

SESSION 2011

**BREVET DE TECHNICIEN SUPERIEUR**  
**TRAITEMENTS DES MATERIAUX**

SCIENCES ET TECHNIQUES INDUSTRIELLES

Sous-épreuve spécifique à chaque option

Option A – Traitements Thermiques

- U4.4A -

DUREE : 2 heures

COEFFICIENT : 2

Les calculatrices sont interdites

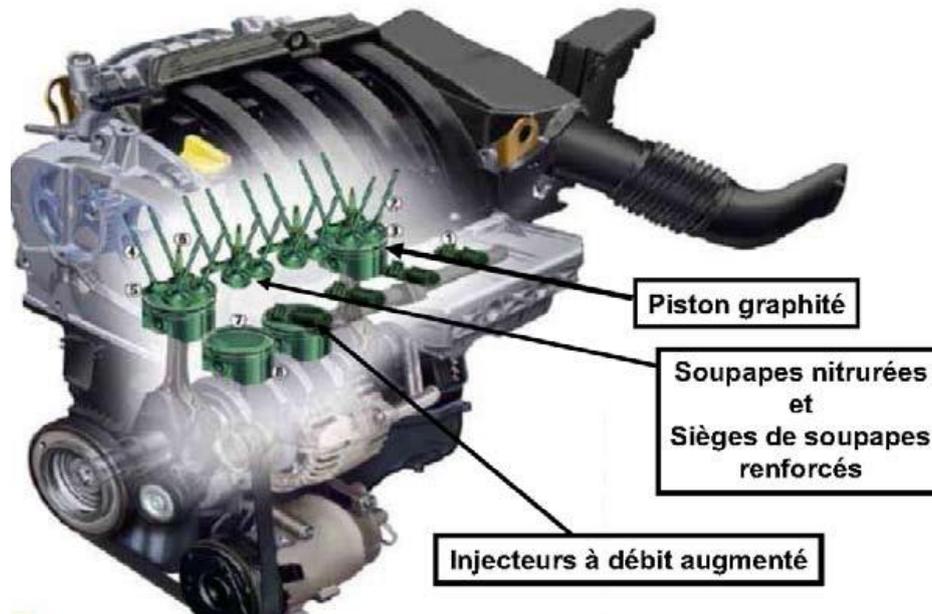
Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il soit complet.  
Le sujet comporte 13 pages, numérotées de 1 à 13 dont 9 annexes.

<b>BREVET DE TECHNICIEN SUPERIEUR – TRAITEMENTS DES MATERIAUX</b>			
Durée : 2 heures	Coefficient : 2	Sciences et Techniques Industrielles	Session 2011
Code : TMSTI A		Sous-épreuve spécifique à chaque option – U4.4A Option A : Traitements Thermiques	Page 1/13

## Sous-épreuve spécifique option A : Sciences et Techniques Industrielles

Pour adapter leur motorisation à l'arrivée de véhicules consommant du bioéthanol, les constructeurs automobiles ont été confrontés à de nombreux problèmes techniques.

Le bioéthanol est plus corrosif, possède un pouvoir de lubrification plus faible que les carburants traditionnels. Possédant un indice d'octane plus élevé que celui de l'essence, il a fallu renforcer un certain nombre d'éléments moteur.



Les pistons et sièges de soupapes sont renforcés pour résister à la hausse de la température, à la pression de combustion plus importante due à la chaleur latente de vaporisation et à l'indice d'octane du bioéthanol plus élevé.

Des modifications sont également apportées aux systèmes d'injection et d'allumage.

L'étude portera sur la fabrication et le renforcement des soupapes et des sièges de soupapes.

### Partie I : Etude des matrices d'estampage à chaud pour la fabrication de soupapes

La nuance d'acier utilisée est la suivante : X30WCrV9-3.

La fiche technique fournisseur est présentée en annexe 1.

Les matrices sont usinées puis traitées thermiquement avant de subir une nitruration.

**Cahier des charges :**  $47 \leq HRC \leq 49$  avant nitruration  
Diamètre de la matrice : 60 mm

**I.1** Cet acier appartient à la classe des aciers à outils pour travail à chaud. Pour quelle(s) raison(s) ?

BREVET DE TECHNICIEN SUPERIEUR – TRAITEMENTS DES MATERIAUX			
Durée : 2 heures	Coefficient : 2	Sciences et Techniques Industrielles	Session 2011
Code : TMSTI A	Sous-épreuve spécifique à chaque option – U4.4A Option A : Traitements Thermiques		Page 2/13

## Sous-épreuve spécifique option A : Sciences et Techniques Industrielles

I.2 Cet acier nécessite un double revenu. Justifier le rôle du deuxième revenu.

I.3 Soit, en annexe 1, les courbes "dureté / température de revenu" (après double revenu) obtenues sur un diamètre de 30 mm. Justifier les différences de duretés constatées après revenus en fonction des températures d'austénitisation.

