République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Dr Yahia Farés de Médéa

Faculté de la Technologie

Département du Génie Mécanique

Filière Génie Mécanique



MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Pour l'obtention du diplôme de Master en Génie-Mécanique

Option Energétique Et Thermique Des Systèmes

THÈME

Contribution à l'identification des armes à feu par l'exploitation des traces laissées sur les douilles

Proposé et dirigé par :

- **Dr. AMOURA Nasreddine;**
- **Mr. DJADJAA Hassen.**

Présenté par :

- **Mr. BOUGUERRA Sid Ali.**

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Pour l'obtention du diplôme de Master en Génie-Mécanique

option Energétique Et Thermique Des Systèmes

THÈME

Contribution à l'identification des armes à feu par l'exploitation des traces laissées sur les douilles

Proposé et dirigé par :

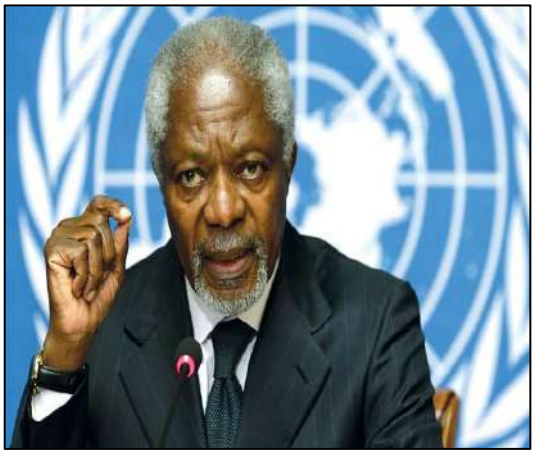
- **Dr. AMOURA Nasreddine;**
- **Mr. DJADJAA Hassen.**

Présenté par :

Mr.BOUGUERRA Sid Ali.

Année universitaire 2016-2017

"The death toll from small arms dwarfs that of all other weapons systems – and in most years greatly exceeds the toll of the atomic bombs that devastated Hiroshima and Nagasaki. In terms of the carnage they cause, small arms, indeed, could well be described as 'weapons of mass destruction'".



UN Secretary General Kofi Annan



إهداء

بسم الله الرحمن الرحيم

"علّمك ما لم تعلم و كان فضل الله عليك عظيما" 113"النساء"

الحمد لله أولا، الذي وفقنا في إنجاز و إتمام هذا المشروع

نتقدم بالشكر الجزيل و العرفان إلى كل من قدم لنا يد المساعدة

اهدي هذا العمل المتواضع إلى أعز الناس على قلبي

أمي الغالية و أبي العزيز

إلى زوجتي و ابني ،إلى إخوتي و أخواتي، إلى كل الأصدقاء

و الزملاء.

إلى كل من يحمل الجزائر في القلب

اسما و أرضا و شعبا

سعيد علي

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 au docteur **AMOURA Nasreddine** de l’université de Médéa et à Monsieur **DJADJAA Hassene** de l’Institut National de Criminalistique et Criminologie d’Alger, pour leur encadrement, leurs conseils, leur patience, leur grande disponibilité, leurs connaissances et leurs expériences qu'ils m'ont fait partager.

Un grand merci également à Mr **MECHTI Ahmed**, Mr **BOUGUERRA Elouenas**, pour tous les conseils précieux et tout le temps consacré à nous aider.

Mes chaleureux remerciements vont aux membres du jury, qui ont accepté d’honorer notre soutenance par leur présence, et pour avoir accepté d’évaluer ce modeste travail.

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

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

Résumé

Le présent travail a pour objet de proposer un outil d'aide au profil des enquêteurs en matière d'identification et de traçage d'armes à feu, grâce à un nouveau protocole de marquage et d'enregistrement, basé sur la gravure d'un identifient unique sur les parois internes de la chambre à cartouches. Une étude de faisabilité a été réalisée, par une modélisation de l'ensemble douille-chambre et une simulation numérique par éléments finis sous le logiciel **ANSYS,** visualisant la clarté et la précision du transfert des traces, ainsi que l'implémentation d'une application réseau, d'administration d'une base de données, pour le contrôle de la mobilité des armes à feu et la lutte contre le trafic illicite et la criminalité par armes à feu.

Mots clés

Douille, chambre, identification des armes à feu, code à barres, DPM.

Abstract

The aim of this work is to propose a tool to assist investigators in the identification and tracking of firearms through a new marking and registration protocol based on the engraving of a unique identifier on the inner walls of the chamber. A feasibility study was carried out by modeling the cartridge case-chamber assembly and the achievement of finites elements numerical simulation under **ANSYS** software, showing the clarity and precision of the trace transfer, as well as Implementing a network application administering a database, controlling the mobility of firearms and combating illicit trafficking and firearms crime.

Keywords

Cartridge case, chamber, firearms identification, barcode, DPM.

ملخص

المشروع المنجز يقترح أداة لمساعدة المحققين في التعرف و تتبع الأسلحة النارية، وذلك بفضل بروتوكول وسم وتسجيل، مبني على نقش رمز وحيد على السطح الداخلي لبيت النار. في هذا السياق تم اجراء دراسة جدوى من خلال تصميم نموذج للظرف و بيت النار و اجراء محاكاة بواسطة برنامج **ANSYS**، تعرض وضوح و دقة انتقال الآثار، كما تم أيضا انجاز تطبيقة شبكة لإدارة قاعدة بيانات لغرض التحكم الامثل في حركة الأسلحة النارية ومكافحة الاتجار غير المشروع والجرائم المرتبطة بها.

كلمات مفتاحية:

الظرف، بيت النار، التعرف على الأسلحة النارية، الرمز الشريطي، الوسم.

SOMMAIRE

LISTE DES TABLEAUX....8
LISTE DES FIGURES....9
LISTE DES ABREVIATIONS ET SYMBOLES....13
INTRODUCTION GENERALE....15
Chapitre I: INTRODUCTION A L'IDENTIFICATION DES ARMES A FEU....16
I.1 Introduction....16
I.2 Les armes à feu....16
I.3 Les munitions....18
I.4 Les différents types de balistique....22
I.5 L'identification d'arme à feu....22
I.6 Les rapprochements judiciaires....27
Chapitre II: METHODE D'IDENTIFICATION PROPOSEE....28
II.1 Introduction:....28
II.2 Code à barres....28
II.3 Marquage direct des pièces « Direct Parts Marking (DPM) »....29
II.4 Lectures DPM....32
II.5 Choix de l'identifient....33
II.6 Unicité du marquage....34
II.7 Consistance du marquage....34
Chapitre III: SIMULATION NUMERIQUE DU TRANSFERT DE MARQUAGE....36
III.1 Introduction....36
III.2 Présentation du logiciel de simulation....36
III.3 Simulation thermomécanique....37
III.4 Simulation dynamique explicite par la loi de Johnson Cook....58
III.5 Conclusion....61
Chapitre IV: APPLICATION DE GESTION....63
IV.1 Introduction....63
IV.2 Conception de l'application....63
IV.3 Outils et langages utilisés....67
IV.4 Environnement matériel....68
IV.5 Présentation de l'application....69
IV.6 Conclusion....85
CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES....86
Bibliographie....87
ANNEXE....90

ANNEXE A : Mise en plan.....91
ANNEXE B : Techniques de marquage.....92

LISTE DES TABLEAUX

Tableau II-1 Comparaison des méthodes de marquage courantes 32
Tableau III-1 Les paramètres de la loi d'Hollomon pour les trois (03) matériaux constituant la douille et l'amorce [**27**]..... 51
Tableau III-2 Représentation graphique de la loi d'Hollomon pour les trois (03) matériaux constituant la douille et l'amorce..... 52
Tableau V-1 Spécifications techniques de l'ordinateur de travail..... 68

LISTE DES FIGURES

Figure I-1 Canon rayé. 16
Figure I-2 Canon lisse. 16
Figure I-3 Pistolet semi-automatique. 17
Figure I-4 Fusil de chasse. 17
Figure I-5 Fusil d'assaut de marque Kalachnikov. 17
Figure I-6 Cartouche à balles, **A:** Les composants d'une cartouche à balle, **B:** Les composantes d'une douille, **C:** Les différentes formes de la balle à plomb. 18
Figure I-7 Déférentes formes de percussion, **A :** percussion annulaire, **B :** percussion centrale 19
Figure I-8 Coupe d'une amorce BOXER (à gauche) et d'une amorce BERDAN (à droite). 19
Figure I-9 Les différentes formes des culots, **A :** À Culot Renforcé, **B :** À Bourrelet Réduit, ... 20
Figure I-10 De gauche à droite : 22 courts, 22 long, 22 long Rifle et 22 Magnum. 21
Figure I-11 Coupe d'une cartouche de chasse à percussion centrale pour arme d'épaule à canon lisse (5). 21
Figure I-12 Différents calibres de cartouches de fusils de chasse [**5**]. 22
Figure I-13 Tunnel de tir mobile [**39**]. 23
Figure I-14 Macroscope comparateur [**39**]. 23
Figure I-15 La mise en rotation d'une balle dans un canon rayé. 24
Figure I-16 Trace des rayures sur une balle blindée [**39**]. 24
Figure I-17 Des traces gravées sur ue douille d'une arme semi-automatique, **A :** Trace du percuteur et de la tranche de culasse, **B :** Trace de l'éjecteur, **C :** Trace de l'extracteur [**39**]. 25
Figure I-18 Comparaison microscopique entre un projectile litigieux (partie droite de la figure) et un projectile de référence (partie gauche de la figure) [**39**]. 25
Figure I-19 Comparaison positive entre les traces gravées sur la douille d'une arme semi-automatique, **A :** Trace de la culasse, **B :** Trace de l'éjecteur, **C :** Trace du percuteur, **D :** Trace de l'extracteur [**39**]. 26
Figure II-1 Images du microstamping d'un percuture (image de droite) et sur l'amorce d'une cartouche (image de gauche) après environ 2500 coups de feu (Circa 1998) [**37**]. 28
Figure II-2 Représentation du code alphanumérique (AEAL2004azS0012548796aqp) selon différentes symbologies du code à barres. **A:** Code linéaire 128, **B:** DataMatrix carrée, ... 29
Figure II-3 Exemples de marquage direct sur divers instruments chirurgicaux [**11**]. 29
Figure II-4 Gravure d'un code alphanumérique sur les parois internes de la chambre à cartouches. .. 30
Figure II-5 Gravure d'un code à barres linéaire sur les parois internes de la chambre à cartouches. .. 30
Figure II-6 Gravure d'un code à barres bidimensionnel sur les parois internes de la chambre à cartouches. 30
Figure II-7 Gravure au Laser [**11**]. 31

Figure II-8 Gravure par micro percussion [**11**]..... 31
Figure II-9 Lectures de code à barres [**12**]..... 33
Figure III-1 Modèle géométrique..... 37
Figure III-2 Douille sectionnée selon un plan longitudinal..... 37
Figure III-3 Schéma du système thermo mécanique adopté..... 38
Figure III-4 Chambre à cartouches..... 38
Figure III-5 La culasse..... 38
Figure III-6 L'amorce..... 39
Figure III-7 Décomposition de la douille..... 39
Figure III-8 Partie inférieure de la douille..... 39
Figure III-9 Partie médiane de la douille..... 40
Figure III-10 Partie supérieure de la douille..... 40
Figure III-11 Maillage appliqué au modèle..... 41
Figure III-12 Maillage de la culasse..... 42
Figure III-13 Maillage de l'amorce..... 42
Figure III-14 Maillage de la douille..... 42
Figure III-15 Maillage de la partie supérieure..... 43
Figure III-16 Maillage de la partie médiane..... 43
Figure III-17 Maillage de la partie inférieure..... 43
Figure III-18 Maillage de l'enclume et des évents..... 43
Figure III-19 Maillage de la partie à graver..... 44
Figure III-20 Raffinement du Maillage au niveau de la partie gravée sur la chambre..... 44
Figure III-21 Raffinement du Maillage au niveau de la partie à graver sur la douille..... 44
Figure III-22 Maillage du corps de la chambre..... 45
Figure III-23 Maillage de la partie gravée sur la chambre..... 45
Figure III-24 Schéma illustrant les différents transferts de chaleur mis en jeu..... 46
Figure III-25 Flux de chaleur appliqué à la surface interne de la douille..... 48
Figure III-26 Distribution de la température à la surface interne de la douille..... 49
Figure III-27 Variation de la température à la surface interne de la douille..... 49
Figure III-28 Comportement élasto-plastique d'un matériau ductile..... 50
Figure III-29 Durcissement isotrope de la surface limite..... 50
Figure III-30 Surface limite dans l'espace de la contrainte principale..... 50
Figure III-31 Fonction P (t) utilisée dans l'étude LS-DYNA d'Al Harral [**24**]..... 53
Figure III-32 Fonction P (t) dressée et utilisée pour le présent travail..... 53
Figure III-33 Pression appliqué à la surface interne de la douille..... 53
Figure III-34 Les surfaces appliquées comme support fixe au modèle..... 54
Figure III-35 Distribution de la température sur la douille..... 54

Figure III-36 Distribution des déplacements thermiques. 55
Figure III-37 Déformations plastiques résultants des contraintes thermiques. 55
Figure III-38 Distribution des contraintes thermiques équivalentes. 56
Figure III-39 Distribution des déplacements totaux. 57
Figure III-40 Distribution des déformations plastiques. 57
Figure III-41 Distribution des contraintes équivalentes. 58
Figure III-42 Schéma du système dynamique explicite adopté 59
Figure III-43 Distribution des déplacements totaux. 60
Figure III-44 Distribution des déformations plastiques. 60
Figure III-45 Distribution des contraintes équivalentes. 61
Figure V-1 Schéma général de l'application 66
Figure V-2 Fenêtre de recherche d'arme à feu 69
Figure V-3 Fenêtre de la liste des armes à feu 70
Figure V-4 Fenêtre de saisie des armes à feu 70
Figure V-5 Fenêtre des paramètres par défaut du code à barres 70
Figure V-6 Fenêtre de saisie des propriétaires d'arme à feu 71
Figure V-7 Fenêtre de liste des propriétaires 71
Figure V-8 Fenêtre de codification des pays 72
Figure V-9 Fenêtre de codification des fabricants d'arme à feu 72
Figure V-10 Fenêtre de codification des calibres d'armes à feu 73
Figure V-11 Fenêtre de codification des marques et modèles d'arme à feu 73
Figure V-12 Fenêtre des statistiques globales 74
Figure V-13 Fenêtre d'ajout d'un nouvel utilisateur de l'application 74
Figure V-14 Fenêtre de liste des utilisateurs 75
Figure V-15 Fenêtre d'envois de messages 75
Figure V-16 Fenêtre des messages reçus 76
Figure V-17 Fenêtre d'accueil d'utilisateur de type agent de saisie 76
Figure V-18 Fenêtre d'accueil d'utilisateur de type enquêteur 76
Figure V-19 Message d'erreur 403 77
Figure V-20 Message d'erreur 404 77
Figure V-21 Message d'erreur 500 78
Figure V-22 Schéma des deux scénarios adoptés pour illustré les états de sorite de l'application 79
Figure V-23 Code à barres de l'arme de crime du premier scénario 80
Figure V-24 Recherche d'un code dans l'application (Scénario 01) 80
Figure V-25 Résultats de recherche dans l'application (Scénario 01) 80
Figure V-26 Rapport d'identification fournit à l'enquêteur (Scénario 01) 81
Figure V-27 Code à barres de l'arme de crime du deuxième scénario 81

Figure V-28 Visualisation de l'arme volée sur une session de type agent de saisie 81
Figure V-29 Fenêtre de mise à jour pour les armes volées 82
Figure V-30 Résultats de recherche dans l'application (Scénario 02) 82
Figure V-31 Rapport d'identification fournit à l'enquêteur (Scénario 02) 82
Figure V-32 Fenêtre de mise à jour pour les crimes par armes à feu 83
Figure V-33 Rapport de rapprochement balistique générer après récupération de l'arme (Scénario 02) 83
Figure V-34 Fenêtre de mise à jour pour les armes récupérées 84
Figure V-35 Fenêtre de mise à jour pour les armes objets de destruction 84
Figure V-36 Rapport de rapprochement balistique final fournit à l'enquêteur (Scénario 02) 85

LISTE DES ABREVIATIONS ET SYMBOLES

Lettres majuscules

E Module de young.

H_∞ Energie par unité de section délivrée à la douille par la combustion de la poudre

H_T Energie dissipée sous forme de chaleur à travers l'arme

P_{max} Pression maximale générée par les gaz de combustion

Re Limite élastique.

R_p Résistance mécanique.

S_D Section de la douille + Section de l'amorce

S_T Section totale de dissipation de température

K Consistance du matériau

Lettres minuscules

m_r Masse du projectile

$q_{cond\ D}$ Flux de chaleur diffusé à travers le matériau de la douille

q_{in} Flux de chaleur en provenance de la combustion de la poudre vers la surface de la douille

t_0 Constante de temps. Mesure la vitesse à laquelle la température de la douille varie en fonction de la variation du flux de chaleur.

v_m Vitesse du projectile à la sortie du canon

n Exposant d'écrouissage isotrope

Lettres grecques

ε_{th} Déformation thermique

α_1 Coefficient de dilatation thermique de la douille

α_2 Coefficient de dilatation thermique de la chambre

ΔT Variation de la température

ν Coefficient de poisson.

σ_{th} Contrainte thermique

ϕ Diamètre du projectile

Abréviations

AFTE	Association of Firearm and Tool mark Examiners.
CIP	Commission Internationale Permanente Pour L'épreuve Des Armes A Feu Portatives.
CMS	Consecutive Matching Striation.
CSS	Cascading Style Sheets
DPM	Direct Parts Marking
EDI	Environnement de développement intégrer
EDX	Energy Dispersive X-Ray
HTML	Hypertext Markup Language
IBIS	Integrated Ballistic Identification Systèm.
INCC/GN	Institut National de Criminalistique et de Criminologie de la Gendarmerie Nationale
ISACS	International small arms control standard
JEE	Java Enterprise Edition
JSP	Java Server Pages
MC	Macroscope de comparaison
MEB	Microscope Electronique à Balayage
MVC	Model View Controller (Modèle Vue Contrôleur)
NAS	National Academy of sciences of the United States of America.
PCAST	President's Council of Advisors on Science and Technology of the United States of America.
PDF	Portable Document Format
SQL	Structured Query Language
WAMP	Windows Apache MySQL PHP
XML	Extensible Markup Language

INTRODUCTION GENERALE

D'après les statistiques faites par l'Interpol, chaque année, des armes à feu sont employées dans plus de **245 000** meurtres dans le monde entier (pays en guerre non compris). Cependant, il ne s'agit là que d'une petite partie des infractions commises avec des armes à feu, que les malfaiteurs utilisent également pour menacer et perpétrer leurs actes criminels [**1**].

Face à cette menace, le traçage, l'identification des armes à feu et l'échange de données à travers les réseaux d'information balistique sont des outils permettant de contribuer à la résolution des enquêtes sur le trafic et l'utilisation des armes à feu à des fins criminelles.

Néanmoins, depuis l'introduction du critère d'admissibilité da la preuve scientifique aux États-Unis en **1993** « appelée **Règle Daubert**», - et surtout à partir des années **2000** jusqu'à nos jours,- il y a eu de nombreuses contestations juridiques, et critiques scientifiques, à l'ensemble des sciences criminalistiques se basant sur les impressions. L'identification des armes à feu fait partie de ces disciplines à cause de la nature subjective qui entache l'interprétation de la comparaison entre les éléments de munition prélevées des différentes scènes de crimes. À titre d'exemple et en **2009**, le **NAS** a déclaré que " L'examinateur fait une décision subjective fondée sur des normes non exprimées et sans base statistique pour l'estimation des taux d'erreur" [**2**], et le **PCAST** en **2016** à constater que "l'analyse des armes à feu est actuellement en dessous des critères de validité fondamentale" [**3**].

Ceci a conduit à des efforts accrus pour établir des techniques d'identification objectives, sous forme de travaux de recherche. Parmi ces travaux le *« microstamping »* des percuteurs et des tranches des culasses. Ce processus implique de placer des identifiants alphanumériques uniques sur les surfaces des percuteurs, qui se transfèrent à l'amorce de la douille à chaque tir.

Dans ce contexte le présent travail a pour objet de proposer un outil d'aide au profil des enquêteurs en matière d'identification et de traçage d'armes à feu, par le biais d'un nouveau protocole de marquage et d'enregistrement, basé sur la gravure d'un identifient unique sur les parois internes de la chambre à cartouches. Une étude de faisabilité a été réalisée, par une modélisation de l'ensemble douille-chambre et une simulation numérique par éléments finis sous le logiciel **ANSYS** visualisant la clarté, la précision du transfert des traces, ainsi que l'implémentation d'une application réseau, d'administration d'une base de données, pour le contrôle de la mobilité des armes à feu et la lutte contre le trafic illicite et la criminalité par armes à feu.

CHAPITRE I: INTRODUCTION A L'IDENTIFICATION DES ARMES A FEU

I.1 Introduction

Dans ce chapitre les différentes définitions et notions de base sur la discipline d'identification des armes à feu seront présentées. Le passage de cette passerelle est vraiment important car avant de proposer une nouvelle approche d'identification, il faudra tout d'abord passer par l'éclaircissement de l'état de l'art des méthodes d'identification, en usage dans les différents laboratoires de criminalistique.

Ce chapitre commence par donner des définitions sur les armes à feu, les munitions et les éléments des munitions seront donnés. La deuxième partie est consacrée au domaine d'identification des armes à feu en matière de : traces exploités, méthodes de comparaison et approches existantes. Une dernière partie va abordée la balistique intérieure mise en jeu, et la méthode utilisée actuellement pour l'obtention des rapprochements balistiques entre les affaires criminelles impliquant les mêmes armes à feu.

I.2 Les armes à feu

Une arme à feu est un ensemble constitué d'un canon et d'un mécanisme ; à partir duquel un projectile est propulsé par des produits de combustion [**4**].

I.2.1 Classification des armes à feu

Il existe plusieurs critères utilisés dans la classification des armes à feu. Mais, les plus reconnus sont ceux basés sur la nature de la surface interne du canon et la forme de l'arme.

I.2.1.1 Selon la surface intérieure du canon

On distingue deux familles d'armes à feu, les armes à canon rayé (Figure **I-1**) et les armes à canon lisse (Figure **I-2**):

a. Les armes à canon rayé

- Pistolet ;
- Revolver ;
- Carabine ;
- Fusil automatique ;
- Fusil semi-automatique.

b. Les armes à canon lisse

- Fusils de chasse à un coup;
- Fusils de chasse semi-automatique;
- Fusils à pompe.



Figure I-1 Canon rayé.



Figure I-2 Canon lisse.

I.2.1.2 Selon leurs formes

Les armes à feu peuvent être classées en deux(02) catégories principales :

a. Les armes de poing

Elles s'utilisent d'une seule main et sont destinées au tir rapproché, et elles comprennent trois sortes d'armes ; les revolvers, les pistolets à un coup et les pistolets à répétition automatique (Figure **I-3**). Ces armes se différencient tant par leur forme que par leur mécanisme [**5**].

.



Figure I-3 Pistolet semi-automatique.

b. Les armes d'épaule

Ce sont des armes longues (plus de 80 cm) qui se tiennent à deux mains et qui, en général, prennent appui sur l'épaule au moment de l'utilisation [**5**].

Les armes d'épaule comprennent les fusils de chasse (Figure **I-4**), les fusils à pompe, les fusils d'assaut (Figure **I-5**), carabines et les drillings.

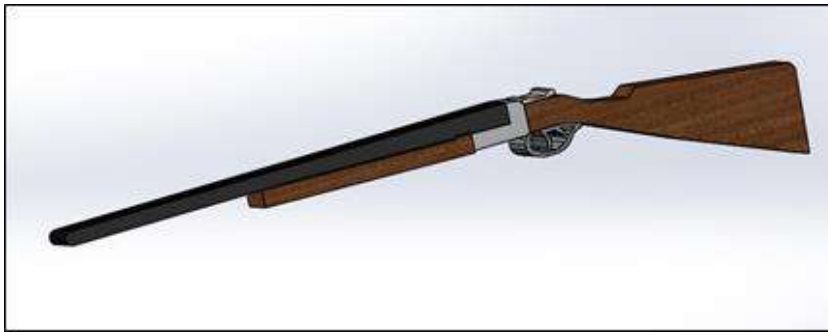


Figure I-4 Fusil de chasse.



Figure I-5 Fusil d'assaut de marque Kalachnikov.

I.3 Les munitions

Cartouches constituées d'une douille amorcée, d'un propulseur et d'un ou plusieurs projectiles [**4**].

I.3.1 Classification des munitions

Il est possible de classer les munitions pour armes à feu en trois grandes catégories selon la nature du (ou des) projectile à savoir : les cartouches à balles, les cartouches à plombs, les cartouches spéciales (à blanc, de signalisation, etc.).

I.3.1.1 Les cartouches à balles

Elles sont formées d'une douille, d'une poudre, d'une capsule amorçage et d'un projectile (balle) (Figure **I-6**).

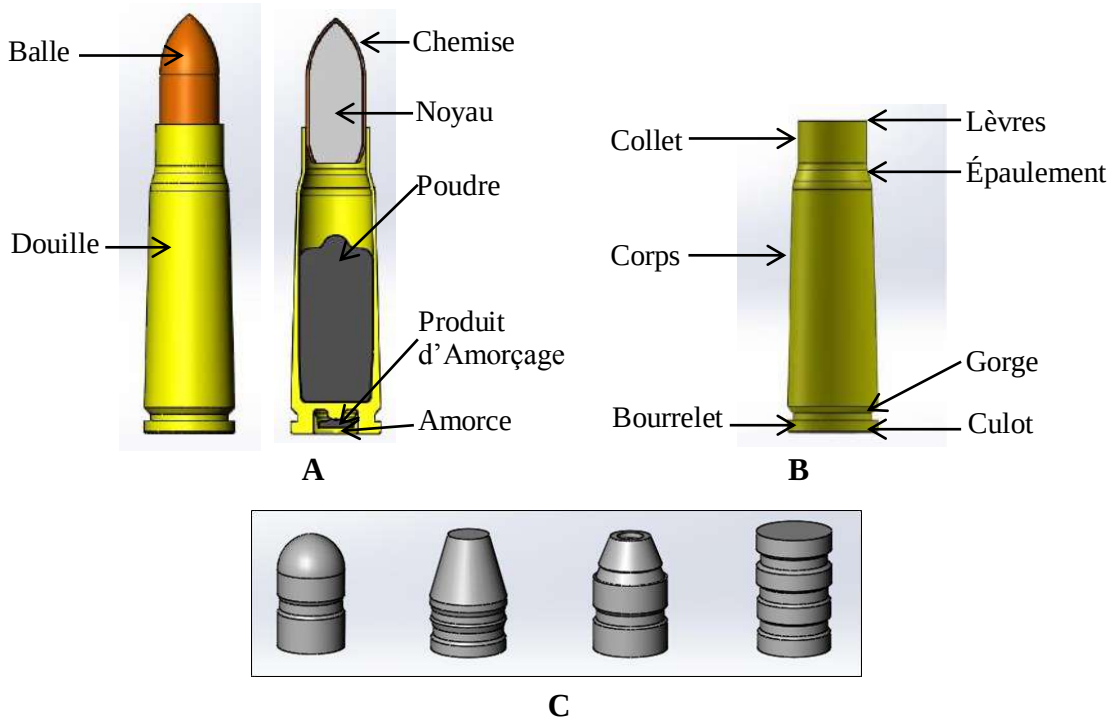


Figure I-6 Cartouche à balles, **A:** Les composants d'une cartouche à balle, **B:** Les composantes d'une douille, **C:** Les différentes formes de la balle à plomb.

Le projectile

Un objet propulsé par la force des gaz d'autres moyens [**4**]. Il est souvent en plomb, rendu plus dur par l'adjonction d'antimoine et de baryum, et qui peut se présenter sous des formes variées (Figure **I-6**).

Certains projectiles sont nus et d'autres sont recouverts (chemisés) d'une fine gaine en métal plus dur que le plomb, tel que le laiton, le maillechort…etc. D'autres encore ne sont pas chemisées dans leur partie supérieure (semi blindées) [**5**].

La douille

Récipient contenant la poudre (Figure **I-6**) et le dispositif d'allumage. Souvent en laiton, parfois en aluminium, et acier recouvert de cuivre ou tombac par électrodéposition (pays de l'Est spécialement) [**5**].

Capsule d'amorçage

La douille est munie d'une amorce qui s'explose instantanément sous l'impact du percuteur permettant ainsi à la charge de poudre de s'enflammer. Cette amorce contient des sels minéraux (nitrate de baryum, oxyde plomb, sulfure d'antimoine…etc.) [**5**].

Il existe deux systèmes principaux d'amorçage (Figure **I-7**) à savoir :

- Les cartouches à percussion annulaire, où la composition d'amorçage se trouve contenue dans le bourrelet de la cartouche
- Les cartouches à percussion centrale contiennent une capsule d'amorçage au centre du culot. Ce genre de capsule se trouve aussi en deux types qui sont Berdan et Boxer (Figure **I-8**).



A **B**

Figure I-7 Déférentes formes de percussion, **A :** percussion annulaire, **B :** percussion centrale

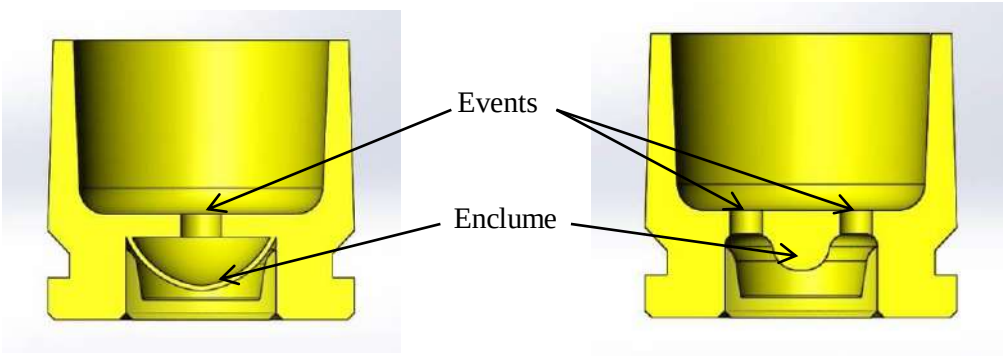


Figure I-8 Coupe d'une amorce BOXER (à gauche) et d'une amorce BERDAN (à droite).

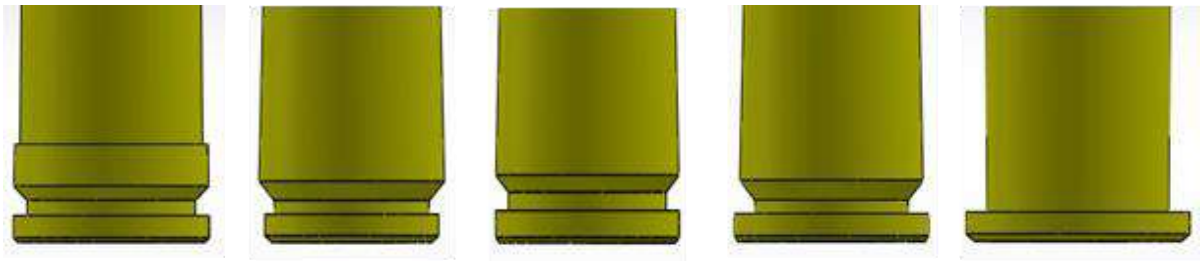
La poudre (La charge propulsive)

La charge de propulsion des cartouches modernes est la poudre pyroxylée (ou poudre sans fumée inventée par Vieille, en 1880). Elle est constituée par de la nitrocellulose pure (poudre simple base AO, A1, AS) ou mélangée à de la nitroglycérine (poudre double base). A laquelle s'ajouter des stabilisants (diphénylamine, ….) et des plastifiants [**5**].

