



MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE DE BATNA
FACULTE DES SCIENCES
DEPARTEMENT DE PHYSIQUE



MEMOIRE PRESENTE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME DE
MAGISTER EN PHYSIQUE

Option

Microstructure et mécanique des matériaux

Présenté par

AMIR BEN MENACER

***Etude de la microdureté Vickers
des poudres chimiques de Ni -P***

Soutenu le : / /2012

Devant le jury composé de :

BELGACEM BOUZIDA AÏSSA	Pr	Président	U. Batna
MESSAADI SACI	Pr	Rapporteur	U. Batna
LATELLI H'MIDA	M.C(A)	Examineur	U. M'sila
MEDOUER HADRIA	Pr.	Examineur	U. Batna

Remerciements

Le travail présenté dans ce mémoire a été réalisé au Laboratoire d'Etudes physicochimiques des Matériaux « **LEPCM** » de l'université de Batna. A travers ces quelques lignes, je voudrais évoquer tous ceux qui, par leurs conseils, par leur compétence ou tout simplement par leur chaleur humaine, ont contribué au bon déroulement de cette thèse.

Je remercie en premier lieu Dieu de m'avoir donné le courage et la volonté pour réaliser ce travail.

Mes remerciements s'adressent à mon directeur de thèse Monsieur, **Saci MESSAADI**, Professeur à l'université de Batna de m'avoir accueilli au sein de son équipe de recherche

« Couches minces métalliques du LEPCM », il m'a donné toutes les chances nécessaires pour mener à bien ce travail. J'ai ainsi pu aborder des domaines scientifiques très variés, mais aussi rencontrer et discuter avec beaucoup de chercheurs. Sa disponibilité et son optimisme contagieux m'ont été très précieux tout au long de ce travail et ce fut pour moi un plaisir de travailler à ses côtés.

Le fait que Messieurs *BELGACEM BOUZIDA Aïssa*, *LATELLI H'MIDA* et *Md .MEDOUER Hadria* ont fait partie du jury de soutenance est un honneur pour moi dont je les remercie vivement. Je leur suis très reconnaissant de leur relecture attentive et de leurs remarques objectives, qui ont contribué à l'amélioration du manuscrit.

Enfin, je remercie tous les collègues que j'ai eu le plaisir de côtoyer durant mon séjour au laboratoire. Par leur gentillesse, leur sympathie et leur bonne humeur ont constitué la source de bonheur sans laquelle ce travail n'aurait pas été possible.

Introduction générale**Chapitre I. - Essais de dureté et propriétés mécaniques des alliages** **$Ni_{100-x}-P_x$**

I.1 Notion de dureté.....	1
I.2 Essais de dureté.....	2
I.2.1 Essais de dureté par rayage.....	2
- Echelle de Mohs.....	3
- Scléromètre à rayures.....	3
I.2.2 Essais de dureté par rebondissement.....	4
- Essais de pénétration dynamique.....	4
- Essai de rebondissement Shore.....	4
I.2.3 Essai pendulaire de dureté.....	6
I.2.4 Essais de dureté par pénétration.....	6
- Essai de dureté Brinell.....	6
- Dureté Meyer	8
- Essais de dureté Rockwell.....	8
- Essai de dureté Vickers.....	11
- Essai de dureté Knoop.....	12
- Essai de dureté Berkovich.....	13
- Essai de la microdureté.....	13
I.2.5 Essais de dureté à chaud.....	14
I.3 Propriétés mécaniques des alliages Ni-P.....	14
I.3.1 Structure et microstructure.....	14
I.3.2 Influence de la teneur en phosphore pour des dépôts non traités.....	15
I.3.3 Traitements thermiques spécifiques aux revêtements Ni-P.....	16
I.4 Différents modèles.....	19
I.4.1 Lois linéaire additive.....	19
I.4.2 Lois de mélange aires.....	20
- Modèle de Buckle.....	20
- Modèle de Jonsson et Hogmark.....	21
- Amélioration de Thomas et Vinsbo.....	24
- Amélioration de Chicot et Lesage.....	25

I.4.3 Lois de mélanges en volume.....	25
---------------------------------------	----

Chapitre II. - Logiciel C.A.M.S

II.1 Fonctionnement de base.....	30
II.1.1 Principe de fonctionnement.....	30
II.1.2 Procédures de mesure d'essai.....	30
- En cas de systèmes de mesure automatiques.....	30
- En cas de mesure manuelle.....	31
II.2 Fonctions barre de menu-fichier.....	31
II.2.1 Créer un nouveau fichier.....	32
II.2.2 Ouvrir et quitter un fichier.....	38
II.2.3 Fermer un fichier ouvert.....	39
II.3 Fonctions de l'écran principal.....	39
II.3.1 Prise des mesures.....	40
- Mesure automatique.....	40
- Mesure manuelle.....	40
II.3.2 Affichage des résultats / tolérances.....	40
II.3.3 Affichage des paramètres d'essai.....	41
II.3.4 Mode Plein Ecran.....	41
II.3.5 Mise à jour des paramètres d'essai.....	42
- Modification de la charge, du temps de charge et du grossissement.....	42
II.4 Barre de menu.....	43
II.4.1 Menu de visualisation.....	43
- Logiciel de calcul de statistiques avancées.....	43
II.4.2 Menu de configuration.....	44
- Menu de calcul de moyenne.....	44
- Configuration de l'essai.....	45
II.5 Operations de déplacement.....	45
II.5.1 Opérations de déplacement manuelles.....	45
II.5.2 Opérations de déplacement automatiques.....	47
- Créer un déplacement.....	47
- Editer un déplacement.....	48
- Démarrer un déplacement.....	48
- Rapports.....	52

**Chapitre III. - Etudes expérimentales des couches minces $Ni_{100-x}P_x$
électrochimiques.**

III.1	Technique de préparation des échantillons et mesuré la dureté Vickers.....	56
III.1.1	Préparation des échantillons.....	56
III.1.2	Prescription technique d'essais de dureté Vickers.....	57
a)	Description terminologique	58
	- Opérations avant l'essai.....	59
	- Exécution de l'essai.....	61
	- Mesure de l'empreinte.....	64
b)	Description métrologique.....	66
	- Température de référence.....	66
	- Erreurs maximales tolérées.....	66
III.2	Modélisation de la microdureté Vickers des couches minces.....	66
	$Ni_{100-x}P_x$ électrochimiques	
III.2.1	Théorie électrochimiques.....	66
III.2.2	Modèle de Buckle.....	67

Conclusion générale

Bibliographies

Annexes

La dureté des matériaux joue depuis fort longtemps un rôle capital. C'est en 1772 que Reaumer en élabora la première ébauche. Ensuite, le minéralogiste Allemand (Mohs) suggéra dans l'ordre croissant de la dureté une échelle allant de 1 à 10. La dureté d'un corps (métal, polymère, céramique) est la résistance qu'il oppose à la pénétration d'un autre corps plus dur. Alors elle permet de définir quelques caractéristiques des matériaux (dureté, viscosité, forces d'adhésion, etc.).

L'intérêt des couches minces électrochimiques provient essentiellement de l'utilisation économique des matériaux en rapport avec les propriétés mécaniques et de la simplicité des technologies mises en œuvre pour leur réalisation. L'objectif premier de ce travail était l'obtention de la microdureté Vickers des couches minces $\text{Ni}_{100-x}\text{-P}_x$ électrochimiques par utilisation du système caméra vidéo connectée à un PC de manière à visualiser les empreintes d'essai réalisées par un appareil pour essais de microdureté. La saisie et le traitement des données sont obtenues par du logiciel dit CAMS.

L'emploi des couches minces à l'échelle industrielle nécessite un procédé d'élaboration économiquement intéressant. De ce fait, nous avons retenu la voie électrochimique pour l'élaboration des couches minces de nickel/Phosphore. En effet, l'électrodéposition possède plusieurs avantages (simplicité de mise en œuvre, possibilité de géométries complexes pour les substrats, gamme de températures et de vitesses de synthèses souples...), en particulier, elle ne nécessite pas une logistique onéreuse et présente donc des facilités pour le transfert industriel.

Le premier chapitre est consacré à la présentation des généralités de dureté des matériaux, c'est pourquoi, ce chapitre est divisé en deux parties. La 1^{ère} partie est consacrée à rappeler différentes essais de dureté des matériaux, et aussi les modèles utilisés pour calculer la dureté des matériaux, et la 2^{ème} partie est réservée à citer les propriétés mécaniques des couches minces métalliques.

Le deuxième chapitre est consacré à la description des différentes fonctions du logiciel C.A.M.S, utilisé pour visualiser les empreintes d'essai réalisées par un appareil pour essais de microdureté.

Dans le troisième chapitre nous présenterons les techniques expérimentales utilisées pour mesurer la microdureté Vickers des couches minces électrochimiques de $\text{Ni}_{100-x}\text{-P}_x$, nous avons discuté sur les résultats, et interprété sur les valeurs de la microdureté par le modèle de Buckle.

Introduction

Ce chapitre est consacré à la présentation de certaines notions générales sur les essais de dureté et aussi les propriétés mécaniques des alliages Ni-P, à cet effet, nous :

- Rappelons les essais de dureté qui permettent de définir quelques caractéristiques des matériaux. Ils sont classés selon les méthodes des essais de dureté.
- Citons brièvement les propriétés mécaniques des alliages Ni-P.
- Dans la dernière partie de ce chapitre, nous citons les différents modèles qui permettent de déterminer la dureté de matériau.

1.1 Notion de dureté

Si la notion de dureté est l'une des plus intuitives, sa mesure correspond en pratique à celle de la résistance à la pénétration locale du matériau considéré. La dureté est alors une propriété physique complexe et difficile à interpréter, qui dépend non seulement des caractéristiques de ce matériau, mais aussi de la nature et de la forme du pénétrateur et du mode de pénétration.

Les essais habituels de dureté sont simples, rapides, et généralement non destructifs, ils offrent donc un moyen très commode, et très utilisé dans les ateliers, pour vérifier l'évolution des propriétés d'une pièce métallique.

La dureté permet d'apprécier, dans une certaine mesure, la résistance mécanique, la résistance à l'abrasion, la conservation du poli, la difficulté d'usinage, etc. Elle permet d'apprécier la résistance des corps fragiles (carbures, composés intermétalliques, etc.) [1].

Enfin, la mise au point des méthodes de microdureté permet de résoudre de nombreux problèmes : mesure de la dureté des couches minces ou superficielles, exploration d'alliages à phases multiples, évaluation de l'écrouissage local, etc.

De très nombreuses méthodes d'évaluation de la dureté ont été proposées. Les plus courantes et les plus familières consistent à mesurer la résistance à la pénétration, mais les essais par rayage, par rebondissement ou par oscillations de pendules peuvent offrir des possibilités intéressantes dans certains cas.

I.2 Essais de dureté

I.2.1 Essais de dureté par rayage (scratch test)

Il consiste à glisser un pénétrateur pointu de forme géométrique bien déterminée (sphère, cône, pyramide, etc..), généralement en diamant sur la surface de corps à tester, selon une direction parallèle à la surface du corps à une vitesse constante. On impose une charge perpendiculaire constante (Figure I.1). Les grandeurs mesurées sont principalement la force tangentielle, et la profondeur de pénétration [2].

L'essai de dureté par rayage impose un niveau de déformation au matériau de la surface à tester par l'intermédiaire de la pointe. Plus précisément c'est la géométrie de la pointe qui va déterminer le niveau de déformation. On fait les essais des rayures par deux types de machines (les scléromètres), les machines souples et les machines rigides.

Les machines souples imposent une force mais ne permettent pas de mesurer des déplacements et les machines rigides imposent une profondeur et permettent de mesurer des déplacements [3].

Lors de l'essai de rayure, on peut faire varier : la forme géométrique du pénétrateur, vitesse de rayage, la température, la force normale de rayage et la lubrification,.... Elle est moins précise que les méthodes par pénétration sous faible charge, n'est utilisée aujourd'hui que dans des cas très particuliers [4].

Si la pointe est en mouvement relatif par rapport à la surface du matériau, (Figure I.1) on est amené à définir une dureté d'essai de rayure [2], ou dureté « dynamique » tangentielle de la façon suivante :

$$H_r = \frac{4F_n q}{l^2 \pi} \quad (I.2.1)$$

q : est un paramètre permettant de prendre en compte la nature de la réponse du matériau.

$1 \leq q \leq 2$: Pour un matériau viscoélastique (pratiquement $q = 1$).

$q \approx 2$: pour un matériau plastique.

F_n : La charge normale appliquée à la pointe.

Très peu d'études ont été menées sur ce paramètre q . La largeur l du sillon de la rayure mesurée une fois les essais terminés est supposée constante et la recouvrance élastique est supposée nulle.

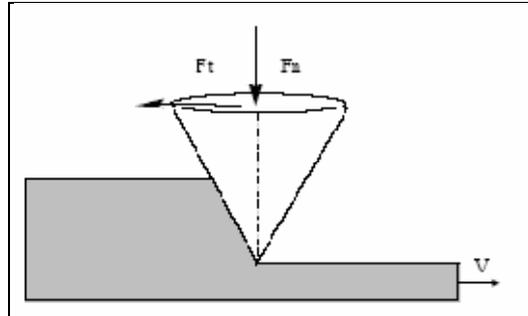


Figure I.1 : Schématisation de l'essai de glissement-rayure (pointe conique).

- **Echelle de Mohs**

Historiquement, c'est la plus ancienne méthode de mesure de la dureté : un corps est plus dur qu'un autre s'il peut le rayer. Elle fut utilisée par Réaumur, puis par Mohs qui proposa la première échelle de dureté des minéraux (tableau I.1) : chaque minéral raye ceux qui sont au-dessous de lui. Les minéraux indiqués ont été sélectionnés pour conduire à des intervalles de dureté comparables entre deux éléments consécutifs [1].

Élément	Coefficient	Élément	Coefficient
Diamant	10	Apatite	5
Corindon	9	Fluorite	4
Topaze	8	Calcite	3
Quartz	7	Gypse	2
Feldspath	6	Talc	1

Tableau I.1: Duretés Mohs.

- **Scléromètre à rayures**

Pour préciser la notion de dureté dans le cas des métaux, on a été amené à concevoir des appareils plus sensibles, les scléromètres à rayures. Avec ces appareils, on mesure la charge nécessaire pour produire une rayure de largeur donnée ou, au contraire, on mesure la largeur

de la rayure faite sous charge déterminée par une pointe de diamant. Dans ce dernier cas, la dureté H est définie par :

$$H = 10^4 / \lambda^2 \quad (1.2.2)$$

avec

λ (μm): largeur de la rayure produite par une charge d'environ 0,03 N (3 gf) pour les métaux tendres et d'environ 0,09 N (9 gf) pour les métaux durs. Cette largeur est mesurée à l'aide d'un microscope à fort grandissement (≈ 500) [1].

L'essai à la lime n'est qu'une application assez grossière et qualitative de ce principe. La dureté par rayage, plus délicate à mettre en œuvre et moins précise que les méthodes par pénétration sous faible charge, n'est utilisée aujourd'hui que dans des cas très particuliers.

1.2.2 Essais de dureté par rebondissement

- ***Essais de pénétration dynamique***

Dans ce genre des essais, la pointe du pénétrateur est en mouvement relatif par rapport à la surface du matériau à tester. Elles reposent sur la superposition d'un chargement et d'un mouvement [5]. Elles nous permettent d'avoir une idée de l'amortissement et de la rigidité de la surface (la dureté) soit par oscillation d'un duromètre pendulaire, soit par rebond d'une masse tombante, et soit par la rayure d'indenteur de forme géométrique bien définie [2].

Compte tenu de l'influence importante du caractère viscoélastique du matériau, le classement obtenu avec cette méthode n'est pas nécessairement le même que celui obtenu avec une méthode de dureté statique [6].

- ***Essai de rebondissement Shore***

Elle consiste à laisser chuter une masse d'acier terminée par un diamant arrondi. La masse est guidée dans sa chute par un tube lisse. La chute de la masse est bien verticalement et d'une hauteur fixe. La dureté est évaluée par un rebondimètre (du type scléroscope Shore) relie dureté et hauteur de rebond, cette dernière étant d'autant plus importante que la pénétration est faible, donc le matériau dur.

Deux gammes de dureté Shore existent : Shore A où le pénétrateur est de forme géométrique d'un cône tronqué, à sommet plat pour les produits souples et Shore D pour les matériaux rigides de forme géométrique d'un cône émoussé [7].

L'observateur doit apprécier la hauteur de rebondissement soit par lecture directe à la volée le long d'une graduation, soit par déplacement d'un index devant un cadran. La graduation est établie de telle sorte que la dureté 100 soit atteinte pour l'acier à 0,9 % de carbone trempé à l'eau. Elle est de 35 environ pour les aciers doux.

Notons cependant que les résultats de l'essai Shore dépendent beaucoup de l'état de surface de la pièce testée. L'appareil doit être tenu de manière bien verticale pour éviter d'avoir des frottements qui fausseront la mesure. La masse de la pièce à mesurer doit être beaucoup plus importante que la masse utilisée dans l'appareil de mesure [5].

Malgré leur complexité, cette méthode mériterait d'être plus développée. Elle permet d'identifier un matériau, de rendre compte du degré de polymérisation, d'estimer le taux de dégradation des revêtements de surface de structures en plastiques renforcés etc.

Elle n'est évidemment significative que lorsque l'état et la composition de la couche de surface sont adaptés à cette mesure (absence de cloques, de cratères, de fibres en surface....)

Le principe consiste à faire chuter bien verticalement d'une hauteur fixe une petite masse d'acier terminée par un diamant arrondi. La masse est guidée dans sa chute par un tube lisse. Ensuite la mesure de l'hauteur de rebondissement a également été proposée pour mesurer la dureté du matériau.

Cet essai mesure l'énergie de déformation plastique : si le choc est parfaitement élastique (pas de déformation plastique, pièce à tester très dure), la pointe rebondit théoriquement jusqu'à sa hauteur de lâcher (en négligeant les frottements) ; on peut relier la différence de hauteur h à l'énergie cinétique ΔE_c absorbée lors du choc.

$$\Delta E_c = m \cdot g \cdot h \quad (I.2.3)$$

1.2.3 Essai pendulaire de dureté

La méthode pendulaire a été utilisée dans les années 1920 pour mesurer la dureté des métaux. Elle consiste à déterminer la durée d'oscillation d'un pendule reposant par l'intermédiaire d'une ou deux billes sur la surface à tester [8].

La dureté est exprimée en terme de durée d'oscillation du pendule qu'on a enregistré pour atteindre une diminution d'amplitude fixée. La durée est d'autant plus faible que l'enfoncement de la bille est important.

L'avantage de la méthode pendulaire est qu'elle permet de définir la dureté sous faible charge (l'empreinte est nulle) des corps en caoutchouc. Elle permet également de définir la dureté d'ensemble (élastique et plastique) si la charge appliquée dépasse la limite d'élasticité.

On mesure la dureté dans cette méthode par l'intermédiaire d'un duromètre pendulaire constitué d'un pendule qui repose sur la surface à tester par l'intermédiaire d'une ou deux billes et dont on enregistre les oscillations [5].

1.2.4 Essais de dureté par pénétration

C'est à cette catégorie d'essais qu'appartiennent la plupart des appareils employés industriellement. Un pénétrateur suffisamment dur pour ne pas être déformé par le matériau à essayer, et de forme variable, est enfoncé dans le métal par l'action d'une force constante appliquée dans des conditions bien définies ; on mesure soit les dimensions transversales, soit la profondeur de l'empreinte [9].

- ***Essai de dureté Brinell***

Dans l'essai proposé par Brinell, le pénétrateur est une bille polie en acier trempé ou en carbure de tungstène. Son diamètre D vaut normalement 10 mm, mais aussi 5 mm, 2,5 mm et 1 mm. Elle est appliquée sur le métal avec une charge F (normalement 3000 kgf). Après suppression de la charge, elle laisse dans le métal une empreinte circulaire permanente dont on mesure le diamètre d , d'autant plus grand que la bille a pénétré plus profondément dans le métal, donc que celui-ci est moins dur (figure I.2) [10].

La dureté s'exprime par le rapport de la charge F à la surface S de la calotte sphérique imprimée dans le métal :

$$HB = \frac{F}{S} = \frac{2 \times 0.102F}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (I.2.4)$$

L'exécution de l'essai Brinell demande une surface plane, usinée ou meulée. Son état de surface doit permettre une lecture aisée du diamètre de l'empreinte : plus ses dimensions seront faibles, plus l'état de surface devra être soigné [1].

L'essai brinell déroule comme la suite:

On applique la charge normalement à la surface et sans choc, en la faisant croître progressivement de manière à atteindre en 15s la charge fixée. On la maintient pendant 10 à 30s, on décharge et on mesure le diamètre de l'empreinte.

Des précautions sont également à prendre pour éviter une déformation de la pièce :

- La distance du centre de l'empreinte au bord de la pièce ne doit pas être inférieure à 2.5 d.
- La distance entre les centres de deux empreintes voisines doit dépasser quatre fois leur diamètre.
- L'épaisseur de la pièce doit être d'au moins huit fois la profondeur de l'empreinte pour éviter aucune déformation visible sur la face opposée [11].

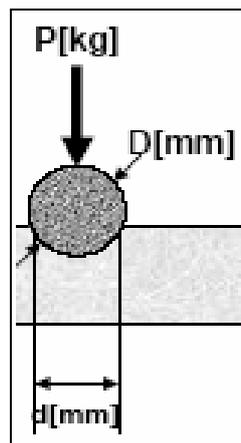


Figure I.2: Principe de dureté brinell.

D : diamètre de la bille (mm).

d : diamètre de l'empreinte (mm).

h : profondeur de l'empreinte.

- **Dureté Meyer**

Meyer a montré que l'enfoncement d'une bille dans un métal est donné par la formule :

$$\frac{F}{d^2} = k \left(\frac{d}{D} \right)^m \quad (I.2.5)$$

L'exposant m et le coefficient k de la loi de Meyer varient avec la nature du métal et son état. Dans les métaux durs m vaut 0 à 0,15 environ et dans les métaux écrouis vaut 0.3 à 0.6 [12].

On peut définir alors la dureté Meyer comme suit :

$$HM = \frac{4F}{\pi d^2} \quad (I.2.6)$$

En replace (I.2.5) dans (I.2.6), on obtient :

$$HM = \frac{4k}{\pi} \left(\frac{d}{D} \right)^m \quad (I.2.7)$$

- **Essais de dureté Rockwell**

L'essai consiste à mesurer la profondeur de l'empreinte d'indenteur de forme géométrique conique (figure I.4), ou bien sphérique (figure I.3) appuyé sous faible charge, sur la surface à essayer et dans des conditions bien précisées. Le pénétrateur conique est de diamant de section circulaire, d'angle au sommet 120°, à pointe arrondie sphérique (rayon de 0,2mm) [13].

Le pénétrateur sphérique est une bille d'acier trempé polie de diamètre 1,588 mm ou 3.175mm (figure I.3).

La valeur de dureté est donnée par la formule suivante :

- Echelle B, E et F :

$$HRB = 130 - r.$$

- Echelle C :

$$HRC = 100 - r.$$

Des précautions opératoires sont également à prendre, tel que ; le fini superficiel de la pièce doit être satisfaisant et la pièce doit bien reposer sur son support pour éviter le déplacement du métal dans la région où se forme l'empreinte .

Les chocs et les vibrations doivent être évités. L'essai se déroule en trois phases:

1. Application sur le pénétrateur d'une charge initiale $F_0= 98$ N (soit 10 kgf).Le pénétrateur s'enfonce d'une profondeur initiale I . Cette profondeur étant l'origine qui sera utilisée pour mesure la dureté Rockwell.
2. Application d'une force supplémentaire F_1 . Le pénétrateur s'enfonce d'une profondeur de p .
3. Relâchement de la force F_1 et lecture de l'indicateur d'enfoncement (figure I.3) [14].

Echelle	symbole	Pénétrateur	Valeur de la force totale F_0+F_1	Application
A	HRA	Cône de diamant de section circulaire à pointe arrondie sphérique de 0,2 mm	981 N	Carbure, acier en en épaisseur mince
B	HRB	Bille d'acier de 1,588 mm (1/16 de pouce) de diamètre	1471,5 N	Alliage de cuivre, acier doux, alliage d'aluminium Matériaux ayant une résistance à la rupture comprise entre 340 et 1000 MPa
C	HRC	Cône de diamant de section circulaire à pointe arrondie sphérique de 0,2 mm	588,6 N	Acier, fonte, titane Matériau ayant une dureté résistance à la rupture supérieure à 1000 MPa
D	HRD	Cône de diamant de section circulaire à pointe arrondie sphérique de 0,2 mm	981 N	
E	HRE	Bille d'acier de 3,175 mm (1/8 pouce) de diamètre	981 N	Fonte, Alliage d'aluminium et de fonte
F	HRF	Bille d'acier de 1,588 mm de diamètre	588,6 N	Alliage de cuivre recuit, fine tôle de métal.
G	HRG	Bille d'acier de 1,588 mm de diamètre	1471,5 N	Cupro-nickel, Alliage cuivre-nickel-zinc

Tableau I.2 : Différentes échelles de dureté de Rockwell.

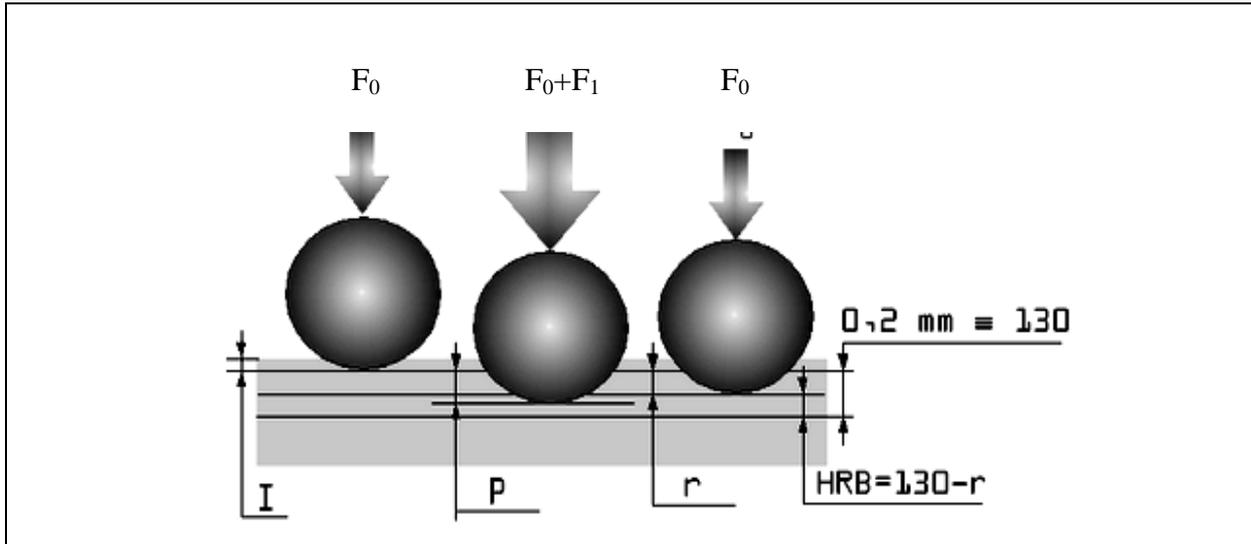


Figure I.3: Principe de la dureté Rockwell (échelle B, bille en acier).

