

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE MINISTERE DE  
L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA

FACULTE DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE



### **Projet de fin d'études**

Pour l'obtention de Master en Génie Mécanique

Option : Matériaux et traitement des surfaces

## ***Étude des revêtements de polyuréthane***

Proposé et dirigé par:

Mr. Pr. BACHA

Etudié par :

YEKHLEF WALID

ALLAM ABDELHAK

Année universitaire 2016/2017

# *Dédicace*

*Nous dédions nous travail :*

*A nos parents et a tous les nombres de nos  
familles pour leurs patience, leurs  
encouragement tout au long de nos études*

*A tous nos amis*

*Sans oublier notre promoteur Pr. N-E Bacha*

*A tous la promotion MTS 2017*

Introduction.....	1
-------------------	---

## **Chapitre1 Généralité**

1.2. Histoire.....	3
1.3. Définition de polyuréthane .....	4
1.4. Fabrication du polyuréthane.....	4
1. 5. Catégories des polyuréthanes et leurs domaines d'application.....	5
1.5.1. Les mousses.....	5
1. 5.2 Les élastomères de polyuréthane.....	6
1. 5.3 Peintures, vernis, liants, revêtements, adhésifs et autres matériaux.....	7
1.6 Propriétés du Revêtement de polyuréthane.....	7
1.6.1 Propriétés mécanique.....	7
1.6.1.1 Protection anti-gravillonnage.....	7
1.6.1.2. Résistance à l'usure.....	8
1.6.2. Propriétés chimique de polyuréthane.....	9
1.6.2.1. Acides et bases.....	9
1.6.2.2. Huiles, graisses et fuels.....	9
1.6.2.3. L'eau .....	9
1.6.2.4. Comportement à la température.....	9
1.6.2.5. Vieillessement .....	9
1.6.2.6. Radiations énergétiques.....	10

## **Chapitre 2 Procédure expérimentale**

Introduction .....	11
2-1 Éprouvettes d'essai .....	11
2-2 Découpage des échantillons.....	11
2-3 Préparation des surfaces.....	12
2-4 Réalisation des revêtements.....	14

2-5 Paramètres de projection.....	16
Vérification des conditions thermo hygrométriques .....	16
2-6 Balance électronique.....	16
2-7 Essai usure abrasive Taber .....	17
2-8 Essai de perte de masse.....	17
2-9 Essai d'adhérence .....	18
2-10 Résistance au choc.....	20
2-11 Test d'étanchéité à l'eau.....	20

### **Chapitre 3 Résultats et discussions**

Introduction.....	20
3.1. Essai de TABER.....	21
3.2. Essai de perte de masse .....	22
3.3. Essai d'adhérence.....	24
3.4. Résistance au choc .....	26
3.5. Essai de l'étanchéité à l'eau.....	29
Conclusion.....	32
Référence Bibliographiques.....	34

### **ANNEXE1 Principe de fonctionnement du Reactor A-25/ A-XP1**

Introduction.....	35
Machine de projection Reactor A-25/ A-XP1.....	35
Installation de la machine .....	35
Fonctionnement de la machine Reactor A-25/ A-XP1.....	40
Remplissage de produit avec les pompes d'alimentation.....	40
Réglage des températures .....	41
Pulvérisation.....	42
Fonctionnement.....	45
Sécurité .....	47

Aspects généraux.....	47
Produits chimiques.....	48
Polyuréthane.....	48
Côté résine, polyamine.....	48
Côté isocyanate.....	49
Projection.....	49
Solvants.....	49
Équipement à haute pression.....	49
Équipement de protection individuelle (EPI).....	50

## *Remerciements*

Premièrement, nous remercions *ALLAH* le tout puissant d'avoir accordé la volonté et le courage pour réaliser notre travail de PFE.

Nous remercions nos familles, à qui revient le mérite d'avoir éduqué, encouragé et soutenu sans faille durant ces années.

Nous tenons à remercier notre promoteur Pr. N BACHA d'avoir bien voulu nous proposer le sujet et ensuite encadré notre travail en nous apportons l'orientation et l'aide nécessaire.