Les armes anciennes et certaines armes de collection utilisent de la poudre noire (75% de nitrate de potassium, 15% de charbon, 10% de soufre) dont la combustion est moindre et qui encrasse le canon [**5**].

Culot

Il y a cinq formes principales des culots de douilles (Figure **I-9**) : à culot renforcé, à bourrelet réduit, à gorge, à demi – bourrelet et à bourrelet.



A **B** **C** **D** **E**

Figure I-9 Les différentes formes des culots, **A :** À Culot Renforcé, **B :** À Bourrelet Réduit, **C :** À Gorge, **D :** À Demi – Bourrelet, **E :** À Bourrelet.

Les calibres

Le calibre est en principe le diamètre du projectile ou celui du canon ; on parle dans ce cas de calibre réel. Il peut également s'agir de l'appellation de sa cartouche ; on parle alors de calibre nominal. Celui-ci ne correspond pas nécessairement de façon exacte au diamètre réel de la balle. Ainsi, le calibre nominal 7,65 Browning possède un calibre réel allant de 7,70 mm à 7,95 mm [**5**].

Les modèles européens sont caractérisés par deux chiffres séparés par le signe « x », le premier est relatif au diamètre (en millimètres) de la balle et le second à la longueur (en millimètres aussi) de la douille. Par exemple : 7x64 indique que la carabine tire des munitions dont la balle fait 7 mm de diamètre et la douille 64 mm de long. D'autres calibre sont suivis de la lettre « R » signalant ainsi que le culot présente un léger bourrelet (par exemple 7x65 R ou 9,3x72R) [**5**].

Les modèles américains ou anglo-saxons sont, quant à eux, généralement caractérisés par une mesure en centième de pouce (1 pouce = 2,54 cm) par exemple 9mm correspond au calibre .38 et 7,62 mm correspond au calibre .30 [**5**].

Un calibre réel peut comprendre plusieurs calibres (Figure **I-10**). Un exemple, le .38 (ou 9 mm), qui regroupe entre autres les calibres suivants .38 Spécial, 357 Magnum, 9 mm court, 9 mm Makarov et 9 mm Para. Aussi, une même cartouche peut avoir des appellations différentes en Europe et aux Etats-Unis: la 7,65 Parabellum est appelée .30 luger aux USA, tandis que la7.65 browning est appelée .32 ACP, la 9 Para est appelée 9 Luger aux Etats-Unis [**5**].

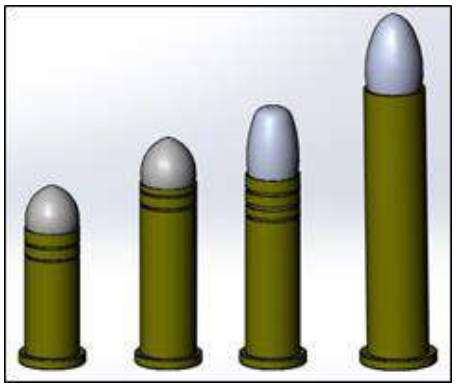


Figure I-10 De gauche à droite : 22 courts, 22 long, 22 long Rifle et 22 Magnum.

I.3.1.2 Les cartouches à plombs

Elles sont réservées aux fusils à canon lisse. La douille des cartouches de chasse sont constituée dans la majorité des cas d'un culot(en laiton ou en fer galvanisé en laiton) court ou long, alors que le reste de la douille peut être en carton, en plastique (Figure **I-11**) ou en métal. Elle contient en outre une capsule d'amorçage, de la poudre (simple ou double base), d'une ou plusieurs bourres, d'un dispositif d'étanchéité des gaz et des billes (généralement en plomb) qui sont parfois remplacées par un projectile unique [**5**].

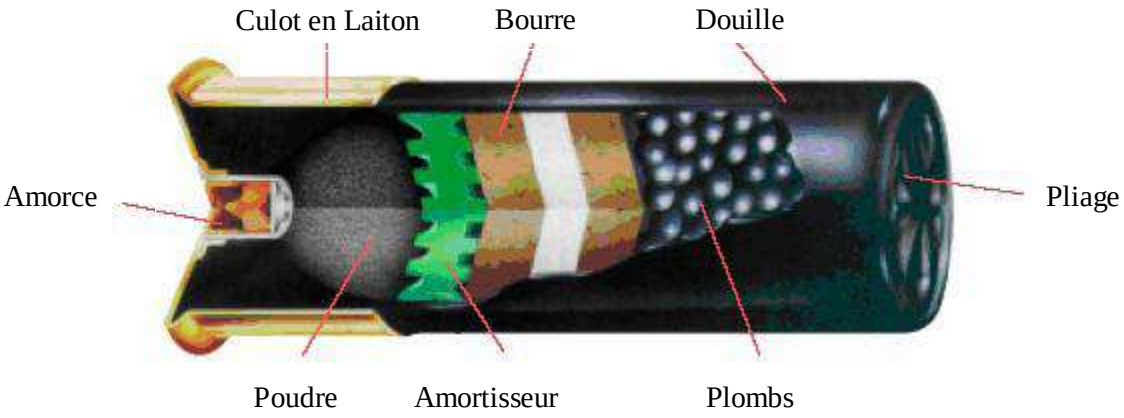


Figure I-11 Coupe d'une cartouche de chasse à percussion centrale pour arme d'épaule à canon lisse (5).

Les calibres des cartouches de chasse

Ce sont des numéros qui correspondent au nombre de balles rondes, d'un diamètre identique à celui du tube, que l'on peut obtenir avec une livre ancienne (489.2g) de plomb. Ainsi, les calibres des canons les plus courants sont de 12, 16 ou 20 selon que l'on aurait pu fabriquer 12, 16 ou 20 balles rondes de même diamètre que chacun de ces canons respectifs avec une livre de plomb [**5**].



Figure I-12 Différents calibres de cartouches de fusils de chasse [**5**].

I.3.1.3 Les cartouches spéciales

Ce sont les cartouches à blanc, à gaz lacrymogène ainsi que les fusées utilisables dans les revolvers et les pistolets d'alarme.

I.4 Les différents types de balistique

Le domaine de la balistique est subdivisé en quatre catégories, la balistique intérieure, la balistique intermédiaire, la balistique extérieure et la balistique terminale (ou lésionnelle). La première catégorie concerne les phénomènes se déroulant à l'intérieur de l'arme, au moment du départ du coup de feu jusqu'à la bouche du canon; la seconde s'intéresse au comportement du projectile à la bouche du canon ; et la troisième touche au comportement des corps lancés dans l'espace et la dernière a trait aux effets du projectile sur la ou les cible (s).

I.4.1 La balistique interne ou intérieure

Traite de la température, du volume et de la pression des gaz résultant de la combustion de la charge propulsive à l'intérieur de la cartouche, de la chambre et du canon.

Elle étudie également l'effet produit par l'expansion de ces gaz pendant la propulsion du projectile et l'effet sur le recul de l'arme et des pièces mécaniques. Elle s'intéresse également au parcours du projectile à l'intérieur du canon, à son accélération et à son éventuelle rotation (canon rayé).

Les éléments pris en compte par la balistique interne sont, pour les plus importants : la dose et le type (taille, forme et densité des grains) de poudre contenue dans la cartouche, la pression créée par la combustion de la poudre, le poids du projectile, la longueur du canon et ses rayures.

I.5 L'identification d'arme à feu

L'identification d'une arme nécessite d'abord un tir de comparaison effectué avec ladite arme et des munitions identiques ou similaires à celles trouvées sur la scène de crime. Ce tir peut se faire dans l'eau, dans une solution visqueuse ou dans du coton (Figure **I-13**), tout dépend de son calibre.





Figure I-13 Tunnel de tir mobile [**39**].

Selon la littérature, et vue les processus aléatoires de fabrication et d'usure qui mène à l'état de surface finale des différentes parties d'une arme à feu, cette dernière est unique à l'échelle microscopique.

Au cours du tir, la balle est la douille se trouvent en contact avec différentes parties de l'arme et vont recevoir ainsi des marques consécutive à des chocs et des frottements. Ces marques lissées par l'arme sur la balle et la douille sont uniques pour chaque arme et ne peuvent jamais être produites par une autre arme, même pour deux armes, fabriqué l'une après l'autre avec les mêmes machines. Ces traces sont l'empreinte de l'arme, elles sont appelées les caractéristiques individuelles.

Par la comparaison entre les caractéristiques individuelles lissées par des différentes armes sur les balles et douilles, l'expert est capable d'identifier n'importe quelle arme. Cette comparaison ne se fait qu'avec un appareil spécial appelé macroscope comparateur (Figure **I-14**).



Figure I-14 Macroscope comparateur [**39**].

I.5.1 Les caractéristiques servant au processus d'identification d'une arme

L'**AFTE** à définit les caractéristiques servant au processus d'identification d'une arme à feu en trois (03) catégories [**6**] comme suite :

I.5.1.1 Les caractéristiques de classe

Caractéristiques mesurables dues aux processus de fabrication, et qui indiquent un groupe limitée d'une source [**6**].

I.5.1.2 Les caractéristiques de sous-classe

Caractéristiques de surface produites accidentellement dus à la fabrication. Elles indiquent un sous-ensemble de la classe à laquelle ils appartiennent [**6**].

Elles peuvent être confondues avec les traces individuelles simplement parce qu'elles peuvent sembler être des caractéristiques individuelles [**6**].

I.5.1.3 Les caractéristiques individuelles

Marques produites par des imperfections et des irrégularités aléatoires sur les surfaces d'outils. Elles sont produites d'une façon accidentelle au cours de processus de fabrication aux causées par l'usure, la corrosion ou les dommages. Elles sont uniques à cet outil et permettant de le différencier par rapport aux autres outils [**6**].

I.5.2 Les différentes traces laissées sur une balle

Lors du tir, la balle (dont le diamètre est légèrement supérieur à celui du canon) est poussée en force et à chaud ; elle se déforme superficiellement au contact des rayures du canon (Figure **I-15**) qui creusent des gouttières parallèles et obliques sur son pourtour.

Après la sortie de la balle du canon on va trouver deux sortes de marques, susceptible d'être exploitable, sur la balle, ce sont : les Traces des champs et les traces des rayures (Figure **I-16**).

N.B On ne peut pas trouver de telles traces pour le cas des armes à canon lisse.

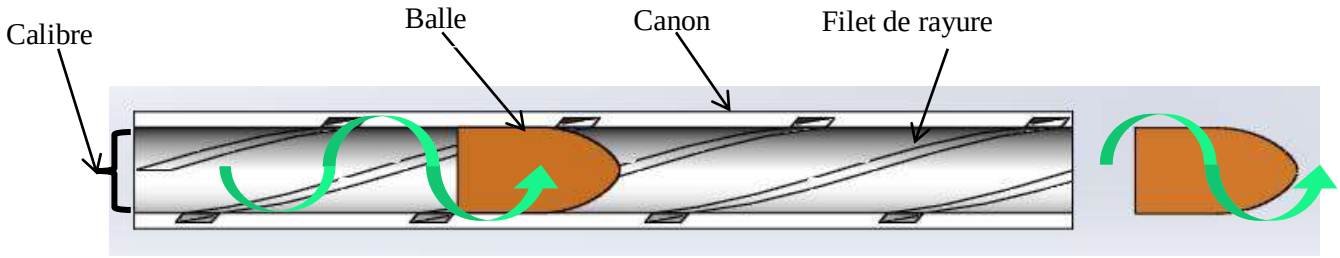


Figure I-15 La mise en rotation d'une balle dans un canon rayé.

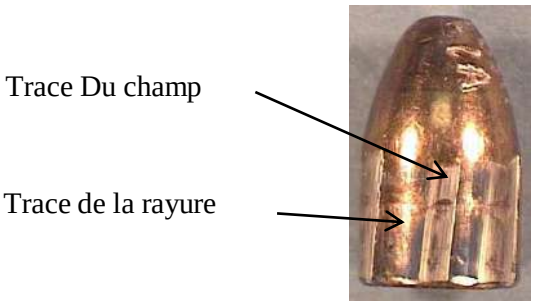
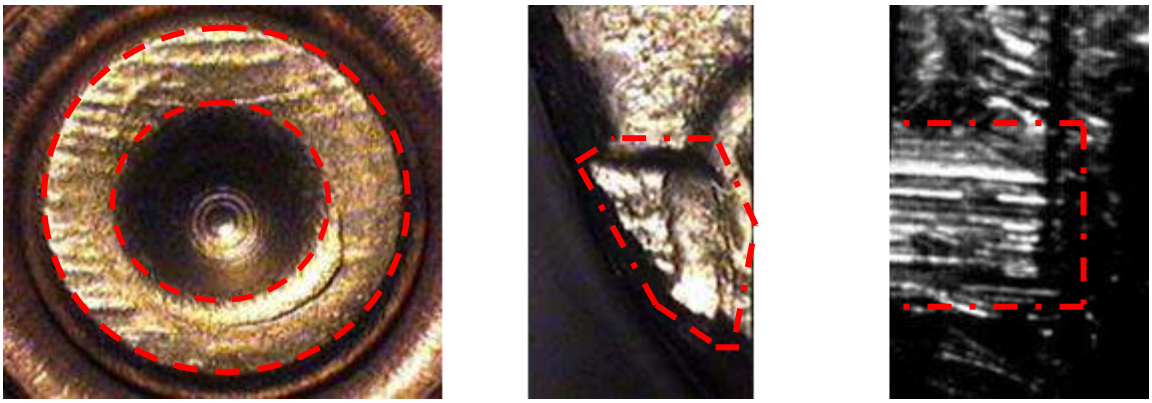


Figure I-16 Trace des rayures sur une balle blindée [**39**].

I.5.3 Les différentes traces laissées sur une douille

Lors du processus de chargement de l'arme et du tir, une série d'opérations successives se produit (introduction du chargeur, introduction de la cartouche dans la chambre à cartouche, percussion de la

capsule d'amorçage, départ du coup, éjection de la douille, introduction d'une nouvelle cartouche, etc.) mettant en contact des parties de l'arme(chargeur, chambre à cartouche, extracteur, éjecteur…etc.) avec la douille et induisant ainsi les traces du percuteur, de tranche de culasse, de l'extracteur et de l'éjecteur (Figure **I-17**),



A **B** **C**

Figure I-17 Des traces gravées sur ue douille d'une arme semi-automatique, **A :** Trace du percuteur et de la tranche de culasse, **B :** Trace de l'éjecteur, **C :** Trace de l'extracteur [**39**].

I.5.4 Comparaison des balles

La comparaison des traces des champs et des rayures présentent sur la balle permet de constater les similitudes. Il s'agit d'obtenir la coïncidence des stries alignées dans une prolongation unique (Figure **I-18**).

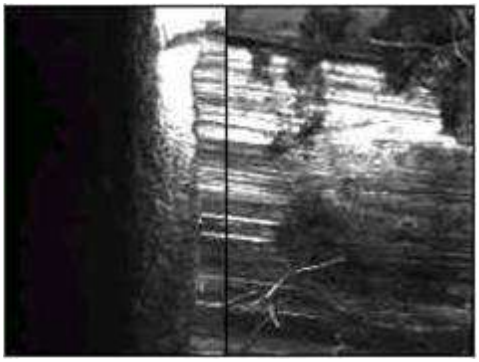
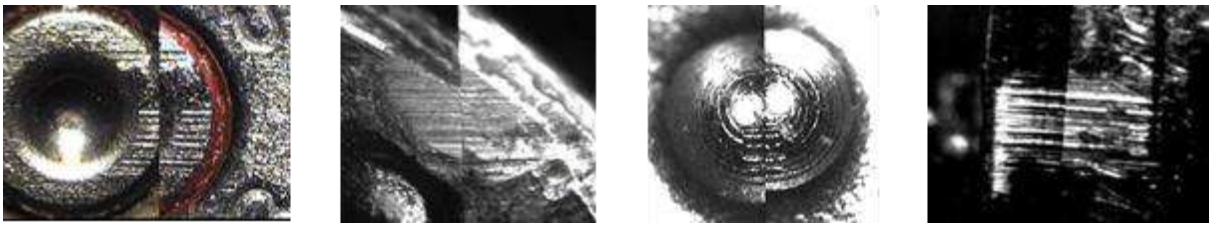


Figure I-18 Comparaison microscopique entre un projectile litigieux (partie droite de la figure) et un projectile de référence (partie gauche de la figure) [**39**].

I.5.5 Comparaison des douilles

Pour les douilles, la comparaison concerne d'abord les traces visibles sur le culot, à savoir les traces de percuteur, d'éjecteur et de la tranche de culasse. Vient ensuite l'examen des micros stries situées dans la gorge (extracteur) (Figure **I-19**).



A **B** **C** **D**

Figure I-19 Comparaison positive entre les traces gravées sur la douille d'une arme semi-automatique, **A :** Trace de la culasse, **B :** Trace de l'éjecteur, **C :** Trace du percuteur, **D :** Trace de l'extracteur [**39**].

I.5.6 Interprétation des résultats

En matière de comparaison d'éléments balistiques, deux écoles prédominent [**7**]. Il s'agit de:

- L'approche traditionnelle (AFTE) ;
- L'approche quantitative (CMS).

I.5.6.1 L'approche traditionnelle (AFTE)

L'**AFTE** à définit quatre échelles de conclusion que l'expert peut reporter après comparaison entre les éléments de munition comme suite [**6**]:

1. **Identification** : Accord d'une combinaison de caractéristiques individuelles et de toutes les caractéristiques de classe, où l'étendue de l'accord dépasse celui qui peut se produire dans la comparaison des marques réalisées par différents outils, et consistent à l'accord démontré par les marques connues pour être produites par le même outil [**6**].
2. **Elimination :** Différence significative entre les caractéristiques de classe et / ou les caractéristiques individuelles [**6**].
3. **Inconclusif** :
   - Un certain accord des caractéristiques individuelles et toutes les caractéristiques de classe, mais insuffisant pour une identification.
   - Accord de toutes les caractéristiques de classe sans accord, ou désaccord des caractéristiques individuelles en raison d'une absence, d'une insuffisance ou d'un manque de reproductibilité.
   - Accord de toutes les caractéristiques de classe et désaccord sur les caractéristiques individuelles, mais insuffisant pour une élimination. [**6**].
4. **Inapproprié :** Les pièces inappropriées pour la comparaison (endommagement par déformation, par corrosion, par fusion du métal…etc) [**6**].

I.5.6.2 L'approche quantitative (CMS)

Biasotti s'associe à **Murdock** afin de développer le concept de **CMS** (*Consecutive Matching Striation en anglais ou Stries concordantes consécutives en français*). Il s'agit d'au minimum deux stries concordantes sans stries discordantes observables entre ces deux [**7**].

Ils proposent que deux projectiles proviennent de la même arme lorsque l'on observe :

- **2 groupes** de **5 CMS** ou **1 groupe** de **8 CMS** dans le cas d'une observation en **2 dimensions.**
- **2 groupes** de **3 CMS** ou **1 groupe** de **6 CMS** dans le cas d'une observation en **3 dimensions** (la profondeur étant la dimension supplémentaire).

I.6 Les rapprochements judiciaires

Par la collection des balles et douilles trouvées dans les différentes scènes de crime, Il devient possible d'établir des liens entre les crimes. Cela par comparaison des douilles et balles récupérées de chaque nouvelle affaire avec les autres affaires criminelles précédentes. Ce travail peut se faire automatiquement par le biais d'un système automatique d'identification des arme à feu suivi d'une confirmation de l'expert par le microscope comparateur [**5**].

CHAPITRE II: METHODE D'IDENTIFICATION PROPOSEE

II.1 Introduction:

Le 13 octobre 2007, le gouverneur de l'état de la Californie aux États-Unis **Arnold Schwarzenegger** a marqué l'histoire en signant une loi, qui donne aux responsables de l'application de la loi dans l'État, de nouveaux outils sans précédent pour résoudre les crimes liés aux armes à feu.

AB-1471, *« Crime Gun Identification Act of 2007 »*, oblige les fabricants d'armes à feu à faire le *« Microstamping »* de tous les nouveaux modèles de pistolets semi-automatiques vendus dans l'État à partir de **2010** [**8**]**.**

Le *microstamping* a été conçu à l'origine dans les années 1994 par **Todd Lizotte** et **Orest Ohar** [**9**], tout en développant des technologies de micro-usinage et de micro-identification pour l'industrie électronique. Après avoir appliqué avec succès la technologie dans l'industrie de l'ordinateur, les deux ont commencé à expérimenter avec des armes à feu et ont découvert qu'ils pouvaient graver jusqu'à 20 caractères sur la pointe du percuteur d'une arme de poing [**8**]. Après avoir examiné sous un microscope une douille percutée par ce dernier, ils ont constaté que la marque était facilement visible sur la douille. Des essais ultérieurs (Figure **II-1**) ont révélé que la marque est restée clairement visible même après des milliers de coups [**8**].

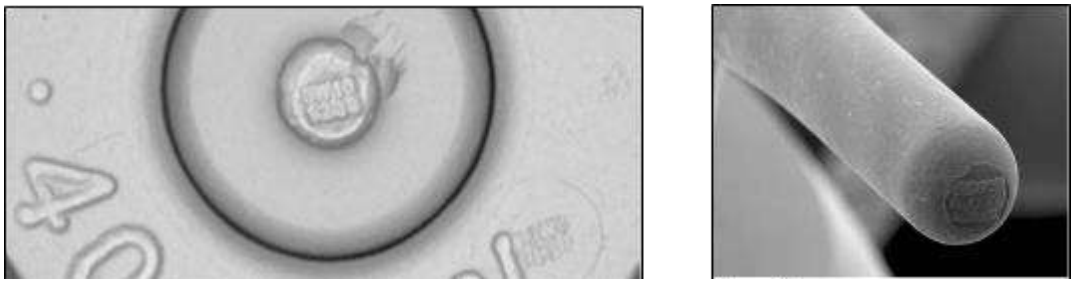


Figure II-1 Images du microstamping d'un percuture (image de droite) et sur l'amorce d'une cartouche (image de gauche) après environ 2500 coups de feu (Circa 1998) [**37**].

Le présent travail propose le marquage d'un identifient unique sous forme d'un code à barres bidimensionnel de type DataMatrix, à l'intérieur de la chambre à cartouche, par le processus de marquage direct des pièces, connue par « *Direct Part Marking* (**DPM**) », afin qu'il soit transféré aux douilles au moment du tir qui permettra une identification de l'arme.

II.2 Code à barres

Un code à barres est un symbole, sous forme de succession de barres claires et foncées d'épaisseurs variables, traduisant une suite de caractères alphanumériques selon un « alphabet » défini et destiné à être interprété automatiquement par un lecteur optique. L'objectif initial de l'utilisation des codes à barres est de réduire le volume du code alphanumérique ainsi que de minimiser les erreurs humaines lors de la saisie des données et d'assurer un traitement efficace des données. En 1981, le département

américain de la défense a adopté des codes à barres appelés code 39 pour les applications logistiques du marquage automatisé marquant tous les produits vendus aux militaires américains [**10**].

Il existe plusieurs types de code à barres : linéaire, à deux dimensions et des codes à barres combinés. La symbologie de codes à barres bidimensionnelles (2D) de type **DataMatrix** a été adopté pour ce travail. Cette symbologie consiste d'un symbole matriciel bidimensionnel composé de modules carrés disposés sous forme d'un carré ou rectangle.

Le symbole **DataMatrix** est le plus utilisé, il a été adopté par l'automobile, l'électronique, la pharmacie, l'aéronautique et divers industries. Il permet le stockage d'une quantité d'information considérable, de 100 fois plus de données, par rapport au code à barres unidimensionnels (1D) (Figure **II-2**). Elles existent sous formes carrées et rectangulaires [**11**].

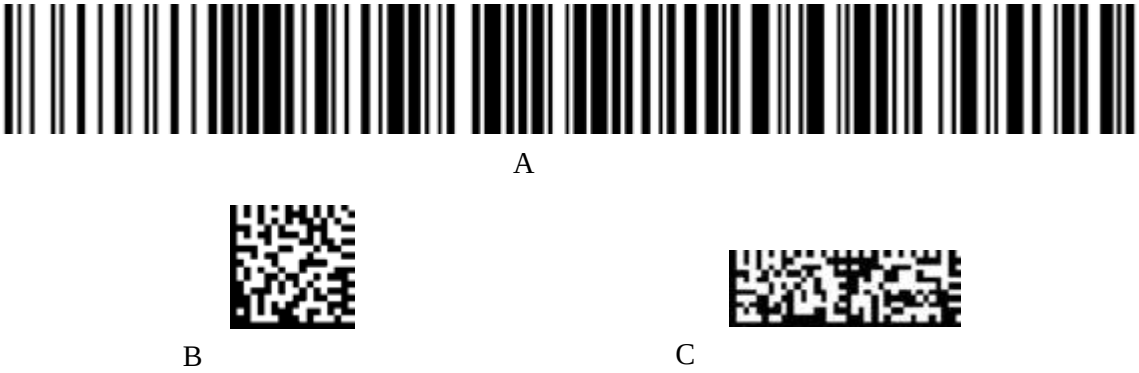


Figure II-2 Représentation du code alphanumérique (AEAL2004azS0012548796aqp) selon différentes symbologies du code à barres. **A:** Code linéaire 128, **B:** DataMatrix carrée, **C:** DataMatrix rectangulaire).

II.3 Marquage direct des pièces « Direct Parts Marking (DPM) »

Le marquage direct des pièces est une technologie par laquelle un objet est généralement modifié physiquement pour produire deux états de surfaces différentes. Cette altération peut être accomplie par divers moyens, dont, la micro percussion, le laser et l'attaque électrochimique. La zone de l'altération est appelée « la marque ». (Figure **II-3**).

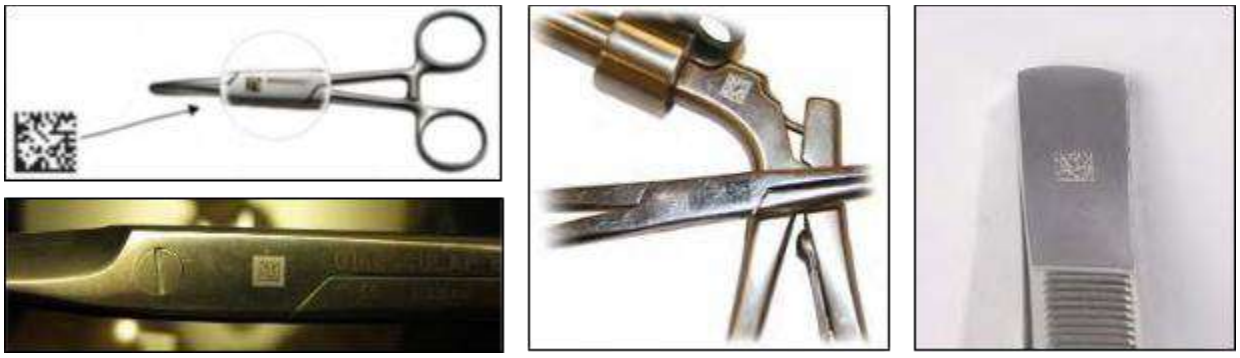


Figure II-3 Exemples de marquage direct sur divers instruments chirurgicaux [**11**].

Le DPM est une méthode idéale pour l'application des Codes à barres 2D, car il permet la création de marques permanentes et assure la traçabilité d'une pièce le long de son cycle de vie. Les techniques

DPM sont préférables lorsque les objets sont séparés de leurs emballages extérieurs. Elles sont également adaptées lorsqu'une pièce est trop petite pour être identifiée par étiquetage. [**11**].

Dans le présent travail le marquage de la chambre a cartouche par DPM peut être achevé par différentes formes de codification : en alphanumérique (Figure **II-4**), en code à barres linéaire (Figure **II-5**), en bidimensionnel (Figure **II-6**) ou autres.



Figure II-4 Gravure d'un code alphanumérique sur les parois internes de la chambre à cartouches.

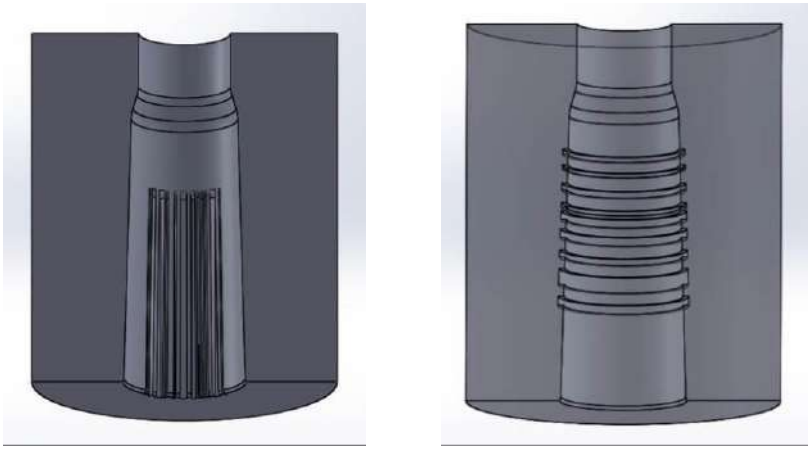


Figure II-5 Gravure d'un code à barres linéaire sur les parois internes de la chambre à cartouches.

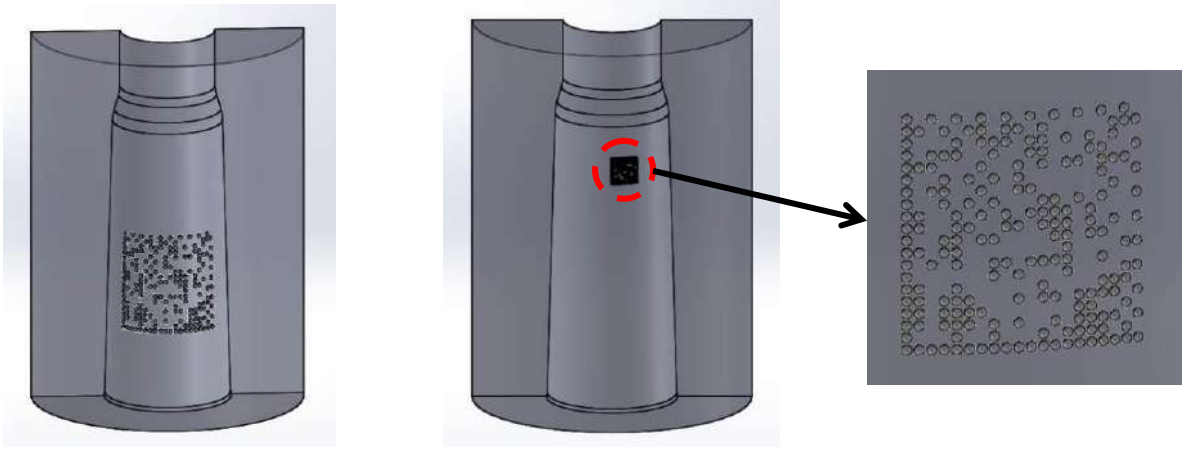


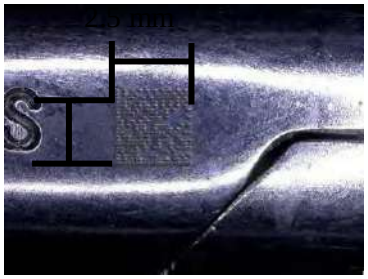
Figure II-6 Gravure d'un code à barres bidimensionnel sur les parois internes de la chambre à cartouches.