I : pénétration initiale avant charge additionnelle.

P : pénétration avec charge additionnelle.

R : pénétration rémanente sans la charge additionnelle.

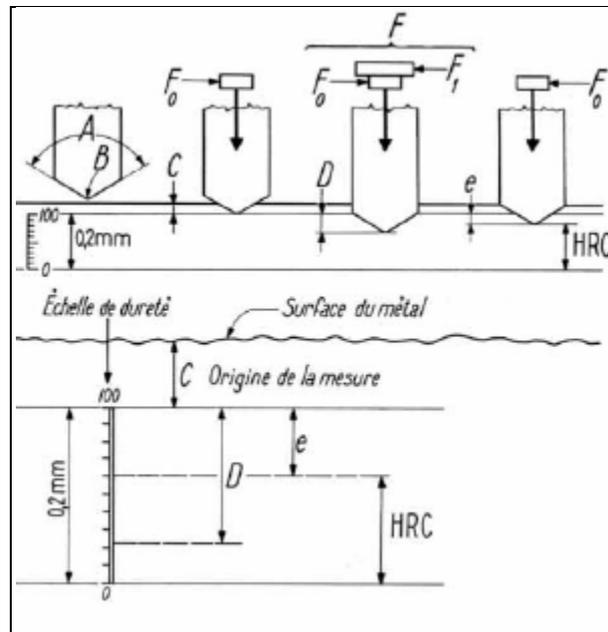


Figure I.4: Méthode de Rockwell (cône).

- *Essai de dureté Vickers*

Il consiste à imprimer dans le métal testé un pénétrateur en diamant de forme géométrique pyramidal à base carrée, d'angle au sommet entre deux faces opposées de 136° , sous l'action d'une force connue (figure I.5). On mesure la diagonale de l'empreinte carrée laissée par le pénétrateur [15].

L'avantage d'un pénétrateur pyramidal (comme d'un pénétrateur conique) est quand on fait varier la charge, on obtient des empreintes géométriquement semblables entre elles, donc des valeurs identiques pour la dureté.

Généralement la gamme des forces utilisables (5 à 100 kgf) permet d'appliquer cette méthode avec toutes les dimensions d'échantillons. En choisissant la force donnant une empreinte telle que la diagonale d doit être inférieure aux deux tiers de l'épaisseur [16].

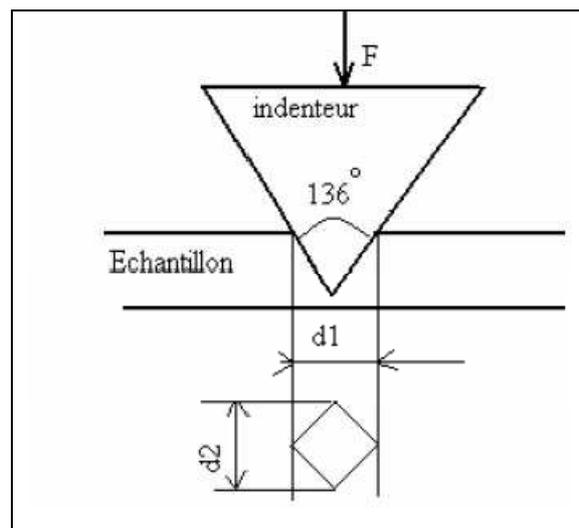


Figure I.5: Principe de dureté Vickers.

Dans l'essai Vickers (Smith et Sandland 1925), une pyramide à base carrée en diamant est utilisée comme pénétrateur. La dureté Vickers HV est définie par [17] :

$$HV = \frac{\text{la charge appliquée}}{\text{la surface de l'empreinte}}$$

$$HV = \frac{2F \sin 68}{gd^2} = 1.8544 \frac{p}{d^2} = 0.189 \frac{F}{d^2} \quad (\text{I.2.8})$$

$$\text{Avec : } d = \frac{d_1 + d_2}{2}$$

F (N) : La charge appliquée au pénétrateur.

d (mm) : Le diagonale moyen de l'empreinte.

Des précautions opératoires nécessaire de l'essai Vickers tel que :

- Les empreintes étant petites, les irrégularités de la surface prennent une importance plus grande encore que dans les essais précédents, particulièrement pour les fortes duretés et les faibles charges aussi parfait.
- La distance entre le centre d'une empreinte et le bord de la pièce ou les côtes d'une autre empreinte ne doit pas être inférieure à 2,5 fois la diagonale. L'épaisseur de la pièce doit être supérieure à 1,5 fois la diagonale de l'empreinte.
- La pièce doit reposer sur le support de façon régulière et uniforme.
- L'état du diamant doit être fréquemment vérifié [18].

➤ *Essai de dureté Knoop*

Dans l'essai de Knoop, le pénétrateur est en diamant de forme géométrique pyramidal à base losange, dont les diagonales sont sensiblement dans le rapport de 7 à 1. L'angle au sommet dans le sens de la grande diagonale est de 172° 30' et l'angle transversal est de 130° (figure I.6).

L'avantage du pénétrateur Knoop est de donner une empreinte suffisamment grande pour une très faible charge, en sollicitant donc un volume très réduit de matière [5] .

La dureté Knoop HK s'exprime par le rapport de la charge appliquée F à la surface projetée A de l'empreinte :

$$HK = \frac{F}{A} = \frac{F}{Cl^2} = \frac{F}{0.07028l^2} = 14.23 \frac{F}{l^2} \quad (I.2.12)$$

avec:

F (N) : La charge appliquée au pénétrateur.

A (mm²) : la surface de l'empreinte.

l (mm) : Longueur de la plus grande diagonale imprimée.

C : Rapport constant de l à la surface projetée $C = 7,028 \cdot 10^{-2}$.

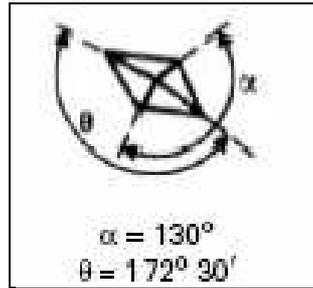


Figure I.6:Pyramide à base losange.

- **Essai de dureté Berkovich**

Le principe est le même que dans l'essai de dureté Vickers. Il consiste à pénétrer dans le matériau testé un pénétrateur en diamant de forme géométrique pyramidal à base triangulaire d'angle de 63.3° [14].

L'avantage du pénétrateur Berkovich est de donner une empreinte suffisamment grande pour une très faible charge, en sollicitant donc un volume très réduit de matière de la surface de l'échantillon à tester [15].

Le pénétrateur Berkovitch est une pyramide en diamant à base triangulaire d'angle entre face vaut 63.3° . La dureté Berkovitch est donnée sous la forme [14] :

$$H = \frac{p}{(4.95d)^2} \quad (\text{I. 2.13})$$

P : La charge appliquée à l'indenteur en N.

d : le diamètre de l'empreinte projetée en m.

- **Essai de la microdureté**

Cette méthode permet de se libérer de la dispersion et de l'imprécision des déterminations des duretés des matériaux rencontrés avec les mesures classiques de dureté. Elle a le même principe de la méthode statique, mais avec une charge appliquée à l'indenteur inférieur à (1kg), et la taille de l'empreinte laissée par la pointe sur la surface peut varier de quelques centaines de micromètres. Elle permet de résoudre de nombreux problèmes tels que: la mesure de la dureté des couches minces, évaluation de l'écrasement local, exploration d'alliages à phases multiples, etc. [19,20].

Des phénomènes influençant les mesures des microduretés nécessitent certaines précautions opératoires tels que :

- L'empreinte doit être suffisamment nette pour permettre une lecture précise, ce qui exige un bon état de surface de la pièce testée.
- La légère croissance de dureté jusqu'à à la charge de 1kg, montre la nécessité de spécifier la charge sous laquelle la mesure a été fait pour obtenir des résultats comparables.
- Prendre en considération la charge maximale à appliquer de manière que la dureté du métal support n'intervienne pas dans les mesures [5,21].

1.2.5 Essais de dureté à chaud

L'essai de dureté à chaud ayant le même principe que dans les essais de la méthode statique à la température ambiante, mais elle est réalisée dans des températures plus grandes que l'ambiante. La nécessité de connaître les propriétés des métaux aux mêmes températures d'emploi est à l'origine du développement des essais de dureté à chaud.

C'est ainsi que la dureté à chaud est utilisée pour classer les métaux: Plus la dureté est élevée plus la durée de vie de métal sera grande, ainsi comme pour les essais à température ambiante, il faut distinguer les essais sous charge normale et charge réduite. Elle peut contrôler à l'aide de dispositifs spéciaux, tel celui décrit par Brenner [5].

1.3 Propriétés mécaniques des alliages Ni-P

1.3.1 Structure et microstructure

Les alliages Ni-P est dont les propriétés dépendent fortement de la quantité de phosphore, car c'est elle qui conditionne les propriétés mécaniques telles que : la dureté, la rigidité, la résistance à l'usure, le coefficient de frottement...

Les principales caractéristiques du nickel pur sont données pour comparaison dans le (tableau I.3). La composition la plus employée dans l'industrie est comprise entre 7 % et 10 % de phosphore. Les alliages de Ni-P élaborés chimiquement sont hors équilibre [22]. Les caractéristiques structurales de ces solutions solides sont étroitement liées à leur teneur en phosphore [23].

Ces auteurs définissent trois domaines de composition correspondant à trois états structuraux différents :

- de 0 à 9 % at. P, le dépôt obtenu est cristallisé. Les analyses radiocristallographiques et les observations par microscopie électronique montrent la présence de nickel cristallisé dans le système cubique à faces centrées.
- de 9 à 17 % at. P, la matrice Ni-P est microcristallisée. Les clichés de diffraction de rayons X, de même que les observations MET, montrent un affinement structural important.
- de 17 à 22 % at. P, la solution solide de nickel sursaturée en phosphore est amorphe.

D'après Wang [24], la transition entre un domaine de composition où l'alliage est cristallisé à un domaine où il est amorphe passe par un domaine intermédiaire où la proportion volumique de la phase intercristalline augmente par rapport à la phase cristalline.

En effet, Hentschel a montré que les joints de grains concentrent une majeure partie de la quantité de métalloïde [25].

Symbole chimique	Ni
Masse volumique	8,89 g/cm ³
Numéro atomique	28
Masse atomique	58,7
Point de fusion	1452°C
Point d'ébullition	2480°C
Limite d'élasticité	105 MPa
Résistance à la rupture	380 MPa
Allongement	35%
Module d'élasticité	210-214 N/mm ²
Système cristallin	CFC

Tableau I.3: Caractéristiques du nickel pur [22].

I.3.2. Influence de la teneur en phosphore pour des dépôts non traités

La dureté des alliages Ni-P varie en fonction de leur état de cristallisation et donc de leur teneur en métalloïde (figure I.7). Barnière ainsi que d'autres auteurs ont mesuré des valeurs de micro-dureté Vickers autour de 300 HV pour des alliages cristallisés. Cette valeur augmente jusqu'à 650 HV lorsque les solutions solides sont microcristallisées et diminue ensuite pour se stabiliser autour de 400 HV pour les alliages amorphes [26,27].

La hausse de dureté observée est due à la diminution de la taille de grains provoquée par le co-dépôt du métalloïde. Ainsi l'augmentation du nombre de joints de grains, qui entraîne une augmentation du nombre d'obstacles au déplacement des dislocations, se traduit par l'accroissement de cette propriété mécanique. Ainsi, la dureté du nickel chimique, qui lui vaut son succès dans de nombreuses applications industrielles, varie fortement en fonction de la teneur en phosphore lorsque le revêtement n'a pas subi de traitement thermique [28].

Trois familles de revêtements Ni-P existent donc selon cette teneur en phosphore :

- les « bas-phosphore » (%P at. < 5).
- les « moyens-phosphore » (5 < %P at. < 9).
- les « hauts-phosphore » (%P at. > 9).

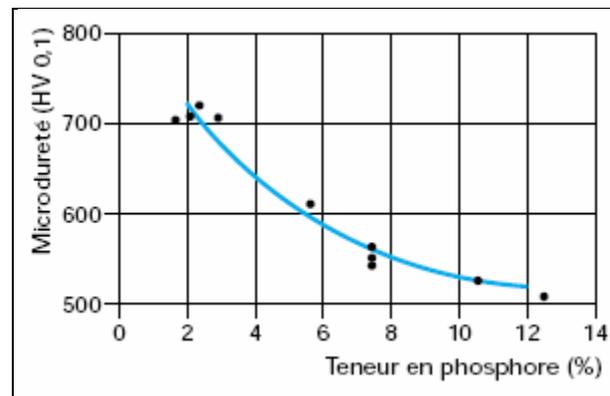


Figure I.7: Influence de la teneur en phosphore du dépôt sur la dureté [29].

I.3.3. Traitements thermiques spécifiques aux revêtements Ni-P

Pour un alliage de composition donnée, une augmentation de la microdureté peut être obtenue par traitement thermique. L'apparition de germes de phosphures de nickel jouent dans ce cas le rôle de points d'ancrage des dislocations et évitent leur propagation [30,31].

Ces traitements thermiques doivent être compatibles avec la pérennité du matériau. Ils ont pour but :

- de réduire la fragilisation des aciers par l'hydrogène.
- d'augmenter la dureté des dépôts (par précipitation de phosphure nickel dans la matrice).
- d'améliorer l'adhérence des dépôts.

Les propriétés souhaitées sont obtenues en fonction de la température et de la durée du traitement thermique. Jusqu'à 300°C, il n'y a pas ou peu de modifications. En revanche à partir de 300°C, il se forme la phase cristalline Ni_3P d'autant plus rapidement que la température est élevée. Au-delà de 400°C, la transformation est pratiquement instantanée.

Cette structure conduit à une dureté du revêtement voisine de 1000 $HV_{0.1}$. La figure I.8 présente les duretés obtenues après une heure de recuit en fonction de la température [32].

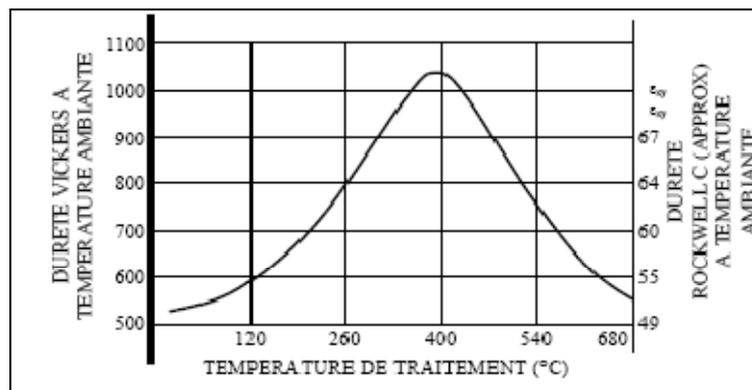


Figure I.8: Variation de la dureté après une heure de recuit en fonction de la température.

Si la température de recuit augmente, des germes de nickel quasiment pur (phase α) se développent et un grossissement des grains de Ni-P et de la phase cristalline Ni_3P est observé. Ainsi, à partir de 600°C, un mélange biphasé de grains de Ni-P et de Ni_3P est obtenu.

La température optimale du traitement thermique pour obtenir une dureté maximale se situe entre 345 et 450°C. Cette température dépend notamment du pourcentage de phosphore en solution solide dans le dépôt brut. Par exemple, les résultats obtenus avec un traitement thermique d'une heure pour un pourcentage de phosphore compris entre 1% et 13% sont présentés dans la figure I.9 [33].

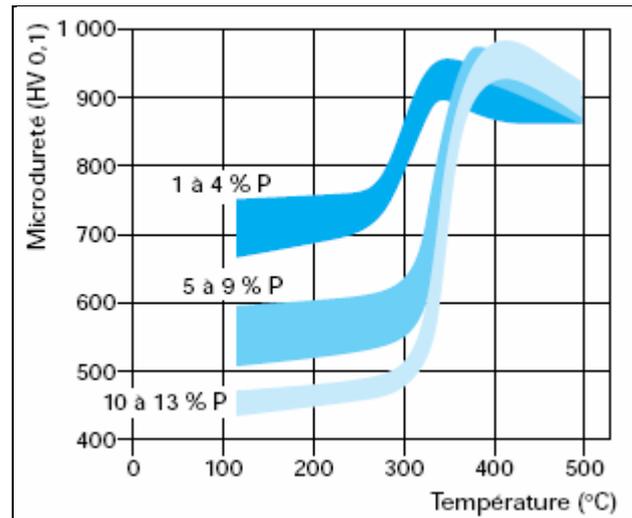


Figure I.9: Influence de la température de traitement thermique (1h) et du pourcentage de phosphore sur la dureté.

La teneur en phosphore est également un facteur déterminant du durcissement comme l'ont montré de nombreux auteurs [22,34]. Pour des dépôts « haut phosphore », augmenter la durée du traitement thermique n'a que très peu d'influence sur la dureté car la phase majoritaire est constituée de phosphure de nickel (figure I.10) [29].

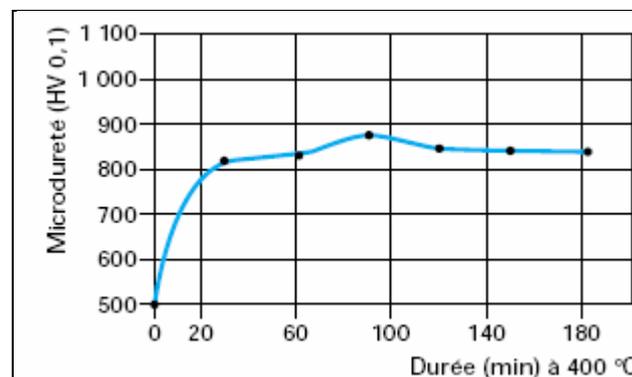


Figure I.10: Comportement d'un dépôt "haut phosphore" après traitement thermique.

Les dépôts « bas phosphore » se comportent différemment : en augmentant la durée de traitement thermique, on diminue la dureté (figure I.11). Le phénomène peut être expliqué par un phénomène de grossissement de grain [29].

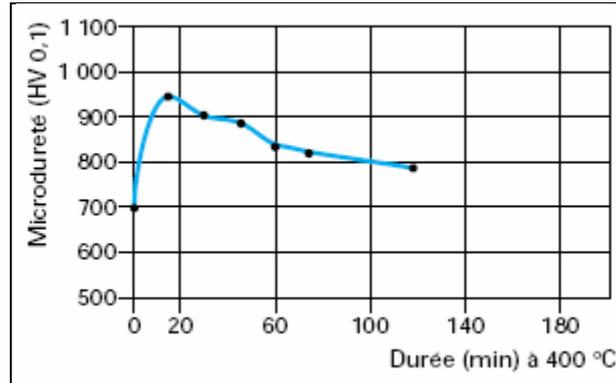


Figure I.11: Comportement d'un dépôt "bas phosphore" (à 2% at. de phosphore) après traitement thermique.

En résumé, la dureté des dépôts de nickel varie de 450 à 950 HV en fonction de la teneur en phosphore, de la durée ou de la température du traitement thermique.

I.4. Différentes modèles

I.4.1. Lois linéaire additive [35,36]

La dureté composite Pour le revêtement monocouche est donnée par la loi additive suivante :

$$H_C = aH_f + bH_s \quad (I.4.1)$$

$$a+b=1 \quad (I.4.2)$$

Avec :

$$a = \frac{V_f}{V_c} \quad , \quad b = \frac{V_s}{V_c}$$

V_c : Volume composite.

V_s : Volume de substrat.

V_f : Volume de film.

H_s : Dureté de substrat.

H_f : Dureté de film.

I.4.2. Lois de mélange aires

- **Modèle de Buckle**

Le premier modèle proposé par Buckle (1965), Figure I.8 considère un matériau divisé en douze (12) couches d'épaisseur égales à la profondeur de pénétration D , la couche i , participe à la dureté de l'ensemble [37].

D'après Buckle, la dureté composite, H_c , est obtenue à partir de la formule :

$$H_c = \frac{\sum_{i=1}^{12} P_i H_i}{\sum_{i=1}^{12} P_i} \quad (I.4.3)$$

d'où P_i : Poids de la couche i .

Pour un substrat homogène, à partir de dureté, H_s , revêtu par un film de dureté, H_f , et d'épaisseur t , la dureté composite est donnée par la formule :

$$H_c = aH_f + bH_s$$

a et b sont calculés à partir de l'équation (I.4.3)

$$a = \frac{\sum_{i=1}^k P_i}{\sum_{i=1}^{12} P_i} [H_f] \quad (I.4.4)$$

$$b = \frac{\sum_{i=k+1}^{12} P_i}{\sum_{i=1}^{12} P_i} [H_s] \quad (I.4.5)$$

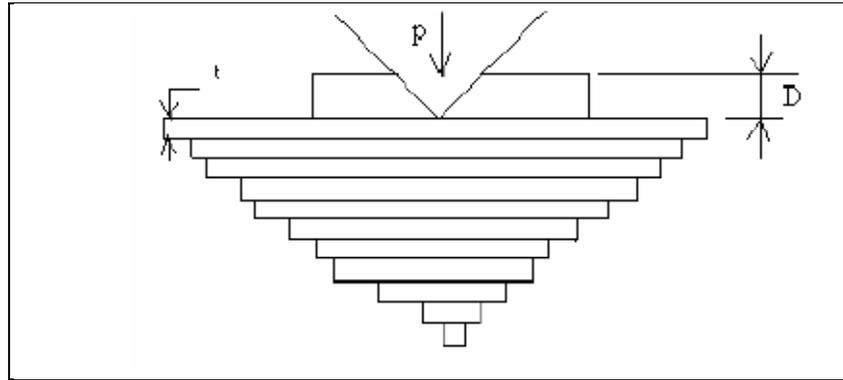


Figure I.12: Répartition empirique des poids dans les sous couche de la zone d'influence d'une empreinte d'après Buckle.

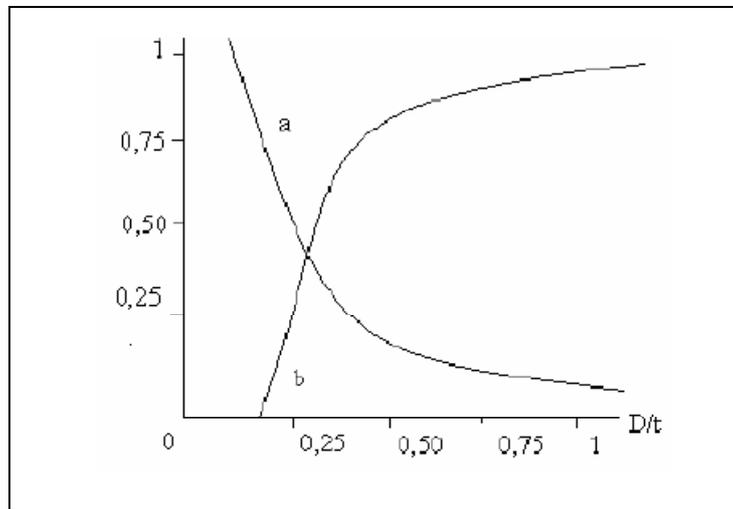


Figure I.13: Graphe des coefficients de pondération a et b introduite par Buckle.

- **Modèle de Jonsson et Hogmark**

Ce modèle, Figure I.14 est valable aux conditions suivantes :

- La mesure de la dureté composite (film et substrat) sous charges variables en microdureté.
- La modélisation de la dureté en supposant qu'elle est proportionnelle aux surfaces indentées.
- L'intégration de l'effet d'échelle par une représentation de la dureté en fonction de l'inverse de la diagonale de l'empreinte [38]. Ce modèle est aussi supposé une loi de mélange d'aires selon l'équation (I.4.1).

Pour l'empreinte pyramidale (pénétrateur Vickers) .L'aire projetée du film est :

$$S_f = \left(\frac{d}{\sqrt{2}}\right)^2 - \left(\frac{d}{\sqrt{2}} - 2x\right)^2 \quad (I.4.6)$$

L'aire projetée du substrat:

$$S_s = \left(\frac{d}{\sqrt{2}} - 2x\right)^2 \quad \text{D'où} \quad x = e \sin 22^\circ \quad (I.4.7)$$

L'aire projetée composite est :

$$S_c = \left(\frac{d}{\sqrt{2}}\right)^2 \quad (I.4.8)$$

Donc on a:

$$a = \frac{S_f}{S_c} = \frac{2Ce}{d} - C^2 \left(\frac{e}{d}\right)^2 \quad (I.4.9)$$

d : diamètre de l'empreinte.

e : épaisseur du film.

C :est une constante qui dépend de la déformation du film et d'après les résultats expérimentaux :

- Le premier cas (figure I.16) suppose que le film épouse la forme de l'empreinte, la constante C vaut la valeur de 1 ($C = 1$).
- Le deuxième cas (figure I.15) correspond à un film fragile $C = 0.5$.

De l'équation (I.4.1) et (I.4.2) on déduire la loi additive devienne :

$$H_C = H_S + a(H_f - H_S) \quad (I.4.10)$$

En remplaçant l'expression (I.4.9) dans l'équation (I.4.10) :

$$H_C = H_S + \left(2C \frac{e}{d} - \left(\frac{Ce}{d}\right)^2\right) (H_f - H_S) \quad (I.4.11)$$

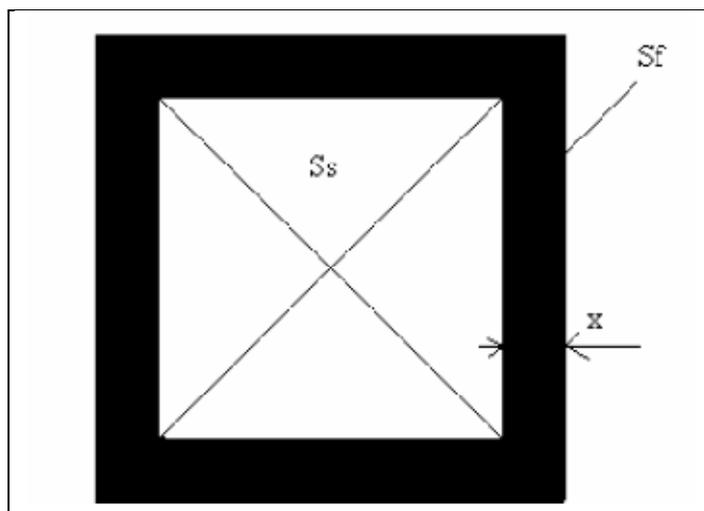


Figure I.14: Modèle géométrique de Jonsson et Hogmark.

