- ***Les traitements thermiques*** (trempe ou recuits) : modification de la structure chimique des alliages, ce qui entraîne des modifications de leurs caractéristiques mécaniques.
- ***Le degré de finition des surfaces*** **:** l'augmentation du fini d'une surface augmente la résistance à la fatigue, la résistance à l'usure et les qualités de frottement.
- ***Traitements augmentant la dureté superficielle :***
  - Procédés chimico-thermiques : Cémentation - nitruration - cyanuration (ou carbonitruration) ;

- Procédés mécaniques : Écrouissage superficiel - Grenaillage – sablage ;
- Procédés thermiques : Métallisation par fusion (projection, à chaud, au pistolet d'un métal dur : schoopage) ;
- Procédés électrolytiques : Chromage dur (dépôt de chrome en couche épaisse) ;
- Procédés chimiques : Chromisation (cémentation gazeuse par le chrome).

III.3.3.2 Mesures de duretés des duretés des amorces

Désignation de l'échantillon			
Amorce Algérie (S 08)	**Amorce Belgique (93 0)**	**Amorce Russie (711 88)**	**Amorce Pologne (21 01)**
Dureté Vickers moyenne ($HV_{moyenne}$)			
165	**152**	**178**	**193**
Résistance à la traction Rm en N/mm² [28]			
550	**494**	**614**	**678**

Tableau 10: Duretés Vickers et résistances à la rupture des percuteurs

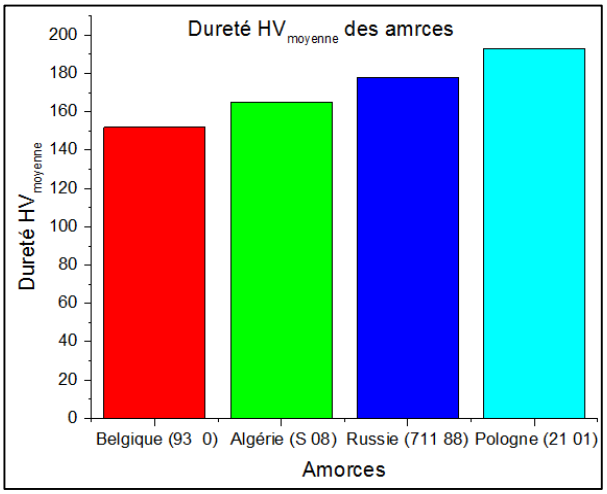


Figure 60: Histogramme des duretés $HV_{moyenne}$ des amorces

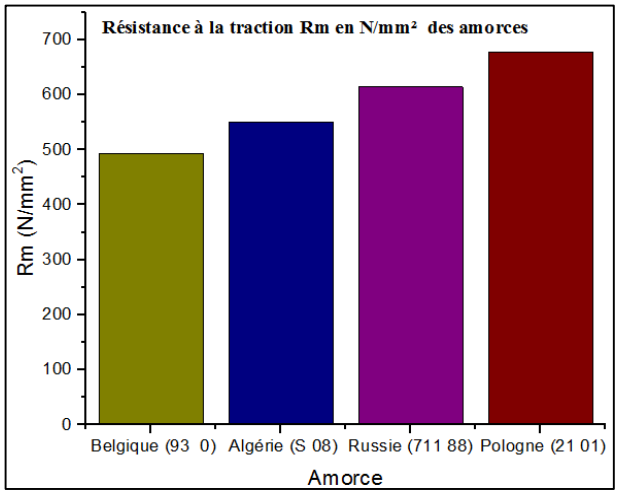


Figure 60: Histogramme des Résistance à la rupture des amorces

➢ **Commentaire :**

Les mesures de dureté des échantillons d'amorces ont révélé qu'il y'a des différences remarquables entre elles, qui varient entre **41 HV (184 N/mm²) et 13 HV (56 N/mm²)**. En effet, les duretés $HV_{moyenne}$ des amorces fabriquées en Pologne (plus dure) et en Russie sont plus importantes par rapport à ceux fabriqués en Algérie et en Belgique (moins dure). Les différences enregistrées pourront être justifiées par les traitements thermomécaniques que subissent les feuilles de laiton dont les amorces sont fabriquées avec, tout au long du processus de fabrication comme l'écrouissage qui modifie profondément la dureté des métaux et des alliages ou les traitements thermiques, car les matériaux peuvent acquérir des caractéristiques élevées par un cycle ou une succession de cycles thermiques (chauffage - refroidissement), comme la trempe, le revenu et le recuit [29] .

III.3.4 Mesure des profondeurs et des diamètres de percussion

Les mesures des diamètres et des profondeurs de percussion ont été calculées en adoptant les deux méthodes citées dans la partie expérimentale, dont les valeurs étaient très rapprochées avec des écarts insignifiants qui n'influent pas sur le choix des mesures que nous avons analysées par la suite, afin d'en tirer des informations utiles pour notre étude.

Comme nous l'avons précisé précédemment, les mesures des diamètres et des profondeurs de percussion, obtenus suite à l'adoption de la méthode de numérisation sur le système IBIS 3D, relatives à chaque arme à feu ont été reportées sur des tableaux et représentées sur des graphes comme suit :

III.3.4.1 Les mesures relatives à l'AK47 (Bulgarie):

Tableau 11: Mesures des profondeurs de percussion de l'AK47

Mesure des profondeurs de percussion (mm)							
Algérie (S08)		Russie (711)		Pologne (21)		Belgique (93)	
Mode de tir : C/C : Coup par Coup, RF : Rafale							
C/C	RF	C/C	RF	C/C	RF	C/C	RF
0,691	0,732	0,574	0,571	0,413	0,418	0,776	0,779
0,687	0,736	0,572	0,579	0,419	0,423	0,779	0,783
0,688	0,741	0,57	0,588	0,41	0,429	0,78	0,791
0,692	0,755	0,573	0,601	0,409	0,445	0,775	0,815
0,693	0,778	0,570	0,627	0,415	0,462	0,778	0,841
0,69	0,796	0,577	0,656	0,419	0,489	0,776	0,869
0,687	0,815	0,575	0,688	0,411	0,511	0,778	0,895
0,689	0,842	0,572	0,705	0,413	0,541	0,777	0,919
0,693	0,879	0,573	0,727	0,411	0,579	0,781	0,949
0,69	0,909	0,575	0,759	0,413	0,607	0,778	0,977
Écart type (±mm)							
0,002	0,062	0,002	0,066	0,003	0,067	0,002	0,071

Tableau 12: mesures des diamètres de percussion de l'AK47

Mesure des diamètres de percussion (mm)							
Algérie (S08)		Russie (711)		Pologne (21)		Belgique (93)	
Mode de tir : C/C : Coup par Coup, RF : Rafale							
C/C	RF	C/C	RF	C/C	RF	C/C	RF
2,234	2,227	2,141	2,145	2,025	2,027	2,441	2,442
2,23	2,239	2,145	2,163	2,022	2,035	2,44	2,451
2,229	2,255	2,139	2,202	2,03	2,085	2,397	2,462
2,227	2,289	2,142	2,227	2,025	2,122	2,442	2,491
2,229	2,305	2,141	2,249	2,027	2,15	2,44	2,529
2,23	2,326	2,137	2,263	2,03	2,163	2,396	2,556
2,232	2,359	2,139	2,288	2,022	2,182	2,445	2,581
2,227	2,392	2,142	2,307	2,032	2,195	2,442	2,617
2,232	2,412	2,145	2,333	2,027	2,213	2,441	2,648
2,234	2,444	2,142	2,364	2,032	2,228	2,445	2,702
Écart type (±mm)							
0,002	0,075	0,002	0,071	0,003	0,071	0,020	0,073

➢ **Commentaire :**

La lecture des tableaux de mesure des diamètres et des profondeurs de percussion, des tirs d'essai par l'AK47, nous a permis de distinguer des différences entre les quatre types d'échantillons de munition, à savoir :

- **En mode coup par coup :** pour chaque type de munition, nous avons constaté qu'il y'a une certaine stabilité des valeurs de mesure des diamètres et des profondeurs de percussion, et cela, pratiquement, pour les dix (10) tirs d'essai. Cependant, des différences remarquables ont été enregistrées entre les quatre (04) types de munition qui varient entre **0.365** et **0.160** mm en profondeurs et entre **0.406** et **0.114** mm en diamètres avec **Δx=±0.002mm**.
- **En mode rafale :** contrairement au mode coup par coup, des augmentations importantes, des diamètres (entre **0.007** et **0.26 mm**) et des profondeurs (entre **0.006** et **0.198mm**) de percussion, ont été enregistrées après chaque coup tiré. Le report sur des graphes de l'ensemble des points de mesures a fait montrer qu'ils avaient une allure d'une droite dont la relation entre les variables pourrait s'exprimer par l'équation suivante: ***Y=aX+b.***

III.3.4.2 Les mesures relatives à l'AKS (Iran)

Tableau 13: mesures des diamètres de percussion de l'AKS

Mesure des diamètres de percussion (mm)							
Algérie (S08)		**Russie (711)**		**Pologne (21)**		**Belgique (93)**	
Mode de tir : C/C : Coup par Coup, RF : Rafale							
C/C	**RF**	**C/C**	**RF**	**C/C**	**RF**	**C/C**	**RF**
2,198	2,202	2,005	2,007	1,831	1,832	2,405	2,393
2,206	2,213	2,003	2,013	1,829	1,839	2,407	2,409
2,202	2,226	2,01	2,025	1,827	1,849	2,393	2,421
2,205	2,241	2,007	2,062	1,833	1,877	2,409	2,439
2,197	2,275	2,003	2,103	1,831	1,909	2,396	2,469
2,2	2,303	2,009	2,134	1,825	1,935	2,403	2,499
2,206	2,339	2,011	2,153	1,83	1,963	2,393	2,518
2,203	2,377	2,005	2,191	1,827	1,996	2,396	2,542
2,207	2,41	2,003	2,21	1,835	2,021	2,409	2,579
2,202	2,441	2,008	2,236	1,829	2,053	2,401	2,602
Écart type (±mm)							
0,003	0,085	0,003	0,084	0,003	0,082	0,003	0,082