Aussi, nous remercions Mr. Nacer Dilmi pour ses encouragements et son assistance.

On n'oublie pas de remercier les enseignants du département génie mécanique, en particulier ceux de la spécialité science des matériaux, pour avoir offert un agréable cadre de formation.

Nous souhaiterons également remercier tous mes collègues de la promotion MTS 2017, pour avoir encouragé à accomplir ce travail.

Enfin, nos remerciements vont à tous ceux qui d'une manière ou d'une autre a contribué à l'élaboration de ce travail.

## Résumé :

Les polyuréthanes sont polyvalents, modernes et sans danger. Ils sont employés dans une multitude d'applications pour créer toutes sortes de produits de consommation courante ou à usage industriel qui jouent un rôle crucial dans nos vies,

Les polyuréthanes sont développés dans les années 1930 par Otto Bayer (1902-1982). Il en existe plusieurs types, tous différents les uns des autres en termes d'aspect et de texture. Ils sont utilisés dans un large éventail de produits, des revêtements, adhésifs et les mousses rigides

Ils se caractérisent par les qualités suivantes:

- Bonne résistance à l'usure et à l'abrasion.
- Bonne résistance à la traction et excellente résistance à la déchirure.
- Très bonne capacité d'amortissement.
- Très bonne flexibilité au froid.
- Bonne tenue aux huiles, graisses, à l'oxygène et à l'ozone.
- Réactivité, réticulation et mise en service rapide.
- Résistance aux températures élevées.
- Résistant à l'eau.
- Absence de solvants (100% solides).
- Application en couche épaisse, même sur des surfaces verticales.
- Applicable sur la plupart des supports.

Notre travail est de faire un revêtement avec une machine reactor A25/A-XP1, on respectant la réglementation de la marche de la machine et avec une tenue de sécurité spéciale, après bien sure la préparation des échantillons.

Ensuite on a applique différentes essais de taber, de perte de masse

d'adhérence, teste d étanchéité a l eau et résistance au choc ; et les résultats sont :

-L'échantillon revêtu présente une bonne résistance à l'érosion et à l'usure après le testé à 1000 révolutions sous une charge de 1 Kg et le perte en masse est très petit  $\Delta m = 0,0449g$  dans les conditions :A=65 C° B=70 C° P=170 bar.

-une bonne résistance à la corrosion et perte de masse très petite mesuré après 24h de l'essai de perte de masse  $\Delta m = 0,0001$ .

*-d'après l'essai d'adhérence on voit que l'arrachement se fait après 6.2 MPA et on peut dire qu'on a une bonne adhérence.*

- après plusieurs frappes sur les échantillons on ne voit rien sur les surfaces des échantillons revêtus mais les autres non revêtus sont trop endommagés donc on dit qu'on a une très bonne résistance au choc .



# Introduction Général

Les polyuréthanes sont l'un des matériaux plastiques les plus polyvalents. La nature de la chimie permet d'adapter les polyuréthanes pour résoudre des problèmes difficiles et être moulés dans des formes inhabituelles et améliorer les produits industriels et de consommation en ajoutant confort, chaleur et commodité à nos vies. [1]

Les polyuréthanes peuvent être trouvés dans des matelas, des couches, des isolants, des revêtements liquides et des peintures, des élastomères résistants tels que des roues à rouleaux, des jouets en mousse flexible souple, des fibres élastiques et de nombreux autres endroits et applications. [1]

Sous une forme ou une autre, nous utilisons les polyuréthanes tous les jours : à la maison, au bureau, dans nos voitures, dans nos activités sportives et nos loisirs ou encore en vacances.

Les polyuréthanes sont polyvalents, modernes et sans danger. Ils sont employés dans une multitude d'applications pour créer toutes sortes de produits de consommation courante ou à usage industriel qui jouent un rôle crucial dans nos vies, rendant notre quotidien plus commode, plus confortable et plus respectueux de l'environnement. [1]

Le polyuréthane est une matière plastique que l'on trouve sous des formes diverses. Rigide ou souple, c'est la matière de prédilection pour une multitude d'applications courantes, dont :

- l'isolation des réfrigérateurs et des congélateurs.
- l'isolation des bâtiments.
- le capitonnage des meubles.
- les matelas.
- les pièces automobiles.
- les revêtements.
- les adhésifs.
- les rouleaux et les pneus.
- les panneaux en bois composite.