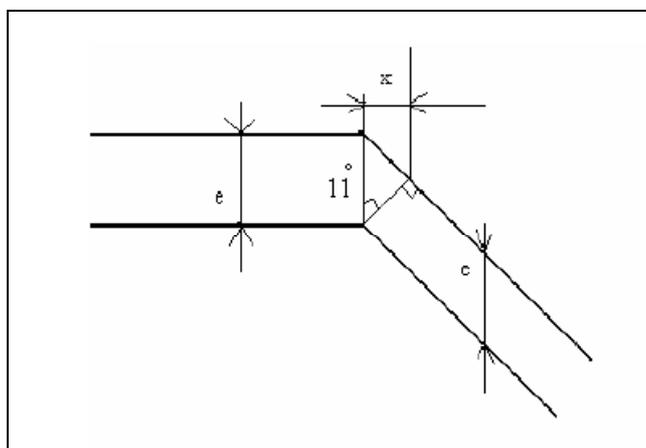


Figure I.15: Rupture du film ($C=0,5$).

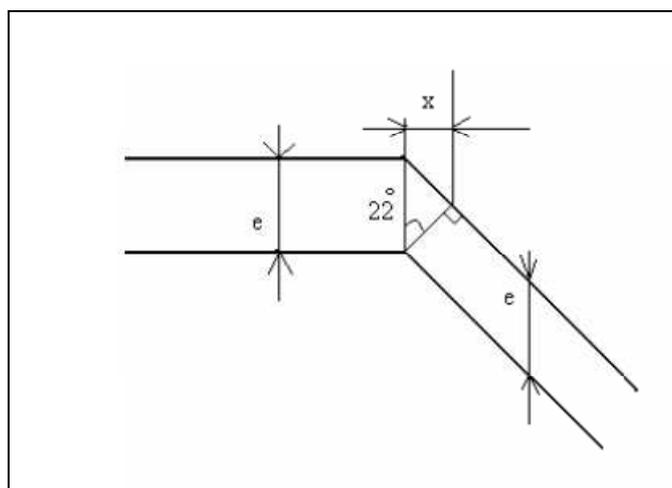


Figure I.16: Déformation plastique du film qui épouse la forme de l'empreinte ($C=1$).

- **Amélioration de Thomas et Vinsbo**

Le modèle du Hogmark et Jonsson est amélioré par Thomas et Vinsbo, Figure I.17 de la dépendance de la dureté avec la charge par l'intermédiaire de la formule :

$$H_v = H_0 + \frac{B}{d} \quad (\text{I. 4.12})$$

Thomas suppose que la dureté du substrat et de composite suivent cette équation :

$$H_s = H_{0s} + \frac{B_s}{d} \quad (\text{I. 4.13})$$

$$H_c = H_{0c} + \frac{B_c}{d} \quad (\text{I. 4.14})$$

H_s : Dureté du substrat.

H_c : Dureté du composite.

B_s : Constante dépend du substrat.

B_c : Constante dépend du composite.

d : diamètre de l'empreinte.

Pour $H_{0s} = H_{0c}$ en combinant les relations (I.4.13) et (I.4.14) avec la relation (I.4.11) il obtient:

$$H_f = H_{0s} + \frac{B_s}{d} + \frac{B_c - B_s}{2Ce - \frac{e^2 C^2}{d}} \quad (\text{I. 4.15})$$

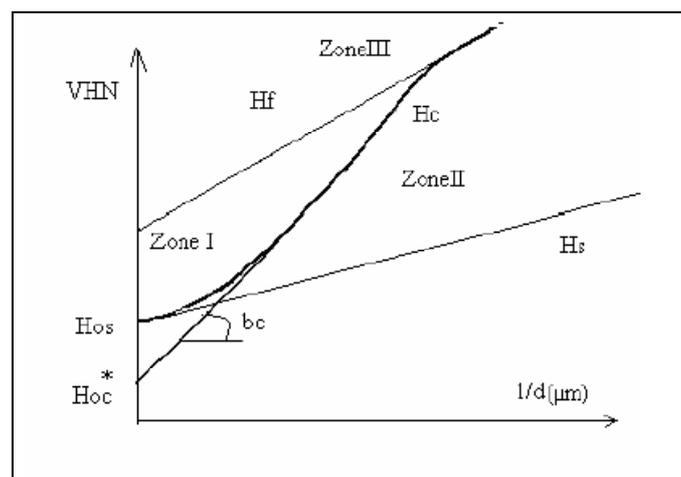


Figure I.17: Variation de la dureté avec l'inverse de la diagonale de l'empreinte
Pour un film épais.

- **Amélioration de Chicot et Lesage**

Chicot et Lesage critiquent le modèle de Jonson et Hogmark dans le cas des couches épaisses. Ils observent expérimentalement une variation de dureté du composite présentant un point d'inflexion, Figure I.18. Ils proposent de remplacer la constante C du modèle de Hogmark et Jonsson, par une fonction dépendant du rapport de l'épaisseur sur la diagonale de l'empreinte :

$$C = \left(\frac{e}{d}\right)^n \quad (I.4.16)$$

En remplaçant la fonction de la constante C dans l'équation (I.4.11) ils obtiennent :

$$H_C = H_S + \left(2 \left(\frac{e}{d}\right)^{n+1} - \left(\frac{e}{d}\right)^{2(n+1)}\right) (H_f - H_S) \quad (I.4.17)$$

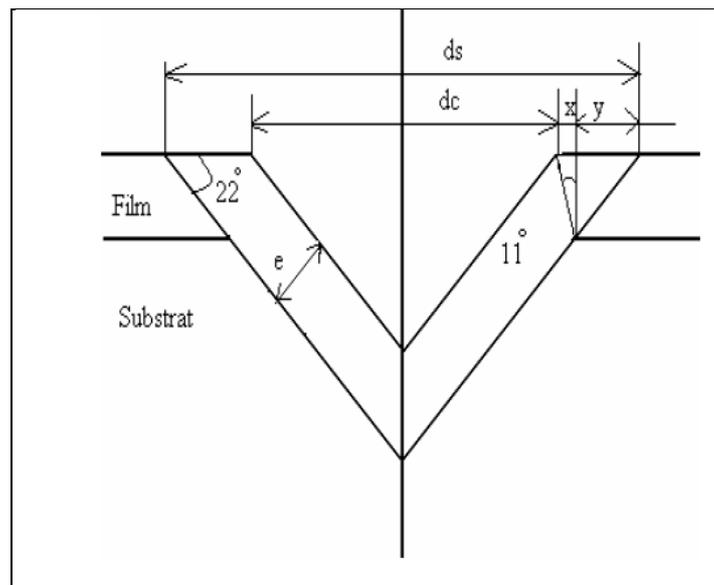


Figure I.18: Représentation de la déformation du film pour une pénétration supérieure à l'épaisseur du film.

I.4.3. Loi de mélanges en volume

Ce type du modèle est basé sur les mélanges des volumes déformés plastiquement. Sargent, Figure I.19 propose la loi de couplage suivante [39] :

$$H_c = \frac{V_f}{V_c} H_f + \frac{V_s}{V_c} H_s \quad (I.4.18)$$

Le volume composite est :

$$V_c = V_s + V_f \quad (I.4.19)$$

V_f : Volume déformée plastiquement de film.

V_s : Volume déformée plastiquement de substrat.

V_c : Volume composite déformée plastiquement.

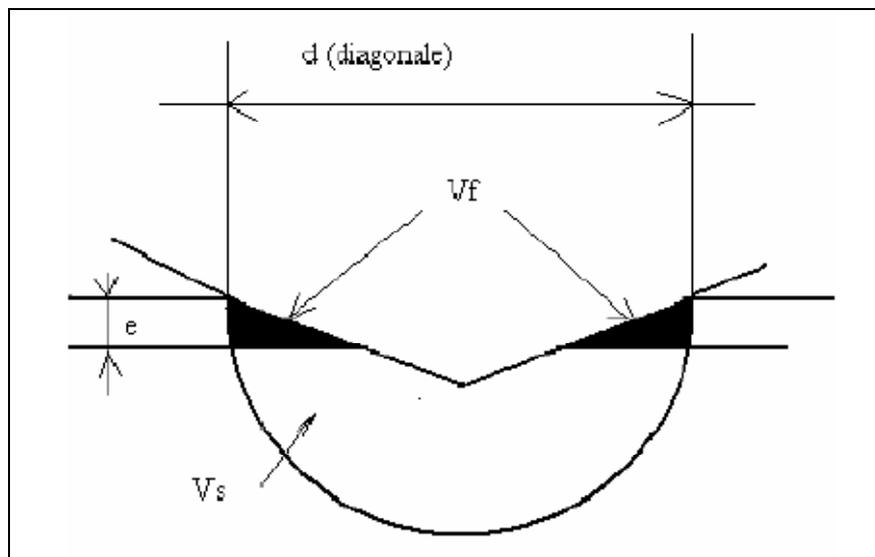


Figure I.19: Modèle de Sargent (la zone influencée par l'indenteur est une calotte sphérique dont le diamètre est la diagonale de l'empreinte).

- **Modèle de Burnett et Rickerby (1987)**

La modification des tailles des zones de déformation plastique engendrées par l'indenteur Vickers est introduite dans la loi additive (I.4.18) par l'intermédiaire d'un facteur χ :

$$H_c = \frac{V_f}{V_c} H_f + \chi^3 \frac{V_s}{V_c} H_s \quad \text{Si } H_s < H_f \quad (I.4.20)$$

$$H_c = \chi^3 \frac{V_f}{V_c} H_f + \frac{V_s}{V_c} H_s \quad \text{Si } H_s > H_f \quad (I.4.21)$$

$$V_c = V_f + \chi^3 V_s = V_s + \chi^3 V_f \quad (I.4.22)$$

Où χ est un paramètre empirique représente la variation de volume de la zone plastique en fonction de l'adhérence de l'interface [40], donc; il est de la forme :

$$\chi = \left(\frac{E_f H_s^-}{E_s H_f^-} \right)^q \quad (I.4.23)$$

H_s^- et H_f^- sont les duretés caractéristiques du substrat et du film pour une diagonale d'empreinte fixe.

E_s : Module de Young pour substrat.

E_f : Module de Young pour film.

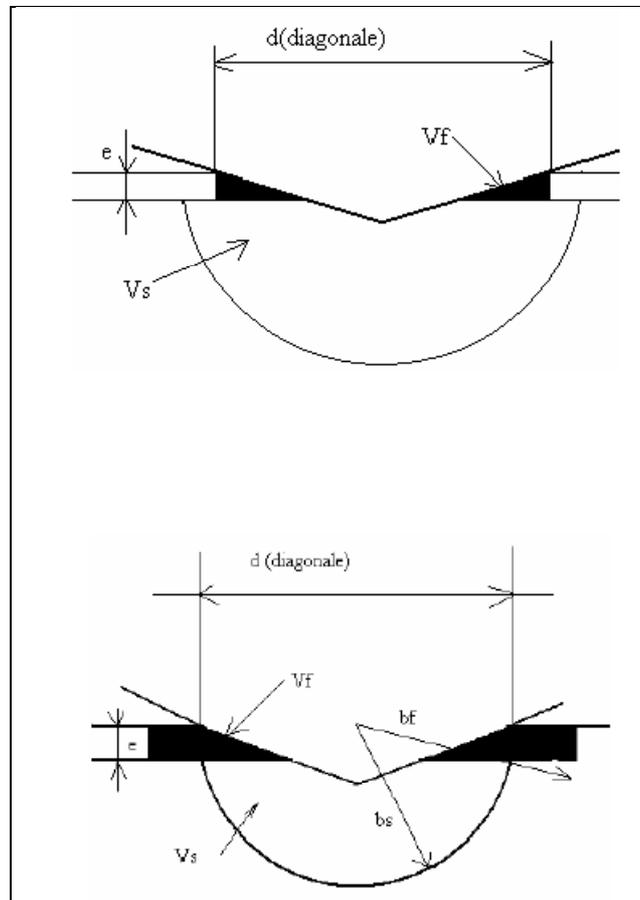


Figure I.20: Représentation des zones déformées plastiquement par le pénétrateur Vickers.

- **Modèle de Chicot et Lesage (1995)**

Chicot et Lesage considèrent que les zones déformées plastiquement dans le substrat et le revêtement sont modifiées, par rapport à ce qu'elles seraient dans un matériau homogène, et se combinent suivant une loi de couplage en série. La dureté du composite s'écrit comme suit:

$$H_c = a^- H_f + b^- H_s \quad (I.4.24)$$

$$a^- + b^- = 1 \quad (I.4.25)$$

Le coefficient pondérateur, a^- et b^- , s'écrivent :

$$a^- = \frac{1}{2} \left(\frac{V_{ff}}{V_f} + \frac{V_{sf}}{V_s} \right) = \frac{3e}{4} \left(\frac{b_s + b_f}{b_f b_s} \right) \quad (I.4.26)$$

$$b^- = \frac{1}{2} \left(\frac{V_{fs}}{V_f} + \frac{V_{ss}}{V_s} \right) \quad (I.4.27)$$

En combinant les relations (I.4.26) et (I.4.27) avec la relation (I.4.24) il obtient :

$$H_c = \frac{1}{2} \left(\frac{V_{ff}}{V_f} + \frac{V_{sf}}{V_s} \right) H_f + \frac{1}{2} \left(\frac{V_{fs}}{V_f} + \frac{V_{ss}}{V_s} \right) H_s \quad (I.4.28)$$

Avec

$$V_s = V_{sf} + V_{ss} \quad (I.4.29)$$

$$V_f = V_{fs} + V_{ff} \quad (I.4.30)$$

Les volumes déformés V_i et V_{if} sont assimilés à des calottes hémisphériques ou cylindriques :

Pour $i = S, f$ on a :

$$V_i = \frac{2}{3} \pi b_i^3 \quad (I.4.31)$$

$$V_{if} = \pi b_i^2 e \quad (I.4.32)$$

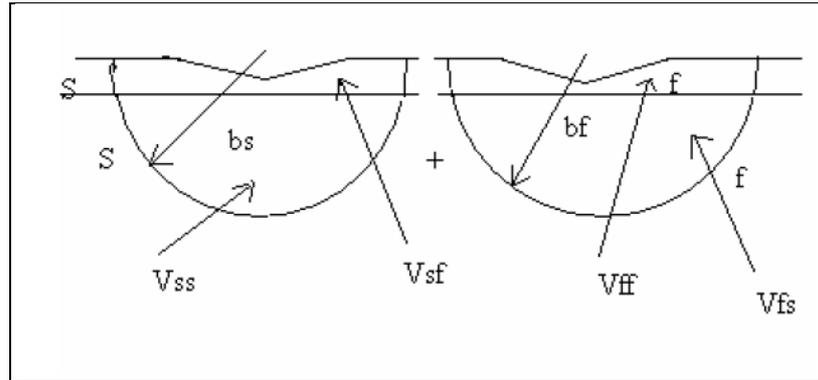


Figure I.21: Loi de couplage en série selon Chicot et Lesage.

Conclusion

L'étude la dureté des matériaux est très importante, elle est basée sur leurs méthodes d'essai et permet de mesurer la résistance mécanique de ces matériaux. L'expérience a montré que les propriétés physiques (mécaniques, et thermiques) sont largement influencées sur le matériaux.

Nous présentons dans les chapitres qui suivent le système de mesure assisté par ordinateur C.A.M.S visualiser les empreintes d'essai réalisées par un appareil pour essais de microdureté.

Introduction

Ce chapitre est consacré à la description des différentes fonctions du logiciel C.A.M.S.

A cet effet, on va examiner les points suivants :

- Fonctionnement de base.
- Fonctions barre de menu-fichier et Fonctions de l'écran principal.
- Menu de visualisation et de configuration.
- Opérations de déplacement manuelles et automatiques.

II.1 Fonctionnement de base

II.1.1 Principe de fonctionnement

Le système de mesure assisté par ordinateur C.A.M.S de Newage Instruments utilise une caméra vidéo connectée à un PC de manière à visualiser les empreintes d'essai réalisées par un appareil pour essais de microdureté. Le système opère indépendamment de l'appareil avec lequel il est connecté. Le PC ne contrôle aucune des fonctions mécaniques ou électroniques de l'appareil pour essais de dureté, Il s'agit uniquement d'un système de visualisation et mesure et enregistrement de données.

Le système C.A.M.S peut être utilisé en mode de mesure manuel ou automatique. En mode manuel, l'opérateur choisit les points de mesure utilisés par le programme pour calculer les valeurs de dureté ou pour la mesure. En mode automatique, le système scanne l'empreinte et localise les points de mesure.

La précision obtenue, spécialement en mode de mesure automatique optionnel, peut être largement influencée par l'état de surface de la pièce d'essai. Les propriétés réfléchissantes du matériau peuvent affecter les performances du système en mode automatique ainsi que la capacité de l'opérateur à déterminer des points de mesure précis en mode manuel. Une surface polie donnera les meilleurs résultats.

II.1.2 Procédures de mesure d'essai

- ***En cas de systèmes de mesure automatiques***

Il est nécessaire d'effectuer un test à l'aide de l'appareil d'essai de microdureté conformément aux instructions spécifiées dans le mode d'emploi de l'appareil. Une fois le test terminé, se reporter à la notice d'instructions concernant la commutation de l'appareil d'essai en

position de mesure (oculaire). Lorsque 'appareil d'essai est placé sur la position de mesure, l'image de l'empreinte doit apparaître à l'écran C.A.M.S.

Cliquer sur le bouton 'Measure'. Les lignes définissant l'empreinte apparaîtront. Si ces dernières sont correctement placées, accepter la mesure en cliquant sur le bouton 'Accept'. La lecture sera affichée avec la désignation de l'échelle spécifiée dans le coin supérieur gauche ainsi que la valeur convertie selon l'échelle alternée.

Si le positionnement automatique des lignes s'avère imprécis, l'opérateur peut repositionner manuellement les lignes à l'aide de la souris en déplaçant les lignes jusqu'à leur position correcte ou en cliquant, à l'emplacement correct, soit sur le bord de l'empreinte. Nous pressons sur le bouton 'Accept' pour achever le test.

Il est possible de sélectionner les options du menu de visualisation 'View' à partir de la barre de menu principal pour visualiser les données.

- ***En cas de mesure manuelle***

Après avoir réalisé un essai à l'aide de l'appareil et une fois l'image de l'empreinte à mesurer affichée à peu près au centre du moniteur, les lignes peuvent être positionnées manuellement sans utiliser le bouton 'Measure'.

L'opérateur doit réaliser un ajustement comme pour le positionnement des bords de l'empreinte puis cliquer en haut, en bas, à droite et à gauche à l'aide de la souris. Le petit repère X situé au centre de l'écran doit se trouver dans la zone de l'image à mesurer. Si l'orientation d'une empreinte de knoop ne correspond pas avec orientation des lignes, l'opérateur doit alors changer l'orientation en sélectionnant le bouton Update.

II.2 Fonctions barre de menu-fichier

La barre de menu principal située en haut de l'écran comporte 5 sélections : 'File' (Fichier), 'View' (Visualisation), 'Setup' (Configuration), 'Data' (Données) et 'Help' (Aide). Il est possible d'y accéder à l'aide de la souris en cliquant sur la sélection. Cliquer sur une des sélections afin d'ouvrir son menu individuel. Le menu File consiste en 7 fonctions différentes : 'New' (nouveau), 'Open' (Ouvrir), 'Close' (Fermer), 'Print' (Imprimer), 'Print Preview' (Aperçu avant impression), 'Print Setup' (Configuration de l'impression ou mise en page) et 'Exit' (Quitter). La liste des quatre derniers fichiers utilisés est également spécifiée.

II.2.1 Créer un nouveau fichier

- Sélectionner la fonction 'New' (Nouveau) dans le menu 'File' (Fichier). La boîte de dialogue (Créer un nouveau fichier) d'essai apparaîtra.
- Saisir le nom du fichier (8 caractères maximum) en utilisant l'extension .CSV. Sélectionner le bouton OK (ou presser sur Enter).

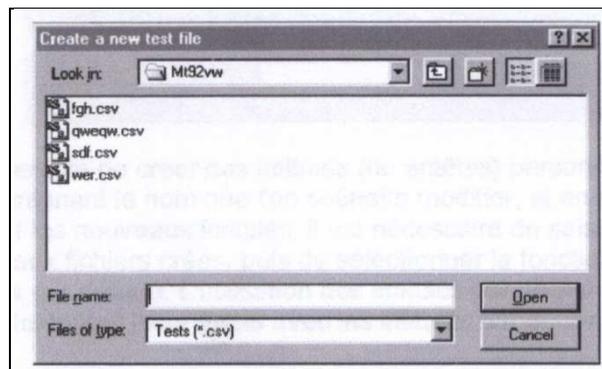


Figure II.1: Création un nouveau fichier.

- Le programme questionne l'utilisateur quant au jeu de paramètres à utiliser. Il est alors possible de sélectionner l'option 'Use Current Parameters' (Utilisation des paramètres courants) pour entrer les paramètres de fichier provenant du tout dernier fichier utilisé. Le programme demande ensuite de spécifier un nouveau commentaire. Si l'option 'Enter New Parameters' est sélectionnée, il est possible de configurer un jeu de paramètres entièrement nouveaux. Enfin, il est possible de sélectionner l'option 'Retrieve Parameters' (Restauration de paramètres) (optionnel - cette option apparaît grisée lorsque non activée). Lorsque activée, le programme demande à l'utilisateur d'entrer le nom de fichier à partir duquel il est possible de restaurer les paramètres. Il est également possible d'entrer un nouveau commentaire pour cette sélection.

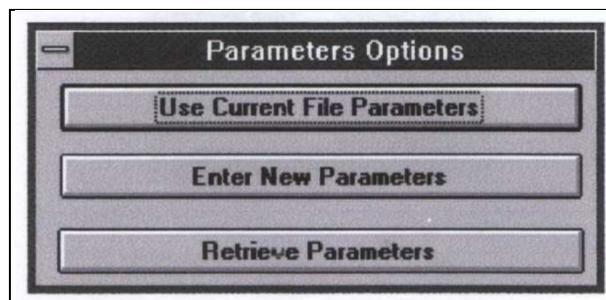


Figure II.2: Différents paramètres d'options.

Le programme demande ensuite à l'utilisateur des informations concernant le fichier de données de la pièce d'essai (Data Part File Information). Ces informations peuvent être utilisées pour

conserver un numéro de pièce, une description, un numéro de commande, des commentaires, etc., en relation avec ce fichier. Ces intitulés apparaîtront à l'impression. Aucune entrée de données n'est requise. Sélectionner simplement OK une fois la saisie terminée.

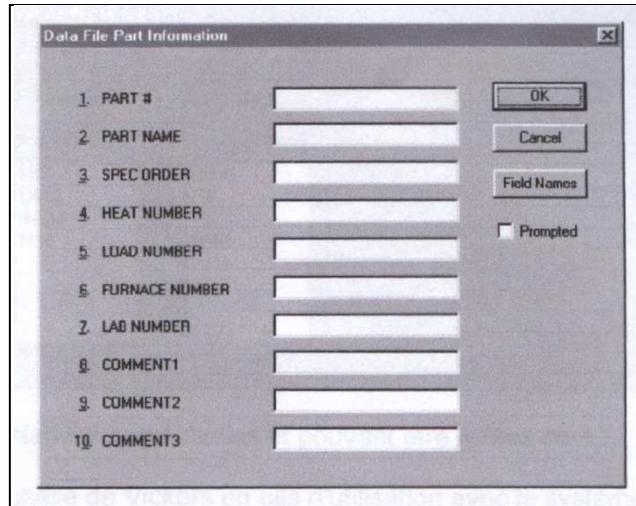


Figure II.3: Informations d'un fichier des données d'essai.

Cocher la case 'Prompted' à l'aide du curseur de la souris entraînera l'affichage de cet écran après chaque essai de sorte que l'opérateur puisse entrer les données requises. Cette fonction s'applique uniquement à un essai à un seul point et non en cas d'essai avec déplacement.

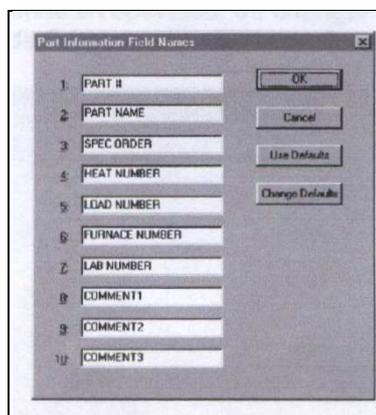


Figure II.4: Affichage de l'écran après chaque essai.

- La boîte de dialogue suivante correspond à la fonction 'Select New Scale' (Sélectionner une nouvelle échelle). Choisir une échelle parmi celles listées sur la gauche en la sélectionnant au moyen de la souris. Si l'opérateur souhaite obtenir la conversion automatique des résultats de l'essai selon une échelle différente, sélectionner une des échelles converties listées sur la droite.

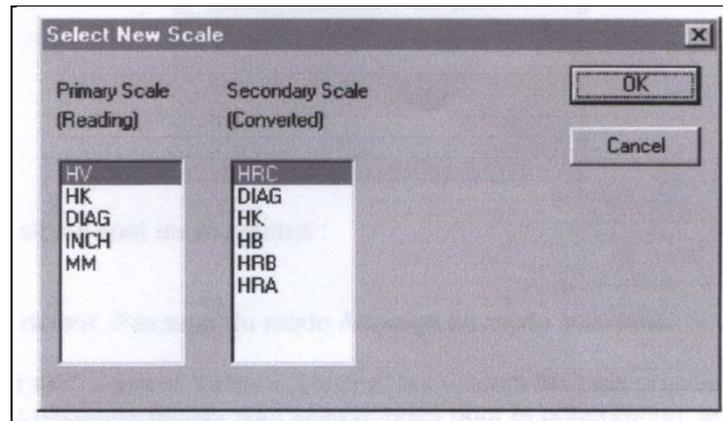


Figure II.5: Fonction de sélectionner une nouvelle échelle.

Les abréviations relatives aux échelles et pouvant être listées sont:

- HV = Echelle de Vickers en cas d'utilisation avec le système CAMS.
- HK = Echelle de Knoop en cas d'utilisation avec le système CAMS.
- DIAG = Programme de vérification (Optionnel, Voir les Annexes).
- HB = Echelle Brinell pour système BOSS.
- INCH = Mesure en pouces en cas de mesure linéaire.
- MM = Mesure en millimètres en cas de mesure linéaire.
- HRC = Echelle C de Rockwell.
- HRB = Echelle B de Rockwell.

Sélectionner OK une fois l'échelle choisie.

L'échelle ne peut pas être changée en cas de fichier de données contenant des résultats d'essai. Il sera demandé à l'opérateur de changer de fichier si celui-ci tente de changer les échelles en cas de fichier comportant des données.

