

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE ABDERRAHMANE MIRA BEJAIA
FACULTÉ DE TECHNOLOGIE
DÉPARTEMENT DE GÉNIE MÉCANIQUE

MEMOIRE

PRÉSENTÉ POUR L'OBTENTION DU DIPLÔME DE
MASTER

FILIÈRE : GÉNIE MÉCANIQUE

SPÉCIALITÉ : *Matériaux pour l'ingénierie mécanique*

PAR :

Mr. TAOUINT Lounis

Mr. BENKADOUM Rachid

Thème

**Influence des Traitements thermiques sur les propriétés
Mécaniques et microstructurales d'un dépôt réalisé par
projection thermique**

Soutenu le 19 JUIIN 2017 devant le jury composé de:

Mr. Y. KHELFAOUI	Président	Professeur
Mr. R. YOUNES	Rapporteur	Docteur
Mr. M.A BRADAI	Examineur	Professeur

ANNÉE UNIVERSITAIRE 2016 - 2017

Remerciements

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu qui nous a donné la santé, la volonté et le courage d'accomplir ce travail.

Nous ne pouvons pas oublier de présenter notre gratitude à nos parents pour les efforts inlassables qu'ils ne cessent de déployer pour nous.

Nos vifs remerciements vont à Mr R. YOUNES, notre promoteur, pour son aide, ces critiques constructives, ses explications et suggestions pertinentes et pour la qualité de ses orientations tout au long de ce travail et pour avoir apporté tant de soins à la réalisation de ce mémoire.

Nous remercions également les membres de jury qui nous font honneur en acceptant d'examiner et de juger notre travail. Mr. Y. KHELFAOUI en tant que Président de jury et Mr. A. BRADAI en tant que examinateur.

Sans oublier l'équipe du hall de technologie de l'université de Bejaia et l'équipe de SNVI (Mr bourai et M^{me} bouaune).

Que tous ceux qui ont contribué à notre formation trouvent ici l'expression de Nos sincère gratitude.

Enfin, un merci tout particulier à tous ceux qui nous ont apporté leur soutien.

Dédicaces

Je dédie ce travail

À mes chers parents,

À mes frères et à mes sœurs,

À ma femme,

À mon collègue Rachid,

Ainsi qu'à toute sa famille,

À l'équipage (redouane, adel, alim, nabil, farid, koukou.....etc)

Et tous mes amis et collègues.

Lounis

Dédicaces

Je dédie ce travail

À mes chers parents,

À mes frères et à mes sœurs,

À mon collègue Lounis,

Ainsi qu'à toute sa famille,

À l'équipage (redouane, adel, alim, nabil, farid, koukou.....etc)

Et tous mes amis et collègues.

Rachid

SOMMAIRE

Introduction générale.....	1
I.1 PROJECTION THERMIQUE	2
I.1.1 Historique.....	2
I.1.2 Principe générale	2
I.1.3 Différents types de procédés de projection thermique.....	3
I.1.4 Construction du dépôt	12
I.2 TRIBOLOGIE	14
I.2.1 Généralités	14
I.2.2 Force et coefficient de frottement	15
I.2.3 Mécanismes d'usures.....	16
I.2.4 Paramètres agissant sur le frottement et l'usure.....	17
I.3 ETAT STRUCTURAL.....	17
II.3.1 Système fer-chrome.....	18
II.3.2 Classes des aciers inoxydables.....	20
II.3.3 Acier inoxydable X30Cr13	21
II.3.4 Principales Applications.....	21
II.3.5 Système ternaire fer-chrome-carbone	22

MATERIAUX ET TECHNIQUES EXPERIMENTALES

II. Introduction.....	25
II.1 MATERIAUX UTILISES	25
II.1.1 Élaboration des échantillons.....	25
II.1.2 Élaboration des dépôts	26
II.1.3 Préparation des surfaces à revêtir	26
II.1.4 Le substrat	26
II.1.5 Dépôts réalisés	26
II.1.6 Le procédé utilisé.....	27
II.1.7 Paramètre de projection utilisé	28
II.1.8 Traitements thermiques	29
II.1.9 Caractérisation microstructurale	31
II.1.10 Le polissage mécanique	31
II.1.11 La dureté	32
II.1.12 Attaque chimique.....	32
II.1.13 Méthodes d'observation	32
II.1.14 Caractérisation mécanique (teste d'usure)	35

RESULTATS ET INTERPRETATIONS

III. Introduction	38
III.1 METALLOGRAPHIE DES DEPOTS	38
III.1.1 Microstructure des dépôts issus de l'acier inoxydable X30Cr13.....	38
III.2 DURETE DES DEPOTS	40
III.3 PERTE DE MASSE RELATIVE DES DIFFERENTES DEPOTS REALISES	42
Conclusion générale.....	50

Liste des figures

Figure I- 1: le procédé de projection thermique	3
Figure I- 2: Premiers appareillages de projections.....	4
Figure I- 3: Schéma de principe de la projection thermique à flamme fil.....	5
Figure I- 4: Schéma de fonctionnement d'un pistolet flamme poudre	6
Figure I- 5: Projection flamme –fil	6
Figure I- 6: Projection par arc électrique	7
Figure I- 7: principe du canon à détonation.....	8
Figure I- 8: Projection à la flamme supersonique (HVOF).....	9
Figure I- 9: Schéma de principe d'une torche {plasma soufflé}.....	10
Figure I- 10: Schéma de principe de la projection HF.....	11
Figure I- 11: Arc Spray.....	11
Figure I-12: Schéma de principe de la construction de dépôt par projection thermique.....	12
Figure I- 13: Résultats des interactions des particules avec le substrat	13
Figure I- 14: Tribomètre à configuration pion / disque.....	15
Figure I- 15: Diagramme d'équilibre de phases du système fer-chrome	19
Figure I- 16: Diagramme de phases pseudo-binaires fer-carbone à 13 % de chrome	23
Figure II-1: Echantillon utilisé pour la projection	25
Figure II- 2: Pistolet de projection flamme –fil	28
Figure II- 3: mode opératoire d'un traitement thermique.....	29
Figure II- 4: Recuit à 850 C°	30
Figure II- 5: Recuit à 950 C°	30
Figure II- 6: Recuit à 1100 C°	30
Figure II- 7: échantillon après polissage.....	31
Figure II- 8: différentes types de polisseuses.....	31
Figure II- 9: micro duromètre.....	33
Figure II- 10: image représentative du principe de dureté.....	34
Figure II- 11: loupe de mesure	34
Figure II- 12: l'empreinte formée par la bille	34
Figure II- 13: Représentation du dispositif d'usure utilisé.....	35
Figure II- 14: balance analytique	37

<i>Figure III- 1: Microstructure des dépôts non traité</i>	38
<i>Figure III- 2: Microstructure des dépôts traité à 850°C</i>	39
<i>Figure III- 3: Microstructure des dépôts traité à 950°C</i>	39
<i>Figure III- 4: Microstructure des dépôts traités à 1100°C</i>	40
<i>Figure III- 5: Dureté brinell des différents échantillons</i>	41
<i>Figure III- 6: empreinte du dureté brinell</i>	41
<i>Figure III- 7: variation de la perte de masse relative en fonction du temps pour des échantillons sans traitement à deux vitesses de glissement de 0,5 et 1 m/s.</i>	42
<i>Figure III- 8: Corrélation piste d'usure de perte de masse pour l'échantillon non traité en fonction du temps à deux différentes vitesses de glissement (0,5 m/S et 1m/s) : a) 5min, b) 10min, c) 20min.</i>	43
<i>Figure III- 9: variation de la perte de masse relative en fonction du temps pour des échantillons traités à 850°C réalisé à deux vitesses de glissement de 0,5 et 1 m/s.</i>	43
<i>Figure III- 10: Corrélation piste d'usure de perte de masse pour l'échantillon traité à 850°C en fonction du temps à deux différentes vitesses de glissement (0,5 m/S et 1m/s) :a) 10min, b) 20min, c) 30min.</i>	44
<i>Figure III- 11: variation de la perte de masse relative en fonction du temps pour des échantillons traités à 950°C réalisé à deux vitesses de glissement de 0,5 et 1 m/s.</i>	45
<i>Figure III- 12: Corrélation piste d'usure de perte de masse pour l'échantillon traité à 950°C en fonction du temps à deux différentes vitesses de glissement (0,5 m/S et 1m/s) :a) 10min, b) 15min, c) 25min.</i>	46
<i>Figure III- 13: variation de la perte de masse relative en fonction du temps pour des échantillons traités à 1100°C réalisé à deux vitesses de glissement de 0,5 et 1 m/s.</i>	46
<i>Figure III- 14: Corrélation piste d'usure de perte de masse pour l'échantillon traité à 1100°C en fonction du temps à deux différentes vitesses de glissement (0,5 m/s et 1m/s) :a) 10min, b) 20min, c) 25min.</i>	47
<i>Figure III- 15: variation de la perte de masse relative en fonction de la charge pour des différents échantillons à une vitesse de glissement de 0,5 m/s.</i>	47
<i>Figure III- 16: Corrélation piste d'usure de perte de masse en fonction de la charge à la vitesse glissement de 0,5 m/s: a) 10N, b) 20N, c) 40N.</i>	48
<i>Figure III- 17: variation de la perte de masse relative en fonction de la charge pour des différents échantillons à une vitesse de glissement de 1 m/s.</i>	48
<i>Figure III- 18: Corrélation piste d'usure de perte de masse en fonction de la charge à la vitesse glissement de 1 m/s: a) 5N, b)15N, c) 30N.</i>	49

Liste des tableaux

<i>Tableau 1: variétés allotropiques du fer et structures correspondantes.</i>	<i>18</i>
<i>Tableau 2 : Principales applications des aciers inoxydables</i>	<i>22</i>
<i>Tableau 3: Analyse du substrat par la fluorescence des rayons X.....</i>	<i>26</i>
<i>Tableau 4: Composition chimique (en % massique) de l'acier inoxydable X30Cr13</i>	<i>27</i>
<i>Tableau 5: Propriétés thermo physiques et mécaniques de l'acier inoxydable X30Cr13</i>	<i>27</i>
<i>Tableau 6: paramètres de projection à flamme fil utilisé par l'entreprise Algérie métallisation.</i>	<i>28</i>



Introduction générale

Introduction générale

Introduction générale

Les mécaniciens doivent aujourd'hui faire face à la concurrence car les objectifs techniques et économiques des industriels de tous les secteurs ont pour buts : la maximisation du rendement , minimisation des coûts et l'amélioration des performances pour assurer une productivité de qualité . c'est pour cela, qu'ils sont de plus en plus préoccupés par la durabilité de la pièce vu que les pièces constitutives de machines ou d'équipement doivent résister à des sollicitations nombreuses :

- Sollicitations internes : contraintes mécaniques, fatigue, fluage ...etc
- Sollicitations externes : frottement, abrasion, température, érosion ...etc
- Sollicitations environnementales : corrosion, oxydation, attaque chimique, chaleur...etc

Et pour atteindre ces objectifs, des techniques ont fait surface pour faire face à toutes ces sollicitations qui vont à l'encontre des buts tracés :

- Dans le 1^{er} chapitre , nous présentons : la définition de la projection thermique , Différents types de procédés de projection thermique et Construction du dépôt, force et coefficient de frottement, mécanismes d'usures et paramètres agissant sur le frottement et l'usure
- Dans le 2^{ème} chapitre , nous présentons les matériaux et les techniques expérimentales dont on va présenter des généralités sur les aciers inoxydables , l'élaboration des échantillons et dépôts (X30Cr13) , les traitements thermiques et polissages effectués, en fin nous allons parler de dureté Brinell, méthode d'observation et caractérisation mécanique (tests d'usure)
- Le 3^{ème} chapitre nous décrit les résultats expérimentaux des analyses réalisées, en fin nous présentons une conclusion générale retraçant l'ensemble des résultats importants obtenus.



Chapitre I



Eléments Bibliographiques

I.1 Projection thermique

I.1.1 Historique

La projection thermique a plus de 100 ans. Au début du 20^{ème} siècle (1909) un ingénieur suisse de Zurich, le Docteur Max Ulrich Schoop a minutieusement étudié l'impact de balles en plomb sur un mur en béton, ce qui lui a inspiré de réaliser une invention portant sur l'utilisation de la technique de revêtement en plomb ou en zinc par projection de métal fondu. Dans un premier temps, il a utilisé un creuset rempli de métal fondu et de l'air préalablement chauffé pour la pulvérisation et la projection du métal. Après différentes évolutions techniques, l'utilisation d'un chalumeau comme source d'énergie et d'un métal en poudre a été qualifiée et brevetée en 1911 comme "processus pour fondre un matériau dans une zone de chauffage et pour le propulser à l'état fondu et/ou ramolli par la chaleur, sur une cible pour y former un enduit.[1]

A partir de 1915 deux types de source enthalpique ont été développés, Le premier utilise l'énergie de la combustion et le second l'énergie d'une décharge électrique.

Dans les années 60, apparurent les premiers pistolets plasma agui permettent de fondre les matériaux plus réfractaires (céramiques, carbures). Les années 70 montrent le développement de la projection plasma sous faible pression résiduelle. Elle permet d'exploiter le procédé pour l'obtention de dépôts métalliques denses sans présence d'oxydes et avec meilleure adhérence. [2,3]. Tous les secteurs d'activités sont aujourd'hui concernés par la projection thermique. Si la protection anti corrosion reste le cas d'applications le plus fréquent, certains secteurs comme l'automobile présentent des applications multiples parmi lesquelles on peut citer à titre d'exemples : soupapes, segments de piston disques d'embrayage, pompes.

I.1.2 Principe général

Le principe de la projection thermique est basé sur l'introduction de la matière à projeter dans une source d'enthalpie dotée d'énergie cinétique.

Les matériaux introduits sont utilisés sous différentes formes : poudres, baguettes ou fils continus. La source d'enthalpie peut être obtenue de deux façons distinctes :

- par combustion/détonation des mélanges gazeux (projection à la flamme, projection par canon à détonation).
- par ionisation de gaz de différentes natures (air, argon, hydrogène, hélium, etc.).

A l'aide d'une décharge électrique ou d'une exposition à un rayonnement électromagnétique à haute fréquence (projection plasma à l'arc soufflé ou plasma radio fréquence).

Le matériau qui pénètre dans la source enthalpique subit un transfert thermique et cinétique. Il est fondu et accéléré en direction d'un substrat sur lequel il va former un revêtement par empilement successif de particules écrasées et solidifiées.[4,5]



Figure I- 1: le procédé de projection thermique

I.1.3 Différents types de procédés de projection thermique

Les procédés de projection thermique peuvent être classés en 2 catégories :

- les procédés dont la source de chaleur est un chalumeau oxyacétylénique : procédé flamme-poudre (FP), procédé flamme fil ou cordon (FF), procédé HVOF (HV) (High Velocity Oxygen fuel) et procédé par canon à détonation (CD).
- les procédés dont la source de chaleur est un arc électrique : procédé à l'arc électrique (AE) et procédé plasma (PS).

La projection flamme utilise le caractère exothermique d'une réaction de combustion d'un gaz pour projeter un matériau sur un substrat. Cette technique, la première à avoir été développée historiquement, est relativement simple de mise en œuvre et elle reste encore aujourd'hui très répandue dans l'industrie pour la réalisation de couches, notamment d'alliages métalliques à relativement bas point de fusion (alliages d'aluminium, de zinc, etc.). Présentant un grand nombre d'avantages (principalement son coût et sa simplicité de mise en œuvre), il existe

différents substrats pour lesquels l'émaillage par projection flamme suscite un réel intérêt économique.[6]

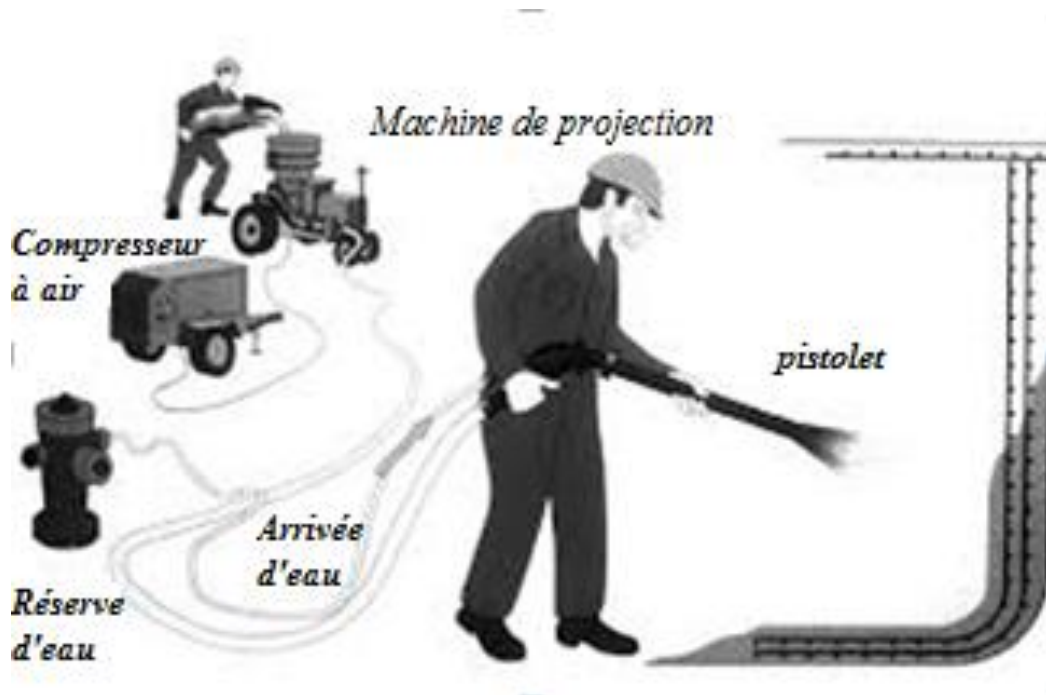


Figure I- 2: Premiers appareillages de projections

I.1.3.1 Projection à la flamme

L'utilisation de l'énergie d'une réaction chimique de combustion est un principe de base pour trois grandes techniques de projection à la flamme.

En fonction de la propagation des réactions chimiques différentes techniques sont utilisables. La projection à la flamme classique à une vitesse d'éjection des gaz de l'ordre de 100 à 150 m/s. La technique appelée HVOF (High Velocity Oxygen Fuel) qui basée sur la combustion continue de gaz introduits sous pression à fort débit, ce qui conduit à en une vitesse d'éjection variant entre 1500 et 2500 m/s. Enfin la projection par détonation : c'est un processus discontinu permettant d'utiliser l'énergie d'une détonation.

La projection à la flamme est une technique largement employée dans le monde.

Compte tenu de sa simplicité et de son faible coût d'équipement. Les pistolets à flamme sont principalement utilisés pour projeter les matériaux sous forme de poudre, de fils ou de baguettes. Le principe est fondé sur l'introduction du matériau à déposer dans la flamme [figure I-3]. Les principaux mélanges de gaz enthalpiques sont: acétylène/oxygène, hydrogène/oxygène ou propane/oxygène. Ils permettent d'atteindre des températures de flamme de 3200°C, 2700°C et 2400°C respectivement à la stœchiométrie. Le projectile subit des échanges thermique

et cinétique dans la flamme et est donc fondu et accéléré avant d'être déposé en fines gouttelettes «spats» (en appellation anglaise) sur la surface à revêtir.[7]

Les premiers matériaux utilisés étaient le plomb et le zinc pour des applications de protection anticorrosion. Depuis, la gamme des matériaux ainsi que les applications ont été élargies. Des métaux pur comme **Zn, Al, Cu, Sn, Pb, Ni, Mo**, des aciers y compris des aciers inoxydables, des alliages à base de **Zn, Cu, Ni ou Sn**, mais aussi des polymères peuvent être utilisés comme matériaux d'apport sous forme de poudre ou en fils. Des céramiques **Al₂O₃, Al₂O₃-TiO₂, Cr₂O₃, ZrO₂-CaO** sous forme de cordons ou de baguettes peuvent être aussi déposées en utilisant cette technique.[8 ,9]

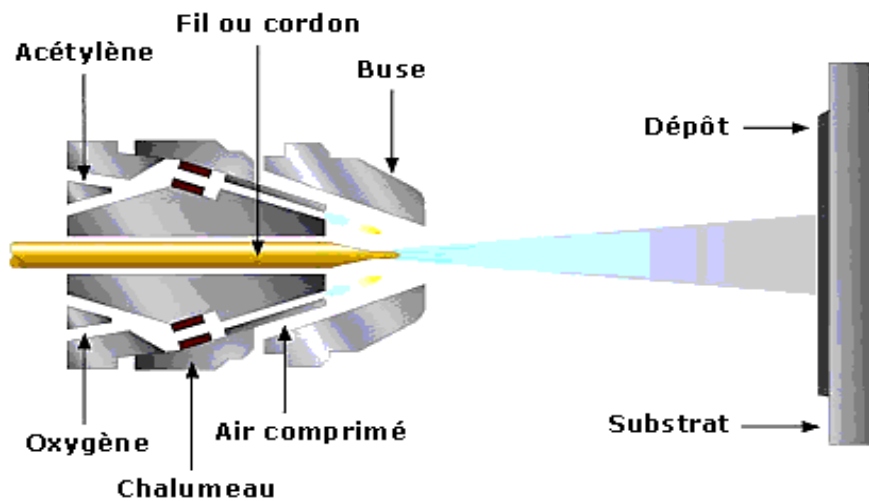


Figure I- 3: Schéma de principe de la projection thermique à flamme fil

- **Projection flamme- poudre** : Le matériau d'apport se présente sous forme de poudre. La température des particules atteint 2000°C au sein de la flamme. La vitesse des particules est faible et la distance entre la buse et le support ne doit être que de quelques millimètres. Les matériaux d'apport les plus fréquemment utilisés sont les alliages à base de nickel et de cobalt .Ce procédé est très répandu dans la plupart des industries pour résoudre des problèmes d'abrasion, de corrosion, d'usure, d'isolation thermique ou électrique. [10]

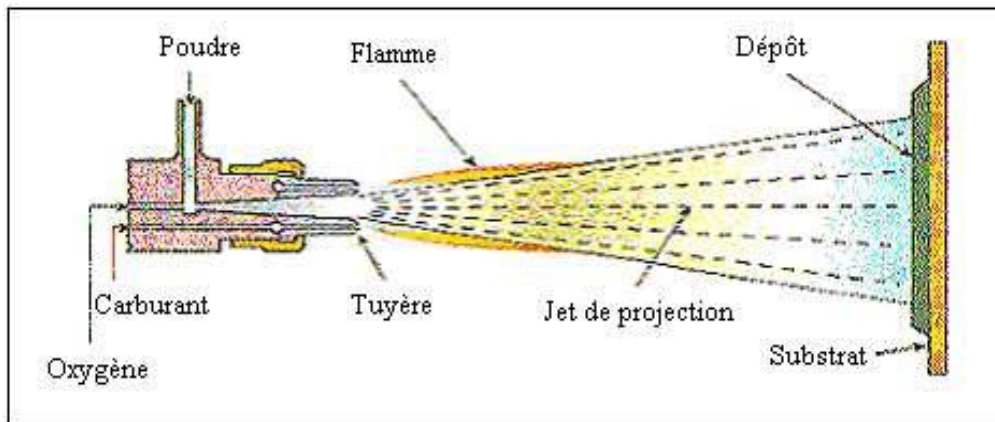


Figure I- 4: Schéma de fonctionnement d'un pistolet flamme poudre

- Projection flamme –fil :** Le matériau d'apport se présente sous forme de fil, de cordon, de baguette ou fil fourré comme nous montre la figure ci-dessous , La flamme ne sert dans ce cas, qu'à la fonte du matériau. Les particules obtenues seront véhiculées par un flux d'air comprimé. Ce procédé peut être mis en œuvre dans tous les domaines « aéronautique, automobile, papeterie, aciérie, construction d'infrastructures » pour résoudre des problèmes d'abrasion, de corrosion, d'usure, d'isolation thermique ou électronique.[11]

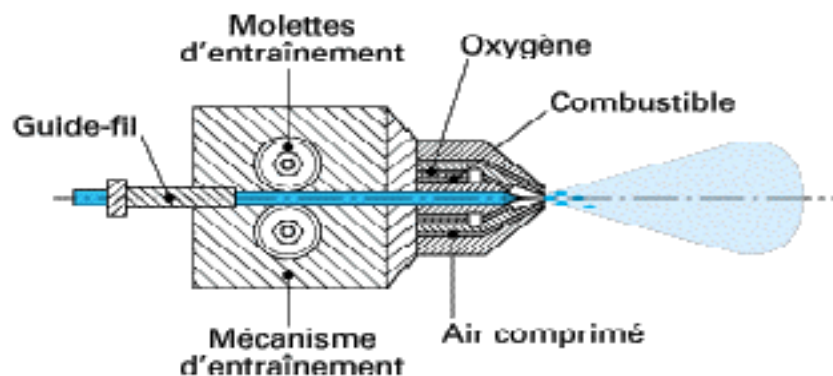


Figure I- 5: Projection flamme –fil

I.1.3.2 Projection à l'arc électrique

La projection à l'arc est le premier procédé ayant utilisé l'énergie d'une décharge électrique. Il consiste en un arc électrique créé entre deux fils consommables et un jet de gaz comprimé qui sert à pulvériser et à projeter le métal fondu en fines gouttelettes sur le substrat.