Tableau 14: mesures des profondeurs de percussion de l'AKS							
Mesure des profondeurs de percussion (mm)							
Algérie (S08)		Russie (711)		Pologne (21)		Belgique (93)	
Mode de tir : C/C : Coup par Coup, RF : Rafale							
C/C	RF	C/C	RF	C/C	RF	C/C	RF
0.562	0.566	0.422	0,446	0.328	0.330	0.698	0.697
0.566	0.573	0.413	0,453	0.333	0.339	0.703	0.709
0.564	0.588	0.417	0,468	0.329	0.348	0.697	0.724
0.571	0.606	0.423	0,484	0.327	0.361	0.702	0.751
0.566	0.635	0.415	0,509	0.335	0.388	0.702	0.772
0.570	0.65	0.417	0,545	0.331	0.407	0.707	0.793
0.560	0.687	0.413	0,581	0.331	0.441	0.698	0.810
0.562	0.707	0.419	0,606	0.332	0.479	0.703	0.839
0.569	0.739	0.421	0,641	0.330	0.502	0.704	0.855
0.563	0.762	0.415	0,674	0.334	0.538	0.702	0.881
Écart type (±mm)							
0,003	0,070	0,003	0,071	0,003	0,073	0,003	0,073

- **Commentaire :**

En analysant les données des tableaux de mesures de l'AKS, nous pouvons facilement remarquer l'existence des différences notables entre les deux modes de tirs : coup par coup et rafale. En effet, en mode coup par coup les dimensions (diamètres et profondeurs) des empreintes de percussion sont stables pour chaque type de munition, néanmoins des différences existaient entre elles qui varient entre **0.176** et **0.356 mm** pour les diamètres et entre **0.081** et **0.368 mm** pour les profondeurs avec **$\Delta x = \pm 0.003$mm.** S'agissant du mode rafale, les mesures ont tendance à progresser graduellement d'un coup à un autre suivant des courbes linaires représentées par la formule : $Y = aX + b$. Les augmentations sont moins importantes pour les trois à quatre premiers coups puis elles s'accentuent pour les coups restants. L'accroissement des valeurs est compris entre **0.183** et **0.549 mm** pour les diamètres et entre **0.136** et **0.343 mm** pour les profondeurs de percussion.

III.3.4.3 Les mesures relatives à l'AK103-2 (Russie):

Tableau 15: mesures des diamètres de percussion de l'AK103-2							
Mesure des diamètres de percussion (mm)							
Algérie (S08)		Russie (711)		Pologne (21)		Belgique (93)	
Mode de tir : C/C : Coup par Coup, RF : Rafale							
C/C	RF	C/C	RF	C/C	RF	C/C	RF
2,093	2,102	1,958	1,957	1,812	1,802	2,234	2,234
2,106	2,11	1,963	1,965	1,802	1,838	2,238	2,241
2,102	2,117	1,955	1,979	1,807	1,85	2,233	2,255
2,097	2,129	1,952	1,991	1,802	1,879	2,238	2,272
2,099	2,151	1,961	2,018	1,809	1,894	2,231	2,288
2,1	2,188	1,959	2,056	1,802	1,911	2,302	2,318
2,106	2,217	1,963	2,097	1,812	1,941	2,233	2,359
2,102	2,249	1,959	2,119	1,809	1,985	2,238	2,383
2,093	2,291	1,957	2,158	1,812	2,017	2,232	2,422
2,097	2,332	1,961	2,201	1,807	2,059	2,303	2,478
Écart type (±mm)							
0.004	0.081	0.004	0.083	0.004	0.079	0.004	0.082

Tableau 16: mesures des profondeurs de percussion de l'AK103-2							
Mesure des profondeurs de percussion (mm)							
Algérie (S08)		Russie (711)		Pologne (21)		Belgique (93)	
Mode de tir : C/C : Coup par Coup, RF : Rafale							
C/C	RF	C/C	RF	C/C	RF	C/C	RF
0,515	0,518	0,436	0,439	0,335	0,375	0,569	0,572
0,52	0,522	0,424	0,447	0,337	0,386	0,568	0,575
0,522	0,535	0,428	0,458	0,369	0,398	0,569	0,587
0,517	0,548	0,42	0,483	0,351	0,413	0,571	0,598
0,521	0,567	0,432	0,505	0,329	0,434	0,567	0,618
0,517	0,595	0,422	0,529	0,335	0,459	0,57	0,634
0,516	0,618	0,426	0,563	0,342	0,478	0,572	0,655
0,521	0,655	0,42	0,58	0,366	0,496	0,569	0,682
0,52	0,681	0,432	0,612	0,353	0,515	0,571	0,717
0,518	0,707	0,424	0,634	0,35	0,541	0,569	0,742
Écart type (±mm)							
0.002	0.065	0.002	0.067	0.002	0.062	0.002	0.065

- **Commentaire** :

L'exploitation des résultats de mesure des diamètres et des profondeurs de percussion de **l'AK103-2**, nous a permis de constater encore une fois les mêmes différences enregistrées par rapport à **l'AK47** et **l'AKS**. Toutefois les intervalles de différences ne sont pas similaires. Dans ce sens, en mode coup par coup, les variations entre chaque type de munition sont comprises entre **0.14** et **0.491 mm** pour les diamètres et entre **0.05** et **0.203 mm** pour les profondeurs avec **$\Delta x=\pm 0.003$mm.** En mode rafale, les variations sont comprises entre **0.131** et **0.419 mm** pour les diamètres et entre **0.073 et 0.201 mm** pour les profondeurs de percussion.

III.3.4.4 Discussion des résultats :

L'analyse approfondie des données graphiques relatives aux empreintes de percussions des trois armes à feu laissées sur les quatre (04) échantillons de munition révèle l'existence des similitudes et des différences entre elles.

En effet, les similitudes se résument d'une part dans la stabilité des dimensions (diamètre et profondeur) de l'empreinte de percussion en mode coup par coup, et d'autre part dans l'augmentation progressive des diamètres et des profondeurs de percussions d'un tir à un autre en mode rafale.

Cependant, la différence fondamentale entre les mesures des empreintes de percussion de chaque arme à feu réside dans les écarts qui existent entre les valeurs des diamètres et des profondeurs de percussion, que ce soit en mode coup par coup ou en mode rafale.

La comparaison entre les équations des courbes de tendance linéaire relatives aux trois (03) armes à feu, permet de déduire l'existence des relations entre elles qui gèrent l'évolution des profondeurs et des diamètres de percussion après chaque coup tiré en mode rafale. A cet effet, nous avons essayé de modéliser chaque relation logique qui existe entre les coefficients de chaque équation linéaire afin de proposer des « équations modèles » propres à chaque arme à feu qui pourraient régir le processus d'évolution des valeurs des diamètres et des profondeurs de percussion au cours des tirs en mode rafale.

En exploitant les modèles d'équation linéaire de chaque arme à feu, nous pouvons conclure que ces modèles nous permettent d'estimer l'ordre séquentiel des tirs ainsi que le nombre des coups qui ont été tirés en mode rafale. Cette information revêt d'un grand intérêt dans le domaine de la balistique, surtout quand il s'agit d'une affaire criminelle complexe qui requiert l'utilisation de plusieurs techniques expérimentales afin de l'élucider.

Les résultats de nos essais, menés jusqu'à présent, mettent en exergue la pertinence de la relation entre la profondeur de percussion et les traces balistiques qui peuvent exister sur le contour de la tête du percuteur. Nous avons, en effet, pu conclure qu'il y'a une relation transitive entre la profondeur et les traces balistiques des empreintes de percussion, cette relation peut être décrite

comme suit : « ***à chaque fois que la profondeur de percussion augmente, la probabilité d'apparition des traces balistiques qui peuvent exister sur le contour de la tête du percuteur augmente ».*** Il est à préciser, également, que les traces balistiques, objet de notre travail, sont des traces individuelles qui caractérisent l'arme à feu et dont l'expert en balistique se réfère lors des comparaisons macroscopiques afin de confirmer ou infirmer les ressemblances qui peuvent exister entre les douilles et pouvoir établir le lien avec les armes qui les ont tirés.