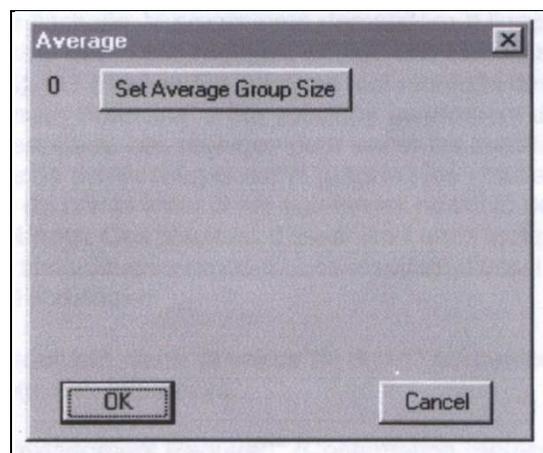


Figure II.6: Operateur de change les échelles.

- Après avoir sélectionné l'échelle, il est demandé à l'opérateur de sélectionner le mode de pondération (Averaging). L'opérateur peut sélectionner l'enregistrement des moyennes de plusieurs essais plutôt que d'essais individuels. Presser sur le bouton 'Set Average Group Size' (Réglage de la taille du groupe à pondérer). Une nouvelle boîte de dialogue s'ouvre et permet à l'opérateur de saisir la taille du groupe. Si la taille du groupe est entrée, alors un autre menu apparaît. Ce menu permet à l'opérateur de faire quatre choix quant à la manipulation de pondération.

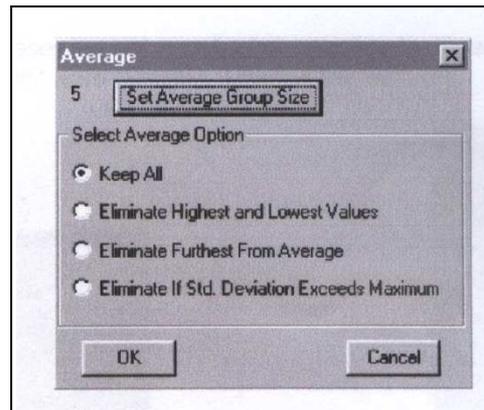


Figure II.7: Réglage la taille du groupe.

Les sélections possibles sont les suivantes:

- *Keep all* (Aucune): Réglage par défaut. Passage du mode Average au mode standard.
- *Eliminate Highest and Lowest Values* (Éliminer les valeurs les plus grandes et les plus petites): Lorsque 3 ou plusieurs essais sont sélectionnés pour la pondération, le système éliminera les valeurs les plus grandes et les plus petites pour le calcul de la moyenne du groupe. Par exemple, si la moyenne est réglée pour 5, alors 3 résultats seront pris en compte lors du calcul. Si une moyenne de 2 est sélectionnée alors la fonction de pondération n'a aucun effet.
- *Eliminate furthest from the average* (Éliminer l'essai le plus éloigné de la moyenne): Une fois l'essai terminé, le système calcule la moyenne et élimine celui s'éloignant le plus de la valeur moyenne. Si une moyenne de 2 est sélectionnée, la fonction de pondération n'a alors aucun effet.
- *Eliminate me furthest from maximum standard deviation* (Éliminer l'essai le plus éloigné de la déviation standard maximale): Le programme demande à l'opérateur d'entrer une valeur de déviation standard maximale. Lorsque l'essai est réalisé, la valeur la plus éloignée de la déviation standard admissible est éliminée. Si toutes les valeurs se trouvent dans la déviation standard, alors aucune valeur n'est éliminée.

- Après avoir sélectionné l'échelle, le programme demandera à l'opérateur de régler les tolérances. Le programme utilise ces réglages en vue des calculs statistiques ainsi que pour les indications HI (Haut), LO (Bas) et OK relatives aux résultats des essais individuels. Lorsque l'option 'Advanced Statistics' a été spécifiée au moment de l'acquisition du logiciel, la fonction X-Bar/R Chart utilise ces réglages pour tracer les résultats d'essai haut et bas, représentés sous forme de points rouges sur le graphe ; les résultats d'essai 'acceptables' sont tracés sous forme de points verts. Il est également possible de spécifier une valeur d'avertissements bas et haut. Ces résultats d'essai sont alors indiqués en couleur grise au niveau de la sortie des statistiques avancées. Les résultats d'essai d'avertissement n'affectent pas le calcul statistique.

Sélectionne le bouton souhaité, saisir la valeur de dureté puis sélectionner OK. Répéter cette séquence pour le réglage des tolérances.

Lorsque la case 'Acknowledgment Required' (Confirmation requise) est cochée, l'opérateur devra répondre à chaque fois que se produit un résultat hors tolérance. L'opérateur peut également entrer la valeur de vérification d'erreur par défaut pour limiter la taille relative des deux axes sur l'échelle de Vickers. La case 'Audible Alarm' (Alarme sonore) permet de générer un signal sonore lorsque le résultat est hors tolérance.

Les opérateurs peuvent également ajuster le réglage de tolérance par défaut qui contrôle la différence admissible entre les deux étendues axiales de Vickers. Une valeur quelconque peut être saisie. Saisir ou laisser les valeurs à zéro entraîne la désactivation de la fonction 'Tolérance'. Le statut OK sera assigné à toutes les lectures.

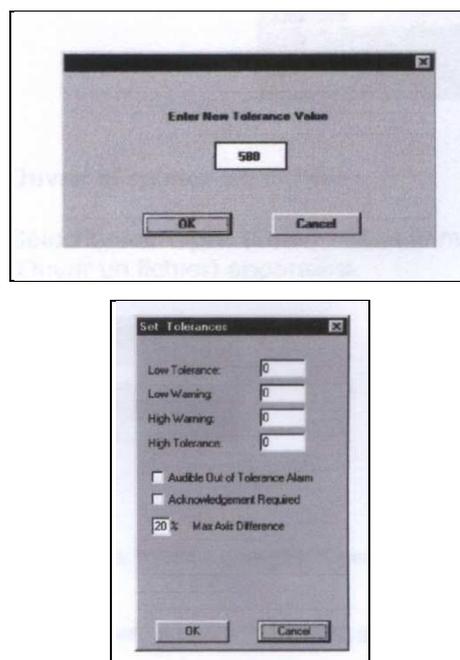


Figure II.8: Operateur de réglage de tolérance.

Après avoir réglé les valeurs de tolérance, il est nécessaire de sélectionner OK pour procéder.

- Ensuite, l'opérateur peut mettre à jour les paramètres d'essai Charge et objectif de la caméra. Il est important de sélectionner les paramètres corrects pour l'échelle en fonction de laquelle l'essai sera effectué via l'appareil d'essai de dureté. Sinon, le résultat final de la mesure d'essai sera incorrect.

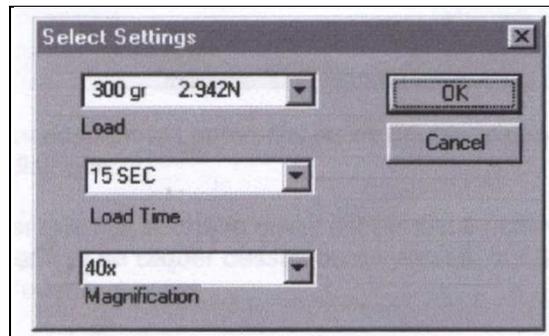


Figure II.9: Différentes paramètres d'essai.

Il suffit de cliquer sur les flèches à l'aide de la souris pour modifier les valeurs par défaut. Une sélection de toutes les valeurs possibles s'affichera. Pour chaque échelle, l'opérateur sélectionne alors les sélections disponibles affichées. Il est ainsi possible de modifier les sélections correspondant à la charge, à la durée et au grossissement.

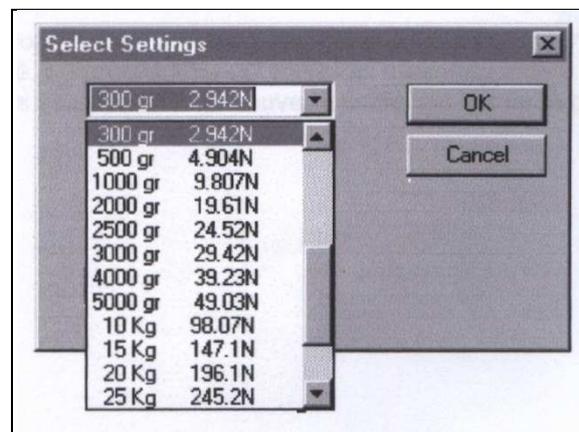


Figure II.5: Affichage de valeurs des charges.

- Enfin, l'opérateur a l'opportunité d'entrer un commentaire. Ce commentaire s'applique à l'ensemble des fichiers de configuration et est utilisé pour les rapports.

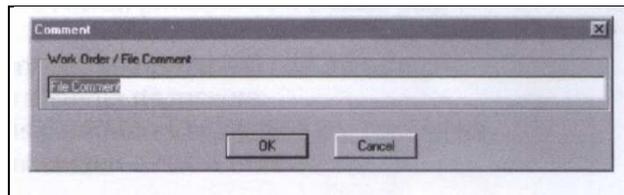


Figure II.5: Operateur de commentaire.

II.2.2 Ouvrir et quitter un fichier

- Sélectionner 'Open' (Ouvrir) dans le menu 'File' (Fichier). La boîte de dialogue 'Open File' (Ouvrir un fichier) apparaîtra.
- Choisir le fichier que l'on souhaite ouvrir en le sélectionnant dans la liste située à gauche au moyen de la souris ou en saisissant le nom du fichier.
- Ouvrir le fichier en sélectionnant le bouton OK ou en double cliquant sur le nom spécifié dans la liste de la boîte de dialogue.

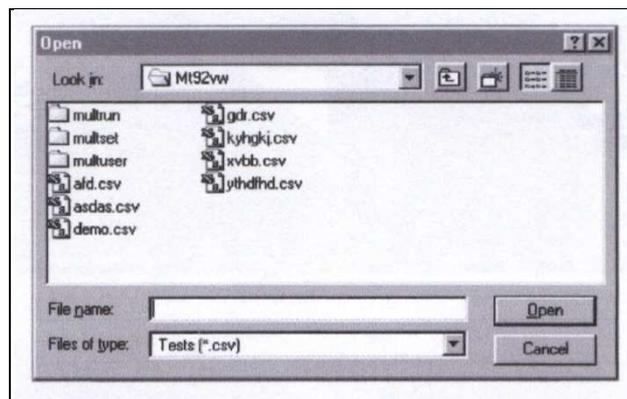


Figure II.10 : Méthodes d'ouvrir et quitter un fichier.

II.2.3 Fermer un fichier ouvert

- Sélectionner la fonction 'Close' (Fermer) dans le menu 'File' (Fichier). Le fichier est immédiatement fermé. Le programme est toutefois maintenu activé et affiché à l'écran. L'opérateur peut alors sélectionner un nouveau fichier ou quitter le programme.

II.3 Fonctions de l'écran principal

Les éléments de menu de l'écran principal sont utilisés pour:

- le positionnement des points d'essai et de mesure.
- la calibration du système de mesure.

- l'accès à certains paramètres ajustables par l'opérateur.
- les essais à point uniques.

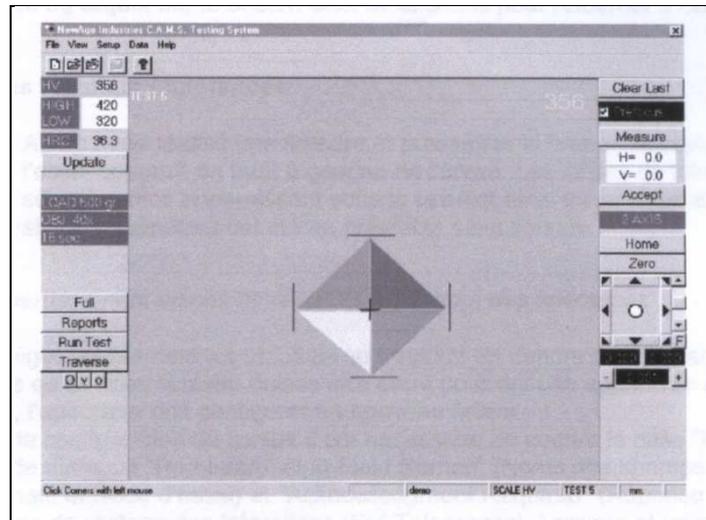


Figure II.11: Différents fonctions de l'écran principal.

II.3.1 Prise des mesures

- **Mesure automatique**

La fonction de mesure est optionnelle en cas de système C.A.M.S utilisant les échelles HV et HK. Elle n'est pas présente en cas d'échelles de mesure linéaires, IN et MM.

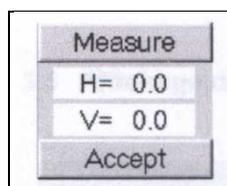


Figure II.12: Option de mesure la dureté Vickers ou knoop.

Nous Pressons sur le bouton 'Measure' pour effectuer automatiquement la mesure d'une empreinte Vickers ou Knoop. La mesure résultante apparaît pour les deux échelles horizontale 'H' et verticale 'V' en microns (figure II.4). Les lignes de mesure apparaissent lorsque le bouton 'Measure' est sélectionné. Il est possible de les repositionner en cas de positionnement incorrect.

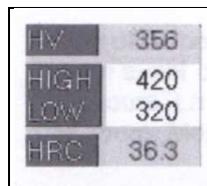
Le repositionnement est accompli en cliquant puis en déplaçant les lignes ou en cliquant sur l'emplacement correct de la ligne. Il possible presser sur le bouton 'Accept' pour valider la mesure.

- **Mesure manuelle**

Les lignes de mesure peuvent être positionnées manuellement sans utiliser le bouton 'Mesure'. L'opérateur est seul juge de l'emplacement correct des bords de l'empreinte. Pour cela, il doit cliquer au dessus, en dessous, à droite et à gauche de l'empreinte à l'aide de la souris.

II.3.2 Affichage des résultats / tolérances

Après avoir réalisé une mesure et pressé sur le bouton 'Accept', le résultat de l'essai apparaît en haut à gauche de l'écran. Les limites de tolérance sélectionnées apparaissent sous le résultat ainsi qu'un résultat d'essai converti, si ces paramètres ont été au préalable sélectionnés.

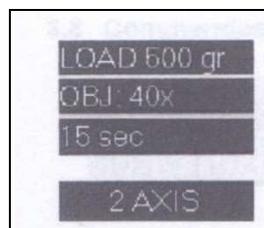


HV	356
HIGH	420
LOW	320
HRC	36.3

Figure II.13: Affichage les limites de résultat de dureté Vickers.

II.3.3 Affichage des paramètres d'essai

Les données de charge, de grossissement de l'objectif et de durée de temporisation de l'essai sélectionné apparaissent sur la gauche de l'écran. En outre, l'axe de mesure apparaît sur le côté droit de l'écran deux axes pour Vickers, axe 'H' ou axe 'V' pour Knoop. L'opérateur a la possibilité d'établir ces valeurs lors de la configuration d'un nouveau fichier. Des changements peuvent être effectués via le bouton Update si l'opérateur souhaite modifier des paramètres au niveau du fichier de configuration des données.



LOAD 500 gr
OBJ. 40x
15 sec
2 AXIS

Figure II.14 : Différents paramètres d'essai de dureté Vickers.

II.3.4 Mode Plein Ecran

Le mode Plein Ecran 'Full Screen' permet à l'opérateur de visualiser l'écran avec l'image représentant le spécimen d'essai avec seulement une petite zone couverte par les commandes opérationnelles les plus basiques.



Figure II.15 : Le mode Plein Ecran.

Il y a deux boutons uniques à l'écran : le bouton 1X et le bouton 2X permettant d'effectuer un zoom avant ou arrière de manière à visualiser plus nettement l'empreinte et/ou les zones alentours. La fonction de Capture d'écran optionnelle est également contrôlée via les boutons de zoom.

II.3.5 Mise à jour des paramètres d'essai

- **Modification de la charge, du temps de charge et du grossissement**

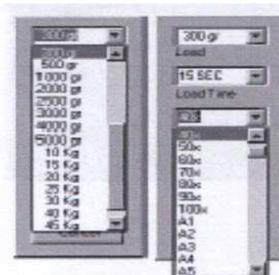
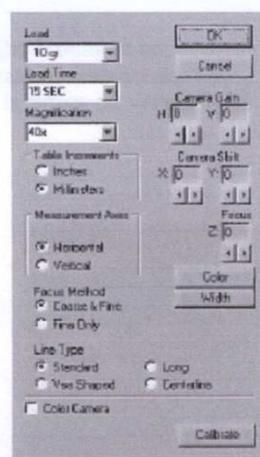


Figure II.16: Mise à jour de la charge, du temps de charge et du grossissement.

Dans cette fenêtre, l'opérateur peut cliquer à l'aide de la souris sur les sélections correspondant à la Charge 'Load', au Temps de Charge 'Load Time' ou au Grossissement de manière à choisir une autre option. Une liste de toutes les sélections possibles pour chaque variable est affichée sous forme d'une fenêtre déroulante.

Les modifications apportées à ces sélections entraînent uniquement la modification des réglages de l'appareil d'essai si cette option a été choisie au moment de l'acquisition du système. Sinon l'opérateur doit également effectuer ces changements au niveau du système d'essai de micro dureté.

II.4 Barre de menu

II.4.1 Menu de visualisation

- Logiciel de calcul de statistiques avancées

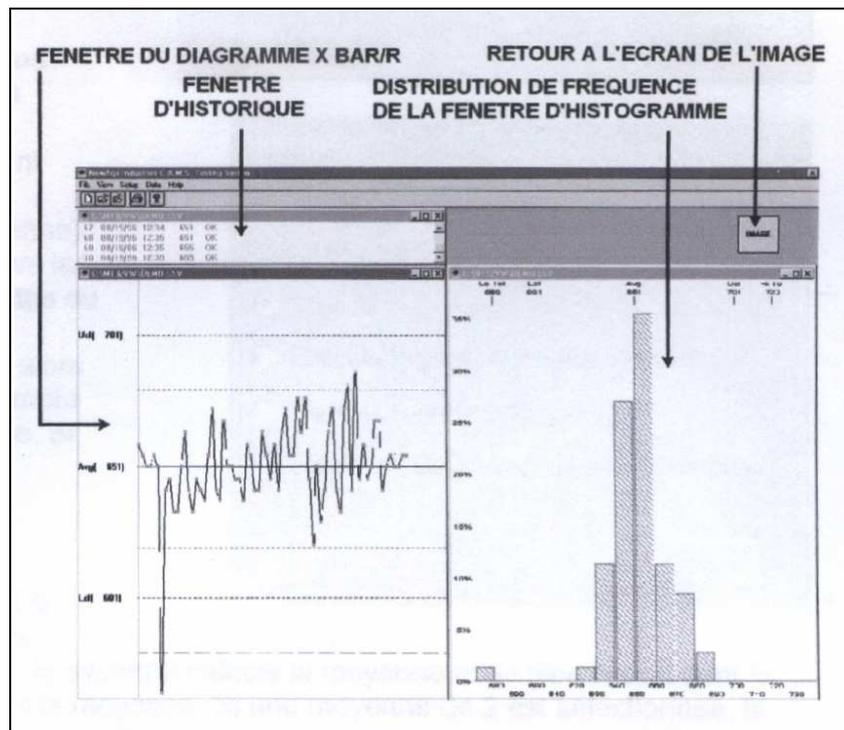


Figure II.17 : Ecran de visualisation des statistiques avancées.

L'option de menu 'View' (Visualisation) consiste en 7 fonctions différentes:

- *X Bar / R Chart* : affiche la fenêtre du graphe X Bar / R.
- *Histogram*: affiche la fenêtre d'histogramme.
- *Tile* : permet de redimensionner et de réorganiser toutes les fenêtres ouvertes de sorte qu'elles puissent être visualisées en même temps à l'écran.
- *Auto Tile* : permet de redimensionner et de réorganiser automatiquement les 4 fenêtres de sorte qu'elles puissent être visualisées en même temps à l'écran.
- *La barre d'outils et la barre d'état* : sont les mêmes que dans le logiciel standard.

II.4.2 Menu de configuration (Setup)

- *Menu de calcul de moyenne (Option)*

L'opérateur peut choisir d'enregistrer les moyennes de plusieurs essais plutôt que les essais individuels. Le fichier de données doit être vide pour pouvoir entrer ou modifier une taille de groupe de moyenne. Si des résultats d'essai se trouvent déjà dans le fichier, le bouton 'Set Average Group Size' n'apparaîtra pas activé.

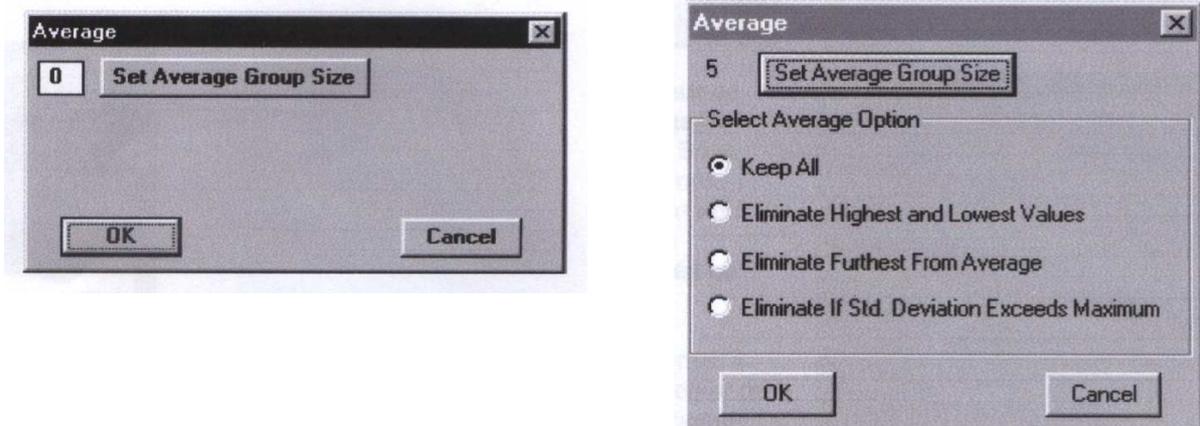


Figure II.18 : Menu de calcul de moyenne

Pour utiliser la fonction de pondération, il est d'abord nécessaire d'ouvrir un nouveau fichier ou d'effacer toutes les données d'un fichier existant. Sélectionner la première option dans le menu 'Setup : Average'. Presser sur le bouton 'Set Average Group Size'. Une nouvelle fenêtre s'ouvre et permet à l'opérateur d'entrer une taille de groupe.

Une fois la taille du groupe entrée, un autre menu apparaît. Ce menu permet à l'opérateur de faire quatre choix concernant le calcul de la moyenne.

- **Configuration de l'essai**

La fonction 'Test Setup' permet d'entrer certains paramètres utilisés pour les rapports et le stockage des données. La boîte 'Company Name' (Nom de la société) permet de saisir jusqu'à trois lignes de caractères. Ce nom apparaîtra en haut de tous les rapports. La boîte 'Top margin' (marge supérieure) permet à l'opérateur de contrôler le nombre de ligne blanche qu'il est nécessaire d'entrer en entête de formulaire. La boîte de dialogue 'Work order' (Commande de tâche) / 'File Comment' (Commentaire relatif au fichier) apparaît également en partie supérieure du rapport imprimé.

L'option 'Traverse Result' permet à l'opérateur de régler une valeur par défaut pour la sauvegarde des translations. Si l'opérateur sélectionne 'Save Optional', une fenêtre s'ouvrira et le programme demandera à l'opérateur de sauvegarder ou non les résultats après la translation. Sinon, les résultats sont automatiquement sauvegardés ou non selon la sélection effectuée.

L'option 'Network Drive' (lecteur réseau) permet à l'opérateur de copier automatiquement le fichier de données actuel vers un emplacement additionnel. La fonction de copie de données survient à chaque fois qu'un fichier est fermé.

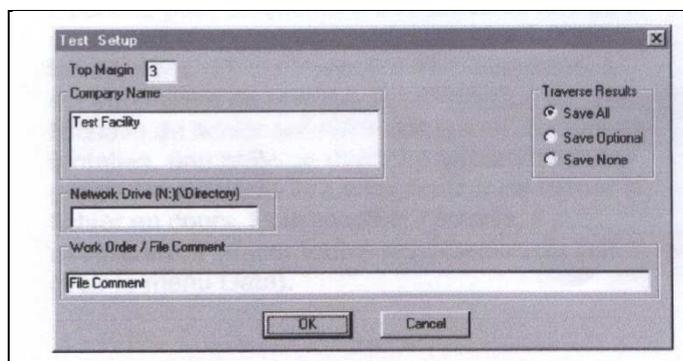


Figure II.19 : Différentes options de Configuration de l'essai.

II.5 Opérations de déplacement

II.5.1 Opérations de déplacement manuelles

Les opérateurs du système manuel peuvent lire cette courte partie afin de mieux comprendre leur système. Ils pourront ensuite poursuivre avec le reste du document tout en sachant que le programme leur demandera certaines manipulations non spécifiées dans la partie concernant le déplacement motorisé.

Durant la routine de test de déplacement et lorsque les essais sont en cours d'exécution, le programme demande à l'opérateur d'effectuer un mouvement vers l'origine et de sélectionner la direction de l'essai, de tourner ensuite la tourelle vers chaque point selon la séquence utilisée par la routine de test du système motorisé.

Il est convenu que l'opérateur remettra à zéro les micromètres au point d'origine de telle sorte que les valeurs apparaissant au niveau du micromètre correspondent avec celles à l'écran.

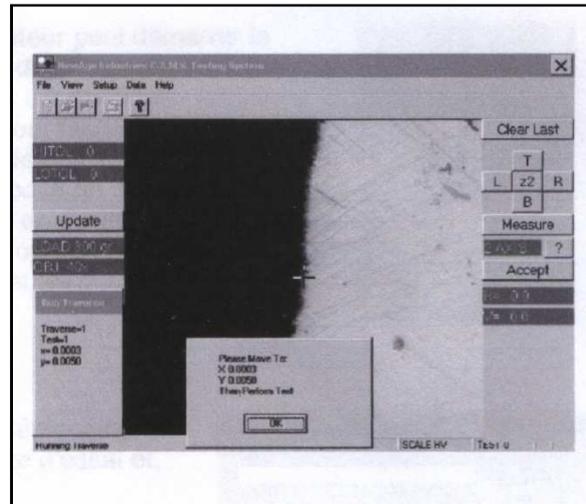


Figure II.20 : Effectuation un mouvement et de sélectionner la direction de l'essai.

Un affichage échantillon concernant la demande de positionnement du programme destinée à l'opérateur, et apparaissant durant la séquence, est présenté ci-dessous (Figure. II.21).