L'équipement consiste en un pistolet de projection, un système d'avancement des fils, un générateur de courant asservi par une régulation automatique et une source de gaz comprimé (Généralement de l'air mais l'utilisation d'un gaz neutre est possible). Les fils sont amenés dans la zone de fusion du pistolet à travers des électrodes guides qui assurent leur bon positionnement et le transfert du courant [Figure I-6].

L'arc électrique est généré entre les deux fils en contact et permet de les fondre. La température dans la zone de fusion peut être de l'ordre de 6000 K. Le métal fondu est pulvérisé grâce au jet de gaz comprimé et projeté sur le substrat. Les épaisseurs des dépôts varient de 0.2 à 3 mm avec un taux de porosité de 5 à 10% et une adhérence de 20 à 40MPa. La technique est simple et peu coûteuse et permet de déposer la matière avec un débit important (de 5 à 30 kg/h). L'utilisation d'un gaz neutre diminue sensiblement la présence d'oxydes dans le dépôt. Des modifications du pistolet et l'emploi d'un second jet de gaz ont permis de concentrer le flux de matière atomisée et de diminuer la porosité des couches.

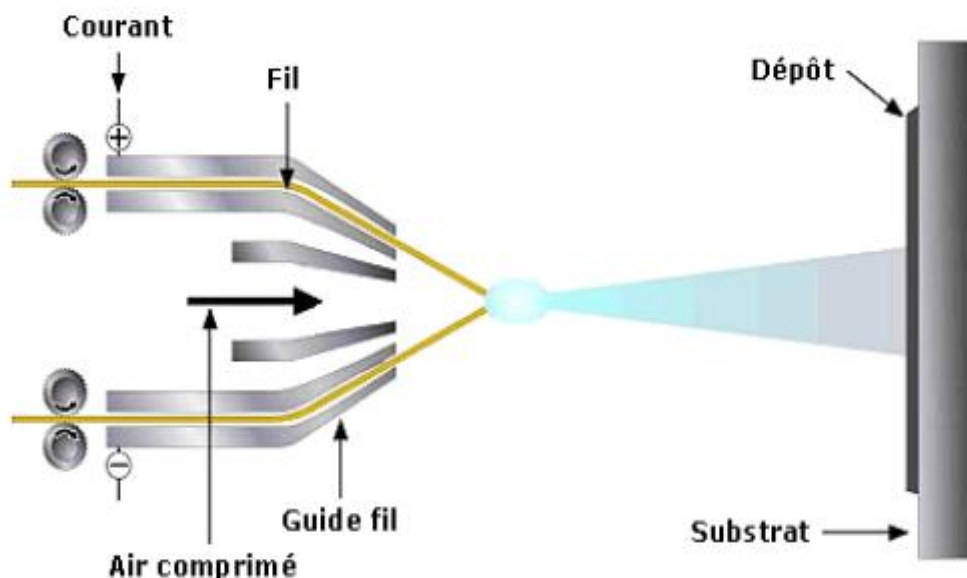


Figure I- 6: Projection par arc électrique

Les matériaux projetés sont des métaux conducteurs électriques (aluminium, cuivre, zinc, molybdène), des aciers mais aussi des alliages NiCrAl, NiMoAl. L'une des limites importantes du procédé est la nature des matériaux (fiabilité et conductibilité). La gamme des matériaux projetés peut être élargie en utilisant la technologie des fils fourrés qui permet de déposer des carbures (CrC, WC, TiC) et des oxydes ainsi que d'élaborer des couches composites.[12]

I.1.3.3 Projection à détonation

Le procédé est connu sous le nom de D-Gun (détonation gun). Le dispositif principal est un canon à détonation, où la réaction d'oxydation se produit avec une vitesse supérieure à la vitesse du son [Figure I-7] Le canon est constitué d'un tube de diamètre 21 à 25 mm et d'une longueur d'environ 1m fermé d'un côté. Il est équipé d'un système de soupapes pour injecter les gaz et la poudre ainsi que d'un dispositif d'allumage entièrement automatisé. La poudre est injectée en même temps que le mélange des gaz (généralement acétylène/oxygène). L'onde de choc de l'explosion amorcée par une étincelle propulse la poudre tout au long du canon avec une vitesse proche de 1000 m/s.

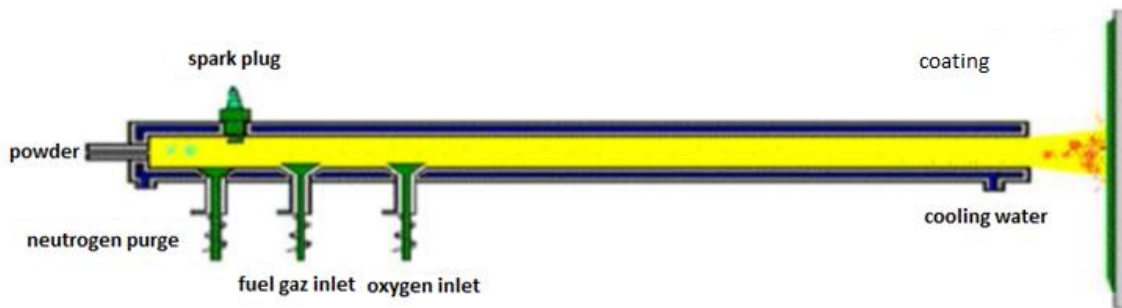


Figure I- 7: principe du canon à détonation

Les allumages sont reproduits avec une fréquence de 4 à 10 tirs par seconde et successivement suivis d'un balayage du canon avec un gaz neutre. Le revêtement obtenu possède un faible taux de porosité (moins de 1%) et une très bonne adhérence (80 MPa) mais il est limité à une épaisseur qui ne dépasse pas 300 μm . [13]

Les matériaux les plus fréquemment utilisés sont les carbures de W et de Cr avec des liens de Ni ou Co, mais aussi des oxydes de chrome ou de l'aluminium. Les applications en protection anti-usure sont dans les domaines de l'aéronautique et de la sidérurgie.

I.1.3.4 Projection à la flamme supersonique (HVOF)

Le principe de la technique HVOF est le même que celui de la projection à la flamme. Ses particularités sont: en premier un processus de déflagration qui se produit dans un volume confiné et en second une expulsions des gaz à travers un divergent de type Laval [Figure I-8]. Carburant et comburant sont injectés dans la chambre de combustion sous pression avec des débits variant entre 100 et 500 NL/min. La réaction de réduction provoque une forte expansion du mélange gazeux qui se propage à vitesse sonique dans la tuyère et passe au-delà dans le divergent et le jet externe. Les mélanges carburant/comburant sont de type gazeux (Oxygène –hydrogène/propane/propylène/gaz naturel) ou liquide (air comprimé – kérosène ou White_spirit) pour le procédé appelé HVAF (High Velocity Air Fuel).

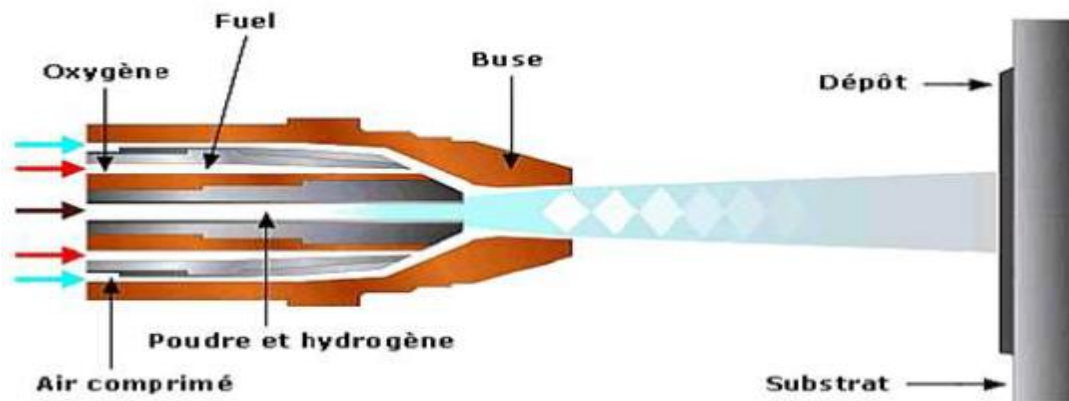


Figure I- 8: Projection à la flamme supersonique (HVOF)

L'espace réduit de la chambre de combustion favorise le transfert thermique entre les particules et la flamme. L'écoulement supersonique transmet une densité de quantité de mouvement importante, ce qui permet d'avoir un dépôt de très bonne qualité avec une dureté élevée. Le taux de porosité est généralement inférieur à 2% avec une bonne adhérence (70-90 MPa) et une faible rugosité de surface. Ce procédé permet de déposer des métaux (Ni, Co, Mo,Cr), des alliages (Inconel, MCrAlY , NiCr) , des alliages auto-fusibles, mais aussi des carbures (WC-Co, TiC-Ni). Les applications sont les protections anti -corrosion et anti-usure, les barrières thermiques, mais également la réparation, avec des dépôts de fortes épaisseurs en Plusieurs passes.[14] Le coût de l'utilisation est fortement lié à la nature et à la consommation des gaz qui peut atteindre 1000 NL/min. Le taux de dépôt est de l'ordre d'une dizaine de kilogrammes par heure.

I.1.3.5 Projection par plasma

Le principe de ce procédé est l'utilisation d'un arc électrique dans un plasma gazeux. Le matériau d'apport sous forme de poudre est introduit dans cette source de chaleur d'une température comprise entre 15 000 et 20 000°C [Figure I-9]. Ce procédé est essentiellement mis en œuvre dans l'air ambiant, mais pour obtenir des revêtements plus épais à de plus faibles températures, il peut être mis en œuvre sous atmosphère contrôlée ou sous vide. L'épaisseur des dépôts est variable en fonction des demandes et la porosité est inférieure à 10 %. Les matériaux d'apport ont une granulométrie comprise entre 2 et 120 μm . Il s'agit de métaux (**Al, Zn, Mo, Ti**, etc.), d'alliages (**NiCr, NiAl, NiCrAlY**, etc.), de céramiques (**Al₂O₃, Cr₂O₃, TiO₂, ZrO₂**, etc.), de carbures (**WC, Cr₃C₂**, etc.) ou de cermets (**Cr₃C₂/NiCr, WC/Co, ZrO₂/NiAl**, etc.) ce procédé peut être facilement mis en œuvre et permet de résoudre des problèmes d'usure, de corrosion, de barrière thermique, de frottement ou d'oxydation, notamment dans les secteurs de l'aéronautique et de l'automobile.[10]

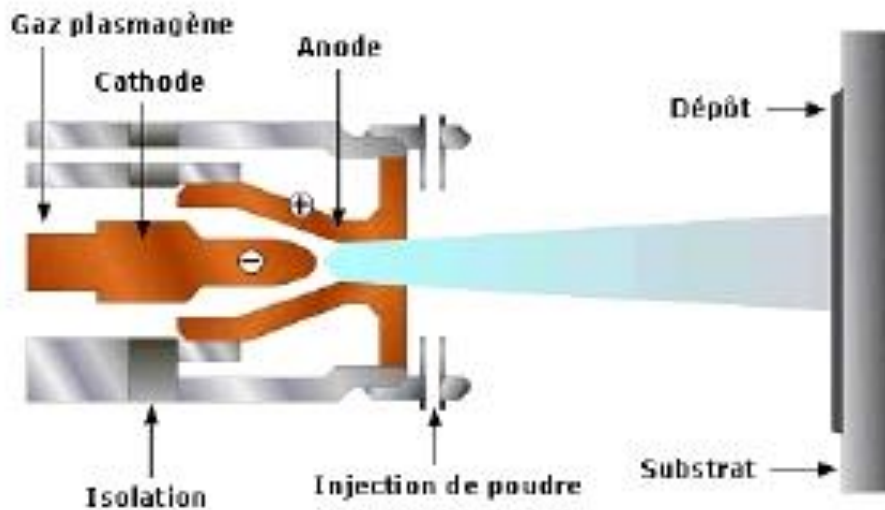


Figure I- 9: Schéma de principe d'une torche {plasma soufflé}

I.1.3.6 Projection par plasma d'induction haute fréquence

Cette technique relativement récente, apparue dans les années 1980, est basée sur l'utilisation d'un plasma de décharge inductive. A l'issue des travaux de l'université de Sherbrooke, des applications pour les dépôts métalliques de Ni et NiCr ont été proposées.[15] Le plasma est initialement amorcé par une source extérieure comme un arc de décharge électrique à haute tension. Cet arc crée une zone localement conductrice entretenue par les courants induits.[16]

La génération du plasma se passe dans un tube généralement en quartz qui est entouré par un inducteur appliquant un champ magnétique alternatif à haute fréquence [Figure I-10]

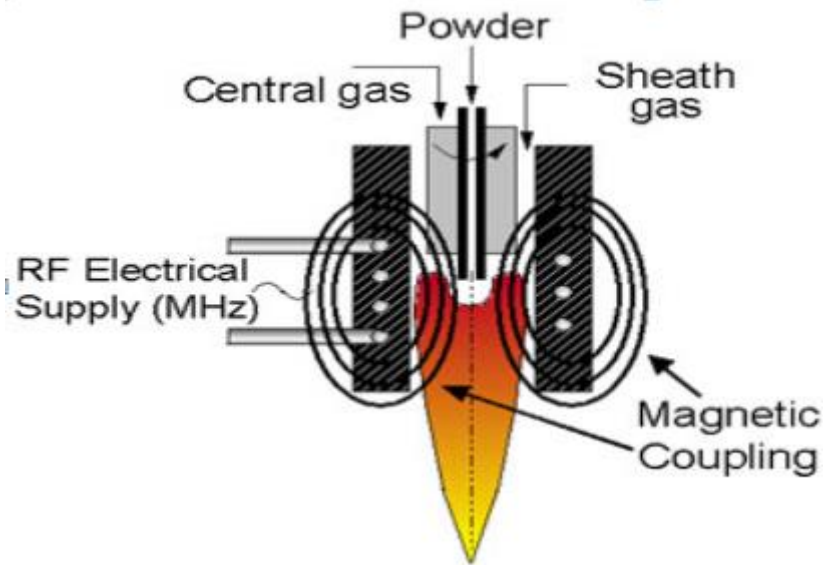


Figure I- 10: Schéma de principe de la projection HF

I.1.3.7 Le procédé Arc Spray

Lorsque les deux fils conducteurs sont reliés l'un à l'autre, un court-circuit est établi entre les fils, produisant un arc dont la température s'élève à environ 5000°C. Cette chaleur provoque la fusion des extrémités des fils. Du gaz comprimé, le plus souvent de l'air est utilisé pour atomiser le métal en fusion et projeter les gouttelettes sur le substrat, à des vitesses dépassant les 100 mètres par seconde. La combinaison d'une température élevée et d'une grande vitesse des particules, donne un revêtement avec une adhérence élevée avec peu de porosités et un haut taux de dépôt.

En outre, cette technologie de projection par arc électrique est un «procédé à froid», car le matériau de base est maintenu à une température basse pendant la projection, évitant ainsi les transformations métallurgiques et la déformation de la pièce rechargée. [17]

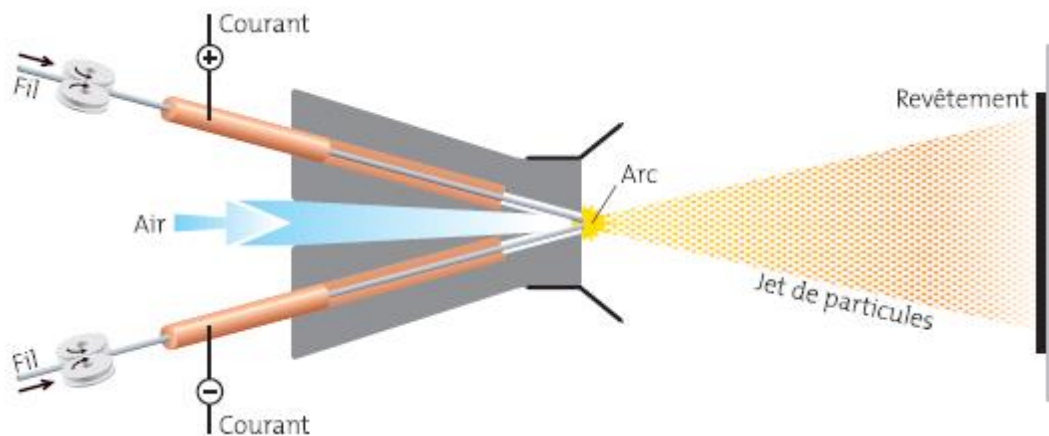


Figure I- 11: Arc Spray

I.1.4 Construction du dépôt

La construction du revêtement par projection à basse pression est similaire à la construction du revêtement en APS classique. L'aspect typique d'un empilement de particules peut être observé dans la microstructure dans le cas d'une température d'élaboration insuffisante pour la cristallisation du dépôt en cours de la projection.[18] Une structure lamellaire [figure I-12] obtenue par des écrasements et solidification successive de particules totalement ou partiellement fondues et projetées par le jet de plasma peut contenir les éléments suivants :

- des particules infondues,
- des pores,
- des oxydes, dans le cas de présence d'oxygène dans le matériau projeté ou dans l'environnement

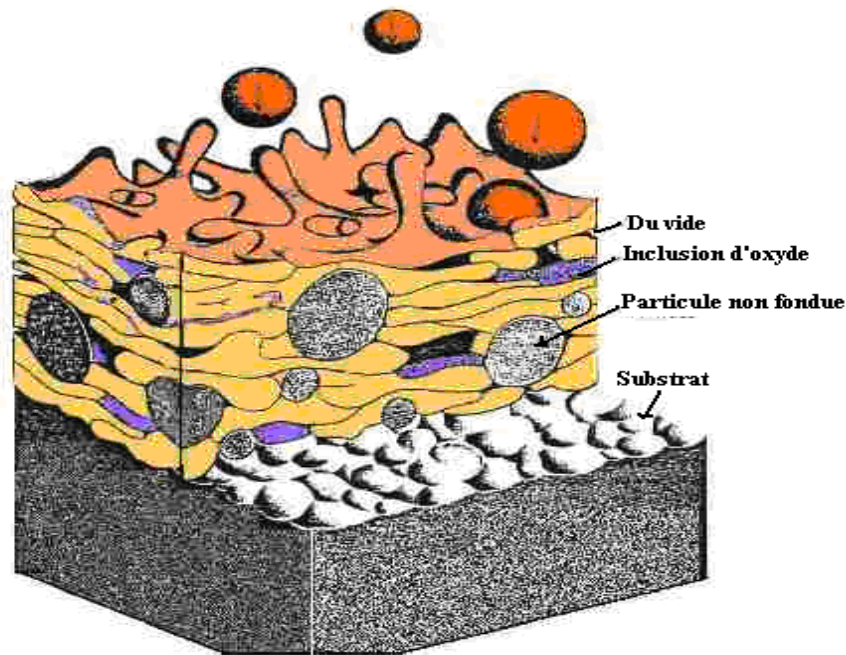


Figure I -12: Schéma de principe de la construction de dépôt par projection thermique

Ces différents éléments ont une forte influence sur les caractéristiques mécaniques du dépôt. Si la température d'élaboration avoisine la température de mise en solution du matériau, une cristallisation du dépôt a lieu et les frontières entre lamelles sont moins présentes ou disparaissent complètement, avec observation de grains.

Le temps de traitement de la particule dans le jet de plasma est de l'ordre de la milliseconde.