III.5 Discussion des facteurs qui régissent l'augmentation des

III.5.2 Mesure des forces et des vitesses de percussion

III.6 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons pu confirmer que l'empreinte de percussion est influencée par plusieurs facteurs, à savoir :

- **Le mode de tir :** nous avons pu constater à travers les différentes mesures effectuées sur les tirs d'essai des trois armes à feu qu'on mode coup par coup les dimensions de l'empreinte de percussion restent stables, contrairement au mode rafale ou les dimensions augmentent après chaque coup tiré.
- **Les spécifications intrinsèques des armes à feu :**
  - ✓ *Les caractéristiques des percuteurs :* la caractérisation des percuteurs de nos armes de test a permis de révéler des différences de dimensions, de poids et surtout de dureté entre eux. Ces différences sont des paramètres intrinsèques propres à chaque arme à feu et qui dépendent de leurs processus de fabrication.
  - ✓ *La force de percussion :* nous avons pu voir à travers les mesures des forces de percussion des trois armes à feu, objets de notre étude, qu'à chaque fois que la force de percussion augmente, les dimensions de l'empreinte qu'elle engendre augmentent ;
- **La chaleur :** nous avons pu conclure qu'en mode rafale, la chaleur inhérente à la combustion de la poudre propulsive influe sur les dimensions des empreintes de percussion et cela après chaque coup tiré.
- **La dureté des amorces :** à travers les mesures des duretés HV des quatre échantillons d'amorces, nous avons pu conclure l'existence des différences entre elles. En effet la relation inverse qui gère le paramètre dureté et l'empreinte de percussion peut être donné comme suit : « ***l'amorce la moins dure permet l'apparition des empreintes de percussion dont les dimensions sont importantes par rapport à l'amorce la plus dure »;***

Aussi, dans ce chapitre nous avons apporté une modélisation aux équations des courbes de tendances linéaires qui représentent les évolutions des diamètres et des profondeurs de percussion en mode rafale. En effet, l'équation générale qui gère l'accroissement des dimensions de l'empreinte de percussion peut être donnée par la formule suivante : **$Y=\alpha X+\beta b+R$,** tel que : **α** et **β** des coefficients de **X** et **b**, **R** est une constante, **X** est un numéro séquentiel qui représente l'ordre du tir d'essai.

CHAPITRE IV

« SIMULATION DU PROCESSUS DE PERCUSSION»

IV.1 Introduction

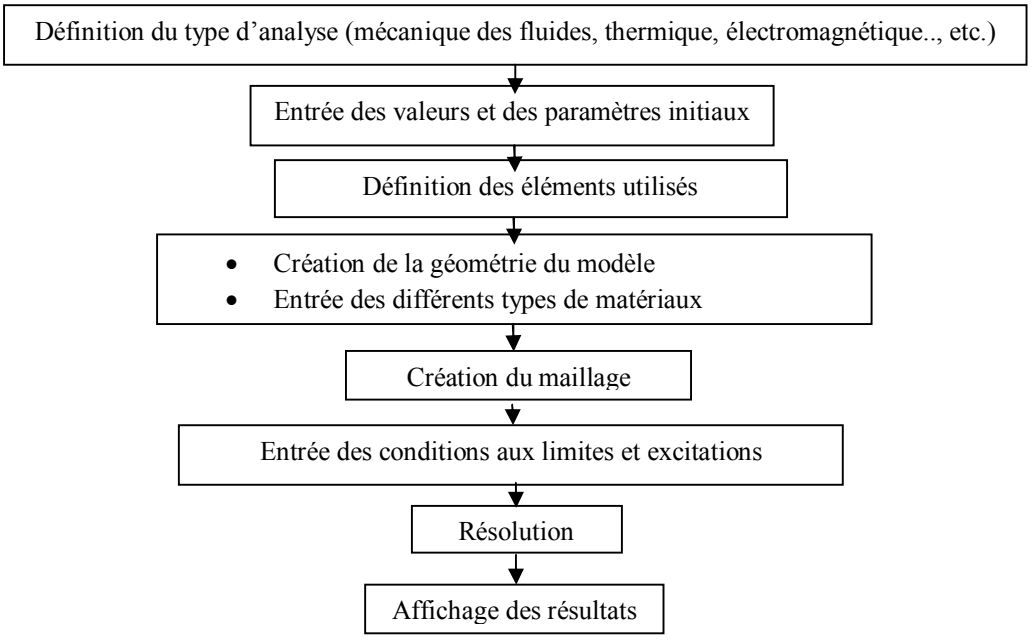
Dans ce chapitre nous allons présenter, avec détails, les étapes et les résultats de la simulation numérique, relatifs au processus de percussion des quatre (04) échantillons d'amorces par les percuteurs des trois (03) armes à feu, objets de notre étude. Pour y parvenir, nous avons eu recours au logiciel de simulation numérique ANSYS qui est un outil de développement en analyse d'ingénierie utilisant la méthode des éléments finis permettant l'analyse d'assemblages complexes et les simulations de conditions réalistes.

IV.2 Présentation du logiciel de simulation

Les logiciels d'ingénierie assistée par ordinateur (IAO) permettent aux ingénieurs d'exécuter des simulations complexes afin de concevoir des prototypes virtuels et d'accélérer les cycles de production physique. Parmi les logiciels de simulation les plus puissants et les plus utilisés au monde, figure« ANSYS », qui est un code d'éléments finis de haut niveau et d'usage général dédié à la résolution numérique d'une large variété de problèmes physiques et mécaniques. Dans ce sens, en utilisant ANSYS nous pouvons faire ce qui suit:

- Les analyses : statiques, modales, harmoniques (réponses forcées) et temporelles ou transitoires ;
- La gestion des différentes situations non linéaires (contacts, plasticité des matériaux, grands déplacements ou grandes déformations) ;
- Les simulations des phénomènes ayant trait avec :
  - ✓ Le transfert de chaleur et la dynamique des fluides ;
  - ✓ L'acoustique et l'électromagnétique.

Pour réaliser des simulations par ce logiciel, nous devons suivre les étapes suivantes :



IV.3 Simulation de l'impact percuteur-amorce en dynamique rapide sous ANSYS

IV.3.1 Conception des modèles

Les deux éléments (géométries) nécessaires à la simulation sont conçus sous SOLIDWORKS 2015 (Modeleur volumique paramétrique de Dassault System). L'amorce est modélisée par une fonction révolution (géométrie axisymétrique) avec une configuration pour chaque nuance (**DZ** (Algérie) ,**PO** (Pologne), **RU** (Russie) et **BE** (Belgique)). Quant aux différents modèles de percuteurs, un fichier CAO est réalisé pour chacun. La démarche adoptée consiste à prendre une image haute résolution de l'extrémité du percuteur, d'insérer l'image dans une esquisse à l'échelle de cette extrémité et utiliser ensuite l'outil « Spline » pour reproduire le contour extérieur. La partie supprimée du percuteur (partie inertiel) est ajoutée ensuite comme masse additionnelle lors de la simulation.

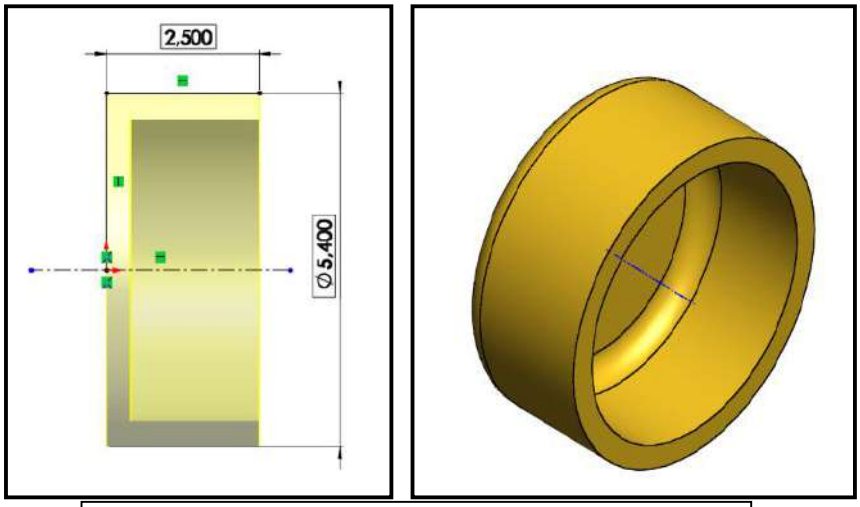


Figure 61: Modélisation de l'amorce par révolution

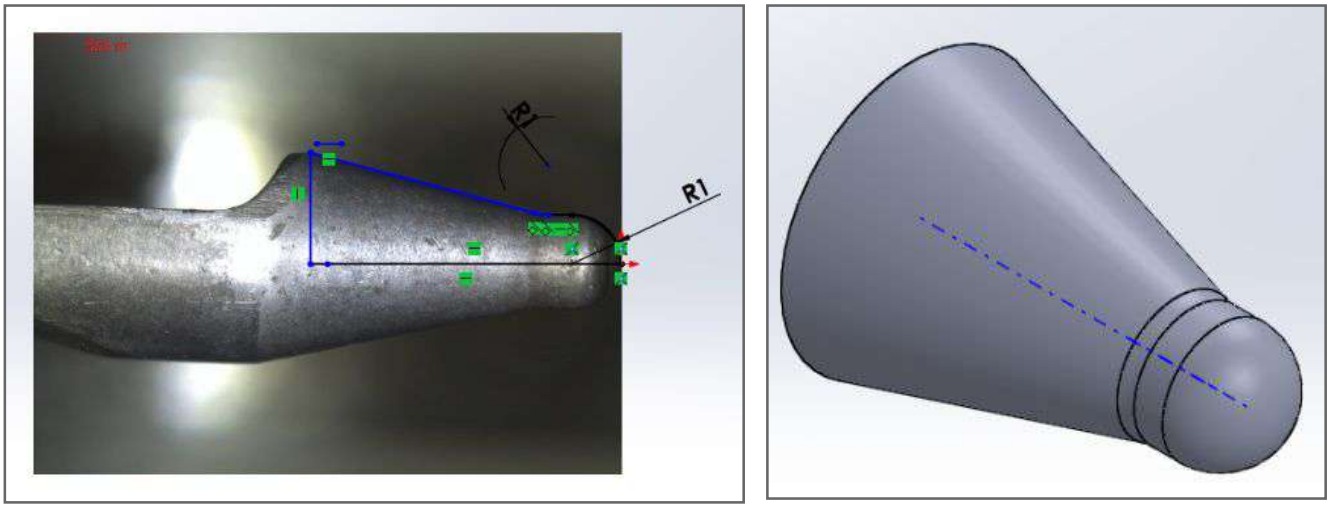


Figure 62 : Modélisation du bout du percuteur par révolution

IV.3.1.1 Choix des matériaux

Pour la simulation numérique, par éléments finis, de l'impact du percuteur sur l'amorce, une démarche expérimentale est adoptée pour calculer les vitesses et les forces d'impact pour chaque modèle de percuteur **(voir point (2.5.2) du chapitre trois)**.