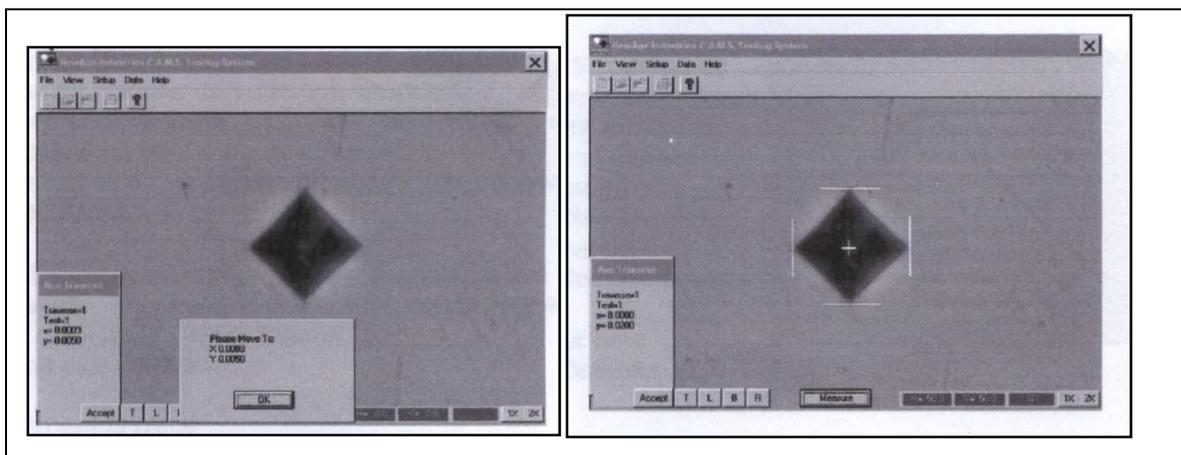


Figure II.21 : Affichage l'empreinte de l'échantillon et positionnement destinée à l'opérateur.

Après que les essais aient été réalisés, l'opérateur est alors ramené en amère via même séquence de positions de manière à lire les diamètres des empreintes tout en précisant chaque position de coordonnée.

Une autre différence mineure concernant la mesure. En effet, cette dernière est effectuée en mode plein écran 'Full screen' ce qui offre une meilleure visualisation de la surface d'essai en vue du positionnement. Tous les boutons nécessaires sont disposés de manière légèrement différentes, mais les fonctions restent les mêmes.

II.5.2 Opérations de déplacement automatiques

Ces fonctions offrent de nombreuses options pour la création, l'édition et l'exécution des procédures d'essai en déplacement ainsi que pour l'obtention et la fourniture de documentations et d'informations descriptives.

- ***Créer un déplacement***

En pressant sur le bouton 'Create', l'opérateur peut démarrer le processus de création de procédures de déplacement avec des emplacements d'essai spécifiques et des informations descriptives. Cela est souvent effectué pour faciliter les essais d'un simple type de pièce ou un groupe de pièces tout en conservant les données dans sa propre base de données. Il est préférable d'avoir une éprouvette d'essai en position avant de configurer le déplacement de sorte que l'opérateur puisse visualiser l'éprouvette tout en positionnant les points d'essai.

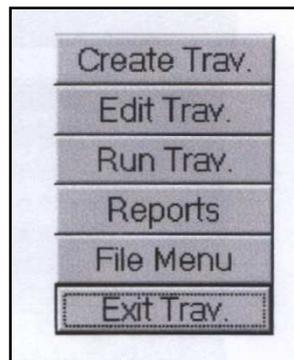


Figure II.22 : Option de création un déplacement.

- **Editer un déplacement**

Pour éditer un déplacement (Traverse), l'opérateur doit sélectionner le bouton Traverse au niveau de l'écran principal, puis il choisit le bouton Edit. L'écran ci-dessous apparaît et permet à l'opérateur de sélectionner la configuration de son choix. Après qu'une spécification de déplacement ait été sélectionnée, la même procédure de création d'une spécification de déplacement est utilisée, de la même manière que pour l'édition. L'opérateur doit parcourir toute la procédure jusqu'à ce que la fonction Save apparaisse. Il est ainsi possible de sauvegarder les informations de spécification éditées. Si l'opérateur interrompt la procédure en sélectionnant Cancel ou Escape, les données éditées ne seront pas sauvegardées.

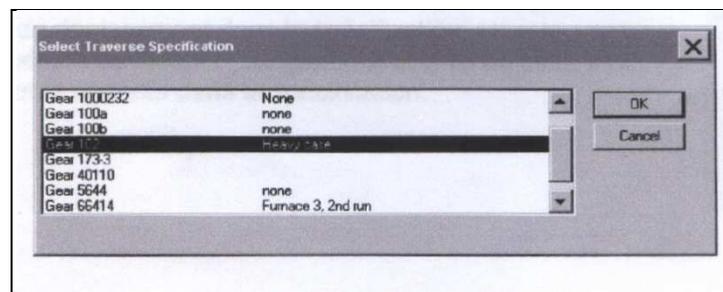


Figure II.23 : Option d'éditer le déplacement.

- **Démarrer un déplacement**

Lorsque l'opérateur sélectionne 'Traverse' (Déplacement) puis 'Run', le programme lui demande de choisir la spécification de déplacement. Cliquer sur une spécification afin de la sélectionner, puis l'écran 'Data Part File' Information apparaîtra.

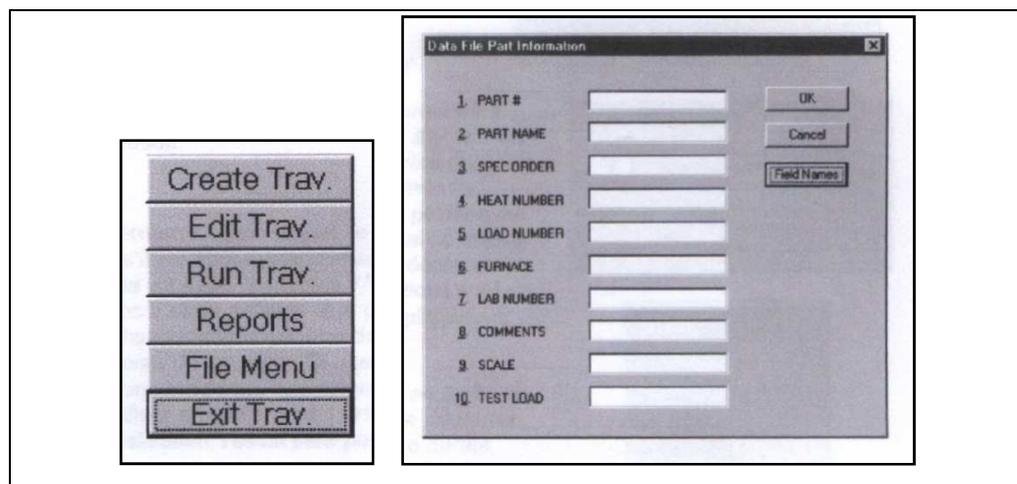


Figure II.24 : Operateur de démarrer le déplacement.

Les données et les étiquettes peuvent toutes être modifiées, de la même manière que lors de la création du fichier d'origine. Dans le cas d'une configuration de déplacements multiples sous une seule spécification, le programme demande à l'opérateur de sélectionner le déplacement spécifique à utiliser dans la séquence de déplacement.

Le programme demande ensuite à l'opérateur de situer l'origine de la séquence d'essai, qui est également plus communément un point situé sur le bord (ou l'arête) de la pièce. Le déplacement sera procédé à partir de ce point. Sélectionner OK. S'il existe plus d'une configuration de déplacement dans la spécification, alors le programme exigera de localiser l'origine n°2 et ainsi de suite pour les déplacements restants dans la spécification.

Le programme demande ensuite à l'opérateur de sélectionner la direction de l'essai. D'un simple "cliquer tirer", il est possible de faire tourner la flèche, superposée au-dessus de l'image de l'éprouvette d'essai (pièce). Un clic de souris permet de figer la flèche et de sélectionner l'angle de départ du déplacement. Sélectionner OK pour confirmer la sélection. Puis, le programme demande de sélectionner OK pour initier l'exécution.

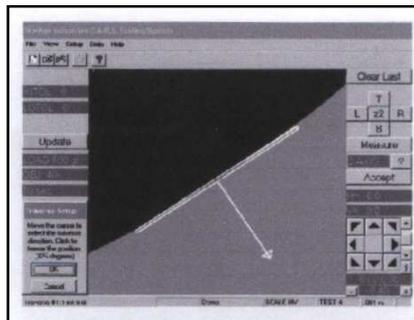


Figure II.25 : Opérateur de sélectionner la direction de l'essai.

Avant de démarrer l'essai actuel, le programme demande à l'opérateur s'il est nécessaire d'effectuer un "essai à vide". Si l'essai à vide est initié, les tables Y/Y se déplacent vers chacune des positions d'essai définies et le programme demande ensuite s'il faut ajuster la position de l'essai. Cette position est visible à l'écran du moniteur. Si une position d'essai se trouve dans une zone suspecte, l'opérateur peut alors la déplacer vers un meilleur emplacement. Lorsque les opérations sont en cours de réalisation, l'essai sera positionné à l'emplacement correct.

Une fois l'essai à vide achevé ou si l'opérateur ne souhaite pas effectuer cet essai, le programme demande de démarrer l'essai proprement dit. Si l'appareil d'essai de micro dureté possède une tourelle automatique et est pourvu de l'option CAMS de contrôle de tourelle,

l'appareil débutera alors automatiquement les essais. Si aucune commande de tourelle automatique n'est prévue, le système CAMS demandera à l'opérateur d'opérer une rotation vers la position du pénétrateur (d'indentation ou d'empreinte).

Lorsque les essais sont en cours d'exécution, l'opérateur peut ou non être sollicité par le programme pour initier chaque essai selon si l'option de départ cycle automatique est activée. Si cette fonction est activée, l'opérateur n'aura pas à intervenir au niveau de l'appareil, jusqu'à la fin des essais. Sinon, l'opérateur devra initier chaque essai à chaque fois que le programme le demandera via le message 'Please Run test' (Merci de bien vouloir initier l'essai). Une fenêtre indiquera le nombre de déplacements, le nombre d'essais ainsi que les coordonnées X/Y de la position d'essai à partir de la position de référence ou de l'origine de l'essai.

Une fois la configuration achevée, le système repasse en mode plein écran où l'opérateur peut optionnellement mesurer et/ou accepter les résultats d'essai. Avec les options de Mesure Automatique et d'Autofocus, le programme demandera soit une "acceptation automatique" soit une 'acceptation manuelle'.

La fonction 'Auto Accept' complète le déplacement complet sans aucune intervention de la part de l'opérateur. (La fonction 'AutoFocus' permet d'effectuer automatiquement tout le déplacement car elle met au point chaque empreinte séparément). La fonction 'Manual Accept' demande à l'opérateur d'accepter ou non la mesure après chaque mesure. L'opérateur devra également et manuellement situer les bords de l'empreinte, sans fonction de mesure automatique.

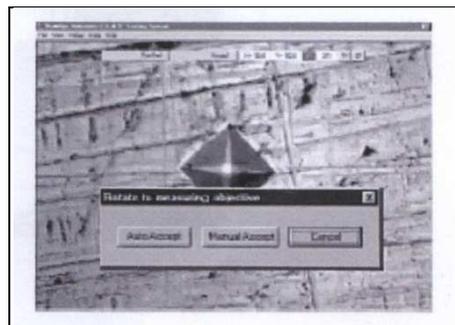


Figure II.26 : La fonction d'effectuation de déplacement.

Après que les essais aient tous été mesurés, il sera possible de tester de nouveau les points d'essai en les sélectionnant (Figure II.26). Si un point d'essai est sélectionné pour refaire un essai, le système initiera au autre essai et une autre opération de mesure (ou le programme demandera à l'opérateur de le faire) puis les résultats existants sont remplacés avec les nouveaux résultats d'essai.

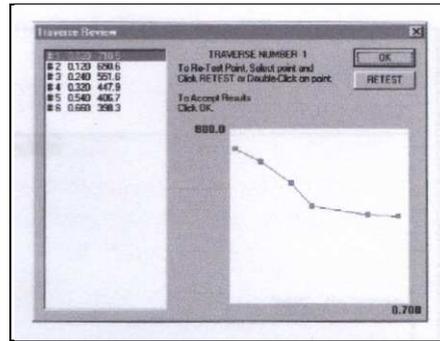


Figure II.27: Résultats des positions d'essais édités.

Après que les points d'essai aient tous été acceptés, il est possible de saisir un commentaire au regard du déplacement et des positions d'essai édités. Une fois l'écran de commentaire validé, une petite vue du Graphe des résultats est affichée. L'opérateur peut réaliser un zoom afin de mieux discerner les détails, voir tous les graphes par séquence (en opérations de déplacements multiples) ou voir les deux déplacements côté par côté (toujours en opérations de déplacements multiples) puis imprimer les résultats. Des commentaires apparaissent en différents points au niveau des résultats et les résultats de profondeur de cimentation sont imprimés en bas.

Les lignes indiquant la position des emplacements de profondeur de cimentation sont en couleur verte si le résultat est en position correcte comme défini dans les tolérances ou, sinon, en rouge. Si aucune tolérance n'est utilisée, alors les lignes sont en couleur verte. Les résultats individuels se trouvant hors tolérance son indiqués avec un astérisque.

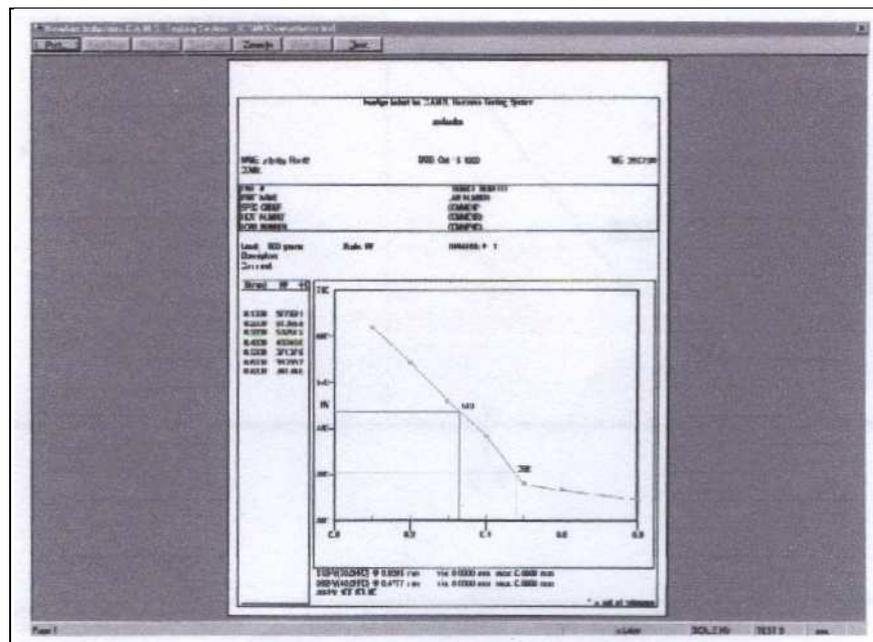


Figure II.28 : Graphe des résultats d'essais.

- **Rapports**

Le bouton Traverse Reports permet d'obtenir les mêmes rapports que ceux apparaissant après un déplacement. Des options sont proposées pour obtenir des rapports plus avancés. Pour visualiser les rapports, sélectionner le bouton Traverse puis Reports et sélectionner une spécification de déplacement.

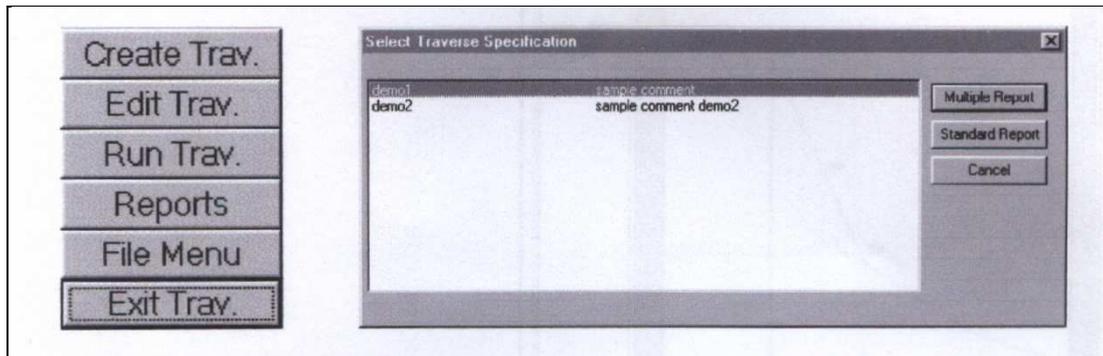


Figure II.29 : Options proposées pour obtenir des rapports plus avancés.

A) Rapports standard

Si l'opérateur sélectionne des rapports standards après avoir sélectionné une spécification de déplacement, un écran présentera une liste de tous les déplacements effectués en utilisant cette spécification dans l'ordre chronologique. Chaque sélection de déplacement liste le numéro, la date, l'heure et un commentaire en relation avec l'enregistrement.

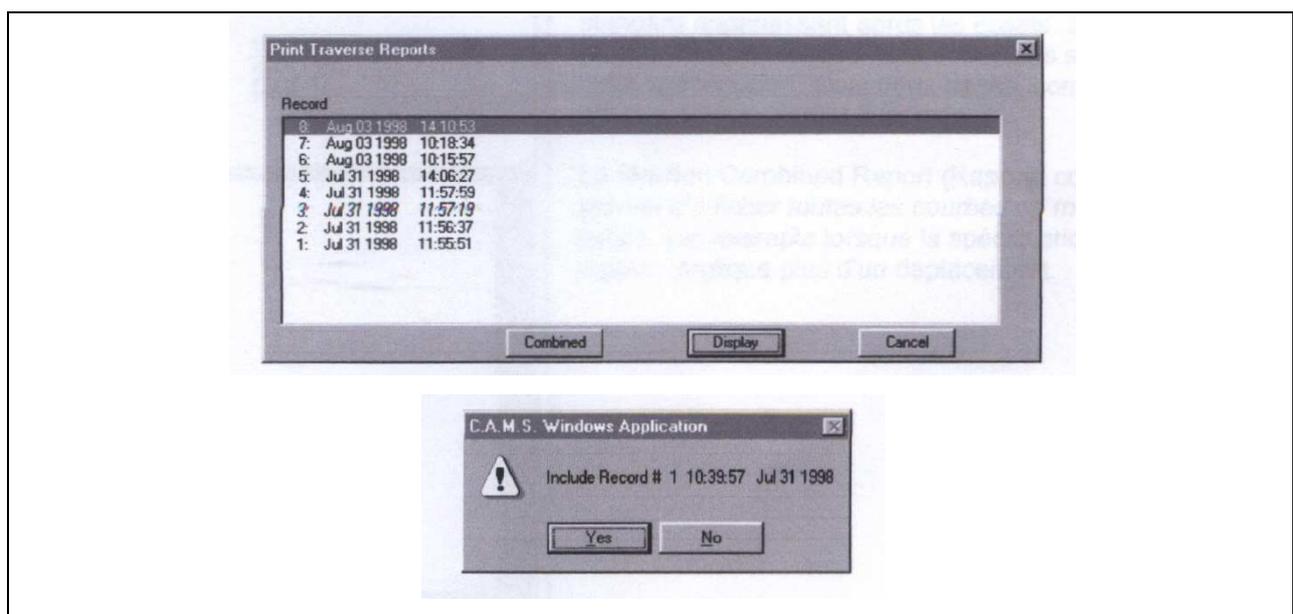


Figure II.30 : Opérateur sélectionne des rapports standard.

Après la sélection d'un rapport individuel, il est possible de visualiser un rapport (à l'écran) standard ou combiné (Figure II.31).

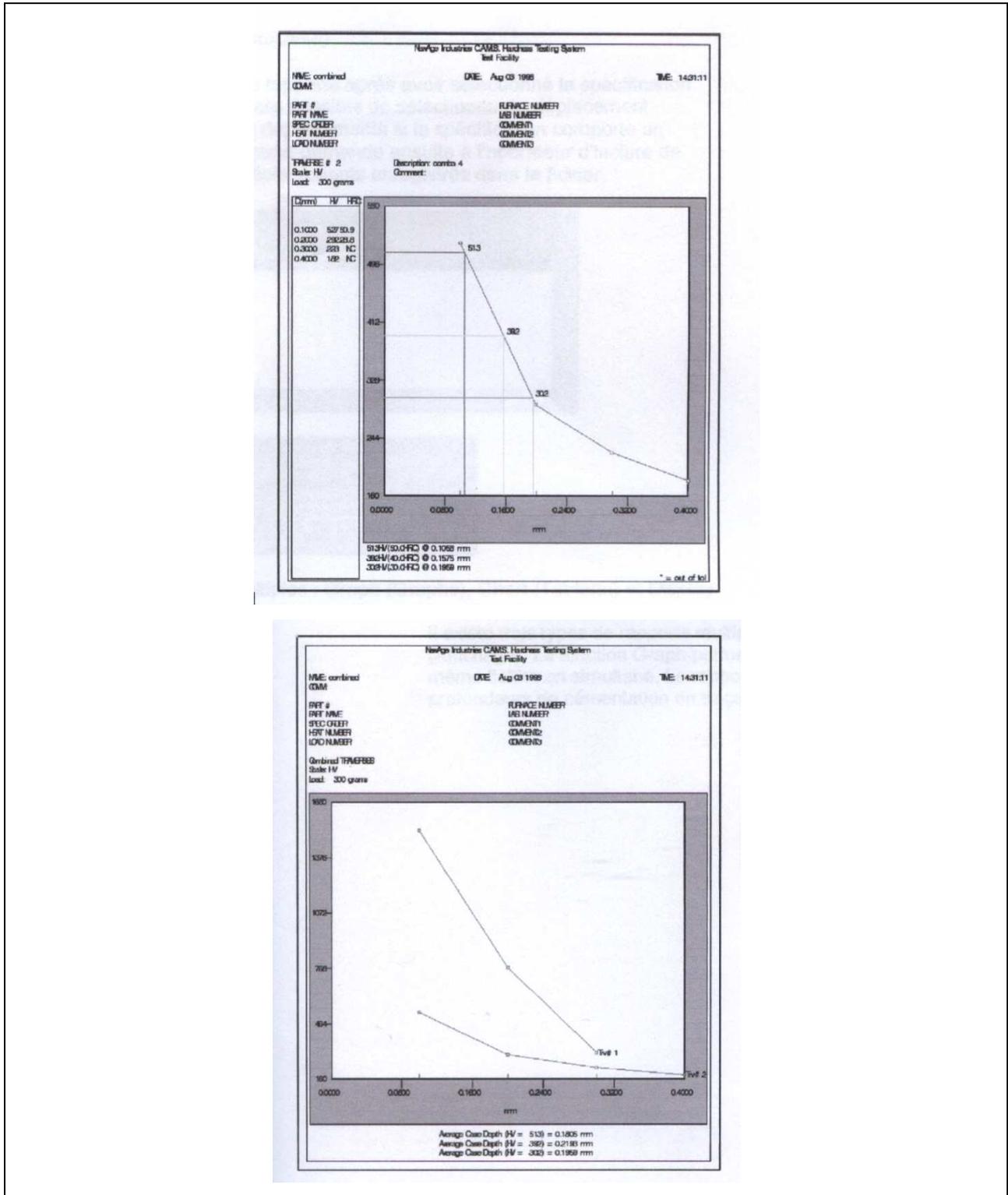


Figure II.31 : Rapport standard apparaissant après les essais.

Le rapport affiché d-dessus représente le rapport standard apparaissant après les essais. Si plusieurs déplacements sont configurés sous cette spécification, alors deux pages, comportant chaque courbe, seront imprimés.

La fonction 'Combined Report' (Rapport combiné) permet d'afficher toutes les courbes en même temps, par exemple lorsque la spécification du rapport implique plus d'un déplacement.

B) Rapports multiples

Si l'opérateur sélectionne plusieurs rapports après avoir sélectionné la spécification de déplacement de base, alors il sera possible de sélectionner le déplacement spécifique.

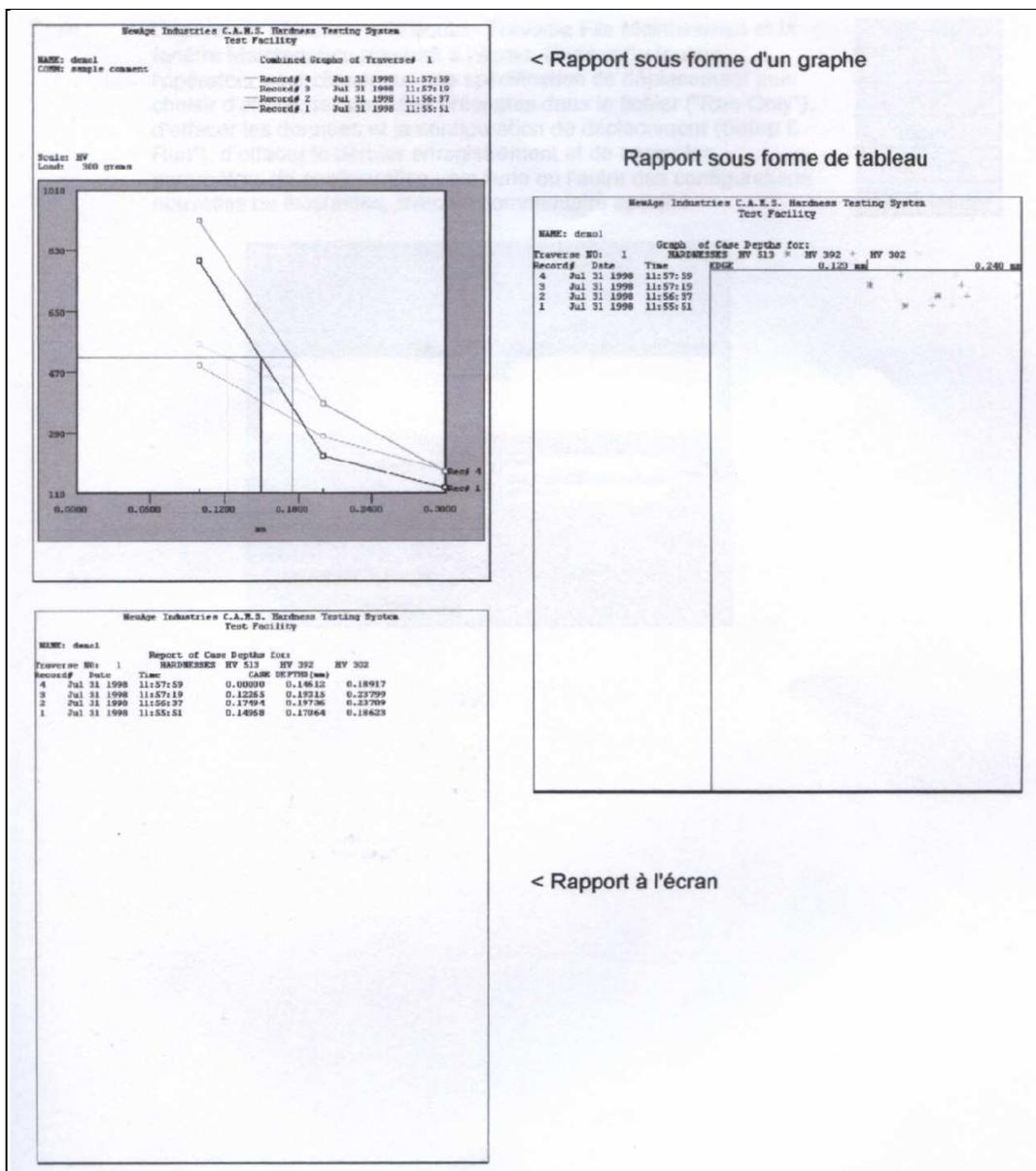


Figure II.32 : Impressions d'un rapport multiple échantillon.