Le processus d'écrasement de la particule est très rapide, la durée entre l'impact et l'étalement d'une gouttelette est de l'ordre d'une microseconde.[19] Le mécanisme d'étalement et de solidification d'une gouttelette est et fondamental pour la projection thermique car c'est une clef de la construction du dépôt. Ce processus est dépendant de plusieurs paramètres :

- nature et forme du matériau,
- température et vitesse de la particule à l'impact,
- tension superficielle de la gouttelette,
- nature du substrat,
- température, rugosité, mouillabilité du substrat.

Les interactions possibles avec le substrat ont été étudiées et classées par Kudinov. [20]

La représente les résultats des écrasements en fonction du type de particule, de sa température, de sa vitesse et des conditions de mouillabilité à la surface du substrat.

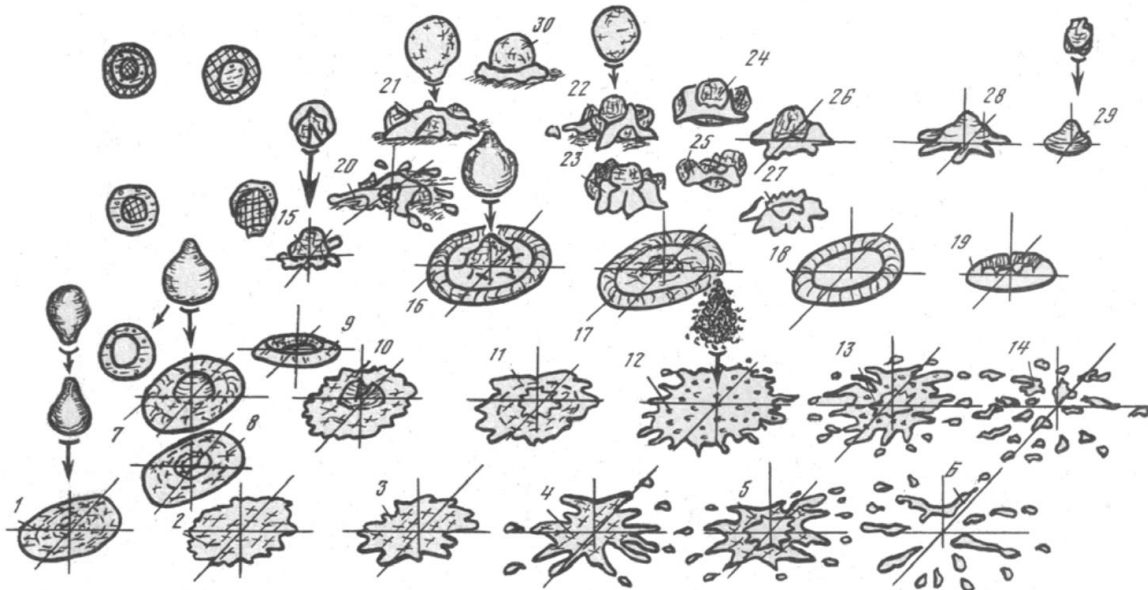


Figure I- 13: Résultats des interactions des particules avec le substrat

Les numéros dans la [figure I-13] correspondent aux différents états de la particule :

La particule est complètement fondue (1-6), la particule est complètement fondue avec une cavité remplie de gaz (7-11), la particule est surchauffée avec un début d'évaporation (12-14), la particule est fondue en surface (15), partiellement fondue avec un noyau solide (16-19), la particule est ré-solidifiée en surface et possède un noyau fondu (20, 21, 30), la particule est ré-solidifiée en

surface et possède une couche intermédiaire fondue et un noyau solide (22-30), la particule est Solide et accélérée (28,29). L'éclaboussement de la particule dépend fortement de la température et de l'état de surface du substrat.

1.2 Tribologie

1.2.1 Généralités

La tribologie est définie comme la science et la technologie des surfaces qui interagissent dans un mouvement relatif. L'analyse tribologique d'un système a pour principal objectif l'étude du frottement, de la lubrification et de l'usure sous leurs multiples aspects. Dans de nombreux cas, une réduction de l'usure est recherchée, ainsi qu'une minimisation du frottement, cause de dissipation d'énergie mécanique. Dans le cas de notre étude, à savoir l'interaction entre deux surfaces en mouvement l'une par rapport à l'autre et des grandeurs relatives à l'usure progressive s'installe cela a pour effet la dégradation de l'état de surface.

En général les conditions de frottement et les mécanismes d'endommagement dépendent d'une multitude de facteurs constituant un tribo-système :

- propriétés des deux matériaux en contact,
- caractéristiques du troisième corps (débris d'usure et/ou lubrifiant) situé à l'interface,
- mouvements relatifs des corps en contact (cinématique), efforts appliqués et efforts transmis par le contact, et environnement du contact (atmosphère, température).

les phénomènes d'usure à étudier. Toutefois, pour ce faire il est nécessaire d'en établir et valider le principe. Comme nous le verrons dans ce travail un certain nombre d'essais vont être réalisés sur un tribomètre.

Un tribomètre est un appareil utilisé généralement pour la mesure des forces de frottement de deux surfaces en mouvement l'une par rapport à l'autre et des grandeurs relatives à l'usure. Son principe général consiste à faire frotter un matériau sur un autre dans un environnement choisi et contrôlé afin d'étudier le comportement de l'un ou des deux matériaux. En fonction des conditions expérimentales que l'on voudra appliquer, on choisira une géométrie parmi les nombreuses combinaisons possibles pour se placer au plus près des conditions de contact souhaitées. L'une des géométries classiques est par exemple la géométrie pion / disque schématisée sur la [figure I-14].

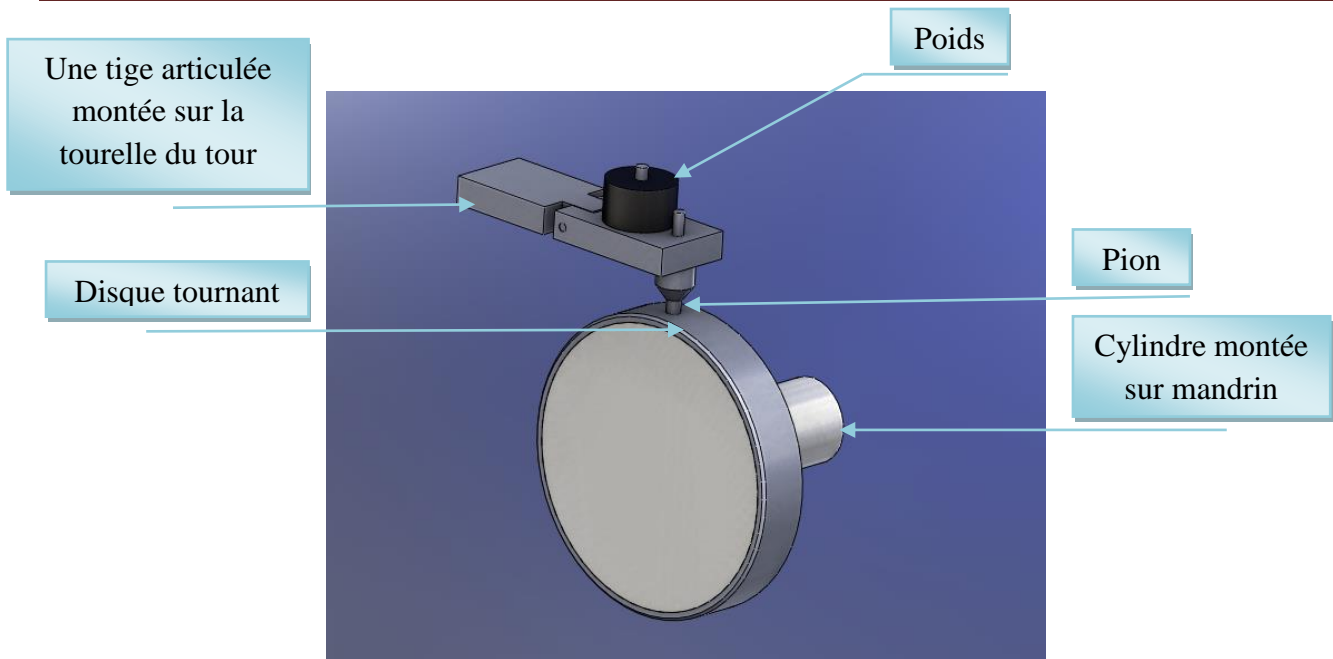


Figure I- 14: Tribomètre à configuration pion / disque

I.2.2 Force et coefficient de frottement

Quand deux solides en contact ont un mouvement relatif (contact glissant), la force de frottement, F_T , résiste à ce mouvement. Elle est la résultante de la force, $F_{\text{déf}}$, nécessaire à la déformation des surfaces en contact, et de la force, F_{cis} , nécessaire au cisaillement par suite de l'effet d'adhésion, selon :

$$F_T = F_{\text{cis}} + F_{\text{déf}} \quad (1)$$

Si les surfaces sont lisses, le cisaillement prédomine et la force de frottement devient [21] :

$$F_T \approx F_{\text{cis}} = A_r \tau_{\text{cis}} \quad (2)$$

Avec

A_r : l'aire réelle de contact et τ_{cis} la contrainte de cisaillement. La force tangentielle, F_T , nécessaire, soit pour initier, soit pour entretenir le glissement, est proportionnelle à la force normale, F_N , appliquée sur le contact,

Selon :

$$F_T = \mu F_N \quad (3)$$

Où

μ : représente le coefficient de frottement. Il convient de distinguer le coefficient de frottement statique, μ_s , (initiation du glissement), du coefficient de frottement dynamique μ_k , (entretien du glissement), qui est inférieur et normalement indépendant de la vitesse de glissement.

I.2.3 Mécanismes d'usures

L'usure est le processus d'endommagement des surfaces en contact, sous l'effet du frottement.

Les principaux mécanismes d'usure connus sont les suivants :

- usure par adhésion : elle se manifeste par le transfert de matière de l'un des premiers corps sur le corps antagoniste et elle est susceptible d'aboutir au grippage du dispositif. L'usure adhésive résulte de la formation de micro-jonctions entre les surfaces en contact et la création de micro-rupture.[22]
- usure par abrasion : elle est produite par les particules ou des aspérités dures, assimilables à des micro-outils de coupe. Celles-ci provoquent un déplacement et un enlèvement de matière, par déformation plastique et rupture par cisaillement, avec formation de micro-copeaux. L'usure abrasive se manifeste par la création de rayures, de griffures ou par un effet de polissage.
- usure par érosion : elle correspond à une perte de matière par la surface d'un solide au contact d'un fluide en mouvement contenant des particules solides. Elle se manifeste sur les matériaux fragiles par des fissures et des éclats microscopiques et sur les métaux ductiles par des piqûres, rayures ou alors par du polissage.
- usure par fatigue : l'application sur les surfaces de contact de charges élevées soumises à de nombreuses fluctuations est responsable d'un endommagement par fatigue mécanique superficielle, se traduisant par l'apparition de fissures en surface, se propageant dans le volume.
- usure par corrosion : un processus chimique, d'oxydation par exemple, couplé au frottement, est à l'origine d'un mécanisme d'endommagement appelé aussi « usure corrosive ».
- Précisons par ailleurs qu'un tribo-système est susceptible d'évoluer dans le temps et d'être le siège de plusieurs mécanismes d'usure successifs ou simultanés qui agissent alors de manière conjuguée, en synergie (exemple : usure corrosive et abrasive).

I.2.4 Paramètres agissant sur le frottement et l'usure

En général, la perte de masse quantifiant l'usure d'un corps mou glissant sur une surface dure est proportionnelle non seulement à la distance de glissement, mais aussi à la charge normale appliquée, F_N , [23-25] Pour les aires de contact élevées, le coefficient de frottement est indépendant de la charge normale. En revanche, pour les très petites aires de contact, quand F_N croît, μ peut soit augmenter, dans le cas du glissement diamant sur céramique [26], soit diminuer, dans le cas du glissement métal sur métal [27].

La vitesse de glissement a pour principal effet d'agir sur la température de la zone de contact. Le dépassement d'une vitesse critique entraîne la fusion superficielle du corps le plus fusible. L'augmentation de la température du contact avec la vitesse induit des transformations structurales et accroît la réactivité des surfaces vis-à-vis de l'environnement (oxydation en présence d'air).

Au-dessus d'une certaine température et donc pour des vitesses de glissement supérieures à une valeur critique, le film d'oxyde, résultant d'une oxydation permanente, se reconstitue au fur à mesure qu'il est détruit par l'usure.

En règle générale, le coefficient de frottement diminue avec l'augmentation de la vitesse de glissement. [28] Par ailleurs, l'élévation de la température des matériaux en contact influence leur résistance à l'usure, sachant qu'elle entraîne une dégradation de leurs propriétés mécaniques. [29-31]. Remarquons enfin que l'état géométrique (rugosité) et physico-chimique des surfaces des matériaux en contact glissant influence grandement le comportement tribologique du couple de frottement.

I.3 Etat Structural

Les aciers inoxydables sont des alliages métalliques à base de fer carbone, qui doivent contenir au moins 10,5 % de chrome et souvent d'autres éléments d'addition tels que le nickel et, dans une moindre mesure, le molybdène. Avant d'examiner les différents équilibres, il est utile de rappeler les variétés allotropiques du fer. Les aciers inoxydables présentent une grande variété de structures et donc de propriétés physiques, mécaniques et surtout chimiques. L'une des principales raisons est le fait que l'élément majoritaire, le fer, présente trois variétés allotropiques de structures cristallines différentes entre les basses températures et sa température de transformation :

- en-dessous de 910 °C, le fer a une structure cubique centrée, c'est le fer B α ou ferrite.
- de 910 °C à 1400 °C, le fer se transforme en fer γ ou austénite dont la structure est cubique à faces centrées.
- une nouvelle transformation intervient de 1400 °C à 1538 °C pour donner N le fer δ dont la structure est à nouveau cubique centrée.

Ces transformations qui sont réversibles peuvent se résumer suivant le tableau 1.

Tableau 1: variétés allotropiques du fer et structures correspondantes.

Fer α (ferrite) ($\theta < 910$ °C)	Fer γ (austénite) (910 °C < $\theta < 1400$ °C)	Fer δ (forme haute température) ($\theta > 1400$ °C)
Structure cubique centrée	Structure cubique à faces centrées	Structure cubique centrée

Les éléments d'addition présents dans les aciers inoxydables ont tendance à favoriser une structure aux dépens d'une autre, suivant leur concentration. Ces éléments sont ajoutés à l'acier inoxydable de base afin d'en modifier ou d'en d'améliorer les propriétés physiques, chimiques et mécaniques.

I.3.1 Système fer-chrome

Le diagramme binaire complet à l'équilibre fer-chrome [figure I-15] montre que l'existence de la phase γ est limitée à l'intérieur d'un domaine appelé « boucle γ » ; cette situation étant due au chrome qui, compte tenu de sa structure cristallographique (cubique centrée), favorise le développement du domaine α .

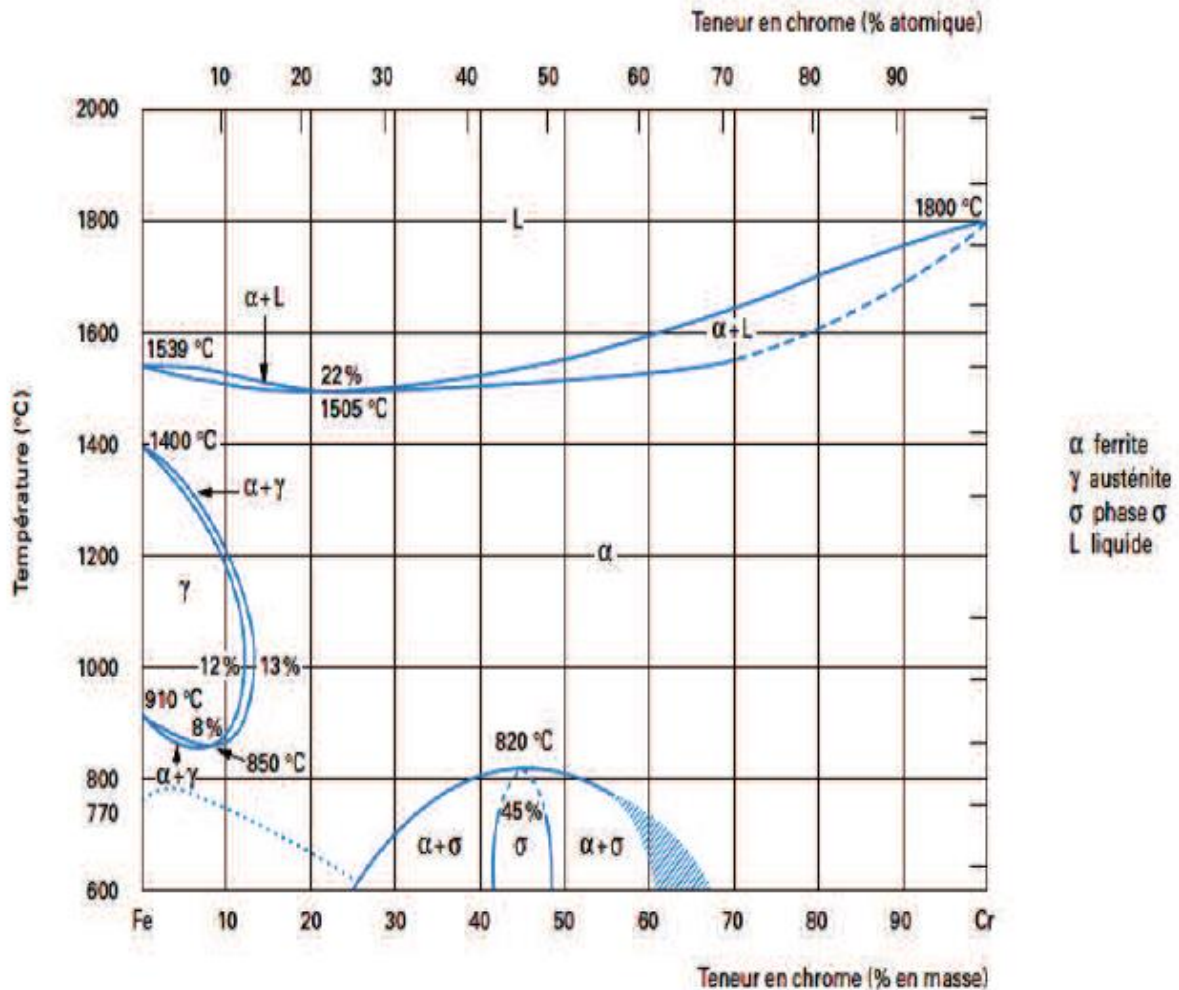


Figure I- 15: Diagramme d'équilibre de phases du système fer-chrome

L'étendue du domaine γ va être très fortement influencée par d'autres éléments d'addition. Certains auront tendance à favoriser l'existence de la phase α (structure ferritique) ; ce sont les éléments dits α -gènes qui sont le chrome, le bore ou le molybdène. D'autres, à l'opposé, auront tendance à favoriser l'existence de la phase γ (structure austénitique) ; ce sont les éléments dits γ -gènes parmi lesquels on trouve le carbone ou l'azote.

Suivant l'équilibre entre ces différents éléments, les alliages Fe-Cr-C peuvent avoir les structures suivantes :

- martensitique, après trempe (c'est-à-dire chauffage et maintien au-dessus de 950 °C suivi d'un refroidissement rapide) d'un alliage se situant à l'intérieur de la boucle γ . L'alliage à 13% de chrome et 0,3 % de carbone (X30Cr13) est représentatif de cette famille.
- semi-ferritique, après chauffage puis refroidissement d'un alliage se situant dans la zone biphasée ($\alpha+\gamma$). L'alliage à 17 % de chrome et 0,06 % de carbone (X6Cr17) est le plus représentatif de cette famille.

- ferritique, après traitement thermique d'un alliage se situant à droite de la boucle γ . Il s'agit une addition de titane afin de prévenir le risque de précipitation de carbures de chrome. d'un alliage à teneurs élevées en chrome et en molybdène du type X3CrTiMo17 stabilisé par une addition de titane afin de prévenir le risque de précipitation de carbures de chrome.

I.3.2 Classes des aciers inoxydables

I.3.2.1 Aciers martensitiques

Pour obtenir un acier inoxydable de structure martensitique, deux conditions indispensables doivent être satisfaites :

- présence d'une teneur en chrome supérieure à 11 % pour assurer l'inoxidabilité.
- existence d'un domaine de température où l'acier prend la structure austénitique.

L'obtention d'une structure entièrement martensitique, après trempe, confère à ces aciers inoxydables une limite d'élasticité, une résistance à la rupture et une dureté élevées, conjuguées à une résistance à la corrosion. De tels aciers inoxydables sont utilisés pour les instruments chirurgicaux et en coutellerie.

I.3.2.2 Aciers ferritiques

Les aciers inoxydables ferritiques sont caractérisés par le fait que leur structure reste ferritique dans tout l'intervalle de température, c'est-à-dire qu'ils ne subissent pas de transformation $\alpha \leftrightarrow \gamma$. Avec les aciers ferritiques, plus la teneur en chrome sera élevée et plus le risque dit de « fragilisation à 475 °C » sera grand. Ce phénomène se caractérise par une augmentation de la dureté accompagnée d'une diminution de la ténacité par suite du maintien durant plusieurs centaines d'heures à des températures comprises entre 400 et 500 °C.

I.3.2.3 Aciers austénitiques

Les aciers inoxydables austénitiques de composition Fe-Cr-Ni ont leur structure cristallographique de type cubique à faces centrées qui leur confère une ductilité et une ténacité exceptionnelle. Il faut ajouter également une excellente soudabilité métallurgique, ce qui facilite leur mise en œuvre. Ce sont les aciers inoxydables les plus utilisés, dans les industries chimiques et agro-alimentaires, pour fabriquer les couverts de table, etc.

Dans les aciers inoxydables austénitiques fer-chrome-manganèse-nickel, le rôle du manganèse est fondamentalement différent de celui du nickel car il n'élargit pas le domaine d'existence de la phase γ aux températures élevées. Autrement dit, le manganèse stabilise l'austénite formée à haute température mais ne contribue pas à sa formation.

Les aciers inoxydables super austénitiques résistent à des milieux particulièrement agressifs. Leurs compositions chimiques sont adaptées pour optimiser la résistance à la corrosion vis - à vis de milieux spécifiques. Outre le chrome et le nickel, ces aciers contiennent du molybdène et de l'azote.