II.3.1 Méthodes de marquage direct de pièces

II.3.1.1 Marquage au laser

Par le balayage de la surface d'un objet par un faisceau laser condensé, il est possible de dessiner le contour d'un symbole à deux dimensions.

Le marquage laser produit des marques très précises sur un vaste éventail de supports (Figure **II-7**). A titre d'exemple, il permet la gravure d'un code **DataMatrix** avec une taille de cellule de l'ordre de 25 µm [**12**]. Le marquage laser permet également d'accroître le rendement et l'efficacité dans les environnements de production de masse. Par ailleurs, le non besoin de consommables permet de réduire les frais de fonctionnement et de maintenance.



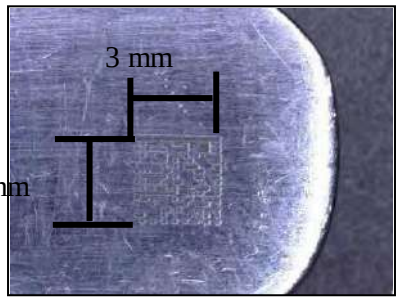
Taille de marquage: 2.5 mm carré
Nombre de chiffres codés: 26
Profondeur de marquage: 20.0 µm

Figure II-7 Gravure au Laser [**11**].

II.3.1.2 Marquage par micropercussion

En marquage par micropercussion, une aiguille de marquage est utilisée pour créer une empreinte pour chaque point du code **DataMatrix**. Le contraste nécessaire pour le lecteur des codes provient de la lumière qui se réfléchit différemment sur les empreintes et le reste de la surface du produit.

La micropercussion nécessite généralement un faible investissement initial et fournie des marques permanentes. Toutefois, l'entretien et le remplacement des aiguilles induisent des frais réguliers en raison de l'usure générée pendant le processus de marquage [**13**] .



Taille de marquage: 3 mm carré
Nombre de chiffres codés: 26
Profondeur de marquage: 29,4 µm

Figure II-8 Gravure par micro percussion [**11**].

II.3.1.3 Marquage électrochimique

La gravure électrochimique élimine des couches de matériau par électrolyse. Ce processus permet de transférer une image d'un stencil sur un produit électro conducteur, sous l'effet du courant électrique. Ce processus présente l'avantage d'être facile à utiliser, peu coûteux et donne une marque de haute

qualité et convient à la fois aux métaux souples et durs. Cependant, cette technologie ne peut être utilisée que pour marquer des matériaux conducteurs. Des moules préformés sont nécessaires pour chaque code, ce qui limite davantage la flexibilité de cette technologie [**13**].

II.3.2 Comparaison des méthodes de marquage courantes

Tableau II-1 Comparaison des méthodes de marquage courantes

	Laser	Micro percussion	Gravure électrochimique
Type de méthode de marquage ***Sans contact*** (l'appareil de marquage ne touche pas la pièce) ***Contact*** (l'appareil de marquage touche la pièce)	Sans contact	Contact	Contact
Flexibilité Impression sur surfaces difficiles, distance entre la pièce et l'appareil de marquage	Haut	Moyen	Bas
Investissement/coût initial	Haut	Bas	Bas
Facilité d'intégration Facilité de communication avec l'automate programmable dans la cellule de production et espace nécessaire pour l'installation et la maintenance	Haut	Moyen	Bas
Résistance à l'abrasion de la marque	Haut	Haut	Haut
Mobilité Facilité de transfert de l'équipement de marquage à un autre endroit de la ligne de production	Bas	Haut	Haut
Contrainte thermique ou chimique	Oui	Non	Oui

II.4 Lectures DPM

Il existe deux principaux types de lectures DPM (Figure **II-9**) : les lectures à rayon laser et les lecteurs par cameras. Les codes à deux dimensions doivent être lus par des lecteurs basées sur l'imagerie [**14**] qui peuvent déchiffrer des codes à barres avec des niveaux de contraste beaucoup plus faibles que les scanners laser.

Ces lecteurs peuvent décoder un code **DataMatrix** de 50 caractères qui n'a que deux ou trois millimètres de largeur et des codes **DataMatrix** gravés aussi petits que 300 micromètres [**15**].
En termes de types de lecteurs il existe des lecteurs fixes, et des lecteurs portatifs.



Figure II-9 Lectures de code à barres [**12**].

II.4.1 Lecteurs fixes

Ce type de lecteur est monté dans une position fixe où la marque peut être placée de manière repérable devant le lecteur en un mouvement continu ou indexé [**16**].

Ils sont utilisés pour identifier les pièces manipulées et déplacées automatiquement par convoyeur, indexeur ou robot. Typiquement, les lignes de fabrication entièrement automatisées telles que celles trouvées dans l'électronique et la fabrication automobile utilisent des lecteurs à montage fixe [**16**].

II.4.2 Lecteurs portatifs

Les lecteurs portatifs sont préférés dans les environnements où la manipulation des pièces n'est pas automatisée ou les pièces varient grandement en taille [**16**]. Ils sont utilisés dans les ateliers de fabrication, les stations de test QC et dans les zones logistiques. Ils sont livrés en deux formes : une attachée (avec un cordon) ou sans fil.

II.5 Choix de l'identifient

La norme internationale de contrôle des armes légères **ISACS** 05.30 V 1.0 (Marquage et Enregistrement) du 27/08/2012 [**17**], est un document qui fournit des orientations sur le marquage et l'enregistrement adéquat des armes légères, leurs pièces, leurs composants et leurs munitions. Un exemple de marquage qui satisfait les clauses de contenu et de forme exprimés dans les aliénas 5.2.1.1.1 et 5.2.1.1.2 de cette norme est donnée dans la page 04 dudit document comme suite :

XX	**XXXX**	**99**	**99**	**99999**	**99**
Pays de Fabrication	Fabricant	Année de fabrication	Marque/modèle	Numéro de série	Calibre

Remarque :

X Signifie un caractère alphanumérique et **9** signifie un chiffre (numérique).

Dans le présent travail des modifications ont été introduites sur cet exemple à travers l'extension du nombre des caractères utilisés dans les codes de l'année de fabrication, marque et

modèle, numéro de série et calibre afin d'augmenter la capacité maximale d'enregistrement et de permettre une codification ultérieure des armes déjà fabriquées et qui dispose d'un numéro de série plus long. Le code est finalement reformulé comme suite :

XX	**XXXX**	**999**	**XXX**	**XXXXXXXXXX**	**XX**
Pays de Fabrication	Fabricant	Année de fabrication	Marque/ Modèle	Numéro de série	Calibre

Le code final, consistant en 24 caractères alphanumériques, est transformé par la suite en code à barres bidimensionnel de type DataMatrix.

II.5.1 Facteurs importants doivent être prise en concédération dans le choix de la méthode de marquage

Le procédé de marquage de la chambre à cartouche d'une arme à feu doit être adapté pour prendre en concédération les points suivants :

- Surface interne conique ou cylindrique, souvent de l'acier ou un alliage au chrome molybdène ;
- Un diamètre de l'ordre de quelque millimètre (5-14.7 mm), et la longueur peut s'étaler le long d'une dizaine de millimètres ;
- Le marquage augmente le coefficient de frottement de la chambre en augmentant sa rugosité, ce qui va générer des charges supplémentaires sur l'extracteur. Cet effet doit être étudié afin de limiter les contraintes sur le mécanisme d'extraction.
- Un risque de création de micro fissures qui peuvent se propager à cause du type de sollicitations (haute pression, haute température, Vibration, mode rafale pour les armes automatique …).

II.6 Unicité du marquage

Le code choisi répond aux clauses, de contenue et de forme, telles qu'exprimées dans la norme internationale de contrôle des armes légères [**17**], avec une combinaison de 24 caractères alphanumériques (48×10^{34} valeurs possible).

L'application implémentée dans le présent travail interdit la duplication du code, dans le cas échéant – deux armes avec le même : fabriquant, pays de fabrication, marque et modèle, année de fabrication, calibre et numéro de série – le code ne peut être indexé que lorsque le numéro de série est modifié.

II.7 Consistance du marquage

La consistance et la répétabilité de la trace sont assurées par les paramètres suivants :

II.7.1 Le code de correction d'erreur Reed-Solomon

Reed Solomon est un système de codage correcteur d'erreurs qui a été conçu pour résoudre le problème de la correction des erreurs multiples — en particulier les erreurs de type éclatement dans les

périphériques de stockage de masse (disques durs, DVD, Mots clés du code à barres), la télévision numérique [3].

Lords du codage du **DataMatrix**, ce système permet de recouvrer le code original même si une portion de la gravure a été altérer cela varier selon la taille du code à barres (de l'ordre de 45 % pour une taille de 20x20).

II.7.2 La gravure

Le marquage par gravure (cavité) est plus robuste et durable que le marquage par dépôt de matière, car l'altération de la gravure n'est pas possible sans l'altération de la zone qui l'entoure.

Trois variantes sont proposées :

- **Une gravure superficielle :** permet un marquage des douilles, illisible et indétectable sauf par l'utilisation d'un scanner de code à barres.
- **Une gravure profonde :** lisible sur la douille, mais l'altération de la chambre par une tierce personne rend l'arme inutilisable, car elle va causer la destruction du canon. À noter que la profondeur limite à ne pas dépasser doit être évaluée pour chaque arme (voir recommandations).
- **Une combinaison entre les deux premières variantes :** qui combine leurs avantages, mais augmente le cout en contrepartie.

D'autres facteurs peuvent influencer la consistance et la répétabilité du transfert du marquage plus consistant à savoir :

- **La surface de la paroi de la chambre**

La paroi de la chambre présente une surface importante (plus de 175 fois la surface du percuteur dans le cas de la kalachnikov), le DataMatrix peut être rectangulaire (et non pas carré) pour profiter du logeur de la douille (plus de 05 fois le diamètre pour le calibre 7.62x39 mm).

- **Le recuit**

La partie supérieure de la douille subit une opération de recuit au cours du processus de fabrication, ce qui diminue la limite élastique et permet par conséquent d'attendre la partie plastique (le marquage) avec une valeur moindre de pression.

- **Le mode du tir en rafale**

Ce mode cause un cumule de chaleur au niveau des parois internes de la chambre ce qui augmente les contraintes thermiques appliquées sur la douille, et augmente par conséquent les déformations « transfert du marquage ».

CHAPITRE III: SIMULATION NUMERIQUE DU TRANSFERT DE MARQUAGE

III.1 Introduction

Dans ce chapitre est présentée, avec détails, les étapes et les résultats de la simulation numérique, relatifs au processus du transfert de marquage de la chambre vers la douille par déformations plastique, sous l'effet de la pression et de la température exercées sur la douille au moment du tir.

Le modèle géométrique comporte une douille, de calibre 7.62x39 mm à l'intérieur d'une chambre, d'un fusil d'assaut de marque Kalachnikov. La chambre présente un marquage par **DPM** d'un code à barres bidimensionnel de type DataMatrix.

Le code proposé dans le chapitre 02 du présent travail et de dimensions 20x20 points avec un module entre (25 et 100 µm) tel qu'utilisée pour le marquage des instruments chirurgicaux. Néanmoins, le temps de simulation nécessaire à la résolution d'un tel problème est très important, au vu des processeurs disponibles, ce qui nous a obligé à faire des simplifications en utilisant un code de dimension 10x10 avec un module de 0.3mm.

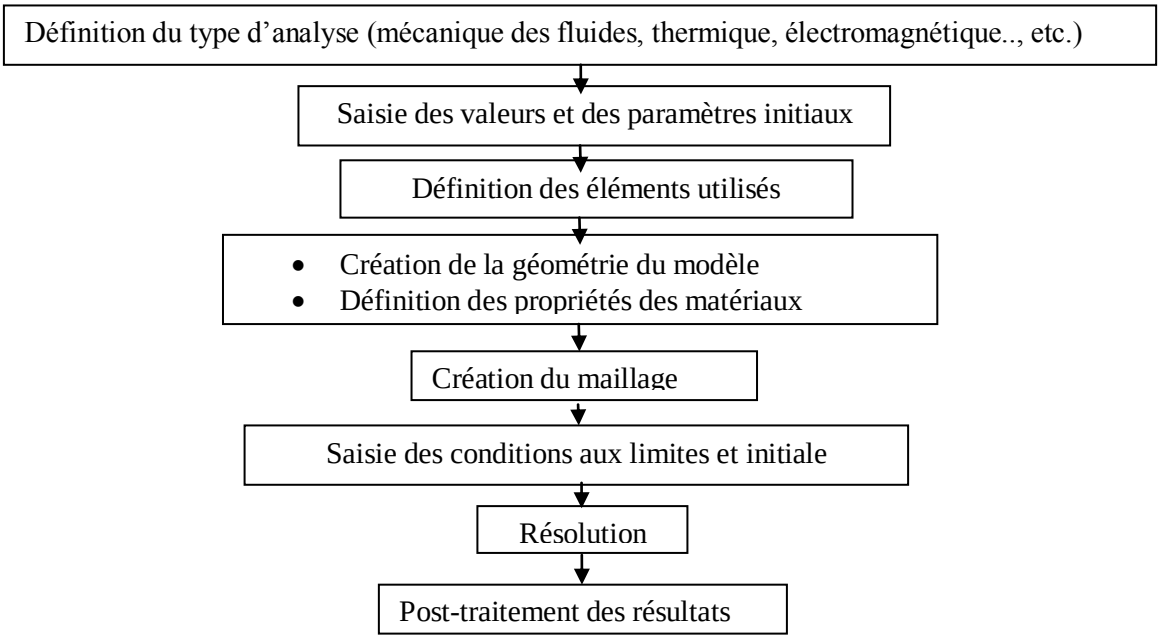
La simulation a été menée suivant deux schémas différents : le premier consiste à coupler une analyse **thermique transitoire** à une autre de type **structural transitoire**, pour calculer les contraintes thermiques résultantes du flux de chaleur induit par la combustion de la poudre, et d'utiliser ces résultats comme chargement initial dans un système **dynamique explicite** pour le calcul des déformations plastiques (marquage). Le deuxième schéma utilise la loi empirique de **Johnson Cook,** dans une analyse **dynamique explicite,** pour le calcul des déformations plastiques. Pour y parvenir, nous avons utilisé le logiciel, de simulation numérique, **ANSYS,** qui est un outil de développement en analyse d'ingénierie utilisant la méthode des éléments finis, et permettant l'analyse d'assemblages complexes, ainsi que la simulation de conditions réalistes.

III.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 [**18**]. Les différents types d'analyses pouvant être traitées sous ANSYS sont :

- Les analyses : statique, modale, harmonique ou transitoire ;
- La gestion des différentes situations non linéaires (contact, plasticité des matériaux) ;
- La simulation de 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, les étapes suivantes doivent être respectées :



Les éléments géométriques nécessaires à la simulation (Figure **III-1**) sont conçus sous SOLIDWORKS 2015 (Modeleur volumique paramétrique de Dassault System).

Afin de déterminer les dimensions géométriques de la douille, nous avons utilisé un scanner haute résolution, pour acquérir la vue en coupe d'une douille sectionnée longitudinalement selon un plan de symétrie (Figure **III-2**). L'image récupérer est mise à l'échelle réelle dans une esquisse. Les jeux, entre la chambre et la culasse d'une part et la douille d'autre part, sont de **0.1524 mm et 0.0508 mm**, respectivement (**Annexe A**)



Figure III-2 Douille sectionnée selon un plan longitudinal

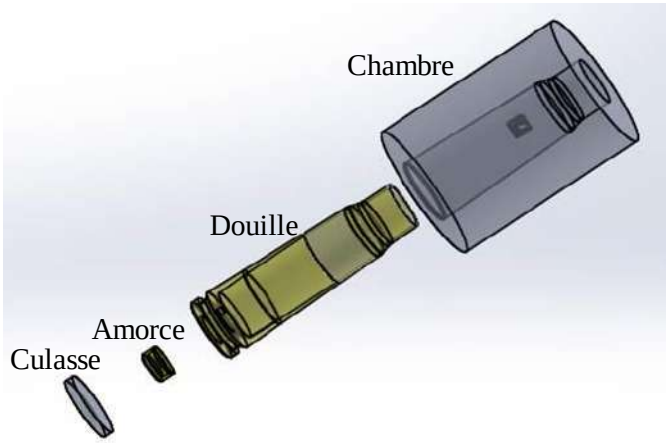


Figure III-1 Modèle géométrique.

III.3 Simulation thermomécanique

Dans un premier cas, une analyse thermomécanique, considérée comme découplée de l'analyse mécanique est utilisée. Un calcul de structure prenant en compte les deux influences (mécanique et thermique) est souvent difficile à réaliser (temps de calcul long, problèmes de convergence). Afin de simplifier le calcul les deux influences (sources de chaleur dues aux déformations mécaniques négligeables devant les sources externes et loi de comportement qui dépend peu de la température) ont

été négligées. La résolution du présent problème dans un cas découplé se fait en trois (03) étapes distinctes (Figure **III-3**) :

- **Analyse thermique transitoire :** Calcul du champ des températures indépendamment des conditions mécaniques.
- **Analyse structurel transitoire :** Évaluation des contraintes thermiques générer par ce champ des températures.
- **Analyse dynamique explicite :** Utilisation de ces contraintes comme un chargement initial qui s'ajoute ou chargements appliqués (pression) pour le calcul des déformations.

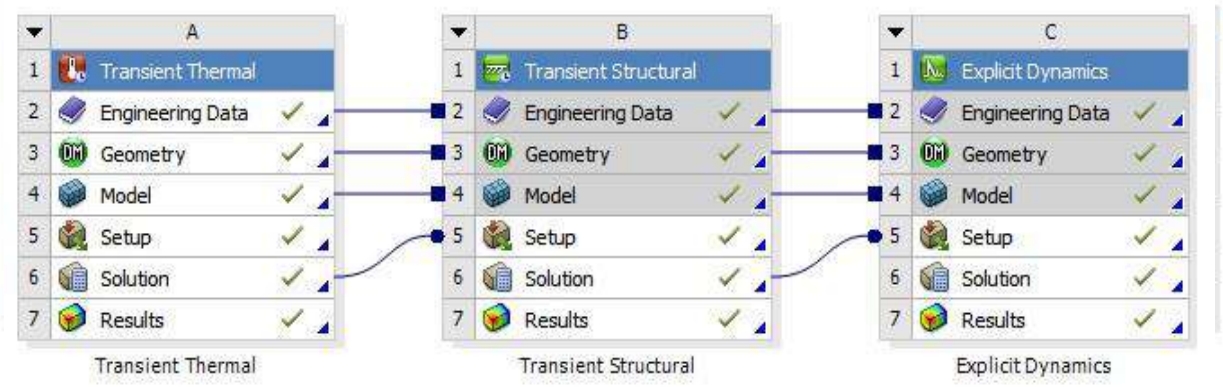


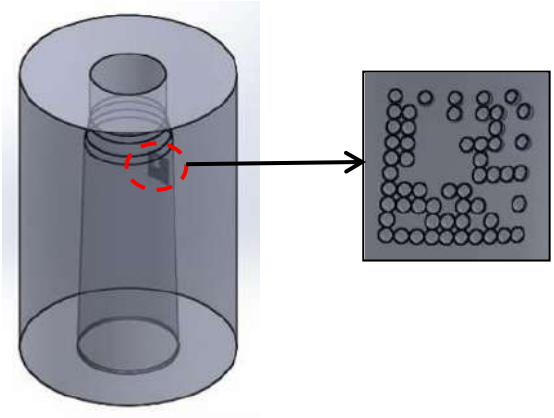
Figure III-3 Schéma du système thermo mécanique adopté.

III.3.1 Choix du matériau

L'assemblage comporte quatre (4) éléments essentiels : la chambre, la douille, l'amorce et la culasse.

La chambre

La chambre est faite d'un seul matériau en l'occurrence l'**acier 4140** (**R_e**= 250 MPa, **R_p**= 460 MPa, **E**= 2.10^5 MPa, **v**= 0.3), la paroi intérieure présente le marquage d'un symbole de type **DataMatrix** de dimension **10x10** et de module **0.3 mm (**Figure **III-4)**.



La culasse

La culasse est simplifiée en disque plain (Figure **III-5**) en **acier 4140**— même matériau que la chambre — qui sert comme élément de blocage axial, empêchant le déplacement de la douille le long de son axe de révolution.

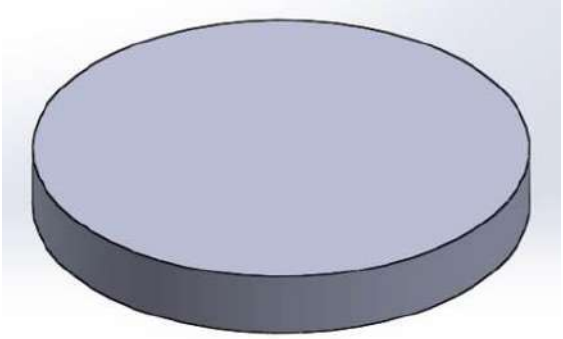


Figure III-5 La culasse.

L'amorce

L'amorce (Figure **III-6**) est de type **Berdan**, faite en laiton à l'état recuit (**R_e**= 131 MPa, **R_p**= 352 MPa, **E**= 1,013.10^5 MPa, **ν**= 0.33).

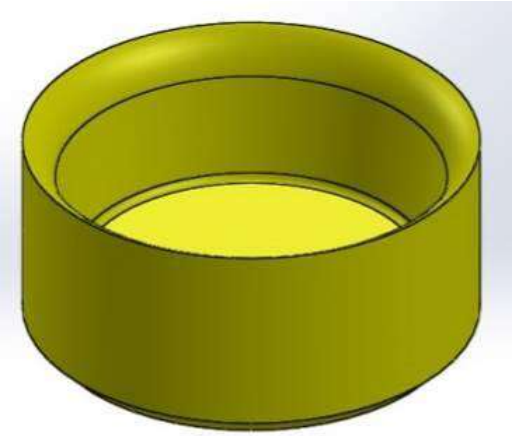


Figure III-6 L'amorce.

La douille

La douille a été décomposée en trois (03) parties comme illustré dans la figure ci-dessous :

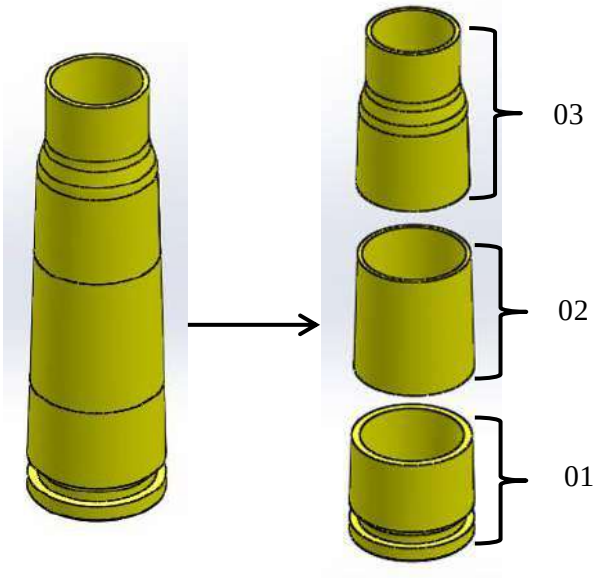


Figure III-7 Décomposition de la douille.

La partie inférieure (N°01)

Comporte ainsi le culot et l'enclume (Figure **III-8**), faite en laiton dure (R_e= 434 MPa, R_p= 524 MPa, E= 1,013.10^5 MPa, ν= 0.33).

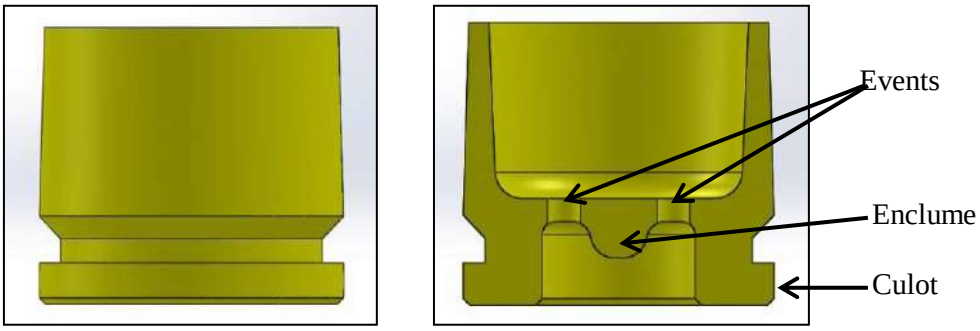


Figure III-8 Partie inférieure de la douille.

La partie médiane (N° 02)

Comporte une portion de la paroi latérale (Figure **III-9**), faites en laiton semi-dure (**R_e**= 359 MPa, **R_p**= 427 MPa, **E**= 1,013.10^5 MPa, **ν**= 0.33)

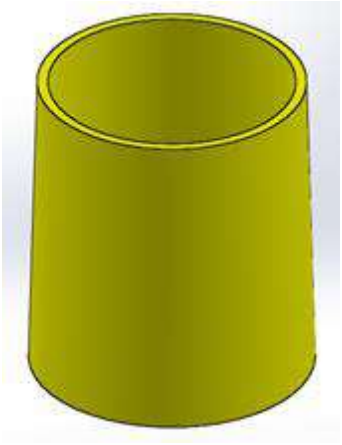


Figure III-9 Partie médiane de la douille

La partie supérieure (N° 03)

Comporte ainsi l'épaulement et le collet (Figure **III-10**), faite en laiton à l'état recuit (**R_e**= 131 MPa, **R_p**= 352 MPa, **E**= 1,013.10^5MPa, **ν**= 0.33).

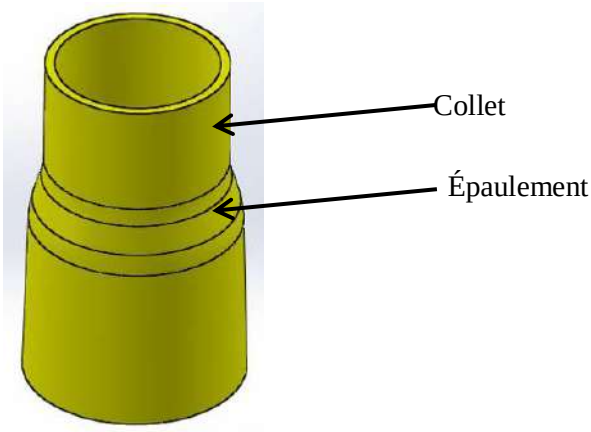


Figure III-10 Partie supérieure de la

III.3.2 Génération du maillage

Le maillage a été réalisé d'une manière automatique et paramétrée, à l'aide du mailleur d'**ANSYS Workbench**. Un raffinement du maillage dans les zones d'intérêts a été réalisé, afin de décrire convenablement le transfert de déformations et les phénomènes physiques qui se développent à ces endroits.

Afin d'appliquer un maillage plus raffiné, l'outil **Slice,** du **design modeler** d'**Ansys Workbench,** a été utilisé pour séparer la zone de marquage dans la chambre et la zone à marquer sur la douille. Ces deux (02) parties qui occupent seulement 0.13 % du volume du modèle, possèdent respectivement 54 % et 49 % du nombre total d'éléments et de nœuds. Cet outil a été utilisé sur la partie englobant l'enclume et les évents de la douille, afin d'éliminer l'effet de sa topologie irrégulière sur le reste du maillage et permettant ainsi de la traitée séparément.

Le maillage utilisé (Figure **III-11**) implique l'utilisation de quarante-deux (42) entités virtuelles et l'application de trente-six (36) contrôles locaux de maillage, ce qui a donné un nombre de nœuds égal à 43 627 et un nombre d'éléments égal à 39 748, réparties sur neuf (9) objets.

Un Maillage structuré de type quadratique et hexaédrique est adopté en raison de sa facilité de génération en utilisant une géométrie multi-blocs. Cette technique consiste à diviser les domaines de calcul en plusieurs cellules et de les mailler séparément. Ce type de maillage est le plus économique en nombre d'éléments.

Un maillage hybride généré par un mélange d'éléments de différents types tétraédriques, prismatiques, hexaédriques ou pyramidaux a été utilisé aussi pour les objets où l'application d'un maillage structuré est impossible (Gravure, Enclume…), cette technique combine les avantages du maillage structuré et ceux du maillage non structuré.

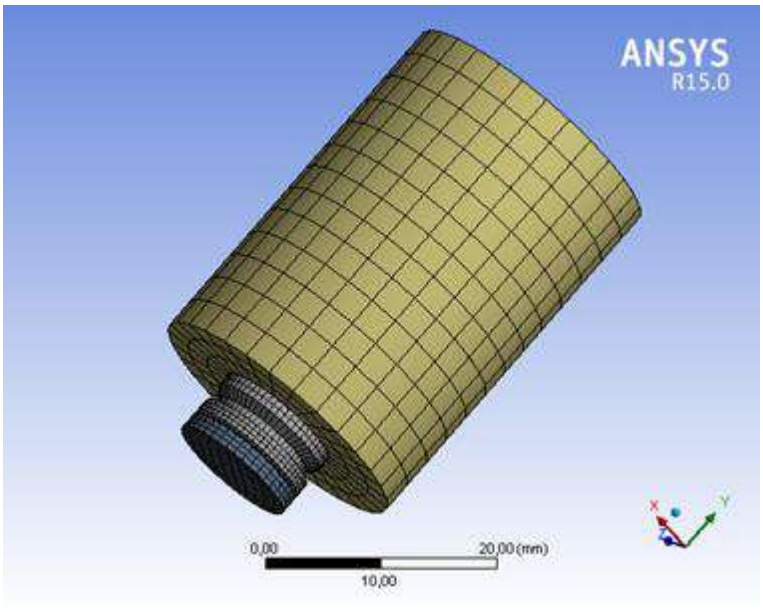


Figure III-11 Maillage appliqué au modèle.

La culasse

Deux (02) types de contrôles locaux (multizone et dimensionnement) ont été appliqués. Ce qui a donné un nombre de nœuds égal à 484 et un nombre d'éléments de 300 (Figure **III-12**).

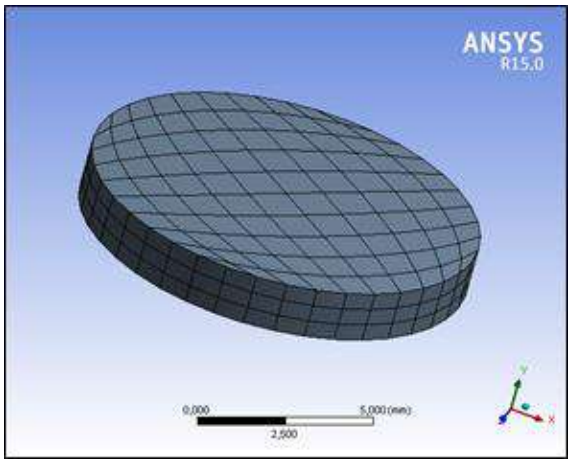


Figure III-12 Maillage de la culasse.

L'amorce

Trois (03) types de contrôles locaux (faces réglées, à dominance hexaédrique et dimensionnement) ont été appliqués. Ce qui a donné un nombre de nœuds égal à 1446 et un nombre d'éléments de 1962 (Figure **III-13**).

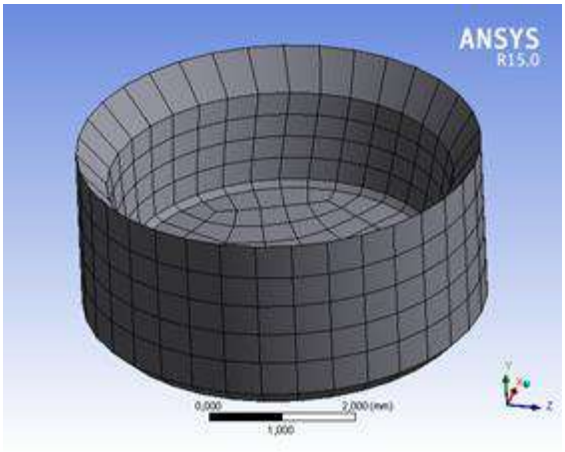


Figure III-13 Maillage de l'amorce.