Le programme demande ensuite à l'opérateur d'inclure de manière séquentielle chacun des déplacements enregistrés dans le fichier. Il existe trois types de rapports multiples : 'Graph' (Graphe), 'Chart' (Tableau) et 'Display' (Affichage). La fonction 'Graph' permet de représenter tous les déplacements d'un même fichier en simultané. Le rapport 'Graph' représente un graphique des profondeurs de cémentation en traçant les profondeurs de cémentation côté par côté.

Conclusion

Ce logiciel a été utilisé pour accroître la capacité de vos appareils pour essais de dureté en vous permettant d'automatiser la mesure d'empreintes.

Les différentes fonctions présentées au début de ce chapitre serviront de base lors de l'acquisition des données expérimentales relatives à la mise au point de la technique permettant l'élaboration des alliages Ni-P. Ce travail fera l'objet du chapitre suivant.

Introduction

Dans ce chapitre, seront présentées certaines techniques utilisant la microdureté Vickers, en se basant sur les modèles mathématiques décrivant les phénomènes physiques mis en jeu lors des alliages dans le 1^{ème} chapitre et en utilisant les différentes fonctions et possibilités offertes par le logiciel CAMS décrites dans le 2^{ème} chapitre; à cet effet on va décrire les techniques suivantes :

- Techniques expérimentaux qui permettent de préparé les échantillons et mesuré la dureté Vickers des couches minces $Ni_{100-x}P$ électrochimiques.
- Résultats expérimentaux et discussion sur les résultats des couches minces $Ni_{100-x}P_x$ électrochimiques.

III.1 Technique de préparation des échantillons et mesuré la dureté Vickers

III.1.1 Préparation des échantillons

La préparation des échantillons des alliages Ni-P concernant à la préparation de surface du substrats, et micrographie qui dépend par le procède de polissage , consiste à polir l'échantillon en utilisant des pâtes diamantées sur un papier abrasif à grains de 80, 150, 180, 300, 500,1000 ,2000 pour l'obtention d'une bonne qualité de surface (figure III.1).



Figure III.1 : Polisseur à disque (MECAPOLE 250).

III.1.2 Prescription technique d'essais de dureté Vickers

L'appareil microduromètre SHIMADZU de type M est utilisé pour l'essai de dureté des objets suivants:

- Fils fins et échantillons minces.
- Parties d'instruments de précision et structures métalliques.
- Couches plaquées et outils de machine, spécialement les extras –durs.

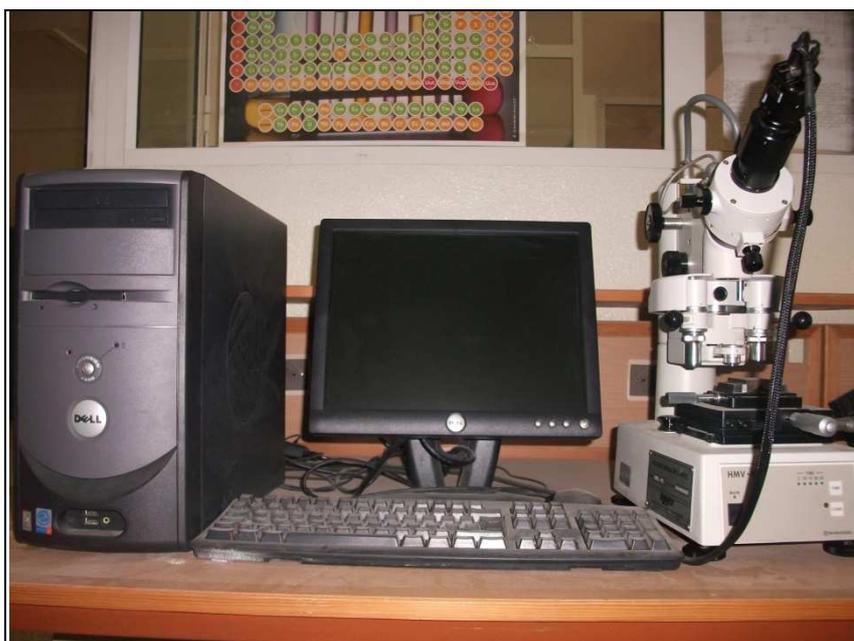


Figure III.2 : Microduromètre branché avec l'ordinateur.

Ce vérificateur doit être installé sur un emplacement dénué de toute vibrations doivent être éliminées par tous les moyens, sinon erreurs seront inévitables dans les valeurs mesurées.

Dans le cas où la machine est installée par la force des circonstances dans une chambre accusant quelque vibrations, il nécessaire de prendre toutes les dispositions pour les réduire au plus bas niveau possible. Dans ce cas il est souhaitable que les mesures ainsi faites soient comparées avec celles mesurées la nuit durant laquelle les vibrations sont supposées plus réduites.

Il est recommandé d'effectuer les mesures à la température normale de la pièce. Toute variation importante de la température doit être évitée. Veiller à ce que la pièce dans laquelle s'effectuent les mesures soit dénuée d'humidité et éviter d'une manière absolue le voisinage de produits chimiques corrosifs tels que sulfite d'hydrogène ou autres acides. Le bouchon de

protection pour l'oculaire et la hausse en vinyle doivent être positionné lorsque le microduromètre n'est pas en fonction.

a) Description terminologique

La machine d'essai de microdureté Vickers comporter les méthodes suivantes :

- Opérations avant l'essai qui permet d'avoir le sommet de l'empreinte correspondant avec l'axe de la tête optique.
- Exécution de l'essai qui présente l'application des forces destiné à appliquer la force d'essai sur la pièce à essayer par l'intermédiaire du pénétrateur.
- Mesure de l'empreinte qui produite par le pénétrateur, après enlèvement de la force d'essai.



Figure III.3: Vue générale du microduromètre type M.

- *Opérations avant l'essai*

Dans ce cas, nous allons préparer le microduromètre avant d'exécution l'essai comme suite :

La source d'alimentation électrique doit être Branchée sur la douille métallique située sur le coté de la base. Puis, l'interrupteur principal placé sur "On" et la lampe témoin verte indique que le système d'éclairage ainsi que les autres éléments concernés sont en fonctionnement.

Il faut régler le niveau horizontal de l'instrument en tournant trois des quatre vis de réglage de mise à niveau, en surveillant à bulle fixé sur la base du corps principal. Puis la surface d'appui de la vis de calage en léger contact doit être amenée avec la surface de la table, en veillant soigneusement à ce que le réglage de niveau déjà obtenu ne soit pas altéré, et aussi vérifier que la lampe indicatrice du temps de maintien en charge est éteinte ce qui signifie que la levier de charge est réglé à son point de départ.

Desserrer le verrou de mise en position du microscopique de mesure et faire coïncider le trait repère avec celui de la colonne, puis resserrer le verrou (figure III.4).



Figure III.4: Bouton de fixation en position.

La charge désirée doit être placée sur la cuvette du levier de charge, et tourner la masse afin de trouver sa meilleure position, en évitant toute vibration, en fait la charge totale appliquée sur le levier de charge se compose de celui du pénétrateur et de la cuvette qui de 15gr, et qui constitue la charge minimale, il est fourni sept types de masses: 25, 50, 100, 200, 300, 500, et 1000 gr (Figure III.5).

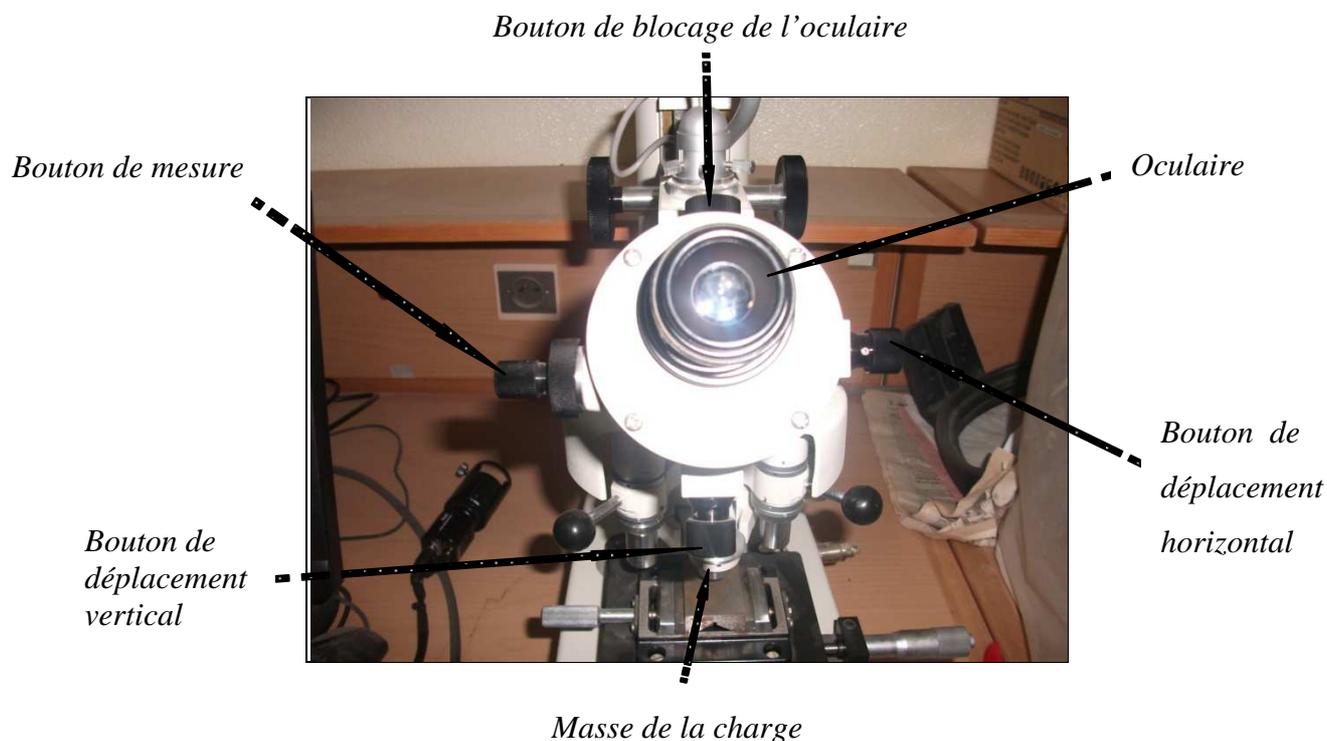


Figure III.5: Placement de charge sur la cuvette du levier.

La durée de maintien en charge désirée peut être choisie en appuyant sur l'une quelconque des touches disposées sur le panneau frontal. Les chiffres au-dessus des touches indiquent la durée respective mise en charge. Ces durées sont établies selon les progressions 5, 10, 15, 30, 45 sec (Figure III.6). D'autre part la vitesse normalisée de pénétration du diamant est de 0.017mm/s.

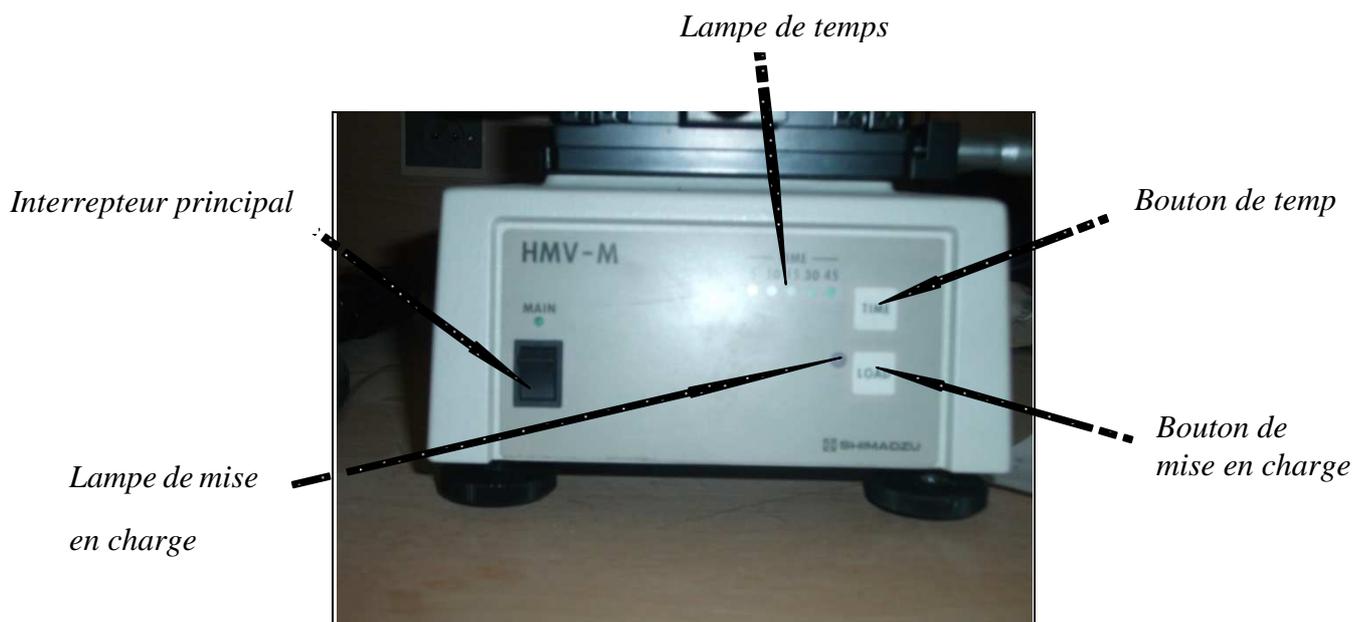


Figure III.6: Interrupteur principal, bouton et lampe témoin des temps et des charges.

L'échantillon doit être posé sur la platine ou le fixer sur l'étau de telle manière que l'emplacement à mesurer vienne se placer juste sous le diamant, et visser ou dévisser l'oculaire en le réglant de telle manière que l'échelle standard soit clairement visible.

Le bouton de mesure doit être tourné jusqu'à ce que le zéro de l'échelle de mesure vienne se placer sur la ligne standard verticale, par les deux boutons de commande de déplacement vertical et horizontal du dispositif de visée de telle manière que l'oculaire micrométrique se place au point neutre, qui signifie un point sur lequel les traits indicateurs des deux boutons de commande se rencontrent avec les traits correspondants sur la queue d'ordre de l'oculaire micrométriques.

- **Exécution de l'essai**

Pour exécution l'essai doit réaliser les étapes suivantes :

Après installer l'échantillon dans l'étau et l'amener en position de mesure, nous allons réglée la visée en tournant les boutons de réglage rapide et fine de mise au point et choisir l'emplacement à mesurer en observant la surface de l'échantillon à l'aide des deux micromètres de la platine, et aussi il faut éviter tout mouvement brusque avec le bouton de réglage rapide de mise au point rapide afin d'éviter une approche soudaine du pénétrateur et de l'objectif vers la surface de l'échantillon (Figure III.7).

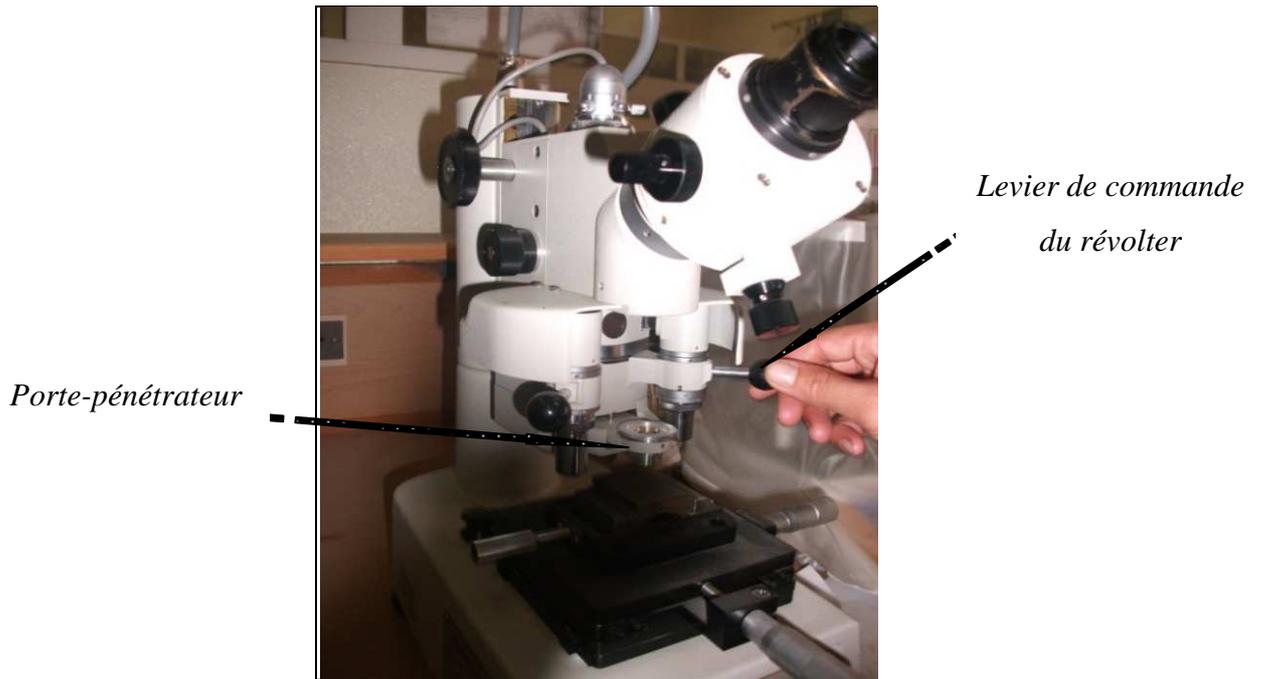


Figure III.7: Levier de rotation de la tourelle.

L'objectif de mesure $40\times$ doit être installé sur le tube télescopique en tournant le bouton du révolter vers la droite, sans l'utilisation de l'objectif d'observation ($\times 10$), parce que l'objectif de mesure ($\times 40$) doit être approché de l'échantillon jusqu'à ce que la distance frontale devienne égale à 0.2mm , et régler les deux boutons de réglage fin de visée et les deux micromètres de la platine d'une manière plus précise que précédemment de telle façon que la partie minuscule de l'échantillon puisse être mise au point au croisement de la huitième ligne de l'échelle standard avec la ligne verticale standard (Figure III.8).



Figure III.8: Installation l'objectif de mesure sur tube télescopique.

Après faire amené le pénétrateur juste au- dessous de l'axe optique en tournant vers la gauche le bouton de commande de la tourelle révoluer, (Figure III.6) choisir la durée désirée de maintien en charge et pousser le bouton commandant le départ de la charge sur "ON" , la lampe témoin doit s'allumer.

Cela signifie que la levier de charge est libéré de son point de départ et que le diamant commence sa course au moment de la mise en marche du moteur . Lorsque la durée de charge est terminée la lampe témoin doit s'éteindre automatiquement et à cet instant le levier de charge doit retourner à son point de départ (Figure III.9).

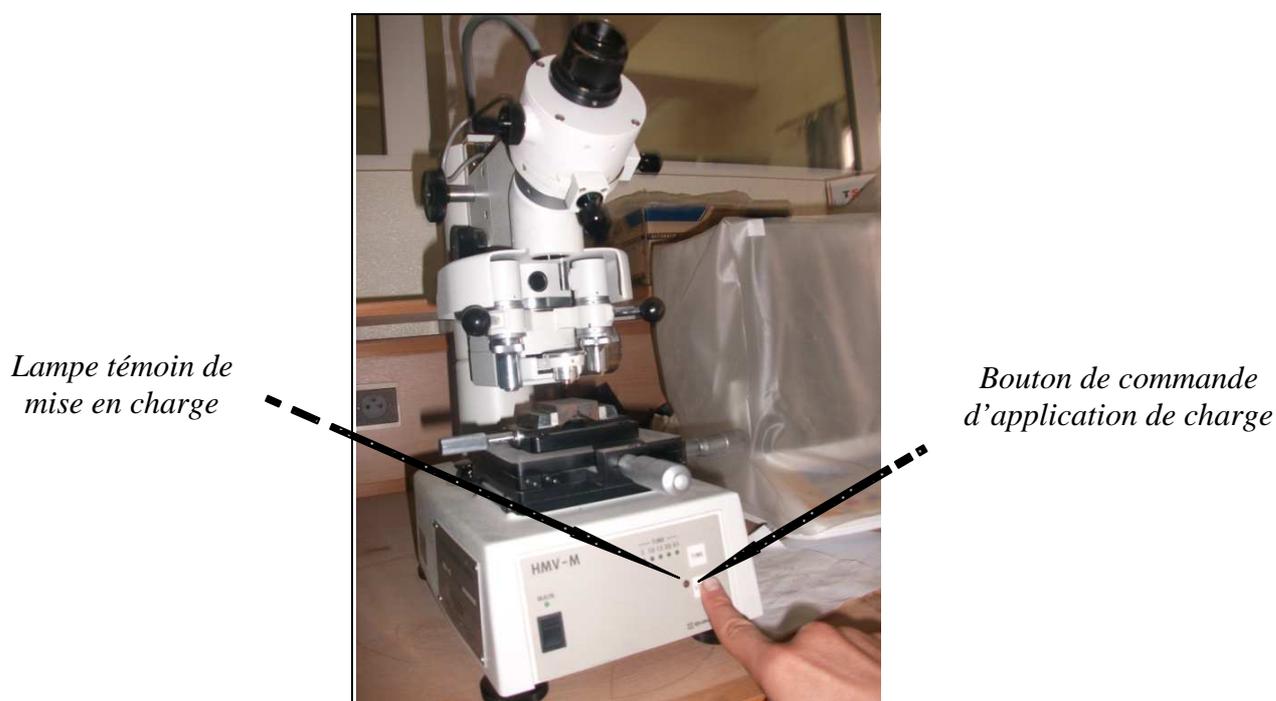


Figure III.9: Bouton de commande de mise en charge.

L'objectif de mesure 40× doit être placé sur l'axe optique en tournant le levier de commande du révoluer vers la droite, et conserver le plus grand calme durant la manipulation du révoluer, on accordera une attention particulière aux échantillons présentant une certaine rugosité.

Après avoir vérifié à nouveau la mise au point, mesurer les diagonales de l'empreinte en utilisant l'échelle de mesure, déterminer ensuite la dureté par calcul ou avec la table de conversion.

- *Mesure de l'empreinte*

Après avoir desserré le verrou de fixation, faire tourner le micromètre oculaire de telle manière qu'un diagonale de l'empreinte soit amenée parallèle avec la ligne standard de visée, puis resserrer le verrou, et doit vérifier que l'échelle de mesure indique zéro et régler la visée en tournant le bouton de déplacement vertical de la visée dans le sens des aiguilles d'une montre ou en sens inverse, de telle manière que la partie inférieure de la diagonale citée ci-dessus rencontre le bord le plus voisin de l'échelle standard.

On va compter le nombre des lignes de l'échelle standard qui se trouvent à angle droit par rapport à la ligne diagonale en travers de l'empreinte, et qui parmi aussi se trouvent perpendiculaires à la ligne diagonale en travers de l'empreinte, choisir la plus voisine de l'extrémité supérieure de la diagonale, puis tourner le bouton de mesure de telle façon que le bord de la ligne choisie sur l'échelle standard, vienne se placer sur le sommet supérieur de la diagonale (Figure III.10).

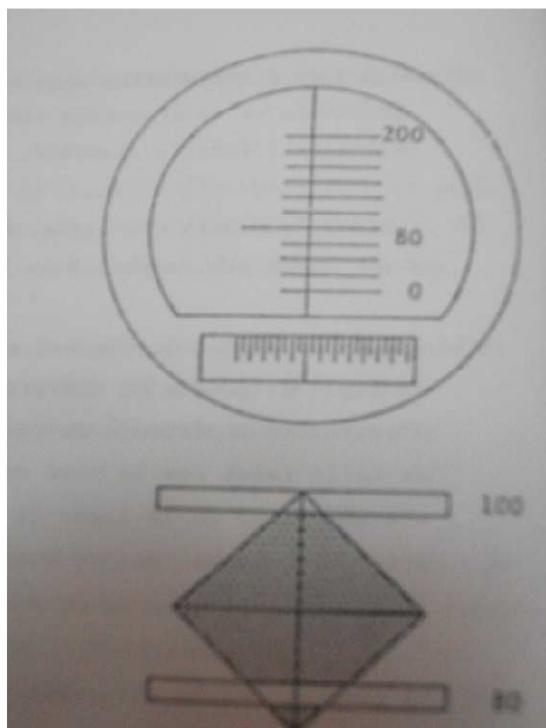


Figure III.10: *Ordre à suivre pour la mesure de l'empreinte.*

La longueur de la diagonale de l'empreinte peut être déterminée en additionnant la graduation mesurée avec le nombre de graduations comme suite :

$$d = (20 \times a) + b$$

telque :

d : longueur de la diagonale de l'empreinte (en microns)

a : Nombre de lignes comptées sur l'échelle standard perpendiculaires à la diagonale de l'empreinte.

b : graduations mesurées(en microns).

Mesurer les autres diagonales de la même façon et calculer la dureté Vickers en utilisant la formule suivante:

$$HV = 1854.4 \frac{P}{d^2}$$

HV : Dureté Vickers.

P : Masse de charge (gf).

d : longueur de la diagonale de l'empreinte (en microns).

En mesurant les diagonales selon les instructions de l'échelle de mesure, et ne jamais oublier d'appliquer les lignes de l'échelle standard sur leur bords communs aux deux extrémités de la diagonale comme indiqué dans la figure III.11, sinon l'épaisseur e gravure des échelles standards entrainerait une erreur.