I.3.2.4 Aciers austéno-ferritiques

Un alliage contenant environ 25 % de chrome et 5 % de nickel aura à la température ambiante, et après avoir subi un traitement thermique approprié, une structure formée de ferrite et d'austénite. Pour améliorer leur résistance à la corrosion, on ajoute fréquemment du molybdène ce qui conduit, corrélativement, à baisser la teneur en chrome à un niveau de l'ordre de 20 %. Ainsi, une structure de 50 % de ferrite α et 50 % d'austénite γ est formée, d'où le nom de structure duplex. Les aciers inoxydables austéno-ferritiques présentent d'excellentes performances (ductilité, ténacité, résistance à la corrosion entre - 40 et 75 °C).

I.3.3 Acier inoxydable X30Cr13

Cet acier 0,3 % de carbone et 13 % de chrome en masse fait partie de la famille des aciers inoxydables ferrito-martensitiques [32]. Nous décrivons successivement les caractéristiques métallurgiques des ferrito-martensitiques et l'influence des traitements thermiques sur cette famille d'aciers inoxydables. Puis, nous indiquerons les principales propriétés physiques et mécaniques de l'acier X30Cr13 et citerons quelques-unes de ses applications.

I.3.4 Principales Applications

De ces différents critères et de l'agressivité des milieux avec lequel l'acier inoxydable sera en contact et donc de la résistance à la corrosion attendue, le tableau 2 donne un résumé des principales situations rencontrées.

Plusieurs diagrammes ont été proposés, partant du constat que certains éléments d'alliages ont un effet α -gène et d'autres un effet γ -gène, pour déterminer la structure des aciers inoxydables.

Tableau 2 : Principales applications des aciers inoxydables

Application	Famille de nuances	Resistance a la corrosion	Caractéristiques mécaniques	Formage , emboutissage, Cintrage	Soudage
Industrie alimentaire , le stockage du vin	Austénitiques : Fe-Cr-Ni (Mo)	***	*	*	**
Ustensiles ménagers	Austénitiques : Fe-Cr-Ni	***	*	***	*
Echappement automobile	Férritiques Fe-Cr-(Ti/Nb)	**	**	***	*
Appareils électroménagers	Austénitiques : Fe-Cr-Ni Férritiques Fe-Cr-(Ti)	**	*	***	**
Matériels de sports	Austénitiques : Fe-Cr-Ni(N) Férritiques Fe-Cr	**	***	**	**
Coteaux, instruments chirurgicaux	Martensitiques Fe-Cr-(Ni-Mo)	**	***		
Industries chimique et papeteries	Austénitiques : Fe-Cr-Ni-Mo Austénoférritiques Fe-Cr-Ni-Mo	***	**	*	***
***: très élevées **: élevées *: moyenne					

I.3.5 Système ternaire fer-chrome-carbone

Vis-à-vis de l'allotropie du fer, le chrome et le carbone jouent le rôle d'élément d'addition α -gène et γ -gène respectivement.

Le diagramme d'équilibre de phases du système Fe-Cr-C à 13 % de chrome est représenté [figure I-16].

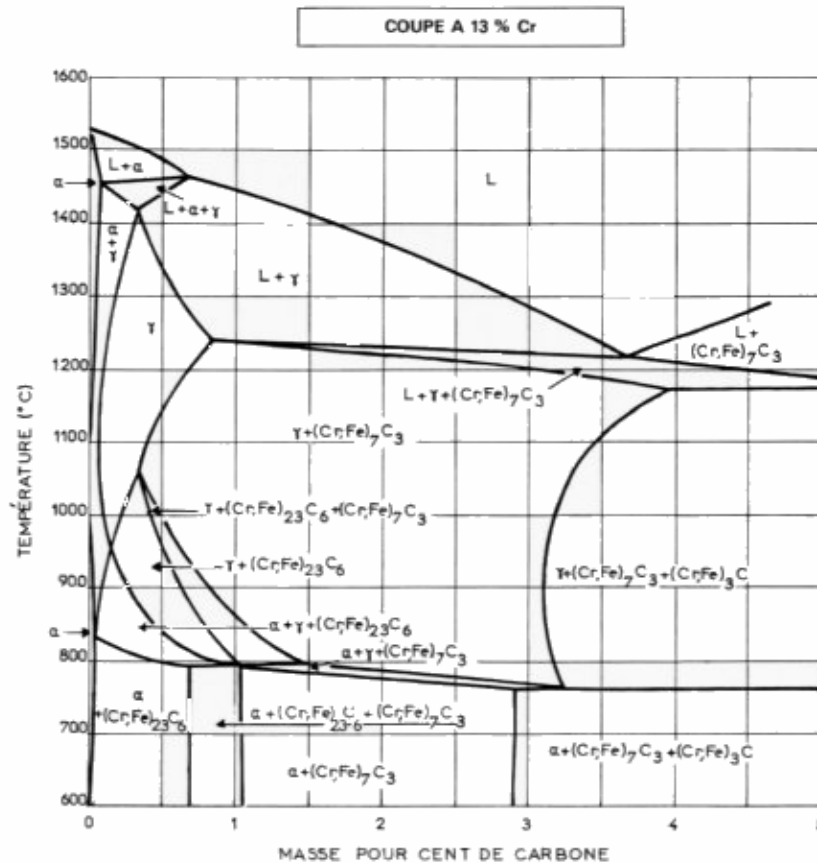


Figure I- 16: Diagramme de phases pseudo-binaires fer-carbone à 13 % de chrome

Deux conditions sont nécessaires pour obtenir un acier inoxydable martensitique :

- une teneur en chrome supérieure à 11 % pour assurer l'inoxidabilité,
- l'existence d'un domaine de température où l'acier prend la structure austénitique (cubique à faces centrées).

Lors du refroidissement rapide de l'acier X30Cr13 après une austénitisation à 1 060°C, température en-dessous de laquelle commence la transformation martensitique, l'acier austénitique (structure cubique à faces centrées) devient ferrito-martensitique. En effet, selon la teneur en carbone, la structure peut être soit sensiblement cubique centrée (ferritique), soit tétragonale centrée (martensitique).

La place disponible théorique dans les interstices octaédriques de la structure cubique centrée est de 0,038 nm le long de l'axe [001] et de 0,159 nm dans le plan (001), tandis que le diamètre des atomes de carbone est de 0,154 nm. Deux scénarios peuvent alors se produire :

- Si peu de sites octaédriques sont occupés par des atomes de carbone (cas des aciers inoxydables martensitiques à basse concentration en carbone (< 0,18%), une relaxation

s'effectue sur les sites non occupés, globalement la maille est peu déformée et reste sensiblement cubique centrée (structure ferritique).

- si de nombreux sites sont occupés par des atomes de carbone (cas des aciers inoxydables à forte concentration en carbone ($> 0,18\%$)), la relaxation est alors impossible et la maille se déforme pour devenir tétragonale (structure martensitique).



Chapitre II

*Matériaux et techniques
expérimentales*



II. Introduction

On présentera dans ce chapitre le procédé de projection utilisé pour l'élaboration du revêtement qui est la projection à flamme-fil que nous signalons que l'élaboration du dépôt a été réalisée au sein de l'entreprise «Algérie métallisation sise à Rouïba ». Dans une deuxième étape, on présentera les différentes techniques de caractérisation : l'analyse structurale et la caractérisation mécanique basée sur les tests de duretés et les tests d'usures pour évaluer la perte de masse relative des dépôts.

II.1 Matériaux utilisés

II.1.1 Élaboration des échantillons

Les échantillons utilisés pour la projection thermique, ont été usinés sur le tour parallèle au niveau du hall de technologie ou on a effectué :

- Un dressage, pour avoir un bon état de surface, de la surface à revêtir.
- Un épaulement, dans le but de fixer les pièces, lors de la projection.
- Un chanfreinage, dans le but d'avoir un contact parfait entre le revêtement et la surface antagoniste.

Les échantillons élaborés présentent la forme suivante :

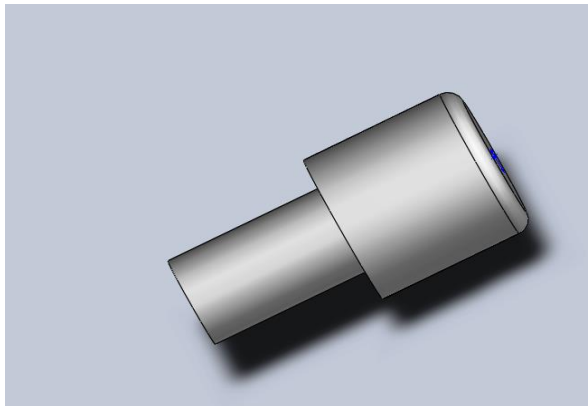


Figure II-1: Echantillon utilisé pour la projection

II.1.2 Élaboration des dépôts

Afin de bien mener l'opération de projection, il est impératif de respecter certaines étapes telles que la bonne usinabilité des échantillons, qui se représentent sous une forme bien déterminée (voir représentations des échantillons élaborés), et une préparation de la surface à savoir le sablage ainsi que les paramètres de projection.

II.1.3 Préparation des surfaces à revêtir

Après avoir élaboré les échantillons, on a effectué les différentes opérations de préparation de surface comme suit :

➤ **Dégraissage :**

Ce traitement est d'importance capitale, dont le but est d'éliminer de la surface, toutes traces de substances organiques, huiles, produit gras, pates qui sont dues aux différentes manipulations que le matériau a subi auparavant, ces derniers sont dégraissés et nettoyés avec de l'éthanol.

➤ **Grenaillage (Sablage)**

Le principe est basé sur la projection de fines particules de corindon à haute pression (5 bars) en vue de rendre ces surfaces rugueuses.

II.1.4 Le substrat

Le matériau de base utilisé comme substrat pour réaliser nos échantillons est un acier de construction mécanique d'usage général de type E335. C'est un acier doux ordinaire hypoeutectoïde qui présente une bonne ductilité.

Tableau 3: Analyse du substrat par la fluorescence des rayons X

	Fe	Ni	C	Mn	Cu	Si
A60	Bal	<0,03	0,1	0,231	0,119	0,044

II.1.5 Dépôts réalisés

Dans notre travail, nous avons déposé un seul type de dépôt d'épaisseurs allant de 0,8 à 1mm :

- un acier inoxydable de type (X30Cr13 : 0,3% du carbone et 13% de chrome)

Le dépôt a été réalisé avec le pistolet flamme-fil, cette nuance martensitique est utilisée pour procéder à nos essais de traitement superficiel par le procédé arc électrique. Sa composition

Chapitre II Matériaux et techniques expérimentales

chimique est donnée dans le tableau 3, tandis que ses principales propriétés sont précisées dans le tableau 4.

Tableau 4: Composition chimique (en % massique) de l'acier inoxydable $X_{30}Cr_{13}$

Eléments	Fe	Cr	C	Si	Ni	Mn	P
Pourcentage massique (%)	Balance	12,62	0,30	0,63	0,11	0,41	0,011

Tableau 5: Propriétés thermo physiques et mécaniques de l'acier inoxydable $X_{30}Cr_{13}$

Point de transformation allotropique $\alpha \longrightarrow \gamma$	~ 1041 °c
Point de fusion	~ 1500 °c
Point de vaporisation	~ 3000 °c
Densité	7,7
Capacité thermique	$460 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
Conductivité thermique	$30 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
Diffusivité thermique	$8,5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
structure cristalline : - forme α : - forme γ	Cubique centrée Cubique a face centrée
Coefficient de dilatation thermique entre 293 et 373 K	$10,8 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
Module de Young	206Gpa
Dureté	4Gpa
Limite d'élasticité	850Mpa
Coefficient de poisson	0,28

II.1.6 Le procédé utilisé

Le pistolet de projection utilisé est le pistolet flamme –fil ou le matériau d'apport se présente sous forme de fil comme nous montre la figure ci-dessous, La flamme ne sert dans ce cas, qu'à fondre le matériau. Les particules obtenues seront véhiculées par un flux d'air comprimé.

Chapitre II Matériaux et techniques expérimentales

Ce Procédé peut être mis en œuvre dans tous les domaines pour résoudre des problèmes d'abrasion, de corrosion, d'usure, d'isolation thermique ou électronique



Figure II- 2: Pistolet de projection flamme –fil

II.1.7 Paramètre de projection utilisé

Les différents dépôts ont été obtenus selon les paramètres et les conditions de projections utilisées par l'entreprise, ils sont illustrés dans le tableau suivant :

Tableau 6: paramètres de projection à flamme fil utilisé par l'entreprise Algérie métallisation

Paramètres de projection	Pression d'air dans le moteur (bar)	3,8
	Pression d'air dans la buse de projection (bar)	3
	la vitesse d'avance du fil métallique (m/s)	0,06
	Tension du générateur (V)	30
	Intensité du courant (A)	100
Condition de projection	Distance (mm)	130 à 140
	Vitesse de rotation de la cible (Tr/mn)	16
	Angle (°)	90
	Vitesse d'avance de la buse (mm/tr)	4

II.1.8 Traitements thermiques

Le but des traitements thermiques appliqués aux aciers inoxydables est d'améliorer leurs caractéristiques mécaniques ou leur résistance à la corrosion. Si la qualité première des aciers inoxydables est leur tenue à la corrosion, il convient de rappeler qu'ils peuvent par traitement thermique approprié acquérir des caractéristiques mécaniques supérieures dont une grande dureté, ce qui permet des économies de matière et un allègement des structures.

La structure totalement martensitique confère aux aciers inoxydables une limite d'élasticité, une résistance mécanique et une dureté élevées. Leur ductilité est par contre moindre que celle des aciers inoxydables ferritiques ou austénitiques. Afin de l'améliorer, les aciers inoxydables martensitiques subissent en général un traitement de revenu plus ou moins prononcé, afin d'obtenir une structure ferrito-martensitique.

Divers traitements thermiques sont possibles :

- trempe martensitique,
- trempe de déstabilisation de l'austénite,
- traitement de dimensionnement ou de revenu,
- traitement d'adoucissement ou de recuit.

Les traitements thermiques qu'on a effectués pour nous échantillons avec des différentes températures

- Recuit à 850 C°
- Recuit à 950 C°
- Recuit à 1100 C°

Est on laisse les échantillons refroidir a l'air ambiant.

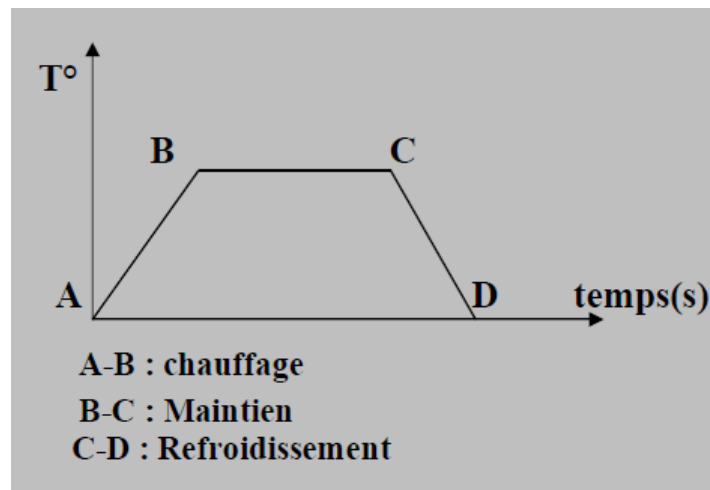


Figure II- 3: mode opératoire d'un traitement thermique

Chapitre II Matériaux et techniques expérimentales

Voilà quelques photos des échantillons prise après les traitements thermiques :



Figure II- 4: Recuit à 850 C°



Figure II- 5: Recuit à 950 C°



Figure II- 6: Recuit à 1100 C°

Chapitre II Matériaux et techniques expérimentales

II.1.9 Caractérisation microstructurale

Elle consiste à prendre les microstructures de dépôt et voir leur morphologie. Dans notre cas, la caractérisation s'est fait à l'aide d'un microscope optique.

II.1.10 Le polissage mécanique

Après les traitements thermiques, différentes polisseuses ont été mise à notre disposition pour élaborer le polissage avec le papier abrasif de plus en plus faible de 400 jusqu'on arrive à utiliser le papier en feutre avec la pâte diamanté pour avoir une surface réfléchissante adéquate pour les essais de dureté comme montrée sur la figure ci-dessous



Figure II- 8: différentes types de polisseuses

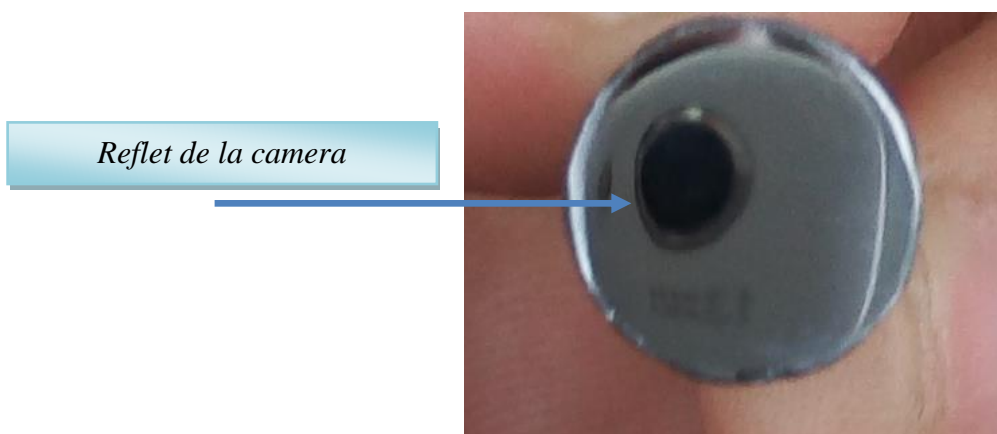


Figure II- 7: échantillon après polissage

II.1.11 Attaque chimique

L'observation de la microstructure des phases de l'acier inoxydable peut nécessiter la révélation des joints de grains par une attaque chimique, en particulier si le matériau est bien homogène en composition. Le réactif utilisé est l'eau régale dont le mélange est le suivant : 2 volumes d'acide chlorhydrique (HCl – concentration 12 mol/L), 1 volume d'acide nitrique (HNO₃ – concentration 14 mol/L). Cette attaque doit être réalisée à chaud, l'échantillon est maintenu 2 minutes dans l'eau bouillante avant l'étalement de la solution à sa surface. Après 10 secondes, la solution est rincée à l'eau froide, la surface de l'échantillon ayant pris une teinte plus sombre (noircissement des joints de grains).

II.1.12 Méthodes d'observation

II.1.12.1 Microscopie optique

La microscopie optique permet l'observation micrographique sur les surfaces des échantillons subissant un polissage mécanique classique, puis sont attaquées au réactif de l'eau régale (temps d'attaque : 10min). L'observation micrographique est effectuée à l'aide d'un microscope optique. Le principal intérêt de cette méthode simple et efficace est la mise en évidence de la microstructure du matériau, la dimension et la forme des grains et les différentes phases en présence mais sa résolution est limitée à 0,2 μm .

II.1.13 La dureté

Les essais de dureté représentent un outil utile pour l'évaluation des matériaux, le contrôle qualité des processus de fabrication et pour la recherche et le développement.

Ils donnent une indication sur les propriétés d'un matériau, telles que sa robustesse, sa ductilité et sa résistance à l'usure. Dans cette application, nous allons considérer la dureté par empreinte que l'on peut définir comme une mesure de la résistance d'un matériau à la déformation plastique. Le résultat obtenu lors de l'essai va dépendre de la méthode d'essai utilisée, c'est-à-dire l'essai va dépendre de la charge et de la durée, du type de pénétrateur (géométrie/matériau) et de l'application de la méthode d'essai. L'essai de dureté utilisé dépend du type de matériau, de la dimension de la pièce et de son état. Donc, la méthode utilisée devrait toujours être indiquée avec le résultat obtenu. Il existe différents standards disponibles qui, si correctement suivis, peuvent assurer un résultat fiable. Toutes déviations des valeurs standards, par exemple la durée de l'essai, devront être

notées dans le rapport de dureté. Lors des essais de dureté, il est important de garder sous contrôle les paramètres influençant l'essai afin de garantir la précision et la répétabilité



Figure II- 9: micro duromètre

II.1.13.1 Dureté Brinell (HBW)

L'essai Brinell donne une empreinte relativement grande avec une bille en carbure de tungstène, dénotation HBW (W étant le symbole chimique du tungstène).

La taille de l'empreinte est lue optiquement pour pouvoir déterminer la dureté. Les applications typiques sont les forgeages et les moulages ou les éléments structuraux sont de grande taille et hétérogènes, ou les structures trop grossiers pour d'autres méthodes (Rockwell/Vickers) pour obtenir un résultat représentatif. Gamme de charges d'essai: de 1 à 3000 kgf Types de pénétrateur : billes de diamètre 1 / 2,5 / 5 / 10 mm.

Chapitre II Matériaux et techniques expérimentales

Toute en sachant qu'on a opté pour ces derniers avec une bille de diamètre 10 mm et une charge appliquée de 750 N.



Figure II- 10: image représentative du principe de dureté

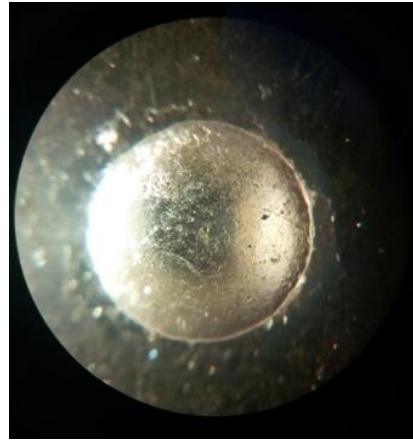


Figure II- 12: l'empreinte formée par la bille



Figure II- 11: loupe de mesure

II.1.14 Caractérisation mécanique (tests d'usure)

II.1.14.1 Principe du teste d'usure

Afin de suivre le comportement à l'usure des différents échantillons au dépôt réalisé, on a fait subir aux échantillons un essai de masse par abrasion en fonction de temps. Ce dernier est réalisé en jouant sur trois paramètres qui influent sur l'usure à savoir : la charge, le temps et la vitesse.

