بسم الله الرحمن الرحيم

République Algérienne démocratique et populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche Scientifique
Universités Dr "Yahia FARES" de Médéa

Projet de fin études

En vue de l'obtention du
Diplôme Master en génie mécanique
Option : conception mécanique

Thème

Simulation du procédé de perforation lors de l'opération du poinçonnage des tôles dans une machine de profilage

Présente par :
AHMED BELHOUT

Encadreur : Dr. BACHENE Mourad

Co-encadreur :Pr. ABDELLAH EL HADJ Abdellah

2011/2012

Remerciement

Nous remercions Dieu, le tout puissant, pour nous avoir donné, le courage, la patience, la volonté et la force nécessaires, pour affronter toutes les difficultés et les obstacles, qui se sont hissés au travers de notre chemin, durant toutes nos années d'études.

Nous exprimons nos remerciements à notre promoteur ***Mr M.BACHENE****, qui a accepté de nous encadrer et qui nous a guidés pendant l'élaboration de ce mémoire, pour sa disponibilité et ses conseils précieux.*

Nous adressons nos sincères salutations et nos vifs remerciements à tous ceux qui nous encouragés et donnés les mains d'aides, de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail afin que notre travail soit présentable.

Nos vifs remerciements vont à Monsieur le Président de jury, pour l'honneur qu'il nous fait et aux membres du jury pour avoir accepté de corriger et d'évaluer ce travail.

Enfin nous exprimons notre reconnaissance à tous les Enseignants du département de mécanique qui nous ont guides pendant notre cursus Universitaire.

Je dédie ce travail à

- Mon père, ma mère
- Mes frères mostapha, Ilyas,Ismail,Sid Ali ,Ibrahim, et ma sœur pour leur soutien.
- A Amin , Nacer ,Yacine ,Mussa , Ali ,Ahmed ,Abd al Djalil
- A Aziz, Yousef, Mohamed ,Nour al Dine.
- A tous mes amis de KSAR EL BOUKHARI.

AHMED BELHOUT

Dédicaces

Remerciements

Résumé :……I

Liste des figures et des tableaux:……II

TABLE DES MATIÈRES

Introduction général :……...1

Chapitre I : mise en forme des tôles

I.1. Introduction 2
I.2. Les différents modes de déformations des tôles 2
I.3. Le profilage 3
I.3.1. Introduction 3
I.3.2. Les profileuses 4
I.3.3. Description de profilage 4
I.3.4. Types de profilage 5
I.3.4.1. Principe de fonctionnement 5
I.3.4.2. Matériaux utilisés 6
I.3.5. Les galets de profilage 6
I.3.5.1. Définition 6
I.3.5.2. Les capacités du profilage 7
I.3.5.3. Les règles de base pour le profilage 7
I.3.6. Domaine d'applications 8
I.3.7. Avantages et inconvénients 8
I.4. Pliage 8
I.4.1. Définition 8
I.4.2. Principe de pliage 9
I.4.3. Le retour élastique des tôles 10
I.4.4. Types de pliages 10
I.4.4.1. Pliage en V 10

I.4.4.2. Autres procédés de pliage 12
I.4.5. L'obtention des profils fermés ..... ….....12
I.5. Emboutissage.....13
I.5.1.Principe.....13
I.5.2.L'emboutissage à froid et à chaud.....13
I.5.3.L'opération d'emboutissage typique.....14
I.5.4. Les outils..... 16
I.5.5. Les avantage de l'emboutissage.....17
I.5.6.Les inconvénients de l'emboutissage.....17
I.5.7. La simulation information.....18
I.5.8. L'utilisation de l'emboutissage.....18
I.6. Estampage 19
I.7. Repoussage au tour ….....20
I.7.1. Définition 20
I.7.2. Cartogramme 21
I.7.3 Le procédé..... 21
I.7.4.Domaine d'utilisation 22
I.7.5. Les matériaux 22
I.7.6.Avantages ..... .22
I.7.7.Inconvénients 22
I.7.8. Exemple de pièces..... 22
I.7.9.poinçonnage……..... 23
I.7.10.Conclusion……..... 23

Chapitre II : Théorie de poinçonnage

II.1.introduction.....
.24
II.1.1. Principe 24
II.1.2. Le poinçon ..... .25
II.2. effort et contraintes sur l'outil presse..... 26
II.2.1. Calculs d'efforts 27
II.2.2. Effort de découpage pour les poinçons plats 28
II.2.3. Effort de dévêtissage .....
28

II.2.4. contrainte exercée par le bord découpé de la tôle sur le flanc de l'outil 28
II.3Paramètres influents en découpage..... 29
II.4. le jeu de découpage 30
II.5. Vitesse de découpage 31
II.6. Caractéristique du poinçon..... 32
II.7.Utilisation des poinçons 32
II.8.La matrice..... 32
II.9. Le jeu..... 32
II.10. Effort de poinçonnage et section minimale du poinçon..... 33
II.11.Les outils..... 33
II.12.Calcul de la force nécessaire pour poinçonner tout type de matière 35
II.13.Avantages et inconvénients du poinçonnage..... 36

Chapitre III : Modélisation numérique de la perforation

III.1 : Introduction..... 37
III.2 : Modélisation mathématique de l'impact 37
III.2.1 Dynamique Explicit transitoire..... 37
III.2.2 Temps d'intégration 38
III.3 : Simulation numérique par le code *AUTODYN*..... 40
III.3.1 Définition..... 40
III.3.2 Préparation de l'analyse..... 41
III.3.2.1 Exécution de la dynamique explicite..... 41
III.3.2.2 Spécification des matériaux utilisés..... 42
III.3.3 Conception du modèle..... 42
III.4.1 Affectation des matériaux..... 44
III.4.2 Maillage..... 45
III.4.3 Conditions initiales 46
III.4.4 Application de la solution..... 46
III.5 : Résultats et Discussion 47
III.5.1 Les Déformation..... 47
III.5.2 Les Contraintes 51
III.5.3.conclusion…….…….53

Chapitre IV : Résultats et discussion

IV.1.effet de la vitesse du poinçon..... 54

IV.2. Méthode de raffinement 54

IV.2.1.Maillage …….....….54

IV.2.2.Conditions initiales..... 55

IV.4. Effet de l'épaisseur de la tôle 58

Conclusion général …….....…..…….…….61

Liste Des Figures et Des Tableaux :

FigI.1.Diagramme des déformations rencontrées en mise en forme des tôles…….3
FigI.2.Quelque type des lignes de profilage…….4
FigI.3.Position de la tôle au cours de profilage ……..5
FigI.4.Schéma montre la procédure de profilage……..…..6
FigI.5.Schéma représente des Galets de profilage réalisés en acier trempé……...6
FigI.6.Schéma reprisent les contraintes au cour de pliage……..7
FigI.7.Quelque forme des plis.....9
FigI.8.Schéma reprisent le retour élastique de la tôle……..….10
FigI.9.Schéma montre les étapes suivies pour un profil fermé…….13
FigI.10.Schéma reprisent différentes phases d'emboutissage……...…15
FigI.11.Schéma représente Presse à emboutir les baignoires avec son outillage……..…16
FigI.12.les différentes phases d'Estampages……..…20
Fig.13.Schéma du procédé (Repoussage autour).....21
Fig.II.1.le principe de poinçonnage……...……24
FigII.2.les différentes phases de poinçonnage…….....25
FigII.3.poinçon plats avec angle……....26
FigII.4.Système d'effort en découpage.....27
FigII.5. Contrainte en découpage et dégradation de l'outil…….....27
FigII.6.découpage avec poinçon plat.....28
FigII.7. Contrainte à de dévètissage ……28
FigII.8.comparaison entre la capacité de déformation découpage ……29
FigII.9.définition du jeu de du bord d'un trou usinée poinçonné……..…29
FigII.10.l'usure de l'outil…….30
FigII.11.relation entre la vitesse de découpage et l'angle du vilebrequin……..31
Fig III.1 : Page accueil de l'outil workbench……..…41
Fig III.2 : Boite de dialogue pour déclaration des matériaux…….…….42
Fig III.3. Schéma de modèle ……...……43
Fig III.4. Feuille de travail ……43
Fig III.5. Schéma de modèle simplifié……44
Fig III.6. Configuration des matériaux utilisés……44.
Fig III.7. Le maillage du modèle……..…45
Fig III.8. Schéma détaillé des fonctions de l'outil……...…46
Fig III.9. Spécification les résultats……...…..46
Fig III.10. Domaine de déformée total de la tôle…….……47
Fig III.11. Déformation directionnelle de la tôle……...…48
Fig III.12 . vitesse total de la tôle…….…49
Fig III.13. Accélération directionnelle De la tôle……...49
Fig III.14. Domaine de vitesse directionnelle de la tôle……..…50
Fig III.15. Accélération totale de la tôle……..…50
Fig III.16. Contrainte principale minimale…….51
Fig III.17.Contrainte principale minimale……..51

Fig III.18. Contrainte maximale de cisaillement……....52
Fig III.19.Contrainte normal……...…52
Fig III.20.Contrainte cisaillement……...53
FigIV.1.Maillage par raffinement……....54
FigIV.2.Représentation de la fenêtre d'application de la condition initiale……...55
FigIV.3.variation de la déformation totale en fonction de la vitesse du poinçon…….....56
FigIV.4.variation de l'accélération totale en fonction de la vitesse du poinçon….……56
FigIV.5.variation de la contrainte principale maximale en fonction de la vitesse du poinçon……..…57
FigIV.6.variation de la contrainte de cisaillement en fonction de la vitesse du poinçon…….……57
FigIV.7.variation de la déformation total en fonction de l'épaisseur de la tôle……58.
FigIV.8.variation de la contrainte de cisaillement en fonction de la vitesse du poinçon……59.
FigIV.9.variation de la contrainte de cisaillement en fonction de la vitesse du poinçon……59.
FigIV.10.variation de la contrainte de cisaillement en fonction de la vitesse du poinçon……60

Introduction général :

Ce projet de ce mémoire savait pour objectif d'ouvrir des voies innovantes de développement de procédés de poinçonnage des tôles s'appuyant sur différentes techniques telles que le formage incrémental, l'hydroformage. La mise au point et l'optimisation de ces procédés passe par des étapes de simulations numériques

Plus particulièrement, ces travaux sont focalisés sur le procédé de mise en forme, le procédé de perforation qui utilise un poinçon de petite taille vient cisailler localement la tôle. Le concept de ce procédé a été breveté en 1967 par Leszek [01], mais seuls les progrès technologiques tels que les Machines Outils à Commandes Numériques et les logiciels de CAO associés générant des trajectoires d'outils ont permis sa mise en application. Ce procédé, en comparaison avec des procédés de mise en forme de tôle plus classiques comme l'emboutissage, ne nécessite pas d'outillage de formes complexes ni de presses.

Le premier chapitre, présente de manière détaillée le procédé de mise en forme de tôle à froid et quelque type de découpage. Certaines hypothèses expliquant la meilleure formabilité de ce procédé sont également reportées dans ce chapitre.

Dans **le chapitre 2** présente le développement procédé de poinçonnage détaillé de principe et l'utilisation sur les tôles et les application pour résoudre les solution.

Dans **le chapitre 3** des résultats de simulations numériques par éléments finis de la mise en forme de tôle par des trajectoires du poinçon spécifiques sont analysées. Les influences du modèle de comportement et de la trajectoire du poinçon sur les résultats des simulations numériques sont étudiées.

Dans **le chapitre 4** analyser les résultat obtenu dans le chapitre 3 on forme des graphs on fonction changement des vitesses poinçon et de variation de épaisseur de tôle

CHAPITRE 1

MISE EN FORME DES TOLES A FROID

Chapitre I

MISE EN FORME DES TOLES A FROID

I.1. Introduction:

Cette partie aborde d'un point de vue bibliographique les procédés de mise en formes des tôles à froid, c'est à dire la mise en forme à partir de produits plats et minces, appelés flans, par déformation plastique de pièces à température ambiante. Les principaux avantages de ce type de procédés sont la faible perte de matière, la réalisation de formes complexes et les bonnes propriétés mécaniques. [01]

Les difficultés sont liées à la prise en compte du retour élastique lors de l'étape de mise en forme mais également la prédiction de l'apparition des défauts tels que les plis, la striction, la rupture.

Plusieurs types de procédé de mise en forme de tôles à froid existent et sont présentés par la suite. Cependant avant d'aborder ces procédés il est nécessaire de rappeler les différents modes de déformations que peut subir une tôle, que ce soit au cours de sa mise en forme ou lors d'essais de caractérisation de matériau.

I.2. Les différents modes de déformations des tôles :

La Figure. I.1 indique la répartition des différents modes de déformation dans le plan ($\boldsymbol{\varepsilon_1}$, $\boldsymbol{\varepsilon_2}$), $\boldsymbol{\varepsilon_1}$ correspond aux déformations principales maximales tandis que $\boldsymbol{\varepsilon_2}$ aux déformations principales minimales ($\boldsymbol{\varepsilon_1 \geq \varepsilon_2}$).

Selon ce diagramme, la tôle peut subir des déformations en bi-expansion ou expansion pure ($\boldsymbol{\varepsilon_1 > \varepsilon_2} > 0$), en traction large ($\boldsymbol{\varepsilon_1 > 0, \varepsilon_2 = 0}$) ou en traction uni axiale ($\boldsymbol{\varepsilon_1} > 0$, $\boldsymbol{\varepsilon_2} < 0$). Ces modes entrainent une diminution de l'´epaisseur de la tôle. Un épaississement de cette dernière peut apparaître dans le cas de la compression par exemple ($\boldsymbol{\varepsilon_1 < -\varepsilon_2}$). La tôle peut ainsi être sollicitée dans plusieurs modes de déformations de façon simultanée ou alternée lors de sa mise en forme.

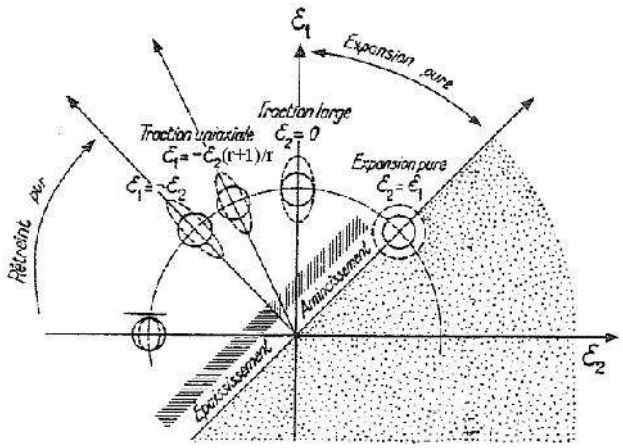


Fig.I.1 : Diagramme des déformations rencontrées en mise en forme des tôles [2]

Dans le cas particulier de la traction uniaxial $\varepsilon = \frac{r+t}{\varrho_1}$ où r est le coefficient d'anisotropie. Pour un matériau isotrope, r=1, d'ou $\varepsilon_1 = -2\varepsilon_2$. L'espace situé en bas et à droite de la première bissectrice est éliminé par la convention $Q_1 > \epsilon_1$. La limite entre la traction et la compression est le cas de cisaillement pur défini par :

$$\varepsilon_1 = -\varepsilon_2$$

Présentation de coefficient d'anisotropie : [2]

Le coefficient d'anisotropie ***r*** est défini comme le rapport entre la vitesse de déformation plastique transversale ($\dot{\varepsilon}^{pl}_{yy}$) et la vitesse de déformation plastique dans l'épaisseur ($\dot{\varepsilon}^{pl}_{zz}$) lors d'un essai de traction réalisé sur une éprouvette prélevée dans une direction faisant un angle (**α**) avec la direction de laminage.

I.3. Le profilage :

I.3.1. Introduction:

L'étude d'un outillage de profilage est la première opération a réaliser, elle permet de savoir la longueur du profil (développé du feuillard) ainsi que le nombre d'opérations nécessaires à la réalisation du profil, de faire les plans qui seront nécessaires à la fabrication des galets. [3]

Ces études peuvent être faites avec un logiciel de conception spécifique. L'expérience du dessinateur est primordiale, quand à la réussite du produit souhaité (profil complexe) et à la réalisation et respect des tolérances de fabrication.

I.3.2. Les profileuses :

Les profileuses sont des machines de profilage servent à profiler les tôles (feuillards), donc à réaliser les divers types de profils pour l'obtention de la forme du profil souhaité.

La machine se compose d'un dérouleur simple ou bien automatisé, d'une table d'entrée pour le feuillard, de la profileuse, des têtes de profilage (axe supérieur, axe inférieur, support des galets), du dévriller, boite de sortie [3], table de récupération du profil. De l'armoire électrique, électronique de la profileuse, commande motorisation, avance de la ligne de profilage (vitesse de 20 à 120 m /min) suivant les modèles des profileuses de profilage et de leur utilisation.

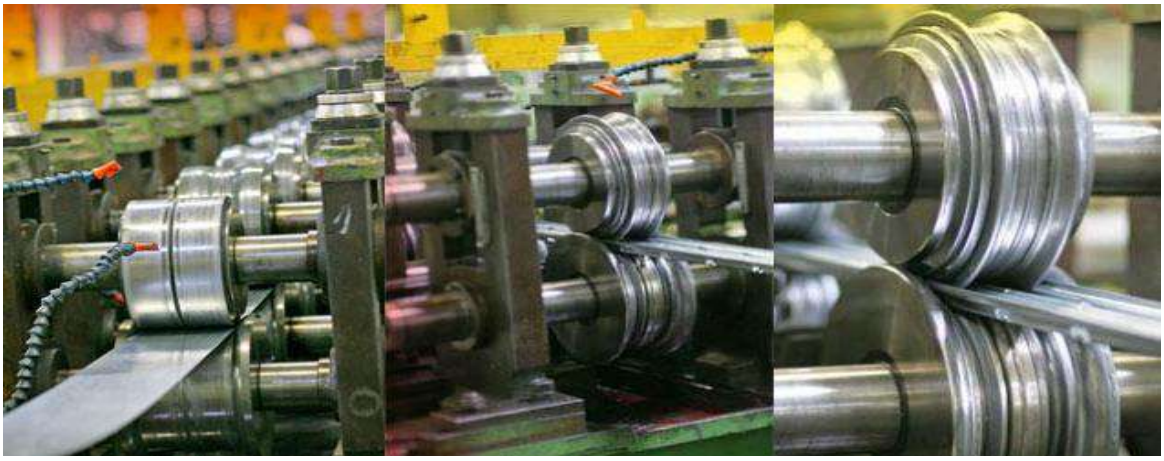


Fig. I.2 : Quelque type des lignes de profilage[3]

I.3.3. Description de profilage:

Le profilage à froid est un processus de mise en forme en continu qui permet, à partir de tôles planes en feuilles ou en bobine, d'obtenir des produits de section constante, appelés profilés, généralement plus longues que larges. La section de ces pièces est constante, et la précision varie en fonction de la qualité recherchée ces profilés peuvent être divisés en trois types.

I.3.4. Types de profilage :

a) **les profilés larges:** il s'agit de produits de grande largeur (600 à 1500 mm environ) comportant plusieurs ondes de forme équivalente ou similaire. On rencontre notamment dans cette catégorie les profilés de couverture et de bardage;

b) **les tubes:** il s'agit de produits à section fermé réalisés par profilage avec une soudure en continu;

c) **les profilés étroits:** il s'agit de produits de section ouverte ou fermée sans soudure ne comportant pas de répétition d'une forme d'onde. Cette catégorie comprend, entre autres, les profilés de structure, les chemins de câbles, les glissières de sécurité, etc.

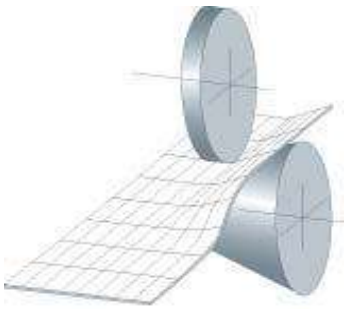


Fig. I.3 : Position de la tôle au cours de profilage.

I.3.4.1. Principe de fonctionnement :

Le profilage peut être considéré comme un pliage en continu. Au cours du processus, la tôle est pliée plastiquement et progressivement par chacune des têtes, jusqu'à l'obtention des angles et des formes souhaitées. La bande de métal est entraînée entre des pièces appelées (galets) inférieur et supérieur, réalisés en acier trempé ou prétraité. Elle va passer entre plusieurs têtes de profilage qui vont former progressivement la tôle, jusqu'à la forme finale. La machine utilisée est une profileuse, possédant diverses têtes de profilage (Galets supérieur-galets inférieur) de 6 à 30 têtes environ suivant les cas. Cette machine peut être équipée d'appareillage divers, dérouleur, outil de coupe, outil de poinçonnage, d'une armoire à commande numérique.

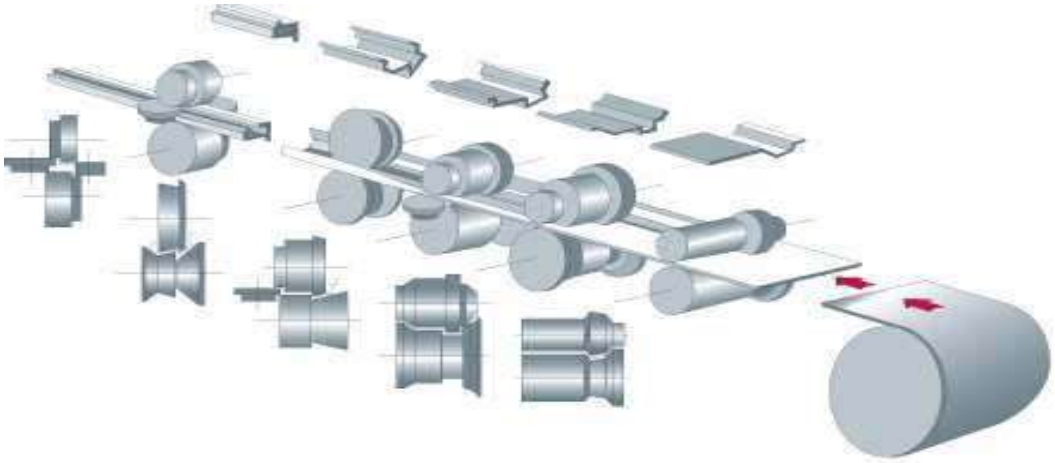


Fig. I.4: Schéma montre la procédure de profilage

I.3.4.2.matériaux utilisés :

Elles peuvent être en: Acier - Acier galvanisé - Acier prés laqué - Acier inox - Cuivre - Laiton - Aluminium -etc.…..