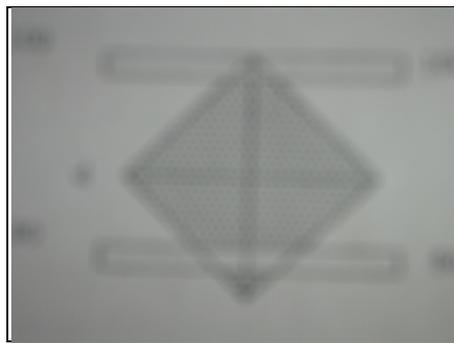


Figure III.11: Mesure de l'empreinte.

b) Description métrologique**• Température de référence**

La température de référence à laquelle les erreurs maximales tolérées doivent être observées est de (20 ± 5) °C ; dans les pays à climat tropical, on pourra prendre (27 ± 5) °C.

• Erreurs maximales tolérées

L'erreur maximale tolérée sur la force d'essai est égale à $\pm 1,0$ %. Par contre l'erreur maximale tolérée sur les indications du dispositif de mesurage est égale à : $\pm 0,5$ % lorsque la longueur de la diagonale à mesurer est égale ou supérieure à 0,2 mm. Lorsque la longueur de la diagonale à mesurer est inférieure à 0,2 mm, l'erreur maximale tolérée vaut $\pm 0,001$ mm.

L'erreur maximale tolérée sur le résultat (moyenne arithmétique de 5 mesures) de la mesure de la dureté d'un bloc de référence par la machine soumise à la vérification ne doit pas différer de plus de $\pm 3,0$ % de la dureté déterminée lors de l'étalonnage de ce bloc.

III.2 Modélisation de la microdureté Vickers des couches minces $Ni_{100-x}P_x$ électrochimiques**III.2.1 Théorie électrochimiques**

Les couches électrochimiques du Ni-P peuvent être déposées sur des couches chimiques Ni-P de même nature, en utilisant les composants (voir tableau III.1), comme il est indiqué dans la littérature [50].

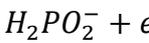
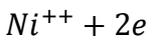
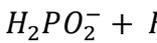
Solution	1/4 - 3/4	1/2 - 1/2	3/4 - 1/4
Hypophosphite de Sodium: $NaPH_2O_2$	125cm ³	250cm ³	375cm ³
Acétate de Nickel: $(C_4H_6NiO_4, 4H_2O)$	375cm ³	250cm ³	125cm ³
Acétate de Sodium: $(C_2H_3NaO_2, 3H_2O)$	500cm ³	250cm ³	250cm ³
Chlorure de Palladium: $PdCl_2$ (0.5g/l)	10cm ³	10cm ³	10cm ³

Tableau III.1 : Composition chimiques des bains.

Le chlorure de palladium ($PdCl_2$), joue le rôle de catalyseur tandis que l'acétate de sodium ($C_2H_3NaO_2$) diminue la variation du PH dans la solution. L'effet de $PdCl_2$ a été étudié pour trois valeurs (10, 15 et 20 cm³). Les couches chimiques de bon qualité sont obtenues quand on utilise

10cm³ de PdCl₂, leurs épaisseur peut atteindre 1400 Å°, le temp nécessaire pour la déposition de ces couches est environ 30 minutes.

Brenner et Riddel [51], étaient les premiers qui ont propose une théorie électrochimique pour les alliages Ni-P, le potentiel de l'échantillon pendant l'électrodéposition est environ 0.9 V dans la solution acide en opposition à l'électrode saturé qui doit être significativement négatif pour avoir une réduction cathodique. le mécanisme de réaction dans la solution acide est décrit par l'équation suivante:



L'électrodéposition de couche mince Ni-P nécessite les conditions suivantes :

- Le substrat des couches chimiques doit être homogène et ayant une surface propre.
- L'épaisseur de substrat des couches chimiques doit être au voisinage 1100Å°.
- Le potentiel entre les électrodes doit être supérieur à 25mV.
- La densité de courant des électrodes est égale à 25mA/cm².

III.2.2 Modèle de Buckle

Pou évaluer l'influence de la microdureté H_s de la substrat, sur la résistance de pénétration dans la couche ayant une microdureté intrinsèque H_f , Buckle [52] suppose que la zone de pénétration dans la couche a (k-1) couches en série avec la même épaisseur h où h est la profondeur de pénétration . Tous les modèles contiennent le partitionnement de la contribution à la dureté substrat H_s et la couche H_f .

Dans l'approche la plus générale proposé par Buckle [52], la dureté composite H_c du système couche / substrat est donné par :

a° est un coefficient dépendant de l'épaisseur de la couche.

Les courbes théoriques obtenues dans le cadre du modèle Buckle sont donnés dans la figure (III.12). Ces résultats montre un comportement similaire à celui donnée par Baleva et al [53] pour Fe-Si.

La microdureté Vickers de l'alliage électrochimique Ni-P a été examinée pour une épaisseur égale à $20\mu\text{m}$, en utilisant 2 substrats différents (cuivre et Ni-P chimique), où la densité de courant est voisine de $J = 15\text{mA}/\text{cm}^2$ et le pourcentage du phosphore égale à 12 %.

Les résultats obtenus sont donnés sur le tableau III.2.

<i>Substrat</i>	<i>Cuivre</i>	<i>Ni-P chimique</i>
<i>Micodureté de substrat</i>	<i>152(Hv)</i>	<i>épaisseur insuffisante</i>
<i>Micodureté de Ni-P électrochimique</i>	<i>841(Hv)</i>	<i>901(Hv)</i>

Tableau III.2 : Microdureté de l'alliage Ni-P électrochimique.

La microdureté Vickers augmente en ajoutant trois gramme de la saccharine dans la solution électrochimique (voir figure III.13).

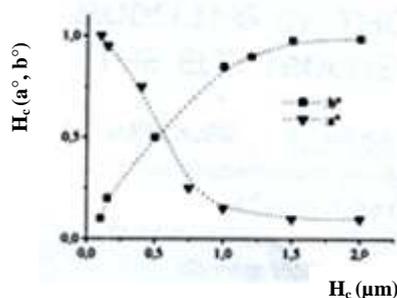


Figure III.12 : Variation de $H_c = f(h)$ dans le cadre de microdureté du modèle de Buckle.

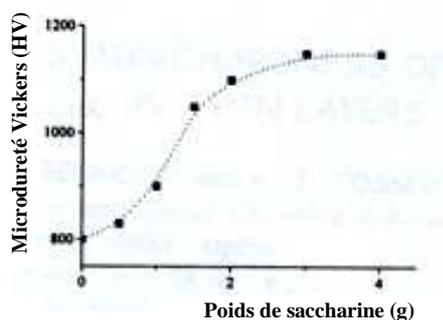


Figure III.13 : Variations de microdureté de Ni-P avec de poids de Saccharine.

Conclusion

Pour conclure, on peut citer les deux points importants :

- Les couches électrochimiques de Ni-P ont une microdureté qui varie entre 600HV et 800HV . Cette microdureté atteint 1150HV dans le cas de l'ajout de saccharine.
- Les valeurs de la microdureté électrochimique peuvent être interprétées par le modèle de Buckle.

Le travail effectué dans le cadre de ce mémoire de magister, consiste à mettre au point une technique expérimentale permettant mesure la microdureté Vickers des couches minces métalliques électrochimique de Ni-P.

Ce travail est structuré de la manière qui suit :

- De la partie bibliographique nous avons vu que la dureté est une propriété mécanique très importante dans l'industrie. Elle est plus complexe et plus difficile à interpréter qu'elle n'apparaît qu'à première vue, à cause de la dépendance de la dureté aux caractéristiques du matériau, à la nature du pénétrateur, au mode d'indentation et aux phénomènes qui interviennent pendant l'essai. Après avoir présenté, certaines notions générales sur les de dureté et de caractérisation des couches minces métalliques, nous avons rappelé les propriétés mécaniques des couches minces électrochimiques, et aussi les différents modèles qu'interprété sur les valeurs de la dureté.
- Le principe de la manipulation est basé sur l'utilisation de l'appareil microduromètre SHIMADZU assisté par ordinateur qui consiste à logiciel C.A.M.S, pour visualiser les empreintes d'essai de microdureté, Le PC ne contrôle aucunes des fonctions mécaniques ou électroniques de l'appareil pour essais de dureté, Il s'agit uniquement d'un système de visualisation et mesure et enregistrement et traitement des données.

Les résultats obtenus sont probants du fait qu'ils soient en bon accord avec les données théoriques et ceux de la littérature, cependant plusieurs voies restent à explorer dans ce domaine. Il serait alors souhaitable d'examiner :

- L'étude des phénomènes qui perturbent les mesures de la dureté (phénomènes interviennent au cours et après les mesures tel que : déformation élastique, recouvrance élastique de l'empreinte, formation des microfissures, formation de bourrelet, frottement entre pénétrateur et matériau à tester.
- La recherche des moyens de durcissement pour avoir des matériaux très durs et qui ne soient pas fragiles la recherche des autres moyens de mesure de dureté.
- L'électrochimie est une méthode, efficace peu couteuse et relativement simple par rapport aux autres méthodes utilisées pour l'élaboration des couches minces de nickel-phosphore.

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

- [1] Dominique FRANÇOIS , *Essais mécaniques des métaux : Essais de dureté*, Technique de l'ingénieur.
- [2] CASALINO G. , Ghorbel E., Pappalettere C. « *Parametric analysis of the indentation needed to a fixator for the correction of human rachis* », International Conf. On Material Eng. , Gallipoli - Lecce, pp. 217-226, 4-7 September 1996.
- [3] Follansbee P. S., Sinclair G. B., "*Quasi-Static Normal Indentation of an Elasto-Plastic Half-Space by a Rigid Sphere, Part I: Analysis*", Int. J. Solids Structures, Vol. 20, N°1, pp. 81-91, 1984.
- [4] C .Barlier, L.Girardin, *Matériaux et usinage*,Casteilla- 25, Rue Monge-75005, paris,1999.
- [5] G.Farges ,D.Degout ,*Effet de taille d'empreinte en microdureté Vickers*, traitement thermique-246-1991.
- [6] E.Felder, *Analyse mécanique des essais d'indentation avec des Cônes*, Colloque SF2M Section-Ouest : Surfaces et Interfaces, indentation, rayage et abrasion, Angers, 16 et 17 mars 2005.
- [7] P. Lavel , E.Felder, *Caractérisation de l'adhérence des revêtements par indentation normale*,Matériaux et techniques n° :1-2- 1993.
- [8] Giannakopoulos A. E., Larsson. P. L., Vestergaars R., "*Analysis of Vickers Indentation*", Int. J. Solids Structures, Vol. 31, N° 19, pp. 2679-2708, 1994.
- [9] Loubet J.L.,Georges J.M., Marchesini O., Meille G., "*Vickers Indentation Curves of Magnesium Oxide (MgO)*", Journal of tribology, **106**, p. 43, 1984.
- [10] Kwadwo O. Kese , *Relaxation and Nanomechanical Studies of the Vickers Residual Stress Field in Glass*, Doctoral Thesis Department of Materials Science and Engineering Royal Institute of Technology SE-100 44 Stockholm, Sweden, 2004.
- [11] D. Tabor, *The Hardness of Metals*, Clarendon Press Oxford, 1951.
- [12] P.Morisset, P.Salmon, *Chromage dur et décoratif*, CETIM ,1988.
- [13] Larsson P. L., Giannakopoulos A. E., Söderlund E., Rowcliffe D.J., Vestergaard R., "*Analysis of Berkovich Indentation*", Int. Jour. Solids Structures, Vol. 33, N°2, pp. 221-248, 1996.
- [14] Jonathan R. Tuck^{U,1}, Alexander M. Korsunsky¹, Steve J. Bull, Rob I. Davidson *On the application of the work-of-indentation approach to depth-sensing indentat .*

- [15] P. KEMPE, *Nanoindentation et microrayage en environnement contrôlé Colloque*, SF2M Section-Ouest : Surfaces et Interfaces, indentation, rayage et abrasion, Angers, 16 et 17mars 2005.
- [16] Bolshakov A. et Pharr G.M., "*Influences of pileup on the measurement of mechanical properties by load and depth sensing indentation techniques*", *Journal of materials research*, **13**(4), p. 1049, 1998.
- [17] Cheng Y.-T. et Cheng C.-M., "*Relationships between hardness, elastic modulus, and the work of indentation*", *Applied physics letters*, **73**(5), p. 614, 1998.
- [18] J-L. Halary, « *Introduction à la mécanique des polymères* », INPL (1995) 169.
- [19] Robert L., *Etude des propriétés mécaniques du nickel utilisé dans la technologie*, LIGA – Réalisation d'un micropréhenseur, Thèse Université de Franche Comté, 1997.
- [20] K.L.Dahm,W.G.Ferguson,R.Murakami ,P.A.Dearnley,*Carbon coatings*,*Surface engineering* (1994) vol .10 N° : 03 199.
- [21] Jean-Luc. Bucaille, *Simulation Numérique de L'indentation et de La Rayure des Verres Organiques*, *Thèse de doctorat*, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris, 2001.
- [22] Olivier .G, Bernard .L, Jean-Michel .B , Laetitia .O, *Caractérisation mécanique de reconstitutions osseuses après comblement par un Biomatériau injectable*,*Matériaux* 2002.
- [23] A.Thomas ,*Mirohardness measurement as a quality control technique for thin ,hard Coatings*, *Surface Engineering* 1987 Vol 03 N°:02.
- [24] Vlassk J.Nix W.D, *Measuring the Elastic Properties of Anisotropies Materials by Means of Indentation Experiments*, *J.Mech. Phys. Solid*, Vol. 42, n°8, 1994.
- [25] G.Farges ,D.Degout ,*Effet de taille d'empreinte en microdureté Vickers*, traitement thermique-246-1991.
- [26] F.-H. Leroy*, B. Passilly*, J.-P. Culié**. *Estimation d'un comportement local par micro-indentation Vickers . Journée Scientifique Barrières thermiques (ONERA, 23 Janvier 2001)*.
- [27] Suresh S. Narine and Alejandro G. Marangoni . *Elastic Modulus as an Indicator of Macroscopic Hardness of Fat Crystal Networks*. *Lebensm.-Wiss. u.-Technol.*, 34, 33}-40 (2001).
- [28] Leroy F.H. et Passilly B., " *Une approche énergétique pour l'estimation d'un module d'Young par micro-indentation*", *Comptes rendus JNC 12*, **1**, 2000.
- [29] Florence Jaupitre, Suzanne Degallaix, Djimédo Kondo, *Caractérisation expérimentale et modélisation micromécanique du comportement d'un acier inoxydable austénoferritique*,

16ème Congrès Français de Mécanique, Nice, 1-5 septembre 2003.

- [30] R. COLIN, Le procédé industriel de nickelage chimique Kanigen, Galvano Organo, volume 740, (1976), pp.981-990.
- [31] F. MACHIZAUD, E. BELIN, A. TRAVERSE, A. SZASZ, Densities of states in amorphous NiP alloys. Influence of medium range order, Journal of Physics, (1987), volume 17, pp. 1913-1923.
- [32] M. ABRAHAM, M. THUVANDER, H.M. LANE, A. CERESO, G.D.W SMITH, Atom probe characterization of electrodeposited nanocrystalline Ni-P alloys, in "Nanophase and Nanocomposite Materials III" eds. S. KOMARNENI, J.C. PARKER, H.HAHN, Materials Research Society Symposium Proceedings, (2000), vol 581, pp. 517-522.
- [33] T. HENTSCHEL, D. ISHEIM, R. KIRCHHEIM, F. MÜLLER, H. KREYE, Nanocrystalline Ni-3.6 at.% P and its transformation sequence studied by atom-probe fieldion microscopy, Acta Materiala, volume 48, (2000), pp. 933-941.
- [34] R.N. DUNCAN, The metallurgical structure of electroless nickel deposits : effect on coating properties, Plating and Surface Finishing, 1996, volume 83, Issue 11, pp.65-69.
- [35]: L. CASTEIX, J.L. LEBRUN, G. MAEDER, J.M. SPRAUEL, Détermination des contraintes résiduelles par diffraction des rayons X, Publications scientifiques et Techniques, ENSAM, (1981).
- [36] D.H. CHENG, W.Y. XU, L.Q. HUA, Z.Y. ZHANG, X.Y. WANG, electrochemical preparation and mechanical properties of amorphous Nickel-SiC composites, Plating and Surface Finishing, volume 2, (1998), pp. 85-93.
- [37] J.P. BONINO, A. ROUSSET, C. ROSSIGNOL, Y. BLOTTIERE, Matériaux et structure à modules sphériques creux : en alliages de nickel microcristallisés ou amorphes, Matériaux et Techniques, (1990), volume 78, Issues 1-2, pp. 25-28.
- [38] A. BRENNER, P. COUCH, E. WILLIAMS, Electrodeposition of Alloys of Phosphorus and Nickel or Cobalt, Research paper n° 2061, Journal Research National Bureau of Standards, volume 44, Issue 1, (1950), pp. 109-122.
- [39] Le nickelage chimique Kanigen, Rechim S.A.
- [40] L. LACOURCELLE, Nickelage chimique, Techniques de l'Ingénieur, Traité Matériaux Métalliques M1565, juillet (1995).
- [41] R. COLIN, Le procédé industriel de nickelage chimique Kanigen, Galvano Organo, volume 740, (1976), pp.981-990.
- [42] S. VAILLANT, Revêtements composites NiP/SiC électrodéposés, Thèse de doctorat, Université Paul Sabatier de Toulouse, (2002).
- [43] M. BAYES, The physical properties of electroless nickel coatings, Proceeding EN 95 Conference, Cincinnati, novembre (1995), pp.106-113.

- [44] F.-H. Leroy*, B. Passilly*, J.-P. Culié**. *Estimation d'un comportement local par micro-indentation Vickers* . *Journée Scientifique Barrières thermiques (ONERA, 23 Janvier 2001)*.
- [45] A. Iost, R. Bigot, *Hardness of coatings*, Surf. Coat. Techn., 80 (1996) 117.
- [46] H. Bückle, *L'essai de micro dureté et ses applications*, Publications scientifiques et techniques du ministère de l'air, NT90 Paris (1960).
- [47] B. Jönsson, S. Hogmark, *Hardness measurements on thin films*, Thin Solid Films, 114 (1984) 257.
- [48] A. Perriot, E. Barthel, *Elastic contact to a coated half-space - Effective elastic modulus and real penetration*, Ccsd-00001402, Version 1 - 2 Apr 2004.
- [49] P.J.Burnett, D.S.Rickerby, *The mechanical properties of wear – resistant coatings II: Experimental studies and interpretation of hardness*, Thin Solid Films,148(1987)51-65.
- [50] S. Messaadi, thesis of doctorat ,university of Nancy France (1987).
- [51] A. Brener and G.E.Riddel,J.of Res . NBS (1946),37,1.
- [52] H. Buckle, *The science of hardness Testing and its research Applications*, American society of metals, Metals park, OH, 1973, p. 453.
- [53] M. baleva, V. Drakchieva, E. Gorana, E.P. Trifonova , mat. Sci. And ingen. B78(2000),131-134

ANNEXE A1: VERIFICATION (OPTION)

La fonction de vérification permet de vérifier l'appareil d'essai selon la norme utilisée (ASTM, ISO, etc.). Il s'agit d'une vérification indirecte du système complet, incluant la charge, le pénétrateur et le dispositif de mesure.

Afin d'utiliser cette fonction, un fichier de vérification existant est nécessaire; une fois ce fichier existant ouvert, un nouveau fichier doit être créé en utilisant les paramètres existants. Cela permet d'une part de configurer le système en mode de vérification et d'autre part d'entrer les limites de tolérance en cas d'erreur ou de répétitivité (avec la fonction Tolérance) ainsi que les informations relatives à l'étalon d'essai (dans Part Information).

La valeur nominale d'un étalon d'essai doit être entrée en valeurs Vickers ou Knoop, alors que l'erreur maxi (Max Error) et la répétitivité sont automatiquement calculées selon le tableau approprié.

Le nombre d'essais à pondérer par vérification est entré dans le module de tolérance et la fenêtre déroulante Average est désactivée.



Dans la section Print Preview (Aperçu de l'impression), la section History Data (Données d'historique) indique un récapitulatif de la vérification, avec une ligne établissant les états Pass (passés) ou Fail (défaut). Il est possible d'imprimer cette section pour obtenir un certificat.

ANNEXE A2 : INSTRUCTIONS D'INSTALLATION

A. INSTALLATION DE LA CARTE D'ACQUISITION VIDEO MC5XX POUR WINDOWS 95/98

- 1- Installer la carte d'acquisition vidéo.
- 2- Lorsque Windows trouve la carte et exige son pilote (ou driver), ouvrir le répertoire "Drivers" du CD-ROM d'installation afin de spécifier le pilote de la carte (anv500.inf ou cmv5xx.inf).
- 3- Une fois la spécification du pilote terminée, vérifier dans le panneau de configuration le bon fonctionnement de la carte MV500:MV5XX elle doit se trouver dans le groupe SOUND & VIDEO (son et vidéo) ou Multimédia. Son interruption ne doit pas être la même que celle des autres cartes, idéalement, elle doit être 9, 10 ou 11. Si le dispositif comporte un point d'interrogation ou d'exclamation, sélectionne celui-ci puis cliquer dessus pour rafraichir l'affichage Sinon, sélectionner le répertoire "Drivers" du CD-ROM d'installation afin de réinstaller le pilote adéquat. Si le conflit persiste, essayer de connecter la carte dans un nouveau slot ou de modifier ou désactiver un autre dispositif (carte son par exemple) ou le port USB utilisant la même interruption.
4. Le système est maintenant prêt pour l'installation du logiciel CAMS _ Win.

POUR WINDOWS NT

1. Installer la carte d'acquisition vidéo.
2. Upgrader le registre; les fichiers requis se trouvent dans le répertoire "Drivers" du CD- ROM d'installation. Lancer d'abord le fichier mv5reg.exe puis le fichier klinset.exe. Suivre les instructions Spécifiées puis sélectionner 340 comme adresse. Le système est rebooté. Il est maintenant prêt pour l'installation du logiciel CAMS_ Win.

POUR WINDOWS 2000

- 1- Installer la carte d'acquisition vidéo.
- 2- Lorsque Windows trouve la carte et exige son pilote (ou driver), ouvrir le répertoire "Drivers" du CD-ROM d'installation afin de spécifier le pilote de la carte (cmv500inf ou cmv5xx.inf).
- 3- Une fois la spécification du pilote terminée, vérifier dans le panneau de configuration le bon fonctionnement de la carte MV500:MV5XX elle doit se trouver dans le groupe SOUND & VIDEO (son et vidéo) ou Multimédia Son interruption ne doit pas être la même que celle des autres cartes, idéalement, elle doit être 9, 10 ou 11 - Si le dispositif comporte un point d'interrogation ou d'exclamation, sélectionne celui-ci puis cliquer dessus pour rafraichir l'affichage. Sinon, sélectionner le répertoire "Drivers" du CO-ROM d'installation afin de réinstaller le pilote adéquat. Si le conflit persiste, essayer de connecter la carte dans un nouveau slot ou de modifier ou désactiver un autre dispositif (carte son par exemple) ou le port USB utilisant la même interruption.
4. Upgrader le registre; les fichiers requis se trouvent dans le répertoire "Drivers" du CD- ROM d'installation. Lancer d'abord le fichier mv5reg.exe puis le fichier klinset.exe. Suivre les instructions spécifiées puis sélectionner 340 comme adresse. Le système est rebooté.
5. Le curseur de la souris présentera une ombre pourpre une fois dans la zone de l'image. Pour annuler cette fonction, aller dans le panneau de configuration. Souris, Curseurs puis décocher "Enable Pointer Shadow" (Autoriser l'ombre de curseur).
6. Le système est maintenant prêt pour l'installation du logiciel CAMS _ Win.

B. INSTALLATION DU LOGICIEL CAM_WIN

Pour installer le programme CAM_WIN, ouvrir le fichier "setup.exe" situé sur le CD-ROM d'installation. Les fenêtres de dialogue guideront l'opérateur à travers toute la procédure. En fin de procédure, le programme demandera d'insérer une disquette dans le lecteur A, supportant les informations de configuration, de calibration nécessaires pour la mise à jour du programme. Le programme d'installation créé alors le répertoire intitulé (Newage Testing Instruments) ainsi que son propre icône spécifié au-dessus (CAMs, BOSS ou MT90). L'icône sera également placé dans le bureau de l'ordinateur pour un lancement aisé.

C. CONNEXIONS DE VAPPAREIL D'ESSAI

Si le système comprend un appareil d'essai connecté via le port série COM1 il est alors nécessaire de décocher l'option FIFO via le panneau de configuration. L'option FIFO se trouve dans: panneau de configuration, Système, Gestionnaire de périphériques, Ports (COM & LPT) COM1, Propriétés, Avancées.

D. CONTROLEUR MOTEUR NEWAGE

Dans les systèmes automatiques utilisant le contrôleur moteur Newage, il est parfois nécessaire de respecter une séquence particulière au démarrage. Cela n'est pas toujours nécessaire mais recommandé. Mettre le PC en marche puis désactiver le contrôleur moteur (OFF) en utilisant le commutateur situé sur la façade de ce dernier. Lorsque le PC est prêt au niveau du bureau, activer le contrôleur moteur, attendre 15 secondes puis lancer l'application CAMS.

E. DISQUETTE D'INSTALLATION IDE RESTAURATION

Lorsque le système fonctionne correctement, il est possible de sauvegarder les fichiers de configuration finaux ainsi que les données de calibration au moyen d'une disquette d'installation I restauration via la commande cback.bat. Les fichiers BATCH copient tous les fichiers intéressants sur la disquette. Via l'explorateur Windows, visualiser le contenu du répertoire (c. /MT92VW) et lancer le fichier cback.dat. Une fenêtre DOS s'ouvre et demande à poursuivre. Insérer la disquette dans le lecteur A et presser sur une touche. Le programme effectue alors l'opération de restauration.

F. INSTALLATION D'UN VERROU DE SECURITE

Si le système comporte un verrou de sécurité (Dongle). il est au préalable nécessaire d'installer le logiciel. Les fichiers se trouvent dans le répertoire (Keylock) du CD-ROM d'installation. Lancer d'abord le fichier setupkey.exe, suivre les instructions, puis lancer le fichier Everkey.reg, également depuis le répertoire (Lock) du CD-ROM d'installation. Cela permettra de mettre à jour le registre pour le verrou sur LPT1.