- les semelles de chaussure.
- les tenues de sport.

La liste d'applications est longue et s'élargit chaque jour, tout comme la liste des nouvelles utilisations que l'on trouve à cette matière particulièrement adaptable.

# Chapitre 1

## Généralité

### 1.2. Histoire

Les polyuréthanes sont développés dans les années 1930 par Otto Bayer (1902-1982). Il en existe plusieurs types, tous différents les uns des autres en termes d'aspect et de texture. Ils sont utilisés dans un large éventail de produits, des revêtements et adhésifs aux semelles de chaussures, matelas et mousses isolantes. Cependant, la composition chimique de base de chaque type reste fondamentalement la même. [2]

Seconde guerre mondiale : L'émergence des matériaux en polyuréthane

C'est durant la Seconde Guerre mondiale que commence à se propager l'utilisation des polyuréthanes, qui viennent remplacer le caoutchouc, alors trop coûteux et difficile à obtenir. Dès 1940 et 1941, des adhésifs ainsi que des polystyrènes (« styrofoams ») à base de polyuréthane sont intégrés dans la conception d'avions, de sous-marins militaires et de véhicules routiers. On utilise également de la mousse de polyuréthane comme matériau de flottaison pour les navires. [2]

Quand arrivent les années 1950, les polyuréthanes sont utilisés dans les adhésifs, les élastomères et les mousses rigides puis, dans la seconde moitié de la même décennie, dans des mousses de capitonnage souples semblables à celles employées de nos jours. [2]

Les évolutions se multiplient au fil des décennies suivantes et le polyuréthane est aujourd'hui présent dans chaque aspect de notre vie quotidienne. Bien que le polyuréthane soit un produit que peu d'individus connaissent vraiment, puisqu'il est généralement «caché» derrière des housses ou des surfaces réalisées en d'autres matières, il serait difficile d'imaginer vivre sans lui. [2]

### 1.3. Définition de polyuréthane :

Le polyuréthane est un polymère. Il est créé synthétiquement, par polymérisation : c'est une réaction chimique qui permet la transformation de monomères en polymères. Celui-ci est construit à partir de molécules : les monomères. Ils forment une chaîne à partir d'un motif qui est répété. Ces monomères sont reliés par des liaisons covalentes. Sa masse molaire est de 446,61078 g/mol.

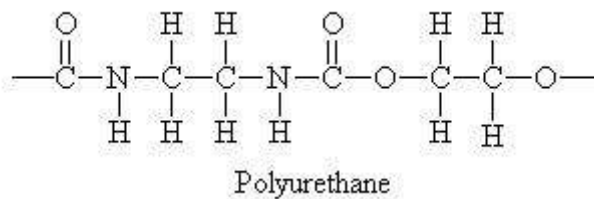


Figure 1.1 : Structure de polyuréthane

### 1.4. Fabrication du polyuréthane

Les polyuréthanes commerciaux sont des polymères de structure  $-(O-R-O)-(CONH-R'-NH-CO)-$ , où R et R' représentent des groupes organiques.

Le polyuréthane est produit en faisant réagir des isocyanates avec des polyols (Figure 1.2), qui sont des produits dérivés du pétrole. Une série d'additifs est également nécessaire pour produire des polyuréthanes de bonne qualité.

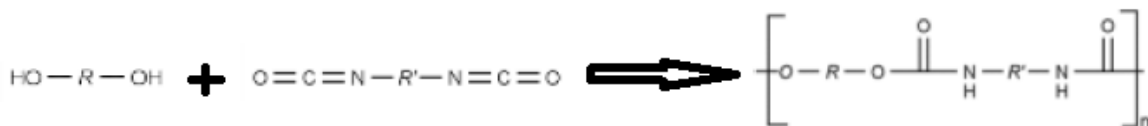


Figure 1.2 : réaction de polyuréthane

Ils se caractérisent par les qualités suivantes:

- Bonne résistance à l'usure et à l'abrasion.