I.3.5.Les galets de profilage :

I.3.5.1.Définition:

Les galets de profilage sont utilisés dans le pliage des tôles par formage à froid. Ces pièces (galets) peuvent être soit monobloc ou bien assemblés par des vis pour les formes les plus complexes. Les galets sont fabriqués suivant un enchainement, ébauche, trempe et usinage après traitement thermique. Ensuite les faces de contact (passage du produit - profilé), sont polies afin d'obtenir des surfaces de contact sans défauts. Dans l'alésage une rainure de clavetage est réalisée, suivant la normalisation.



Fig. I.5 : Galets de profilage réalisés en acier trempé

I.3.5.2. Les capacités du profilage :

Le profilage est un processus très souple. Ceci se retrouve dans ses capacités de production, dans les formes réalisables, même si elles doivent rester de section constante dans le sens de la longueur, mais aussi au niveau:

- **des épaisseurs:** elles peuvent varier entre *0,15 mm et 12 mm ;*
- **des largeurs :** il n'y a pas de valeur minimale. Pour la valeur maximale, la borne est en réalité due au format réalisable des bobines;
- **des longueurs :** il n'existe pas de maximum pour la longueur des profilés.
- **des nuances d'acier :** les nuances très ductiles avec une faible limite d'élasticité (aux environs de*150 MPa*) sont utilisables ainsi que celles très dures avec limites d'élasticité de *1000 MPa* et plus. Avec une technologie adaptée, il est tout à fait possible de réaliser des profilés de qualité dans toutes les nuances existantes, la plus grande restriction du profilage reste le fait que le produit doit être de forme constante dans sa longueur.

I.3.5.3. Les règles de base pour le profilage:

Pour obtenir des profilés de qualité en sortie de profileuse, il est nécessaire de respecter quelques règles de base. Elles sont liées aux différents phénomènes intervenant dans le processus.

a) Les déformations transversales :

Pour obtenir un profilé à partir d'une tôle plane, il est nécessaire de créer des plis et donc de plastifier localement la tôle dans son sens transversal. Le niveau de ces déformations plastiques est principalement lié à la géométrie du produit souhaité. Elles peuvent de ce fait être approximées par la formule suivante :

$\varepsilon = e/2R$ [2] avec : **e** = l'épaisseur du matériau. **R** = le rayon de pliage.

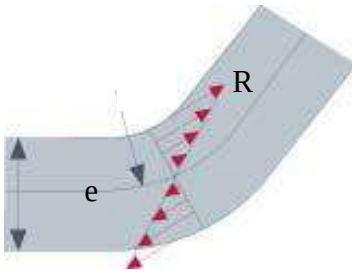


Fig. I.6 : Contraintes au cour de pliage

Pour éviter une fissuration du revêtement et une corrosion du profilé, lors de son utilisation future, choisir une géométrie de celui-ci avec un rapport e/R le plus faible possible avec des rayons importants par rapport à l'épaisseur du matériau.

La principale difficulté dans le profilage est de gérer correctement les zones vrillées de la tôle dans la profileuse. Celles-ci sont intrinsèques au processus. Il faut que les déformations longitudinales engendrées par le vrillage de la tôle dans la profileuse restent dans le domaine élastique du matériau. Si ce n'est pas le cas, le matériau va se plastifier. La tôle va localement s'allonger de façon irréversible dans son sens longitudinal et se vriller à la sortie de la profileuse.

I.3.6. Domaines d'applications :

Les profilés sont utilisés dans des secteurs divers, dans des applications liées à l'automobile (joint de portière, longeron de portière), au travaux publics (palplanches, glissières d'autoroutes), au bâtiment (redoux, bardages, éléments de structures, couvertures, planchers, plafonds, portes,), à l'équipement intérieur (mobilier de bureau, électroménager), au stockage (rayonnages), aux transports (longerons, cadres de portières), à l'agriculture (piquets de vigne, systèmes de clôture, silos).

I.3.7. Avantages et inconvénients :

Comme toutes les procédures d'usinage et les machines de production il existe des avantages et des inconvénients :

1) **Avantage :**
   - Grande fourchette d'épaisseur : de ***0,15*** à ***12 mm***
   - Pas de limite de longueur si ce n'est celle imposée par le transport et la manutention
   - État de surface très lisse
   - Importance en main d'œuvre modérée

2) **Inconvénients :**
   - Coût de l'outillage élevé
   - Coût de l'équipement (machines) élevé.

I.4.pliage :

I.4.1. Définition :

Le pliage, en tant que procédé, est l'opération de mise en forme à froid d'un matériau plat, avec ou sans lubrification, obtenue par dépassement de sa limite élastique. Dans ce cas, la contrainte et la déformation ne sont plus proportionnelles et sont reliées par une loi non linéaire. Une partie de la déformation n'est plus réversible. Après recul des outils et relâchement des contraintes, il se produit un retour élastique et il persiste une déformation permanente résultant de glissements irréversibles de certains plans cristallographiques les uns par rapport aux autres [1].

Les paramètres les plus influents dans une opération de pliage peuvent être classés en trois catégories:

- paramètres liés à la machine : cadence, puissance, etc.
- paramètres liés à l'outillage : rayon, course, angle, jeu, etc.
- paramètres liés au matériau : formabilité, propriétés élastiques, anisotropie, etc.

Le produit fini est sensible à ces trois types de paramètres ; néanmoins, selon la destination finale de la pièce et les critères de qualité demandés, il peut y avoir prépondérance d'un paramètre par rapport à un autre ou d'une famille par rapport aux deux autres. Dans la conception moderne, des exigences autres que mécaniques et de service interviennent.

L'aspect esthétique d'un produit obtenu par la mise en forme est de plus en plus recherché. L'ensemble de ces contraintes de fabrication se répercute dans la pièce. L'état géométrique et mécanique du produit plié aura ultérieurement une grande influence sur la tenue en service des pièces.

I.4.2. Principe de pliage :

Le pliage est une opération de mise en forme par déformation permanente de tôles. Cette opération est effectuée à froid, elle consiste à donner la forme désirée à des tôles planes dont l'épaisseur dépasse rarement ***5 mm***. Pour atteindre la déformation plastique des matériaux il faut que les contraintes dépassent la limite élastique pour que la déformation reste permanente.

L'effort nécessaire à l'obtention du pli dépend :

- De la limite élastique du matériau constituant la tôle.
- De l'épaisseur de la tôle et de la longueur du pli.
- De la direction du pli.

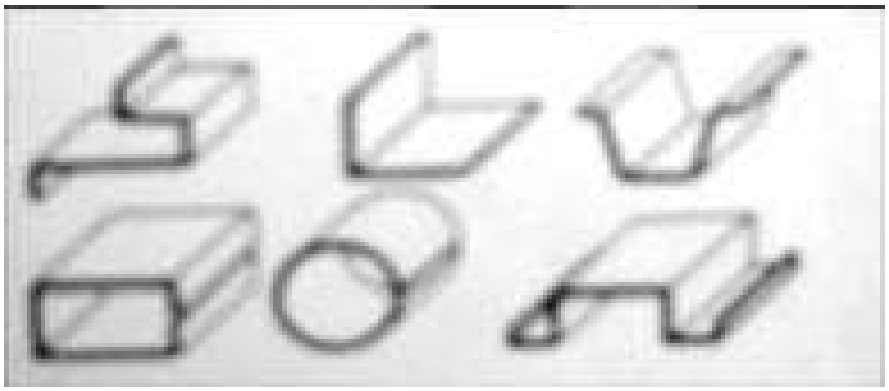


Fig. I.7 : Quelques formes des plis.

Sous l'action d'une force appliquée sur un flan, ou une ébauche, reposant sur deux ou plusieurs appuis ou encastré à une extrémité, le produit est fléchi.

I.4.3.Le retour élastique des Tôles :

Comme le pliage est obtenu par déformation plastique des tôles, il y a forcement une déformation élastique qui l'accompagne. C'est à dire quand on lâche l'effort de pliage, il y a un retour élastique de la pièce pliée.

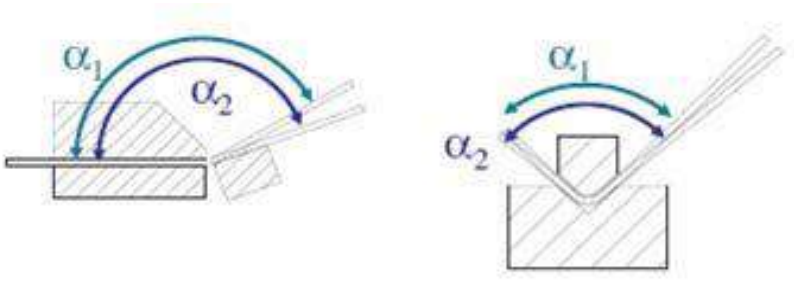


Fig. I.8 : Schéma représente le retour élastique de la tôle

Angle de retour élastique $\alpha_e=\alpha_2-\alpha_1$

ce retour élastique est diminué lors du pliage en frappe.

Pour le pliage en l'air on peut l'estimer par trois façons :

- Par des essais préliminaires.
- Par un abaque de fonction de ***R/e*** ; (***R :*** rayon du pli (intérieur) et ***e :*** l'épaisseur de la tôles**. K= α_1 / α_2)**
- Par calcul.

I.4.4. Types de pliages :

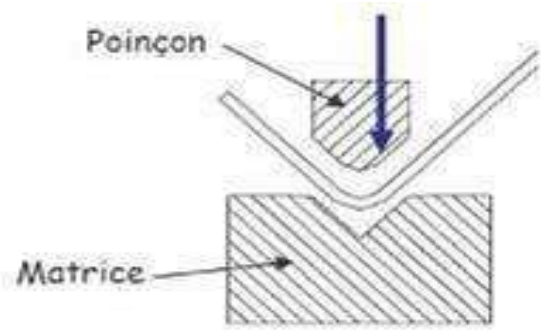
I.4.4.1. Pliage en V :

Il y a deux catégories de ce type, le pliage « en l'air » et le pliage « en frappe ».

a) Le pliage « en l'air » :

L'effort de pliage cesse quand la tôle arrive en fin de **V**. L'angle terminal est celui de la forme du **V**

plus (+) le retour élastique de la tôle **(~3°)**.



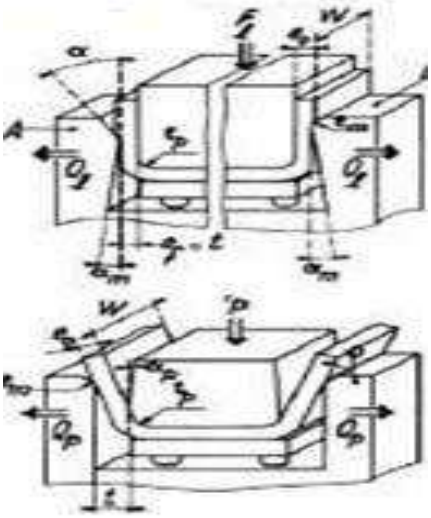
Avec le pliage « en l'air », suivant la position du poinçon en fin de course, différent angles peuvent être obtenus avec le même outillage.

b) pliage « en frappe » :

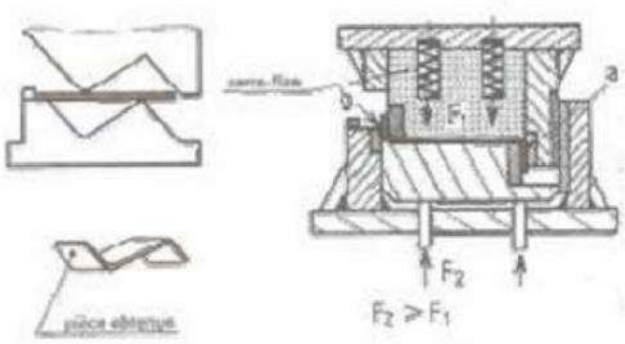
En fin de pliage, la poussée du poinçon augmente (jusqu'à quatre fois celle du pliage en l'air) pour provoquer un écrouissage local, l'épaisseur de la tôles diminue légèrement. Ce procédé est réservé aux faibles épaisseurs de tôles **< 3mm**. La matrice comporte un éjecteur pour récupérer la pièce. Cette version de pliage diminue le retour élastique **(~0.5°)**.

I.4.4.2. Autres procédés de pliage :

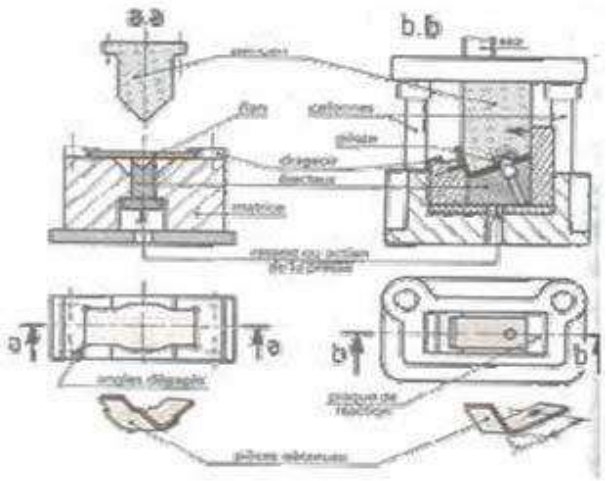
a) Pliage en U :



a) Pliage en Z :



a) Pliage en L :



I.4.5. L'obtention des profils fermés :

La forme de la matrice donnera la forme finale de la tôle. Avec un outillage approprié et en plusieurs passes, il est possible de réaliser des profils fermés ou semi-fermés.

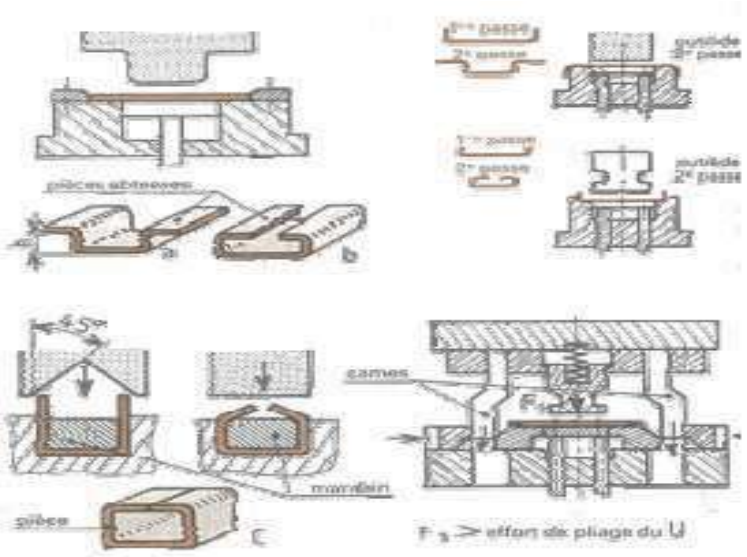
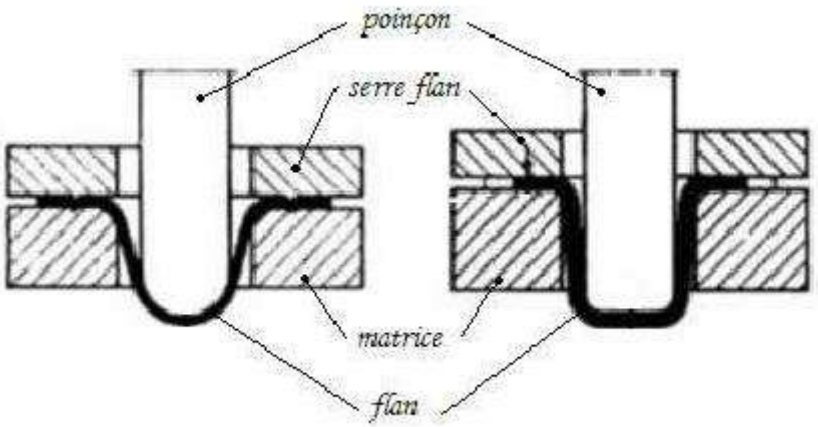


Fig. I.9 : Schéma montre les étapes suivies pour un profil fermé

I.5.Emboutissage

I.5.1.Principe :

L'emboutissage est un procédé de mise en forme très utilisé dans l'industrie, permettant d'obtenir des pièces de surface non développable à partir de feuilles de tôle mince, montées sur presse. La tôle appelée « flan », est la matière brute qui n'a pas encore été emboutie. L'opération peut être réalisée avec ou sans serre flan pour maintenir le flan contre la matrice pendant que le poinçon déforme la feuille. [04]



I.5.2. L'emboutissage à froid et à chaud :

a) L'emboutissage à chaud :

Principalement utilisé sur presses hydrauliques simple ou double effet, le formage de fonds de réservoir en acier est le plus important domaine d'application.

Cette technique facilite la déformation du matériau, permet l'emboutissage de pièces profondes par chauffage du flan (et de la matrice). Les cadences de production de l'emboutissage à chaud sont moins élevées que celles de l'emboutissage à froid du fait de l'inertie de chauffage. De plus les pièces finies sont de moins bonne qualité, que ce soit au niveau de l'état de surface ou du dimensionnement.

b) L'emboutissage à froid:

Cette technique consiste à former une pièce à température ambiante. Elle est principalement utilisée sur un outillage avec serre-flan mais peut aussi l'être sur un outillage sans serre flan dans le cas où les emboutis sont peu profonds ou s'ils nécessitent peu d'effort de serrage.

Ce type de formage permet d'obtenir une meilleure précision dimensionnelle, limite les coûts et évite la formation d'oxyde.

I.5.3.L'opération d'emboutissage typique (double-effet) :

- Phase 1 : poinçon et serre-flan sont relevés. La tôle, préalablement graissée, est posée sur la matrice.
- Phase 2 : le serre-flan est descendu et vient appliquer une pression bien déterminée, afin de maintenir la tôle tout en lui permettant de fluer.
- Phase 3 : le poinçon descend et déforme la tôle de façon plastique en l'appliquant contre le fond de la matrice.
- Phase 4 : le poinçon et le serre-flan se relèvent : la pièce conserve la forme acquise (limite d'élasticité dépassée).
- Phase 5 : on procède au « détourage » de la pièce, c'est-à-dire à l'élimination des parties devenues inutiles.(essentiellement les parties saisies par le serre-flan).

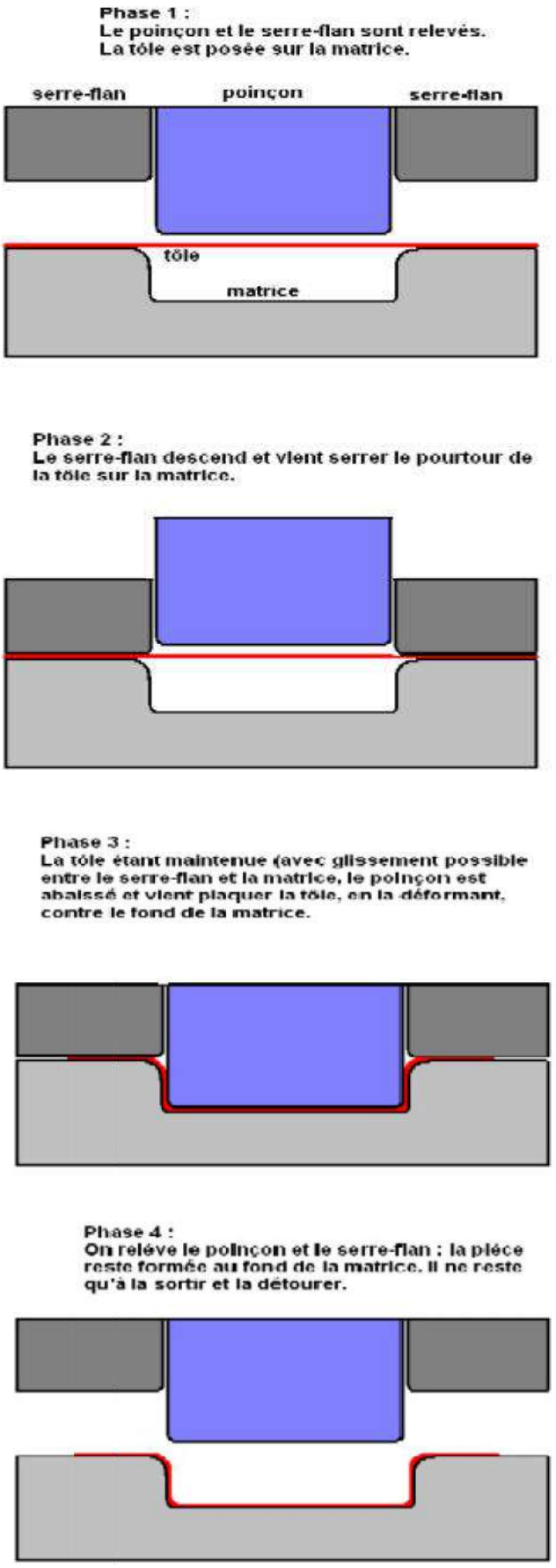


fig.I.10. Les différentes phases d'emboutissage

I.5.4.Les outils :

L'emboutissage se pratique à l'aide de presses à emboutir de forte puissance munies d'outillages spéciaux qui comportent généralement trois pièces :

- une matrice, en creux, épouse la forme extérieure de la pièce
- un poinçon, en relief, épouse sa forme intérieure en réservant l'épaisseur de la tôle
- un serre flan entoure le poinçon, s'applique contre le pourtour de la matrice et sert à coincer la tôle pendant l'application du poinçon.



Fig .I .11 Presse à emboutir (en gris) les baignoires avec son outillage (en bleu) [04]

I.5.5.Les avantages de l'emboutissage :

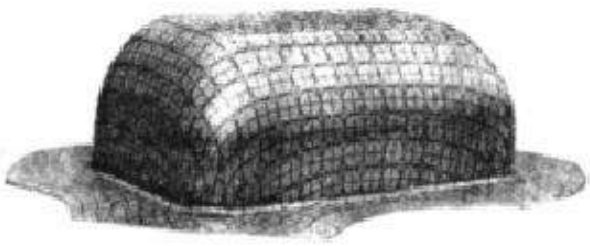
- L'emboutissage est un procédé permettant d'obtenir des pièces de surface non développable à partir de feuilles de tôles minces. C'est à dire qu'il est possible d'obtenir des formes très variées impossible à obtenir avec un tour ou une fraiseuse.
- L'état surface d'une pièce brute d'emboutissage est nettement meilleur que celui d'une pièce coulée. L'esthétique des pièces embouties en est donc bien supérieure et les travaux de finition tel que le polissage sont moins lourds à gérer et surtout moins coûteux.
- Cette technique de mise en œuvre offre un bas prix de revient et permet des cadences de production très élevées :
- 100 à 200 pièces par heure pour des pièces de gros volumes (carrosserie automobile)
- 3000 à 4000 pièces par heure pour des petites pièces (renfort, capuchon de réservoir).