I.4 A l'aide de l'annexe 1, décrire le cycle thermique complet (préchauffage, trempe et revenu(s)) permettant de respecter le cahier des charges de la matrice. Justifier tous vos paramètres (températures, temps et types de refroidissement).

I.5 Une atmosphère de protection est-elle nécessaire ? Pourquoi ? Dans l'affirmative, laquelle serait recommandée pour ce type de pièce ?

### Partie II : Etude des soupapes d'échappement bimétalliques

Les soupapes d'échappement sont soumises à de fortes contraintes thermiques accompagnées d'un risque de corrosion chimique au moment du cycle d'expulsion. Elles peuvent être attaquées par les gaz brûlés. Les soupapes d'admission ont une température de travail située environ entre 300°C et 550°C, les soupapes d'échappement peuvent, pour certaines motorisations, atteindre jusqu'à 1000°C.

Les soupapes monométalliques sont fabriquées dans un seul matériau ou alliage, généralement l'alliage chrome-silicium dont la gamme de fabrication est donnée en annexe 2. Les termes spécifiques associés aux soupapes sont présentés en annexe 3.

Une autre solution plus appropriée est, surtout pour les moteurs au bioéthanol, d'utiliser des soupapes bimétalliques fabriquées, comme leur nom l'indique, à partir de deux nuances d'acier différentes.

La liaison entre la tige et la tête de la soupape est obtenue par soudage par friction. La tête de soupape est en acier fortement allié à grande résistance thermique, tandis que la tige est fabriquée dans un autre alliage d'acier pouvant être trempé.



Les matériaux utilisés et étudiés sont l'acier X45CrSi9-3 nitruré pour la tige et l'acier austénitique à durcissement par précipitation X53CrMnNiN21-9 pour la tête.

La tête et la tige sont traitées thermiquement séparément **avant** soudage par friction.

BREVET DE TECHNICIEN SUPERIEUR – TRAITEMENTS DES MATERIAUX			
Durée : 2 heures	Coefficient : 2	Sciences et Techniques Industrielles	Session 2011
Code : TMSTI A		Sous-épreuve spécifique à chaque option – U4.4A Option A : Traitements Thermiques	Page 3/13

**Cahier des charges :**

$D$  (Diamètre de la face) =  $46,1 \pm 0,05$  mm

$d$  (diamètre de la tige) =  $10,98 \pm 0,01$  mm

$L$  (Longueur totale) =  $167,2 \pm 0,06$  mm

Soit la tête de soupape d'échappement en acier austénitique à durcissement par précipitation X53CrMnNiN21-9 dont le cycle thermique est donné en annexe 4.

**II.1** Indiquer, d'après sa désignation normalisée, la composition chimique exacte de cet acier et préciser le caractère (alphanagène, gammagène, carburigène) de chacun des éléments d'addition.

**II.2** A l'aide de la composition chimique minimale de l'acier et du diagramme de Pryce et Andrew ci-dessous, justifier du titre d'acier austénitique.

$$(\text{Ni})_{\text{éq}} = (\% \text{Ni}) + 0,5 \times (\% \text{Mn}) + 11,5 \times (\% \text{N}) + 21 \times (\% \text{C})$$

$$(\text{Cr})_{\text{éq}} = (\% \text{Cr}) + (\% \text{Mo}) + 3 \times (\% \text{Si})$$