- Bonne résistance à la traction et excellente résistance à la déchirure.
- Très bonne capacité d'amortissement.
- Très bonne flexibilité au froid.
- Bonne tenue aux huiles, graisses, à l'oxygène et à l'ozone.
- Réactivité, réticulation et mise en service rapide
- Résistance aux températures élevées
- Résistant à l'eau
- Absence de solvants (100% solides)
- Application en couche épaisse, même sur des surfaces verticales
- Applicable sur la plupart des supports

## **1.5. Catégories des polyuréthanes et leurs domaines d'application**

### **1.5.1. Les mousses**

Elles couvrent la majeure partie de la production (90%). Elles sont souples ou rigides selon la valence des précurseurs. Leur cohésion est apportée par la structure tridimensionnelle. Elles sont élaborées par formation de bulles de gaz lors du processus de polymérisation. Elles sont utilisées dans plusieurs domaines tels que l'isolation thermique et phonique, la literie, l'ameublement, l'emballage.... [3].

Il existe trois types de mousses qui, en termes de quantité, sont particulièrement, significatifs : Les mousses flexibles à faible densité, les mousses rigides de faible densité et les mousses flexibles de haute densité [3], [4].

Les mousses flexibles de faible densité sont des matériaux possédant des densités comprises entre 10-80 kg/m<sup>3</sup>, composées de cellules ouvertes légèrement réticulées. En d'autres termes, l'air peut circuler facilement à travers la structure. Considérés essentiellement comme matériaux de rembourrage souples et flexibles, les mousses flexibles sont produites sous forme de pavés, de coussins ou blocs. Les variantes semi-rigides possèdent également des structures à cellules ouvertes mais sont issues de formulations chimiques différentes [3].

Les mousses flexibles de haute densité sont définies comme celles possédant des densités supérieures à 100 kg/m<sup>3</sup>. Elles incluent les élastomères microcellulaires, et sont utilisées, de manière prépondérante, dans le domaine de la décoration, le rembourrage et les semelles de

chaussures. Dans le domaine de la médecine, les mousses flexibles et semi-rigides sont utilisées comme oreillers stériles, matelas orthopédiques, attelles et pansements [3].

Les mousses rigides de faible densité sont des polymères hautement réticulés et présentent des structures avec des cellules fermées imperméables aux mouvements de l'air.

Ces matériaux offrent une bonne solidité structurale et de bonnes propriétés d'isolation thermique. Un gaz, le chlorofluorométhane, est usuellement contenu dans les cellules. Ce gaz présentant une conductance thermique inférieure à celle de l'air. Les mousses rigides utilisées dans le domaine de l'isolation possèdent au moins 90% de cellules fermées et des densités supérieures à 30 kg/m<sup>3</sup>. Dans le domaine médical, les mousses rigides sont utilisées notamment dans la constitution d'attelles [3].

### **1. 5.2 Les élastomères de polyuréthane**

Ils présentent une excellente résistance à l'abrasion, aux attaques chimiques des huiles, des pétroles et d'un bon nombre de solvants ordinaires non-polaires. De par leur faculté à être souples ou durs, de faible ou de forte élasticité, solides ou cellulaires, ils peuvent être ajustés pour répondre aux besoins d'applications spécifiques [3].

Les élastomères de polyuréthane commercialement disponibles incluent les élastomères thermoplastiques (TPU), les élastomères moulés fabriqués par coulage de réactifs liquides dans un moule (CPU), les fibres et les revêtements élastomère pour le textile et pour d'autres matériaux flexibles, et les polyuréthanes à base de caoutchouc [3].

En général, presque tous les élastomères de polyuréthane ou de poly (uréthane-urée) sont des copolymères segmentés avec alternance de séquences rigides et souples. Les segments souples sont constitués de chaînes polyéther ou polyester flexibles à température ambiante, les segments rigides résultent de la réaction d'isocyanates polyfonctionnels (usuellement difonctionnels) avec des extenseurs de chaîne (diol ou diamine) de faible masse molaire.