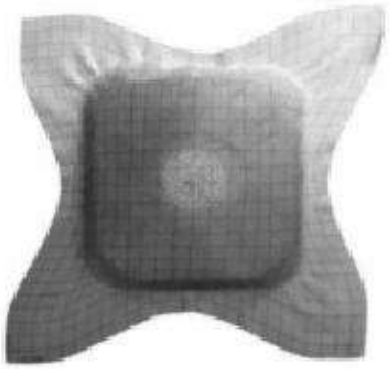
I.5.6.Les inconvénients de l'emboutissage :

- Les zones d'étirement subissent un amincissement (qui doit rester limité pour éviter la rupture) et les zones de rétreint (compression) subissent une combinaison d'épaississement et de plissement.
- Le retour élastique, lorsque le poinçon se retire après la phase de mise en forme, la pièce ainsi formée n'est plus soumise à la force de maintien. Il se produit alors un retrait de la matière. Afin d'atténuer ce phénomène, il est courant de recourir à certains artifices tels que la frappe du rayon, l'étirage en fin de gamme ou le maintien prolongé du poinçon.
- L'entrée de la matrice doit être très arrondie et polie pour éviter toute déchirure du métal et pour optimiser le comportement des zones de retreint.
- Pour obtenir des pièces précises il est nécessaire d'utiliser des logiciels permettant de simuler les retours élastiques de la pièce.
- Le temps de préparation est important.
- la mise au point des outils, poinçon, et matrice est très coûteuse et nécessitant un savoir faire de l'entreprise.

I.5.7.La simulation numérique :

La simulation numérique a fait son apparition dans les métiers de l'emboutissage au début des années 90, car les industriels voulaient exploiter cette méthode pour anticiper les problèmes de formage. Le développement de ces technique à permis de prendre en compte le phénomène de retour élastique qui posait le problème lors de l'ouverture des outils. Ce phénomène ce manifeste d'autant plus lors de l'emboutissage de tôles d'aciers à haute limite élastique (HLE) ou d'aluminium. Pour obtenir une pièce dans les tolérances finales souhaitées, l'effet du retour élastique doit donc être compensé en rectifiant l'outil d'emboutissage selon une géométrie adéquate. A l'époque seule l'expérience de l'ouvrier permettait d'anticiper ce phénomène, aujourd'hui des logiciels informatiques permettent des calculs d'une grande précision et un gain de temps considérable. [04]





I.5.8.L'utilisation de l'emboutissage :

-L'emboutissage est un procédé très largement utilisé dans la ferblanterie, l'industrie automobile pour les éléments de carrosserie mais aussi dans le domaine des appareils électroménagers du sanitaire et de l'emballage : lavabos métalliques, bacs de couches, boîtes de boisson, conserves,…

- Pour les emboutissages peu profonds, les moules sont alimentés par du feuillard en ruban alors que les moules en bloc sont alimentés par des disques ou des découpes de formes différentes.

I.6.Estampage

L'estampage est une opération de forgeage en trois coups (ébauche, finition et ébavurage) sur une machine nommée marteau-pilon. Cette opération consiste à former, après chauffage, des pièces brutes par pression entre deux outillages nommés matrices.

a)**Matrice fixe**

La matrice supérieure est fixée à la masse frappante et la matrice inférieure est fixée à l'enclume. Leurs positions respectives sont soigneusement repérées pour assurer la coïncidence des gravures.

Destinées à la production en grandes séries, elles sont en acier spécial et l'usinage des gravures est très soigné.

L'estampage assure une précision de l'ordre de 0.1 mm. Les ébauches obtenues sont donc pratiquement identiques et la surépaisseur d'usinage peut être réduite à 1 mm.

b) **Préformage du lopin**

Ce préformage est imposé par l'inégalité de répartition des masses de l'ébauche à obtenir. Il a donc pour but de concentrer la matière du lopin au droit des creux les plus prononcé de la gravure. On peut procéder par forgeage au pilon ou à la presse : étirage avec ou sans dégorgeoir, [04] codage, etc.…On peut aussi pratiquer un laminage local de la barre en introduisant son extrémité entre des rouleaux en porte-à-faux présentant des gravures de préformage spécialement adaptées.

c) **Ebavurage**

Les ébauches retirées des matrices, que ce soit pour le matriçage ou pour l'estampage, sont entourées dans le plan de joint d'une bavure qu'il est nécessaire d'éliminer.

L'opération est le plus souvent réalisée à froid. L'ébauche est posée sur une matrice ajourée au contour du plan de joint de la pièce et un poinçon, monté sur une presse, la pousse au travers de l'évidement.

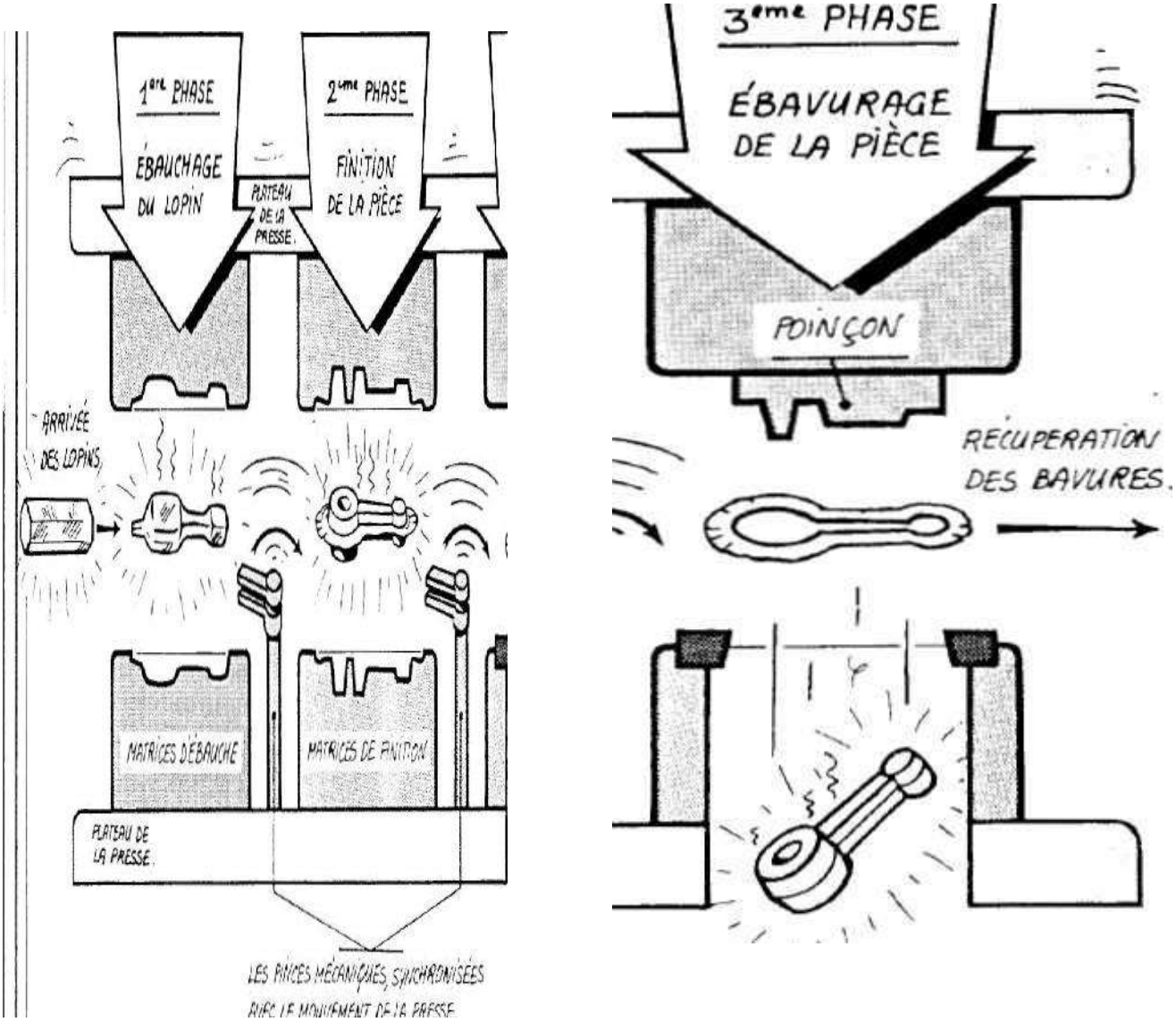


Fig.12.les différents phases d'Estampages

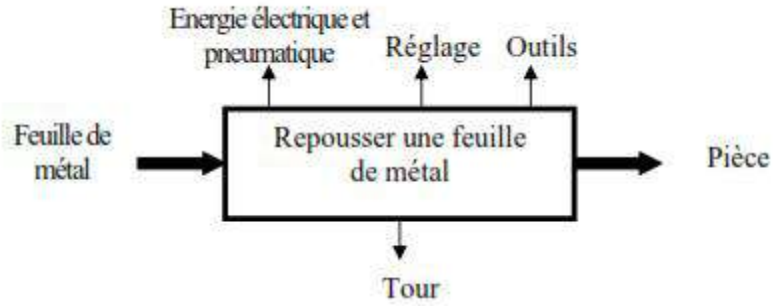
I.7.repoussage ou tour

I.7.1.Définition :

Le repoussage est une technique de travail de métaux par déformation .partant d'un disque d'un cône ou d'un cylindre, le métal mis on rotation pour être déformé par une molette sur un outillage.

Le molette crée la déformation et outillage donne la forme voulue de pièce.

I.7.2.Cartogramme



I.7 .3.le procédé :

Le repoussage au tour implique le formage de pièces symétrie axial sur la mandrin et rotation au moyen d'un outil ou rouleau rigide .le procède implique un tour sur lequel on presse les feuille de métal pendant qu'on fait tourner cette feuille elle ainsi que le bloc formeur .la feuille prend progressivement la forme de bloc formeur .les outillages fait en bois ou on acier ,Sont très simples et donc bon marché ce qui procédé intéressent pour des petit séries .la plupart des opération de repoussage au tour sont faites a température ordinaire bien que ,si nécessaire ,ou puisse le faire chaud . [04]

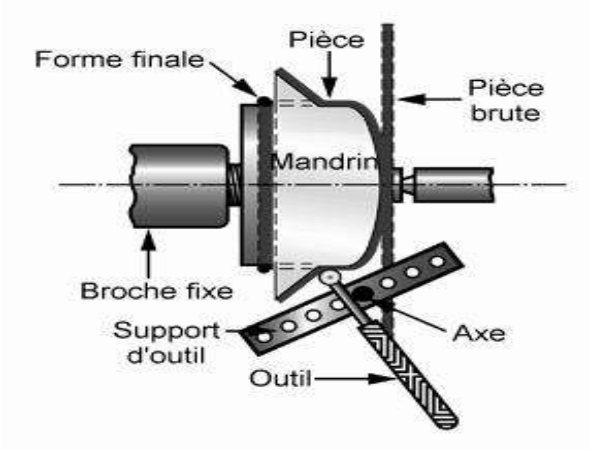


Fig. 13. Schéma du procédé (Repoussage au tour)

I.7.4.Domaine d'utilisation :

Le repoussage au tour est le meilleure manière de faire à partir d'une feuille une petite séries de pièces de formes simples hémisphérique, coniques ou cylindrique. On peut faire des formes en contre dépouille .avec une vitesse de production de 2 à 30pieces/heure.

Le repoussage au tour va avant tout être utiliser pour la fabrication de tige de compresseur de turbine à gaz, capot de moteur de fusée, pointes coniques de fusée, récipients sous pression, pièces pour l'automobile, instrument de cuisine, réflecteurs pour lampe de bureau ou plafonnier. [04]

I.7.5.Les matériaux :

Le repoussage au tour est meilleur pour les matériaux ductiles présentent une faible tendance à être trempé : les alliages d'aluminium, les cuivre , les aciers, les aciers inoxydables, le nickel et les alliages de nickel, le plomb, l'étain.

I.7.6.Avantages :

- Taille de série pouvant aller de 1 à 3500 pièces.
- Cout de outillage et de l'équipement peu élever.
- Etat de surface lisse.
- Permet des réalisations Très complexes que l'autre procédé ne permettent pas ou à des couts prohibitifs.
- Possibilité de réaliser dans certains cas, des prototypes et préséries avant de valider l'investissement d'outillages.
- Le cas des délais court**s.**

I.7.7.Inconvénients :

- Diamètre maximum de la plaque de 3500 mm.
- Epaisseur maximum de la plaque de 20 mm.

I.7.8. Exemple de pièces





I.7.9.poinçonnage :

Le poinçonnage est un cisaillage de forme fermée, donc par conséquence comme le cisaillage, c'est un glissement de métal dans un plan transversal entre deux barres, sans que celles-ci se déforment et ne cessent d'être parallèle.

Le débouchage du trou est exécuté à l'aide d'un poinçon et d'une matrice, deux outils comparables aux lamedé cisaillent. Le procédé sera traité en détaille dans le chapitre suivant.

I.7.10.Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons exposé les bases de la mise en forme des tôles. Tout d’abord les différents procédés de mise en forme à froid ont été énumérés et les différents modes de déformations rencontrés en mise en forme ont été présentés.

Chapitre 2

THEORIE DE POINÇONNAGE

Chapitre II

. THEORIE DE POINÇONNAGE

II.1.introduction :

Le poinçonnage n'est pas un procédé de découpe thermique. Il s'agit d'un procédé par cisaillage des tôles. La tôle est coincée entre un poinçon et une matrice. La descente du poinçon dans la matrice découpe le matériau comme le ferait une paire de ciseaux. En principe il n'y a pas de limite au poinçonnage,[03] seule la puissance de la machine limite l'épaisseur des matériaux à découper en fonction des caractéristiques mécaniques du matériau. ce procédé permet d'obtenir de grandes précisions de découpe

II.1.1. Principe :

On considère que le poinçonnage est un cisaillage de forme fermée, c'est un glissement de métal dans un plan transversal entre deux barres, sans que celles ci se déforment et ne cessent d'être parallèle. Le débouchage du trou est exécuté à l'aide d'un poinçon et d'une matrice, deux outils comparables aux lames de cisaille

Il existe trois modes possibles de poinçonnage :

- le poinçonnage classique ,[03]: enlèvement de matière par simple réalisation de trous.

- le grignotage, qui consiste à découper un pourtour intérieur ou extérieur par de multiples coups de poinçon.

- le découpage à la presse : découpe de flans à l'aide d'un outillage spécifique.

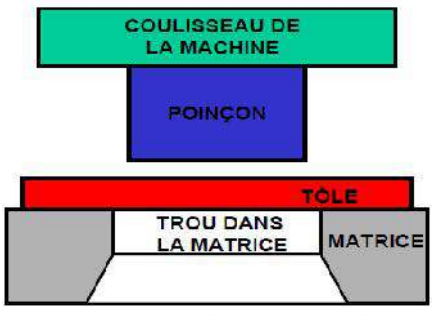


Fig.I.1 le principe de poinçonnage

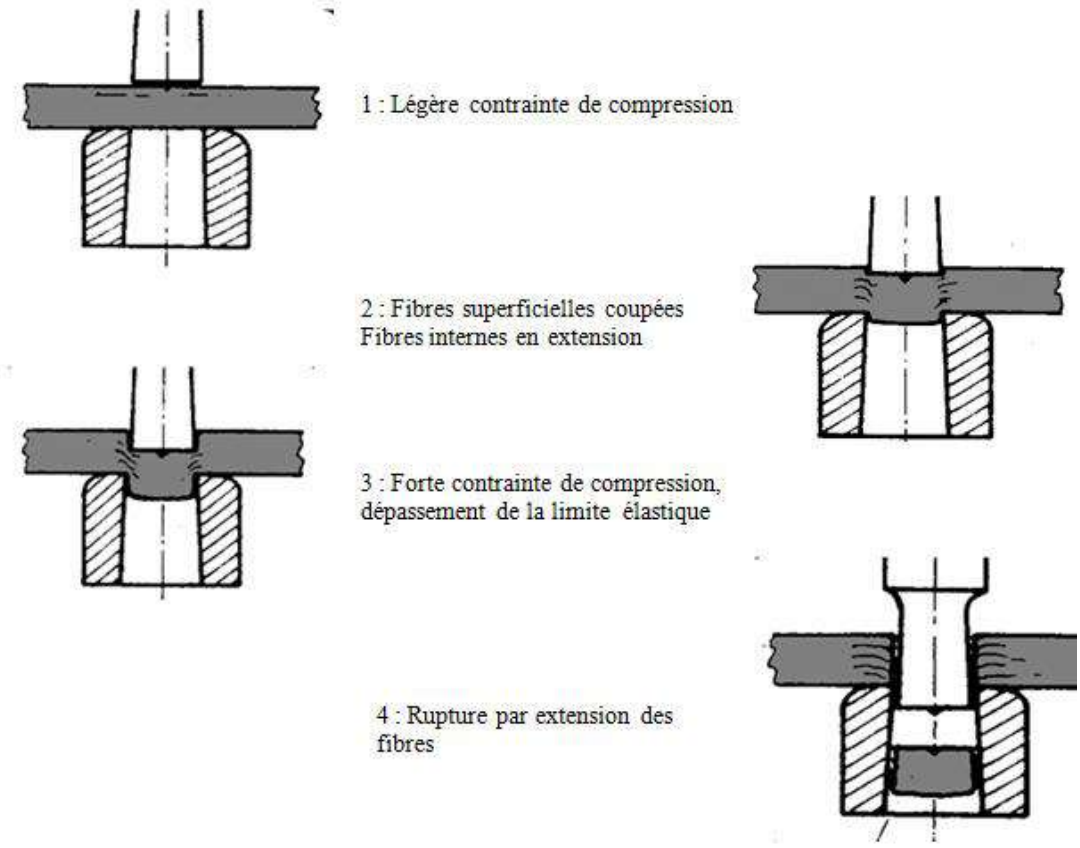


Fig.II.2.les différents phases de poinçonnages

II.1.2.Le poinçon :

Il est composé plusieurs parties :

- Le corps du poinçon qui possède une longueur variable pour monter et serrer l'outil
- La tète qui porte les arêtes tranchantes
- La mouche(ou téton) utile pour positionner l'outil dans les coups de pointeaux préalablement réalisés à cet effet. Ils ont été effectués dans l'axe du trou à réaliser.
- un angle de dépouille qui est de 2 à 3° pour limiter les frottements.

Note : Sur les presses, ou sur les grignoteuses les outils ne possèdent pas forcément d'angles de dépouille.

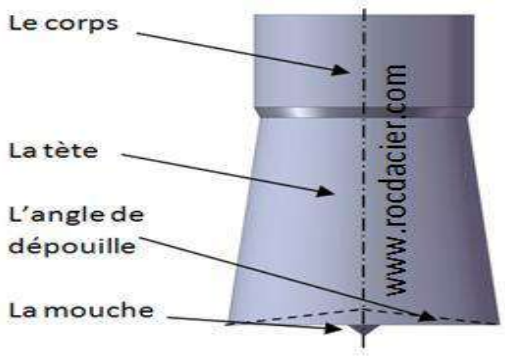


Fig.II.3.poinçon plats avec angle

II.2.Efforts et contraintes sur l'outil et la presse

Sur un outil de presse de type progressif, plusieurs opérations de mise en forme de la tôle sont réalisées : découpage, pliage et emboutissage.

les efforts développés par chacune de ces opérations ne sont cependant pas de même valeur. Les efforts les plus élevés sont situés, en général, au niveau des postes de découpage. Il est donc important de pouvoir évaluer ces efforts pour dimensionner l'outil et déterminer ainsi les efforts globaux de la presse. Le système d'effort en découpage est présenté sur **la figure II4**.

Les efforts verticaux sont les plus importants et font l'objet de cette présentation. On notera cependant que l'effort horizontal peut être significatif : cet effort, variable avec le jeu de découpage et l'usure de l'outil, peut atteindre environ le tiers de l'effort vertical. ,[06]

Les contraintes développées sur les outils de découpage sont également plus élevées que pour les opérations de pliage et d'emboutissage. Les risques de dégradation de l'outil sont alors plus importants (**figureII. 5**).

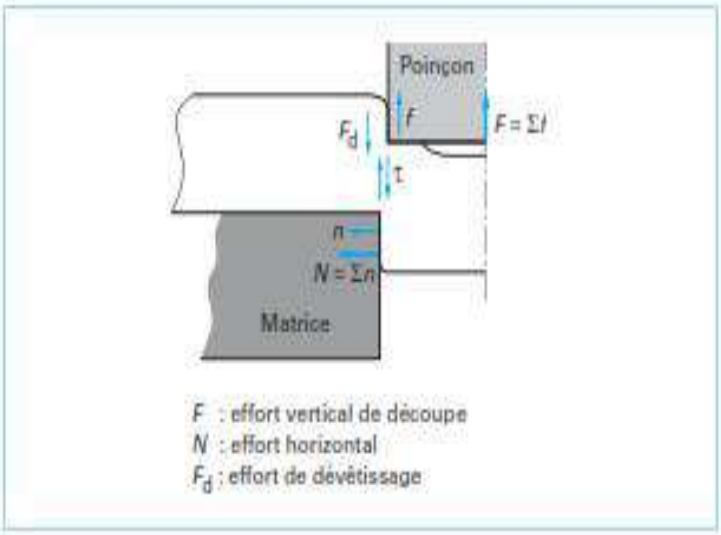


Fig.II.4. Système d'efforts en découpage

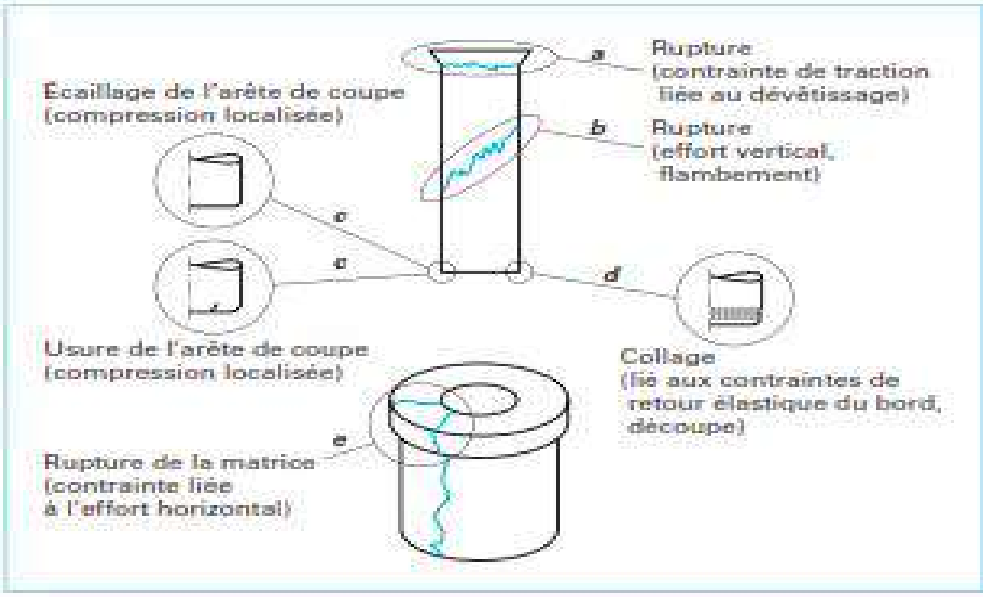


Fig.II.5. Contraintes en découpage et dégradation de l'outil

II.2.1.Calculs d'efforts

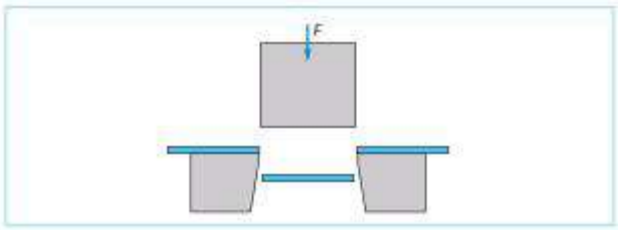
Il est important de pouvoir connaître les efforts que devra fournir la presse destinée à la fabrication de la pièce. Le parc de presses existant est-il adapté. Si ce n'est pas le cas, peut-on frac tonner l'outil en deux outils de tonnage plus faible ou doit-on investir dans une nouvelle presse de tonnage plus important.