Les matériaux adoptés sont :

a) Acier inoxydable pour les percuteurs choisi dans la bibliothèque des matériaux explicits de ANSYS sous l'identifiant ACIER- S7 avec une équation d'état du type Johnson-Cook.

Les propriétés mécaniques de l'acier sont données dans le tableau ci-dessous

Propriétés de Ligne d'arborescence 5 : STEEL S-7

	A	B	C
1	Propriété	Valeur	Unité
2	Masse volumique	7750	kg m^-3
3	Chaleur spécifique	477	J kg^-1 C^-1
4	Modèle de Johnson-Cook		
5	Correction de vitesse de déformation	Premier ordre	
6	Contrainte élastique initiale	1,539E+09	Pa
7	Constante d'écrouissage	4,77E+08	Pa
8	Coefficient d'écrouissage	0,18	
9	Constante de vitesse de déformation	0,012	
10	Coefficient d'adoucissement thermique	1	
11	Température de fusion	1489,9	C
12	Vitesse de déformation de référence (/s)	1	
13	Module de cisaillement	8,18E+10	Pa
14	EOS Choc linéaire		
15	Coefficient de Gruneisen	2,17	
16	Paramètre C1	4569	m s^-1
17	Paramètre S1	1,49	
18	Paramètre quadratique S2	0	s m^-1

Tableau 17: les propriétés mécaniques de l'acier-S7 avec une équation d'état du type Johnson-Cook

b) Pour les amorces on a utilisé un alliage à base de cuivre qui est le « laiton pour cartouche (CartridgeBrass)» disponible dans la bibliothèque des matériaux explicits de ANSYS sous l'identifiant : CART BRASS.

Les propriétés mécaniques de l'alliage sont données dans le tableau ci-dessous.

Propriétés de Ligne d'arborescence 44 : CART BRASS

	A	B	C
1	Propriété	Valeur	Unité
2	Masse volumique	8450	kg m^-3
3	Chaleur spécifique	385	J kg^-1 C^-1
4	Modèle de Johnson-Cook		
5	Correction de vitesse de déformation	Premier ordre	
6	Contrainte élastique initiale	1,12E+08	Pa
7	Constante d'écrouissage	5,05E+08	Pa
8	Coefficient d'écrouissage	0,42	
9	Constante de vitesse de déformation	0,009	
10	Coefficient d'adoucissement thermique	1,68	
11	Température de fusion	915,85	C
12	Vitesse de déformation de référence (/s)	1	
13	Module de cisaillement	3,74E+10	Pa
14	EOS Choc linéaire		
15	Coefficient de Gruneisen	2,04	
16	Paramètre C1	3726	m s^-1
17	Paramètre S1	1,434	
18	Paramètre quadratique S2	0	s m^-1

Tableau 18: les propriétés mécaniques du CART BRASS

IV.3.2 Modélisation en Dynamique explicite

La simulation d'un impact à grande vitesse est traitée sous ANSYS par l'outil d'analyse « Dynamique explicite ».

Le projectile (bout du percuteur) est lancé avec une vitesse initiale contre l'amorce. La durée de l'impact est évaluée à 10 microsecondes. La force de l'impact (appliquée sur la masse additionnelle du percuteur) est appliquée comme une pression harmonique sur une demi-période.

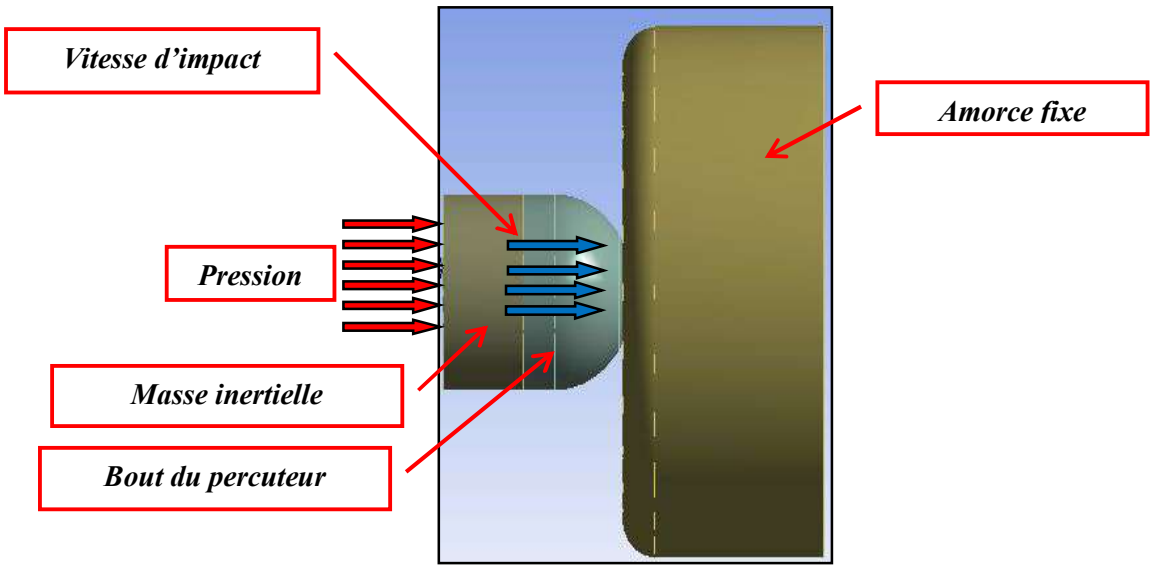
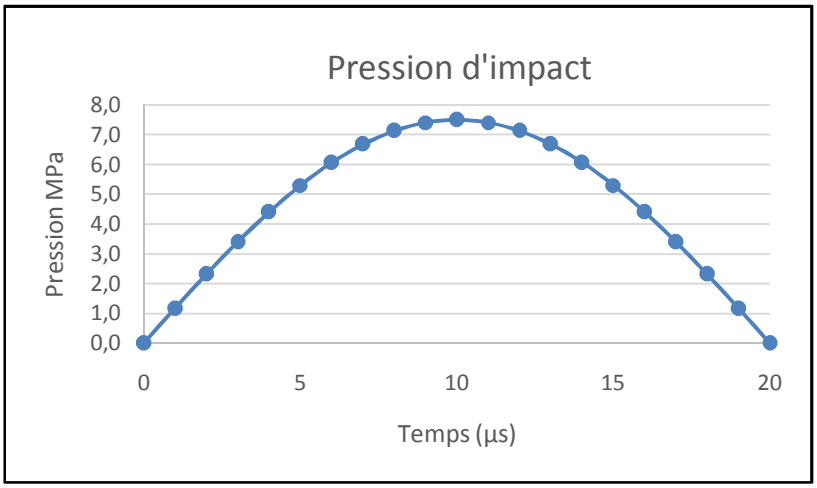
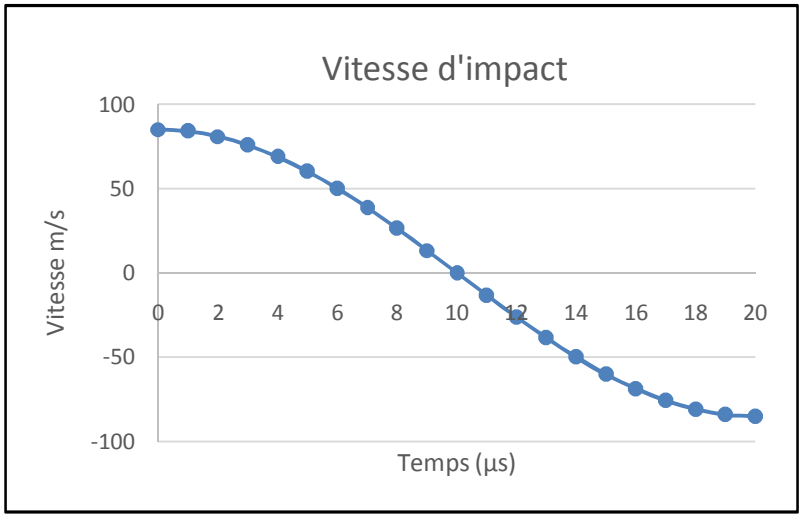


Figure 63: Position « Percuteur-Amorce » avant impact



Graphe 13 : Pression d'impact harmonique sur une demi-période



Graphe 14 : Vitesse d'impact

La vitesse d'impact est appliquée de façon à avoir une phase de pénétration et une autre de recul, ce qui permet d'avoir un retour élastique après suppression de la pression d'impact.