La douille

Décomposées en cinq (05) parties en l'occurrence : la partie inférieure, l'enclume avec les évents, la partie médiane, la partie supérieure et la partie à graver. La douille comporte en total 28 611 nœuds et 20 286 éléments (Figure **III-14**).

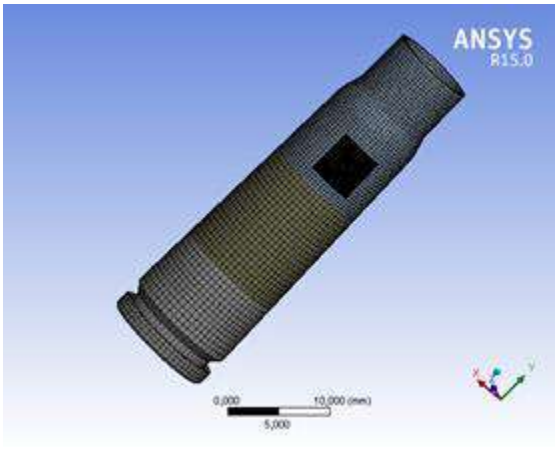


Figure III-14 Maillage de la douille.

La partie inférieure

Trois (03) types de contrôles locaux (faces réglées, à dominance hexaédrique et dimensionnement) ont été appliqués. Ce qui a donné un nombre de nœuds égal à 5944 et un nombre d'éléments de 5354 (Figure **III-17**).

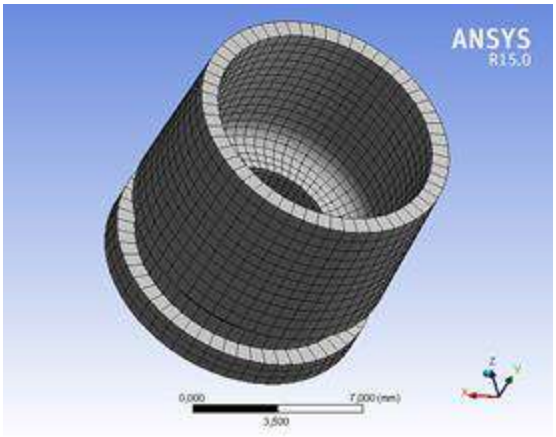


Figure III-17 Maillage de la partie inférieure.

L'enclume avec les évents

Trois (03) types de contrôles locaux (faces réglées, à dominance hexaédrique et dimensionnement) ont été appliqués. Ce qui a donné un nombre de nœuds égal à 2458 et un nombre d'éléments de 3178 (Figure **III-18**).

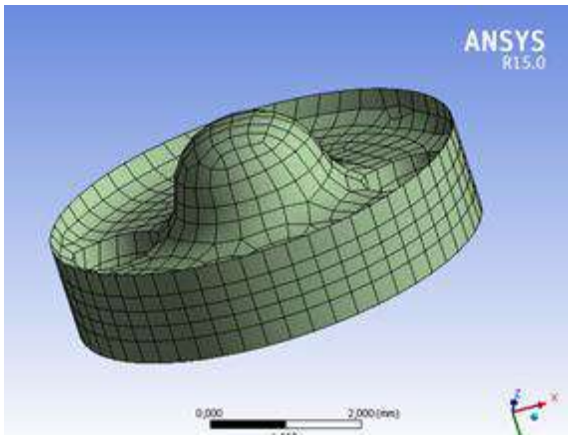


Figure III-18 Maillage de l'enclume et des évents.

La partie médiane

Deux (02) types de contrôles locaux (multizone et dimensionnement) ont été appliqués. Ce qui a donné un nombre de nœuds égal à 2640 et un nombre d'éléments de 1260 (Figure **III-16**).

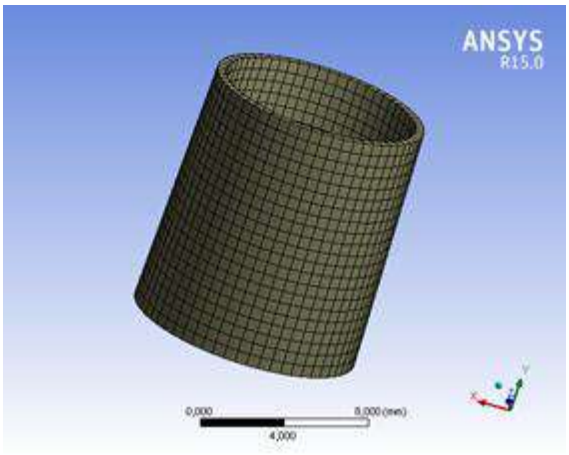


Figure III-16 Maillage de la partie médiane.

La partie supérieure

Trois (03) types de contrôles locaux (faces réglées, à dominance hexaédrique et dimensionnement) ont été appliqués. Ce qui a donné un nombre de nœuds égal à 6406 et un nombre d'éléments de 3276 (Figure **III-15**).

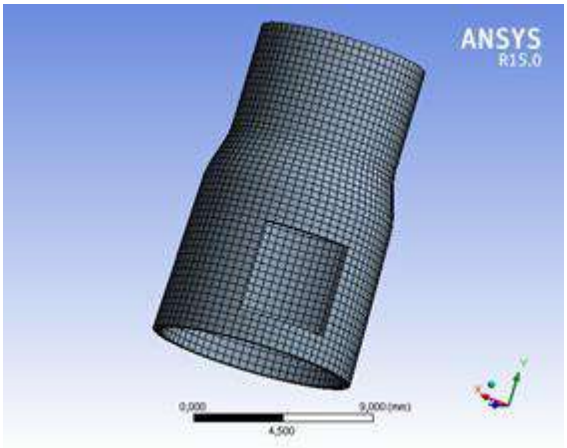


Figure III-15 Maillage de la partie supérieure.

La partie à graver

Deux (02) types de contrôles locaux (multizone et dimensionnement) ont été appliqués. Ce qui a donné un nombre de nœuds égal à 11 163 et un nombre d'éléments de 7200 (Figure **III-19**).

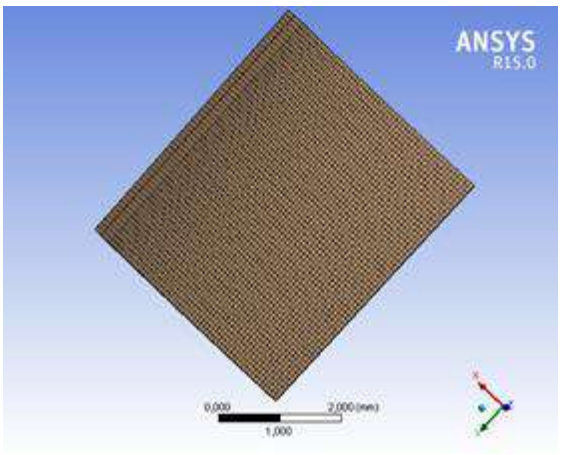


Figure III-19 Maillage de la partie à graver.

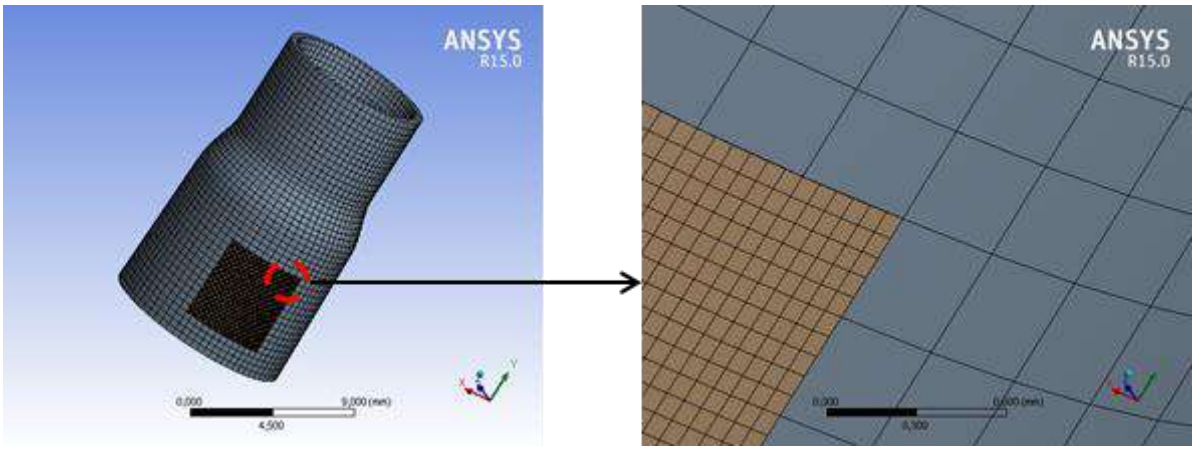


Figure III-21 Raffinement du Maillage au niveau de la partie à graver sur la douille.

La chambre

Décomposées en deux (02) parties en l'occurrence : le corps de la chambre et la partie gravée, elle comporte en total 13 086 nœuds et 17 218 éléments (Figure **III-20**).

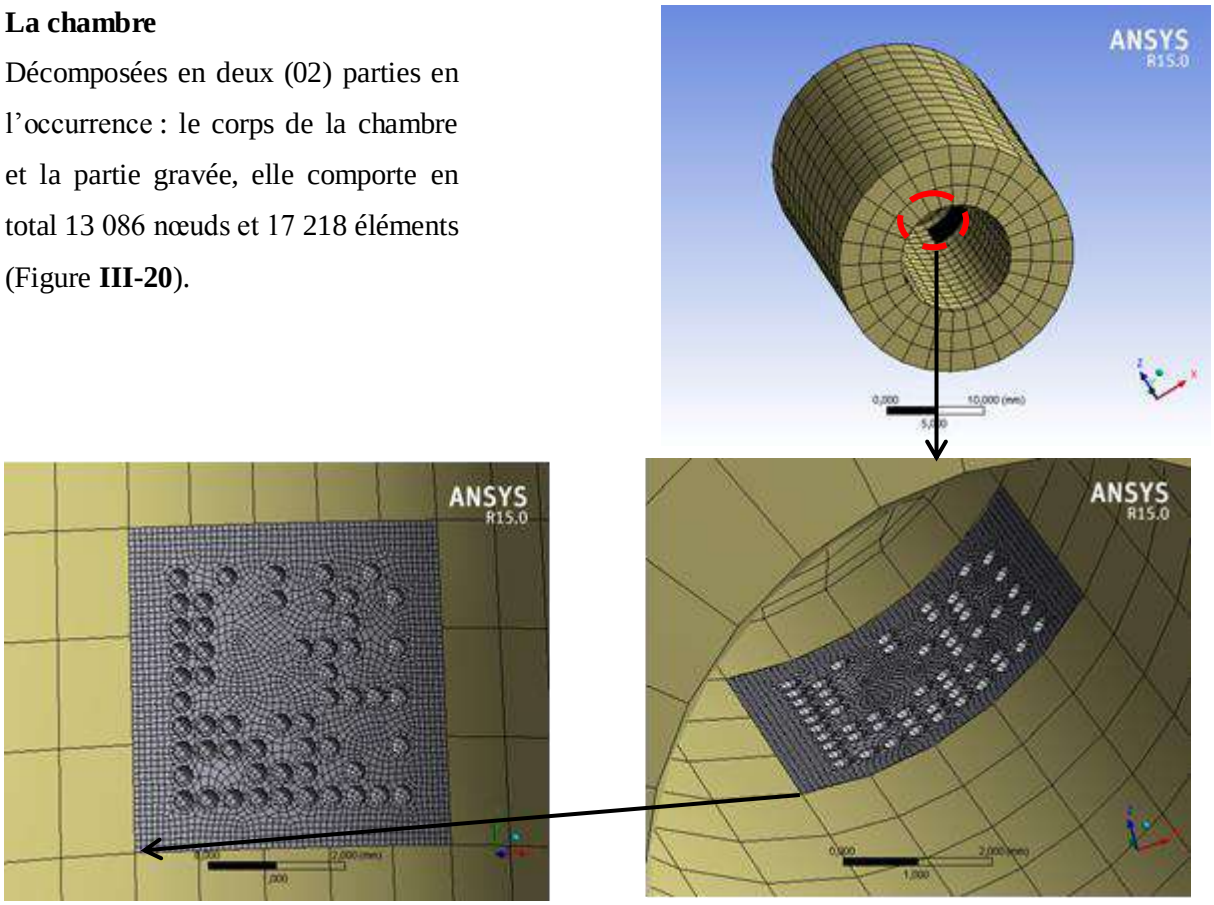


Figure III-20 Raffinement du Maillage au niveau de la partie gravée sur la chambre.

Le corps de la chambre

Trois (03) types de contrôles locaux (faces réglées, à dominance hexaédrique et dimensionnement) ont été appliqués. Ce qui a donné un nombre de nœuds égal à 3055 et un nombre d'éléments de 2963 (Figure **III-22**).

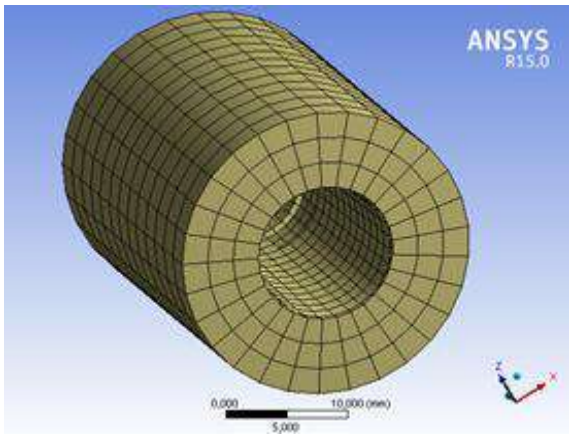


Figure III-22 Maillage du corps de la chambre.

La partie gravée

Trois (03) types de contrôles locaux (faces réglées, à dominance hexaédrique et dimensionnement) ont été appliqués. Ce qui a donné un nombre de nœuds égal à 10 031 et un nombre d'éléments de 14 255, (Figure **III-23**).

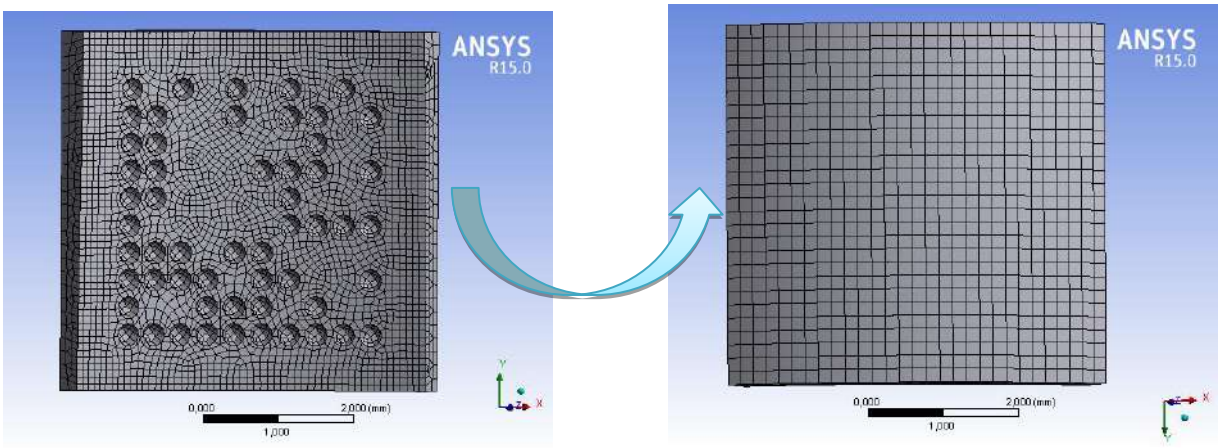


Figure III-23 Maillage de la partie gravée sur la chambre.

III.3.3 Analyse thermique transitoire

Les analyses thermiques transitoires déterminent l'évolution des températures et les flux thermiques dans le temps. La distribution de la température produit également des contraintes thermiques susceptibles de provoquer des déformations supplémentaires. Dans ce cas, les températures d'une analyse thermique transitoire sont utilisées comme données dans une analyse structurale pour l'évaluation des contraintes thermiques [**19**].

Le problème thermique transitoire de chauffage de la douille a été divisé en deux (02) parties principales :

1- Détermination du transfert de chaleur total vers la surface interne de la douille pendant le tir;

2- Détermination de la répartition de la température dans la douille, résultant de ce transfert de chaleur.

Le transfert de chaleur à la surface de la douille peut être approximé de la même manière que celui du canon par un flux de chaleur exponentiellement décroissant [**20**]. Ce flux a été appliqué comme une condition aux limites à la surface interne de la douille. Le modèle d'éléments finis a été résolu pour calculer la distribution de la température dans la douille pour un seul coup de feu. Le schéma de simulation adopté permet la génération de l'historique des températures à partir des propriétés de la munition utilisée ainsi que d'autres paramètres opérationnels.

Transfert de chaleur total vers la surface de la douille

Pendant le tir, la surface interne de la douille est soumise à une grande quantité d'entrées de chaleur. Le transfert de chaleur (Figure **III-24**) est principalement dû à la convection forcée à partir des gaz de combustion générés à l'intérieur de celle-ci. Cette quantité de chaleur est transférée par conduction à la chambre à cartouche de l'arme à feu. Cette dernière est naturellement refroidie par convection et rayonnement à sa surface extérieure.

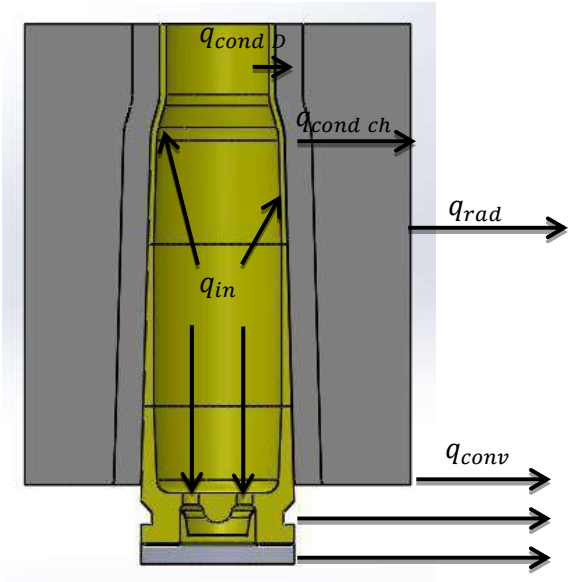


Figure III-24 Schéma illustrant les différents transferts de chaleur mis en jeu.

Par l'utilisation de la méthode de la couche thermique analytique approchée, la profondeur de pénétration de la chaleur à tout instant (**t)** peut être estimée approximativement par $\sqrt{12\alpha t}$ [**20**]. La température initiale est de **22°C,** et la durée de la simulation est de **0.382 m*s* (**Figure **III-32)**. Durant cet intervalle de temps, la propagation de la chaleur dans la paroi de la douille a été estimée de **0.4 mm**. Par conséquent, la convection forcée du flux de chaleur des gaz vers la surface de la douille $\mathbf{q_{in}}$ et la diffusion de ce flux à travers le matériau de la douille $\mathbf{q_{cond\ D}}$ sont les seuls phénomènes pris en considération (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

q_{in} est donnée par la formule : $q_{in} = q_{max} e^{\left(-t/t_0\right)}$ (1.1) [**20**] avec : $q_{max} = \frac{H_\infty}{t_0}$

H_∞ Energie par unité de section délivrée à la douille par la combustion de la poudre

t_0 Constante de temps.

$$H_\infty = H_T \frac{S_T}{S_D} \quad (1.2)$$

$$t_0 = \frac{\left(0.8 m_r v_m\right)}{\left(P_{max} \varnothing^2\right)} \quad (1.3) \quad [\mathbf{21}]$$

H_T Energie dissipée sous forme de chaleur à travers l'arme.

S_T Section totale de dissipation de température $S_T = S_{canon} + S_{passage(douille-canon)} + S_{douille} + S_{Amorce}$

$= 9941.60 + 207.78 + 1070.62 + 45.08 = 11265,08 mm^2$

S_D Section de la douille + Section de l'amorce

m_r Masse du projectile = 8 g

v_m Vitesse du projectile à la sortie du canon= 728 m/s

P_{max} Pression maximale générée par les gaz de combustion $= 355\ MPa$

ϕ Diamètre du projectile $= 7.62\ mm$

Conservation de l'énergie

Le bilan énergétique d'une arme à feu typique pour le calibre **.300 Hawk** est donné comme suite [**22**]:

Frottements : 2%

Mouvement de projectile : 32%

Chauffage des gaz: 34%

Chauffage de l'arme : 30%

Poudre non brûlée : 1%.

L'énergie dissipée sous forme de chaleur à travers l'arme H_T est de 30% de l'énergie totale E_T générée par la combustion de la poudre. Cette dernière pour une cartouche de calibre 7.62x39 mm utilisant 1.77g de la poudre de type **N120** [**23**] [**24**] est donnée comme suit :

$E_T = 1.77 \times 3700 = \mathbf{6549\ joules}$.

On a donc: $H_T = 0.3 \times 6549 = \mathbf{1965\ joules}$

On suppose un transfert de chaleur uniforme à travers le canon et la douille, on obtient :

$\Rightarrow H_\infty = 1964{,}7/11265{,}08 \simeq 0, \mathbf{174\ j/mm^2}$

$t_0 = \frac{(0.8 * 8 * 128)}{(355\ 7.62^2)} = \mathbf{0.226\ ms} \Rightarrow q_{max} = \frac{0{,}174}{0.000266} = \mathbf{771\ j/mm^2 s}$

On obtient donc l'expression du flux de chaleur appliqué comme :

$$\boldsymbol{q_{in}} = 771 \boldsymbol{e}^{\left(-t/226.10-6\right)}$$

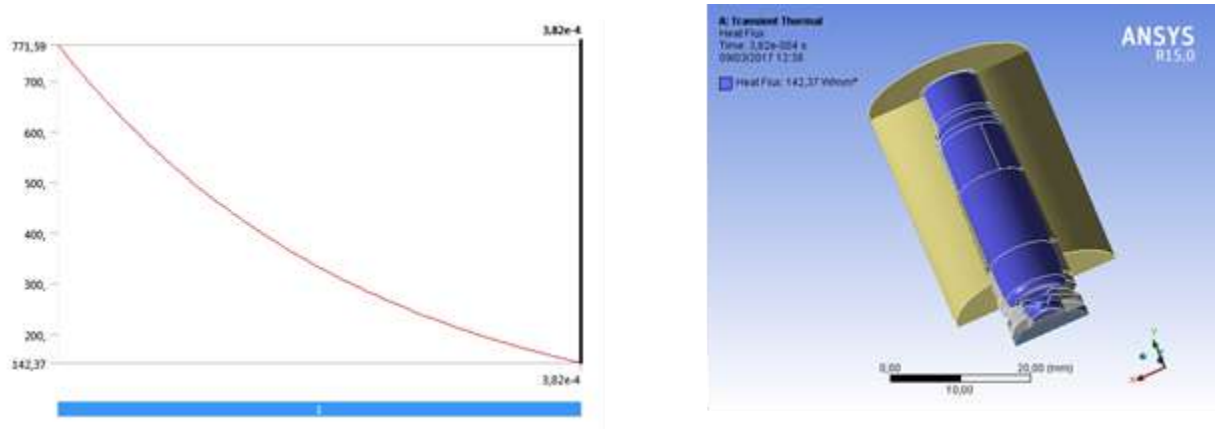


Figure III-25 Flux de chaleur appliqué à la surface interne de la douille.

III.3.4 Analyse structural transitoire

Une analyse transitoire, par définition, implique des charges qui sont une fonction du temps. Une analyse structurale est utilisée pour déterminer la réponse dynamique d'une structure sous l'action des charges dépendant du temps, elle permet de déterminer les déplacements, les déformations, les contraintes et les forces dans une structure en réponse à toute charge transitoire. Ce type d'analyse est plus exigeant qu'une analyse statique, car elle nécessite généralement plus de ressources informatiques et plus de ressources, en termes de temps d'ingénierie [**19**].

Les contraintes thermiques sont définies comme étant les contraintes induites dans un objet ou un élément structurel retenu contre le mouvement (contraction ou dilatation) requis pour s'adapter aux changements de température. Dans le cas du présent travail on s'intéresse aux contraintes générées dans la douille par dilatation thermique, sous l'effet de la distribution de température (Figure **III-27** et Figure **III-26**) calculée précédemment et pendant une durée de **1.5 µs**.

La contrainte et la déformation thermique sont données par les lois linéaires :

$$\sigma_{th} = (\alpha_1 - \alpha_2) E \Delta T \quad (1.4)$$

$$\varepsilon_{th} = (\alpha_1 - \alpha_2) \Delta T \quad (1.5)$$

σ_{th} : Contrainte thermique.

ε_{th} : Déformation thermique.

α_1 : Coefficient de dilatation thermique de la douille = $1.998\ 10^{-5}\ °C^{-1}$

α_2 : Coefficient de dilatation thermique de la chambre = $1.2\ 10^{-5}\ °C^{-1}$

E : Module de Young de la douille = $1.1032\ 10^{-5}$ MPa

ΔT : Variation de la température.

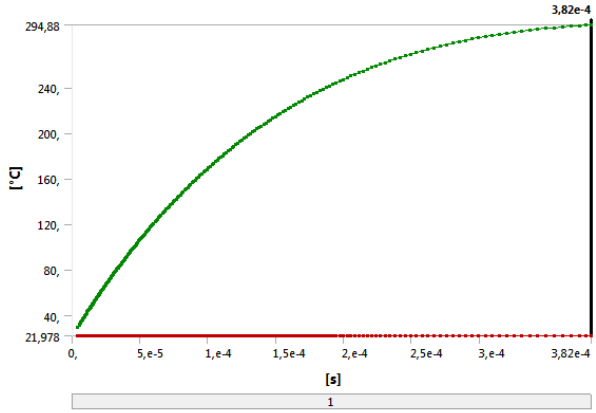


Figure III-27 Variation de la température à la surface interne de la douille.

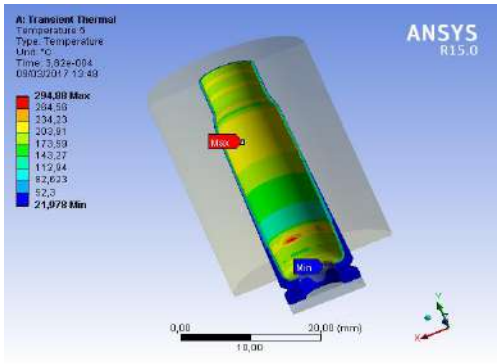


Figure III-26 Distribution de la température à la surface interne de la douille.

III.3.5 Analyse dynamique explicite

Une analyse dynamique explicite est utilisée pour déterminer la réponse dynamique d'une structure due à la propagation d'onde de contrainte, à l'impact ou à la variation rapide des charges dépendant du temps. Ce type d'analyse peut également être utilisé pour modéliser des phénomènes mécaniques présentant de larges déformations non linéaires. Les non-linéarités peuvent provenir des matériaux (par exemple, hyper élasticité, écoulements plastiques, défaillance), du contact (par exemple collisions et chocs à grande vitesse) et de la déformation géométrique (par exemple, flambement et effondrement). Les événements avec des échelles de temps inférieures à 1 seconde (généralement de l'ordre de la milliseconde) sont simulés efficacement avec ce type d'analyse [**19**].

Les paramètres motivant le choix de ce type d'analyse sont le chargement en pression, qui dure seulement 1.5 µs, et la physique du système qui implique les trois types de non-linéarités à savoir : les non-linéarités géométriques (expansion, écrasement, marquage), les non-linéarités matérielles (plasticité) et les non-linéarités de contact (changement du statut de contact douille-chambre, amorce-culasse et douille-culasse "d'ouvert" à "fermé" entraînant un changement de rigidité).

III.3.5.1 Choix de la loi de comportement

La modélisation des assemblages par déformation plastique nécessite l'utilisation des lois de comportement matériaux (Figure **III-28**) les plus représentatifs possibles du physique du problème. Pour ce faire, les lois utilisées doivent permettre de modéliser avec fidélité, l'expansion, la dilatation, l'écrasement de la douille et surtout les formes géométriques générer par les déformations plastiques à l'échelle microscopique. Cependant il ne faut pas perdre de vue que ces lois de comportement vont être utilisées dans un logiciel de simulation. Il faut donc trouver un bon compromis entre la précision du modèle, la complexité à caractériser les paramètres du modèle et l'influence de ces lois sur le temps de calcul des simulations.

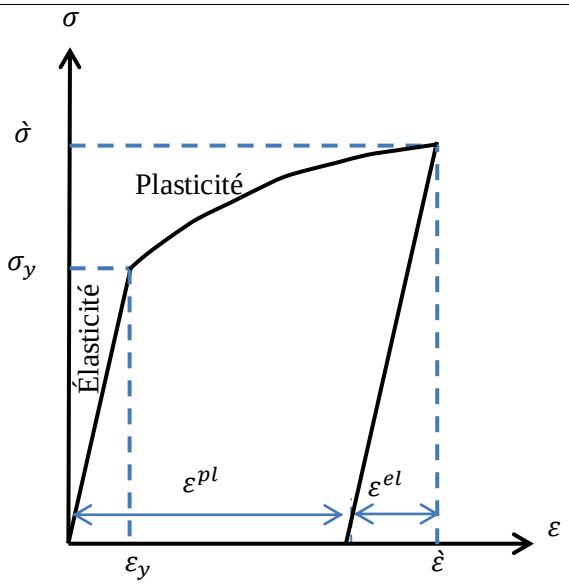


Figure III-28 Comportement élasto-plastique d'un matériau ductile.

La prise en compte de l'écrouissage permet de modéliser l'évolution de la surface de charge au cours du temps en combinant une translation (écrouissage cinématique) et une dilatation (écrouissage isotrope) de celle-ci. Selon la littérature [**25**] [**26**], la formulation isotopique est l'une des plus utilisées en modélisation des assemblages par déformation plastique et plus généralement en mise en forme de tôles minces. Cette dernière est adoptée pour la modélisation de notre assemblage dans le reste du manuscrit.

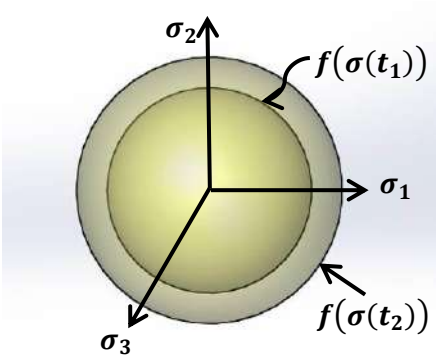


Figure III-29 Durcissement isotrope de la surface limite.

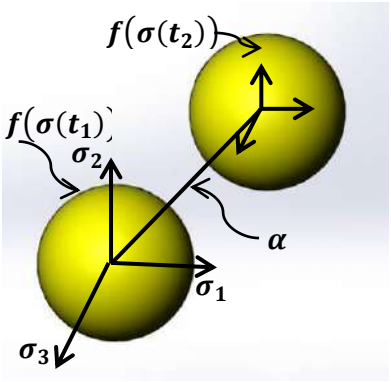


Figure III-30 Surface limite dans l'espace de la contrainte principale.

Cette formulation d'évolution s'obtient classiquement à partir d'essais de traction uni-axiale sur des éprouvettes découpées dans le sens du laminage. Pour des plages de déformations plus importantes, il est possible d'utiliser des essais de cisaillement. Les courbes obtenues sont alors approchées par des lois analytiques.