Il est également important de connaître la répartition des efforts sur l'outil pour situer la position de l'effort résultant. Afin d'éviter le basculement du coulisseau, on cherchera à placer la résultante des efforts dans l'axe de la presse.

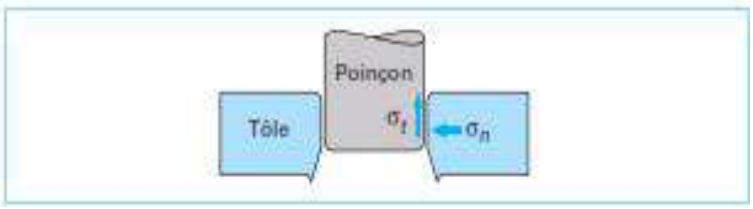
L'effort de découpage, est un effort majeur parmi les opérations de mise en forme des tôles. Des formules de calcul permettant de l'estimer avec plus ou moins de précision existent. Elles sont présentées ci-après.

II.2.2.Effort de découpage pour les poinçons plats :

La plupart des découpages sont réalisés avec un poinçon plat, c'est-à-dire dont la face d'attaque du poinçon est parallèle au plan de la tôle(**figureII. 6**).



FigII.6. découpage avec poinçon plat l'origine de l'effort



FigII.7. Contraintes à de dévêtissage

II.2.3.Effort de dévêtissage :

L'effort d'extraction du poinçon du trou découpé peut être non négligeable. Cet effort résulte de deux phénomènes propres au découpage (**FigureII.7**).

II.2.4.contrainte exercée par le bord découpé de la tôle sur le flanc de l'outil :

Cette contrainte est liée à une contraction sur le poinçon du trou découpé cumulée à des phénomènes de flexion du bord découpé , Elle dépend de nombreux paramètres dont les caractéristiques élastiques de la matière découpée, le jeu de découpage et, ,[06] surtout, l'usure de l'outil ; l'état de surface du poinçon (lié à sa préparation initiale mais, surtout, à l'usure qu'il subit en cours de fabrication). la nature de la tôle travaillée (nuance, état) et du matériau à outil utilisé (acier, carbure, dureté...) ; et bien

évidemment, la qualité de la lubrification réalisée (nature du lubrifiant et quantité appliquée).

Les valeurs mesurées du coefficient de frottement, en fonction de la nature du lubrifiant utilisé et de l'usure de l'outil, varient de 0,1 à 0,4.

On constate que l'effort de dévêtissage est habituellement faible lorsque l'outil est neuf. Il devient véritablement important avec son usure.

Aussi, dans la pratique, cet effort (F_{dev}) est calculé forfaitairement comme égal à une fraction de l'effort de découpage (F) avec un poinçon plat :

$$F_{dev}=c.f \qquad (2.1)$$

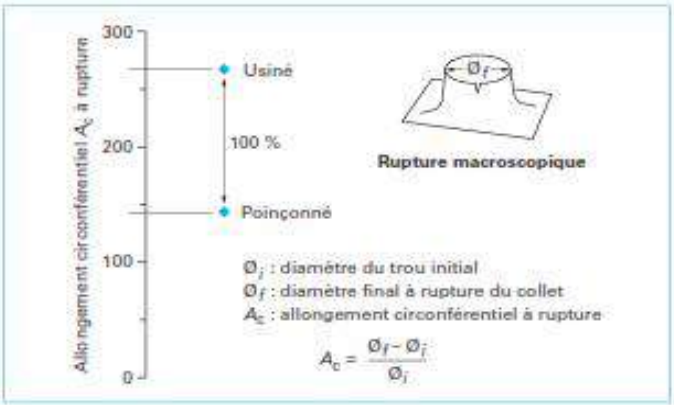
C est la valeur forfaitaire choisie qui, selon l'usure de l'outil que l'on admet, pourra varier de 5 à 20 % de l'effort de découpage.

A 5 %, on admet très peu d'usure de l'outil (affûtages fréquents).

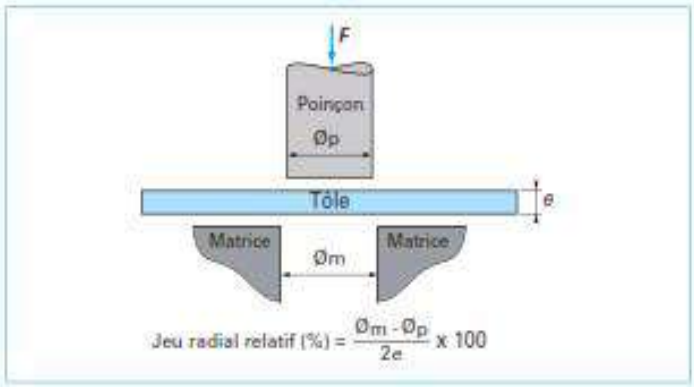
A 20 %, l'outil est très usé. 15 % est une valeur habituelle.

II.3.Paramètres influents en découpage :

Le découpage est influencé par différents paramètres, tant liés à l'outil de découpage qu'au procès de réalisation de la pièce. Parmi ces paramètres, nous avons choisi de présenter ceux qui paraissent majeurs ou qui sont souvent mal compris par ceux qui découvrent le métier.



FigII.8.comparaison entre la capacité de déformation découpage



figII.9.définition du jeu de du bord d'un trou usinée poinçonné

II.3.1. le jeu de découpage :

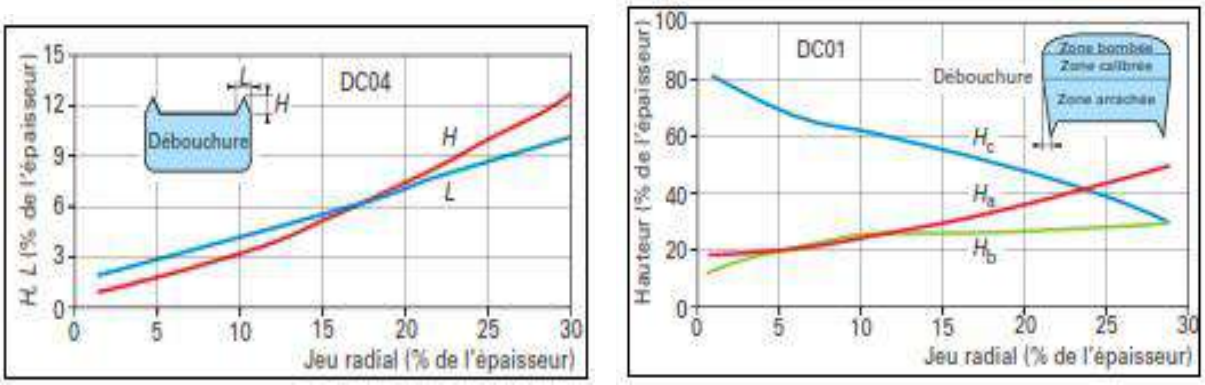
Parmi les paramètres importants de l'opération de découpage, le jeu occupe une place majeure. Bien que plusieurs travaux importants sur le sujet aient été réalisés par le passé , le jeu n'était pas considéré dans le métier à la hauteur de son importance.

Le jeu est défini habituellement comme étant l'écart entre les arêtes de coupe du poinçon et de la matrice, rapporté à l'épaisseur de la tôle (**figureII. 9**). Les valeurs courantes utilisées varient entre 5 et10 % de l'épaisseur de la tôle. Des jeux plus faibles, jusqu'à quelques pour-cent, peuvent être utilisés, ainsi que des jeux beaucoup plus forts, jusqu'à 20 %. Leur choix est fonction du matériau travaillé et des caractéristiques du découpage recherchées.

La valeur du jeu de découpage choisi pour réaliser l'outil aura des conséquences sur la hauteur de bavure de la pièce, sur la proportion des hauteurs des zones sur le bord découpé et sur la dimension de la partie découpée (**figureII. 10**).

Le choix du jeu le mieux adapté au procès sera un compromis entre tous ces résultats auxquels il faut ajouter les conséquences sur :

– **l'usure de l'outil** : un jeu plus faible réduit la dimension de l'ajourage par rapport à celle du poinçon. La pression exercée par le bord découpé de la tôle sur les flancs de l'outil va donc s'accroître et augmente ainsi l'usure de l'outil dont on pourra mesurer les conséquences sur l'effort de dévêtissage .



figII.10. l'usure de l'outil

II.5.Vitesse de découpage :

Dans le travail des tôles, [06] sur presse, on parle plus volontiers de cadence que de vitesse. Or, si la cadence est le paramètre que l'on règle sur la presse, c'est implicitement la vitesse d'impact du poinçon de découpage sur la tôle que l'on va changer.

Cette vitesse n'est pas seulement dépendante de la cadence de la presse, mais également des réglages de la course et de la distance de travail par rapport au point mort bas (cas des presses mécaniques **figureII. 9**) et de la conception même de la ciné mantique de la presse (cas des presses à cycle variable qui diffèrent des cycles sinusoïdaux classiques). La vitesse s'exprime habituellement en millimètre par seconde (mm/s) et correspond à la vitesse de pénétration du poinçon dans la tôle. Les vitesses typiques, dans le découpage traditionnel, varient entre 40 et 400 mm/s.

Dans les approches par la simulation numérique du découpage, il peut être nécessaire d'utiliser des modèles de comportement du matériau intégrant la vitesse de déformation [10]. En effet, les vitesses de déformation en découpage, qui se situent entre 1 s^{-1} à

10^3 s^{-1}, placent le matériau découpé à la limite du domaine de comportement quasi statique et le situent plutôt dans un domaine.

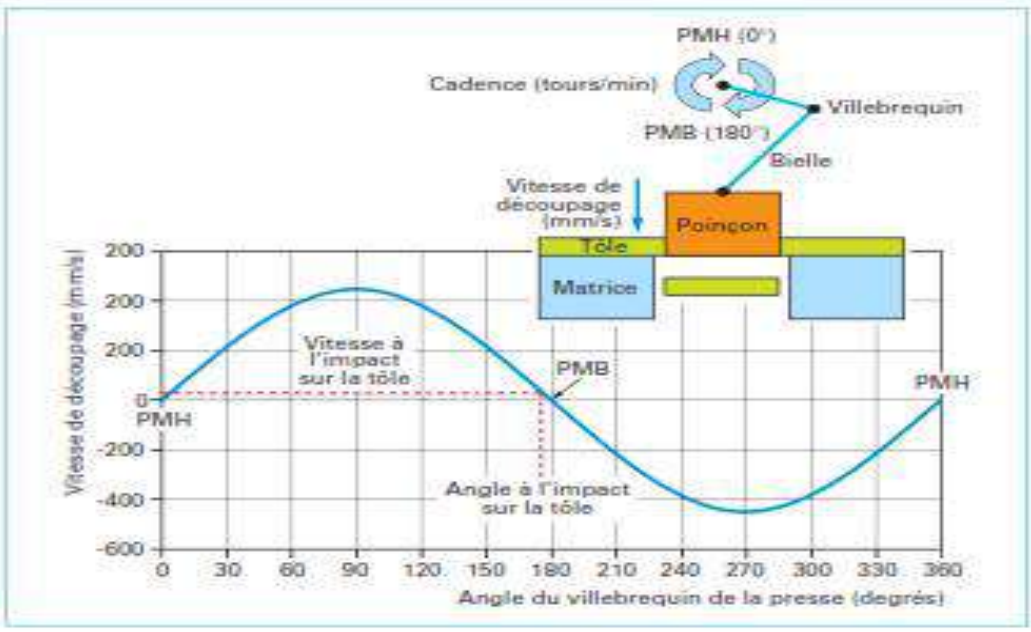


Fig.II.11.relation entre la vitesse de découpage et l'angle du vilebrequin

II.6.Caractéristiques du poinçon :

Un outil de poinçonnage est caractérise par :

- mobile ou fixe.
- résister à la compression.
- résister au flambage.
- si le poinçon circulaire : **d ≥ 1.6*e**

Au : ***d:*** le diamètre du poinçon.

e : l'épaisseur de la tôle.

II.7.Utilisation des poinçons :

En générale pour une bonne durée de vie du poinçon en acier trempé :

- Si le poinçonnage est à chaud : il faut plonger dans l'eau après chaque poinçonnage à chaud, afin d'éviter qu'il ne s'échauffe au-dessus de la t° du revenu, ce qui aur ait pour effet (bien que sa dureté Rockwell soit aux alentours de 60HRC) de l'attendrir un peu.
- si le poinçonnage est à froid : il est impératif ce que le métal soit bien recuit, il faut donc penser à la vie de poinçon.
- Pour les aciers durs de coutellerie : le poinçonnage à froid est évidement, mais la durée de vie du poinçon sera un peu raccourcie
- Pour les métaux en feuille : alu, argent, cuivre, laiton, (bien recuit si utilisés en fine épaisseur en ciselure au repoussé)…Il faut veiller à ce que cette feuille, soit bien plane et posée sur une surface rigide (ou légèrement souple.

II.8.La matrice:

Elle est le «support d'empreinte» du poinçon. A son axe elle comporte un trou aux formes et dimensions du poinçon, auquel on ajoute un jeu de quelques dixièmes de millimètres.

II.9.Le jeu:

Un jeu est nécessaire entre les arêtes des outils.ce jeu diminue l'effort de poinçonnage et l'écrouissage de la zone poinçonnée. Ce jeu de poinçonnage sera proportionnel à l'épaisseur poinçonnée et dépendra en règle générale :

- ¾ pour les aciers de construction, pour l'aluminium et ses alliages, le cuivre et ses alliages, on choisi un jeu diamétral à ***épaisseur/10***.
- ¾ pour les métaux durs et mi-durs comme pour les aciers inoxydables on choisira un jeu diamétral d'***épaisseur/8***.

Par exemple :

Si vous souhaitez poinçonner une pièce en acier ***S235*** d'***épaisseur 6 mm*** avec un poinçon de diamètre de ***6*0.1=0,6 mm***.

nous devrons alors monter une matrice de ***6,6 mm*** pour poinçonner dans des conditions optimales.

II.10.Effort de poinçonnage et section minimale du poinçon: ,[05]

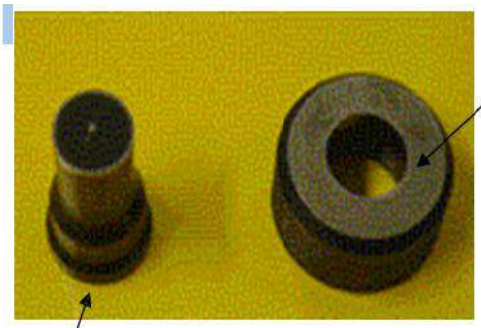
L'effort de poinçonnage dépend de l'épaisseur, du périmètre de la section du trou, de la résistance du métal et des frottements qui sont généralement négligés. Une lubrification est conseillée pour ne pas user prématurément les outils. Par conséquent, La force à appliquer est:

$$F = L * e * R_m$$

- ***L :*** est le périmètre découpé.
- ***e :*** est l'épaisseur.
- R_m ***:*** la résistance à la rupture par traction du matériau.

II.11.Les outils :

Les outils (poinçon et matrice),[05] ont une forme et des dimensions appropriées, ceci afin de réduire les déformations dues au cisaillage. Ce procédé est employé lorsque l'on ne recherche pas une grande précision dans l'exécution



Matrice

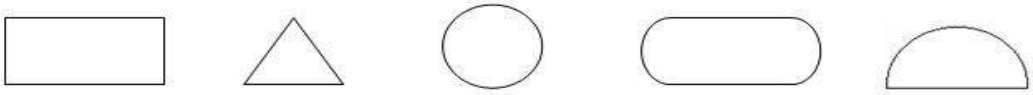
Poinçon en poste

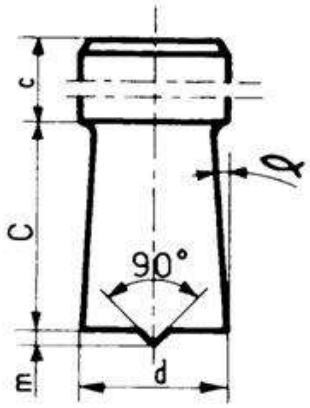
Poinçon

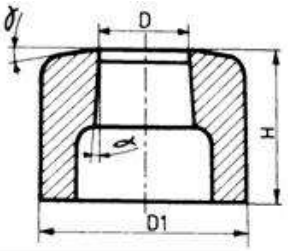


Matrice

Le poinçonnage permet d'obtenir des trous de formes diverses







D1	> 2.5 D
H	Variable suivant le porte matrice
α	2° à 3°

C	Cône de coupe < 1.5d
c	Corps – longueur et formes variables
m	Mouche 0.5 à 3mm
α	2° à 3°

Si la résistance maxi = 45 kg/mm2 , l'épaisseur maxi = diamètre du poinçon

Attention: ne jamais poinçonner de trous dont l'épaisseur est supérieur au diamètre du poinçon.

Exemples : diamètre 11 pour E = 10mm ⇨ OUI pour Rr = 45

(pour les poinçons non ronds, le diamètre = petit coté de la figure)

Exemples:

Matière	Résistance en kg/mm2	Ø poinçon	Epaisseur	Résultats	Interprét
Acier inox.	70	4	3	2.57	Risque de casse du poinçon
Acier	60	10	5	7.57	Le poinçon passe
Acier	45	Rectangle 5 x 30	4	5	Le poinçon

II.12.Calcul de la force nécessaire pour poinçonner tout type de matière :

$$F(T) = \frac{D\,(mm) \times 3.14 \times E\,(mm) \times Rr\,(kg/mm2)}{1000\,kg}$$

Exemples :

Matière	Résistance en kg/mm2	Ø poinçon	Epaisseur	Forces nécessaire pour
Acier inox.	45	23	17	5
Acier Inox.	70	23	12	6
Acier Inox.	45	12	17	Le poinçon casse

II.13. Avantages et inconvénients du poinçonnage:

a) Avantage :

- Par rapport au perçage, le poinçonnage est extrêmement économique (gain de temps, usure moindre des outils, affutage peu fréquent) et donne la possibilité d'utiliser toute sortes de formes pour les trous.
- Par rapport au découpage à la presse, le grignotage sur commande numérique permet de changer de série en minimisant les couts d'outillages, de découper de grands formats, et d'utiliser des outils simples et peu onéreux

b) Inconvénients :

- Limité dans les épaisseurs
- Section minimale du poinçon limitée

CHAPITRE 3

MODELISATION NUMERIQUE DE LA PERFORATION

Chapitre III

MODELISATION NUMERIQUE DE LA PERFORATION

III.1 Introduction :

Une analyse explicite dynamique est utilisée pour déterminer la réponse dynamique due à la perforation d'une tôle d'aluminium par un poinçon d'acier. Ce type d'analyse peut également être utilisé pour modéliser des phénomènes mécaniques qui sont fortement non linéaires. Les non-linéarités peuvent provenir du matériau, du contact et d'une grande déformation géométrique. Des problèmes avec des échelles de temps de moins d'une seconde (généralement de l'ordre de 1 milliseconde) sont correctement simulés avec ce type d'analyse.

Dans ce but on a utilisé le modèle explicite dynamique sous l'environnement WORKBENCH pour résoudre notre problème. On présentera dans ce chapitre la procédure de résolution et les principaux résultats qu'on peut avoir. ,[05]

III.2 Modélisation mathématique de l'impact :

III.2.1 Dynamique Explicit transitoire:

Les équations aux dérivées partielles à résoudre dans une analyse explicite dynamique expriment la conservation de la masse, la quantité de mouvement et l'énergie en coordonnées lagrangiennes. Ceux-ci, avec un modèle de matériau et un ensemble de conditions initiales et limites, définit la solution complète du problème.

Pour la formulation de Lagrange actuellement disponibles dans le système Dynamics Explicit, le maillage se déplace et se déforme avec le matériau et la conservation de la masse est automatiquement satisfaite. La densité à tout moment peut être déterminée à partir du volume actuel de la zone et de sa masse initiale.

$$\frac{\rho_0 V_0}{V} = \frac{m}{V} \qquad (3,1)$$

Les équations aux dérivées partielles qui expriment la conservation du moment se rapportent à l'accélération du tenseur des contraintes ∂**ij.**

$$\begin{cases} \rho\ddot{x} = b_x + \frac{\partial\sigma_{xx}}{\partial_x} + \frac{\partial\sigma_{xy}}{\partial_y} + \frac{\partial\sigma_{xz}}{\partial_z} \\ \rho\ddot{x} = b_x + \frac{\partial\sigma_{xy}}{\partial_x} + \frac{\partial\sigma_{yy}}{\partial_y} + \frac{\partial\sigma_{yz}}{\partial_z} \\ \rho\ddot{x} = b_x + \frac{\partial\sigma_{xz}}{\partial_x} + \frac{\partial\sigma_{yz}}{\partial_y} + \frac{\partial\sigma_{zz}}{\partial_z} \end{cases} \quad (3,2)$$

la conservation de l'énergie est exprimée par:(3,3)

$$\dot{e} = \frac{1}{2} + (\sigma_{xx}\dot{\epsilon}_{xx} + \sigma_{yy}\dot{\epsilon}_{yy} + \sigma_{zz}\dot{\epsilon}_{zz} + \sigma_{xy}\dot{\epsilon}_{xy} + \sigma_{yz}\dot{\epsilon}_{yz} + \sigma_{zx}\dot{\epsilon}_{zx}).$$

Ces équations sont résolues explicitement pour chaque élément dans le modèle, fondé sur des valeurs d'entrée à la fin du pas de temps précédent. Des incréments de temps de petite taille sont utilisés pour assurer la stabilité et la précision de la solution.