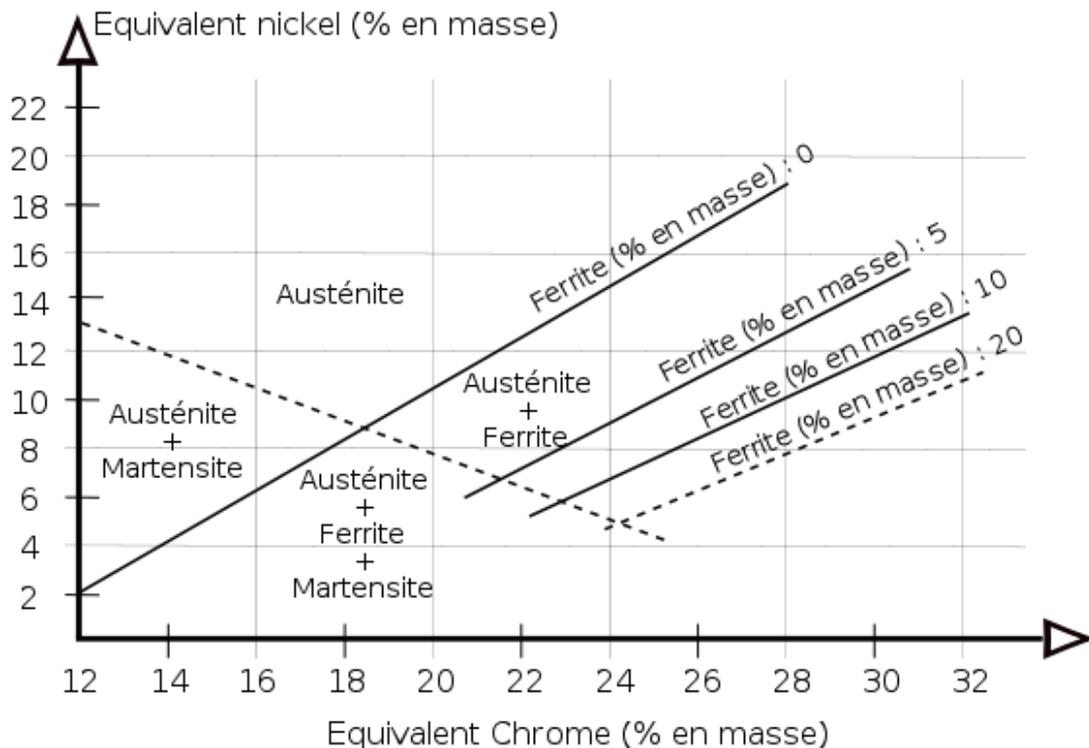


Diagramme de Pryce et Andrew

**II.3** Justifier le but de chaque étape du cycle de traitement thermique donné en annexe 4. Comment expliquer le durcissement après chauffage à 760°C ? Justifier.

BREVET DE TECHNICIEN SUPERIEUR – TRAITEMENTS DES MATERIAUX			
Durée : 2 heures	Coefficient : 2	Sciences et Techniques Industrielles	Session 2011
Code : TMSTI A	Sous-épreuve spécifique à chaque option – U4.4A Option A : Traitements Thermiques		Page 4/13

Soit la tige de soupape en acier X45CrSi9-3 nitruré dont le cycle thermique non complet est donné en annexe 5.

**Cahier des charges :**  $30 \leq HRC \leq 32$   
*Profondeur de nitruration* conventionnelle  $\geq 20 \mu\text{m}$

**II.4** Déterminer les paramètres du revenu à effectuer afin de respecter le cahier des charges.

**II.5** La couche nitrurée est obtenue par nitruration ionique. Expliquer le principe de nitruration ionique. Réaliser un schéma sommaire commenté d'un tel four avec quelques propriétés (pression, gaz, précision...).

**II.6** Quel est le rôle de la nitruration ?

**II.7** A l'aide de la filiation de dureté donnée en annexe 6. Déterminer la profondeur conventionnelle de nitruration obtenue. La pièce respecte-t-elle le cahier des charges ?

**Soit la soudure obtenue par friction**

**II.8** Expliquer la technique de soudage par friction par rotation ainsi que les avantages et les inconvénients de cette technique.

**II.9** Après soudage par friction, la courbe de microdureté obtenue est donnée en annexe 7 ainsi qu'une micrographie. Justifier :

- le pic de dureté côté tige
- la chute de dureté côté tête

**Partie III : Etude des sièges de soupapes**

Les bagues de sièges de soupapes adaptées à la motorisation bioéthanol peuvent être obtenues en alliage CuBe2.



BREVET DE TECHNICIEN SUPERIEUR – TRAITEMENTS DES MATERIAUX			
Durée : 2 heures	Coefficient : 2	Sciences et Techniques Industrielles	Session 2011
Code : TMSTI A	Sous-épreuve spécifique à chaque option – U4.4A Option A : Traitements Thermiques		Page 5/13

## Sous-épreuve spécifique option A : Sciences et Techniques Industrielles

**Cahier des charges :** 40 à 43 HRC  
*Épaisseur : moins de 3 mm*

A l'aide des données techniques fournisseur de l'annexe 8,

**III.1** On propose 3 températures de mise en solution : 780, 825 et 850°C. Indiquer et justifier la température de mise en solution de cet alliage qui paraît la plus adaptée.

**III.2** Déterminer et schématiser un cycle thermique permettant de respecter le cahier des charges.

**III.3** Expliquer les différences entre les mécanismes de durcissement intervenant dans les cycles E1 et TR.

### BAREME

Partie	Partie I					Partie II									Partie III		
Questions	I.1	I.2	I.3	I.4	I.5	II.1	II.2	II.3	II.4	II.5	II.6	II.7	II.8	II.9	III.1	III.2	III.3
Points	0,5	1	1	2	1	1,5	1	1,5	0,5	1,5	1	1,5	1	2	1	1	1

BREVET DE TECHNICIEN SUPERIEUR – TRAITEMENTS DES MATERIAUX			
Durée : 2 heures	Coefficient : 2	Sciences et Techniques Industrielles	Session 2011
Code : TMSTI A	Sous-épreuve spécifique à chaque option – U4.4A Option A : Traitements Thermiques		Page 6/13