II.1.14.2 La perte de masse

C'est une méthode d'analyse quantitative qui consiste à faire fonctionner un mécanisme pendant un temps connu puis à extraire la pièce à étudier et à la peser afin de déterminer sa perte de masse. La précision de la mesure effectuée peut être de l'ordre du dixième de milligramme pour les pièces d'une masse inférieure à 200g.

$$\text{Perte de masse(\%)} = [\text{perte de masse(g)} / \text{masse initiale}] \times 100$$

II.1.14.3 Représentation du dispositif d'usure

Afin d'assurer les tests d'usure, on a élaboré un dispositif qui comporte une tige articulée à son extrémité, et au milieu un poids qui permet de mettre l'échantillon en contact sous charge maîtrisée avec le cylindre tournant à une vitesse qu'on peut manipuler (de 90tr/min jusqu'à 180tr/min), tout le dispositif est monté sur un tour. Voir [figure II-13]

Le dispositif d'usure utilisé a été réalisé au niveau du Hall de technologie de l'université de Bejaia.

II.1.14.4 Optimisation et réalisation du test d'usure

Afin de réunir toutes les conditions nécessaires pour la réalisation de tests d'usure significatifs soutenue par l'obtention de résultats fiables permettant une comparaison du

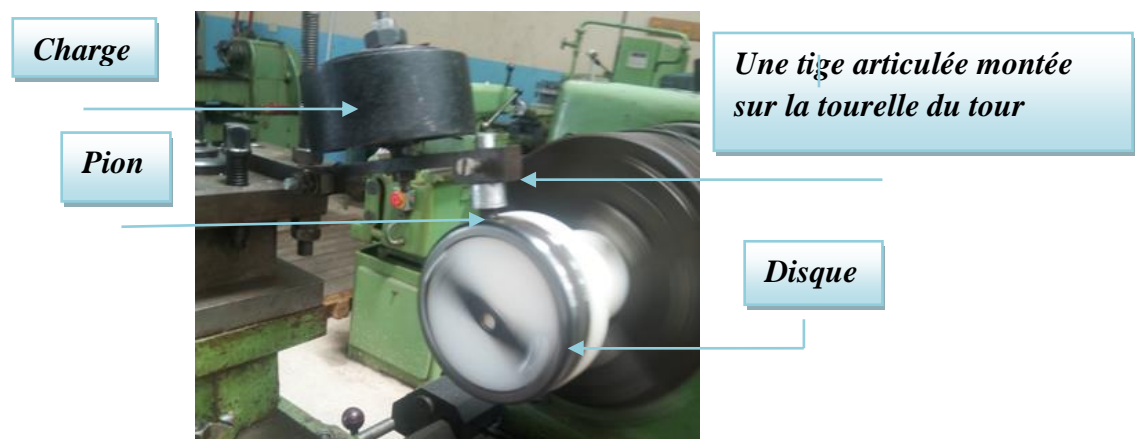


Figure II- 13: Représentation du dispositif d'usure utilisé

Chapitre II Matériaux et techniques expérimentales

comportement en matière de perte des masses des échantillons. Nous avons essayé de gérer les paramètres influents sur l'usure comme suit :

Avant de commencer les tests, on doit nettoyer notre échantillon des éléments additifs à l'aide de l'éthanol.

1. prendre la masse initiale (m_0) de l'échantillon à l'aide d'une balance analytique de précision 0.1 mg.
2. Nettoyer le cylindre monté sur le mandrin.
3. Introduire l'échantillon dans le dispositif, et actionner le tour.
4. Après la fin du temps de chaque essai, on nettoie l'échantillon des additifs tout en prenant la nouvelle valeur de sa masse (m_f)

A) Les charges appliquées :

On a appliqué des charges lors des tests d'usure pour les différents échantillons :

- les charges appliquées (5N, 10N, 15N, 20N, 30N, 40N)

B) La vitesse :

Le travail s'est effectué à deux vitesses pour chacune des charges appliquées a savoir :

- à 90 tr/min
- à 180tr/min

C) La lubrification :

Les tests d'usure ont été réalisés sans lubrifiant sur le dépôt.

II.1.14.5 Paramètres et conditions expérimentales de frottement

Pour les tests de frottement, le glissement se fait sans lubrification et à des vitesses constante. Les vitesses imposée sont limitée par la cadence choisie pour chaque teste, les essais sont donc réalisés à des déférentes vitesses et à des charges imposée. Celle-ci pour déterminée les pertes de masse de deux surface de contact de pion sur le disque.

Comme indiqué plus haut les pions sont en X30Cr13.

II.1.14.6 Evaluation de l'usure des pions (frotteur)

Avant et après chaque essai de frottement, les pions en X30Cr13 sont contrôlée avec une

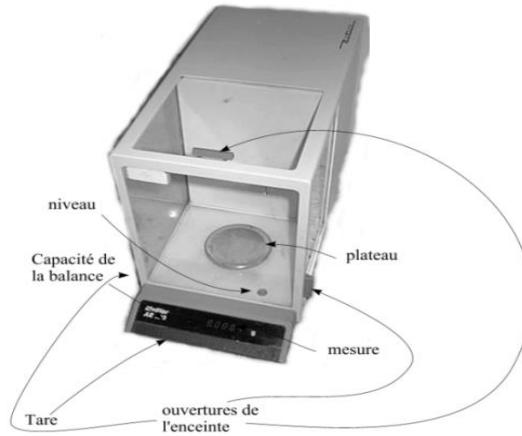


Figure II- 14: balance analytique

balance analytique montré sur la [figure II- 14] afin de détecter une éventuelle perte de matière. L'observation par microscope optique du faciès d'usure des pions est la méthode d'évaluation retenue pour la mesure du volume usée.



Chapitre III

Résultats
Et
Interprétations

III. Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons en premier lieu la caractérisation microstructurale des dépôts non traités et traités à différents post-traitement (850°C, 950°C et 1100°C) moyennant le microscope optique. Ces revêtements déposés sont élaborés par le procédé de projection thermique à flamme-fil, en second lieu nous présentons les résultats de dureté en suite, nous décrivons les résultats obtenus de l'observation métallographique sur les dépôts, ainsi ceux que nous avons obtenus après les tests de perte de masse relative en fonction du temps et de charge avec une vitesse de glissements de 0,5 m/s et 1m/s.

III.1 Métallographie des dépôts

Les différentes morphologies sur les surfaces transversales observées par un microscope optique au niveau des dépôts illustrées par les figures ci après :

III.1.1 Microstructure des dépôts issus de l'acier inoxydable X₃₀Cr₁₃

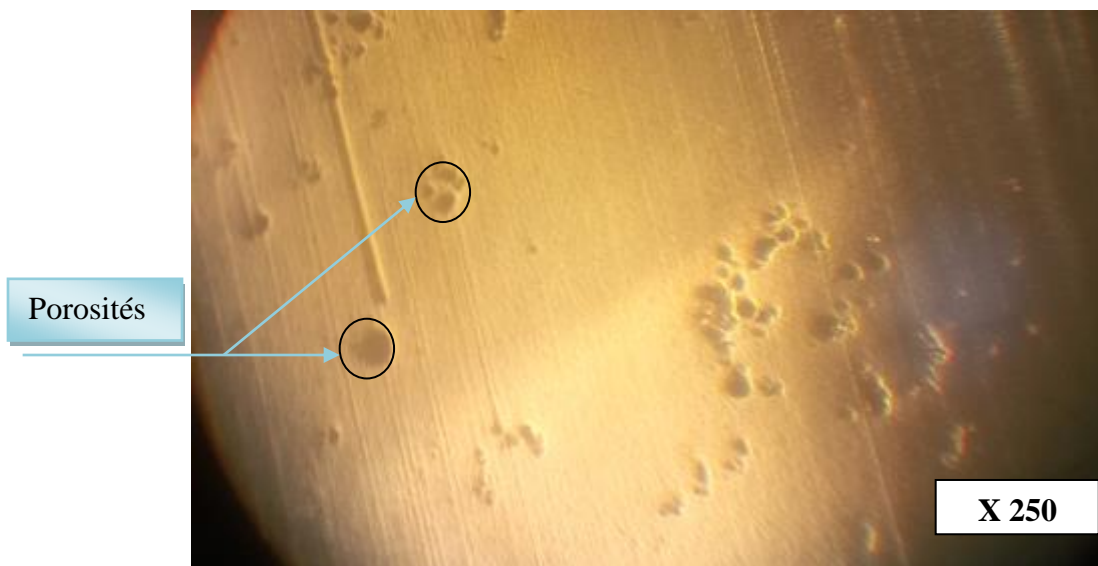


Figure III- 1: Microstructure des dépôts non traité

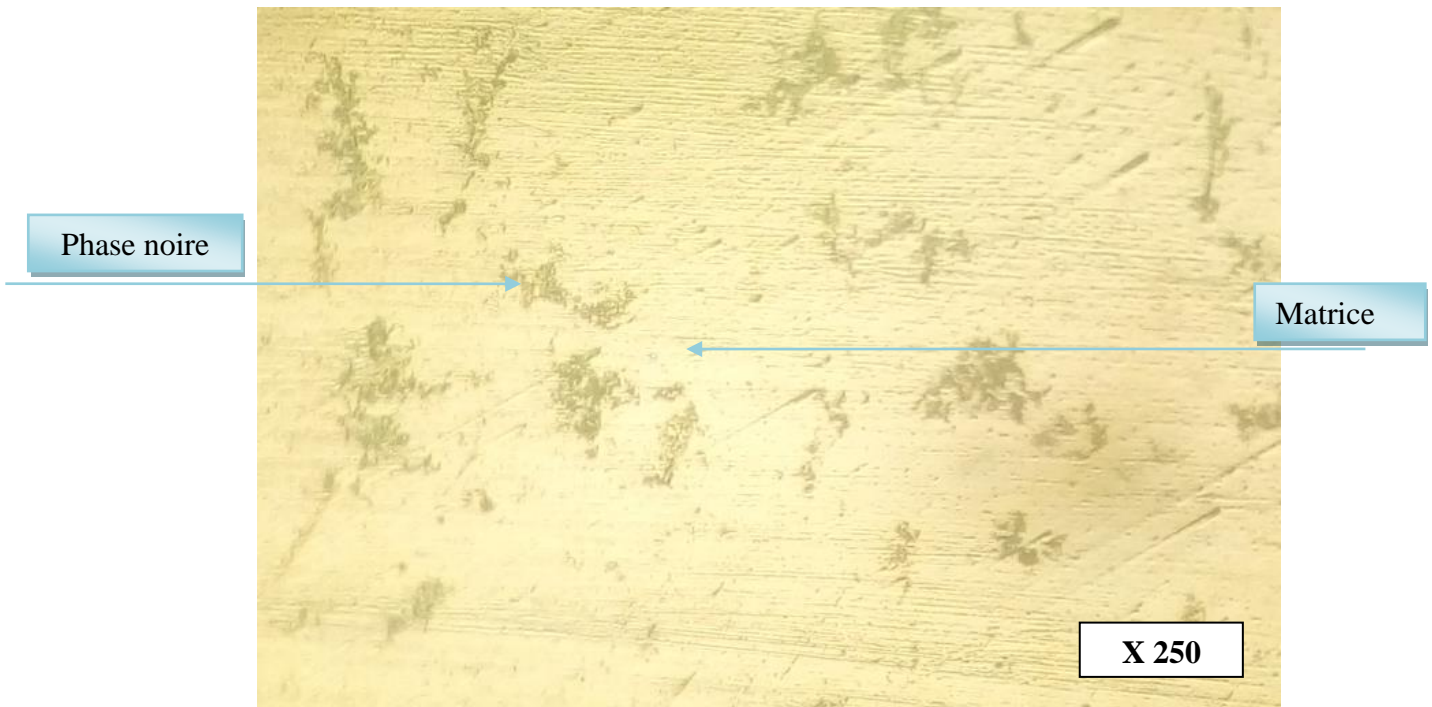


Figure III- 2: Microstructure des dépôts traité à 850°C

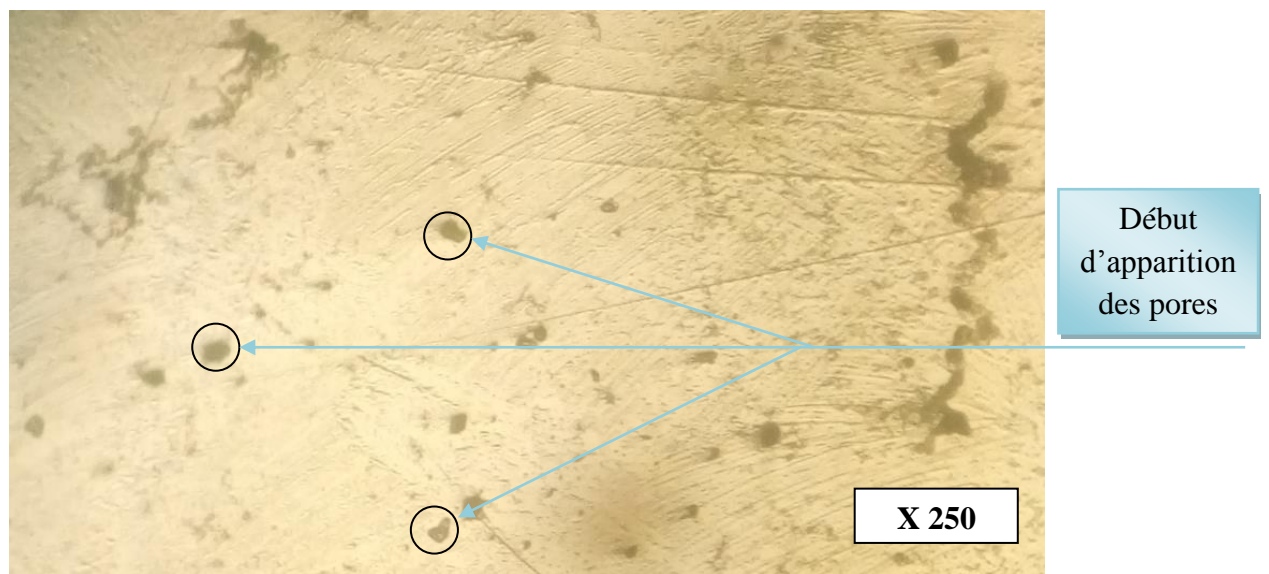


Figure III- 3: Microstructure des dépôts traité à 950°C

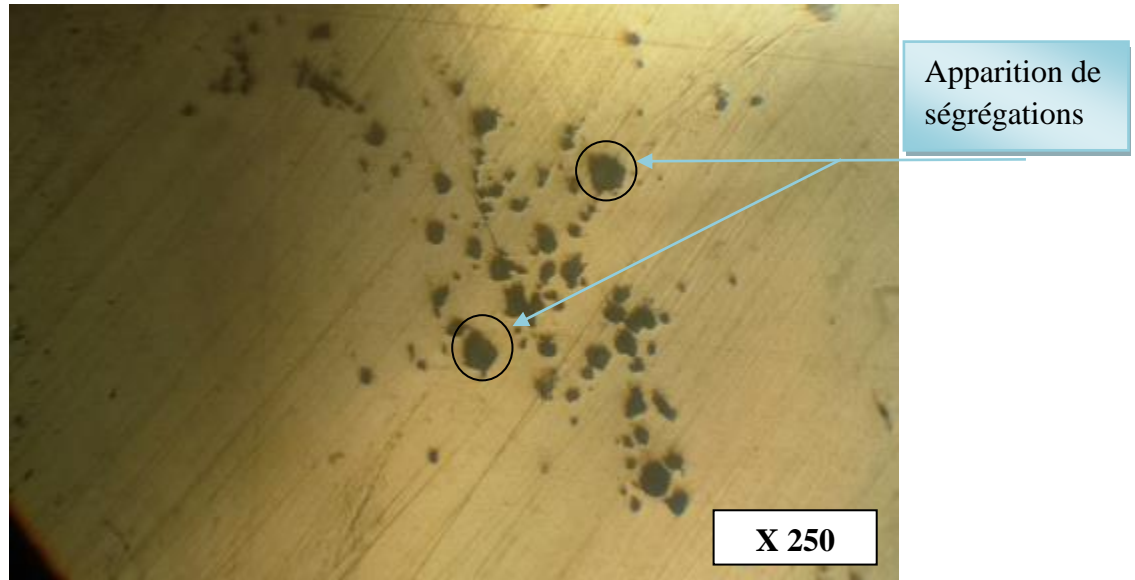


Figure III- 4: Microstructure des dépôts traités à 1100°C

les observations métallographiques effectuées au niveau des dépôts issus de l'acier inoxydable X30Cr13 traités à différents post-traitements (950°C et 1100°C) et non traités, nous montre des ségrégations qu'on peut dire que leurs origines est due a l'air piégé entre les différentes couches déposées et le dépôt traité à 850°C nous montre seulement des phases noires et des matrices.

III.2 Dureté des dépôts

Les essais de dureté brinell sous une charge de 750N ont été effectués au sein de Entreprise Nationale de Véhicules Industriels (SNVI) de ROUIBA, ALGER, sur les dépôts projetés par le procédé flamme fil et traités a différentes temperatures. Les mesures de duretés brinell ont été effectuées sur des surfaces polies , les valeurs représentent la moyenne de trois essais et sont illustrées sur la [Figure III-5].

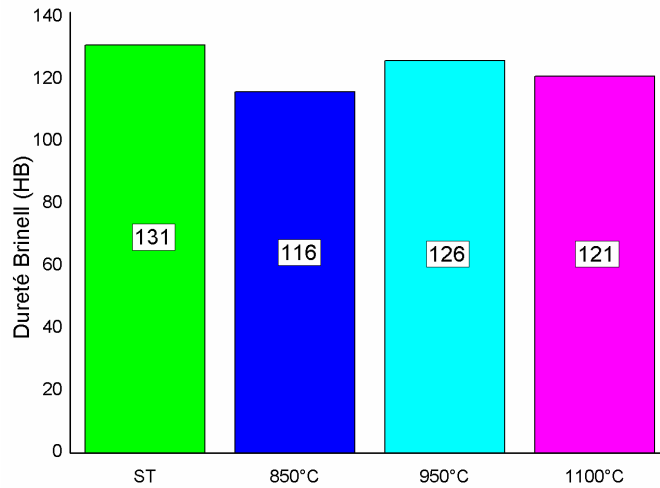


Figure III- 5: Dureté brinell des différents échantillons

L’histogramme nous montre que les résultats obtenus de dureté sont proportionnelles. On remarque que les phases α et γ apparaissent et donne un léger adoucissement au dépôt, la phase $\gamma + M_{23}C_6$ (échantillon traité à 950°C) donne une meilleure dureté par rapport à la phase $\alpha + \gamma + M_{23}C_6$ (échantillon traité à 850°C) et à la phase γ toute seule (échantillon traité à 1100°C).

III.2.1 Empreinte des essais de dureté

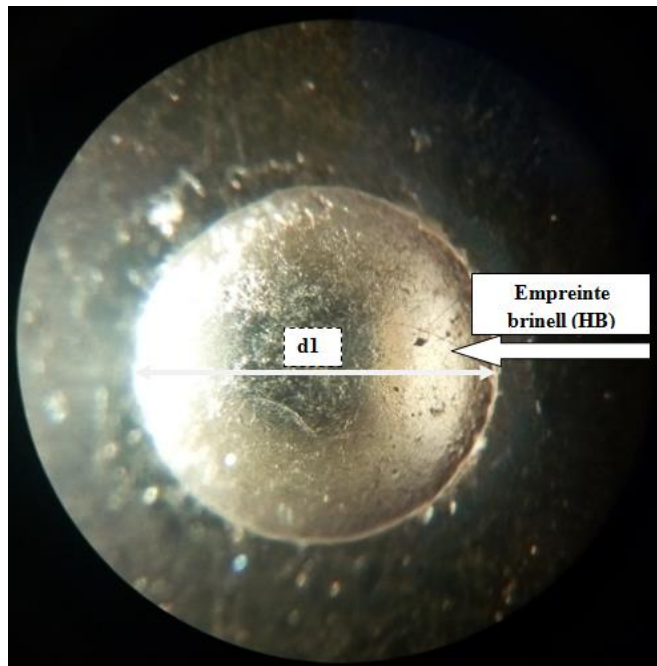


Figure III- 6: empreinte du dureté brinnell

La figure si dessus représente l’empreinte de l’essai de dureté brinell formé par la bille de diamètre de 10mm

III.3 Perte de masse relative des différentes échantillons réalisés

Dans ce qui suit, on présentera la perte de masse relative sous forme de courbes pour les différents échantillons non traité et traité a différents post traitement, pour les charge suivants (10N, 15N, 20N, 30N, et 40N) et a deux vitesse de glissements de 0,5 m/s et 1m/s pour voir leur influence

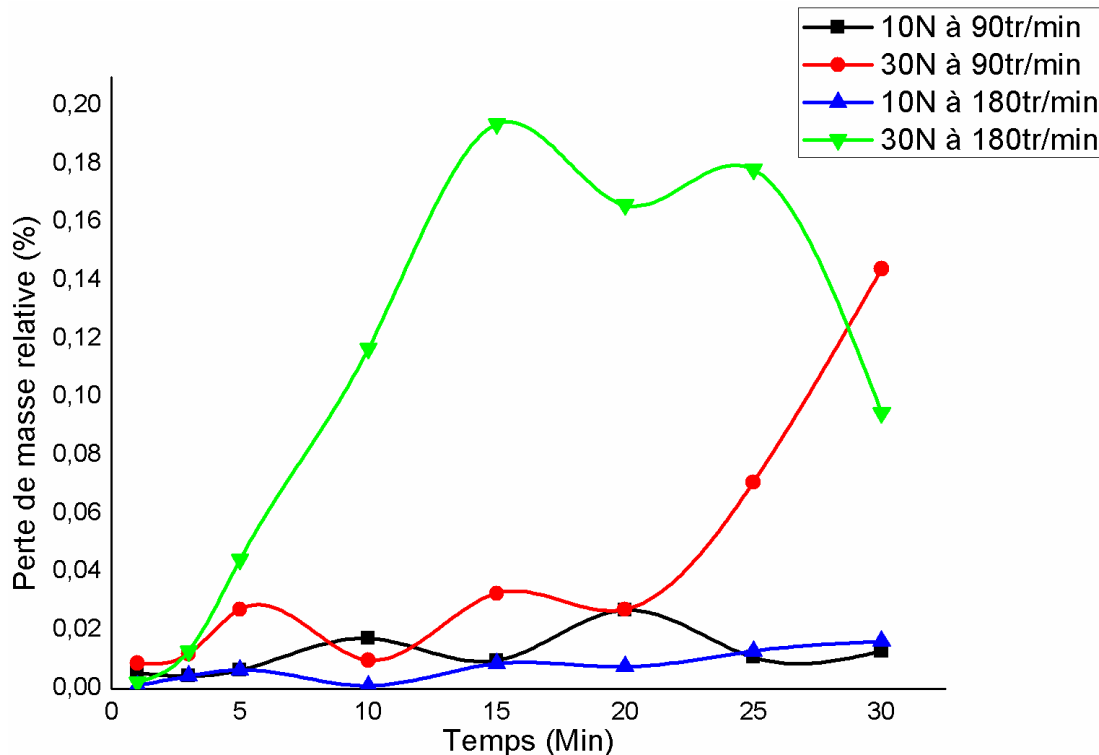


Figure III- 7: variation de la perte de masse relative en fonction du temps pour des échantillons sans traitement à deux vitesses de glissement de 0,5 et 1 m/s.