Dans une simulation dynamique explicite bien posé, la masse, la quantité de mouvement, et l'énergie doivent être conservés.

III.2.2 Temps d'intégration :

Dans cette section, le schéma explicite dynamique d'intégration en temps est décrit et comparée avec une formulation implicite.

a) Méthode implicite :

Pour une intégration en temps implicite, ANSYS résout l'équation d'équilibre dynamique transitoire à l'aide de l'approximation NewMark

-Pour les problèmes linéaires : l'intégration temporelle implicite est inconditionnellement stable.

-Pour un problème non linéaire:

- La solution est obtenue en utilisant une série d'approximations linéaires (méthode de Newton-Raphson), de sorte que chaque pas de temps peut avoir de nombreuses itérations d'équilibre.
  - Petit pas de temps répétitifs peuvent être nécessaires pour parvenir à une convergence.
  - Convergence des outils sont fournis, mais la convergence n'est pas garantie pour des problèmes fortement non linéaires.

b) Méthode explicite :

Le solveur explicite dynamique utilise un schéma de différence centré (souvent appelée la méthode Leapfrog).

Après que les forces ont été calculées au niveau des nœuds de la maille (résultant de tensions internes, de contact, ou des conditions aux limites) les accélérations nodales sont dérivées en assimilant l'accélération à la force divisée par la masse.

Par conséquent, les accélérations sont :

$$\ddot{x}_i = \frac{F_i}{m} + b_i \tag{3,4}$$

Où:

$\ddot{x}_i$ ***:*** sont les composantes de l'accélération nodal (i = 1, 2,3)

F_i : sont les forces agissant sur les points nodaux

b_i : sont les composantes de l'accélération du corps

m : est la masse attribuée au nœud

Avec les accélérations au temps n déterminée, les vitesses au moment n+1/2sont trouvées

Avec :

$$\dot{x}_i^{n+1} = \dot{x}_i^n + \ddot{x}_i^{n+1/2} \Delta t^{n+1/2} \tag{3,5}$$

Et, enfin, les positions sont mises à jour n +1 temps en intégrant les vitesses :

$$x_i^{n+1} = x_i^n + \dot{x}_i^{n+1/2} \Delta t^{n+1/2} \tag{3,6}$$

Les avantages de cette méthode pour l'intégration du temps pour des problèmes non linéaires sont :

- Les équations sont non couplées et ne peuvent être résolus directement. Il n'est pas nécessaire de faire des itérations au cours d'intégration du temps.
- Aucune vérification de la convergence n'est nécessaire puisque les équations sont découplées.
- Aucune inversion de la matrice de rigidité n'est nécessaire. Toutes les non-linéarités (y compris le contact) sont incluses dans le vecteur de force interne.

Pour assurer la stabilité et la précision de la solution, la taille du pas de temps utilisé dans l'intégration explicite en temps est limitée par la condition CFL (Courant-Friedrichs-Lewy).

Cette condition n'implique que le pas de temps limitée tels que la perturbation (onde de contrainte) ne peut pas traverser la dimension le plus petite caractéristique de la maille, dans un pas de temps unique. Ainsi, les critères pas de temps pour la stabilité solution est :

$$\Delta t = f * \left[\frac{h}{c}\right]_{min} \quad (3,7)$$

Lorsque :

Δt est l'intervalle de temps.

$\mathcal{F}$: est le facteur le pas de temps de stabilité (= 0, 9 par défaut)

h: est la dimension caractéristique d'un élément

C: est la vitesse du son

La dimension h d'élément caractéristique est calculée comme suit :

Hexaèdre	Le volume de l'élément divisé par le carré de la plus grande diagonale de la zone et à l'échelle par $\sqrt{3}/2$
Tétraèdre	La distance minimale de tout élément nœud de l'élément qui s'oppose à face

Le pas de temps utilisé dans l'intégration explicite du temps sera généralement plus petit que ceux utilisés dans l'intégration en temps implicite.

III.3 Simulation numérique par le code *AUTODYN :*

III.3.1 Définition :

Le logiciel ***ANSYS AUTODYN*** est un outil d'analyse polyvalent explicite pour la modélisation de la dynamique non linéaire des solides, des liquides, des gaz et de leurs interactions. Le produit a été développé pour fournir des fonctionnalités avancées dans un robuste outil facile à utiliser. Les projets de simulation peuvent être complétés avec un effort beaucoup moins de temps et de coûts que d'autres programmes explicites.

La technologie du solveur dans ***ANSYS AUTODYN*** prévoit:

- solveurs éléments finis pour de calcul dynamique des structures (***FE***) instationnaire rapide.
- solveurs de volumes finis pour la dynamique des fluides computationnels (***CFD***).
- solveurs de particules sans maillage pour des vitesses élevées, la grande déformation et de fragmentation.
- couplage Multi-solveur des solutions multi-physiques y compris le couplage entre les ***EF*** et ***CFD.***

- Une suite gamme de modèles incorporant des matériaux et de la thermodynamique couplée.
- La plate forme ***ANSYS Workbench*** offre un environnement entièrement intégré pour la simulation efficace drivent développement produit avec:

o Bidirectionnelle *CAO* connectivité.

o critères de génération de maillage automatique à l'aide appropriée pour les simulations explicites.

o Détection automatique surface de contact piloté par des paramètres d'optimisation.

o capacités globales de production de rapports pour chaque simulation.

o créations de la géométrie, de modification à l'aide de l'outil ANSYS « Design Modeler ».

III.3.2 Préparation de l'analyse :

III.3.2.1 Exécution de la dynamique explicite :

Pour exécuter **ANSYS-explicite dynamique**, effectuez l'une des deux étapes suivantes :

- Dans le menu Démarrer, lancez ANSYS Workbench, puis ajoutez le composant explicite dynamique au Schéma du projet (double-cliquez sur le système composant explicite dynamique dans la boîte à outils,
- ou faites glisser le système composant explicite dynamique de la boîte à outils au Schéma du projet).

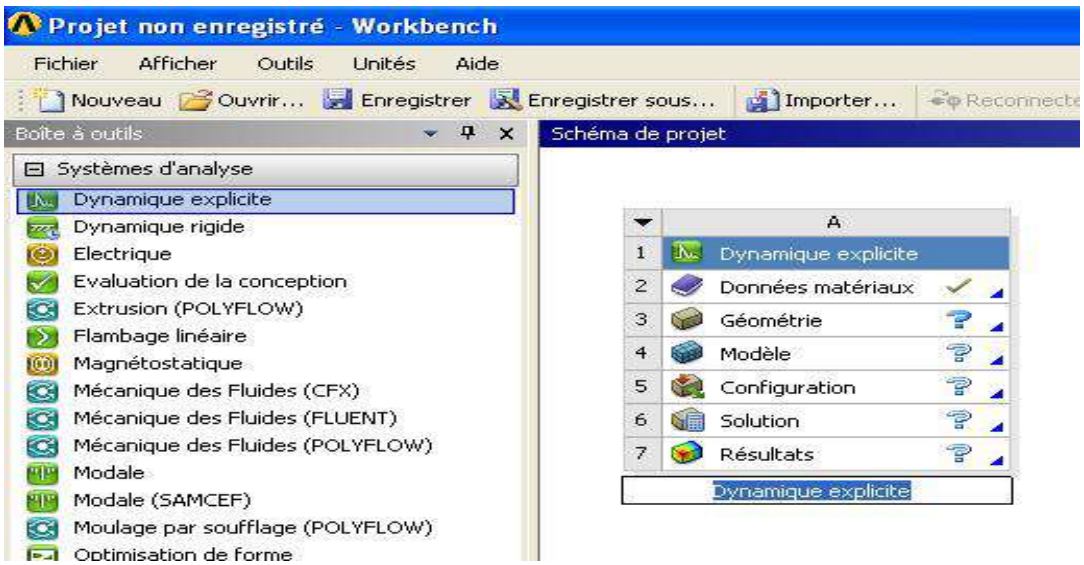


Fig III.1 : Page accueil de l'outil workbench.

III.3.2.2 Spécification des matériaux utilisés :

Dans la boite de dialogue suivante, on va utiliser les matériaux de la bibliothèque de logiciel s'ils existent, si non on va définir les caractéristique de ces matériaux (module d'élasticité, coefficient de poisson, masse volumique, etc.…..), ici on va utiliser les matériaux suivants : ***aluminium***, et ***acier 4340***.

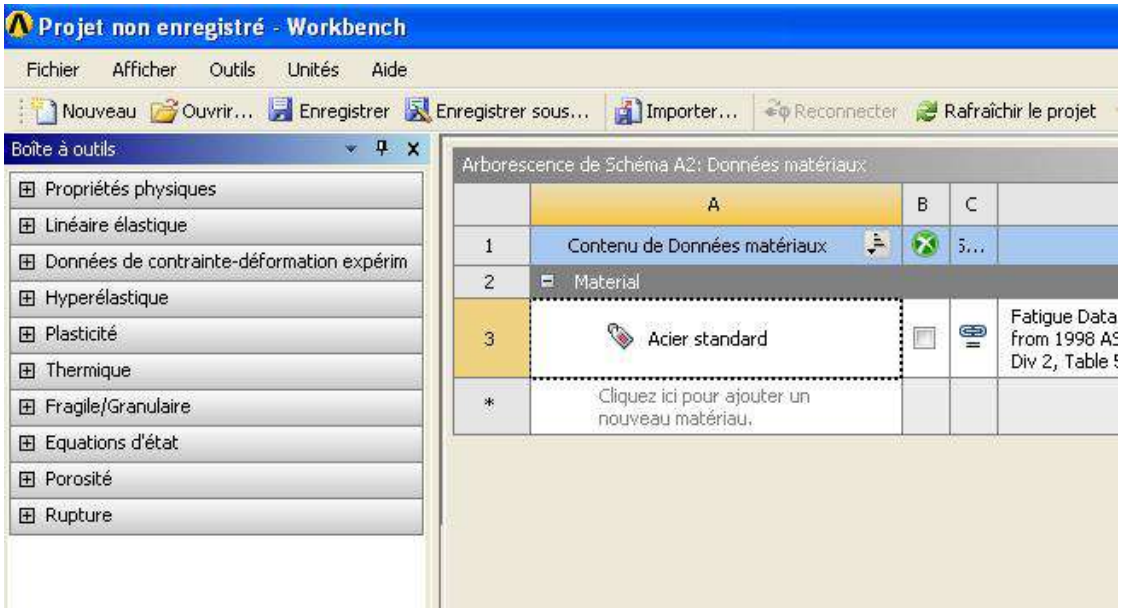


Fig III.2 : Boite de dialogue pour déclaration des matériaux.

III.3.3 Conception du modèle :

Pour la conception du modèle on a suivi l'une des deux étapes suivantes :

La conception est faite à l'aide des outils de conception dans la barre d'outils du module explicite dynamique



Pour cette méthode on va définir plusieurs paramètres pour obtenir la géométrie (définir le plan d'exécution- esquisses: géométrie, cotation,…-générer les Extrusion- etc.…)

La conception du modèle peut être réalisée par d'autre logiciel de conception inclus par Workbench. Pour importer le modèle, on utilise la fonction importer le fichier géométrie ensuite en clique sur Générer.

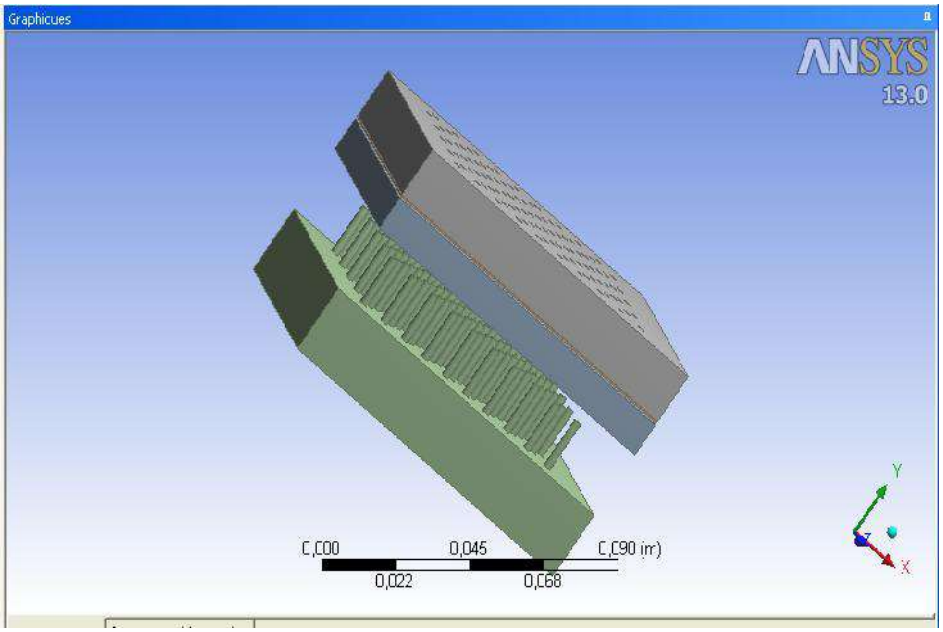


Fig III.3. Schéma de modèle

le modèle du poinçonnage est montré sur **la figure3**, vu le temps important pour exécuter une seule opération, on propose un modèle simplifier de notre problème réel. On a pris un seul poinçon par la suite on va généraliser les résultats.

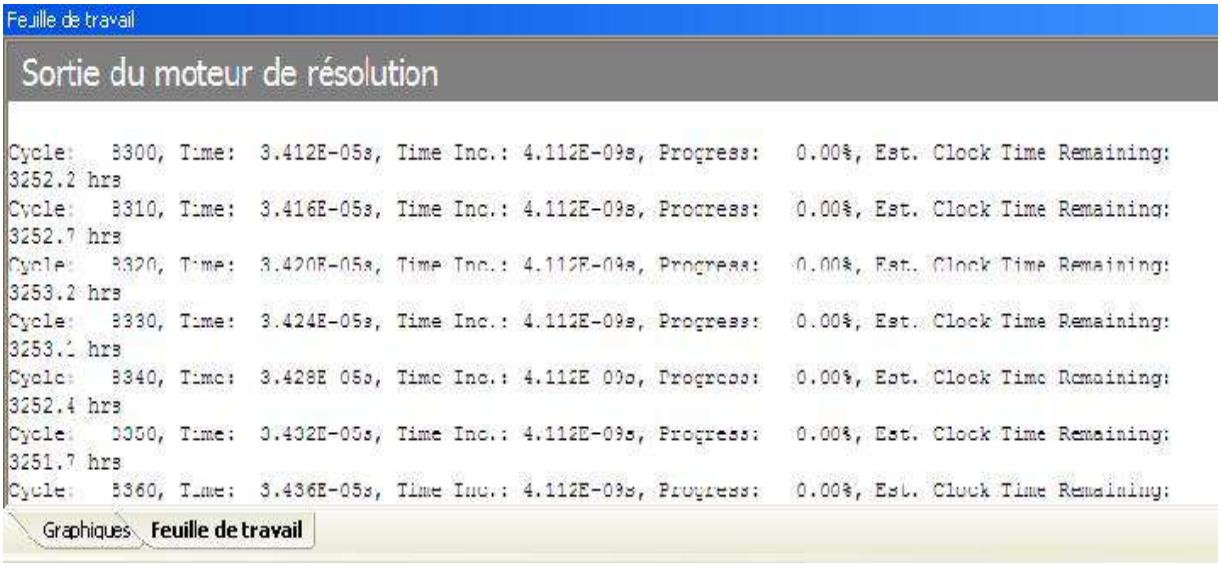


Fig III.4. Feuille de travail

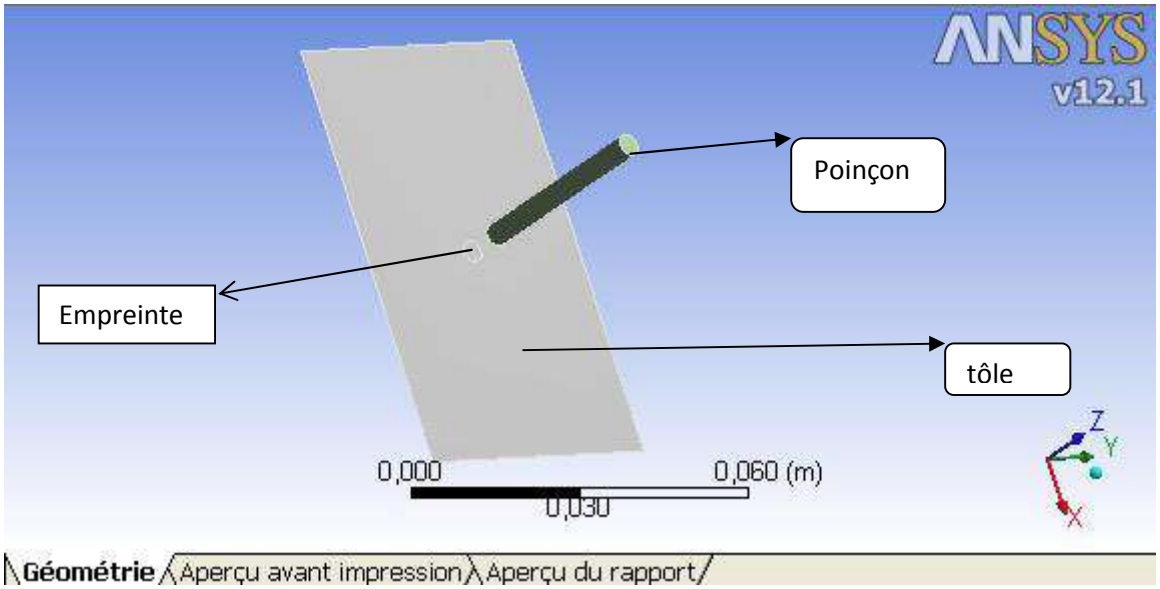


Fig III.5. Schéma de modèle simplifié

III.4.1 Affectation des matériaux

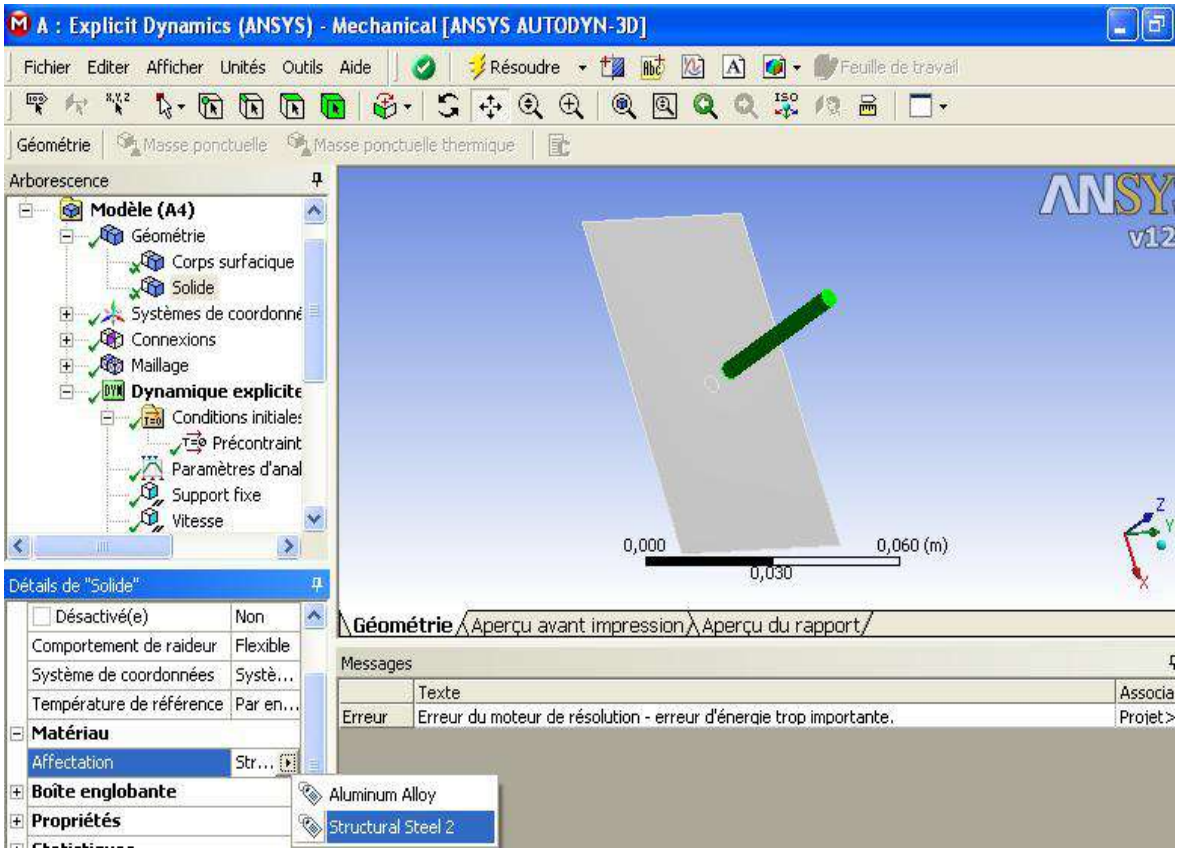


Fig III.6. Configuration des matériaux utilisés.

III.4. Maillage :

La figure suivante montre les paramètres de maillage (taille des éléments de maillage, type de maillage, etc.…).