**ANNEXE 1**

**X30WCrV9-3**

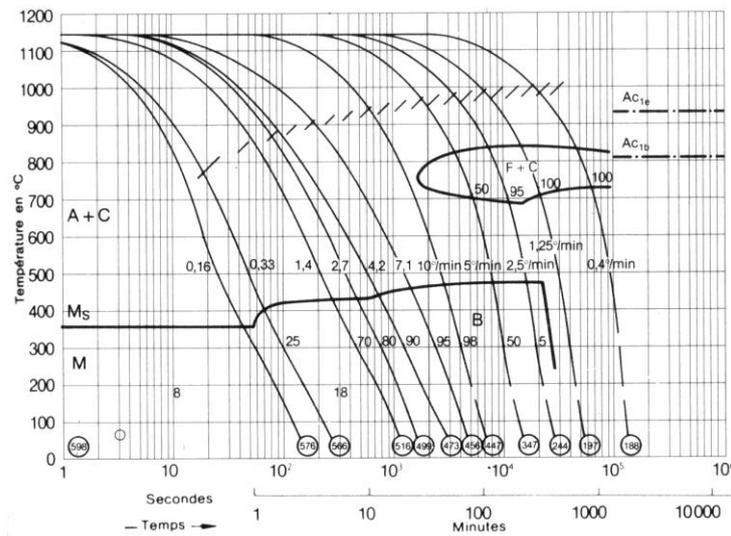
**Composition chimique en % (masse)**

C	Si	Mn	P max.	S max.	Cr	Mo	Ni	V	W
0,25 à 0,35	0,10 à 0,40	0,15 à 0,45	0,030	0,020	2,50 à 3,20	-	-	0,30 à 0,50	8,50 à 9,50

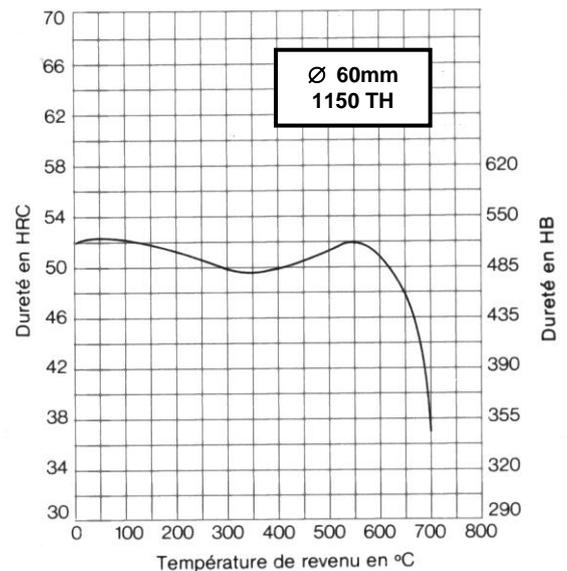
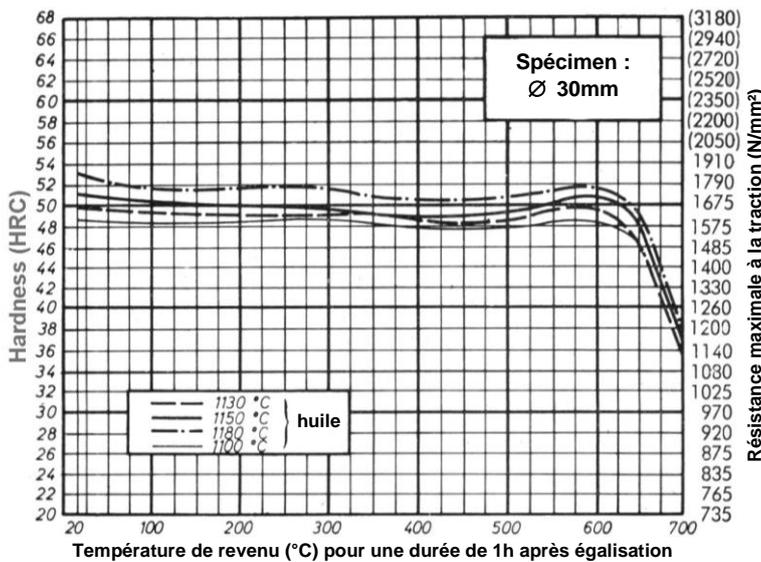
**Dureté à l'état recuit, température de trempe et dureté à l'état trempé et revenu**

Dureté HB (à l'état recuit)	Essai de trempabilité				
	Température de trempe °C (± 10 °C)	Milieu de trempe	Température de revenu °C(± 10 °C)	Dureté HRC mini	Austénite résiduelle après trempe mini
241	1150	Huile	600	48	> 5%

**Courbe TRC refroidissement continu**



**Courbes dureté / température de revenu**



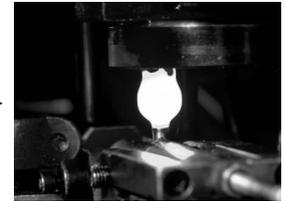
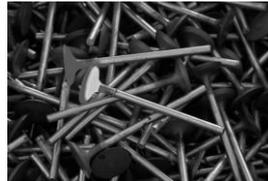
**ANNEXE 2**

**Gamme de fabrication standard de soupapes monométallique  
à partir d'un acier martensitique**

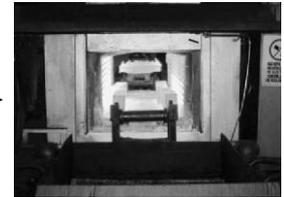
Phase 10 : Obtention des lopins par  
cisaillage