IV.3.2.1 La loi de Johnson-Cook

Le choix d'un modèle d'écrouissage conditionne en grande partie la pertinence et la faisabilité de l'identification du comportement mécanique. La loi d'écrouissage détermine l'allure générale de la relation entre contraintes, déformations, vitesse de déformation et température ; son adéquation à de larges domaines de sollicitation dépend en particulier de sa complexité, qui nécessite un nombre plus ou moins élevé de paramètres. On recense plusieurs familles de lois d'écrouissage dynamiques parmi elles la loi de **Johnson-Cook** qui s'écrit comme suit [31] :

$$\bar{\sigma} = \underbrace{(\sigma_0 + K_0.\ \varepsilon_p^{\,n})}_{\text{Elastoplasticité}} . \underbrace{[1+K_1.Ln\left(\frac{\dot{\varepsilon p}}{\dot{\varepsilon}_{p0}}\right)]}_{\text{Viscosité}} . \underbrace{[1-\left(\frac{T-T_{amb}}{T_{fus}-T_{amb}}\right)^m]}_{\text{Adoucissement}} \quad \text{.....IV.1}$$

- σ_0 : contrainte élastoplastique initiale ;
- K_0 : constante d'écrouissage ;
- ε_p : coefficient d'écrouissage ;
- **K1** : constante de vitesse de déformation ;
- $\dot{\varepsilon}_{p0}$: vitesse de déformation de référence ;
- **m** : coefficient d'adoucissement thermique ;
- T_{fus} : température de fusion ;
- T : température à l'essai.

La loi de Johnson-Cook (modèle rhéologique) repose sur une formulation non couplée des termes liés à l'écrouissage, la vitesse de déformation et la température d'une part, et d'autre part, elle est simple à écrire avec un faible nombre de paramètres, nous avons opté pour son choix afin de réaliser des simulations du processus de percussion par les armes et la munition objets de notre projet de recherche.

IV.3.2.2 Les caractéristiques des amorces et des percuteurs

Fabricant	Poids (gr)	D (mm)	e (mm)	H (mm)	Dureté HV
Algérie (DZ)	0.204	5.405	0.400	2.410	165
Belgique (BE)	0.202	5.425	0.395	2.515	152
Pologne (PO)	0.192	5.390	0.410	2.245	193
Russie (RU)	0.190	5.400	0.395	2.390	178

Tableau 19: Les caractéristiques des amorces

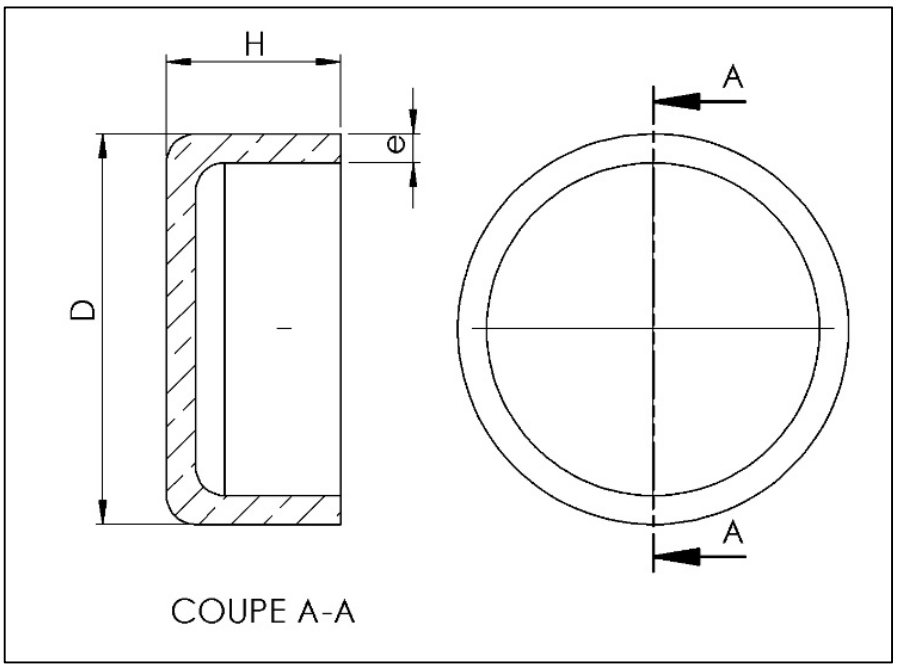


Figure 64: Dimensions des amorces

Le tableau ci-dessous regroupe les conditions initiales utilisées pour chaque percuteur :

Modèle	Poids Moyen (g)	Diamètre Moyen (mm)	Force d'impact (N)	Vitesse d'impact (m/s)
AK-47	5.22	2.0	80.0	85.5
AK-103.2	3.92	1.75	52.5	55.0
AKS (Iran)	4.61	1.70	65.5	47.5