Quatre (04) lois sont couramment utilisées:

Ludwick (1909)	Hollomon (1944)
$\sigma_0(r) = \sigma_y + Kr^n$ (1.6)	$\sigma_0(r) = Kr^n$ (1.7)
Swift (1947)	Voce (1948)
$\sigma_0(r) = K(r + r_0)^n$ (1.8)	$\sigma_0(r) = K\left(1 - exp\left(-n\left(r + r_0\right)\right)\right)$ (1.9)

La **loi d'Hollomon** définie une loi de type puissance. $\boldsymbol{K}$ est la consistance du matériau et est assimilée à une contrainte. $\boldsymbol{n}$ est l'exposant d'écrouissage isotrope. Cette loi est bien adaptée pour la modélisation du comportement de la douille au-delà de la limite élastique (plasticité) et les paramètres K et n, sont disponible dans un travail antérieur [**27**], ces paramètres sont indispensable vu l'indisponibilité des matériaux objet du présent travail.

Nous allons donc baser nos développements sur le modèle élastoplastique. Nous considérerons une décomposition additive du tenseur des déformations en partie élastique et plastique: $\varepsilon = \varepsilon^e + \varepsilon^p$ [**28**]

La partie élastique du comportement est modélisée par la loi de Hooke :

$\sigma = {}^4E : \varepsilon_e = 2\mu\varepsilon_e + tr\varepsilon_e I$ (1.10) [**28**]

Pour la plasticité, nous travaillons en plasticité et en ne tenant compte que de l'écrouissage isotrope :

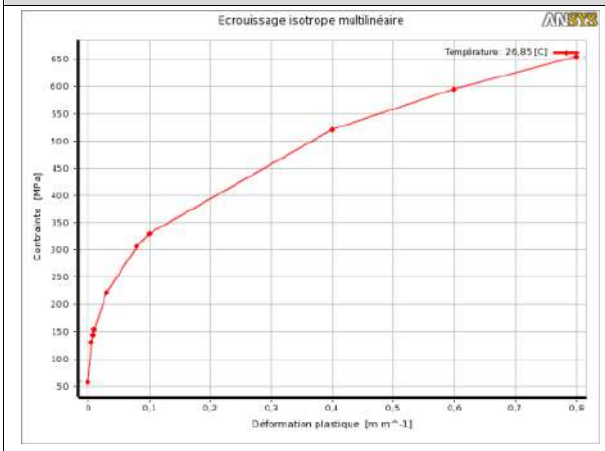
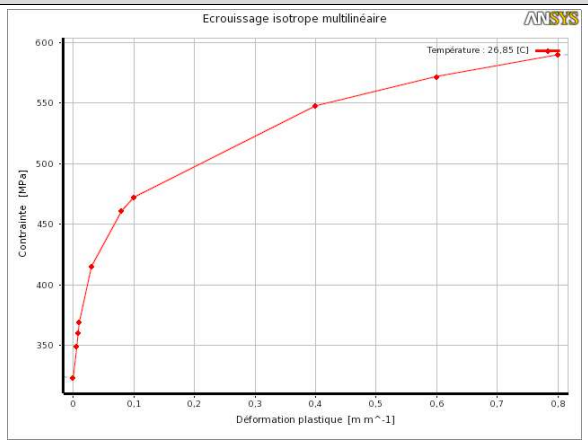
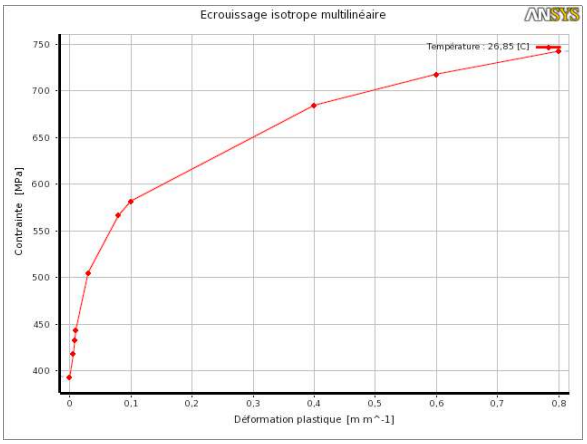
$\sigma_0(r) = Kr^n$

Les paramètres K et n sont données pour les trois matériaux constituant la douille et l'amorce comme suite : Les paramètres de la loi d'Hollomon pour les matériaux de la douille.

Tableau III-1 Les paramètres de la loi d'Hollomon pour les trois (03) matériaux constituant la douille et l'amorce [**27**].

Pièce	Matériaux	$\boldsymbol{K}$ $(\boldsymbol{Mpa})$	$\boldsymbol{n}$
La partie supérieure et L'amorce	Laiton à l'état recuit	704,7683	0,329481
La partie médiane	Laiton semi dure	604,2979	0,10701
Partie inferieur	Laiton dure	762,174	0,117193

Tableau III-2 Représentation graphique de la loi d'Hollomon pour les trois (03) matériaux constituant la douille et l'amorce

Laiton à l'état recuit	Laiton semi dure
	
Laiton dure	
	

III.3.5.2 Chargement appliqué

Le chargement en pression est maintenu pendant 1.5µs , à partir du point ou la pression est égale à 80 % de la pression maximale (0.382 ms, 284 MPa), sachant que la pression est supérieure à cette valeur et la durée réelle est de130 fois supérieure. Si cette sollicitation est suffisante pour produire un marquage exploitable (déformations plastiques supérieures au seuil détectable) alors l'extension des calculs à la durée réelle ne ferait qu'accentuer le marquage.

La pression générée par la combustion de la poudre est donnée pour un calibre de **243 Winchester** (**6x52 mm**) avec une pression maximale de 393 MPa (Figure **III-31**) comme site :

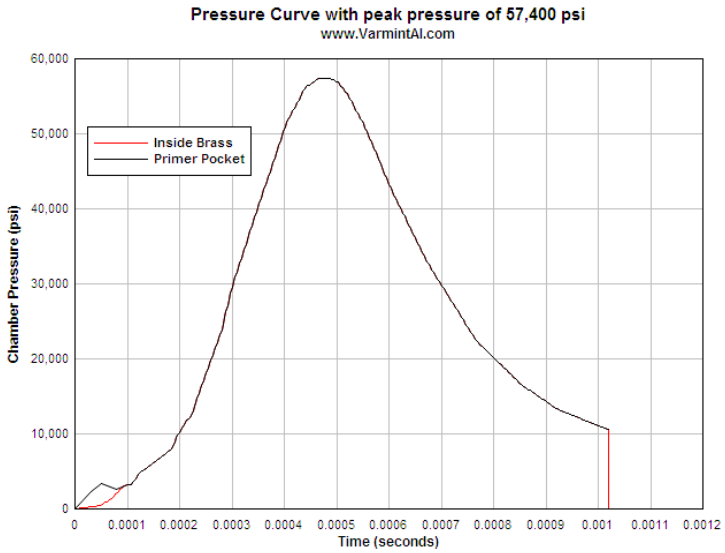


Figure III-31 Fonction P (t) utilisée dans l'étude LS-DYNA d'Al Harral [**24**].

Ce graph a été redressé pour un maximum de 355 MPa, tel que fourni par la **CIP** pour le calibre **7.62x39 mm** [**29**]. Les valeurs de la pression et du temps correspondant à 80% P_{max} sont extraites comme indiqué sur les deux figures suivantes :

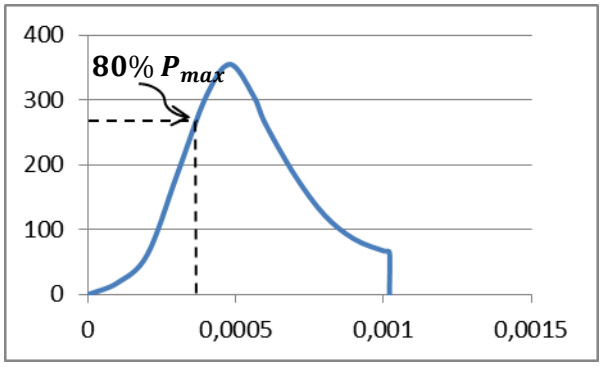


Figure III-32 Fonction P (t) dressée et utilisée pour le présent travail.

La pression est appliquée sur les parois internes de la douille et de l'amorce pendant une période de 1.5µs comme illustrée dans la figure suivante :

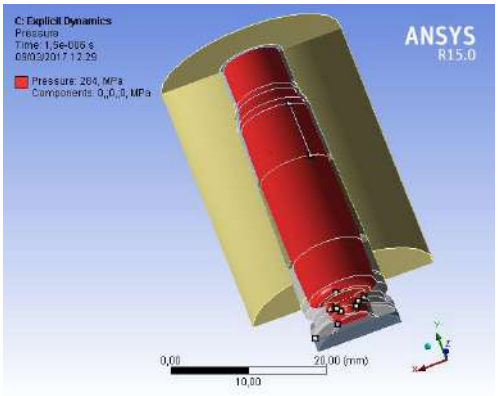


Figure III-33 Pression appliqué à la surface interne de la douille.

La chambre et la culasse sont considérées comme des appuis fixes (Figure **III-34**), empêchant le déplacement du système en réponse aux sollicitations appliquées et présentent des jeux par rapport à la douille, respectivement de **0.1524 mm** et **0.0508 mm**, permettant une légère expansion par dilatation de cette dernière.

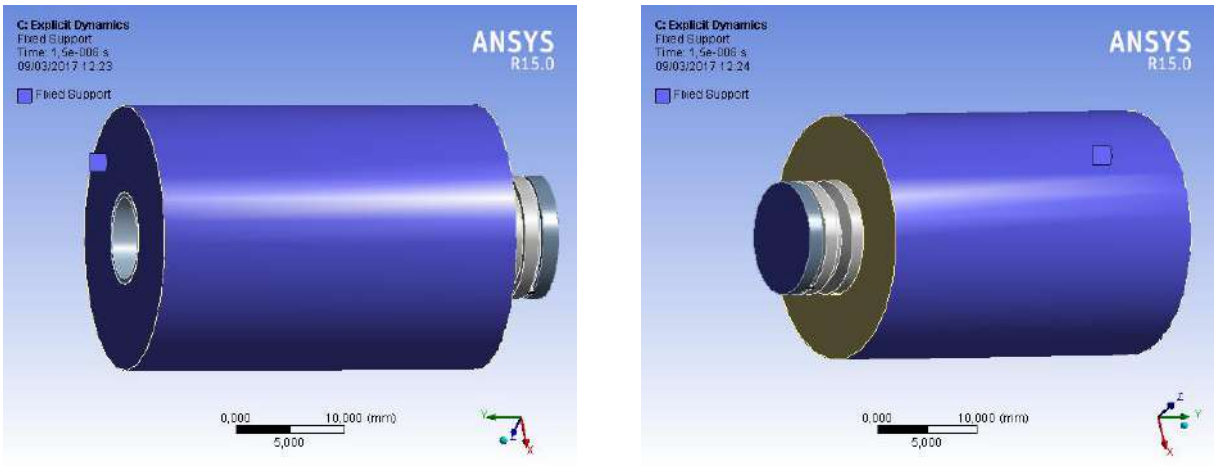


Figure III-34 Les surfaces appliquées comme support fixe au modèle.

III.3.6 Résultats de la simulation

III.3.6.1 Analyse thermique transitoire

Distribution de la température sur la douille

Les valeurs de la température varient entre la température ambiante 22 °C à l'extérieur de la douille et la valeur 295 °C sur les parois internes de celle-ci (Figure **III-35**).

Douille **Partie à graver**

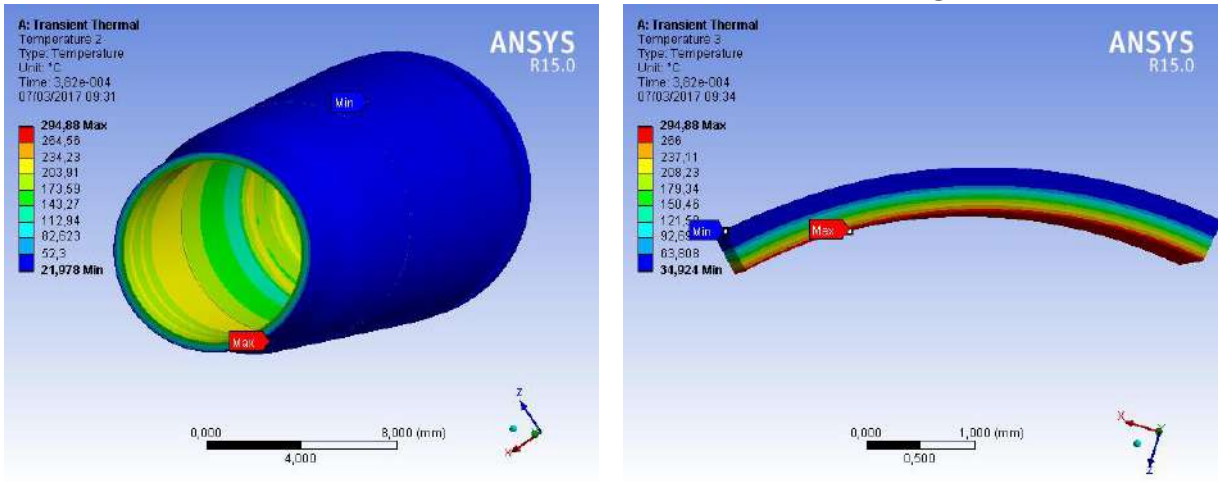


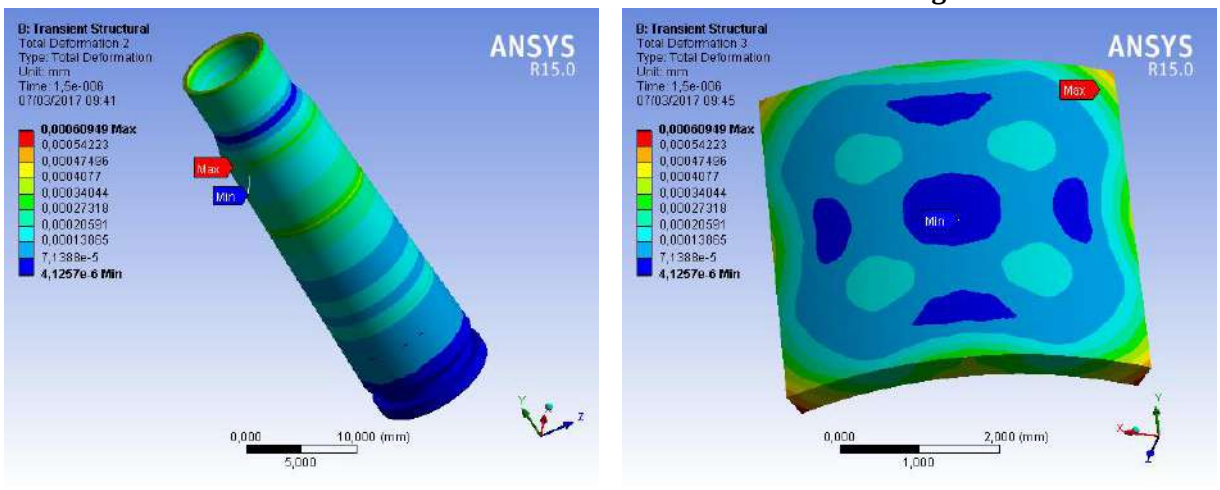
Figure III-35 Distribution de la température sur la douille.

III.3.6.2 Analyse structural transitoire

a. Distribution des déplacements thermiques

Les déplacements thermiques varient entre 4 µm et 400 µm (Figure **III-36**), en l'absence des déformations plastiques (Figure **III-37**).

Douille **Partie à graver**



Partie à graver

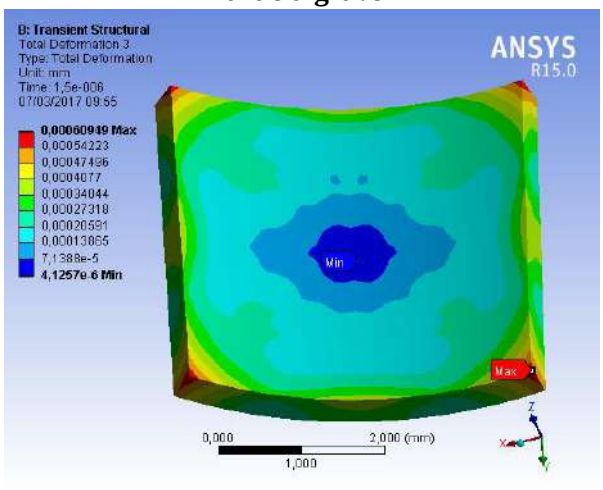


Figure III-36 Distribution des déplacements thermiques.

La douille

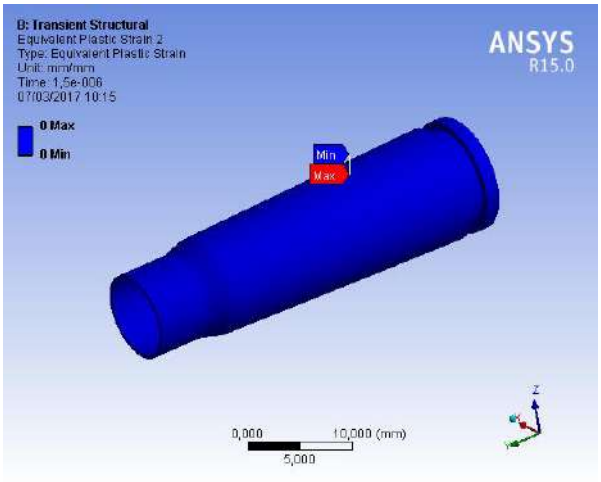
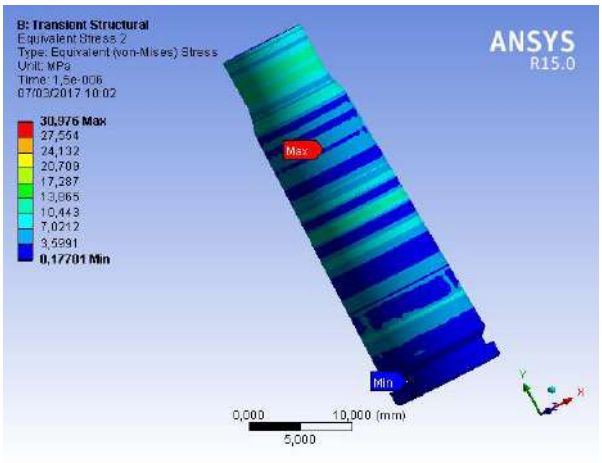


Figure III-37 Déformations plastiques résultants des contraintes thermiques.

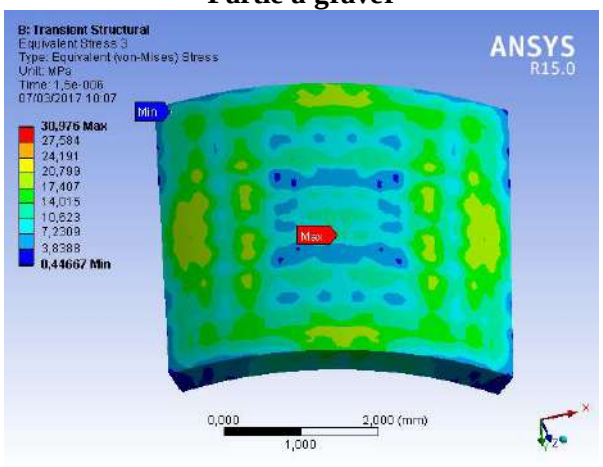
b. Distribution des contraintes thermiques équivalentes

Les contraintes thermiques varient entre 0 et 31 MPa avec un minimum au niveau de la partie latérale libre du culot (Figure **III-38**).

Douille



Partie à graver



Partie à graver

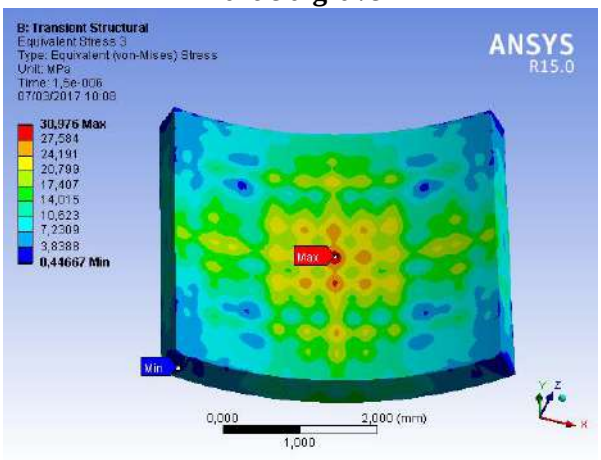


Figure III-38 Distribution des contraintes thermiques équivalentes.

III.3.6.3 Analyse dynamique explicite

a. Distribution du déplacement total

Le déplacement total au niveau de la surface extérieure de la partie à graver sur la douille varie entre 53 et 90 µm, avec une différence minimale estimée de 26 µm (Figure **III-39**).

Douille **Partie à graver**

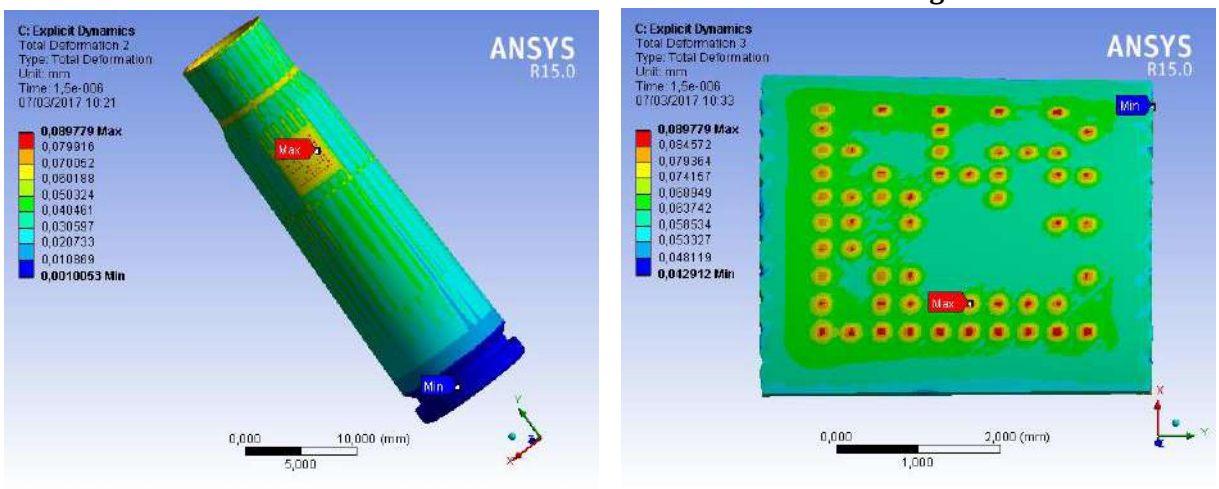
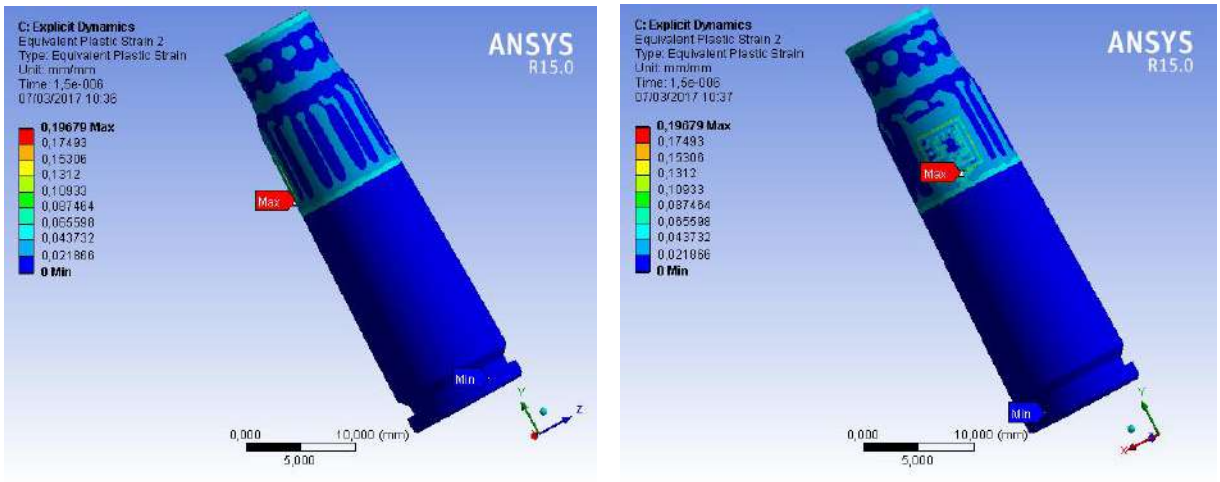


Figure III-39 Distribution des déplacements totaux.

b. Distribution des déformations plastiques

Les déformations plastiques au niveau de la surface extérieure de la partie à graver sur la douille varient entre 1 et 9.3 %, avec une différence moyen estimée de 8% (33 µm) (Figure73).

Douille



Partie à graver

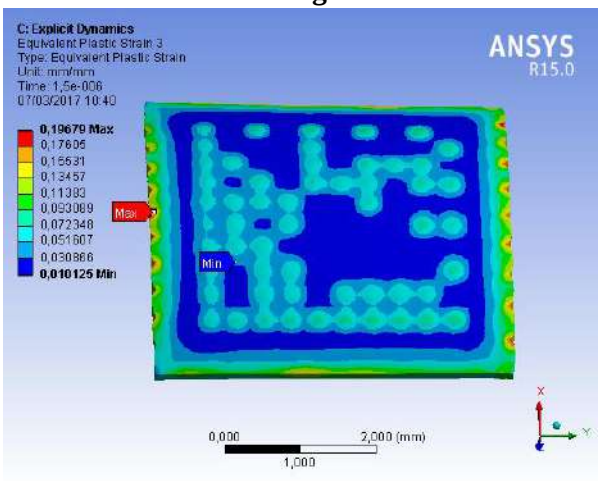
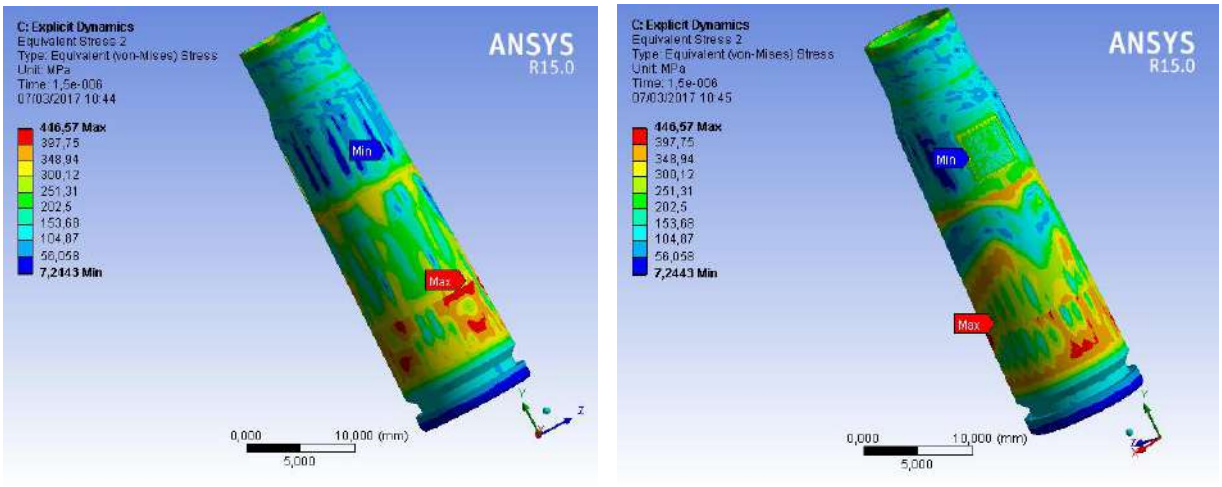


Figure III-40 Distribution des déformations plastiques.

c. Distribution des contraintes équivalentes

Les contraintes équivalentes varient entre 7 et 447 MPa avec un maximum au niveau de la partie libre de la base de la douille (Figure74).

Douille



Partie à graver

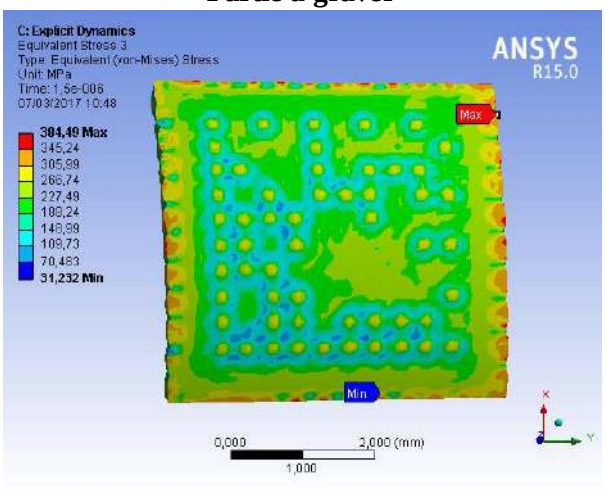


Figure III-41 Distribution des contraintes équivalentes.

III.3.7 Interprétation des résultats

La différence entre le déplacement total et la surface extérieure de la partie à graver sur la douille est de l'ordre de 32 µm avec un minimum de 26 µm**,** ce qui est bien au-dessus du seuil de détection des lectures DPM **1 µm** [**12**]. Sachant que la profondeur du marquage **DPM** pour les instruments chirurgicaux varier entre **10 µm et 50 µm** pour le marquage avec micro percussion et entre **1 µm et 10µm** pour la méthode au laser [**12**].

III.4 Simulation dynamique explicite par la loi de Johnson Cook

Dans un deuxième cas on va utiliser la loi empirique de **Johnson-Cook** qui détermine l'allure générale de la relation entre contraintes, déformations, vitesse de déformation et température. Vu la disponibilité des paramètres pour le laiton à munitions dans la bibliothèque des matériaux d'**ANSYS**

sous l'identifiant : **CART BRASS.** Nous avons opté pour ce choix afin de réaliser des simulations du processus de transfert de marquage au moment du tir.

La loi de Johnson-Cook s'écrit comme suit [**19**] :

$$\bar{\sigma} = \underbrace{\left(\sigma_0 + K_0.\varepsilon_p^n\right)}_{\text{Elasto Plasticité}}.\underbrace{\left[1 + K_1.\ln\left(\frac{\dot{\varepsilon}_p}{\dot{\varepsilon}_{P0}}\right)\right]}_{\text{Effet de la vitesse de déformation}}.\underbrace{\left[1 - \left(\frac{T - T_{amb}}{T_{Fus} - T_{amb}}\right)^m\right]}_{\text{Adoucissement thermique}} \quad (1.11)$$

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.

Pour l'application de la loi de **Johnson-Cook,** une analyse, dynamique explicite, a été exécutée en utilisant le même modèle choisi dans la première approche, à l'exception du matériau de la douille, pris cette fois comme étant le laiton à munitions.



Figure III-42 Schéma du système dynamique explicite adopté.

III.4.1 Résultats de la simulation

III.4.1.1 Distribution du déplacement total

Le déplacement total, au niveau de la surface extérieure de la partie à graver sur la douille, varie entre 65 et 90 µm , avec une différence minimale estimée de 20 µm (Figure **III-43**).