Phase 20 : Electro-refoulage à chaud  
(1100°C)



Phase 30 : Estampage à chaud



Phase 40 : Traitement thermique  
d'adoucissement



Phase 50 : Décolletage des têtes



Phase 60 : Décolletage de la  
queue



Phase 70 : Trempe et revenu

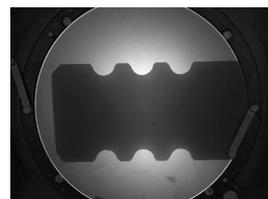
Phase 80 : Trempe par induction  
de la queue



Phase 90 : Rectification de la tige



Phase 100 : Rectification finale



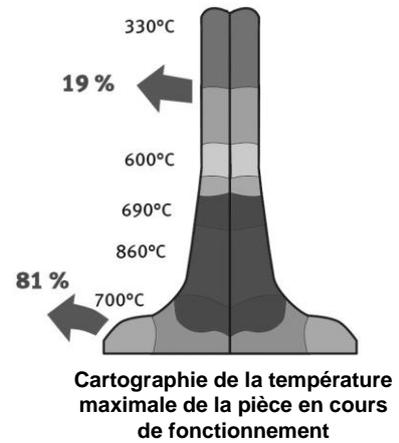
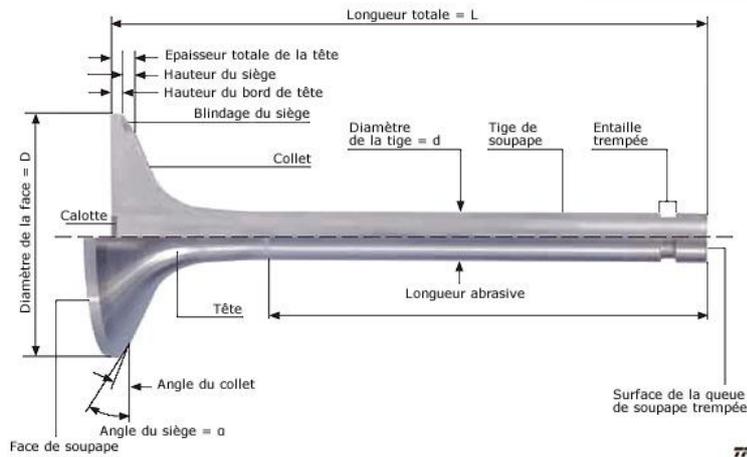
Phase 110 : Contrôle



<b>BREVET DE TECHNICIEN SUPERIEUR – TRAITEMENTS DES MATERIAUX</b>			
Durée : 2 heures	Coefficient : 2	<b>Sciences et Techniques Industrielles</b>	<b>Session 2011</b>
Code : TMSTI A		Sous-épreuve spécifique à chaque option – U4.4A Option A : Traitements Thermiques	Page 8/13

**ANNEXE 3**

**Termes spécifiques associés aux soupapes**



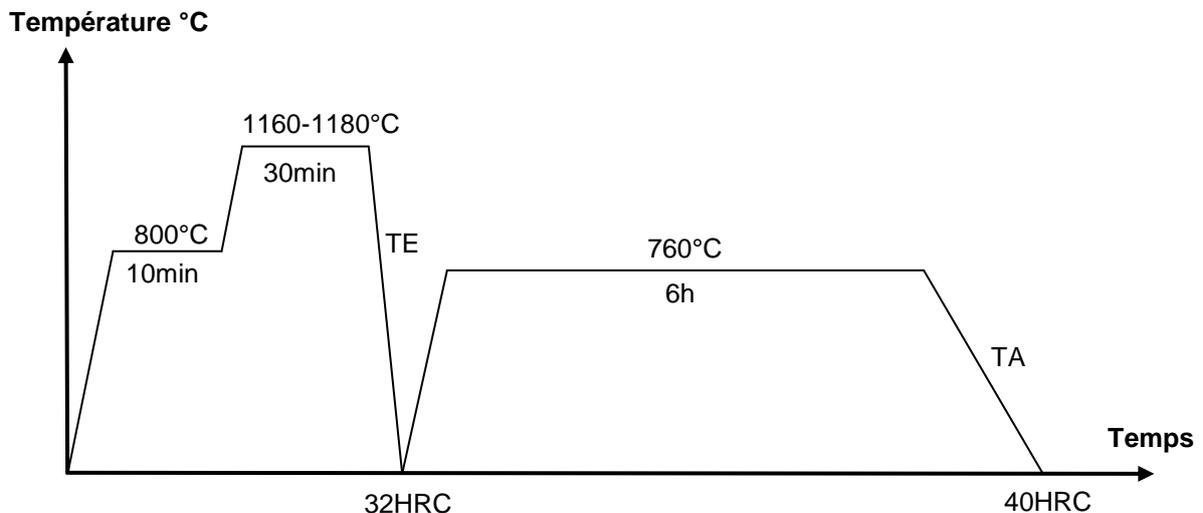
**ANNEXE 4**

**Tête de soupape en acier austénitique à durcissement par précipitation  
X53CrMnNiN21-9**

**Composition chimique en % (masse)**

C	Si	Mn	P max.	S max.	Cr	Mo	Ni	Autres
0,48 à 0,58	0,10 à 0,25	8 à 10	0,045	0,030	20 à 22	-	3,25 à 4,50	N : 0,35 à 0,50