- On remarque que l’échantillon en vert possède une perte de masse en fonctions du temps Plus élevé par rapport à celui en rouge tout en sachant qu’ils ont une même charge, cela est due à la vitesse de glissement, sinon on remarque une stabilité remarquable pour les autres. Dans la figure ci-dessous, on remarque que les piste d’usure augmente en fonction du temps et de la charge cela est due à la température des surfaces de contact important sur l’augmentation des pertes de masse relative en fonctions du temps

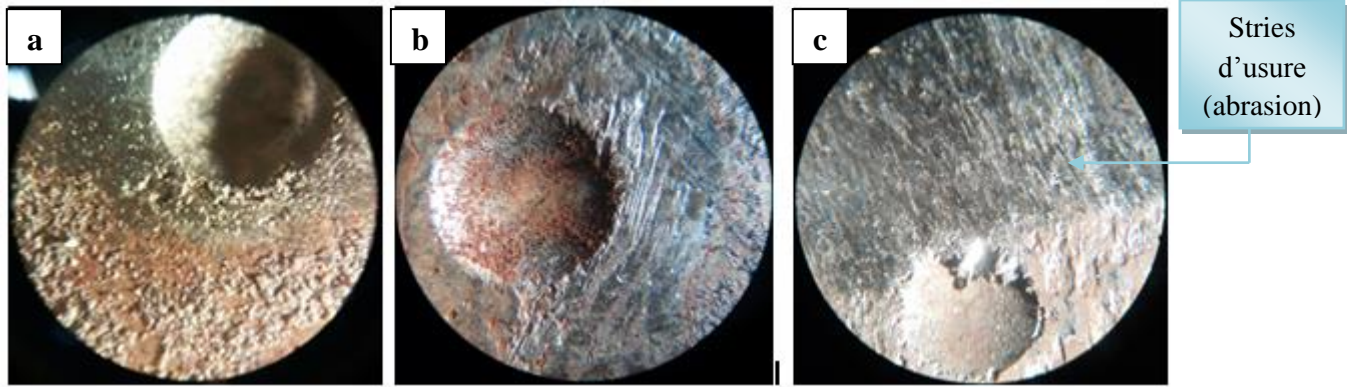


Figure III- 8: Corrélation piste d'usure de perte de masse pour l'échantillon non traité en fonction du temps à deux différentes vitesses de glissement (0,5 m/s et 1m/s) : a) 5min, b) 10min, c) 20min.

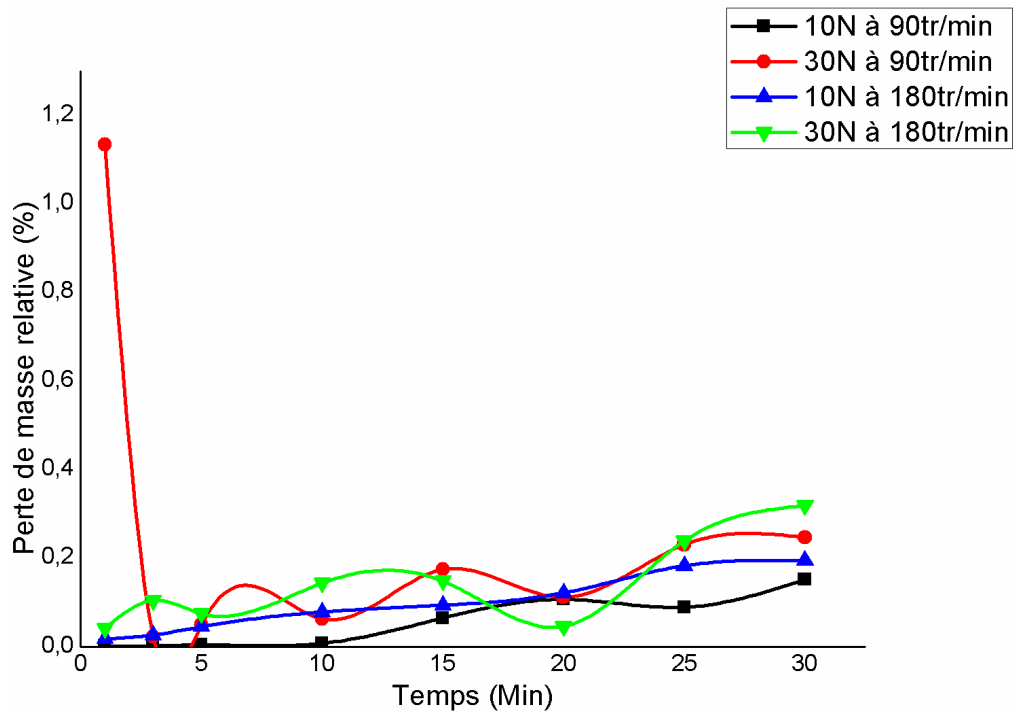


Figure III- 9: variation de la perte de masse relative en fonction du temps pour des échantillons traités à 850°C réalisé à deux vitesses de glissement de 0,5 et 1 m/s.

- Un traitement thermique à 850°C pendant une heure en relation avec le diagramme d'équilibre fer-carbone à 13% de chrome (page 22), On constate la présence des deux solutions solide $\alpha + \gamma$ plus le carbure métallique type $M_{23}C_6$ ($(Cr Fe)_{23}C_6$) est faible, ne dépasse pas les 0,2 % environ, donc on remarque que la perte de masse relative en fonction du temps avec différentes vitesse de glissement et différentes charges pour l'échantillon traité à 850°C est faible grâce au traitement thermique à 850°C, seulement on constate qu'un seul point ou la perte de masse est élevée, ceci est probablement justifié par la présence des couches superficielles fragilisés par la présence des porosités cela implique un arrachement des lamelles sinon on remarque une stabilité remarquable pour tous les autres tests réalisés .

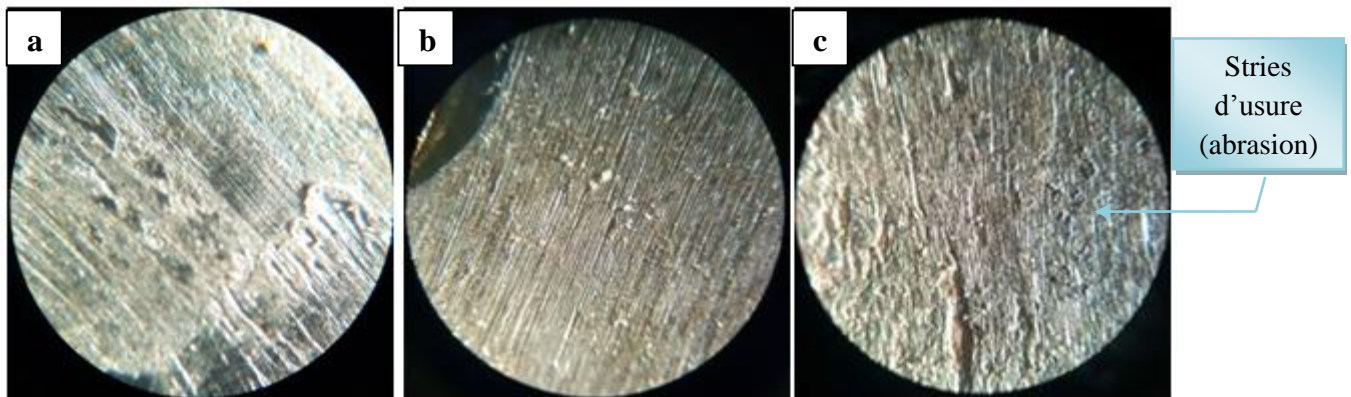


Figure III- 10: Corrélation piste d'usure de perte de masse pour l'échantillon traité à 850°C en fonction du temps à deux différentes vitesses de glissement (0,5 m/S et 1m/s) :a) 10min, b) 20min, c) 30min.

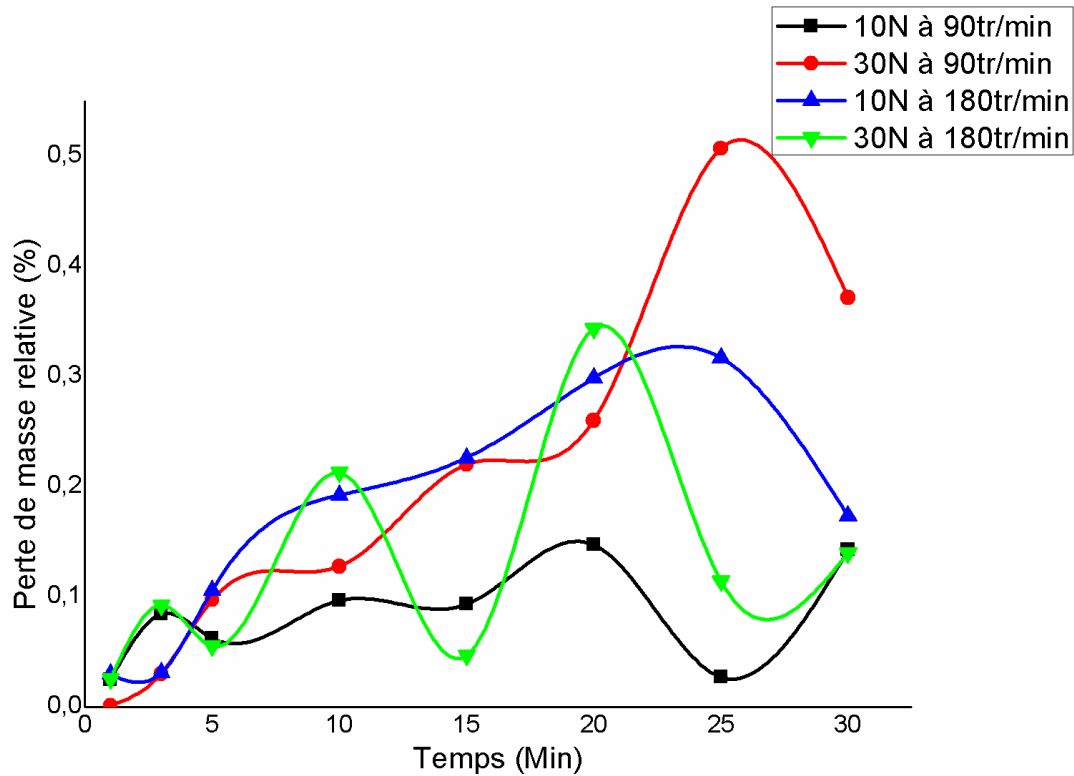


Figure III- 11: variation de la perte de masse relative en fonction du temps pour des échantillons traités à 950°C réalisé à deux vitesses de glissement de 0,5 et 1 m/s.

- Un traitement thermique à 950°C pendant une heure en relation avec le diagramme d'équilibre fer-carbone à 13% de chrome (page 22), On constate la présence de la solution solide γ plus le carbure métallique type $M_{23}C_6$ ($(Cr Fe)_{23}C_6$) aux petites charges, les facies de la surface disparaissent vite cela est dû à la non stabilité du pion sur le disque par contre aux fortes charges le pion est stable, la phase $\gamma + M_{23}C_6$ diminue le coefficient de frottement donc la perte de masse est faible, On remarque aussi que la perte de masse relative en fonction du temps avec différentes vitesses de glissement et différentes charges pour l'échantillon traité à 950°C est plus élevée par rapport à celui de 850°C, mais on voit toujours une stabilité, et le point dont on a parlé déjà est toujours élevée qu'on peut toujours justifier par la présence des porosités et l'air piégé entre les couches de revêtement.

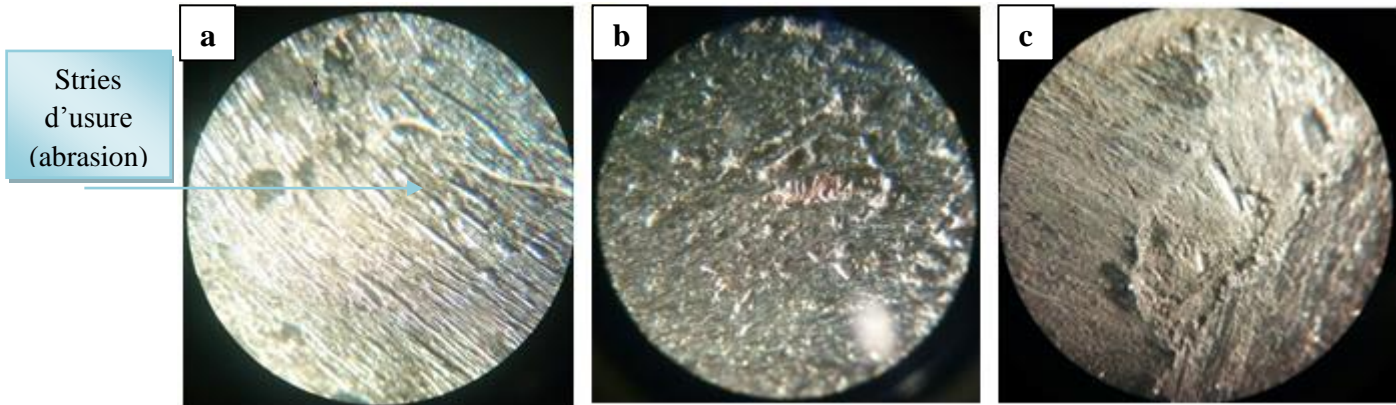


Figure III- 12: Corrélation piste d'usure de perte de masse pour l'échantillon traité à 950°C en fonction du temps à deux différentes vitesses de glissement (0,5 m/s et 1m/s) : a) 10min, b) 15min, c) 25min.

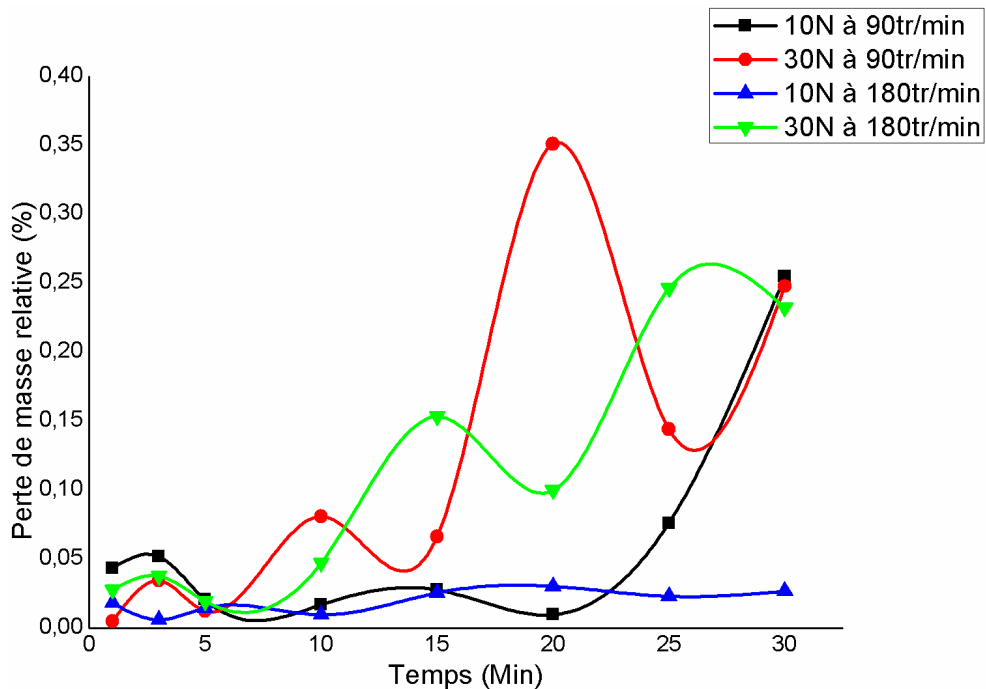


Figure III- 13: variation de la perte de masse relative en fonction du temps pour des échantillons traités à 1100°C réalisé à deux vitesses de glissement de 0,5 et 1 m/s.

- Un traitement thermique à 1100°C pendant une heure en relation avec le diagramme d'équilibre fer-carbone à 13% de chrome (page 22), on constate la présence de la solution solide γ résiste aux faibles charges et grandes vitesses et présente un comportement similaire aux autres tests, en gros, il présente des résultats mieux que celui de 950°C, donc on remarque une évolution de perte de masse relative en fonction du temps dont la charge appliqué est le seul paramètre qui influence sur l'évolution de cette dernière.

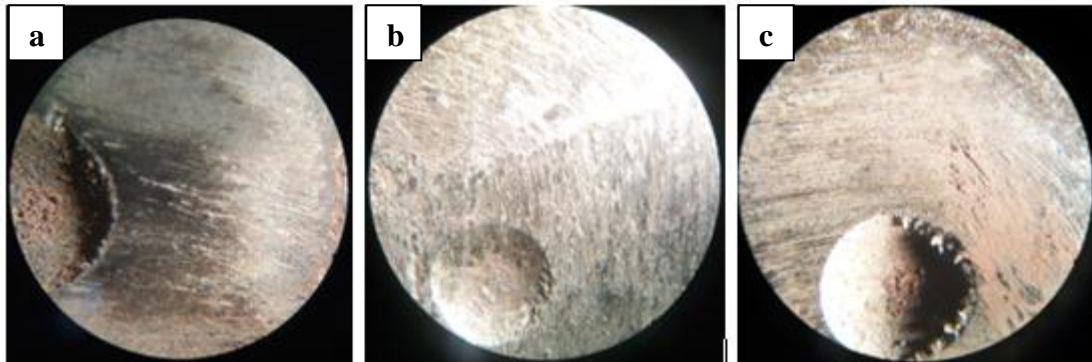


Figure III- 14: Corrélation piste d'usure de perte de masse pour l'échantillon traité à 1100°C en fonction du temps à deux différentes vitesses de glissement (0,5 m/s et 1m/s) :a) 10min, b) 20min, c) 25min.

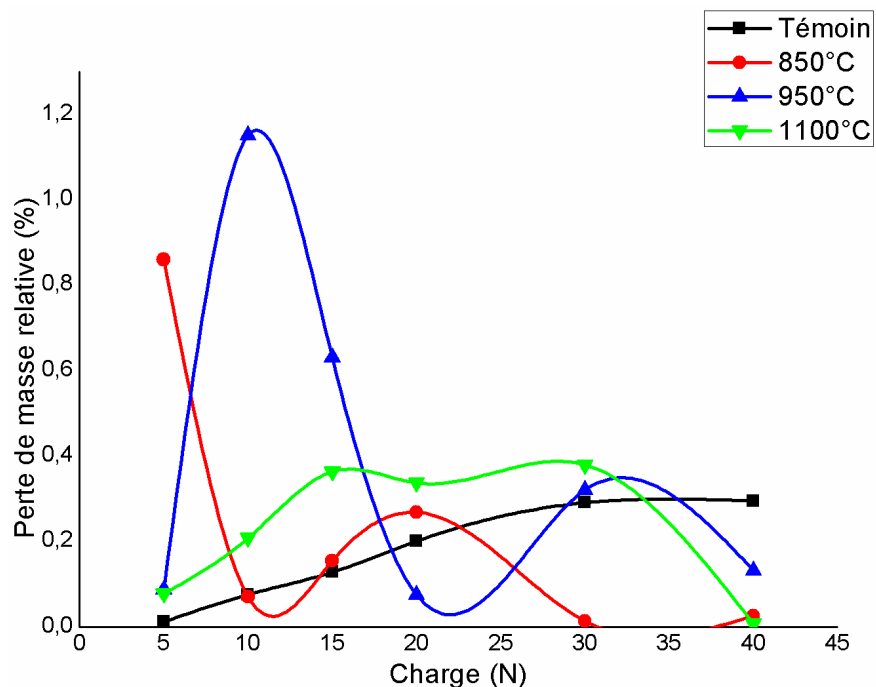


Figure III- 15: variation de la perte de masse relative en fonction de la charge pour des différents échantillons à une vitesse de glissement de 0,5 m/s.

- On remarque que l'échantillon traité à 850°C est le plus fort en matière de résistance contre l'usure par rapport aux autres échantillons traités à 950°C, 1100°C et non traités, cela est dû à la présence des deux solutions solides $\alpha + \gamma$ plus le carbure métallique type $M_{23}C_6$ ($(Cr Fe)_{23}C_6$), seulement on constate que y'a un seul point où la perte de masse est élevée, cela est dû à la présence des pores. Dans la figure suivante, l'empreinte laissée par la dureté se disparaît, car les pistes d'usure sont importantes en fonction de l'augmentation des charges.

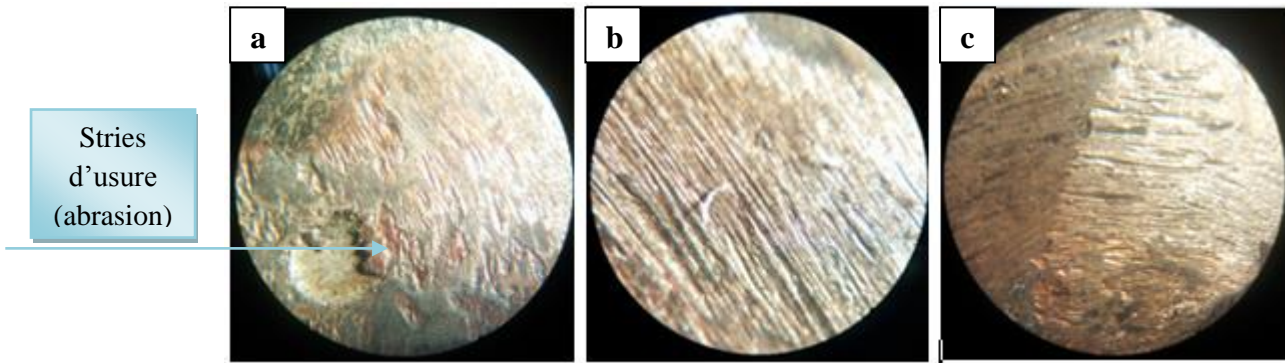


Figure III- 16: Corrélation piste d'usure de perte de masse en fonction de la charge à la vitesse glissement de 0,5 m/s: a) 10N, b) 20N, c) 40N.