Douille **Partie à graver**

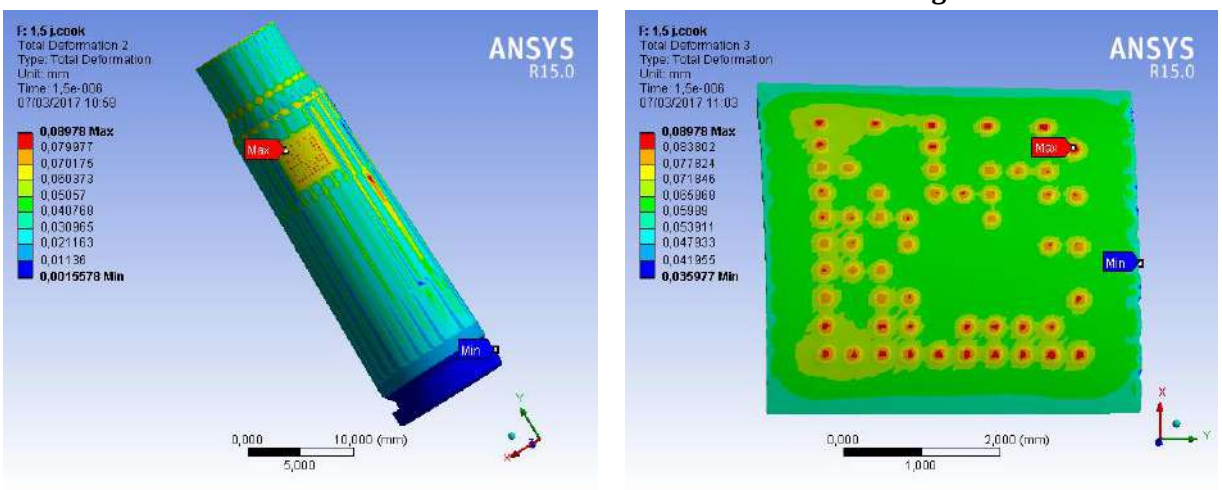
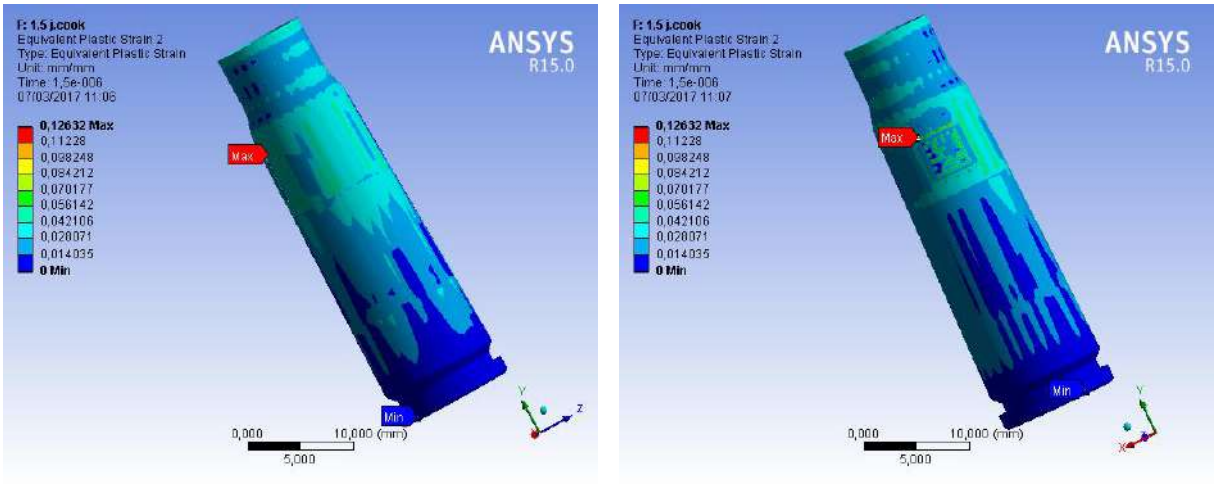


Figure III-43 Distribution des déplacements totaux.

III.4.1.2 Distribution des déformations plastiques

Les déformations plastiques au niveau de la surface extérieure de la partie à graver sur la douille varient entre 1,6 et 8.5 %, avec une différence moyenne estimée de 7% (29 µm) (Figure **III-44**).

Douille



Partie à graver

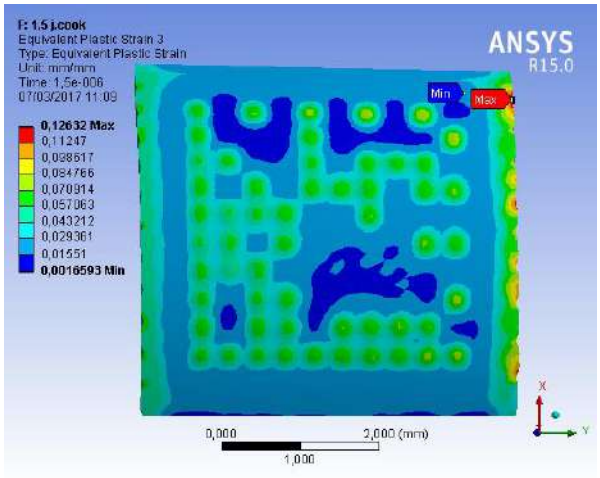
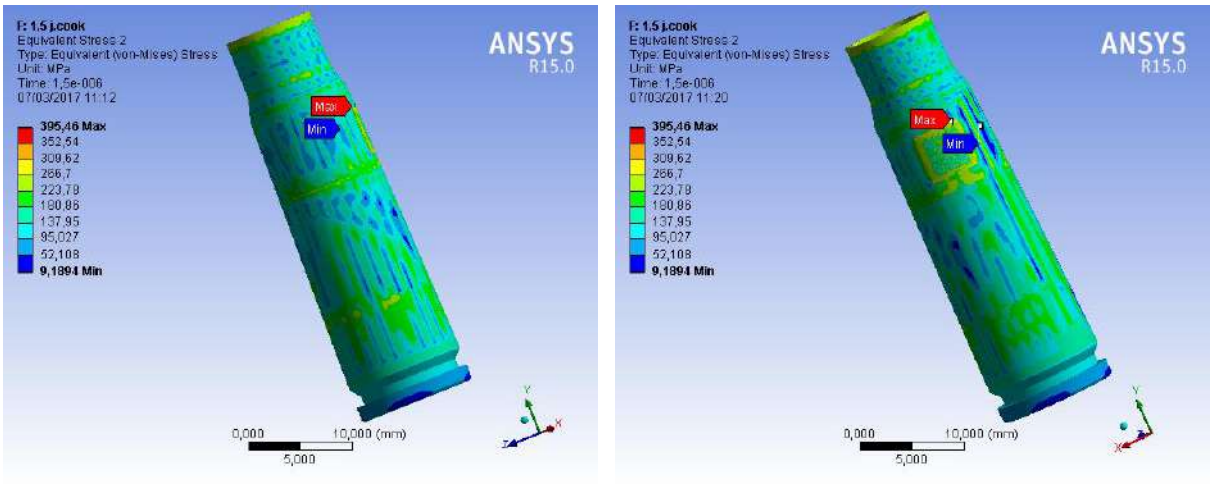


Figure III-44 Distribution des déformations plastiques.

III.4.1.3 Distribution des contraintes équivalentes

Les contraintes équivalentes varient entre 24 et 354 MPa avec un maximum au niveau de la partie libre de la base de la douille (Figure **III-45**).

Douille



Partie à graver

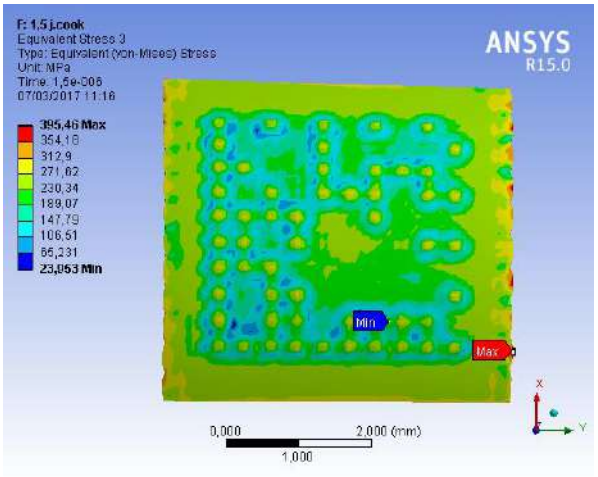


Figure III-45 Distribution des contraintes équivalentes.

III.4.2 Interprétation des résultats

La différence entre le déplacement total et la surface extérieure, de partie à graver sur la douille, est de l'ordre de 29 µm avec un minimum de 20 µm**. C**e qui est bien au-dessus du seuil de détection des lectures DPM. Les résultats obtenus avec l'analyse dynamique explicit sont très proches de ceux obtenus par l'approche thermomécanique. A la différence près, que cette dernières nécessite trois analyses distinctes, ce qui augmente considérablement les temps du près et post-traitements.

III.5 Conclusion

Pour la simulation numérique du transfert de marquage sous **ANSYS,** deux schémas sont adoptés. Le premier, consiste à utiliser une approche thermomécanique, par décomposition du problème à résoudre en deux analyses, dont la deuxième utilise les résultats de la première en entrée.

Le deuxième schéma, consiste à utiliser une analyse dynamique explicite avec la loi de Johnson-Cook comme loi de comportement pour le matériau de la douille.

Au point de vue des déformations plastiques générées, les deux schémas ont donné des résultats similaires. Ceux-ci sont largement au-dessus du seuil de détection des lecteurs DPM. Ce qui confirme bien la faisabilité de la technique proposée, d'autant plus que le chargement utilisé, ainsi que la durée de la simulation, sont inférieurs aux valeurs réelles.

CHAPITRE IV: APPLICATION DE GESTION

IV.1 Introduction

L'Exploitation du marquage, proposé dans le chapitre II du présent travail, ne peut être achevé sans l'implémentation d'une application informatique capable de saisir les données, générer les codes à barres et les stockés, et garantir une accessibilité aux enquêteurs qui peuvent, en temps réel, la consulter à partir du lieu de la scène de crime, pour identifier : les armes utilisées, leurs propriétaires, leurs historiques criminels, ainsi que d'autres fonctionnalités utiles aux enquêteurs.

Dans ce chapitre est présentée, la réalisation détaillée de l'application et son organigramme général, ainsi que les outils et langages utilisés.

Enfin, et à titre de test, on donne les états de sortie pour deux scénarios d'utilisation de cette application, illustrant les avantages de la présente contribution et les nouveaux outils qu'elle offre aux enquêteurs en matière d'identification et de traçage d'armes à feu.

IV.2 Conception de l'application

L'application réalisée a été développée afin d'optimiser l'exploitation de la méthode d'identification proposée, et elle doit répondre aux objectifs suivants :

- La génération des codes à barres sous format **Bitmap** (Exploitable directement par un logiciel de gravure laser [**30**]) pour l'achèvement de l'opération du marquage ;
- La création et l'alimentation d'une base de données pour le stockage de ces codes et de toutes informations utiles pour l'identification ;
- L'accessibilité en temps réel de la base de données des armes à feu aux enquêteurs afin d'identifier et de tracer les armes impliquées dans les affaires criminelles qu'ils traitent.

Ces exigences nous ont imposés le choix d'une application réseau, d'administration d'une base de données. Pour le développement de la dite application, divers choix technologiques ont été effectués tels que l'utilisation de la plateforme Java JEE et l'architecture applicative 3 tiers encore appelée modèle MVC.

IV.2.1 Description technique du modèle MVC pour les applications web avec Java

Le modèle MVC (Model – View – Contrôleur) représente les trois tiers comme suit [**31**]:

- **Modèle** représente le tiers Métier ;
- **View** est matérialisé par des interfaces avec le client donc le tiers Client ;
- **Contrôleur** réalise le lien entre les tiers Métiers et Client. Il récupère des informations provenant de l'interface utilisateur, il utilise le tiers Métier pour des traitements et modifie l'interface utilisateur.

Un avantage apporté par ce modèle est la clarté de l'architecture qu'il impose. Cela simplifie la tâche du développeur qui tenterait d'effectuer une maintenance ou une amélioration sur le projet. [**31**].

Le langage Java JEE peut s'adapter sur le modèle MVC, les modèles seront les classes java, les vues seront les pages « .JSP » et les contrôleurs seront les « servlets » [**31**].

La gestion des données est prise en charge par un SGBD centralisé, s'exécutant sur un serveur WAMP. Ce dernier est interrogé en utilisant un langage de requête qui est SQL. Le dialogue entre client et serveur se résume donc à l'envoi de requêtes et au retour des données correspondant aux requêtes.

IV.2.2 Fonctionnalités

L'application implémentée inclue les fonctionnalités suivantes :

- Saisie standardisée des données relatives à l'arme et leur propriétaire ainsi que la possibilité de mettre à jour l'application en cas de : Changement de propriétaire, vol de l'arme, utilisation criminelle, récupération et en cas de destruction ;
- Conversion des données relatives à l'arme en code alphanumérique de 24 caractères ;
- Conversion du code alphanumérique en code à barres de dimension contrôlable ;
- Stockage des données dans une base de données informatique ;
- Possibilité de consultation en ligne ;
- Génération des rapports d'identification et de rapprochement ;
- Génération des statistiques globale **;**
- Disponibilité d'un système de messagerie qui assure un contact entre les différents utilisateurs ;
- Sécurisation de l'accessibilité à l'information ;
- Adaptation pour un affichage sur des petits écrans (tablette, téléphone…).

IV.2.3 Identification des acteurs

Le système doit assurer trois (03) niveaux d'accessibilités comme suit :

Niveau « Administrateur »

- Développement de l'application ;
- Gestion et administration de l'application ;
- Sécurisation et protection de l'application ;
- Définition et introduction des entrées standardisées relatives aux : Fabriquant, Pays de fabrication, Marque/Model et Calibre ;
- Suppression des enregistrements ;
- Gestion des comptes des utilisateurs ;
- Définition du type et des dimensions du code à barres ;
- Élaboration des statistiques globales ;

- Résolution des problèmes informatiques rencontrés par les autres utilisateurs de l'application.

Niveau « Agent de Saisie »

- Saisie des informations relatives aux armes à feu ;
- Saisie des informations relatives aux propriétaires des armes ;
- Mise à jour de l'application par réquisition des enquêteurs en cas de : changement de propriétaire, vol, utilisation à des fins criminelles, récupération de l'arme ou en cas de sa destruction.

Niveau « Enquêteur »

- Consultation de la base de données à partir d'un code scanné sur une douille, récupérée dans le cadre d'une enquête criminelle, (retrouvée sur la scène ou issue du tir d'essais d'une arme suspecte) ;
- Génération des rapports d'identification et de rapprochement sur l'arme du crime, et demande de mise à jour après chaque consultation.

IV.2.4 Schéma général de l'application

Le schéma général, illustrant les fonctionnalités principales de l'application implémentée dans le présent travail, est donné dans l'organigramme ci-dessous :

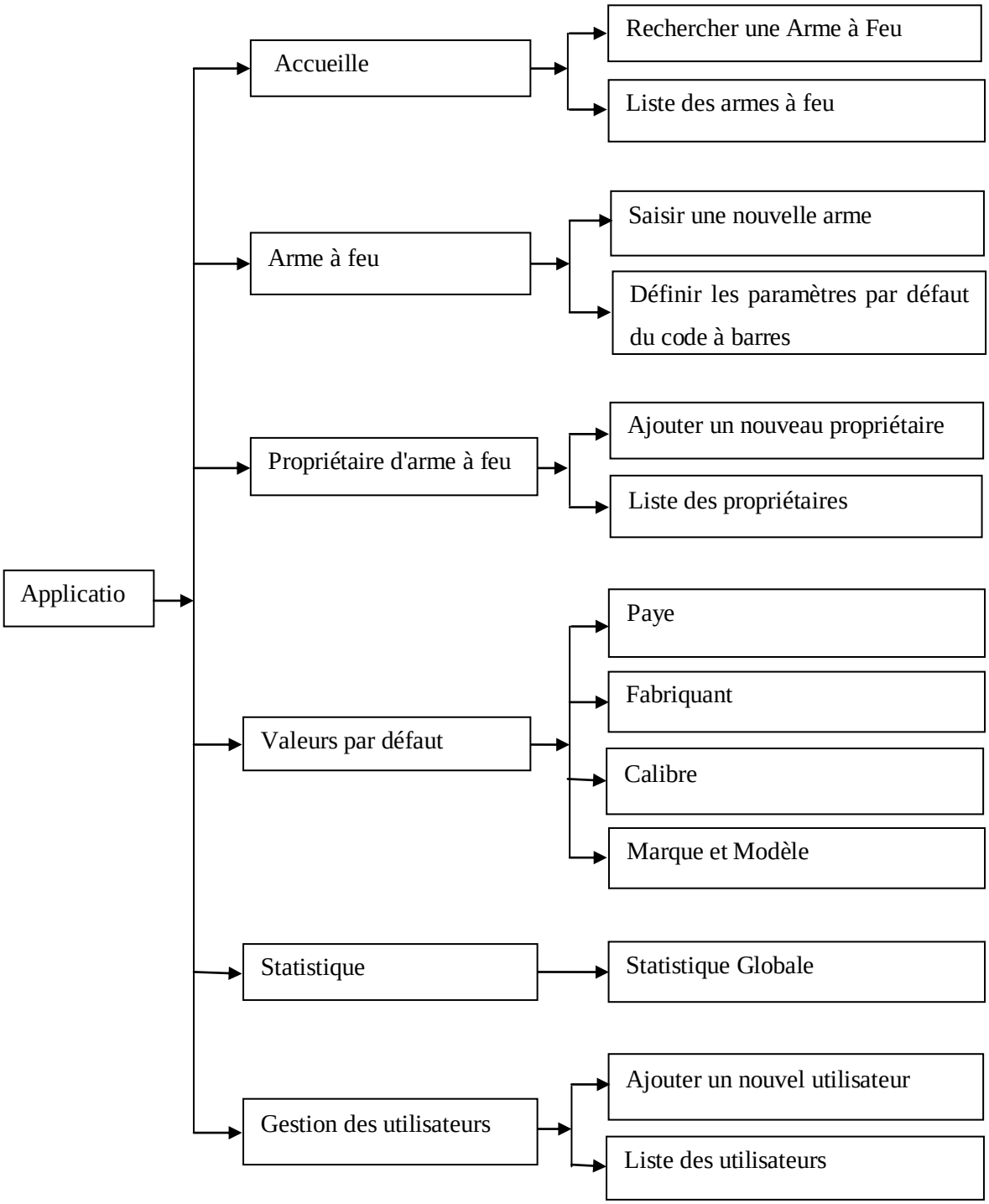


Figure IV-1 Schéma général de l'application

IV.3 Outils et langages utilisés

IV.3.1 Langages

IV.3.1.1 Java/JEE (JDK 8.2)

Java est un langage de programmation et une plate-forme informatique qui a été créée par **Sun Microsystems** en 1995 [**32**]. Le **Java Développement Kit** (JDK) désigne un ensemble de bibliothèques logicielles de base du langage de programmation Java, ainsi que les outils avec lesquelles le code Java peut être compilé et transformé en code destiné à la machine virtuelle Java.

IV.3.1.2 HTML5

Issu d'une des trois inventions à la base du Web, le HTML a été créé dans le but de pouvoir concevoir des pages web [**33**].

IV.3.1.3 CSS3

Il permet un gain de temps lors d'une modification à porter sur le style, le CSS défini dans une feuille de style externe évite une redondance de classes identiques, tout en clarifiant le code [**33**].

IV.3.1.4 JavaScript

JavaScript permet de programmer des scripts, il est à ce jour utilisé généralement sur Internet, conjointement aux pages Web [**33**].

IV.3.1.5 SQL

Étant à la fois un langage de définition, de manipulation, de contrôle des données et d'interrogation de la base de données, il est notamment très utilisé pour communiquer avec les données d'un site web [**33**].

IV.3.2 Outils

IV.3.2.1 Boostrap

Bootstrap est une collection d'outils utiles à la création de sites web et d'applications web. Il offre un ensemble de CSS et d'extensions JavaScript. Pour l'application il permet de rendre le site « responsive design » c'est-à-dire qu'il s'adaptera à n'importe quelle taille d'écran (PC, tablette, smartphone, etc.), dans le présent travail, des modèles, basées sur cet outil disponible sur le site (https://github.com), ont été utilisé dans les différentes pages JSP [**34**].

IV.3.2.2 Barecode-4j

Barcode4J est un générateur flexible pour les codes à barres écrit en Java. C'est gratuit, disponible sous la licence Apache, version 2.0 [**35**].

IV.3.2.3 JasperReports & IReport

JasperReports est une librairie Java open source dédié à l'ajout de capacités de générer des rapports aux applications Java, Web ou stand atone, JasperReports permet la représentation de données sous forme textuelle, mais aussi la génération de graphiques divers (sous forme de camembert, barre, courbe, nuage de point) [**36**].

IReport est un logiciel open source, écrit entièrement en Java, permettant, par l'intermédiaire d'une interface graphique riche, de créer des modèles de rapports au format jrxml de JasperReports. L'utilisation de ce logiciel permet de s'abstraire de la complexité de la syntaxe XML de JasperReports, et de gagner du temps lors du développement de modèles de rapport [**36**].

IV.3.3 Serveur d'applications

IV.3.3.1 Glassfish 4

Glassfish est le nom du serveur d'application Open Source Java EE5 et désormais Java EE 7 avec la version 4.1 qui sert du code au produit Oracle Glassfish Server (anciennement Sun Java System Application Server se Sun Microsystems)

IV.3.3.2 WampServer

Plateforme de développement web de type WAMP, permettant de faire fonctionner localement des scripts PHP. WampServer est un environnement comprenant deux serveurs (Apache et MySQL), ainsi que phpMyAdmin pour l'administration web des bases MySQL [**33**].

IV.3.4 Environnement de développement

IV.3.4.1 Netbeans 8.2

L'EDI NetBeans est un environnement de développement — un outil pour les programmeurs pour écrire, compiler, déboguer et déployer des programmes. Il est écrit en Java — il peut supporter n'importe quel langage de programmation. Il y a également un grand nombre de modules pour étendre l'EDI NetBeans. L'EDI NetBeans est un produit gratuit, sans aucune restriction quant à son usage [**37**].

IV.3.5 Système de gestion de base de données

IV.3.5.1 MySQL

MySQL est le système de gestion de base de données **SQL** Open Source le plus populaire, se system est développé, distribué et pris en charge par **Oracle Corporation** [**38**].

IV.4 Environnement matériel

Pendant les processus de développement et de test, nous avons utilisé un ordinateur portable avec les spécifications suivantes :

Tableau IV-1 Spécifications techniques de l'ordinateur de travail

Désignation	Caractéristiques	Système d'exploitation
Lenovo G560	**CPU :** Intel(R) Core(TM) i5 CPU M 540 @ 2.53GHz (4 CPUs). RAM : 6 Go DD : 500 Go	Windows 7. 64 bit

IV.5 Présentation de l'application

IV.5.1 Captures-écrans de l'application

L'interface principale de l'application comporte 6 rubriques principales :

1. Accueil ;
2. Arme à feu ;
3. Propriétaire d'arme à feu ;
4. Valeurs par défaut ;
5. Statistiques ;
6. Gestion des utilisateurs.

Ces rubriques se décomposent en 13 sous rubriques secondaires, auxquelles s'ajoutent d'autres fonctionnalités qu'on va voir dans la suite de ce chapitre.

IV.5.1.1 Accueil :

Décomposé en deux fenêtres permettent la recherche des armes à feu par code à barres et la consultation de leurs listes globales comme suit :

IV.5.1.2 Rechercher une Arme à Feu

La recherche des armes à feu par code à barres s'effectue par le biais de l'introduction du code de 24 caractères obtenus du scan d'une douille tirée par une arme marquée (Figure **V-2**).



Figure IV-2 Fenêtre de recherche d'arme à feu

Liste des armes à feu

Affiche la liste des codes des armes à feu saisie, avec la possibilité de visualiser les informations relatives à l'arme, ou de la supprimer (Figure **V-3**).



Figure IV-3 Fenêtre de la liste des armes à feu

IV.5.1.3 me à feu

Décomposé en deux fenêtres permettent l'achèvement de l'opération saisie des armes à feu et la définition du type et des dimensions du code à barres généré suite à cette opération comme suit :

Saisir une nouvelle arme

Cette fenêtre permet de saisir les informations relatives aux armes à feu, qui vont être converties par la suite en code de 24 caractères (Figure **V-4**).

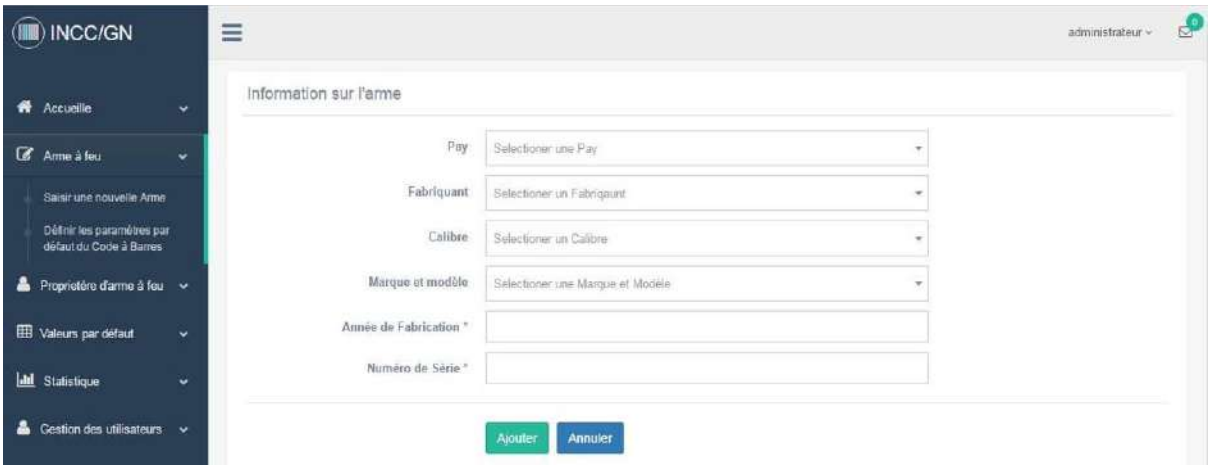


Figure IV-4 Fenêtre de saisie des armes à feu

Définir les paramètres par défaut du code à barres

Cette fenêtre permet de définir le type et les dimensions du code à barres, deux types peuvent être choisis : le code à barres linéaire 128 et le code bidimensionnel DataMatrix (Figure **V-5**).



IV.5.1.4 Propriétaire d'arme à feu

Décomposé en deux fenêtres permettent la saisie des propriétaires des armes à feu et la consultation de leurs listes globales comme suit :

Ajouter un nouveau propriétaire

Cette fenêtre permet de saisir les informations relatives aux propriétaires des armes à feu (Figure **V-6**).

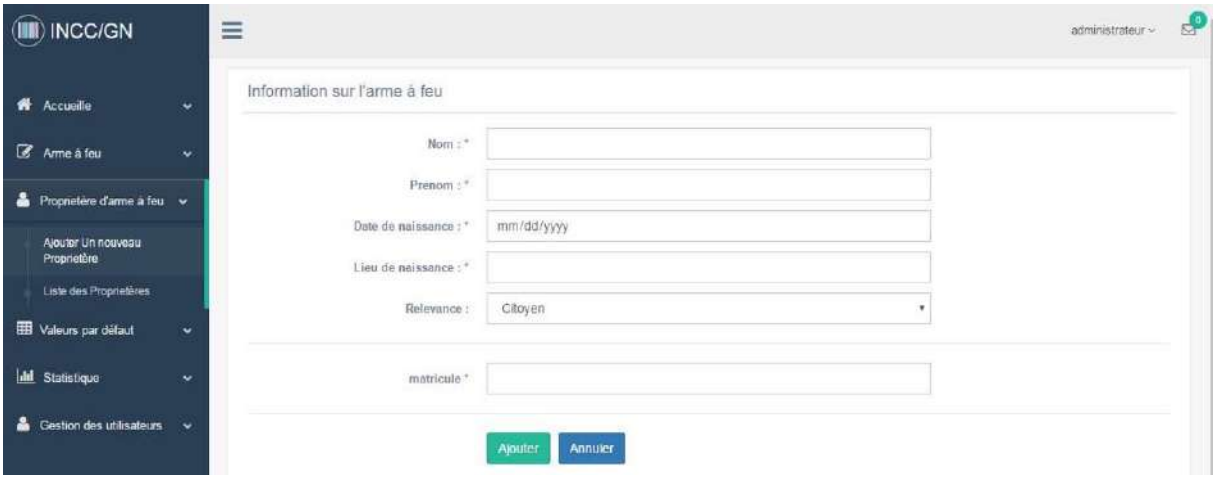


Figure IV-6 Fenêtre de saisie des propriétaires d'arme à feu

Liste des propriétaires

Cette fenêtre affiche la liste des propriétaires des armes à feu, et les enregistrements relatifs à ces personnes qui doivent disposer d'un matricule unique, utilisé comme critère de recherche dans la base des données (Figure **V-7**).

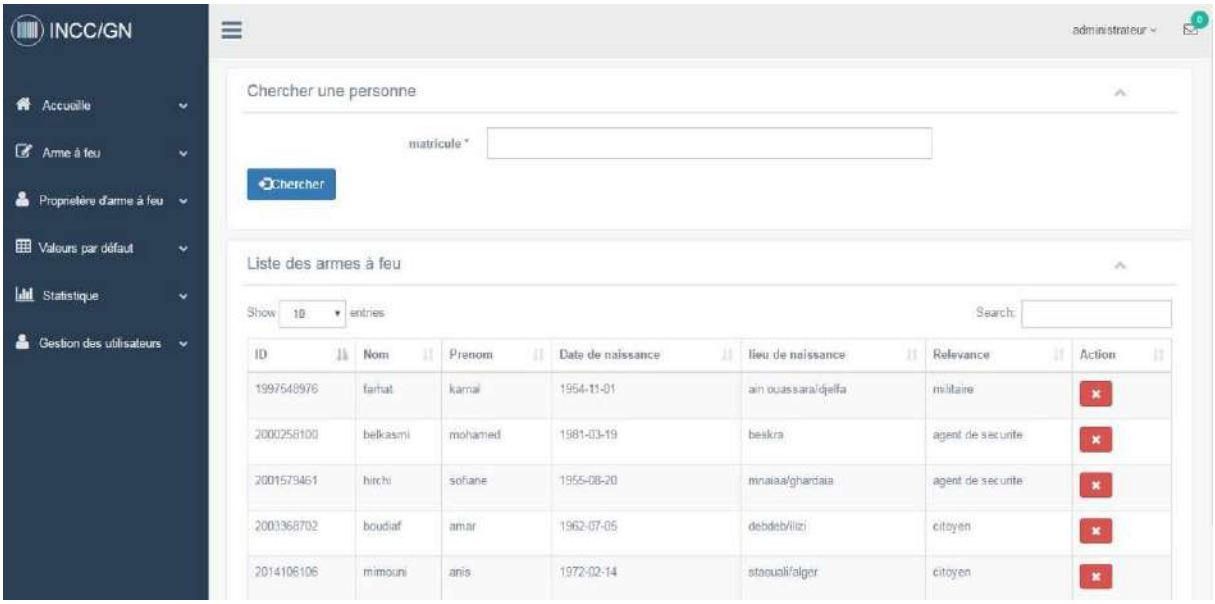


Figure IV-7 Fenêtre de liste des propriétaires

IV.5.1.5 Valeurs par défaut

Décomposé en quatre fenêtres permettent l'introduction des noms et des codes uniques aux : pays de fabrication, fabriquant, marque et modèle et calibre et par le biais des fonctionnalités suivantes :

Pays

Cette fenêtre permet d'attribuer à chaque pays un code alphanumérique unique de deux caractères (Figure **V-8**), le code choisi et celui de l'ISO 3166-1 (mise à jour le 24/02/2012).