Tableau 20: Les caractéristiques des percuteurs

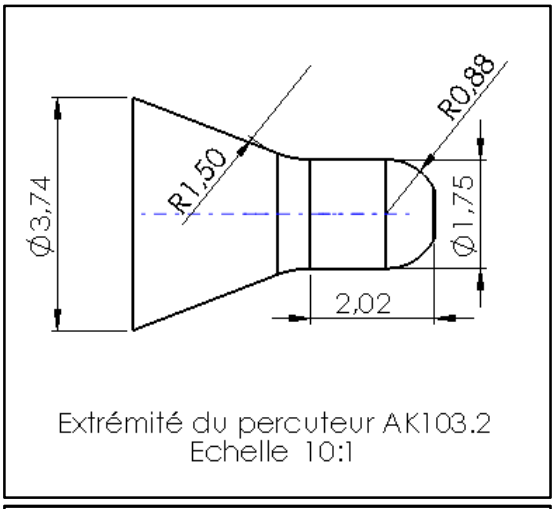


Figure 65: Dimensions des extrémités du percuteur de l'AK103-2

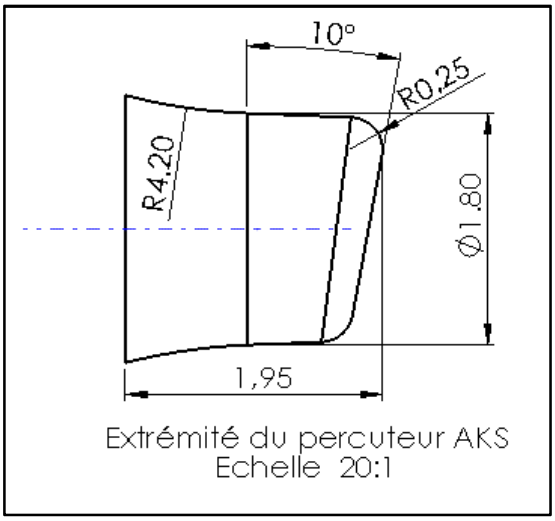


Figure 66: Dimensions des extrémités du percuteur de l'AKS

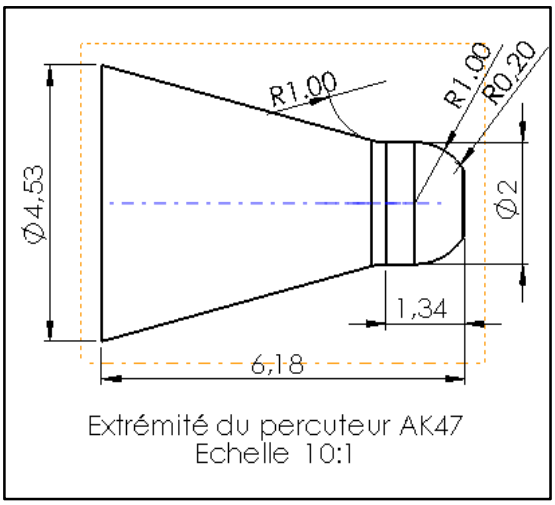
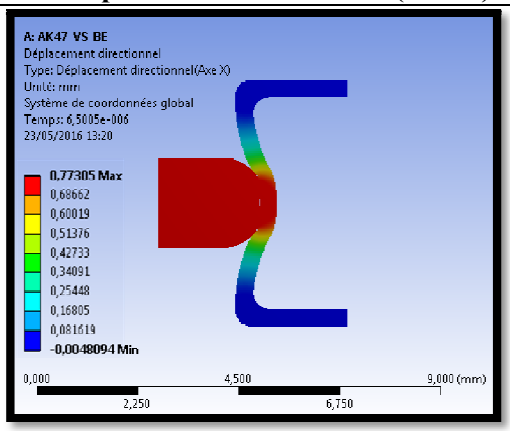
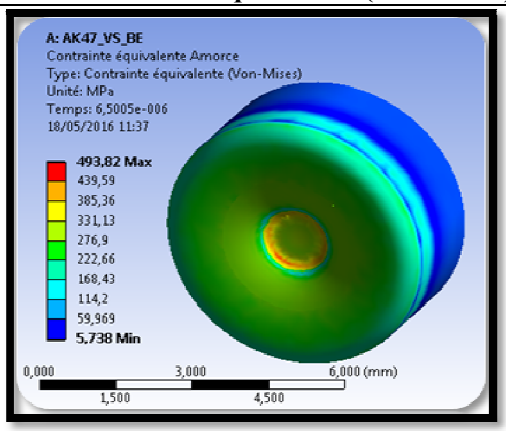
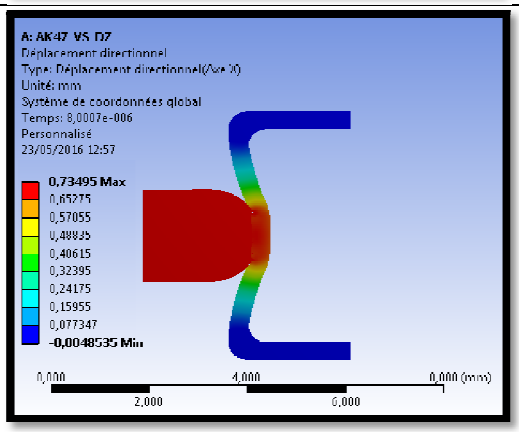
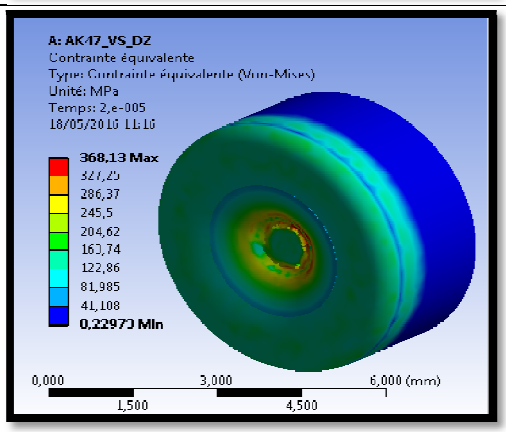
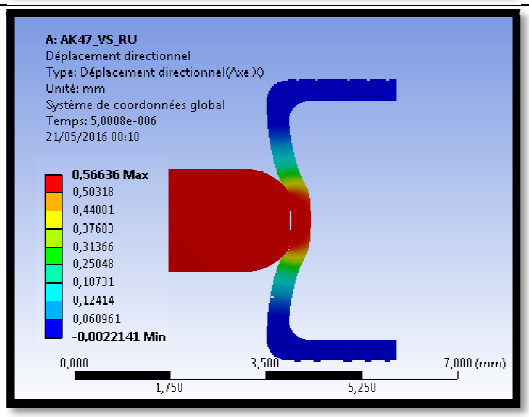
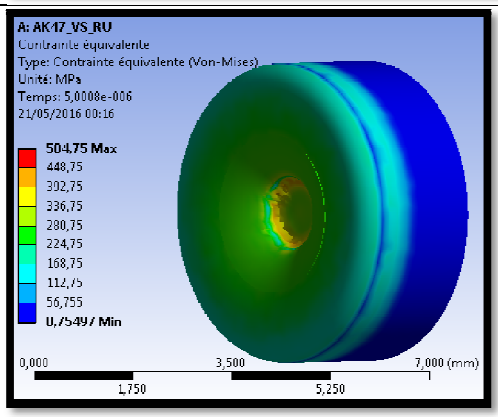
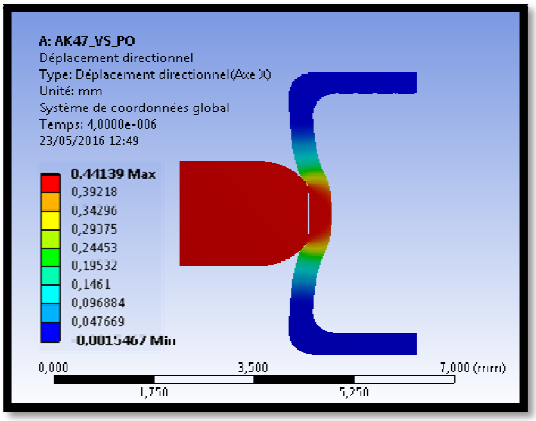
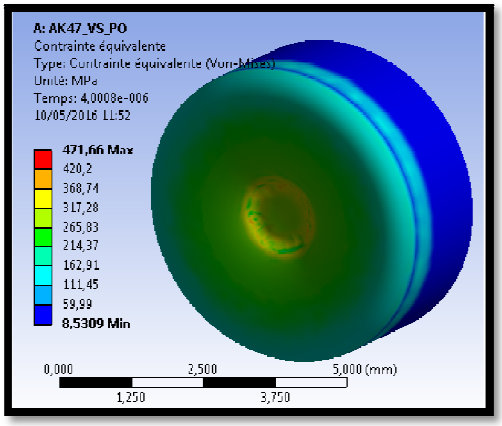
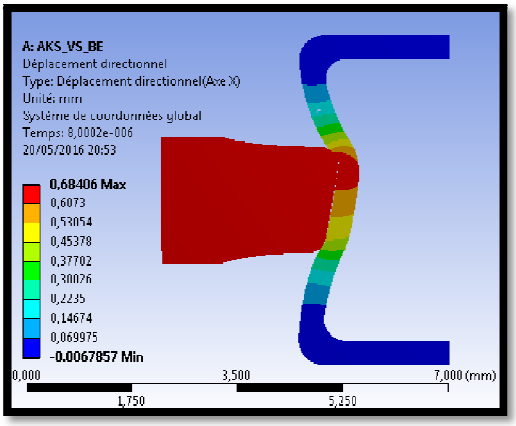
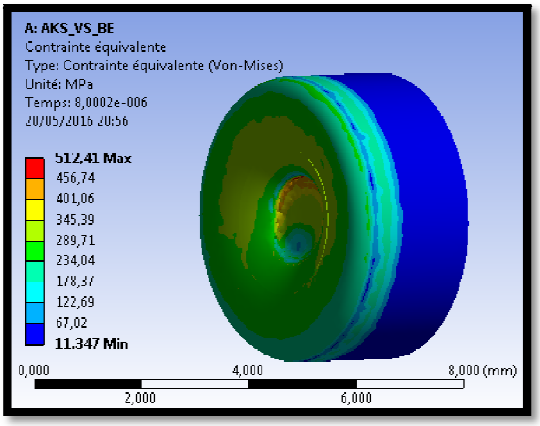
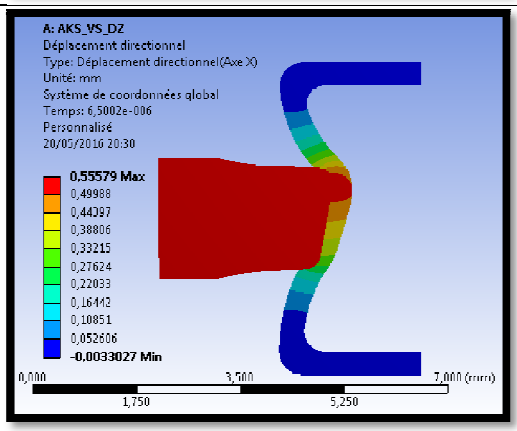
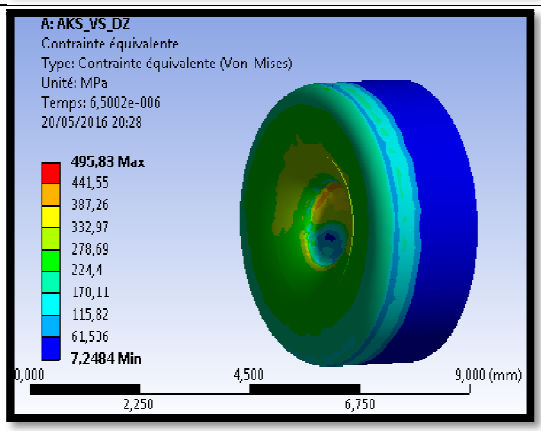
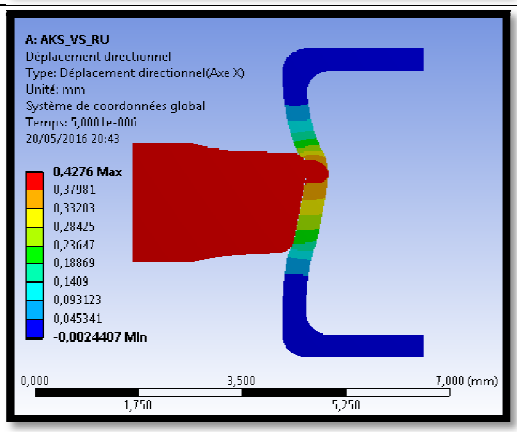
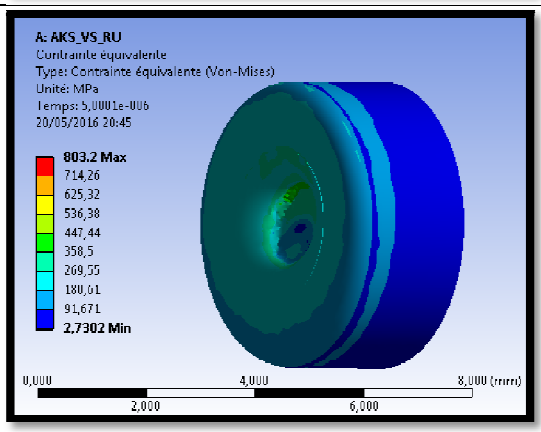
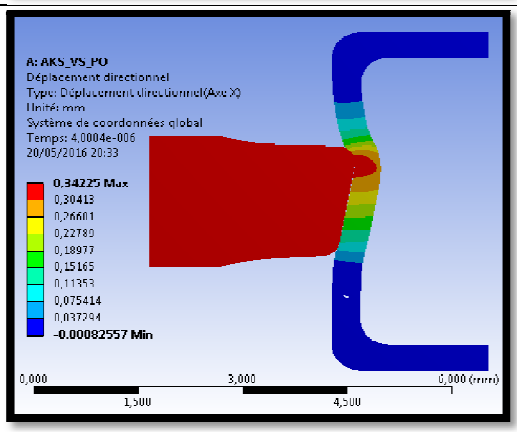
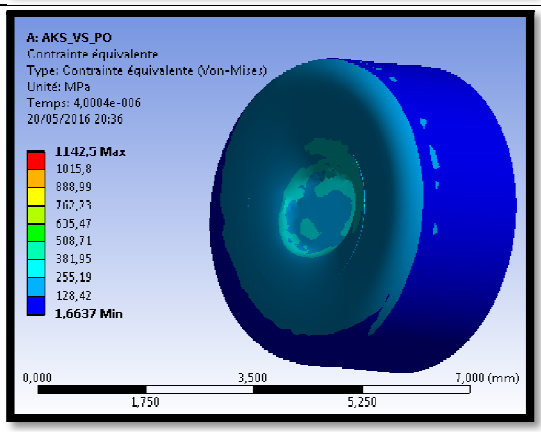
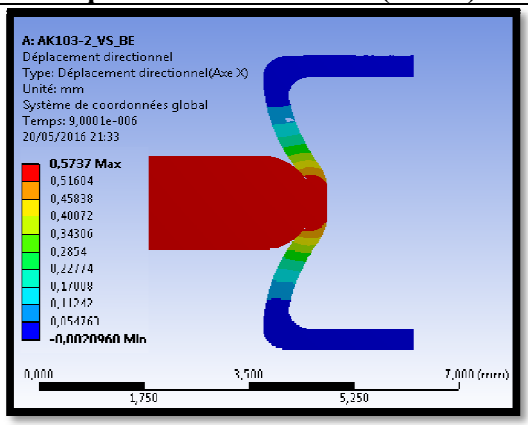
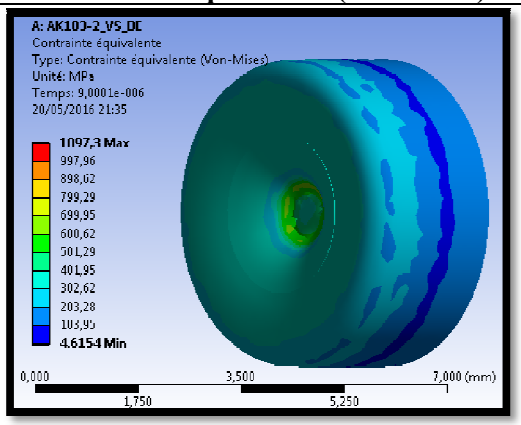
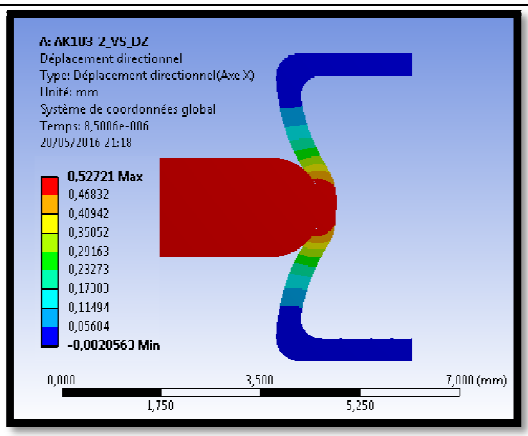
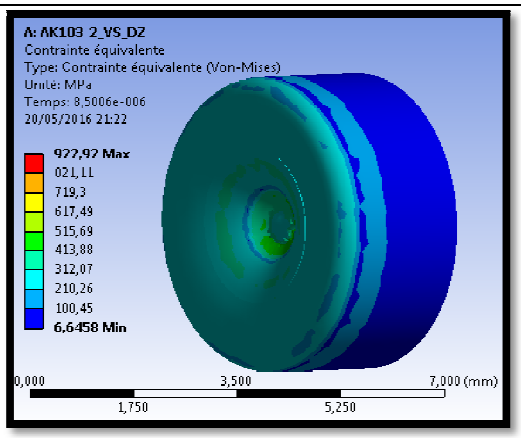
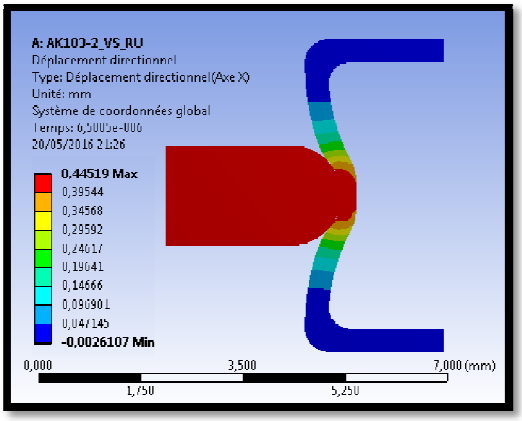
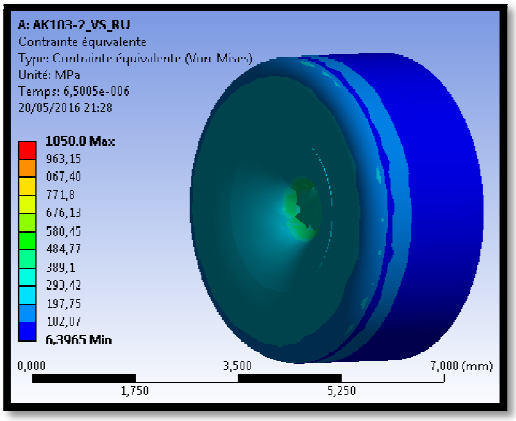
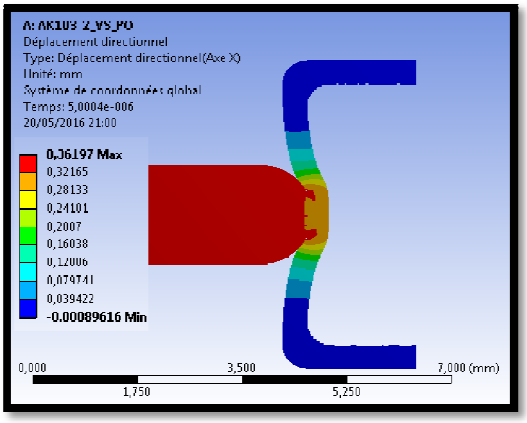
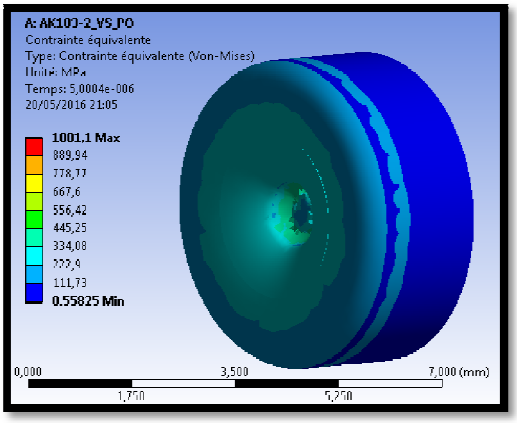