**Cycle thermique après déformation à chaud :**

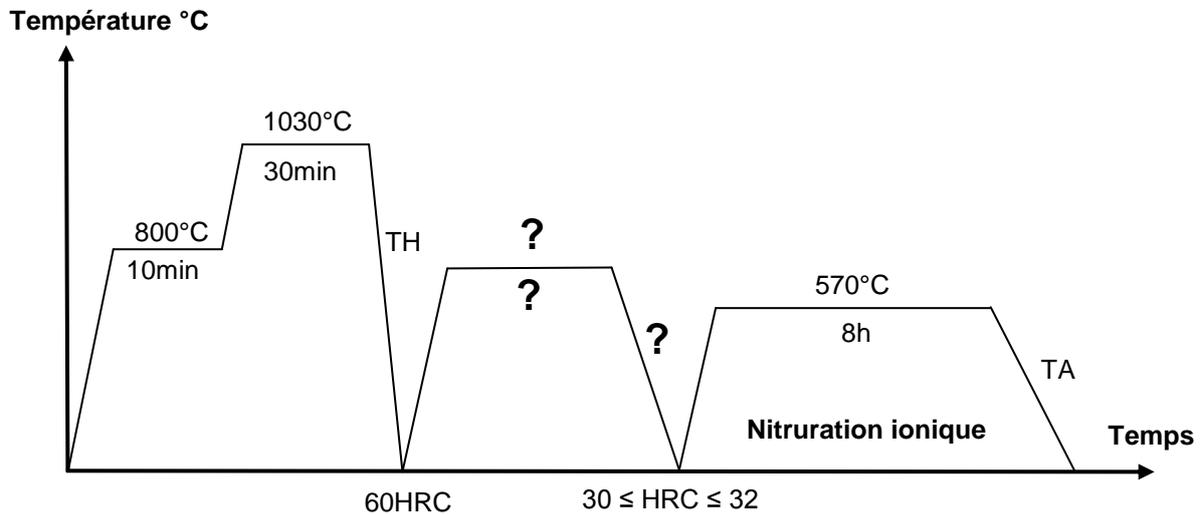


<b>BREVET DE TECHNICIEN SUPERIEUR – TRAITEMENTS DES MATERIAUX</b>			
Durée : 2 heures	Coefficient : 2	Sciences et Techniques Industrielles	Session 2011
Code : TMSTI A	Sous-épreuve spécifique à chaque option – U4.4A Option A : Traitements Thermiques		Page 9/13