Ils sont produits sous forme de profilés, en feuille, films, tubes, joncs... et sont utilisables dans toute application nécessitant à la fois déformabilité et contrainte à la rupture élevées : industrie du vitrage (adhésifs), du biomédical (les valves cardiaques, les membranes de dialyse, les cathéters et les prothèses vasculaires...), des fibres (fibres spandex) et des équipements électriques et électroniques.

### **1. 5.3 Peintures, vernis, liants, revêtements, adhésifs et autres matériaux**

En raison de la faible consommation d'énergie de la réaction de polyaddition utilisant les isocyanates et de la facilité avec laquelle les conditions de mise en œuvre et les propriétés du produit fini peuvent être ajustables, de nombreuses applications spécialisées de polyuréthanes ont été développées.

Ainsi, les polyuréthanes sont largement utilisés dans le domaine des adhésifs. Ils représentent une classe particulièrement variée de polymères adhésifs et il est certain que leur utilisation dans le domaine va continuer à croître. De manière générale, ils sont utilisés :

- comme adhésifs laminés pour les matériaux flexibles tels que les textiles, les films plastiques, les feuilles d'aluminium, le papier et les planches.
- Pour coller les caoutchoucs, le cuir, le PVC plastifié et les polyuréthanes.
- Pour coller les métaux.

La dureté et la résistance à l'abrasion et à la détérioration des polyuréthanes sont précieuses dans le domaine des revêtements pour la protection et la décoration des surfaces.

De ce fait, les polyuréthanes sont largement utilisés dans ce domaine sous forme de vernis, peinture ou revêtement cellulaire (tapis, moquettes) [3].

## **1.6 Propriétés du Revêtement de polyuréthane :**

### **1.6.1 Propriétés mécanique :**

#### **1.6.1.1 Protection anti-gravillonnage :**

Le gravillonnage des carrosseries automobiles provoque des défauts esthétiques, éventuellement points de départ de corrosion.

La corrosion peut se produire si la tôle est mise à nu au point d'impact. Une solution satisfaisante vis-à-vis de la corrosion résultant du gravillonnage peut être envisagée à partir d'un film revêtu sur sa face externe d'une couche de polyuréthane.

Ce film, qui est une pellicule continue de substance macromoléculaire, ralentit la cinétique de corrosion en interposant une barrière imperméable à la diffusion de l'eau et de l'oxygène.

Comme nous l'avons vu précédemment, la perméabilité à la vapeur d'eau est faible. Le matériau se stabilise à faible niveau de reprise d'humidité et cette diffusion d'humidité n'affecte pas durablement le revêtement car celui-ci se régénère facilement dans les phases sèches. Si la résistance mécanique anti-gravillonnage est bonne, le revêtement sera une alternative de protection contre la corrosion électrolytique.

Il existe deux méthodes d'essais pour tester la résistance au gravillonnage :

- la méthode multi impacts qui consiste à projeter une quantité déterminée de grenaille sur l'éprouvette à tester. La grenaille est accélérée dans un courant d'air comprimé. Après l'essai, on examine l'éprouvette et on observe visuellement son altération. On prend en compte la densité et la taille des impacts.

Le but du revêtement polyuréthane est d'absorber une partie de l'énergie due à l'impact du gravillon sur la carrosserie et de la dissiper.

### **1.6.1.2. Résistance à l'usure**

La résistance à l'usure représente le point faible de certains revêtements polymériques. Il s'agit d'une dégradation qui se limite essentiellement aux interactions de surface car la rugosité de surface joue un rôle important puisqu'elle conditionne l'usure et la formation de débris. Il est communément admis que l'usure est davantage influencée par les propriétés mécaniques que par les propriétés de surface.

Par des processus d'usure dont les mécanismes semblent complexes, on observe deux types de rupture:

- les ruptures élastiques avec déchirement,
- les ruptures fragiles avec cassure.