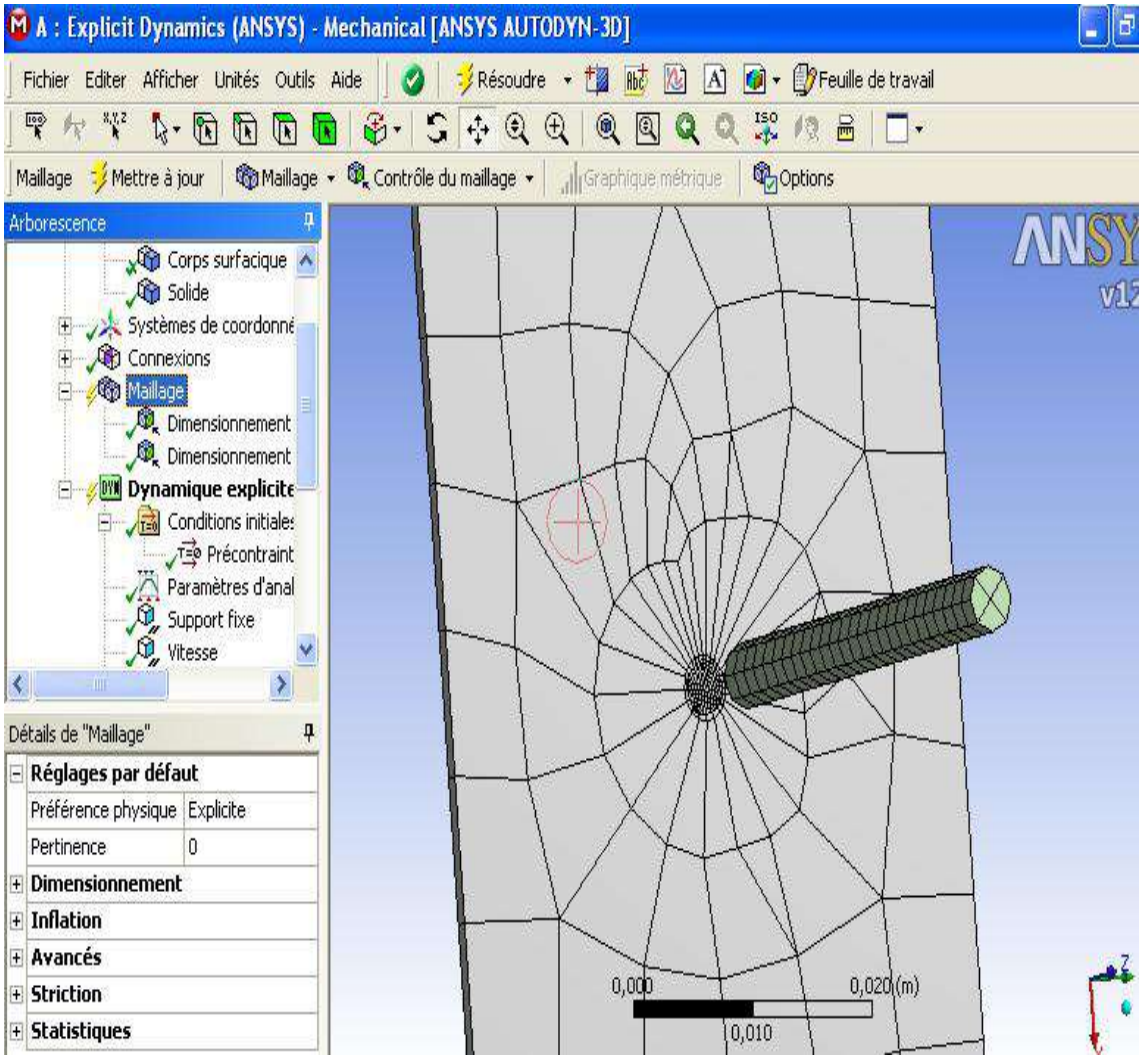


Fig III.7. Le maillage du modèle.

III.5.5. Conditions initiales : Dans la boite de dialogue suivante on va définir les conditions initiales (paramètres d'analyse, vitesse, support fixe,…)

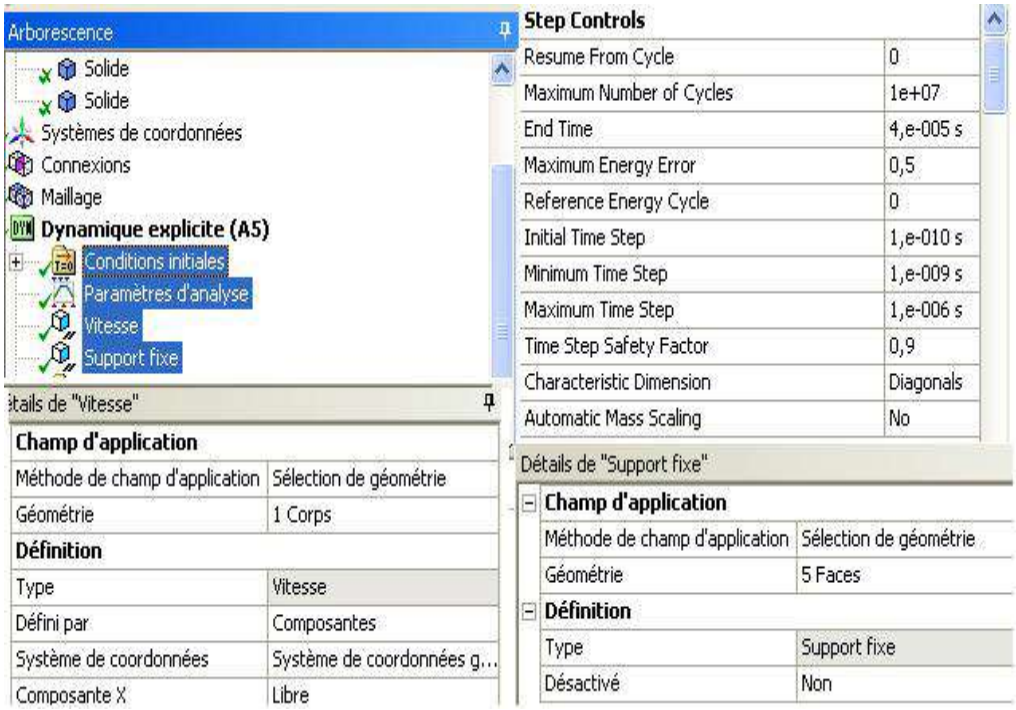


Fig III.8. Schéma détaillé des fonctions de l'outil

III.6. Application de la solution :

Il faut spécifier les résultats désirés par leur insertion dans la partie solution. On peut obtenir différent résultats tels que les déformations, les contraintes, les déplacements, etc. comme schématisé dans la figure suivante.

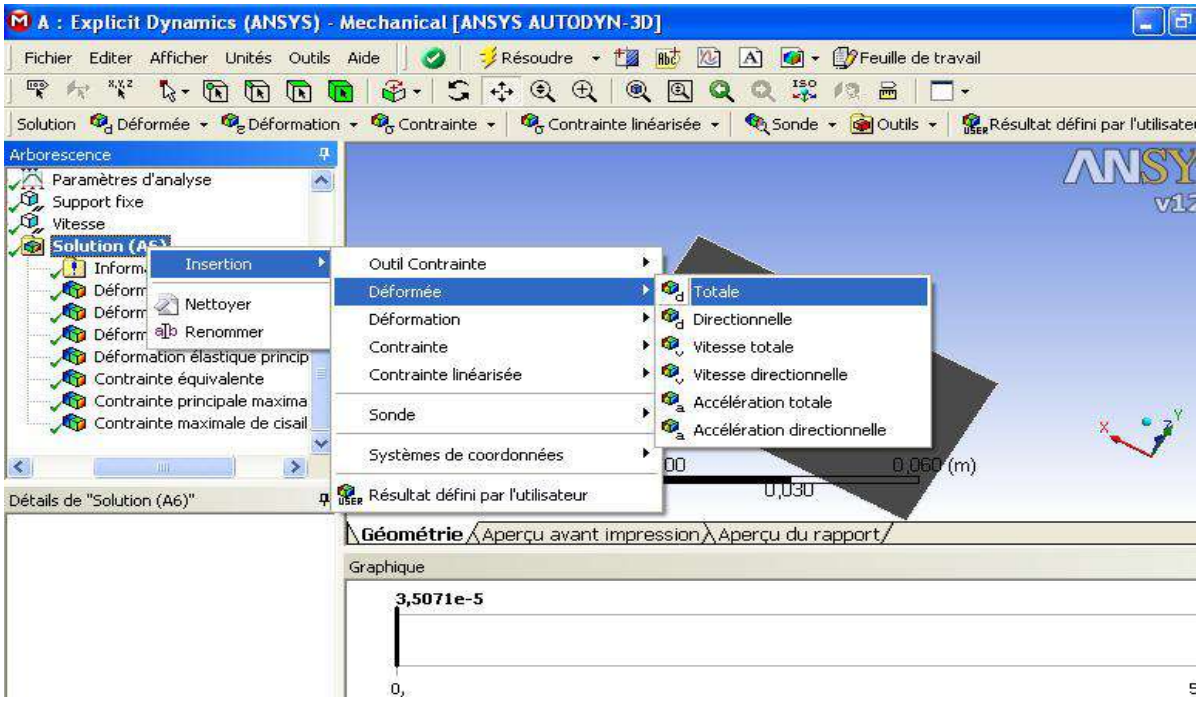


Fig III.9. Spécification les résultats

III.7.Résultats et Discussion :

Dans cette partie on v a présenter les principaux résultats obtenus par la simulation numérique concernant l'interaction des corps (poinçon-tôle).

1) Les Déformations :

Les figures suivantes présentent respectivement les déférentes déformations obtenues au cours de la perforation.