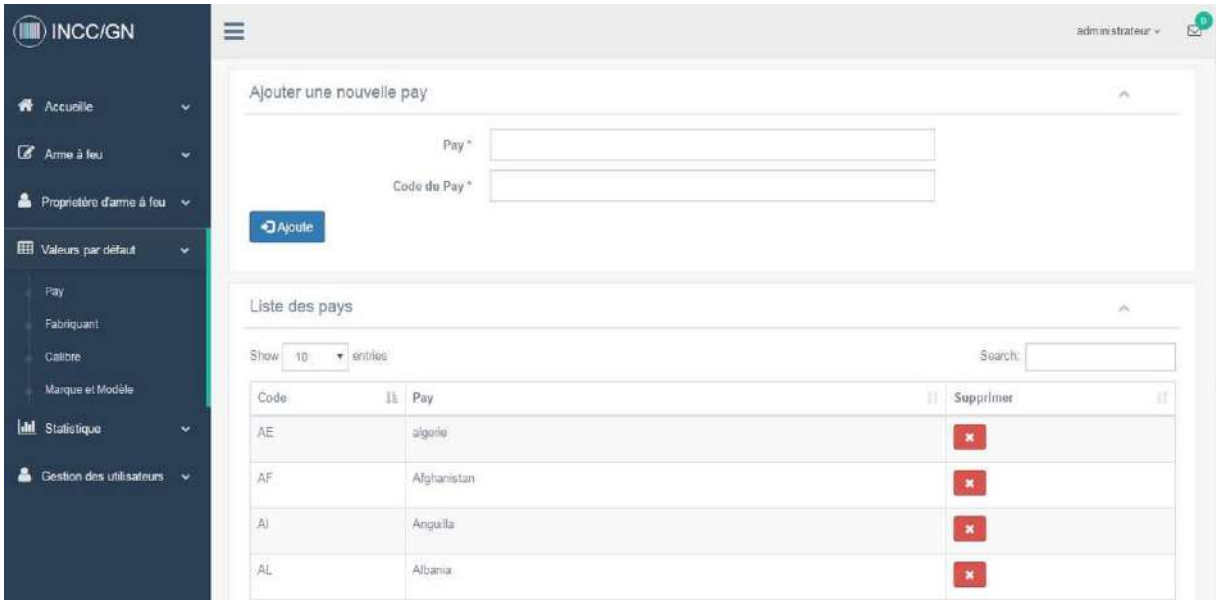


Figure IV-8 Fenêtre de codification des pays

Fabriquant

Cette fenêtre permet d'attribuer à chaque fabriquant un code alphanumérique unique de trois caractères (Figure **V-9**).

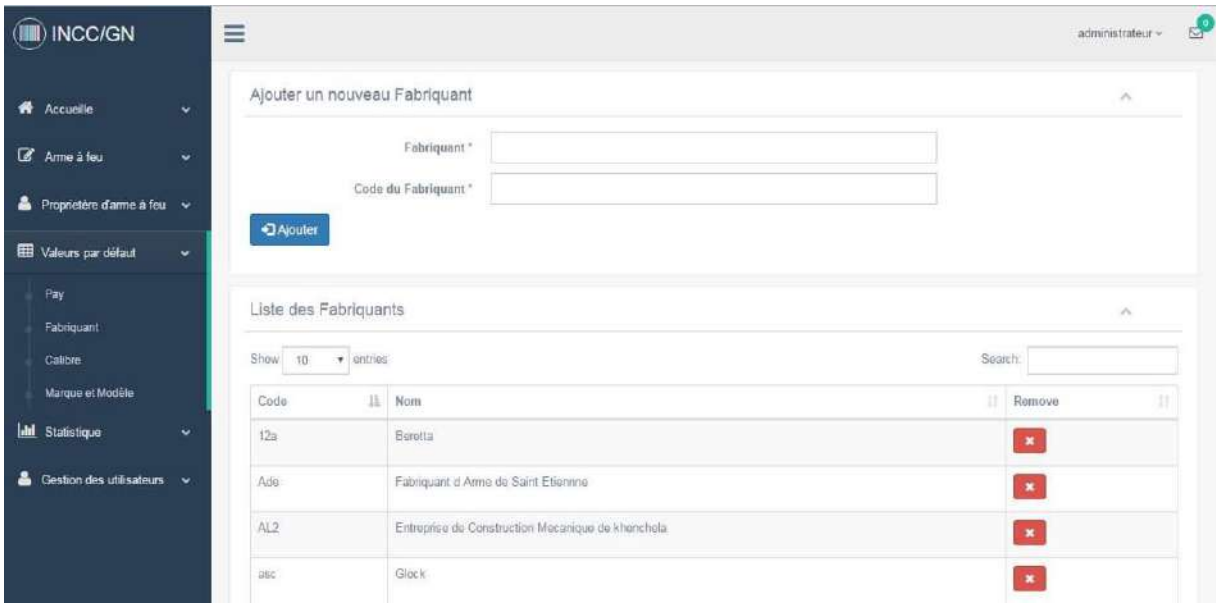


Figure IV-9 Fenêtre de codification des fabricants d'arme à feu

Calibre

Cette fenêtre permet d'attribuer à chaque calibre un code alphanumérique unique de trois caractères (Figure **V-10**).

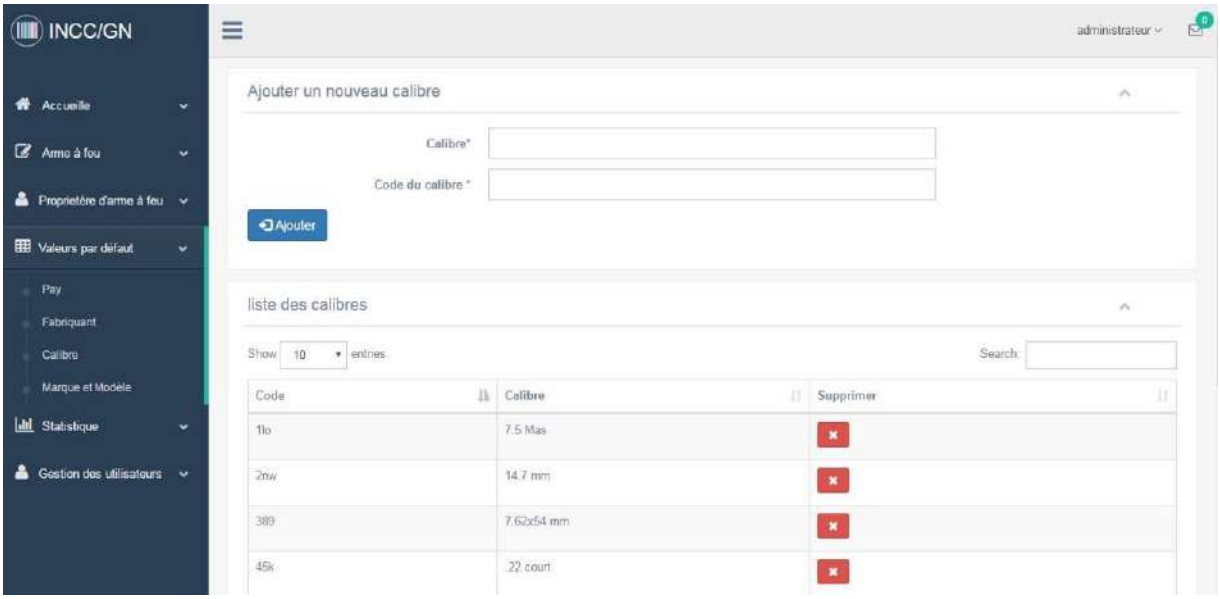


Figure IV-10 Fenêtre de codification des calibres d'armes à feu

Marque et Modèle

Cette fenêtre permet d'attribuer à chaque couple marque-modèle un code alphanumérique unique de trois caractères (Figure **V-11**).

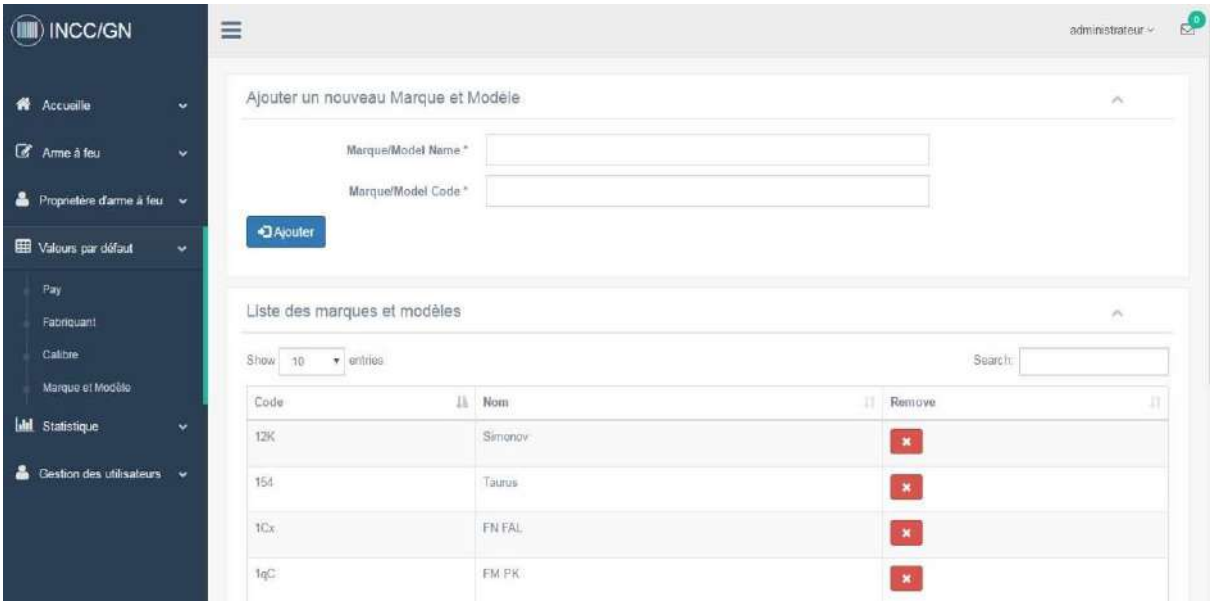


Figure IV-11 Fenêtre de codification des marques et modèles d'arme à feu

IV.5.1.6 Statistiques

Statistiques Globales

Cette fenêtre fournie des statistiques globales à propos des enregistrements existants dans la base de données (Figure **V-12**).



Figure IV-12 Fenêtre des statistiques globales

IV.5.1.7 Gestion des utilisateurs

Ajouter un nouvel utilisateur

Cette fenêtre permet à l'administrateur de l'application d'ajouter de nouveaux utilisateurs suivant les trois catégories existantes (Figure **V-13**).

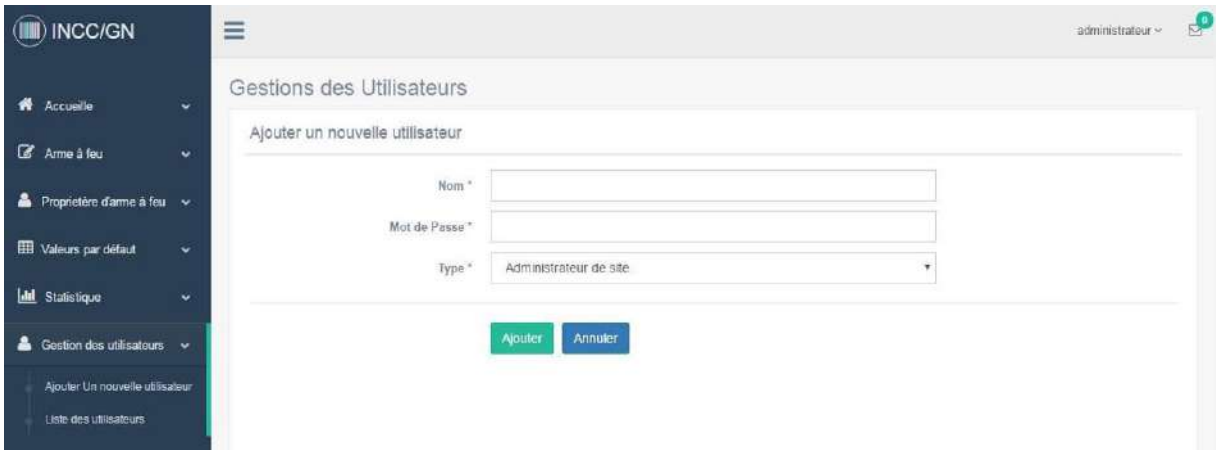


Figure IV-13 Fenêtre d'ajout d'un nouvel utilisateur de l'application

Liste des utilisateurs

Cette fenêtre affiche la liste des utilisateurs de l'application, et permet à l'administrateur de l'application de les supprimer en cas de nécessité (Figure **V-14**).

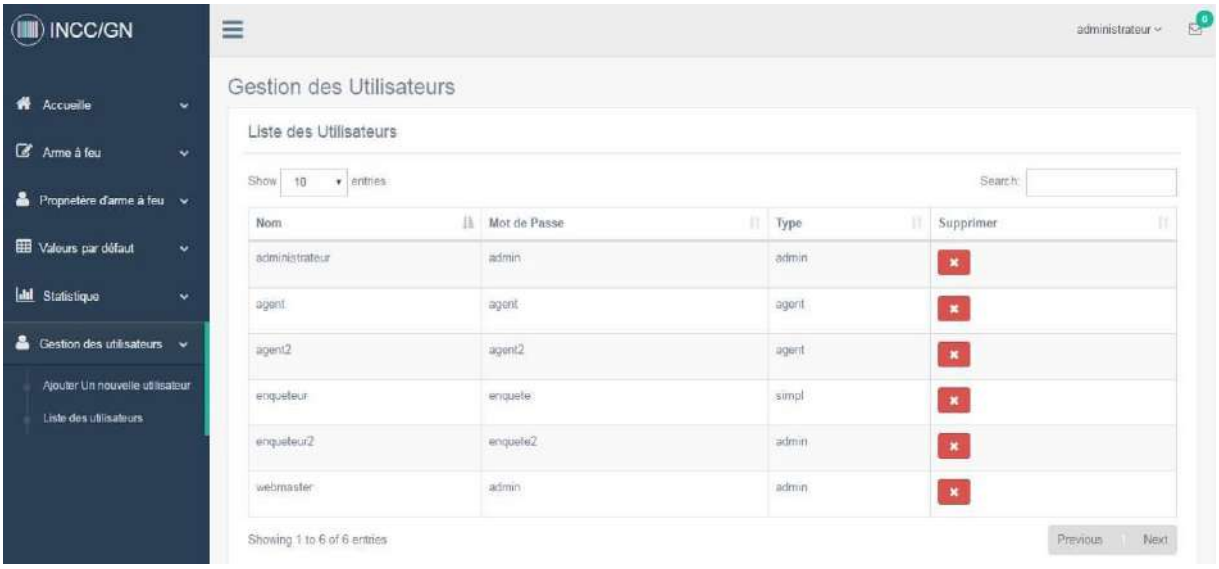


Figure IV-14 Fenêtre de liste des utilisateurs

IV.5.1.8 Autres fonctionnalités

Messagerie

Envoyé un message

Cette fenêtre permet d'assurer la connexion entre l'administrateur et les autres utilisateurs de l'application afin de les assister et de fournir des réponses et des solutions aux problèmes rencontrés (Figure **V-15**).

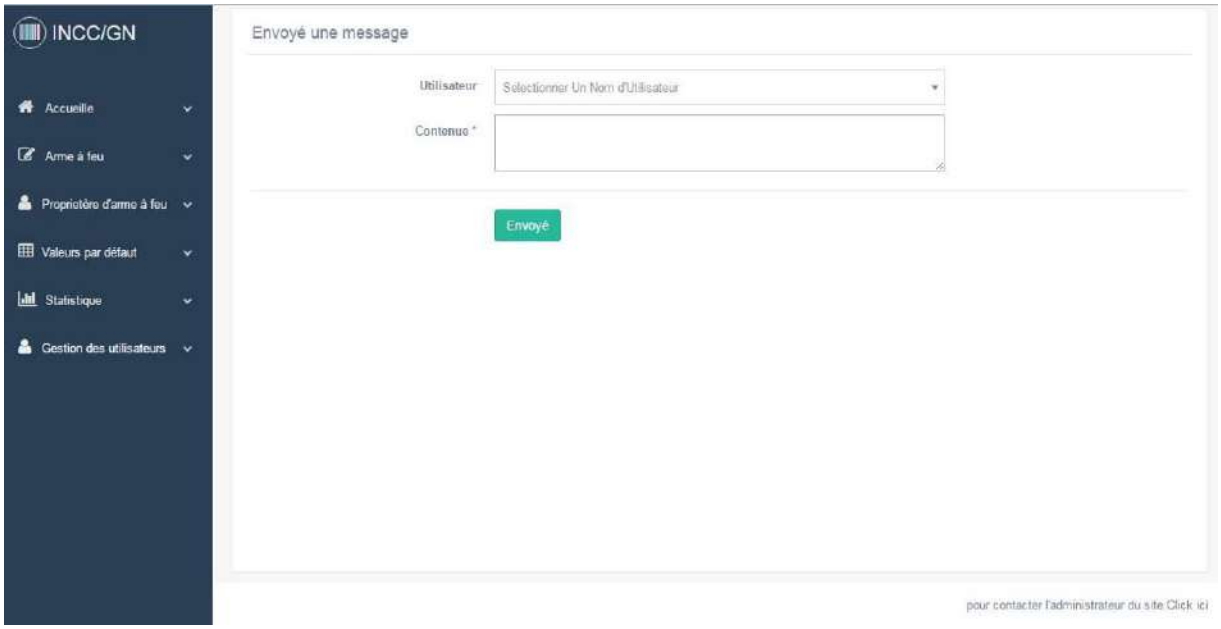


Figure IV-15 Fenêtre d'envois de messages

Liste des messages

Cette fenêtre (Figure **V-16**) affiche la liste des messages reçus et permet de les supprimer après traitement et réponse.



Figure IV-16 Fenêtre des messages reçus

Fenêtres d'accueil

Les utilisateurs de type Agent de saisie et enquêteur possèdent des fenêtres d'accueil réduites (Figure **V-17** et Figure **V-18**) permettent l'achèvement de leurs tâches.



Figure IV-17 Fenêtre d'accueil d'utilisateur de type agent de saisie



Figure IV-18 Fenêtre d'accueil d'utilisateur de type enquêteur

IV.5.1.9 Sécurité de l'application

La sécurité de l'application est assurée par les points suivants :

- L'accès à l'application est contrôlé par authentification d'utilisateurs ;
- L'accès à chaque page jsp est limité à un type utilisateur bien défini ;
- L'exécution des actions par les servlets est conditionnée par le type d'utilisateur qui a ordonné ces actions ;

- Chaque entrée est soumise à un contrôle systématique en matière du type, de taille et de composition (interdiction des caractères spéciaux) ce qui permet de protéger l'application des injections SQL ;
- Les enregistrements de chaque formulaire doivent être accompagnés par un jeton de sécurité généré automatiquement (**Token**) ;
- La déconnection automatique après 05 minutes d'inactivité, dans le cas où l'utilisateur oublie de se déconnecter en quittant son poste.

Messages d'erreurs

La conception de l'application inclue trois types de messages d'erreurs qui peuvent s'afficher aux utilisateurs comme suit :

Message 403

Indique un problème d'autorisation d'accès (Ex : Introduction de URL d'une page restreinte), ce message d'erreur ne s'affiche pas aux utilisateurs de type administrateur (Figure **V-19**).



Figure IV-19 Message d'erreur 403

Message 404

Indique que la page réclamée n'existe pas (Ex : Page **JSP** inexistante) (Figure **V-20**).



Figure IV-20 Message d'erreur 404

Message 500

Indique un problème inattendue (Ex : disfonctionnement du SGBD (Figure **V-21**).



Figure IV-21 Message d'erreur 500

IV.5.2 Les états de sorties de l'application

Les états de sorties de l'application sont illustrés par le biais, du montage de deux scénario d'utilisation (Figure **V-22**), montrant ainsi le rôle de chaque utilisateurs pour l'obtention de ces résultats.

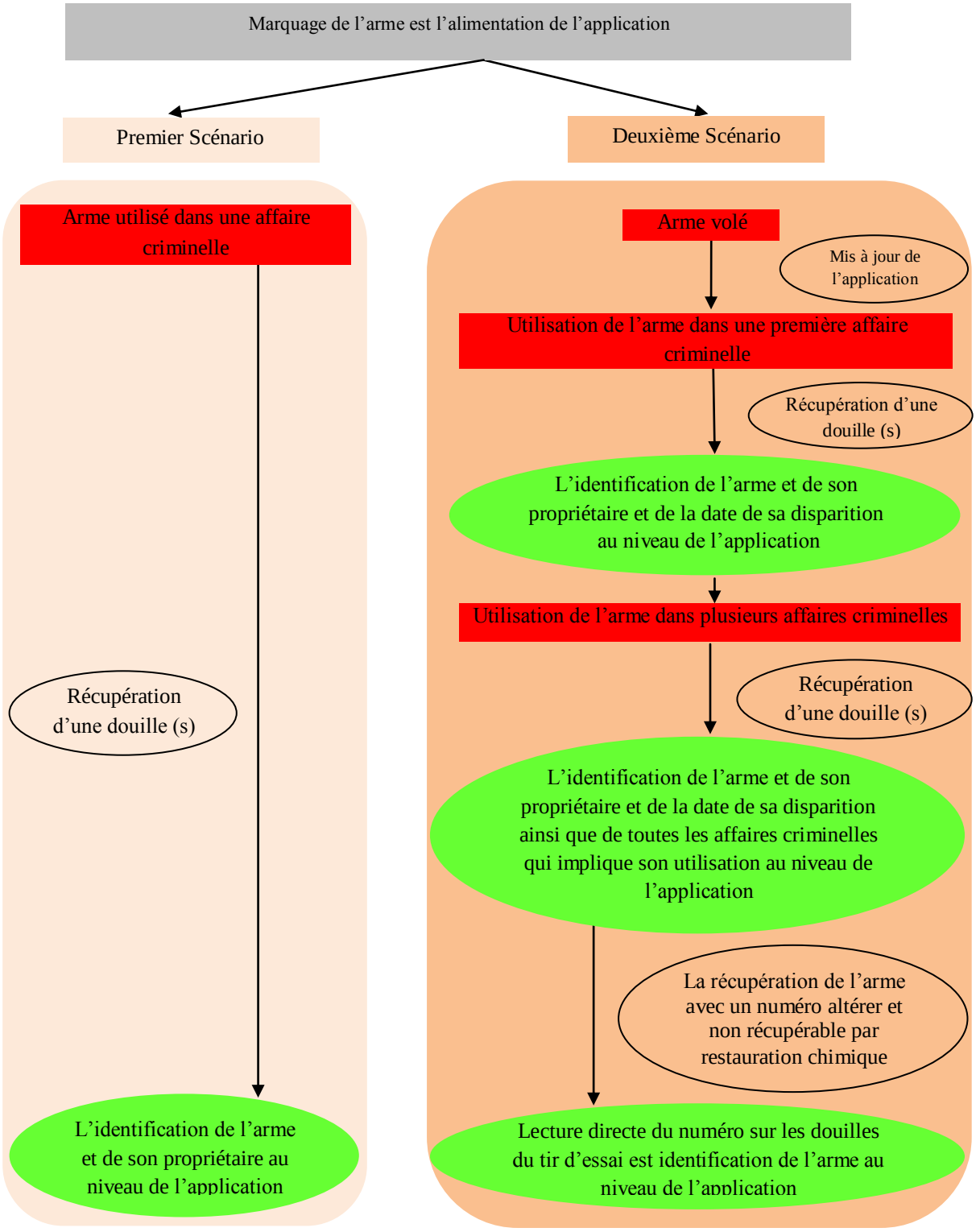


Figure IV-22 Schéma des deux scénarios adoptés pour illustré les états de sorite de l'application

IV.5.2.1 Premier scénario

Un pistolet semi-automatique de marque Makarov et de calibre 9x18 mm a été attribué à un agent de sécurité à Biskra le 15/07/2010, les informations relatives à l'arme ont été saisies et codées comme suit : **RUmd19921sdAK21548963k54**, ce code est converti en code à barres illustré dans la figure ci-dessous :



Figure IV-23 Code à barres de l'arme de crime du premier

En date du 14/04/2011, suite à un vol de cheptel à Ghardaïa, deux douilles de calibre 9x18 mm ont été récupérées par les enquêteurs et qui présentent des marquages DataMatrix, le directeur d'enquête scanne les douilles et introduit le code tel qu'illustré dans la figure ci-dessous :



Figure IV-24 Recherche d'un code dans l'application (Scénario 01)

Le résultat de la recherche a fait ressortir que l'arme du crime est bien celui dudit agent de sécurité (Figure **V-25**).

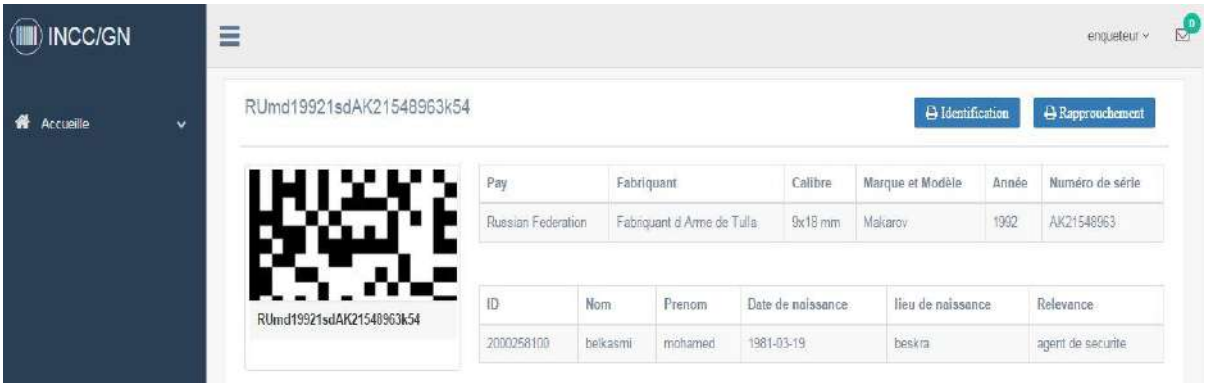


Figure IV-25 Résultats de recherche dans l'application (Scénario 01)

Un rapport d'identification est fourni à l'enquêteur sous format PDF tel qu'illustré dans la Figure **V-26**.

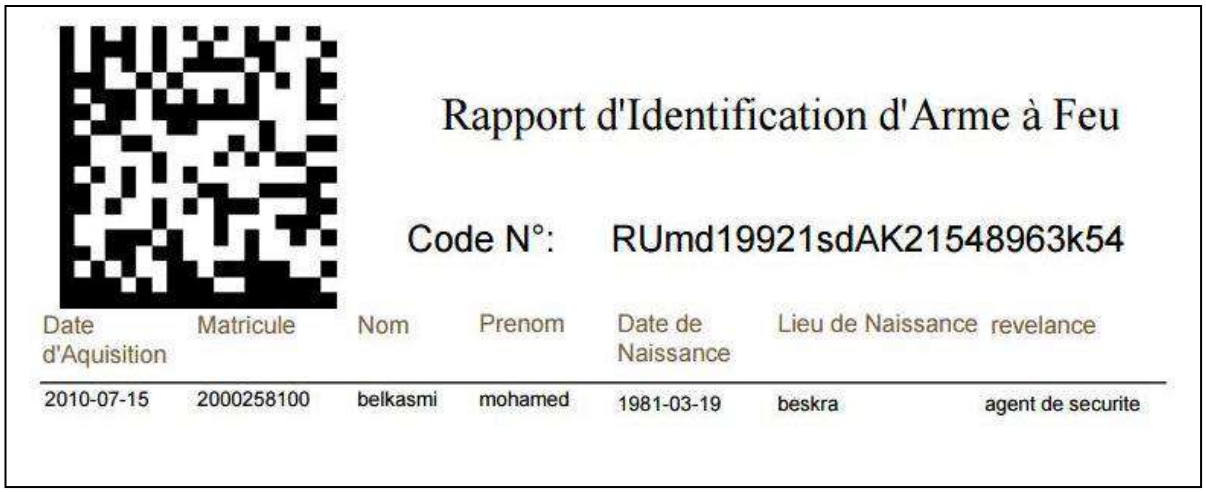


Figure IV-26 Rapport d'identification fournit à l'enquêteur (Scénario 01)

IV.5.2.2 Deuxième scénario

Un Fusil à pompe de marque Baïkal et de calibre 12, a été attribué à un citoyen à Debdeb/Illizi le 15/07/2010, les informations relatives à l'arme ont été saisies et codées comme suit : **RUms7988sqS0088125486kl7**, ce code est converti en code à barres illustré dans la figure ci-dessous



Figure IV-27 Code à barres de l'arme de crime du deuxième

En date du 20/10/2010, le citoyen s'est présenté devant les enquêteurs pour déclarer le vol de son arme le même jour à Debdeb/Illizi. Une mise à jour du champ vol de l'application (Figure **V-28**, Figure **V-29**) a été faite par réquisition des enquêteurs.

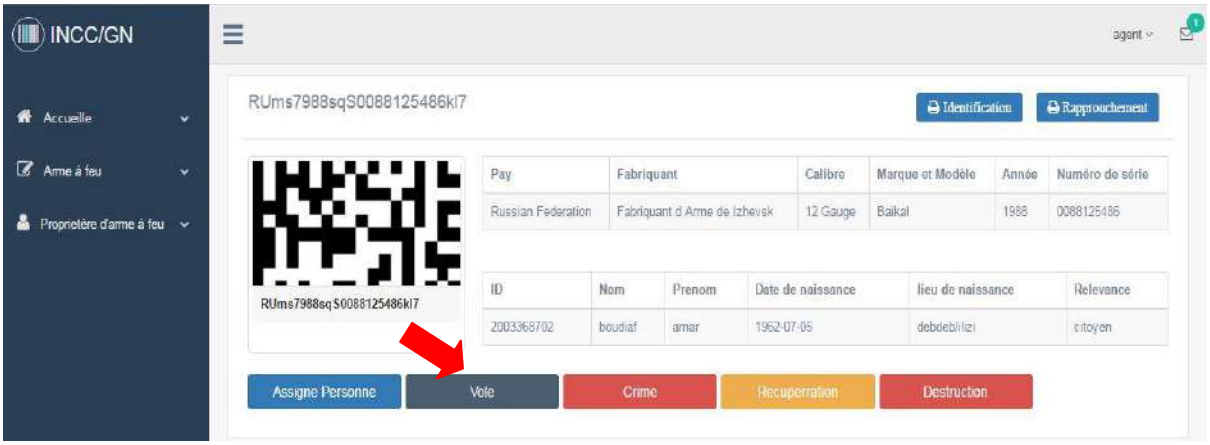


Figure IV-28 Visualisation de l'arme volée sur une session de type agent de saisie

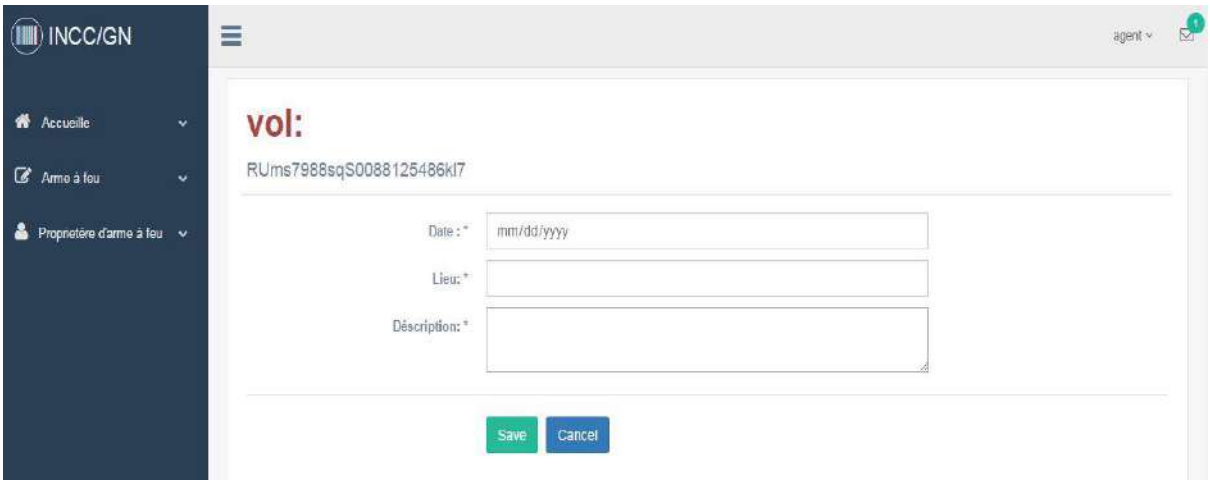


Figure IV-29 Fenêtre de mise à jour pour les armes volées

En date du 18/01/2012, suite à un homicide volontaire pour vols, survenue dans la commune d'El borma à Ouargla, trois (03) douilles de calibre 12 ont été récupérées par les enquêteurs et qui présentent des marquages dataMatrix, le directeur d'enquête à scanné les douilles et fait une recherche dans l'application qui a abouti à confirmer qu'il s'agit bien de l'arme volée le 20/10/2010 (Figure **V-30**). Un rapport d'identification est fourni à l'enquêteur (Figure **V-31**) et une mise à jour du champ vol de l'application (Figure **V-32**) a été faite suite à cet évènement.