De nombreux travaux ont été publiés sur le sujet mais ils ne permettent pas d'établir des règles de comportement sur les mécanismes d'établissement [5, 6, 7]

Les revêtements de polyuréthanes présentent une haute résistance à l'abrasion. Ils résistent surtout très bien à l'usure chimique par les qualités de stabilité chimique exceptionnelles du groupe uréthane, la facilité de former des domaines de haute rigidité alternant avec des chaînes flexibles évite la plupart des effets d'usure observés sur d'autres polymères.

### **1.6.2. Propriétés chimique de polyuréthane :**



#### **1.6.2.1. Acides et bases:**

Les polyuréthanes montrent une bonne résistance aux acides et aux bases dilués. Toutefois, ils sont peu résistants aux solutions concentrées et aux acides fortement oxydants. [8]

#### **1.6.2.2. Huiles, graisses et fuels:**

Le PU possède une excellente résistance aux huiles minérales pures et aux graisses. Les huiles de test suivant ASTM 1, 2 et 3 ne provoquent aucune perte de résistance à la traction à 20°C ni après 3 semaines d'exposition à 100°C. Les PU sont également résistants au mazout, au kérosène et au test FAM (ASTM D 471) pour le Fuel A (aucune perte de résistance à la traction). Ils sont toutefois peu résistants au même test pour les fuels B et C. [8]

#### **1.6.2.3. L'eau:**

Les polyuréthanes peuvent être plongés dans l'eau à 20°C. Les polyuréthanes fabriqués sur base de polyester en contact avec de l'eau chaude et de la vapeur sont sujets à de très fortes dégradations irréversibles (hydrolyse) de la chaîne polyester et ce, à partir de 60°C. Les polyuréthanes fabriqués à partir de polyéther au lieu de polyester ne sont pas sensibles aux dégradations par hydrolyse et sont, de ce fait, une bien meilleure solution pour les applications du PU avec de l'eau chaude (ils sont toutefois un peu plus chers). [8]

#### **1.6.2.4. Comportement à la température:**

Généralement, les PU sont stabilisés contre les effets de l'air chaud et peuvent très bien résister dans le temps à des températures moyennement élevées (+/- 80°C°). Toutefois, après un usage d'une année à 100°C, on observe une diminution de 50% de la résistance à la traction. [8]

#### **1.6.2.5. Vieillessement:**

Le PU possède une bonne résistance vis à vis de l'oxygène, de l'ozone et des rayonnements UV. Un vieillissement intensif à long terme laisse apparaître un jaunissement accompagné d'une perte des caractéristiques mécaniques. L'addition de stabilisants UV ou de pigments colorés constitue dans la plupart des cas la solution. [8]

#### **1.6.2.6. Radiations énergétiques:**

La résistance des polyuréthanes aux rayonnements  $\alpha$ -,  $\beta$ - et  $\gamma$ - est supérieure à celle de la plupart des plastiques comme le PTFE, les caoutchoucs naturels, les PE, les PVC, les silicones, etc... Toutefois à partir de doses de  $10^8$  rad, le PU devient cassant. [8]

# Chapitre 2

## Procédure expérimentale

### Introduction :

Ce chapitre est consacré à la partie expérimentale de notre travail. Les étapes de la réalisation de ce travail sont bien détaillées telles que la préparation des échantillons, le découpage des échantillons, la préparation de leur surface, ainsi que la technique de réalisation des revêtements de polyuréthane par projection. Les différents moyens et techniques expérimentales utilisés dans cette étude sont décrits ci-dessous.

### 2-1 Éprouvettes d'essai

Le matériau constituant le substrat utilisé dans cette étude est un acier faiblement allié XC10. Cet acier est choisi pour sa disponibilité (au niveau de l'atelier de soudage) sous forme de tôle de 1.6 mm d'épaisseur qui est très pratique pour réaliser nos revêtements. Son prix est très abordable comparativement aux autres nuances d'aciers. D'autres éprouvettes d'essai faites d'autres matériaux et qui ont été utilisées telles que trouvées ou découpées selon les besoins de nos expériences. Il s'agit entre autres:

de carton pour tester l'imperméabilité

de parpaing pour tester la résistance au choc

le bois, des œufs, des melons, de la mousse polyuréthane, de la fibre de verre pour tester la projection du polyuréthane sur des matériaux quelconques et tout aussi varié.