b) Déformée total

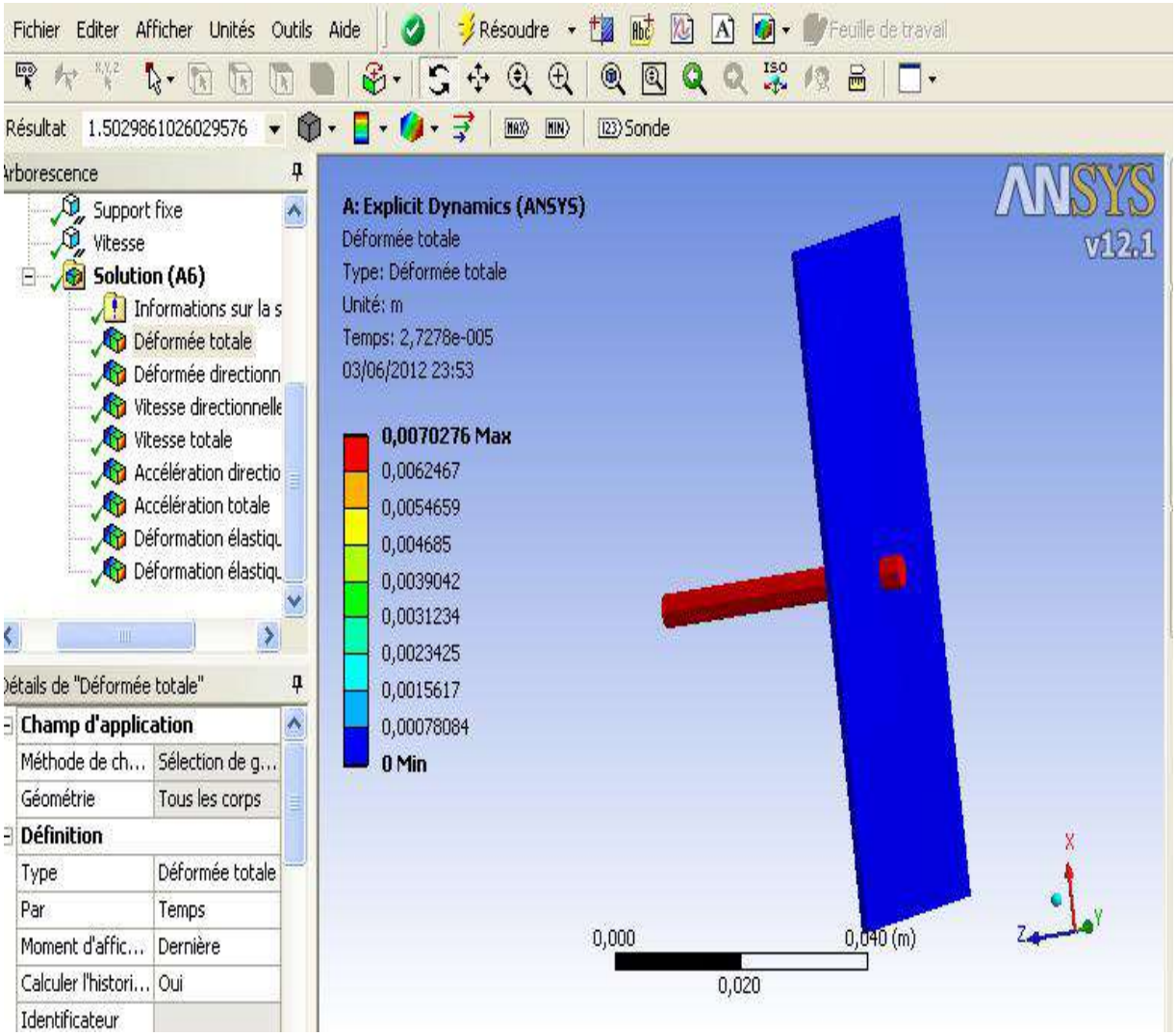


Fig III.10. Domaine de déformée total de la tôle

b) Déformée directionnelle

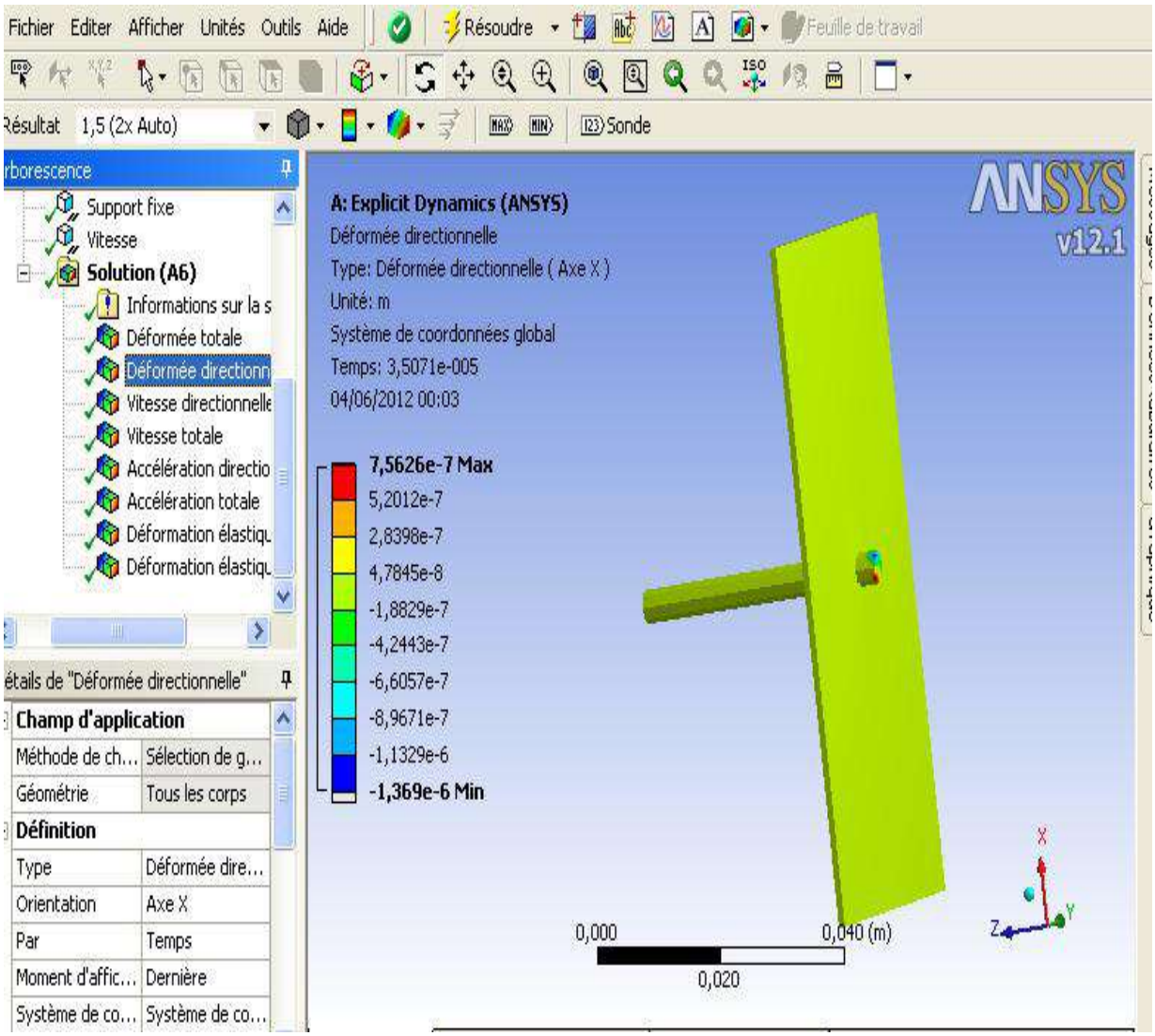


Fig III.11. Déformation directionnelle de la tôle

c)Vitesse total

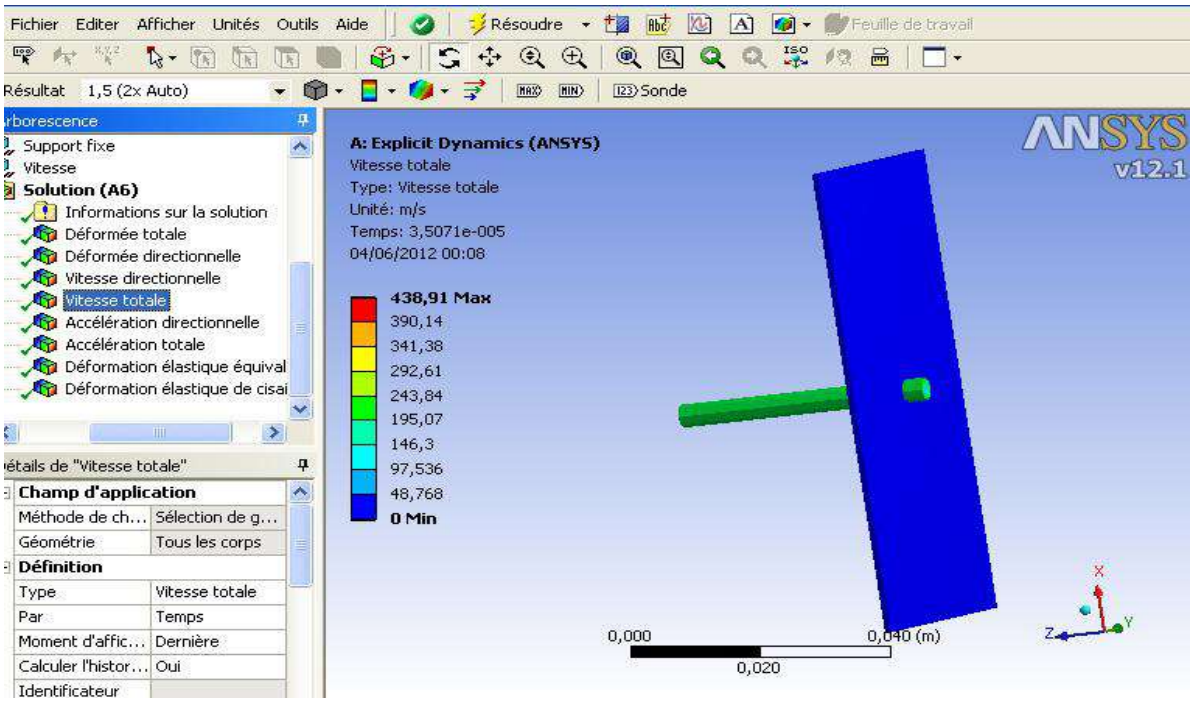


Fig III.12 . vitesse total de la tôle

d) Accélération directionnelle

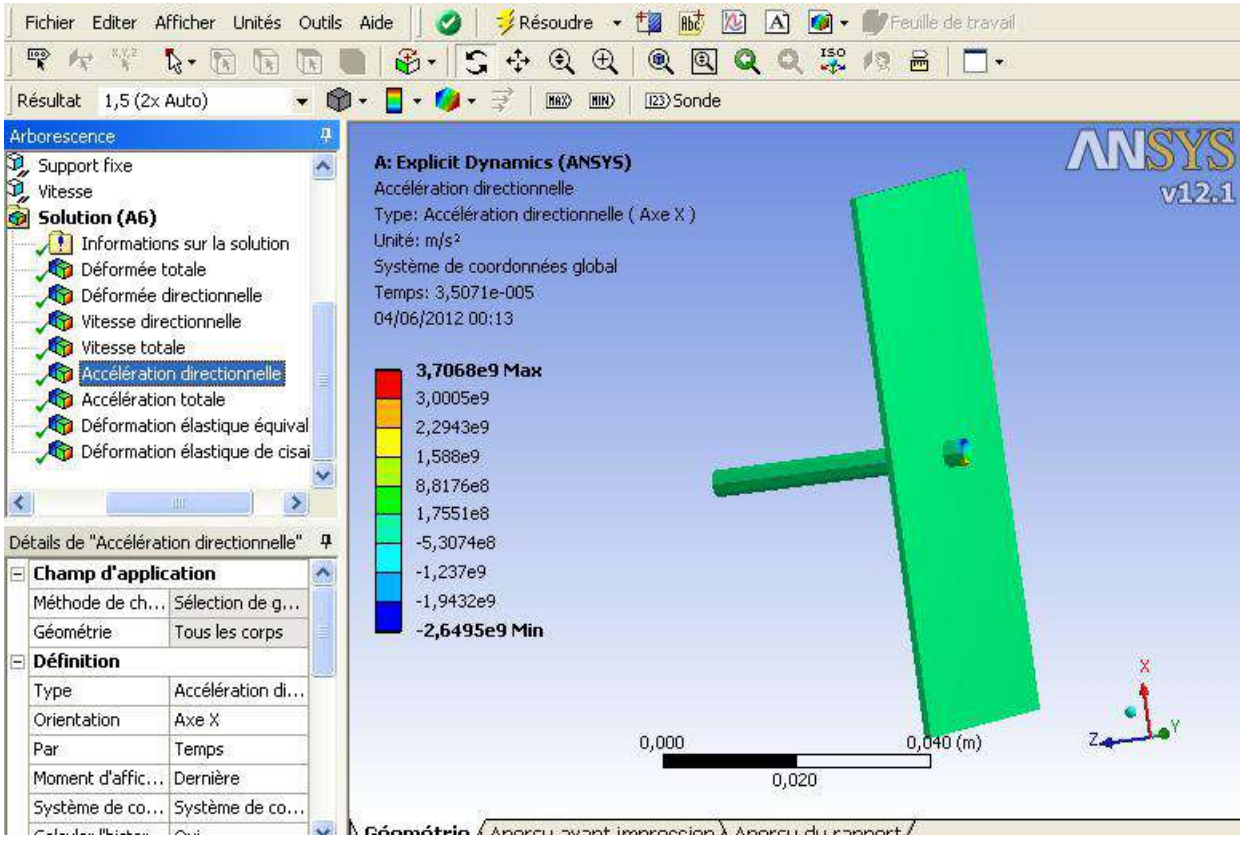


Fig III.13. Accélération directionnelle de la tôle

e)Vitesse directionnelle

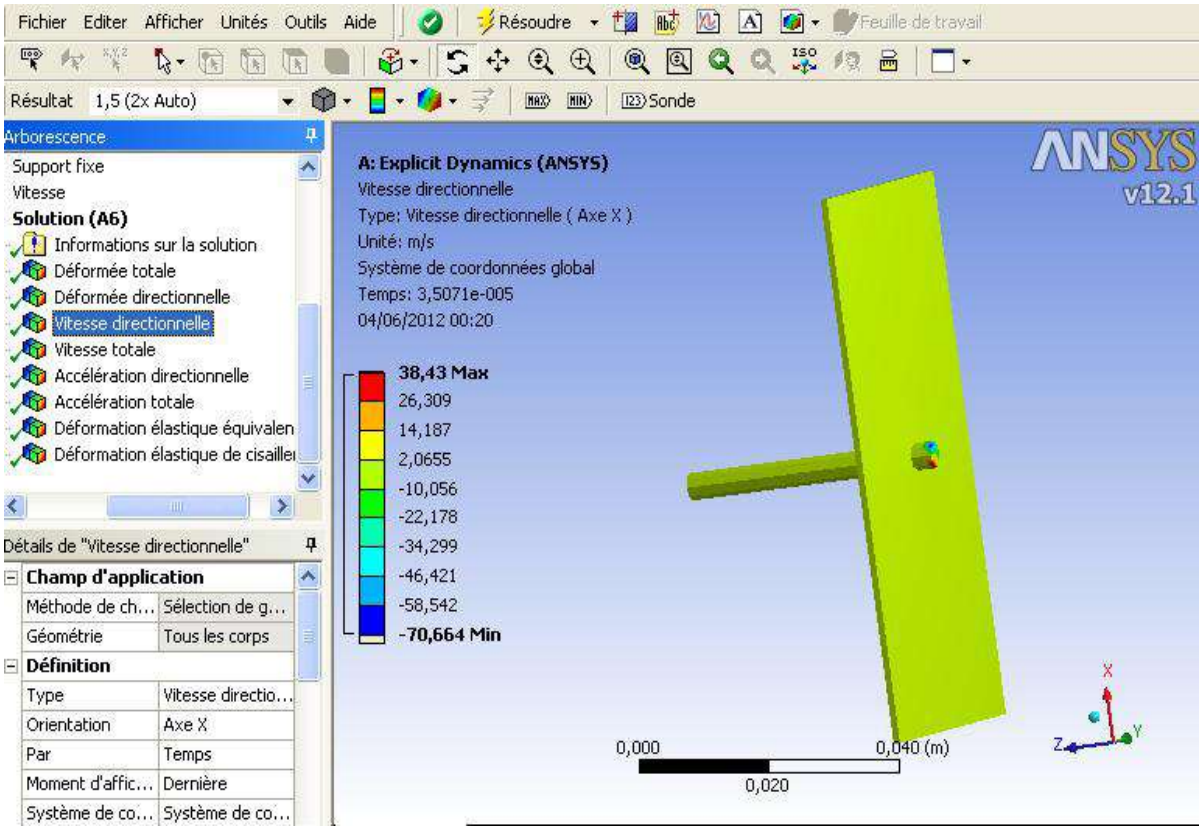


Fig III.14. Domaine de vitesse directionnelle de la tôle

f) Accélération totale

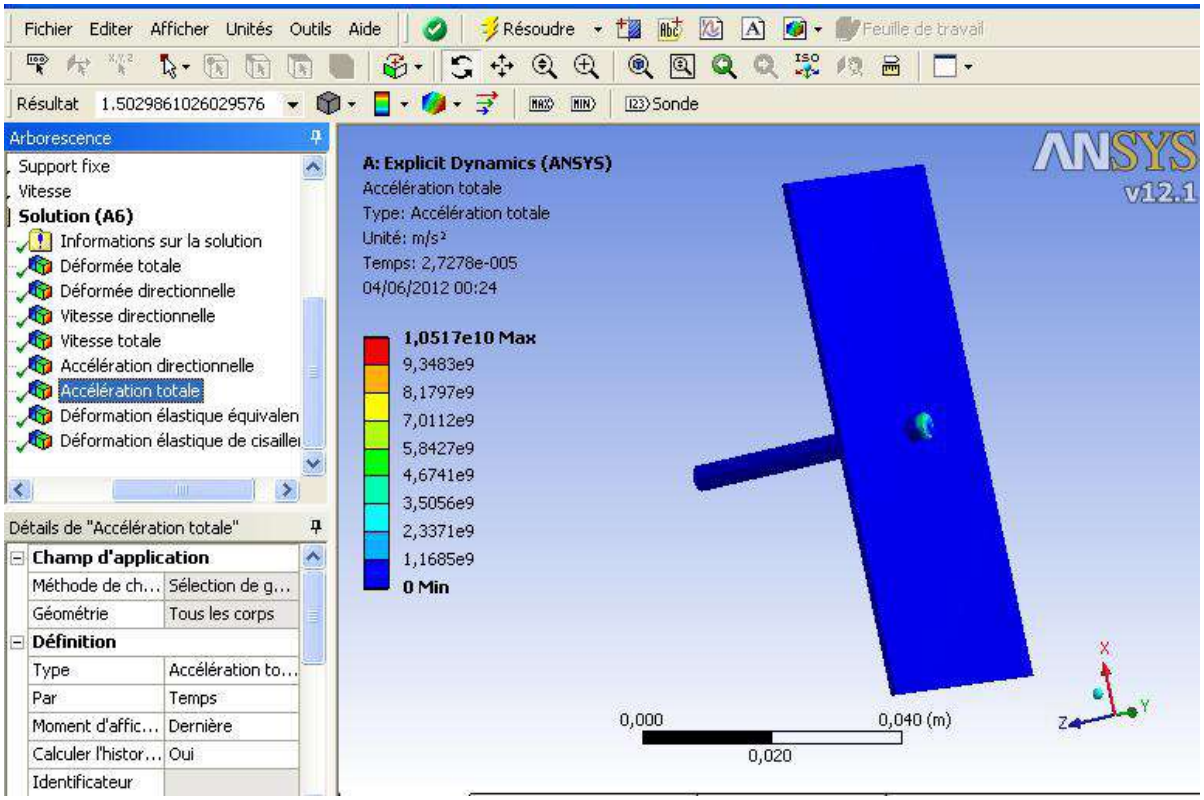


Fig III.15. Accélération totale de la tôle

III.5.2 Les Contraintes :

Les figures suivantes montrent les contours des contraintes appliquées sur la structure au cour de perforation

a)Contrainte principale maximale

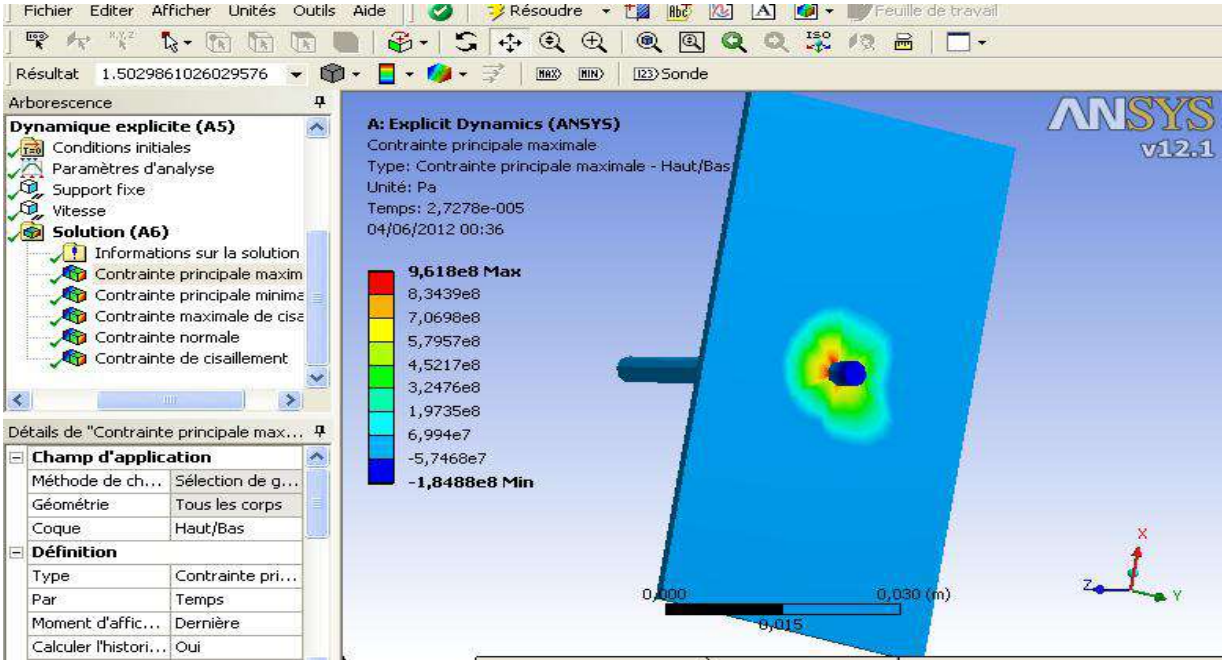


Fig III.16. Contrainte principale minimale

b) Contrainte principale minimale

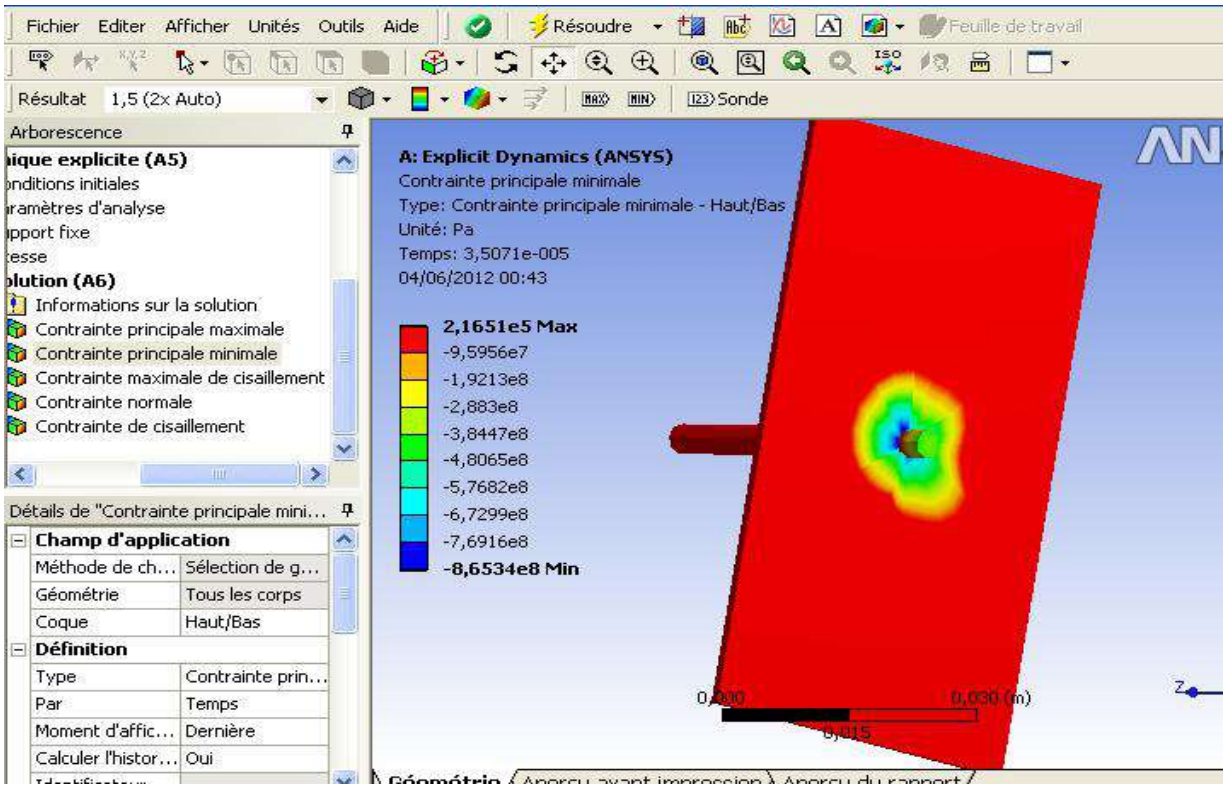


Fig III.17. Contrainte principale minimale

c)Contrainte maximale de cisaillement

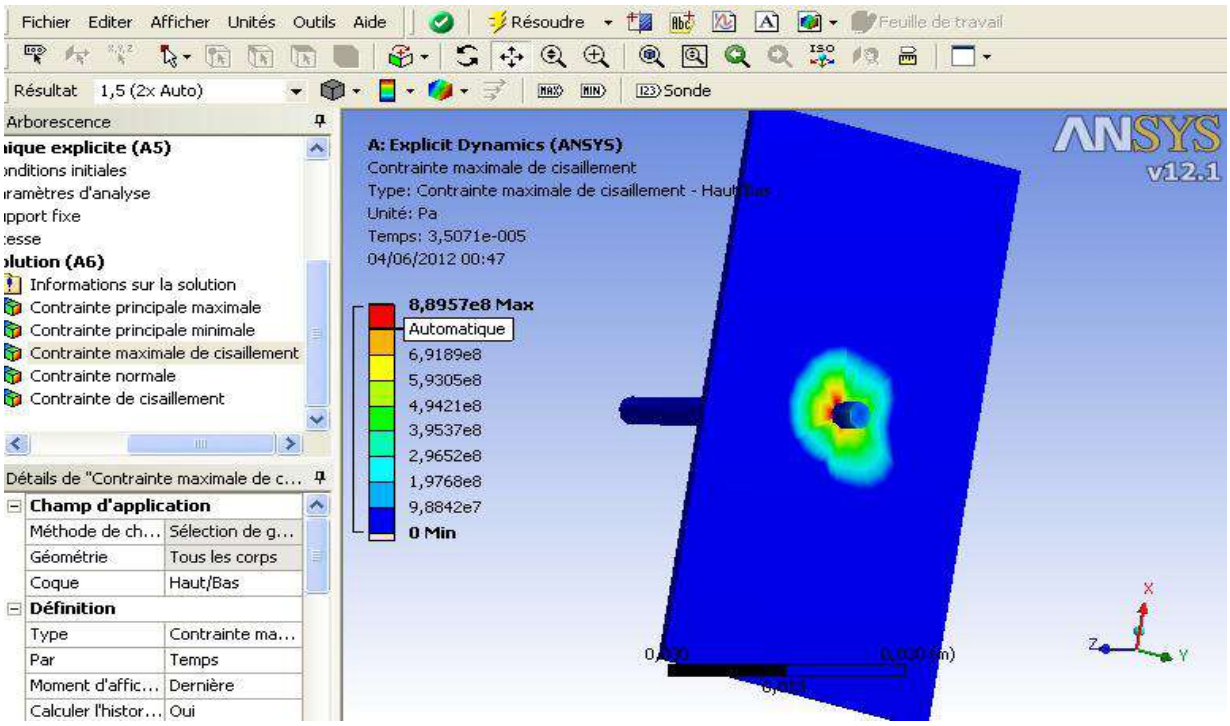


Fig III.18. Contrainte maximale de cisaillement

d)Contrainte normal

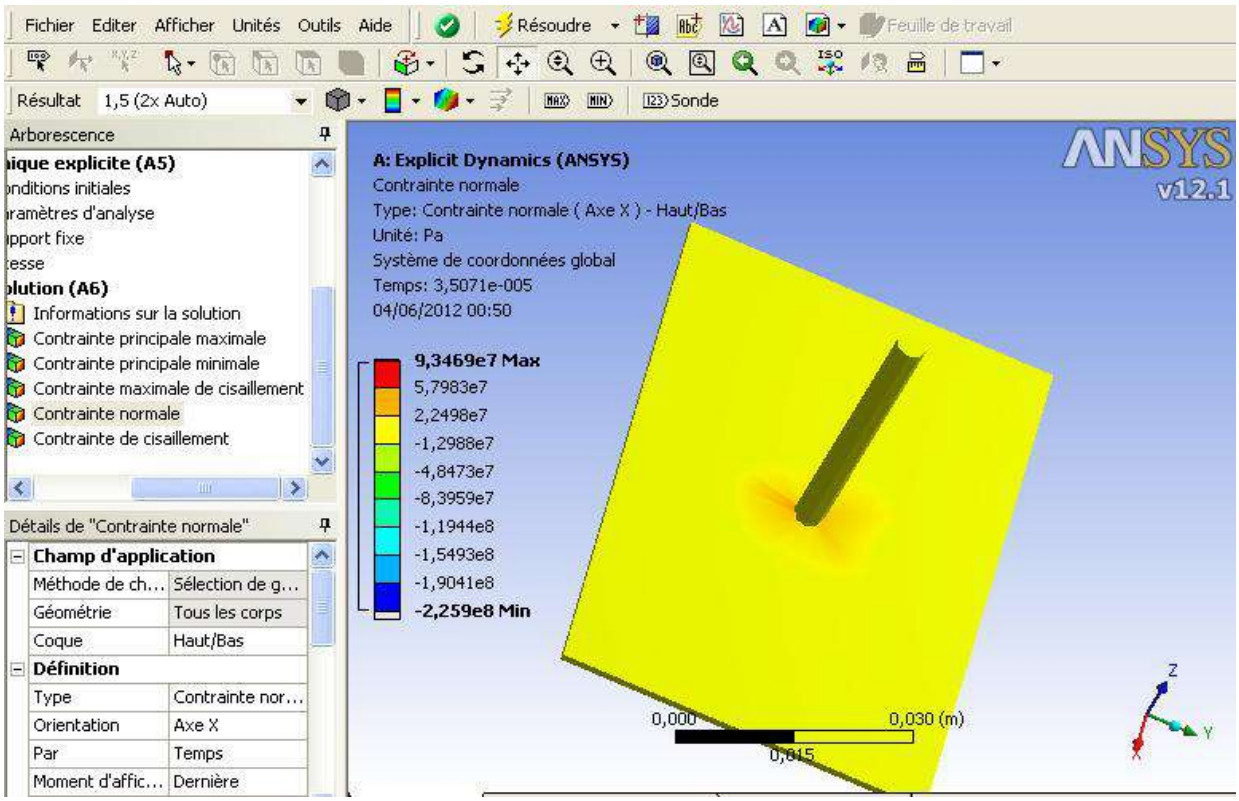


Fig III.19. Contrainte normal

e)Contrainte cisaillement

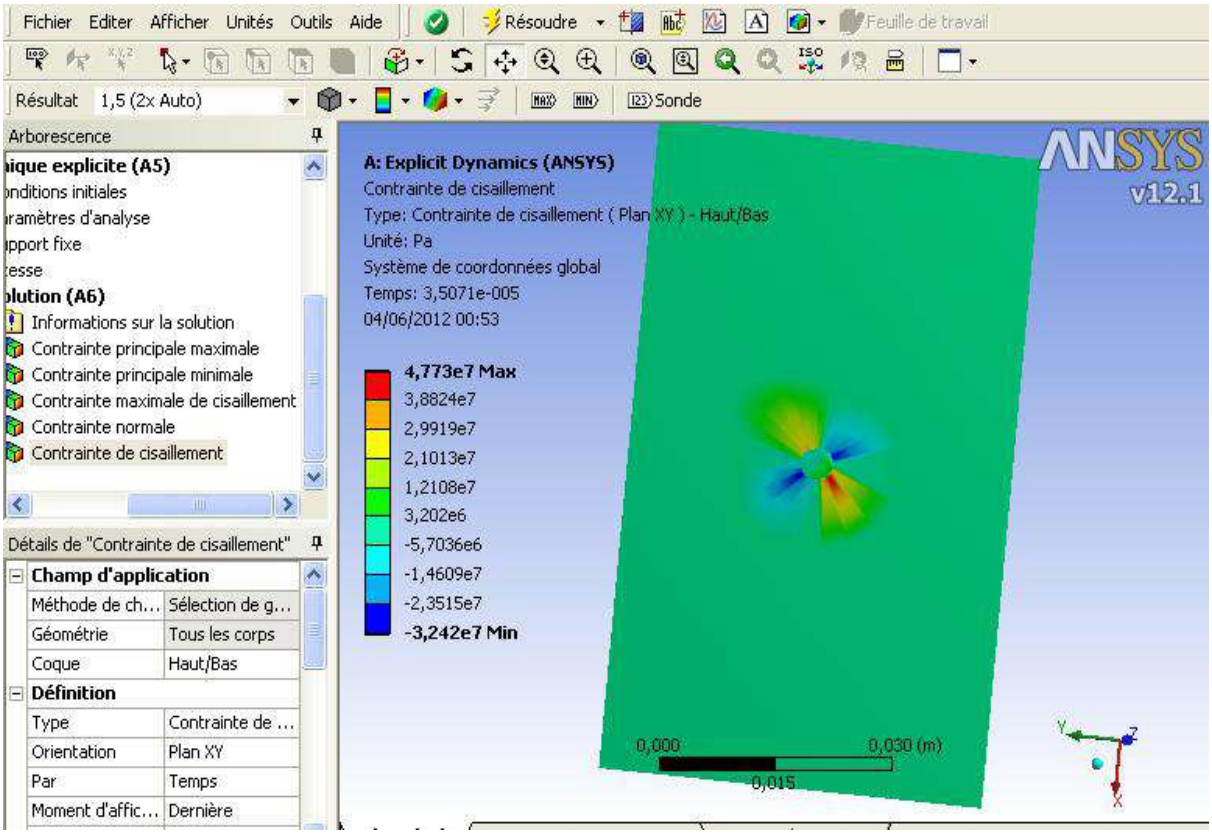


Fig III.20. Contrainte cisaillement

III.5.3.Conclusion :

On a utilisé le modèle explicite dynamique pour résoudre notre problème. On à présenté dans ce chapitre la procédure de résolution et les principaux résultats de déformé et des contrainte appliquées sur le modèle (tôle poinçon) lorsque on applique une vitesse sur poinçon et épaisseur de tôle variable.