Figure 67: Dimensions des extrémités du percuteur de l'AK47

IV.3.2.3 Résultats de la simulation

Amorces par fabricant	Tableau 21 : Simulation des empreintes de percussion de l'AK47	
	Déplacement directionnel (Axe X)	Contrainte équivalente (Von Mises)
Belgique (BE)		
Algérie (DZ)		
Russie (RU)		
Pologne (PO)		

Amorces par fabricant	Tableau 22 : Simulation des empreintes de percussion de l'AKS	
	Déplacement directionnel (Axe X)	Contrainte équivalente (Von Mises)
Belgique (BE)		
Algérie (DZ)		
Russie (RU)		
Pologne (PO)		

Amorces par fabricant	Tableau 23 Simulation des empreintes de percussion de l'AK103-2	
	Déplacement directionnel (Axe X)	Contrainte équivalente (Von Mises)
Belgique (BE)		
Algérie (DZ)		
Russie (RU)		
Pologne (PO)		

Commentaires :

1. Les résultats expérimentaux donnant la profondeur de l'empreinte de percussion sur l'amorce confirment le modèle rhéologique utilisé pour la simulation, comme le montrent les données des tableaux suivants :

Tableau 24 : PROFONDEUR D'EMPREINTE NUMERIQUE			
Amorce	**AK-47**	**AK 103.2**	**AKS**
DZ	**0.735**	**0.555**	**0.556**
BE	**0.773**	**0.574**	**0.684**
PO	**0.441**	**0.342**	**0.342**
RU	**0.566**	**0.428**	**0.427**

Tableau 25 : PROFONDEUR D'EMPREINTE EXPERIMENTALE			
Amorce	**AK-47**	**AK 103.2**	**AKS**
DZ	**0.690**	**0.519**	**0.562**
BE	**0.777**	**0.569**	**0.702**
PO	**0.413**	**0.347**	**0.331**
RU	**0.573**	**0.426**	**0.417**

2. Pour le même type de percuteur, la profondeur de l'empreinte de l'amorce est d'autant plus faible que le matériau de cette dernière est plus résistant (la profondeur de l'empreinte diminue lorsque la dureté du laiton augmente)

3. Les contraintes équivalentes de Von-Mises sont, dans tous les cas, inférieures aux valeurs admissibles du matériau.

4. Les déformations plastiques équivalentes maximales obtenues sur les différentes nuances d'amorces restent en dessous des valeurs expérimentales à la rupture de la plupart des laitons utilisés (60 %).

IV.4 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons pu simuler sous ANSYS le processus de percussion des trois armes à feu en mode coup par coup, et par conséquent nous avons obtenu des mesures de profondeurs très proches des mesures expérimentales ce qui confirme davantage le modèle rhéologique utilisé pour la simulation.

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Le processus d'identification d'une arme à feu peut être défini comme la séquence d'étapes nécessaires pour mettre en relation un élément de munition, tel qu'un projectile ou une douille, à l'arme qui l'a tiré, sur la base des traces transmises par l'arme à la cartouche. Ces traces sont uniques pour chaque arme et ne peuvent jamais être produites par une autre, elles sont appelées les caractéristiques individuelles ou l'empreinte balistique de l'arme.