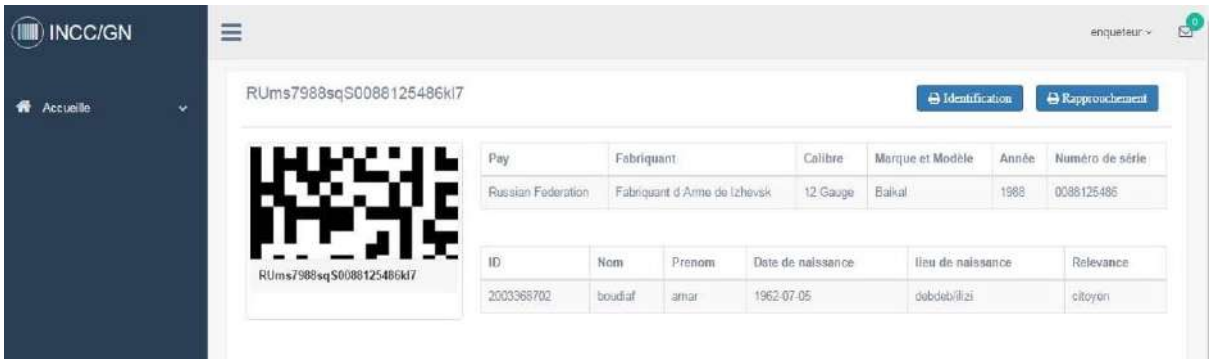


Figure IV-30 Résultats de recherche dans l'application (Scénario 02)

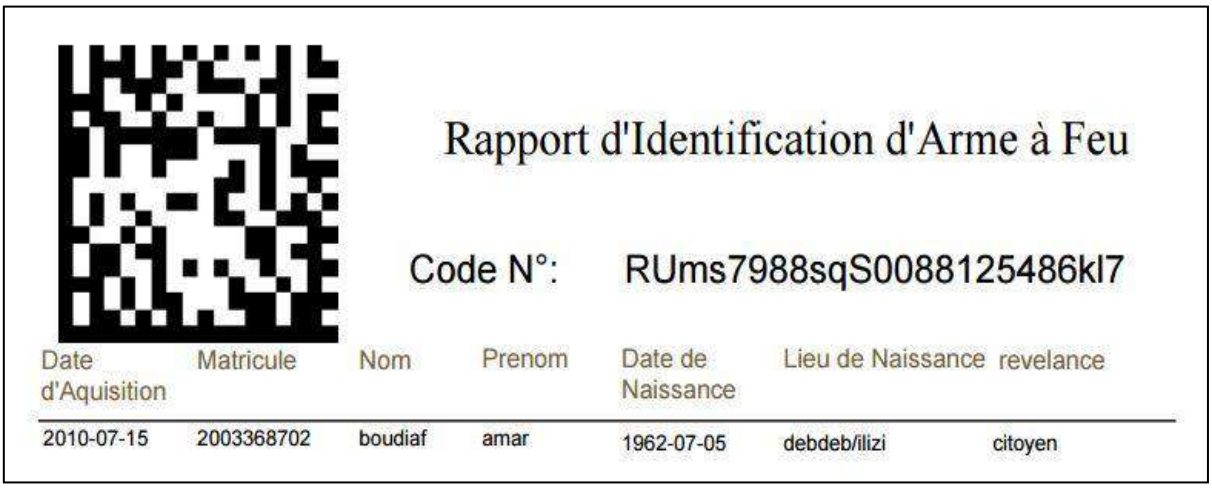


Figure IV-31 Rapport d'identification fournit à l'enquêteur (Scénario 02)

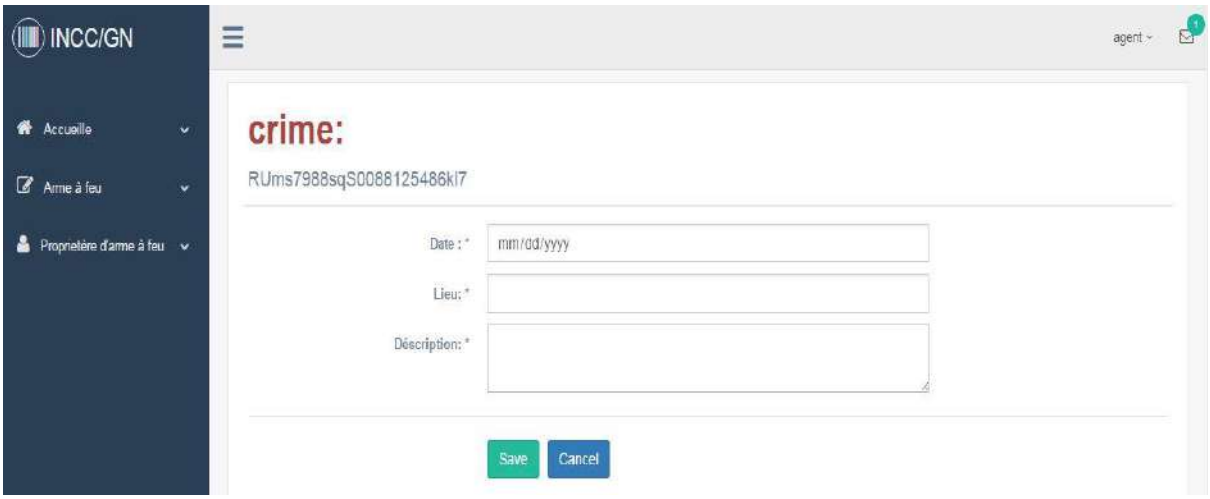
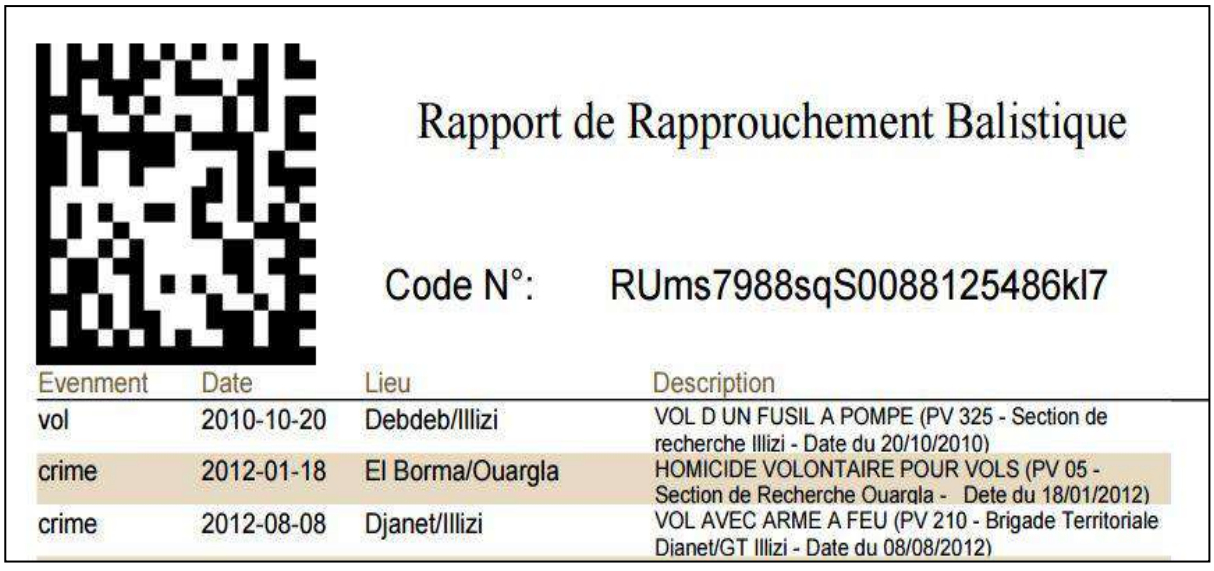


Figure IV-32 Fenêtre de mise à jour pour les crimes par armes à feu

En date du 08/08/2012, suite à un vol avec arme à feu survenue dans la commune de Djanet à Illizi, quatre (04) douilles de calibre 12 ont été récupérées par les enquêteurs et qui présentent des marquages DataMatrix, le directeur d'enquête a scanné les douilles et lancé une recherche dans l'application qui a confirmé qu'il s'agit bien de l'arme volée le 20/10/2010. Un rapport d'identification (Figure **V-31**) est un autre rapport de rapprochement (Figure **V-33**) ont été fourni à l'enquêteur et une mise à jour du champ crime de l'application a été faite suite à cet évènement.



Rapport de Rapprouchement Balistique

Code N°: RUms7988sqS0088125486kl7

Evenment	Date	Lieu	Description
vol	2010-10-20	Debdeb/Illizi	VOL D UN FUSIL A POMPE (PV 325 - Section de recherche Illizi - Date du 20/10/2010)
crime	2012-01-18	El Borma/Ouargla	HOMICIDE VOLONTAIRE POUR VOLS (PV 05 - Section de Recherche Ouargla - Dete du 18/01/2012)
crime	2012-08-08	Djanet/Illizi	VOL AVEC ARME A FEU (PV 210 - Brigade Territoriale Djanet/GT Illizi - Date du 08/08/2012)

Figure IV-33 Rapport de rapprochement balistique générer après récupération de l'arme (Scénario 02)

En date du 19/03/2014, suite à l'arrestation d'un groupe de malfaiteurs dans la commune de In-Amenas à Illizi, un fusil à pompe, avec un numéro de série limé, a été récupéré. Le directeur d'enquête a envoyé l'arme au laboratoire pour expertise. Après avoir tiré avec l'arme en question, l'expert a constaté la présence des marquages DataMatrix, en faisant un scan des douilles et une recherche dans l'application, l'expert à obtenus la confirmation qu'il s'agit bien de l'arme volée le 20/10/2010. Un

rapport d'identification est un autre rapport de rapprochement ont été fournis à l'enquêteur (Figure **V-31** et Figure **V-36**, et une mise à jour du champ récupération de l'application (Figure **V-34**) a été faite suite à cet évènement.

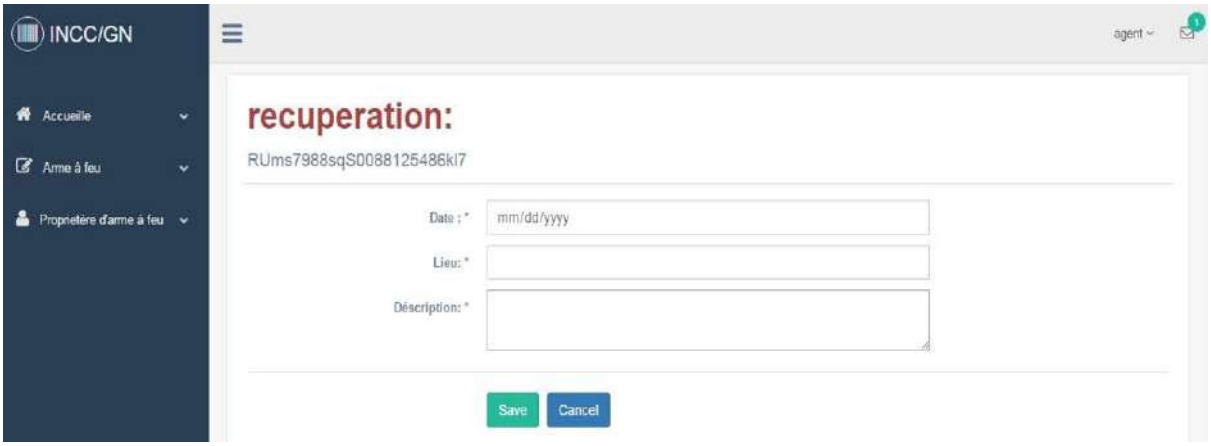


Figure IV-34 Fenêtre de mise à jour pour les armes récupérées

En date du 10/09/2016 l'arme est détruite. Une mise à jour du champ vol de l'application (Figure **V-35**) suite à cet évènement.

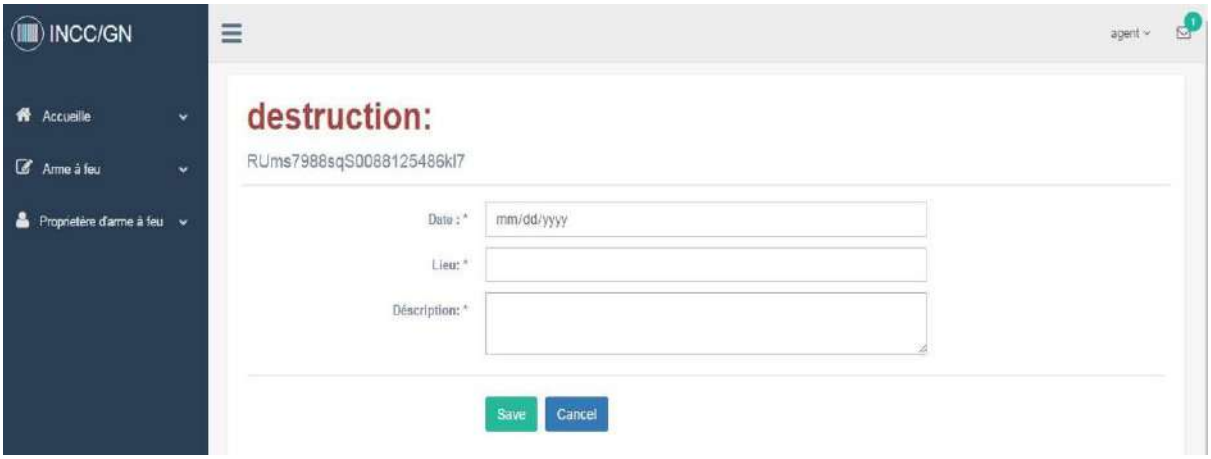
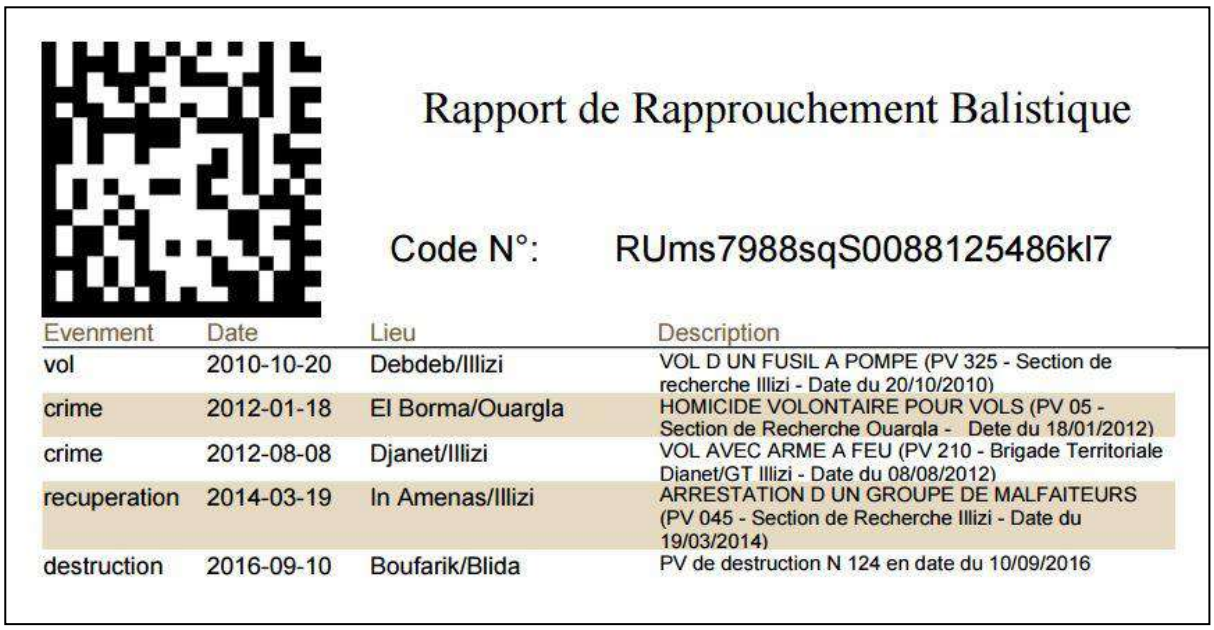


Figure IV-35 Fenêtre de mise à jour pour les armes objets de destruction

Après chaque consultation l'application peut fournir un rapport de rapprochement entre les affaires antérieures, le rapport final de cette affaire est illustré dans la figure ci-dessous.



Rapport de Rapprouchement Balistique

Code N°: RUms7988sqS0088125486kl7

Evenment	Date	Lieu	Description
vol	2010-10-20	Debdeb/Illizi	VOL D UN FUSIL A POMPE (PV 325 - Section de recherche Illizi - Date du 20/10/2010)
crime	2012-01-18	El Borma/Ouargla	HOMICIDE VOLONTAIRE POUR VOLS (PV 05 - Section de Recherche Ouargla - Dete du 18/01/2012)
crime	2012-08-08	Djanet/Illizi	VOL AVEC ARME A FEU (PV 210 - Brigade Territoriale Djanet/GT Illizi - Date du 08/08/2012)
recuperation	2014-03-19	In Amenas/Illizi	ARRESTATION D UN GROUPE DE MALFAITEURS (PV 045 - Section de Recherche Illizi - Date du 19/03/2014)
destruction	2016-09-10	Boufarik/Blida	PV de destruction N 124 en date du 10/09/2016

Figure IV-36 Rapport de rapprochement balistique final fournit à l'enquêteur (Scénario 02)

IV.6 Conclusion

Dans le présent chapitre on a développé un outil d'aide destiné aux enquêteurs. Cet Outil permet de répondre, au moment de la constatation, à des questions indispensables à la résolution d'enquêtes criminelles par armes à feu telles que : Quelle est l'arme du crime ? Qui est son propriétaire ? Quelle sont les cimes dans lesquelles cette arme a été utilisée ?...etc.

Le point fort de l'application est qu'elle permet de répondre à ces questions au moment opportun sans recours au laboratoire et aux équipements couteux tel que le système d'identification automatique et le macroscope de comparaison. En plus elle n'exige pas des ressources humaines spécialisées pour son exploitation – tous les enquêteurs peuvent s'en servir-.

L'application offre la possibilité aux utilisateurs d'effectuer des recherches et des statistiques avec des mots clés et critères multiples. Le tout sur un navigateur web pouvant s'adapter à n'importe quel support technologique (ordinateur, tablette, portable…). Cependant, des améliorations possibles existent surtout au niveau de la partie sécurité.

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Dans le cadre du présent projet de fin d'études, nous avons proposé une nouvelle méthode de traçage et d'identification des armes à feu par gravure de la chambre à cartouches. La faisabilité de la méthode a été démontrée par simulation numérique. Les résultats obtenus, numériques et expérimentaux, ont permis de confirmer et la fidélité du transfert de traces à l'échelle microscopique. Enfin, et afin de permettre l'exploitation, in situ, de la technique proposée, nous avons développé une application réseau de la démarche proposée afin d'assister les enquêteurs en matière d'identification et de traçage des armes à feu d'une part, et d'établir des rapprochements balistique d'autre part.

La technique proposée et testée peut contribuée efficacement à :

- Porter plus d'**objectivité** au domaine de l'identification des armes à feu ;
- Augmenter l'**individualisation** des armes à feu grâce à un système complexe de codification et de marquage qui donne un identifiant **consistant** ;
- Résoudre les problèmes de l'éloignement géographique entre la scène de crime et le laboratoire ;
- Épargner des enveloppes budgétaires dédier à l'acquisition et l'entretien des systèmes d'identification balistique ;
- Détecter la source de tout détournement d'armes, et constitue par conséquent un nouvel outil contre le trafic illicite des armes à feu, en réduisant le risque d'approvisionnement des groupes criminels en arme à feu ;
- Récupérer les numéros de séries altérés sans recours à la restauration chimique.

En perspectives à ce travail, il est, avant tout, nécessaire d'étudier et de mettre en œuvre une technique expérimentale de marquage des armes à feu, capable de graver un code de type DataMatrix sur la surface interne de la chambre à cartouches. Comme il en existe plusieurs, une étude comparative doit être élaborée afin de déterminer la technique la plus fiable, la moins couteuse en moyens technologiques et surtout celle qui présente un minimum d'atteinte aux fonctionnalités de l'arme. À l'issue de cette étude, un protocole de marquage approprié pour chaque type d'arme à feu doit être mis au point.

Sur le plan, théorique, et si les moyens de calcul numérique le permettent, il est intéressant de refaire les simulations en tenant compte de l'effet de l'endommagement par fatigue de la zone marquée, sur la reproductibilité du marquage, sur les douilles, après un grand nombre d'utilisations.

De plus, le marquage des pièces maitresses de l'arme, avec le code à barres du présent travail, va permettre, en cas de récupération d'une arme présentant un changement de ces pièces, d'identifier l'arme originale de chaque pièce et son propriétaire, et établir ainsi des rapprochements balistiques entre les armes récupérées des groupes criminels (Ex. culasse de l'affaire A, porte culasse de l'affaire B, Canon de l'affaire C).

BIBLIOGRAPHIE

[1] (2017, Apr.) Interpol. [Online]. www.interpol.int/firearms

[2] "Strengthening Forensic Science in the United States: A Path Forward," 0-309-13131-6, 2009.

[3] "Forensic Science in Criminal Courts: Ensuring Scientific Validity of Feature-Comparison Methods," 2016.

[4] The Association of Firearm and Toolmark Examiners (AFTE). (2017, Apr.) FirearmsID. [Online]. http://www.firearmsid.com/glossary/index.asp

[5] Alain Gallusser, *Traces d'armes à feu : Expertise des armes et des éléments de munition dans l'investigation criminelle*., 2014.

[6] (2017, Apr.) AFTE. [Online]. https://afte.org/

[7] (2017, Apr.) Police Scientifique. [Online]. https://www.police-scientifique.com/Armes-a-feu/analyse-des-traces

[8] The Educational Fund to Stop Gun Violence. [Online]. http://efsgv.org/wp-content/uploads/2013/06/Microstamping-Technology-Precise-and-Proven-Memo.pdf

[9] Iowa State University Taylor Nicole Grieve, *Objective analysis of toolmarks in forensics.*, 2013.

[10] Australia), KENG T.TAN(GO-CDMA Limited, Hong Kong) HIROKO KATO et DOUGLAS CHAI(Edith Cowan University, *Barcodes for Mobile Devices*.: Cambridge University Press, 2010.

[11] Suman Chakrabarti et David W. Scott (NASA Marshall Space Flight Center) Chantrice Moss (Embry-Riddle Aeronautical University), "Parts Quality Management: Direct Part Marking of Data Matrix Symbol for Mission Assurance," 2013.

[12] GS1 Healthcare Japan Instrument Marking WG, *Surgical Instrument Marking Operations Guide*., 2011.

[13] Videojet Technologies SAS, *Méthodes de marquage direct de pièces*., 2014.

[14] SICK AG, *Competence Guide Direct Part Marking*. Waldkirch; Germany, 2007.

[15] Scanlife. (2012) http://www.bidi.es/en/data-matrix-barcodes.

[16] Cognex Corporation., *Implementing Direct Part Mark Identification: 10 Important Considerations.*, 2004.

[17] International Small Arms Control Standards (ISACS) Inter-Agency Support Unit-United Nations Coordinating Action on Small Arms (CASA), *INTERNATIONAL SMALL ARMS CONTROL STANDARD 'Marking and recordkeeping'*., 2012.

[18] TRIKI Mocef, *Étude de l'empreinte du percuteur à tête hémisphérique sur différentes amorces à percussion centrale*., 2016.

[19] Inc ANSYS, *ANSYS, Inc. Version 15.0*.

[20] Amer Hameed et Bryan Lawton Avanish Mishra, *A Novel Scheme for Computing Gun Barrel Temperature Historyand Its Experimental Validation*.: Journal of Pressure Vessel Technology, 2010.

[21] Dr.Nirmal Kant Singh, Manoj kumar Vikas, "COOK OFF STUDY OF A 120 MM GUN BARREL USING FINITE ELEMENT METHOD," vol. 3, no. 1, 2015.

[22] Alvin Byars. Thermodynamic Efficiency of the.300 Hawk Cartridge. [Online]. http://archive.is/20130210133347/www.z-hat.com/Efficiency%20of%20the%20300%20Hawk.htm

[23] (2017, Apr.) Premium N100 Rifle Powders. [Online]. http://www.vihtavuori.com/en/powders/n100.html

[24] *Reloading Guide for Centerfire Cartridges/Edition 13*.: Vihtavuori, 2014.

[25] Y., Kato, T. et Mori, K Abe, "Joinability of aluminium alloy and mild steel sheets by self-piercing rivet," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 177, pp. 417-421, June 2006.

[26] R., Hanssen, A.G., Aalberg, A., Langseth, M Porcaro, "Joining of aluminium using self-piercing riveting: testing, modelling and analysis.," *International Journal of Crashworthiness*, vol. 9, pp. 141-154, Mar. 2004.

[27] James A. Boatright, *Yielding of Brass Case Walls in the ChamberA Technical Note*., 2009.

[28] Sébastien FAYOLLE, *ETUDE DE LA MODELISATION DE LA POSE ET DE LA TENUE MECANIQUE DES ASSEMBLAGES PAR DEFORMATION PLASTIQUE*., 2008.

[29] (2003) [Online]. http://www.cip-bobp.org/homologation/uploads/tdcc/tab-i/7-62-x-39-fr.pdf

[30] winpreset. [Online]. http://www.winpreset.com/produits-et-services/marquage-gravure-laser-datamatrix/

[31] Ragot Alexis, *Outil de gestion d'une bibliothèque personnelle*., 2014.

[32] (2017, Apr.) java. [Online]. https://www.java.com/fr/download/faq/whatis_java.xml

[33] ED-DAHMOUNI Bouthayna, *Conception et réalisation d'une application pour la gestion des stagiaires*., 2013.

[34] colorlib. (2017, Apr.) https://colorlib.com. [Online]. https://colorlib.com/polygon/gentelella/index.html

[35] (2017, Apr.) Welcome to Barcode4J. [Online]. http://barcode4j.sourceforge.net/

[36] J-Philippe Wilsch, *Etude / Appel à commentaires JasperReports & iReport*., 2008.

[37] (2017, Apr.) https://netbeans.org. [Online]. https://netbeans.org/index_fr.html

[38] What is MySQL? [Online]. https://dev.mysql.com/doc/refman/5.7/en/what-is-mysql.html

[39] O. Ohar and T. Lizotte, *The Stochastic nature of Firearm Firing Pin Impressions Revealed by the use of Intentional Firearm Microstamp (IFM).*, 2009.

[40] Orest Ohar Todd E. Lizotte, *Forensic Firearm Identification of Semiautomatic Handguns Using Laser Formed Microstamping Elements*.: Microstamping Technology Transfer Center, Pivotal Development Company, 2008.

[41] Daniel KREMER, *Usinage par électroérosion*.: Téchniques de l'ingénieur, Oct. 2000.

[42] (2017, Apr.) FirearmsID. [Online]. http://www.firearmsid.com/

[43] (2017, Apr.) Helpgun. [Online]. http://helpgun.com

ANNEXE

ANNEXE A : MISE EN PLAN

ANNEXE B : TECHNIQUES DE MARQUAGE

Techniques de marquage

I. Démarche à suivre pour la méthode intrusive

Préparation du stencil

- Utiliser le fer à souder pour dessiner l'image inverse (effet miroir) de la forme à graver sur le ruban adhésif.

Préparation de l'arme

- vérifier toutes les composantes et les fonctionnalités de l'arme ;
- Démonter l'arme et garder seulement le canon et les parties solidaires.
- Fixer le canon de l'arme sur le chevalet du tir ;
- Nettoyer et déshydrater la chambre.

Préparation de l'équipement de marquage

- Attacher deux fils électriques aux bornes (+) et (-) du transformateur ;
- Couper les extrémités des cotons tiges ;
- Attacher une des parties coupées, sur le fil électrique lié à la borne (–) du transformateur ;
- Fixer la pince crocodile sur l'extrémité du fil électrique lié à la borne (+) du transformateur ;
- Préparer une solution saturée d'eau salée.

Gravure

- Placer le ruban à l'intérieur de la chambre ;
- Fixer la pince crocodile sur la bouche du canon ;
- Brancher le transformateur à la source de courant ;
- Rincer le coton-tige à l'intérieur de la solution puis le passer prudemment au-dessus du ruban (ne pas bouger le ruban) ;
- Changer le coton-tige lorsqu'il devient trop sale.

Vérification de la chambre à cartouches

- Inspecter et photographier la surface intérieure de la chambre par un fibroscope ;
- Mouler la surface interne de la chambre à cartouches par le Kit de moulage et photographier la pièce obtenue par un macroscope de comparaison.

Tir de test

- Introduire la cartouche dans la chambre ;
- Effectuer des tirs d'essai avec le strict respect des mesures de sécurité (tir à distance) ;
- Récupérer les douilles et les nettoyer à l'acétone ;
- Nettoyer la chambre à l'huile.

Remarque :

L’opération de marquage génère une fumée hautement toxique (chrome 6), le port de moyens de protection (blouse, gants, masque et lunettes) est obligatoire.

II. Démarche à suivre pour la méthode non intrusive

La démarche à suivre pour ce test est comme suit :

- Préparer l’arme et vérifier toutes les composantes et les fonctionnalités.
- Fixer l’arme sur le chevalet du tir ;
- Fixer la lame sur la cartouche par un autoadhésif mince ;
- Introduire la cartouche dans la chambre ;
- Effectuer deux (02) tirs d’essai avec le strict respect des mesures de sécurité (tir à distance) ;
- Récupérer les douilles et les nettoyer à l’acétone ;
- Monter les douilles sur leur support dans le macroscope de comparaison ou le microscope électronique à balayage est prendre des photos fractionnées et/ou combinées.