Chapitre 4

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Chapitre IV

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Introduction:

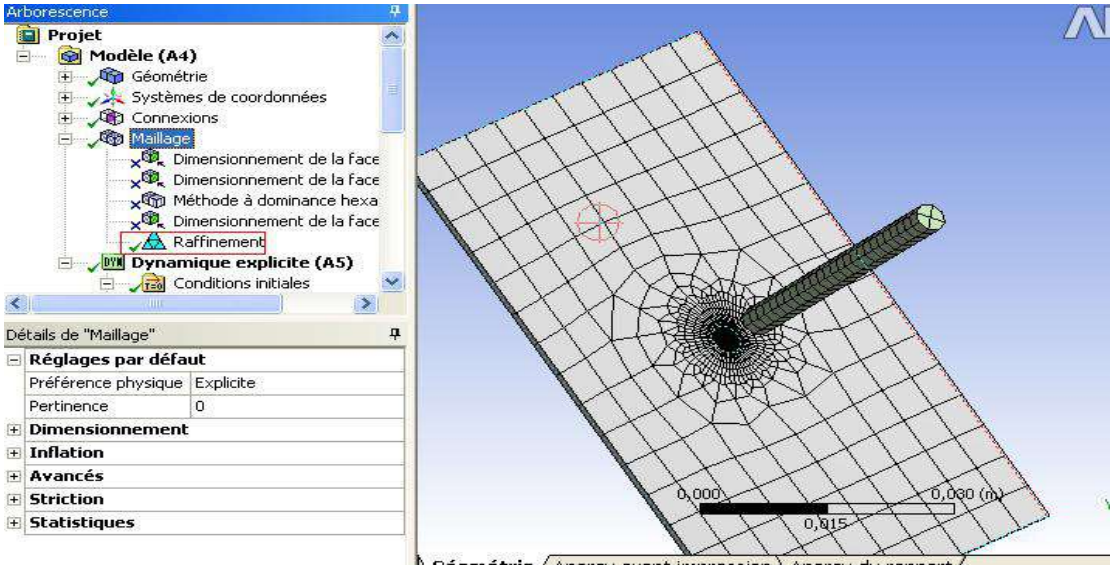
Cette partie porte sur l'influence de certains paramètres d'études sur le procédé de perforation, notamment les contraintes et les déformations,

IV.1.EFFET DE LA VITESSE DU POINCON

le premier cas traite les effets de la vitesse du poinçon sur les contraintes, les déformations et l'accélération. Pour cela, on considère une plaque d'épaisseur égale à 1 mm. Le champ de vitesse du poinçon varie de 50 à 300m/s. le diamètre du poinçon est de 4mm.-la plaque est en aluminium dont les propriétés mécaniques sont : ρ=2770 kgm^-3,σ=7.1E+10 Pa, E=0.33. Le poinçon est en acier du caractéristiques mécaniques : ρ=2850 kgm^-3, σ=2E+11 Pa, E=0.3.

IV.3. Méthode de raffinement :

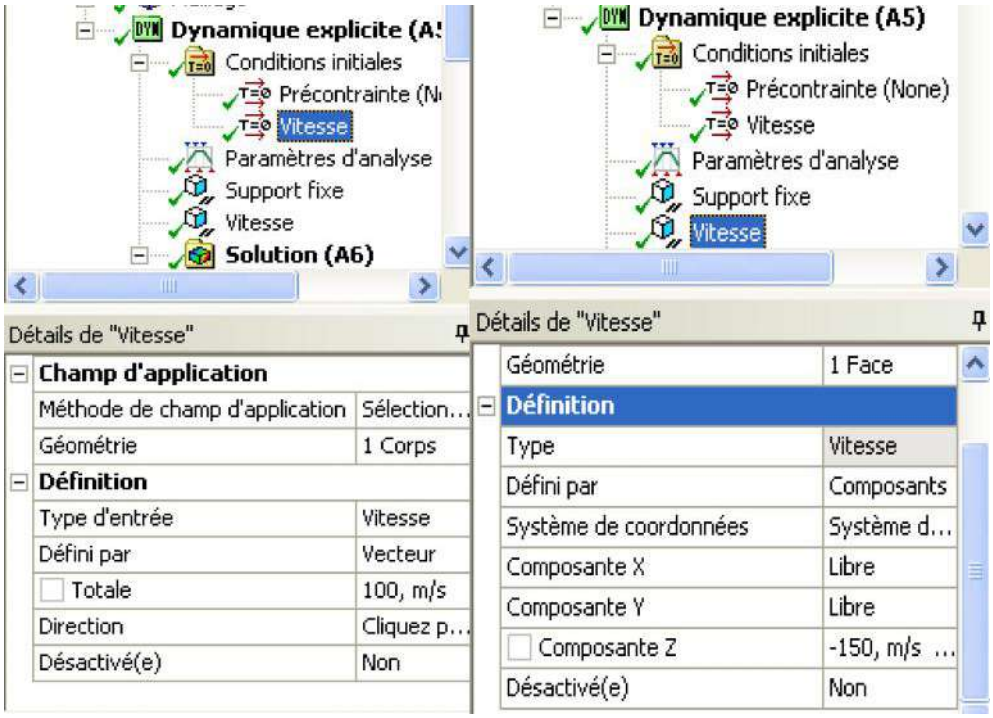
IV.3.1.Maillage :



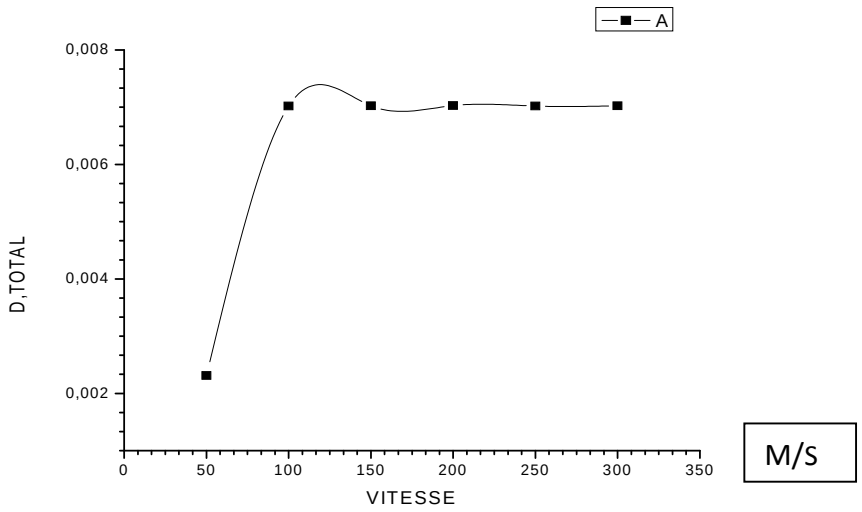
figIV.1 Maillage par raffinement

Afin de minimiser le temps de l'opération du calcul, le maillage sera raffiné uniquement dans la zone perforée, pour cela nous avons tracé une empreinte au niveau de la plaque qui coïncide avec la trajectoire du poinçon, le maillage sera condensé au voisinage de cette empreinte, ceci permet d'avoir une bonne forme du trou perforé, la stabilité des résultats en fonction du maillage ne peut pas être vérifiée dans cette partie car elle demande plus du temps de calcul qui peut atteindre plusieurs jours.

IV.3.2.Conditions initiales : Dans la boite de dialogue suivante on va définir les conditions initiales (paramètres d'analyse, vitesse, support fixe,…)

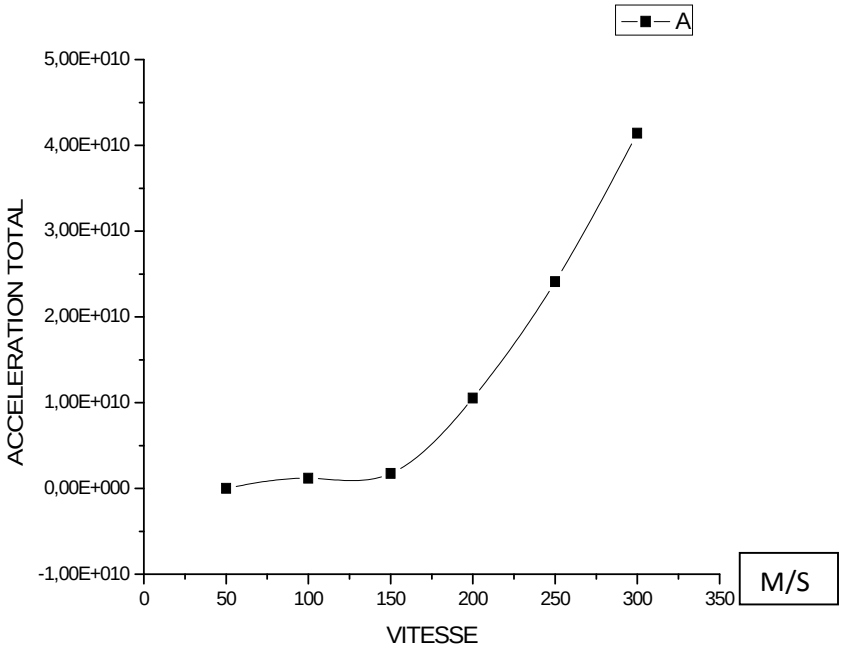


figIV.2 Représentation de la fenêtre d'application de la condition initiale



figIV.3. variation de la déformation totale en fonction de la vitesse du poinçon

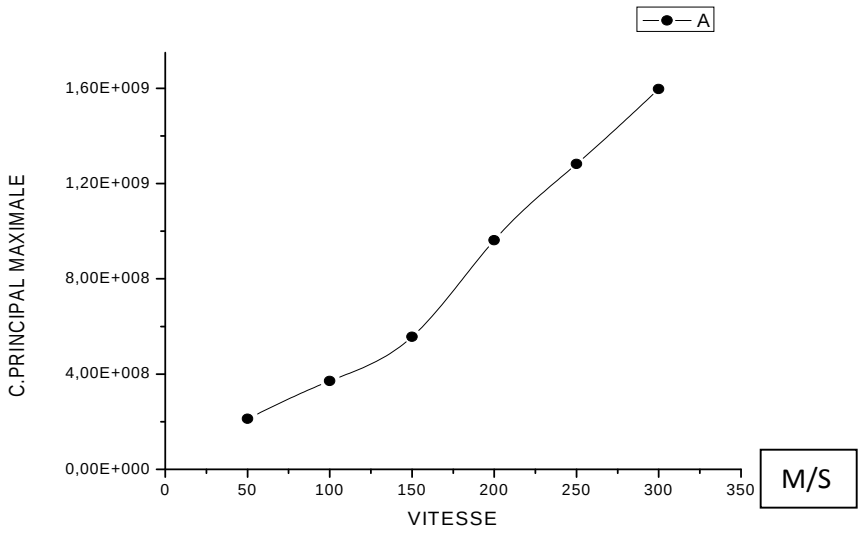
La figure(3) représente la variation de la déformation totale en fonction de la vitesse du poinçon .la courbe est tracée pour des vitesses variant de 50 à 300(m/s). on constate une nette croissance de la déformation totale lorsque les vitesses sont inferieures à100m/s , elle se stabilisent autour de 0.007au delà des vitesses supérieures à 100m/s.



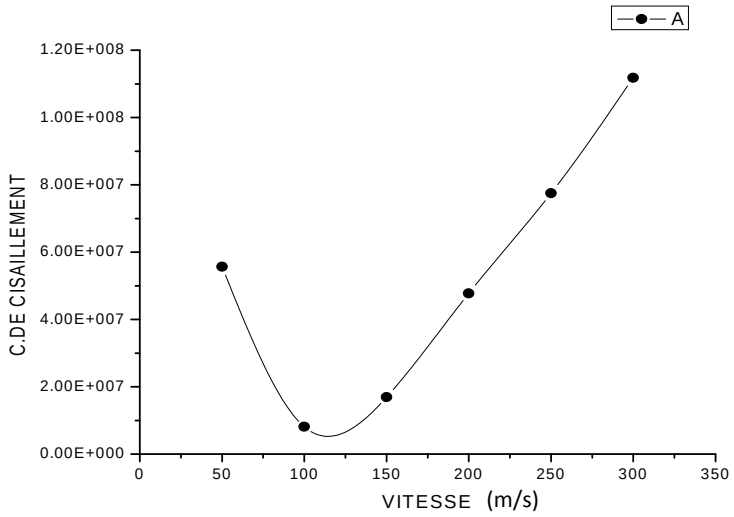
figIV.4. variation de l'accélération totale en fonction de la vitesse du poinçon

La figure (4) représente la variation de l'accélération totale en fonction de sa vitesse, on remarque que cette accélération augmente lorsque la vitesse du poinçon dépasse la valeur

150m/s, pour des vitesse inferieures à cette valeur, l'accélération ne subit pas un grand changement.



figIV.5. variation de la contrainte principale maximale en fonction de la vitesse du poinçon

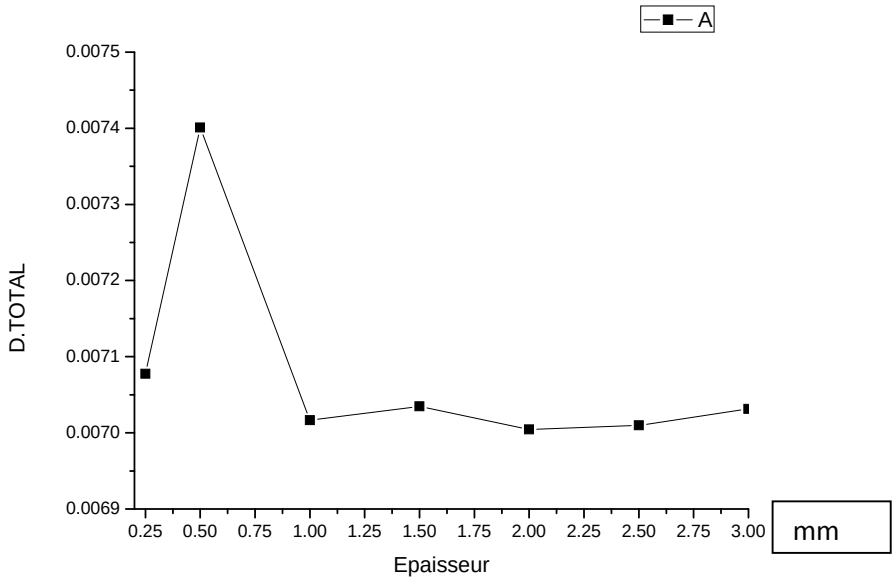


figIV.6.variation de la contrainte de cisaillement en fonction de la vitesse du poinçon

la figure (5et6) représentent la variation des contraintes principales et de cisaillement en fonction de la vitesse du poinçon ,il est observée que les contrainte principales augmente avec l'augmentation de la vitesse ; par contre, la contrainte de cisaillement décroit jusqu'la vitesse de 120 m/s puis elle augmente proportionnellement avec l'argumentation de la vitesse.

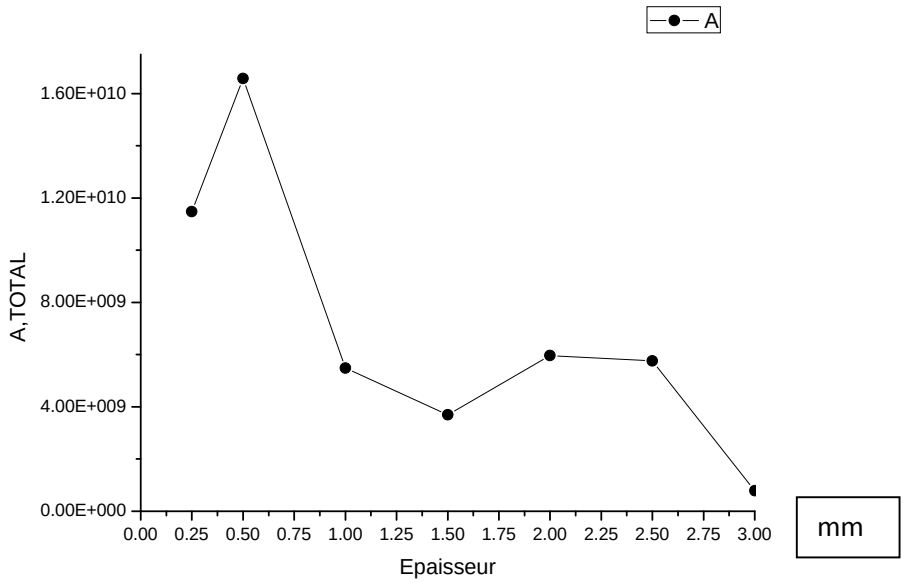
IV.4. Effet de l'épaisseur de la tôle :

Dans cette partie l'effet de l'épaisseur de tôle sur les déformations, les contraintes et les accélérations sera traité, la plage des épaisseurs considérés varie de 0.25 a 3m, par contre la vitesse du poinçon est fixée a 150m/s, la tôle est supposée fixée sur une fondation.



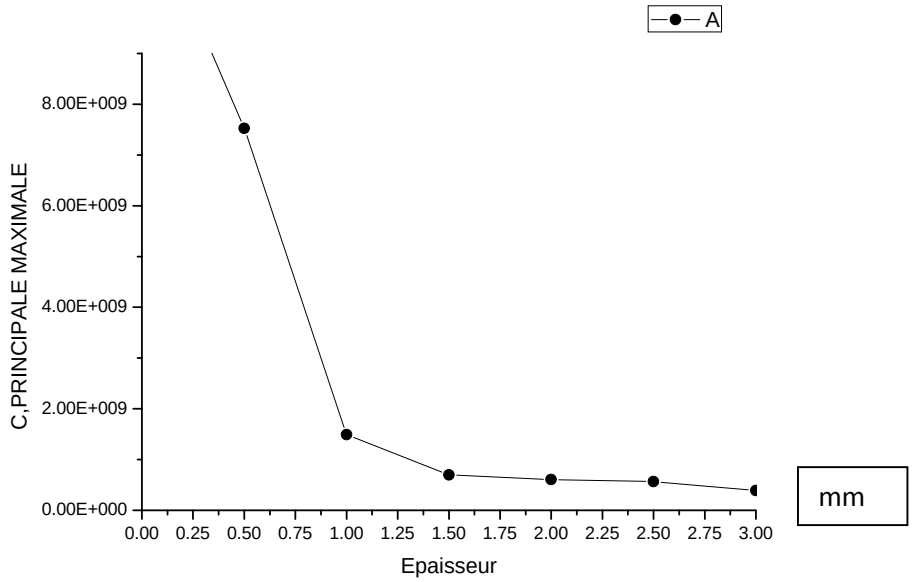
figIV.7.variation de la déformation total en fonction de l'épaisseur de la tôle

La figure(7) représente la variation de la déformation totale en fonction de l'épaisseur de la tôle. On remarque que cette déformation augmente rapidement lorsque l'épaisseur augmente de 0.25 à 0.50mm puis elle chute rapidement jusqu'à la valeur de 0.007 qui coïncide avec l'épaisseur de 1mm. Les déformations se stabilisent par la suite autour de 0.0075 quelque soit l'épaisseur de la tôle.



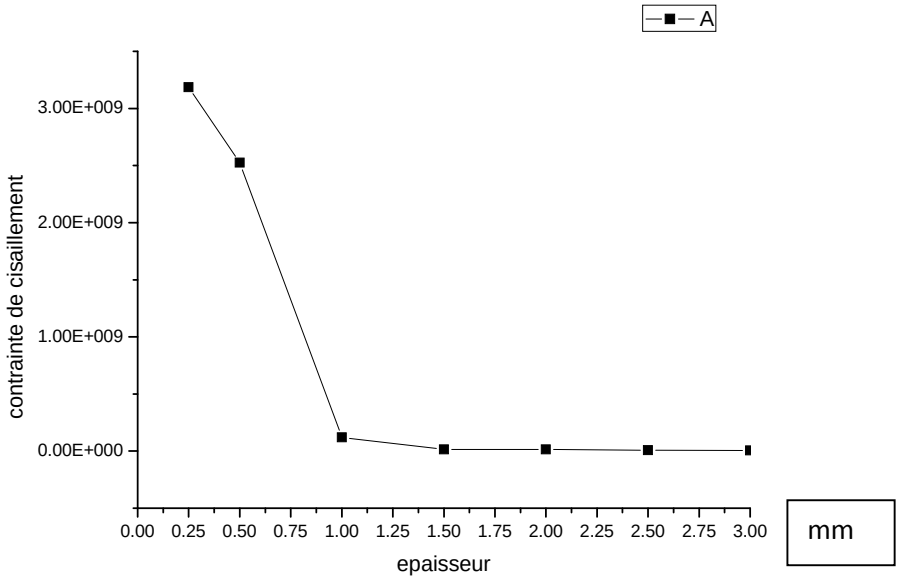
figIV.8.variation de la contrainte de cisaillement en fonction de la vitesse du poinçon

Sur la figure (8) on représente la variation de l'accélération totale en fonction de l'épaisseur de la tôle. D'après cette courbe, on remarque que l'accélération du poinçon augmente avec l'épaisseur de la tôle jusqu'à un pique puis elle décroit avec l'augmentation de cette épaisseur.



figIV.9.variation de la contrainte de cisaillement en fonction de la vitesse du poinçon

.



figIV.10.variation de la contrainte de cisaillement en fonction de la vitesse du poinçon

Les figure (9et10) représentent la variation des contraintes principales et de cisaillement en fonction de l'épaisseur de la tôle , on observe que les contraintes principales décroissent avec l'augmentation de l'épaisseur; ceci est aussi valable sur la contrainte de cisaillement

CONCLUSION GENERALE

Tout juste derrière l'usinage, le travail des métaux en feuille représente un important marché de l'industrie mécanique, d'où la nécessité de la maîtrise de ses différents procédés. Pour accroitre leur compétitivité, les industriels sont amenés aujourd'hui a réduire les délais de conception et les coûts de fabrication. La simulation numérique est devenue de nos jours un outil qui permet de répondre à ces besoins en réduisant le nombre de campagnes d'essais, les coûts des outillages et les délais de conception.

Le but de ce travail est l'étude de l'opération de poinçonnage sur les tôles dans les machines de profilage. Le poinçonnage peut être assimilé à du cisaillage de forme fermée ; c'est-à-dire découper des pièces dans un matériau, généralement de faible épaisseur à l'aide d'un poinçon et d'une matrice.

Le logiciel **ANSYS WORKBENCH** est utilisé pour simuler numériquement l'opération de perforation. La mise en place de modèles de simulation numérique avec ce code de calcul permettra de caractériser aussi bien les sollicitations sur les outils que la qualité des pièces produites. A cet effet, un modèle 3D est proposé dont lequel l'opération du poinçonnage est représentée. Un maillage raffiné dans la zone de découpe est utilisé pour la simulation numérique. Le modèle a été simulé par la méthode explicite qui utilise l'approche Lagrangienne pour suivre la dynamique de la structure. Des applications portent sur l'influence de la vitesse du poinçon et l'épaisseur de la tôle ont été effectuées, des résultats en termes de contraintes et déformations ont été présentés par la suite.

Finalement, on souhaite que ce travail soit une première étape qui peut ouvrir des perspectives dans l'étude et la théorie de poinçonnage.

Bibliographie :

[01]: J. Philibert, A. Vignes, Y. Bréchet, P. Combrade. ”Métallurgie : du minerai au matériau
: E. Leszak, Brevet US3342051A1, publi´e le 1967-09-19. Apparatus and Process for Incremental Dieless Forming.

2ned édition”. Edité par DUNOD, Paris (2002), pp. 1-1177.

[02]: R. Martin. ”Formage à la presse”. Techniques de l’ingénieur ” travail des métaux en feuilles ” mai 1995, B 7510-4.

[03]:procédé de fabrication- Patrick ISAC

[04] : site internet- michel. baehrel.pagesperso-orange.fr

www.lyc-ronceray-bezons.ac-versailles.f

[05] : THESE Année 2010/2011 Etude et conception d'une machine de profilage

(SEBTI Hamza)

[06] : technique de l’ingénieur