### 2-2 Découpage des échantillons

Il faut noter que seules les éprouvettes qui subiront des essais mécaniques ou de corrosion ont été découpés avec précaution, essentiellement ceux faits à partir des plaques d'acier. Pour les autres types de matériaux, les échantillons ramenés ont été utilisés sous forme initiale. Pour les essais d'abrasion, les éprouvettes sont coupées sous forme de plaquette de dimensions de (100x100x1.6) mm et de (50x30x1.6) mm pour les essais de perte masse à l'aide d'une

guillotine. Le découpage est réalisé dans l'atelier de soudage du département de mécanique. La figure 2-1 montre la photo de la guillotine.



Figure 2-1: Guillotine.

### **2-3 Préparation des surfaces**

L'adhésion des revêtements du polyuréthane est basée principalement sur l'accrochage mécanique. Pour une meilleure adhérence du dépôt au substrat (plaquette), nous avons utilisé le grenailage pour créer la rugosité nécessaire pour favoriser l'ancrage mécanique. Cette opération est faite aussi pour éliminer toute trace de graisse de rouille et d'oxydes qui se trouvent éventuellement sur la surface des plaquettes. L'augmentation de la rugosité de surface est obtenue par un lancement à grande vitesse des grains de tailles micrométriques de sables d'alumine ( $Al_2O_3$ ) contre l'échantillon à l'aide d'air comprimé sous une grande pression. Le sablage se fait perpendiculairement sur les substrats pendant 4 minutes. La machine grenailleuse se trouve au niveau du laboratoire LTSM et est montrée à la figure 2-2.



Figure 2-2: Grenailleuse

Les autres substrats ont été nettoyés à l'aide d'air comprimé à haute pression comme le montre la figure 2-3.



Figure 2-3 : Pistolet à air comprimé

## 2-4 Réalisation des revêtements

Après la préparation des surfaces tel que décrit précédemment, l'élaboration de nos revêtements a été faite par projection à l'aide de pistolet à air et qui utilise une chambre de mélange à corps métallique. La chambre de mélange comporte deux orifices, un pour le composant A et un autre pour le composant B. La figure 2-4 montre le pistolet à air en photo et en schéma.