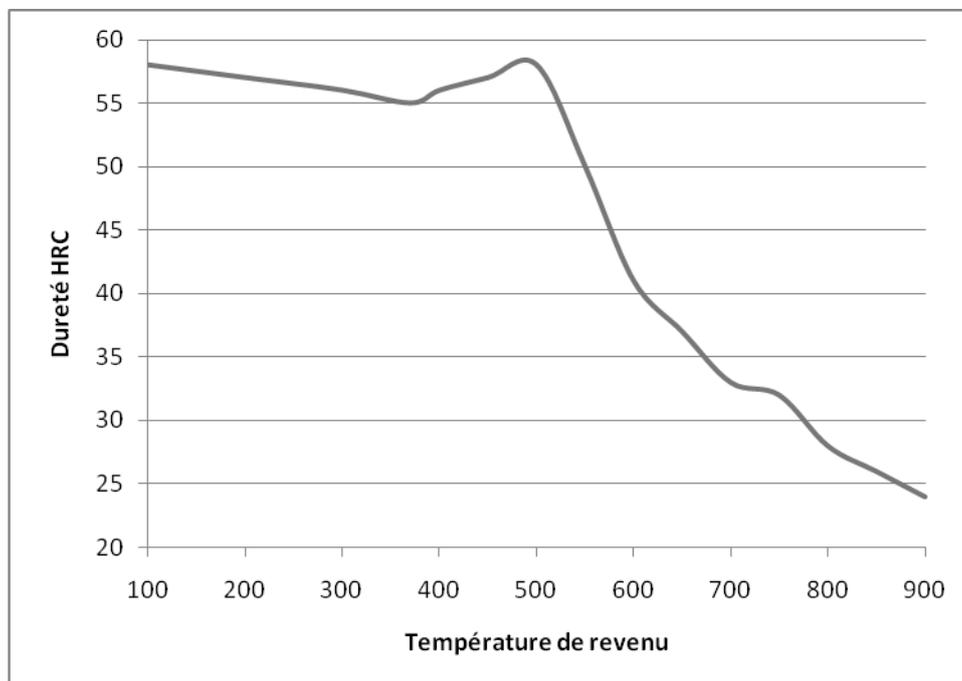
**ANNEXE 5**

**Tige de soupape en acier X45CrSi9-3**

**Cycle thermique après déformation à chaud :**

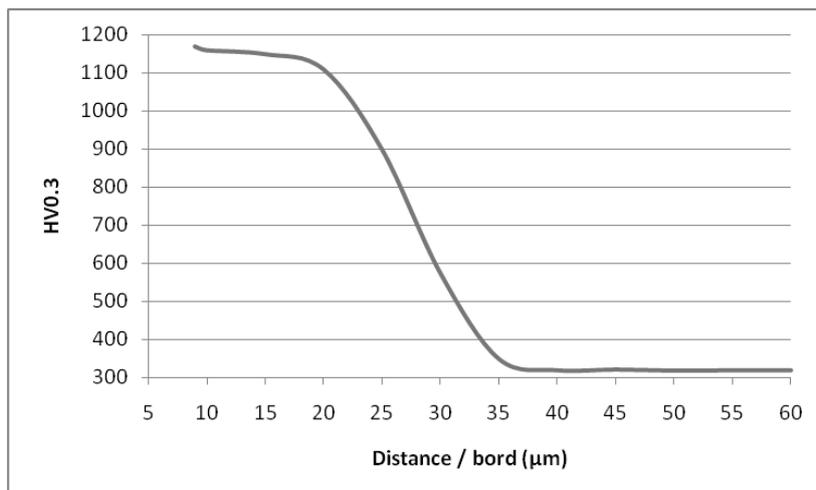


**Courbe dureté / température de revenu après trempe huile à 1030°C :**



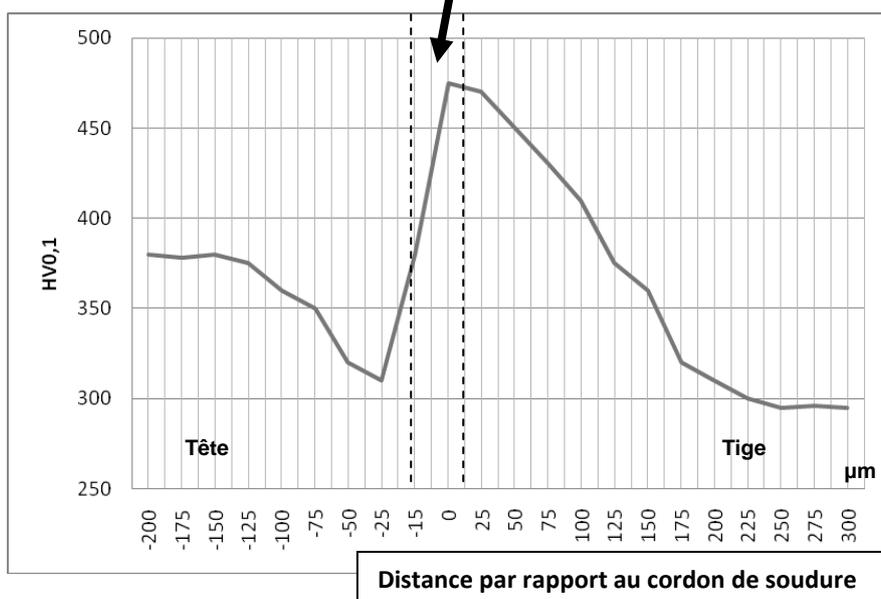
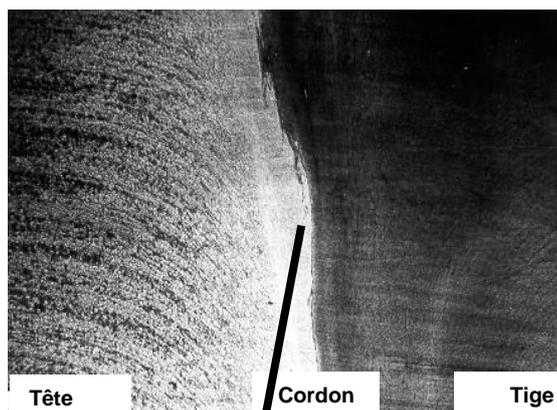
**ANNEXE 6**

**Filiation de dureté de la couche nitrurée**



**ANNEXE 7**

**Etude de la soudure de soupapes bimétalliques**



<b>BREVET DE TECHNICIEN SUPERIEUR – TRAITEMENTS DES MATERIAUX</b>			
Durée : 2 heures	Coefficient : 2	Sciences et Techniques Industrielles	Session 2011
Code : TMSTI A	Sous-épreuve spécifique à chaque option – U4.4A Option A : Traitements Thermiques		Page 11/13