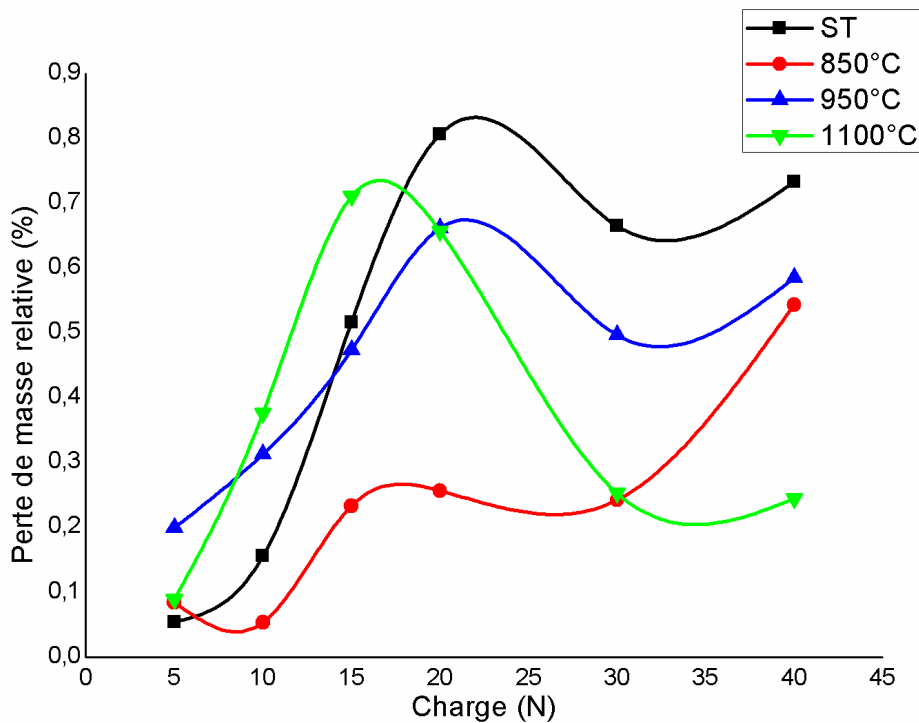


Figure III- 17: variation de la perte de masse relative en fonction de la charge pour des différents échantillons à une vitesse de glissement de 1 m/s.

- On remarque que l'échantillon traité à 850°C est le plus fort en matière de résistance contre l'usure par rapport aux autres échantillons traités à 950°C, 1100°C et non traités malgré que y'a une certaine évolution par rapport aux tests précédents effectués avec la vitesse de glissement de 0,5 m/s. Cette dernière est justifiée par l'augmentation de la vitesse de glissement, donc l'échantillon traité à 850°C résiste contre l'usure grâce à la présence des deux solutions solides $\alpha + \gamma$ plus le carbure métallique type $M_{23}C_6$ ($(Cr Fe)_{23}C_6$).

on remarque dans la figure suivante que les pistes d'usure s'agrandie de plus en plus cela à une relation de corrélation directe avec l'augmentation de la vitesse de glissement et de charge.

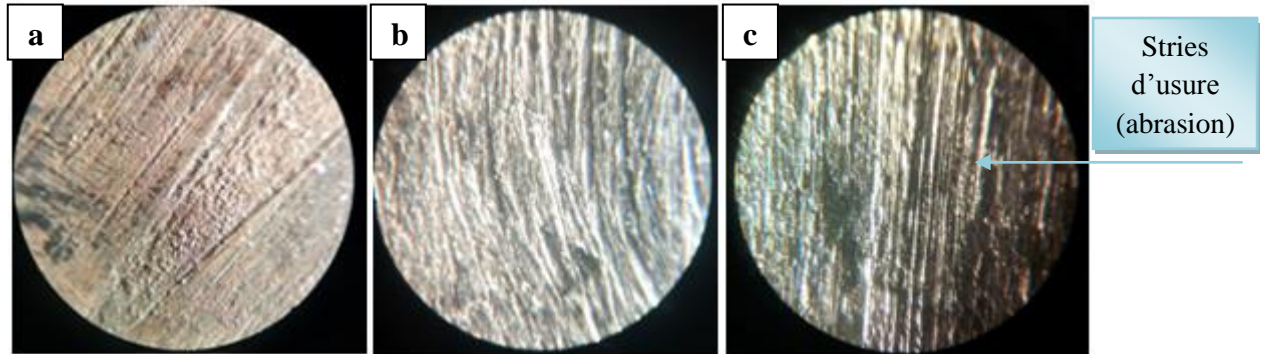


Figure III- 18: *Corrélation piste d'usure de perte de masse en fonction de la charge à la vitesse glissement de 1 m/s: a) 5N, b)15N, c) 30N.*

- **Discussions des résultats**

Dans toutes les figures qu'on a vues précédemment, on remarque que la charge et la vitesse de glissement ont un rapport favorable sur les pertes de masse relative dans tous les échantillons traités et non traités, sauf l'échantillon traité à 850°C dont on a remarqué que le traitement thermique est un moyen puissant qui améliore les propriétés superficielles pour la tenue à l'usure due à la présence des deux phases $\alpha+\gamma$ plus les carbures métallique formé ($M_{23}C_6$) (austénite + ferrite), cela veut dire que le traitement thermique à 850°C influence sur la diminution des perte de masse relative.



Conclusion générale

Conclusion générale

Conclusion générale


La technique de projection thermique occupe aujourd'hui une place de plus en plus importante parmi les familles de traitements de surface qui joue un rôle incontournable dans de nombreux domaines industriels particulièrement dans la mécanique.

Dans ce travail, nous avons montré l'influence des post-traitements thermiques à 850°C, 950°C et 1100°C sur les propriétés mécaniques et microstructurales d'un dépôt réalisé par projection thermique, un dépôt de X30Cr13 déposé sur un substrat d'un acier de construction mécanique d'usage général de type E335.

Les caractérisations par microscope optique, ont mis en évidence le rôle de la nouvelle morphologie obtenue après projection thermique à flamme-fil dans l'amélioration des propriétés mécaniques particulièrement la résistance à l'usure par abrasion de l'acier inoxydable.

Au vu des résultats obtenus et de leurs interprétations, on peut dire que :

- L'étude métallographique nous a permis de visualiser la structure du dépôt. Nous avons remarqué que le dépôt réalisé est homogène, contient des pores et des particules non fondues.
- L'étude de l'influence du post-traitement sur le dépôt nous montre que la dureté est proportionnelle.
- L'étude de l'influence de la vitesse sur les pertes de masse nous a permis de voir la réalité de l'importante sensibilité de l'usure par rapport à l'un de ces paramètres principaux qui est la vitesse de contact.
- L'étude de l'influence de la charge sur les pertes de masse nous a permis de voir que cette dernière est l'un des paramètres principaux de l'usure, et que de plus en plus on augmente la charge, la perte de masse sera élevée.
- Les résultats obtenus de l'étude comparative des comportements en matière de perte de masse et ceux obtenus de la caractérisation morphologique ont permis de conclure sur le fait que l'acier traité à 850°C présente une meilleure tenue à l'usure par rapport aux autres échantillons traités et non traités.



Références
Bibliographiques

Références bibliographiques

Références Bibliographiques

- [1] Schoop M.U., "Improvements in or connected with the coating of surface with metal, applicable also for soldering or uniting metals and other materials." United Kingdom Patent office 5,712 A.D. 1910, and JTST, Vol. 10, No 1, march 2001
- [2] Muehlberger E., "Method and apparatus for effecting high-energy dynamic coating of substrates", US Patent 3,839,618 oct.1, 1974.
- [3] Muehlberger E., "A high energy plasma coating process", Welding Institute, 7-th International Metal Sparying Conference, 1974, pp 245-256.
- [4] Pawlowski L., "The Science and Engineering of Thermal Spray Coatings", J. Wiley and Sons, New York, 1995.
- [5] Fauchais P., Vardelle A., Dussoubs B., "Quo vadis thermal spraying", pp 1-32 of Thermal Spray 2001 : New Surfaces for a New Millennium, Ed. C.C. Berndt, K.A. Khor and E.F. Lugscheider, Pub. ASM international, Materials Park, OH-USA, 1360 + pages (Singapore)
- [6] Proner, A : M1645- Revêtements par projection thermique. paris/techniques de l'ingénieur, 1999
- [7] Smith C.W., "The basic principles of flame spraying." Science and Technology of Surface Coating, 1974, pp 262-270
- [8] Kreye H., "Characteristics of coatings produced by high velocity flame spraying" Paper n° 24.1-24.9, 12th International Thermal Spraying Conference, London, 4-9 June, 1989
- [9] Kadyrov E., "Gas-particle interaction in detonation spraying systems", Journal of Thermal Spray Technology, Vol. 5, No 2, 1996, pp. 185-195.
- [10] Institute national de recherche et de sécurité document de travail N L /MP297.2014.082
- [11] Institute national de recherche et de sécurité document de travail N L /MP297.2014.082
- [12] Sampson E. R., "Cored wire application using electric arc spray", pp 133-137 of Thermal Spray Meeting the Challenges of the 21st Century" Ed. C. Coddet, Pub. ASM international, Materials Park, OH-USA, 1998, 1693+ pages (Nice)
- [13] Kadyrov E., "Gas-particle interaction in detonation spraying systems", Journal of Thermal Spray Technology, Vol. 5, No 2, 1996, pp. 185-195.
- [14] Kreye H., "Characteristics of coatings produced by high velocity flame spraying" Paper n° 24.1-24.9, 12th International Thermal Spraying Conference, London, 4-9 June, 1989

Références bibliographiques

- [15] Jurewicz J., Kaczmark R., Boulos M.I., "Radio Frequency Induction Plasma deposition of metals and alloys under reduced pressure", ISPC 7, Eindhoven, 1985.
- [16] Boulos M. I., "The inductively coupled RF plasma", *Pure and Applied Chemistry*, Vol. 57, No 9, pp 1321-1352, 1985.
- [17] www.castolin.com
- [18] Verdy C., "Structures multicouches mises en forme par projection thermique: Élaboration, caractérisation et applications", *Thèse de doctorat, Institut Polytechnique de Sévenans*, 1998.
- [19] Moreau C., Cielo P., La montagne M., "Flattening and solidification of thermally sprayed particles", *Journal of Thermal Spray Technology*, Vol. 1, No. 4, 1992, pp. 317-323.
- [20] Kudinov V., Pekshev P., Belaschenko B., Solonenko O., Safiulin V., "Obtention des revêtements par plasma", en russe, Moscou, "Nauka", 1990, p 401
- [21] S. Descartes et Y. Berthier, *Wear*, 252 (2002), p. 546-556.
- [22] F. P. Bowden et D. Tabor, "The friction and lubrication of solids ", Chap. p. 28- 31, éd. Oxford, Clarendon Press (1954).
- [23] J. R. Gomes, O. M. Silva, L. C. Pardini, *Wear*, 249 (2001), p. 240-245.
- [24] J.L. Lawen, S. J. Calabrese, O. S. Dinc, J. Tribo, 120 (1998), p. 339-344.
- [25] S. Hemery, PFE, ENSAM d'Angers (1996).
- [26] A. Limouni, *Thèse de doctorat , UTC* (1998).
- [27] N. Soda, Y. Kimura, A. Tanaka, *Wear*, 33 (1975), p. 1-16.
- [28] Y. M. Chen, B. Rigaut et F. Armanet, *J. European Ceramic Soc.*, 6 (1990), p. 383-390.
- [29] A. J. A. Winnubst, Y. J. He, A. J. Burggraaf, H. Verweij, *Wear*, 210 (1997), p. 178-187.
- [30] F. E. Kennedy, " Friction, lubrication and wear ", *ASM Handbook* (1992), p. 438-444.
- [31] O. Les quois, J.J. Serra, P. Kapsa, *Wear*, 201 (1996), p. 163-170.



Annexes

Annexes

Présentation de l'entreprise

Historique statutaire

De 1957 à 1966 :

Implantation de la société française BERLIET sur le territoire Algérien par la construction en juin 1957 d'une usine de montage de véhicules "poids lourd" à 30 km à l'est d'Alger, plus exactement à Rouïba.

De 1967 à 1980 :

En 1967, fut créée la SONACOME (SOciété NAtionale de COnstruction MEcanique) le schéma d'organisation adopté pour la SO.NA.CO.ME regroupant en son sein dix (10) entreprises autonomes.

De 1981 à 1994 :

La S.N.V.I (Entreprise Nationale de Véhicules Industriels) devient une entreprise publique socialiste (EPS). La S.N.V.I est née à l'issue de la restructuration de la SO.NA.CO.ME et le décret de sa création lui consacra un statut d'entreprise socialiste à caractère économique régis par les principes directifs de la Gestion Socialiste des Entreprises (G.S.E).

De 1995 à 2011 :

Le mois de Mai 1995, la S.N.V.I a changé de statut juridique pour devenir une Entreprise Publique économique régie par le droit commun : la S.N.V.I est alors érigée en Société Par Action (SPA), au capital social de 2,2 milliards de Dinars. La S.N.V.I devenue groupe industriel.

De 2011 à ce jour :

Le mois d'Octobre 2011, la S.N.V.I a changé de statut juridique pour devenir un Groupe Industriel composé d'une Société Mère et de trois filiales.

Historique produits



Image représentative d'un ancien bus SNVI



*Image représentative d'un nouveau bus
SNVI*



Image représentative d'un mobile home



Image représentative d'un Camion SNVI

Annexes

Présentation

L'Entreprise Nationale des Véhicules Industriels (SNVI), est entreprise Publique Economique constituée en société par actions depuis mai 1995, Produit et commercialise des véhicules industriels.

Découvrez l'Enterprise et ses marques, les chiffres clés, les dirigeants, le réseau, les usines
Statut et forme juridique



*L'Entreprise Nationale des Véhicules Industriels
(SNVI)*

Statut et forme juridique

Forme juridique : Entreprise Publique Economique, Société Par Actions
Capital social : 2.200.000.000 de dinars, entièrement détenu par l'Etat
Siège social : Route nationale n°5 – BP 153 – Rouïba - Wilaya d'Alger
Organe de gestion : Conseil d'Administration avec un Président Directeur Général.

La SNVI "Entreprise Nationale de Véhicules Industriels", a pour vocation la conception, la fabrication, la commercialisation et le service après-vente d'une gamme de produits composée de:

- Camions et camions tracteurs
- Autocars et autobus.
- Remorques, semi- remorques.

Constitution du groupe SNVI

❖ **Société mère** composée de :

- Directions Centrales.
- Direction Commerciale et son réseau.
- Division Rénovation Véhicules Industriels - DRVI.
- Division Logistique et Services - DLS.
- Direction Technique et Redéploiement - DTR.

Le groupe SNVI composée de trois (03) filiales :

- **Filiale Fonderies de Rouïba (FOR)**, produisant pour les structures de la SNVI, pour la sous-traitance et pour différents clients, des pièces brutes, en fonte lamellaire et fonte sphéroïdale ainsi que des pièces en aluminium.
- **Filiale Carrosseries Industrielles de Rouïba (C.I.R)** , produisant des équipements tractés et portés ainsi que des caisses pour châssis mécanisés pour minibus et minicars
- **Filiale Véhicules Industriels de Rouïba (V.I.R)**, produisant des camions de 6.6 à 26 tonnes de poids total en charge, des tracteurs routiers, des autocars et des autobus en mettant en œuvre diverses techniques et technologies telles : l'emboutissage, le taillage d'engrenages, la rectification, le forgeage et les traitements thermiques..

La filiale des véhicules industriels de Rouïba est composée de 5 centres de production :

- Un Centre Forge : produisant des bruts.
- Un Centre d'Usinage Mécanique : produisant des ponts, des essieux, des directions et d'autres pièces de liaison.
- Un Centre de Tôlerie Emboutissage pour la production de cadres châssis, de cabines et d'autres pièces de liaison.
- Un Centre de Montage de Camions avec deux lignes d'assemblage.
- Un Centre de Montage d'autocars et d'autobus ; ce centre fabrique la sellerie et les pièces en polyester.

Annexes

Activités

Production et commercialisation :

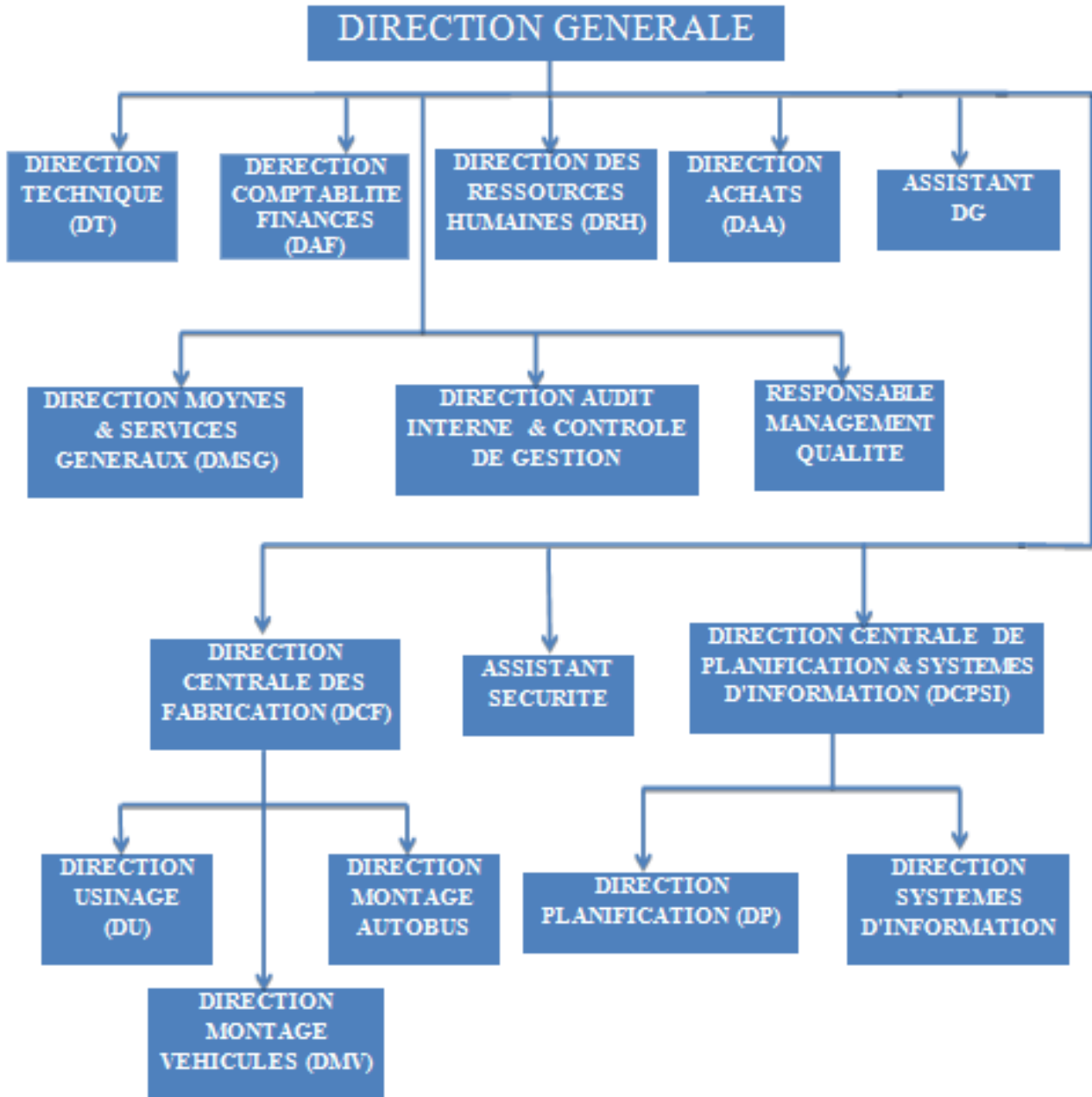
- Camions de 6,6 à 26 tonnes de poids total en charge.
- Autocars et autobus de 25 à 100 passagers.
- Equipements de carrosserie, remorques, semi-remorques et porte-engins de 3 à 75 tonnes de poids total en charge.



Différentes gammes de produits SNVI

Annexes

Organigramme de l'entreprise



Organigramme de l'entreprise

Annexes

Résultats des tests de dureté brinell

Echantillon	Force appliqué	Dureté HB	Diamètre	Rm (daN/mm²)
<i>Echantillon témoin</i>	750	131	26*2=52	44
<i>Echantillon Traité thermiquement à 850°C</i>	750	116	27,5*2=55	39
<i>Echantillon Traité thermiquement à 950°C</i>	750	126	26,5*2=53	42
<i>Echantillon Traité thermiquement à 1100°C</i>	750	121	27*2=54	40

Résultats des tests d'usure pour l'acier inoxydable X₃₀Cr₁₃ à une vitesse de rotation de 90tr/min (0,5 m/s).