Depuis plusieurs années, les experts en identification d'armes à feu ont pour rôle d'évaluer les similitudes et les différences entre ces traces afin de pouvoir se prononcer sur une éventuelle source commune entre deux éléments de munition. Toutefois, ce processus d'identification ne possède actuellement pas de lignes directrices universelles et transparentes. Il en résulte que les conclusions formulées dans ce domaine sont majoritairement basées sur l'expérience et parfois considérées donc comme purement subjectives. Le manque d'objectivité liée à l'interprétation des résultats s'attaque directement aux fondements régissant le domaine de l'identification.

Ce travail de recherche s'inscrit donc dans une optique visant à faire montrer d'une part l'effet, des percuteurs à tête hémisphérique issus d'armes à feu automatiques de type « kalachnikov »sur des amorces à percussion centrale d'une munition de calibre 7.62x39 mm, et d'autre part, l'importance des dimensions de l'empreinte de percussion dans le processus d'identification par microscopie optique.

En effet, à travers notre étude expérimentale nous avons pu mettre en évidence les conclusions suivantes :

1. L'empreinte de percussion dépend de plusieurs facteurs fondamentaux liés d'une part à l'arme et d'autre part aux amorces
2. L'exploitation des données relatives aux mesures des diamètres et des profondeurs de percussion en mode rafale nous a permis de modéliser les équations des courbes de tendances linéaires qui les représentent sous forme d'un modèle linéaire simple énoncé comme suit : $\mathbf{Y=\alpha X+\beta b+R,}$ tel que : $\boldsymbol{\alpha}$ et $\boldsymbol{\beta}$ des coefficients de **X** et **b**, **R** est une constante lié à chaque modèle d'arme, **X** est un numéro séquentiel qui représente l'ordre du tir d'essai. Le profit majeur qu'on peut tirer du modèle linéaire qu'on a pu mettre en évidence, c'est d'avoir une idée sur l'ordre séquentiel du tir ainsi que sur le modèle de l'arme et cela à partir des dimensions de l'empreinte de percussion.
3. Les résultats de nos essais ont élucidé l'existence d'une relation pertinente entre la profondeur de percussion et les traces balistiques qui peuvent exister sur le contour

de la tête du percuteur. Effectivement, nous avons pu conclure qu'il y'a une relation transitive entre la profondeur et les traces balistiques des empreintes de percussion, cette relation peut être décrite comme suit : « ***à chaque fois que la profondeur de percussion augmente, la probabilité d'apparition des traces balistiques qui peuvent exister sur le contour de la tête du percuteur augmente* ».** Il y'a lieu de préciser que les traces balistiques précédemment citée, sont des traces individuelles qui caractérisent l'arme à feu et auxquelles l'expert en balistique se réfère lors des comparaisons macroscopiques afin de confirmer ou infirmer les ressemblances qui peuvent exister entre les douilles et pouvoir faire le lien avec les armes qui les ont tirés.

4. Les résultats expérimentaux donnant la profondeur de l'empreinte de l'amorce confirment le modèle rhéologique utilisé pour la simulation sous ANSYS.
5. Pour le même type de percuteur, la profondeur de l'empreinte de l'amorce est d'autant plus faible que le matériau de cette dernière est plus résistant (La profondeur de l'empreinte diminue lorsque la dureté du laiton augmente)
6. Les contraintes équivalentes de Von-Mises sont, dans tous les cas, inférieurs aux valeurs admissibles du matériau.
7. Les déformations plastiques équivalentes maximales obtenues sur les différentes nuances d'amorces restent en dessous des valeurs expérimentales à la rupture de la plupart des laitons utilisés (60 %).

Enfin et pour conclure, il est recommandé ce qui suit :

- **Dans le laboratoire :** lors des expertises balistiques, il est fortement recommandé de réaliser des tirs d'essais en mode rafale avec les armes suspectes en utilisant le même type de munition récolté sur les scènes de crime, et cela afin de prendre en considération les dimensions (diamètre et profondeur) de l'empreinte de percussion qui ont une relation étroite avec les traces individuelles de l'arme, et dont la meilleure exploitation permettra certainement d'éviter le cas d'un faux négatif.
- Élargir la présente étude pour d'autres types d'armes, qui s'achemineront vers le laboratoire balistique pour expertise, et cela afin de modéliser le processus de tir en mode rafale.
- Il est fortement recommandé de réaliser un dispositif d'essai, servant à la mesure des vitesses et des forces de percussion des armes à feu avec exactitude, dans le but d'effectuer des simulations plus proches de la réalité, pour pouvoir déduire les modèles rhéologiques et les lois de comportement pour chaque type d'amorce.

- Étudier d'une manière approfondie les phénomènes qui se passent lors du tir en mode rafale, tels : l'effet des gaz, la vitesse et la force de percussion, la chaleur inhérente à la combustion...etc., afin de pouvoir réaliser des simulations du processus de percussion représentant réellement ce qui se passe en se mode de tir.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] P.MARGOT, « Un changement de nom dans la continuité », Revue internationale de criminologie et de police technique et scientifique, 52(1), 6 – 8, (1999).

[2] F. RIVA, « Étude sur la valeur indicielle des traces présentes sur les douilles », Thesis, University of Lausanne, 2011.

[3] AFTE, «Criteria for Identification Committee». Theory of Identification, Range of Striae Comparison Reports and Modified Glossary Definitions – an AFTE Criteria for Identification Committee Report. AFTE Journal, 24(2), 336 – 340, 1992.

[4] http://la-police-scientifique.webnode.fr/la-balistique (site web consulté le 15 Mars 2016)

[5] https://fr.wikipedia.org/wiki (site web consulté le 15 Mars 2016)

[6] A A. BIASOTTI, J .MURDOCK, "Criteria for Identification or State of the Art of Firearm and Toolmark Identification". AFTE Journal, 16(4), 16 – 24, 1984.

[7] J S. WALLACE, "Chemical Analysis of Firearms, Ammunition and Gunshot Residue". international Forensic Science and Investigation series. CRC Press, Boca Raton, 2008 : 35 – 40.

[8] J S. HATCHER, F J .JURY, J. WELLER. "Firearms Investigation, Identification and Evidence". Third Edition, Stackpole Book, Harrisburg, Pennsylvania, 1977.

[9] P. LABBETT. « Encyclopédie Mondiale des Munitions Modernes". Pygmalion, Paris, 1982.

[10] M. BONFANTI, J .DE KINDER. « The Influence of the Use of Firearms on their Characteristic Marks". AFTE Journal, 31(3), 318 – 323, 1999

[11] C K. TAM. "Overview of Manufacturing Marks on Center Fire Cartridges". AFTE Journal,33(2), 112 – 115, 2001.

[12] L F. YBORRA, J R. MCCLARY. "Toolmarks on Remington 9mm Luger Caliber Ammunition". AFTE Journal, 36(4) 308 – 310, 2004

[13] B J. HEARD. "Handbook of Firearms and Ballistics : Examining and Interpreting Forensic Evidence". Second Edition, John Wiley & Sons, Singapore, 2008.

[14] R. SERINO. "Balistica e Ricarica. Teoria e pratica del caricamento". Editoriale Olimpia, Firenze, 2001.

[15] L C. HAAG. "Shooting Incident Reconstruction". Academic Press, New York, 2005

[16] M. LIN, C. CHUN. "A Correlative Demonstration of Various Tool-marks of 9 mm Autoloading Pistols on the Spent Cartridge Cases Based upon the Formulation Mechanism". Forensic Science Journal, n°3, 13 – 22, 2004.

[17] V.J-M. DI MAIO.. "Blessures par Armes à Feu – Aspects Pratiques des Armes à Feu, de la Balistique et des Techniques Médico-légales ». Masson, Paris, 1991.

[18] J E. DAVIS. "An Introduction to Toolmarks, Firearms and the Striagraph". Charles C. Thomas, Springfield, Illinois, 1958.

[19] T .FORMAGGIO. « Contribution a l'Identification des Armes a Feu par l'Examen des Douilles ». Revue internationale de criminologie et de police technique, 3(4), 276 – 291, 1949.

[20] G .BURRARD. "The Identification of Firearms and Forensic Ballistic". Herbert Jenkins, London, 1951.

[21] A. GALLUSSER, M. BONFANTI, F .SCHUTZ. « Expertise des Armes à Feu et des Éléments de Munition dans l'Investigation Criminelle ». Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne, 2002.

[22] J. KREISER. "Primer " Flowback " Is Not Always Due To High Pressure". AFTE Journal, 27(1), 1 – 4,1995.

[23] F A. TULLENERS. "Technical Evaluation: Feasibility of a Ballistics Imaging Database for all New Handgun Sales", Report No. AB1717. Sacramento, CA: California Department of Justice,2001.

[24] National Research Council (NRC) – Committee on Identifying the Needs of the Forensic Sciences Community. "Strengthening Forensic Science in the United States: A

Path Forward". National Academies Press, Washington DC, 2009.

[25] S.DEGALLAIX, « caractérisation expérimentale des matériaux : Propriétés Physiques et mécaniques », 177-178, 2007

[26] http://www.magmaweld.com (consulté le 25 avril 2016)

[27] D. OTTELLO, « métaux & alliages », technologie des métaux et alliages particulièrement en aéronautique, 5,1960.

[28] http://www.euralliage.com/cuzn30.html (consulté le 25 avril 2016)

[29] S.BENSAADA, « traitements thermiques, classification et désignation des aciers et fontes », cours université de Biskra**, p 22-77.**

[30] P. MILLET, "Support de Cours, Diagrammes de Phases", Société Francophone de Biomatériaux Dentaires, 2009-2010.

[31] W.H.COOK, R.J.GORDON, "A constituve model and data for metals subjected to large strains, high strain rates and high temperatures", Engine Air force, Florida, USA.