**ANNEXE 8**

**Siège de soupape en CuBe2**

**Principales propriétés physiques de la nuance étudiée**

$E = 131 \text{ GPa}$

$\text{Solidus} = 865 \text{ }^\circ\text{C}$

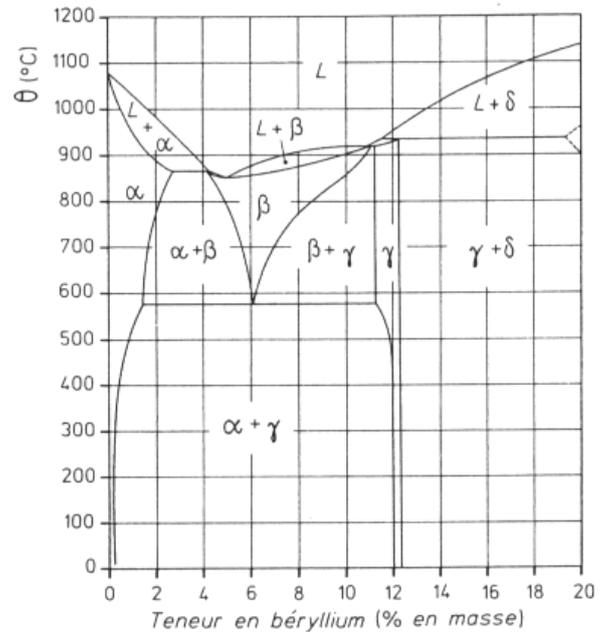
$\text{Liquidus} = 980 \text{ }^\circ\text{C}$

$\text{Masse volumique} = 8,36 \text{ g/cm}^3$

$\text{Coefficient de dilatation linéaire} = 17.10^{-6}/^\circ\text{C}$

$\text{Conductivité thermique} = 105 \text{ W/m.K}$

**Diagramme binaire Cu - Be**



		<b>Rp0,2</b>	<b>Rm</b>	<b>A%</b>	<b>HV30</b>
<b>Recuit</b>		190-380	410-540	35-60	90-150
<b>E1</b>	<b>Ecroui 1/4 dur</b>	420-560	510-610	15-35	120-180
<b>E2</b>	<b>Ecroui 1/2 dur</b>	530-660	580-690	8-25	180-215
<b>E3</b>	<b>Ecroui dur</b>	650-800	680-830	2-8	215-250
<b>TR</b>	<b>Trempé, revenu (3h à 315°C)</b>	960-1210	1130-1350	3-10	350-410
<b>TER1</b>	<b>Trempé, écroui 1/4 dur, revenu (2h à 315°C)</b>	1050-1300	1190-1420	3-6	360-430
<b>TER2</b>	<b>Trempé, écroui 1/2 dur, revenu (2h à 315°C)</b>	1100-1350	1270-1490	1-5	370-440
<b>TER3</b>	<b>Trempé, écroui dur, revenu (2h à 315°C)</b>	1150-1420	1310-1520	1-3	380-450

**ANNEXE 9**

**TABLEAU D'EQUIVALENCE DE DURETE**

HV30	HBS HBW	HRB	HRC	Rm MPa	HV30	HBS HBW	HRB	HRC	Rm MPa	HV30	HRC
80	76	36		270	280	266		27	890	660	58,5
85	81	42		310	285	271		28	910	670	59,0
90	85	47		320	290	276		28,5	930	680	59,2
95	90	52		340	295	280		29	940	690	59,7
100	95	56		350	300	285		30	960	700	60
105	100	60		370	310	295		31	990	720	61
110	105	62		380	320	304		32	1020	740	62
115	109	65		390	330	314		33	1060	760	62,5
120	114	67		410	340	323		34	1090	780	63
125	119	69		420	350	333		35,5	1120	800	64
130	124	71		440	360	342		36,5	1160	820	64,5
135	128	73		450	370	352		38	1190	840	65
140	133	75		470	380	361		39	1220	860	66
145	138	77		480	390	371		40	1260	880	66,5
150	143	79		500	400	380		41	1290	900	67
155	147	80		510	410	390		42	1330	920	67,5
160	152	82		530	420	399		43	1360	940	68
165	156	83		540	430	409		43,5	1400	960	68,5
170	162	85		550	440	418		44,5	1430	980	69
175	166	86		570	450	428		45	1470	1000	70
180	171	87		580	460	437		46	1500		
185	176	88		600	470	447		47	1540		
190	181	90		610	480	456		48	1570		
195	185	91		630	490	466		48,5	1610		
200	190	92		650	500	475		49	1650		
205	195	93		660	510	485		50	1680		
210	199	94		680	520	494		50,5	1720		
215	204	95		690	530	504		51	1760		
220	209	96		710	540	513		52	1790		
225	214	97		720	550	523		52,5	1830		
230	219	98		740	560	532		53	1870		
235	223	99		750	570	542		53,5	1910		
240	228	100	20	770	580	551		54	1940		
245	233		21	780	590	561		54,5	1980		
250	238		22	800	600	570		55	2020		
255	242		23	820	610	580		56	2060		
260	247		24	830	620	589		56,5	2100		
265	252		25	850	630	599		57	2140		
270	257		26	860	640	608		57,5	2180		
275	262		26,5	880	650	618		58	2220		