Evaluation de la perte de masse relative en fonction du temps pour des échantillons non traités

La charge (N)	Masse Initiale M₀(g)	Masse Finale M₁(g)	T (°C)	ΔM	ΔM/M₀(%)	Vitesse de Rotation (tr/min)
10						90
Temps			28°C			90
1	9,2650	9,2645	25°C	0,0005	0,00539665	90
3	9,2645	9,2641	26,6°C	0,0004	0,00431756	90
5	9,2641	9,2635	28°C	0,0006	0,00647661	90
10	9,2635	9,2619	29°C	0,0016	0,01727209	90
15	9,2619	9,2610	30,6°C	0,0009	0,00971723	90
20	9,2610	9,2585	32,4°C	0,0025	0,02699492	90
25	9,2585	9,2575	34,8°C	0,001	0,01080089	90
30	9,2575	9,2563	36,5°C	0,0012	0,01296246	90

Annexes

<i>La charge (N)</i>	<i>Masse Initiale M₀(g)</i>	<i>Masse Finale M₁(g)</i>	<i>T (°C)</i>	<i>ΔM</i>	<i>ΔM/M₀(%)</i>	<i>Vitesse de Rotation (tr/min)</i>
30						90
<i>Temps (min)</i>			28°C			90
1	9,1778	9,1770	30°C	0,0008	0,00871669	90
3	9,1770	9,1759	32,4°C	0,0011	0,01198649	90
5	9,1759	9,1734	36,4°C	0,0025	0,02724528	90
10	9,1734	9,1725	39,4°C	0,0009	0,00981098	90
15	9,1725	9,1695	40,3°C	0,003	0,03270646	90
20	9,1695	9,1670	42,8°C	0,0025	0,0272643	90
25	9,1670	9,1605	40,4°C	0,0065	0,07090651	90
30	9,1605	9,1473	46,1°C	0,0132	0,14409694	90

Evaluation de la perte de masse relative en fonction de la charge pour des échantillons non traités

<i>La charge (N)</i>	<i>Masse Initiale M₀(g)</i>	<i>Masse Finale M₁(g)</i>	<i>T (°C)</i>	<i>ΔM</i>	<i>ΔM/M₀(%)</i>	<i>Vitesse de Rotation (tr/min)</i>
5	9,1473	9,1462	34,7°C	0,0011	0,01202541	90
10	9,1462	9,1393	36,8°C	0,0069	0,07544117	90
15	9,1393	9,1276	40,6°C	0,0117	0,12801856	90
20	9,1276	9,1093	45,5°C	0,0183	0,20049082	90
30	9,1093	9,0828	50°C	0,0265	0,29091149	90
40	9,0828	9,0560	50,7°C	0,0268	0,2950632	90

Annexes

Evaluation de la perte de masse relative en fonction du temps pour des échantillons traités à 850°C

<i>La charge (N)</i>	<i>Masse Initiale M₀(g)</i>	<i>Masse Finale M₁(g)</i>	<i>T (°C)</i>	<i>ΔM</i>	<i>ΔM/M₀(%)</i>	<i>Vitesse de Rotation (tr/min)</i>
10						90
<i>Temps</i>			28°C			90
1	9,0791	9,0790	22,2°C	0,0001	0,00110143	90
3	9,0790	9,0788	26,2°C	0,0002	0,00220289	90
5	9,0788	9,0784	26,3°C	0,0004	0,00440587	90
10	9,0784	9,0777	28,0°C	0,0007	0,00771061	90
15	9,0777	9,0718	34,6°C	0,0059	0,06499444	90
20	9,0718	9,0621	34,4°C	0,0097	0,10692476	90
25	9,0621	9,0540	35,2°C	0,0081	0,08938326	90
30	9,0540	9,0403	34,10°C	0,0137	0,15131434	90

<i>La charge (N)</i>	<i>Masse Initiale M₀(g)</i>	<i>Masse Finale M₁(g)</i>	<i>T (°C)</i>	<i>ΔM</i>	<i>ΔM/M₀(%)</i>	<i>Vitesse de Rotation (tr/min)</i>
30						90
<i>Temps (min)</i>			28°C			90
1	8,9854	8,8835	32,9°C	0,1019	1,13406192	90
3	8,8835	8,8815	38°C	0,002	0,02251365	90
5	8,8815	8,8771	34,4°C	0,0044	0,04954118	90
10	8,8771	8,8715	40,6°C	0,0056	0,06308366	90
15	8,8715	8,8560	37,4°C	0,0155	0,17471679	90
20	8,8560	8,8461	43,4°C	0,0099	0,11178862	90
25	8,8461	8,8257	45°C	0,0204	0,2306101	90
30	8,8257	8,8039	54,1°C	0,0218	0,2470059	90

Annexes

Evaluation de la perte de masse relative en fonction de la charge pour des échantillons traités à 850°C

<i>La charge (N)</i>	<i>Masse Initiale M0(g)</i>	<i>Masse Finale M1(g)</i>	<i>T (°C)</i>	<i>ΔM</i>	<i>ΔM/M0(%)</i>	<i>Vitesse de Rotation (tr/min)</i>
5	8,8855	8,8091	26,9°C	0,0764	0,85982781	90
10	8,8091	8,8029	31,3°C	0,0062	0,07038176	90
15	8,8029	8,7893	33,3°C	0,0136	0,15449454	90
20	8,7893	8,7657	44,7°C	0,0236	0,2685083	90
30	8,7657	8,7645	39,6°C	0,0012	0,01368972	90
40	8,7645	8,7622	41,1°C	0,0023	0,02624223	90

Evaluation de la perte de masse relative en fonction du temps pour des échantillons traités à 950°C

<i>La charge (N)</i>	<i>Masse Initiale M0(g)</i>	<i>Masse Finale M1(g)</i>	<i>T (°C)</i>	<i>ΔM</i>	<i>ΔM/M0(%)</i>	<i>Vitesse de Rotation (tr/min)</i>
10						90
<i>Temps</i>			28°C			90
1	8,1755	8,1735	22,40°C	0,002	0,02446334	90
3	8,1735	8,1666	27,60°C	0,0069	0,08441916	90
5	8,1666	8,1615	28,40°C	0,0051	0,06244949	90
10	8,1615	8,1536	29,5°C	0,0079	0,09679593	90
15	8,1536	8,1460	32,42°C	0,0076	0,09321036	90
20	8,1460	8,1340	36,80°C	0,012	0,14731156	90
25	8,1340	8,1318	34,3°C	0,0022	0,02704696	90
30	8,1318	8,1202	35,10°C	0,0116	0,14264984	90

Annexes

<i>La charge (N)</i>	<i>Masse Initiale M₀(g)</i>	<i>Masse Finale M₁(g)</i>	<i>T (°C)</i>	<i>ΔM</i>	<i>ΔM/M₀(%)</i>	<i>Vitesse de Rotation (tr/min)</i>
30						90
<i>Temps (min)</i>			28°C			90
1	7,9272	7,9271	46,9 °C	0,0001	0,00126148	90
3	7,9271	7,9247	35,10°C	0,0024	0,03027589	90
5	7,9247	7,9170	39,8°C	0,0077	0,09716456	90
10	7,9170	7,9069	54,0°C	0,0101	0,12757358	90
15	7,9069	7,8895	48,2°C	0,0174	0,22006096	90
20	7,8895	7,8690	60,0°C	0,0205	0,25983903	90
25	7,8690	7,8291	57,07°C	0,0399	0,50705299	90
30	7,8291	7,8000	57,70°C	0,0291	0,37169023	90

Evaluation de la perte de masse relative en fonction de la charge pour des échantillons traités à 950°C

<i>La charge (N)</i>	<i>Masse Initiale M₀(g)</i>	<i>Masse Finale M₁(g)</i>	<i>T (°C)</i>	<i>ΔM</i>	<i>ΔM/M₀(%)</i>	<i>Vitesse de Rotation (tr/min)</i>
5	7,800	7,7932	29°C	0,0068	0,08717948	90
10	7,7932	7,7035	36,10°C	0,0897	1,15100344	90
15	7,7035	7,6549	39,16°C	0,0486	0,63088207	90
20	7,6549	7,6491	36,60°C	0,0058	0,07576846	90
30	7,6491	7,6246	46,10°C	0,0245	0,32029912	90
40	7,6246	7,6145	42,70°C	0,0101	0,13246597	90

Annexes

Evaluation de la perte de masse relative en fonction du temps pour des échantillons traités à 1100°C

La charge (N)	Masse Initiale $M_0(g)$	Masse Finale $M_1(g)$	T (°C)	ΔM	$\Delta M/M_0(\%)$	Vitesse de Rotation (tr/min)
10						90
Temps			28°C			90
1	8,2894	8,2858	25,7°C	0,0036	0,04342896	90
3	8,2858	8,2815	28,3°C	0,0043	0,05189601	90
5	8,2815	8,2798	30,8°C	0,0017	0,02052768	90
10	8,2798	8,2784	34,1°C	0,0014	0,01690862	90
15	8,2784	8,2761	42,2°C	0,0023	0,02778315	90
20	8,2761	8,2753	41,3°C	0,0008	0,00966639	90
25	8,2753	8,2690	44,1°C	0,0063	0,07613017	90
30	8,2690	8,2479	40,8°C	0,0211	0,25516991	90

La charge (N)	Masse Initiale $M_0(g)$	Masse Finale $M_1(g)$	T (°C)	ΔM	$\Delta M/M_0(\%)$	Vitesse de Rotation (tr/min)
30						90
Temps (min)			28°C			90
1	8,1642	8,1638	51,4°C	0,0004	0,00489944	90
3	8,1638	8,1610	53,1°C	0,0028	0,03429775	90
5	8,1610	8,1600	55,7°C	0,001	0,0122534	90
10	8,1600	8,1534	56,1°C	0,0066	0,08088235	90
15	8,1534	8,1480	55,6°C	0,0054	0,06623004	90
20	8,1480	8,1194	60,8°C	0,0286	0,35100638	90
25	8,1194	8,1077	55,9°C	0,0117	0,14409932	90
30	8,1077	8,0876	61,1°C	0,0201	0,24791248	90

Annexes

Evaluation de la perte de masse relative en fonction de la charge pour des échantillons traités à 1100°C

<i>La charge (N)</i>	<i>Masse Initiale M0(g)</i>	<i>Masse Finale M1(g)</i>	<i>T (°C)</i>	<i>ΔM</i>	<i>ΔM/M0(%)</i>	<i>Vitesse de Rotation (tr/min)</i>
5	8,0876	8,0813	36,2°C	0,0063	0,07789703	90
10	8,0813	8,0645	40,8°C	0,0168	0,20788734	90
15	8,0645	8,0352	44,2°C	0,0293	0,36332073	90
20	8,0352	8,0081	54,3°C	0,0271	0,33726603	90
30	8,0081	7,9777	56,7°C	0,0304	0,37961564	90
40	7,9777	7,9771	38,7°C	0,0006	0,00752096	90

Annexes

Résultats des tests d'usure pour l'acier inoxydable $X_{30}Cr_{13}$ à une vitesse de rotation de 180tr/min (1 m/s).

Evaluation de la perte de masse relative en fonction du temps pour des échantillons non traités

La charge (N)	Masse Initiale $M_0(g)$	Masse Finale $M_1(g)$	T (°C)	ΔM	$\Delta M/M_0(\%)$	Vitesse de Rotation (tr/min)
10						180
temps			28°C			180
1	9,2563	9,2562	35,7°C	0,0001	0,00108035	180
3	9,2562	9,2558	37,4°C	0,0004	0,00432143	180
5	9,2558	9,2552	37,9°C	0,0006	0,00648242	180
10	9,2552	9,2551	40°C	0,0001	0,00108047	180
15	9,2551	9,2543	44,7°C	0,0008	0,00864388	180
20	9,2543	9,2536	44,1°C	0,0007	0,00756405	180
25	9,2536	9,2524	43,6°C	0,0012	0,01296793	180
30	9,2524	9,2509	46,6°C	0,0015	0,01621201	180

La charge (N)	Masse Initiale $M_0(g)$	Masse Finale $M_1(g)$	T (°C)	ΔM	$\Delta M/M_0(\%)$	Vitesse de Rotation (tr/min)
30						180
Temps (min)			28°C			180
1	9,2509	9,2507	44,5°C	0,0002	0,00216195	180
3	9,2507	9,2495	44,9°C	0,0012	0,01297199	180
5	9,2495	9,2454	57,9°C	0,0041	0,04432672	180
10	9,2454	9,2346	56,9°C	0,0108	0,11681485	180
15	9,2346	9,2167	61,4°C	0,0179	0,19383622	180
20	9,2167	9,2014	62,1°C	0,0153	0,16600302	180
25	9,2014	9,1850	59,3°C	0,0164	0,17823375	180
30	9,1850	9,1763	54,1°C	0,0087	0,09471965	180

Annexes

Evaluation de la perte de masse relative en fonction de la charge pour des échantillons non traités

La charge (N)	Masse Initiale M0(g)	Masse Finale M1(g)	T (°C)	ΔM	$\Delta M/M0(\%)$	Vitesse de Rotation (tr/min)
5	9,0560	9,0511	37°C	0,0049	0,05410777	180
10	9,0511	9,0370	43°C	0,0141	0,15578217	180
15	9,0370	8,9903	45,3°C	0,0467	0,51676441	180
20	8,9903	8,9178	52°C	0,0725	0,8064247	180
30	8,9178	8,8585	57,9°C	0,0593	0,66496221	180
40	8,8585	8,7936	51,2°C	0,0649	0,73262968	180

Evaluation de la perte de masse relative en fonction du temps pour des échantillons traités à 850°C

La charge (N)	Masse Initiale M0(g)	Masse Finale M1(g)	T (°C)	ΔM	$\Delta M/M0(\%)$	Vitesse de Rotation (tr/min)
10						180
temps			28°C			180
1	9,0541	9,0525	31,6°C	0,0016	0,01767155	180
3	9,0525	9,0501	41,8°C	0,0024	0,02651201	180
5	9,0501	9,0460	39,2°C	0,0041	0,04530337	180
10	9,0460	9,0389	46,2°C	0,0071	0,07848773	180
15	9,0389	9,0304	45,8°C	0,0085	0,09403799	180
20	9,0304	9,0194	46,0°C	0,011	0,12181077	180
25	9,0194	9,0029	39,3°C	0,0165	0,182939	180
30	9,0029	8,9854	41,6°C	0,0175	0,19438181	180

Annexes

La charge (N)	Masse Initiale M₀(g)	Masse Finale M₁(g)	T (°C)	ΔM	ΔM/M₀(%)	Vitesse de Rotation (tr/min)
30						180
Temps (min)			28°C			180
1	8,9854	8,9817	40°C	0,0037	0,04117791	180
3	8,9817	8,9723	55°C	0,0094	0,10465725	180
5	8,9723	8,9656	54°C	0,0067	0,07467428	180
10	8,9656	8,9527	53,2°C	0,0129	0,14388329	180
15	8,9527	8,9394	67,2°C	0,0133	0,14855854	180
20	8,9394	8,9353	80°C	0,0041	0,04586438	180
25	8,9353	8,9139	64,9°C	0,0214	0,23949951	180
30	8,9139	8,8855	69,4°C	0,0284	0,31860353	180

Evaluation de la perte de masse relative en fonction de la charge pour des échantillons traités à 850°C

La charge (N)	Masse Initiale M₀(g)	Masse Finale M₁(g)	T (°C)	ΔM	ΔM/M₀(%)	Vitesse de Rotation (tr/min)
5	8,7622	8,7548	38,7°C	0,0074	0,08445368	180
10	8,7548	8,7501	34,5°C	0,0047	0,05368484	180
15	8,7501	8,7297	45,6°C	0,0204	0,23314019	180
20	8,7297	8,7073	56,8°C	0,0224	0,2565953	180
30	8,7073	8,6862	44,2°C	0,0211	0,24232541	180
40	8,6862	8,6390	59,1°C	0,0472	0,54339067	180

Annexes

Evaluation de la perte de masse relative en fonction du temps pour des échantillons traités à 950°C

La charge (N)	Masse Initiale $M_0(g)$	Masse Finale $M_1(g)$	T (°C)	ΔM	$\Delta M/M_0(\%)$	Vitesse de Rotation (tr/min)
10						180
<i>temps</i>			28°C			180
1	8,1202	8,1178	27,43°C	0,0024	0,02955592	180
3	8,1178	8,1153	36,70°C	0,0025	0,03079652	180
5	8,1153	8,1067	41,40°C	0,0086	0,10597267	180
10	8,1067	8,0911	46,72°C	0,0156	0,19243342	180
15	8,0911	8,0728	44,56°C	0,0183	0,22617444	180
20	8,0728	8,0487	36,62°C	0,0241	0,29853335	180
25	8,0487	8,0232	47,70°C	0,0255	0,31682135	180
30	8,0232	8,0093	49,42°C	0,0139	0,17324758	180

La charge (N)	Masse Initiale $M_0(g)$	Masse Finale $M_1(g)$	T (°C)	ΔM	$\Delta M/M_0(\%)$	Vitesse de Rotation (tr/min)
30						180
<i>Temps (min)</i>			28°C			180
1	8,0093	8,0073	59,2°C	0,002	0,02497097	180
3	8,0073	7,9999	62,37°C	0,0074	0,09241567	180
5	7,9999	7,9955	64,9°C	0,0044	0,05500069	180
10	7,9955	7,9785	54,5°C	0,017	0,2126196	180
15	7,9785	7,9748	70,3°C	0,0037	0,04637463	180
20	7,9748	7,9474	76,9°C	0,0274	0,34358228	180
25	7,9474	7,9383	76,3°C	0,0091	0,11450286	180
30	7,9383	7,9272	78,0°C	0,0111	0,13982843	180

Annexes

Evaluation de la perte de masse relative en fonction de la charge pour des échantillons traités à 950°C

<i>La charge (N)</i>	<i>Masse Initiale M0(g)</i>	<i>Masse Finale M1(g)</i>	<i>T (°C)</i>	<i>ΔM</i>	<i>ΔM/M0(%)</i>	<i>Vitesse de Rotation (tr/min)</i>
5	7,6145	7,5993	41°C	0,0152	0,19961915	180
10	7,5993	7,5755	39,60°C	0,0238	0,31318674	180
15	7,5755	7,5396	47,60°C	0,0359	0,47389611	180
20	7,5396	7,4897	56,70°C	0,0499	0,66183882	180
30	7,4897	7,4525	53,62°C	0,0372	0,49668211	180
40	7,4525	7,4089	67,20°C	0,0436	0,58503858	180

Evaluation de la perte de masse relative en fonction du temps pour des échantillons traités à 1100°C

<i>La charge (N)</i>	<i>Masse Initiale M0(g)</i>	<i>Masse Finale M1(g)</i>	<i>T (°C)</i>	<i>ΔM</i>	<i>ΔM/M0(%)</i>	<i>Vitesse de Rotation (tr/min)</i>
10						180
<i>temps</i>			28°C			180
1	8,2479	8,2464	37,3°C	0,0015	0,01818645	180
3	8,2464	8,2459	47,7°C	0,0005	0,00606325	180
5	8,2459	8,2447	52°C	0,0012	0,01455269	180
10	8,2447	8,2439	51,7°C	0,0008	0,0097032	180
15	8,2439	8,2418	50,6°C	0,0021	0,02547338	180
20	8,2418	8,2393	48,7°C	0,0025	0,03033318	180
25	8,2393	8,2374	46,1°C	0,0019	0,02306021	180
30	8,2374	8,2352	48,7°C	0,0022	0,02670746	180

Annexes

<i>La charge (N)</i>	<i>Masse Initiale M₀(g)</i>	<i>Masse Finale M₁(g)</i>	<i>T (°C)</i>	<i>ΔM</i>	<i>ΔM/M₀(%)</i>	<i>Vitesse de Rotation (tr/min)</i>
30						180
<i>Temps (min)</i>			28°C			180
1	8,2351	8,2328	45,3°C	0,0023	0,0279292	180
3	8,2328	8,2297	63,4°C	0,0031	0,0376543	180
5	8,2297	8,2281	70,3°C	0,0016	0,0194418	180
10	8,2281	8,2242	75,5°C	0,0039	0,0473985	180
15	8,2242	8,2116	72,2°C	0,0126	0,1532064	180
20	8,2116	8,2034	52,5°C	0,0082	0,0998587	180
25	8,2034	8,1832	87,6°C	0,0202	0,2462394	180
30	8,1832	8,1642	77,9°C	0,019	0,232183	180

Evaluation de la perte de masse relative en fonction de la charge pour des échantillons traités à 1100°C

<i>La charge (N)</i>	<i>Masse Initiale M₀(g)</i>	<i>Masse Finale M₁(g)</i>	<i>T (°C)</i>	<i>ΔM</i>	<i>ΔM/M₀(%)</i>	<i>Vitesse de Rotation (tr/min)</i>
5	7,9771	7,9700	34,2°C	0,0071	0,08900478	180
10	7,9700	7,9400	47,9°C	0,03	0,37641154	180
15	7,9400	7,8836	53,5°C	0,0564	0,71032746	180
20	7,8836	7,8318	61,8°C	0,0518	0,65706023	180
30	7,8318	7,8120	71,2°C	0,0198	0,25281544	180
40	7,8120	7,7929	73,4°C	0,0191	0,24449565	180

في هذا العمل، أحرز الطلاء الناتج على غير القابل للصدأ الفولاذ ظل $X_{30}Cr_{13}$ على الصف الفولاذ الركيزة E335 وتعرضت هذه العينات إلى آخر العلاجات في درجات حرارية مختلفة (850, 950 و 1100) درجة مئوية في وقت محدد بساعة واحدة (01) ساعة وتبريد على الهواء.

وقد تم الحصول على هوية المجهرية ومرحلة من مختلف الفواتير ودائع بدون علاج باستخدام المجهر الضوئي. وقد تم اختيار الطلاء مركب للتحقيق في سلوكهم في علم احتكاك المفاصل باستخدام نوع من اختبار الاحتكاك "من سيارة رهينة". وأظهر هذا الاختبار حساسية عالية للمجهرية وحددت دور خصائص معينة من الطلاء مركب على ممتلكاته في علم احتكاك المفاصل. من الملاحظات فحص المعادن ارتداء سحنة وقد تم تسليط الضوء على أهمية الرش الحراري.

Résumé

Dans ce travail, des revêtements issus des aciers inoxydables de nuance $X_{30}Cr_{13}$ ont été réalisés sur le substrat en acier de nuance E335. Ces échantillons ont subi des post-traitements à différentes températures 850°C, 950 °C et 1100°C avec un temps de maintien d'une (01) heure et un refroidissement à l'air.

Les microstructures et l'identification des phases des différents dépôts traités et sans traitement sont obtenues en utilisant le microscope Optique. Les dépôts composites ont été sélectionnés pour étudier leur comportement tribologique à l'aide d'un essai de frottement de type « pion-disque ». Cet essai a montré une sensibilité élevée à la microstructure et a ainsi permis de déterminer le rôle de certaines caractéristiques des dépôts composites sur leurs propriétés tribologiques. A partir d'observations métallographiques des faciès d'usure l'importance de la projection thermique a été mise en évidence.

Abstract

In this work, coatings from stainless steels of grade $X_{30}Cr_{13}$ were produced on the steel substrate of grade E335. These samples were post-treated at different temperatures of 850 ° C., 950 ° C. and 1100 ° C. with a holding time of one (01) hour and air cooling.

The microstructures and the phase identification of the different deposits treated and without treatment are obtained using the optical microscope. Composite deposits were selected to study their tribological behavior using a friction test of the "paw-disk" type. This test showed a high sensitivity to the microstructure and thus made it possible to determine the role of certain characteristics of the composite deposits on their tribological properties. From the metallographic observations of wear facies the importance of thermal spraying was highlighted.