ANNEXE A3 : CAPTURE D'IMAGE (OPTION)

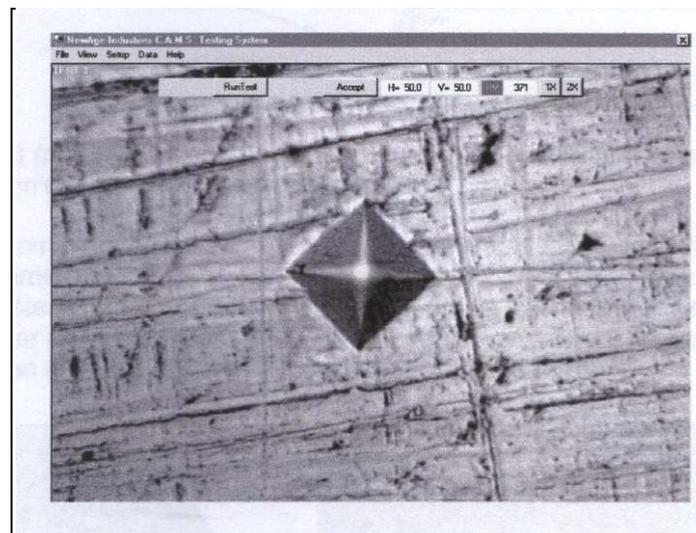
Cette fonction permet à l'opérateur de capture l'image générée par la caméra vidéo. L'image consiste en t'image active sans tes commandes et boutons du programme y apparaissant.

En mode d'essai standard, sélectionner le bouton Full. Si l'opérateur est en mode de déplacement, sélectionner d'abord le bouton Exit Traverses.

Pour initier la capture d'image, sélectionner le bouton de grossissement lx situé en bas de l'écran (au bout de la flèche dans l'illustration ci-dessous) lorsque le système est déjà en mode lx.

Une fenêtre apparaîtra et demandera à l'opérateur d'enter un nom de fichier. Une capture d'écran de l'image générée par la caméra sera sauvegardée au format bitmap. L'extension du nom de fichier, ".bmp", est ajoutée automatiquement si l'opérateur ne la saisie pas.

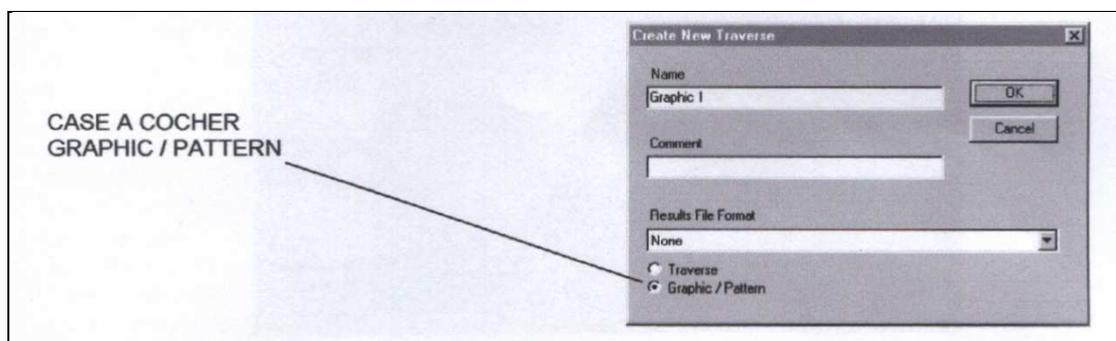
Ce fichier est ensuite sauvegardé dans le répertoire actuel ou vers un répertoire différent si l'opérateur saisit un chemin d'accès. L'image peut être imprimée en utilisant la plupart des programmes graphiques.



ANNEXE A4: MODE DE TRANSLATION GRAPHIQUE (OPTION)

Le mode Graphic / Pattern permet à l'utilisateur d'effectuer des essais selon un modèle indéfini sur la surface de l'éprouvette d'essai et pas uniquement en ligne droite. Le mode Graphic fonctionne d'une manière quasi identique au mode de déplacement avec quelques exceptions. Avant d'utiliser le mode Graphic, les utilisateurs devront se familiariser avec les procédures de déplacement standard.

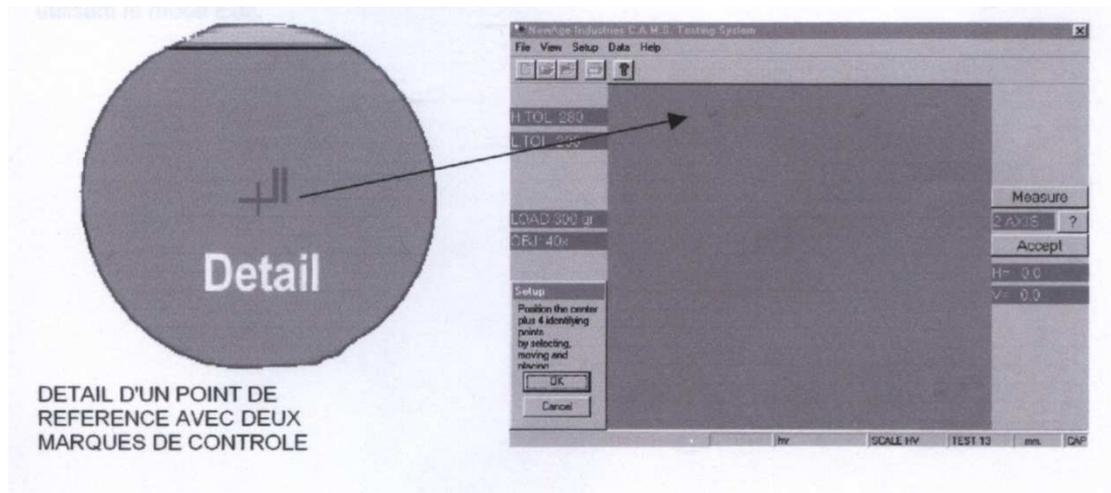
Pour utiliser le mode de déplacement Graphic / Pattern, sélectionner le bouton Traverse situé à l'écran CAMS_WIN principal. Sélectionner Create puis cocher la case Graphic / Pattern, spécifier un nom et optionnellement un commentaire.



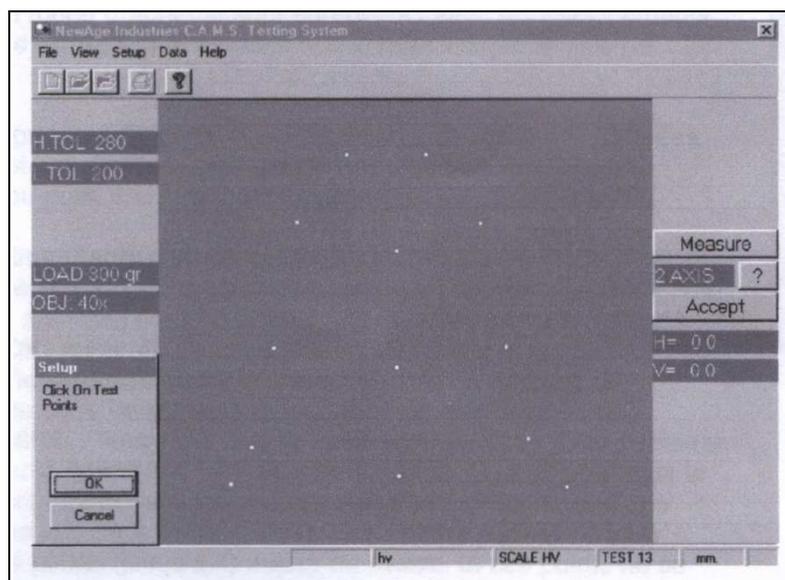
Dans l'écran suivant (non représenté), l'opérateur doit saisir les informations descriptives de la pièce d'essai ainsi qu'une description de configuration.

Après cela, le programme demande à l'opérateur de déplacer la table vers l'origine puis de cliquer sur OK. Le programme demande ensuite de positionner le centre ainsi que quatre points d'identification en sélectionnant, déplaçant et plaçant.

Enfin, la mire de visée située au centre de l'écran soit se trouver au dessus d'une caractéristique reconnaissable. Les autres points sont utilisés si l'orientation de la pièce peut varier au cours de l'opération.



L'instruction Click on Test Points signifie de cliquer exactement sur les points d'essai. A chaque clic de bouton gauche de la souris, un tiret rouge est positionné à l'écran. C'est à ce point qu'un essai sera réalisé. Un ou tous ces points peuvent être effacés en cliquant sur deux pixels. Le reste de la configuration se passe d'explications.



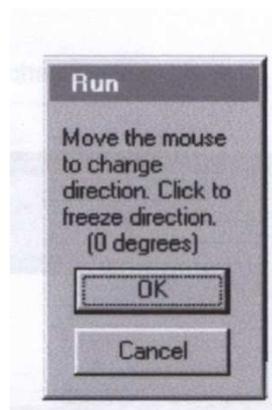
Une fois le positionnement de l'essai achevé, il est demandé à l'opérateur d'ajouter une autre configuration. Si l'opérateur choisit d'ajouter une autre configuration, le processus est répété. (La configuration multiple correspond aux routines d'essai où un déplacement graphique multiple est souhaité pour un seul nom de fichier, par exemple pour contrôler les dents d'engrenage d'un même engrenage).

Une fois la configuration complétée, l'opérateur peut sauvegarder la routine. Si des erreurs ont été commises, la configuration peut encore être sauvegardée et ensuite les erreurs corrigées en utilisant le mode Edit.

Lancement d'un déplacement graphique

Pour lancer un déplacement en mode Graphique, l'opérateur doit choisir une spécification définie pour ce mode graphique. Remarque : Les déplacements en mode graphique sont enregistrés avec les déplacements standard. Rien ne les distingue à moins que le nom indique le type de déplacement.

Après que le programme ait demandé à l'opérateur de saisir des données descriptives, il est ensuite demandé d'effectuer un déplacement vers l'origine (centre ou point identifiant) de la pièce puis de cliquer sur OK.



La partie la plus importante d'un déplacement graphique est d'obtenir le centrage de la pièce. La boîte de dialogue contenant le message "Move the table to origin #1 and then press OK" (Déplacer la table vers l'origine n°1 puis cliquer sur OK) apparaît.

Ceci est rendu plus simple si la caractéristique d'identification de la pièce est choisie au moment de la configuration. Une boîte de dialogue apparaît après que la pièce soit correctement centrée "Move the mouse to change direction. Click to freeze direction (Bouger la souris pour changer de direction. Cliquer pour figer la direction).

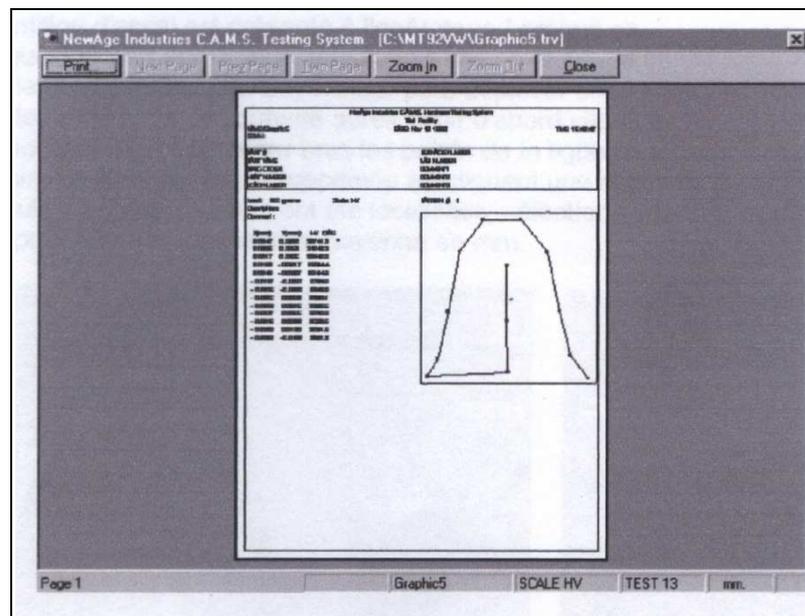
Ceci est uniquement nécessaire si la pièce est centrée d'une autre manière que lors de la configuration. Cette étape permet de faire tourner les autres points (Jusqu'à 4) autour du centre. Si ces points ne se trouvent pas correctement dans les

Annexes

spécifications requises, il est alors considéré que la pièce n'est probablement pas centrée. Annuler la rotation et recentrer la pièce.

Une fois les essais terminés, un rapport apparaît automatiquement. (Voir ci-dessous). Les rapports sont manuels, de la même manière que le déplacement. Le type de rapport dépend selon si le fichier a été créé pour un déplacement ou pour graphique I modèle.

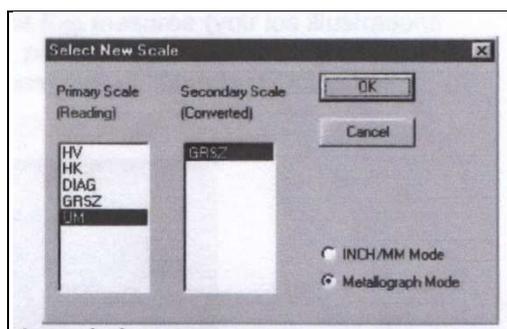
Le système retourne à l'écran de déplacement principal dès la fermeture du rapport.



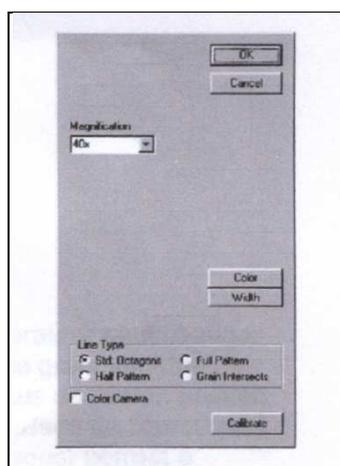
ANNEXE A5 : GRANULOMETRIE (OPTION)

L'option Grain Size permet à l'utilisateur de mesurer la granulométrie d'un échantillon visible à l'écran du moniteur.

L'option Grain Size doit être configurée durant la procédure de configuration d'un nouveau fichier. Après - avoir sélectionné le nom du fichier ainsi que les Ro informations descriptives, l'opérateur doit sélectionner _____ le bouton radial Metallograph Mode et l'échelle UM [UM IDL4G 1 correspond à "µm" en cas de micromètres ou jsz millièmes en cas de millimètre] ou l'échelle GRSZ [indiquant la "granulométrie9].



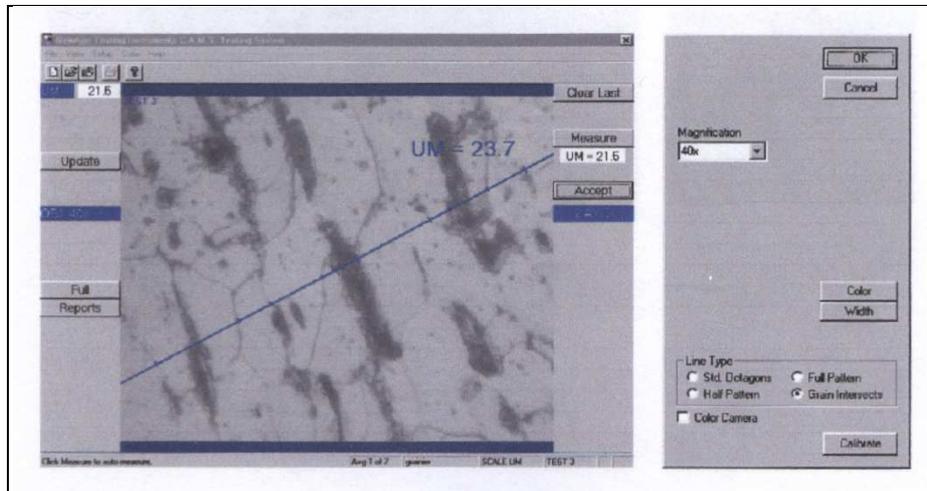
Le système intègre deux méthodes de mesure granulométrique de base. Une méthode de mesure directe, appelée Grain Intersects et trois techniques de mesure indirecte par correspondance granulométrique. Lorsque l'option Grainsizing a été sélectionnée comme échelle, l'opérateur peut basculer entre les systèmes de mesure en utilisant ALT- T. Alternativement, l'opérateur peut changer de système de mesure granulométrique en utilisant le bouton UPDATE situé sur l'écran principal (sauf lorsque le bouton TRAVERSE a été sélectionné). Les choix sont listés dans la section Une Type du graphique des fonctions Update. (Voir ci-contre). (Si les sélections des types de lignes diffèrent de celles aperçues ci-contre, alors il est plus que vraisemblable que l'opérateur n'a pas sélectionné l'échelle valide pour la granulométrie donnée durant la configuration. Dans ce cas, les sélections de ligne standard sont représentées pour la mesure des granulomètres d'empreinte de micro dureté).



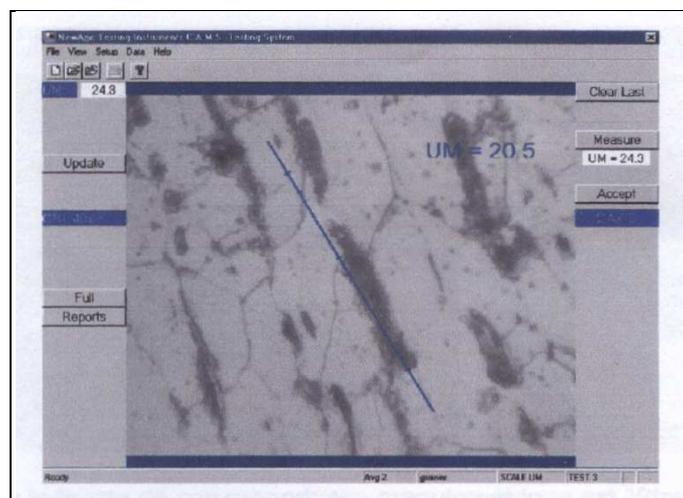
Avec la méthode de mesure directe, appelée Grain Intersects, un écran affichant l'échantillon d'essai est présenté à l'opérateur. Lorsque ce dernier clique quelque part sur l'image, une ligne s'affiche et coupe ce point ainsi que le centre de l'écran. L'opérateur peut déplacer cette ligne jusqu'à obtenir le meilleur angle souhaité après

Annexes

avoir d'abord cliqué à l'écran. Il est nécessaire de cliquer sur tous les points de la ligne coupant le bord d'un grain. La ligne peut être supprimée en cliquant une seconde fois. Lorsque toutes les intersections ont été localisées, sélectionner le bouton Accept pour obtenir une mesure moyenne en mm.

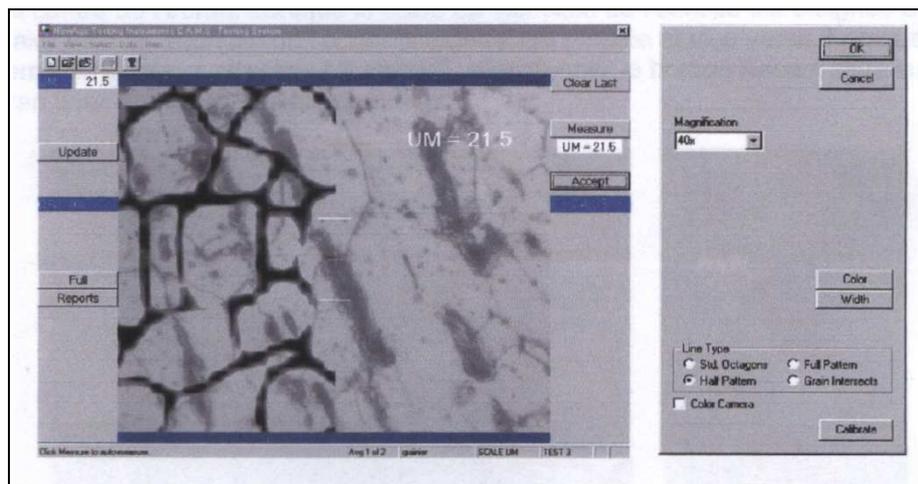


Pour augmenter la précision, l'opérateur peut choisir la fonction Average (Moyenne) (Située en dessous du Menu Setup durant la procédure de configuration du fichier). Lorsque la moyenne est configurée avec l'option "2" sélectionnée, l'opérateur peut procéder à la mesure de manière régulière, mais après la première mesure, celui-ci peut toucher une seconde ligne perpendiculaire à la première et obtenir un résultat pondéré (Ou moyen) une fois mesurée (voir les illustrations précédentes et ci-dessous). Les trois méthodes indirectes, par correspondance de granulométrie, sont "Half Pattern (demi modèle)", "Full Pattern" (Modèle complet) et "Standard Octagons" (Octogones standard).



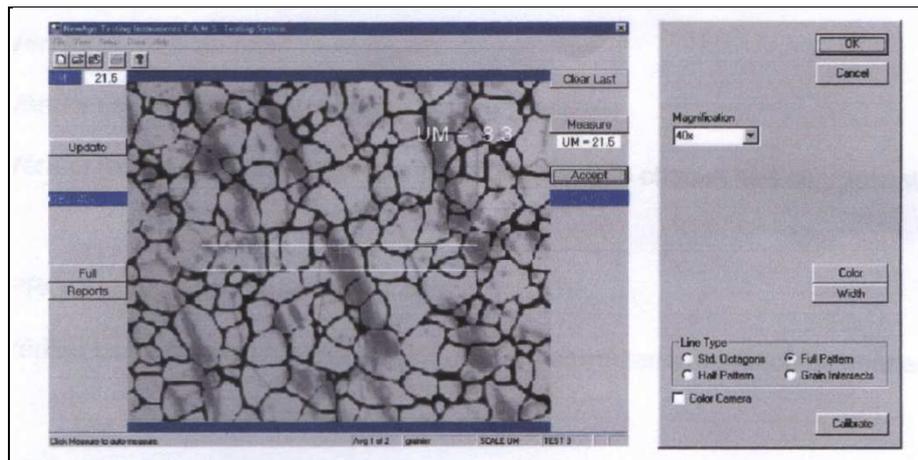
Annexes

Si l'option "Half Patten" est sélectionnée (voir le graphique ci-dessus), l'opérateur peut changer l'échelle correspondant au cache de recouvrement jusqu'à correspondre à la granulométrie de l'image active de l'éprouvette échantillon. Pour commencer, cliquer au dessus de l'écran puis en dessous du repère indiquant le centre. La surface apparaîtra indiquant la surface de l'éprouvette d'essai avec un des côtés sans le cache. L'option "Full Patten" (voir ci-dessous) permet à l'opérateur d'obtenir une meilleure vue du cache de recouvrement puisqu'en plein écran.



Pour ajuster la granulométrie du cache de recouvrement, cliquer puis rapprocher ou déplacer plus ou moins les barres de sélection (représentée en blanc au-dessus et en dessous du centre de l'écran) vers le point d'origine (croix) situé au centre de l'écran.

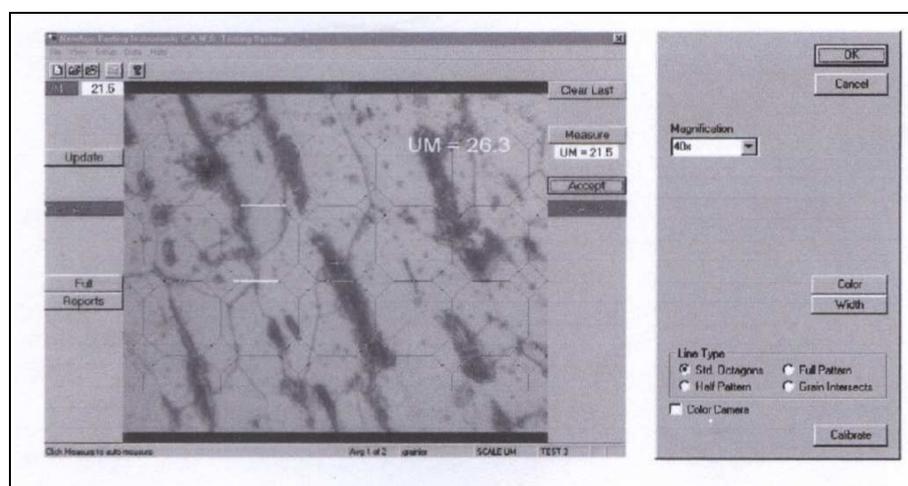
Lorsque la barre de sélection de l'échelle est éloignée de l'origine, l'échelle de l'image du cache de recouvrement augmente et vice versa. L'écran "Half Patten" ci-dessus affiche la granulométrie avec une échelle plus importante. En dessous, l'écran "Full Patten" comporte un ajustement affichant la granulométrie selon une échelle plus petite. Lorsque la granulométrie la mieux adaptée est atteinte, sélectionner le bouton Accept afin de confirmer la mesure.



La troisième méthode indirecte de correspondance granulométrique est “Standard Octagons”. Si cette méthode est choisie pour la mesure de granulométrie (voir ci-dessous), l’opérateur peut cliquer sur un point indiquant approximativement les bords supérieur et inférieur d’un grain, ce qui affiche les barres de sélection (en blanc) et les formes octogonales.

L’opérateur peut changer l’échelle du calque de recouvrement jusqu’à ce qu’il corresponde le mieux à la granulométrie de l’échantillon. Pour cela, cliquer puis rapprocher ou éloigner les barres de sélection (représentées en blanc au-dessus et en dessous du point indiquant le centre de l’écran) du point d’origine (croix), situé au centre de l’écran.

Lorsque la barre de sélection de l’échelle est éloignée du point d’origine selon l’axe vertical, l’échelle de l’écran octogonal est grossie et vice versa. Lorsque la granulométrie la mieux adaptée est atteinte, sélectionner le bouton Accept situé sur le côté droit de l’écran pour obtenir le résultat de l’essai.



Résumé

Dans ce travail, nous avons mis au point une technique permettant à mesure de microdureté Vickers des alliages de $Ni_{100-x}P_x$ par appareil de microduromètre . Ce mémoire contient trois chapitres.

Dans le 1^{er} chapitre sont présentées des différents essais de dureté des métaux, alliages métalliques et couches minces. En plus rappelé les propriétés mécaniques des couches minces de Ni-P, et les modèles qui permettent l'interprétation des valeurs de de la microdureté.

Le 2^{ème} chapitre est consacré à la description des différentes fonctions du logiciel C.A.M.S, utilisé pour le visualisation de la microdureté Vickers.

Dans le 3^{ème} chapitre, sont présentées la technique électrochimique pour l'élaboration des couches de Ni-P et l'étude de la microdureté des couches minces de Ni-P. Les résultats obtenues pour interprété dans le cadre du modèle de Buckle.

ملخص

خلال العمل المقدم في هذه الأطروحة، قمنا بوضع المبادئ الأساسية للتجربة التي تسمح لنا بقياس صلابة خلائط $Ni_{100-x}P_x$ باستعمال جهاز يسمى "ميكرو ديرو متر".

إن العمل المطروح في هذه المذكرة ينقسم إلى ثلاثة محاور.

المحور الأول يشرح مختلف الاختبارات لصلابة المعادن، الخلائط المعدنية و الصفائح الرقيقة.

وكذلك قمنا بتذكير الخصائص الميكانيكية للطبقات الرقيقة $Ni_{100-x}P_x$

المحور الثاني يفسر مختلف دوال "لوجيسيال كامس" اللازمة لسير التجربة

المحور الثالث يتضمن الشرح المفصل للتجربة المستعملة خلال هذه المذكرة، وتطبيق النموذج المناسب للتعليق على النتائج.