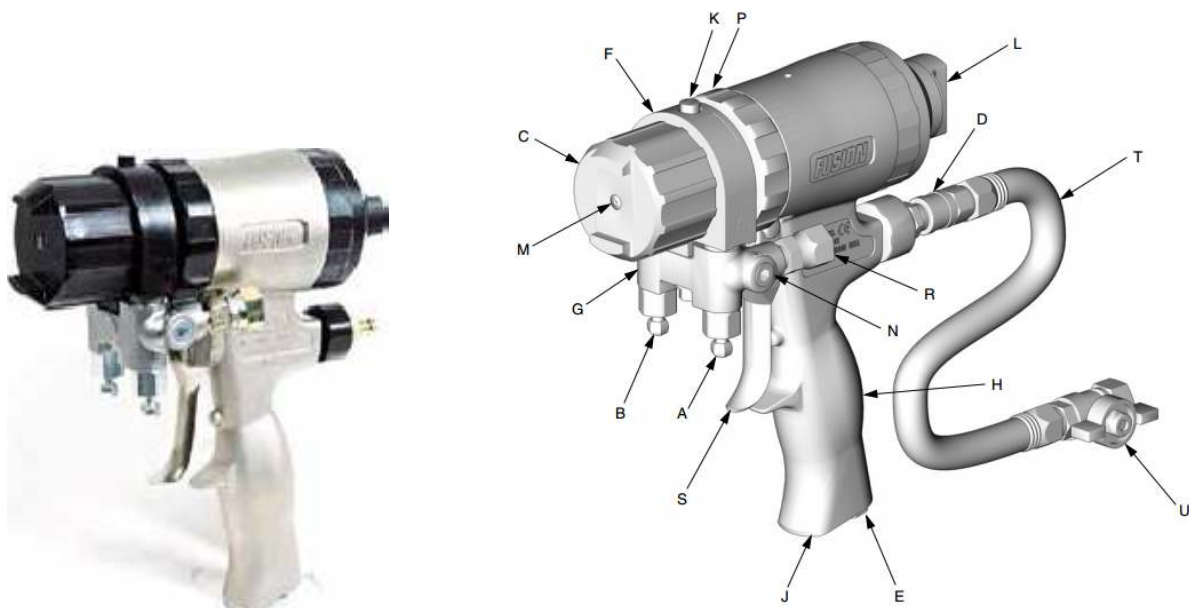


Figure 2-4: Pistolet Graco AP à purge d'air

- A Vanne côté A (ISO)
- B Vanne côté B (RÉSINE)
- C Chapeau d'air
- D Raccord rapide pour tuyauterie d'air
- E Silencieux
- F Passage produit
- G Collecteur de produit
- H Mancheron J Entrée d'air en option
- K Vanne pneumatique de nettoyage
- L Verrouillage piston

- M** Cream Tip (derrière le chapeau d'air)
- P** Bague de verrouillage
- R** Raccords tournants d'entrée produit (côté A visible)
- S** Gâchette
- T** Petit flexible d'air
- U** Vanne pneumatique
- N** Entrées produit en option (côté A visible)

Chaque orifice d'entrée des produits A et B est équipé d'une vanne (à joint latéral) qui sert à ouvrir ou fermer l'écoulement du fluide dans la chambre de mélange. En actionnant la gâchette du pistolet, les deux composants A et B s'écoulent dans la chambre de mélange avant que le polyuréthane préparé soit pulvérisé sur la surface. Lorsque le pistolet est éteint, l'écoulement des fluides A et B est arrêté et de l'air sous pression est envoyée à travers les orifices pour nettoyer la chambre de mélange. Cette opération est nécessaire pour éviter l'obstruction de la buse de sortie car les composants A et B se polymérisent en moins de cinq secondes.

Donc on obtient un polyuréthane après réaction chimique entre une polyamine et un isocyanate à une température variant entre 60°C et 80°C, une pression d'application entre 150 et 220 bars et un rapport de mélange en volume approprié variable selon les spécifications du fabricant (en général rapport de 1:1). La pression et la température sont deux variables qui doivent être soigneusement contrôlées de façon à optimiser la projection et la réaction nécessaire pour produire les propriétés mécaniques et chimiques définitives du polyuréthane.

## 2-5 Paramètres de projection

### Vérification des conditions thermo hygrométriques :

Les conditions thermo hygrométriques sont fondamentales et requièrent une mesure précise avant l'application de polyuréthane.

En raison de la complexité du système et de sa vitesse de polymérisation élevée (point clé de ce type de formulation), tous les aspects ayant un impact sur cette vitesse de polymérisation doivent être correctement contrôlés.

Il est important d'être informé de toute condensation, rosée ou humidité potentielle et résiduelle du support. Ces facteurs sont responsables de la formation de micro-cratères (tête d'épingle) dans la membrane, compromettent son étanchéité ainsi que son d'adhérence.

## 2-6 Balance électronique

Une balance électrique de marque OHAUS et de précision à 0.1 mg a été utilisée pour mesurer les masses des éprouvettes avant et après l'essai d'usure et l'essai de perte masse. La figure 2-5 montre une photo de la balance électronique.



Figure 2-5: Balance électronique



## 2-7 Essai usure abrasive Taber :

L'abrasimètre Taber, montré sur la photo de la figure 2-6, permet de tester une large gamme de produits. Il peut être utilisé sur pratiquement tous les échantillons plats. Les meules abrasives Taber CS17 produisent une usure par frottement caractéristique. Montés sur un plateau rotatif, les échantillons sont soumis en frottement de deux meules abrasives. En fonction du déplacement de l'échantillon, les meules produisent des marques d'environ 30 cm<sup>2</sup>. L'essai a été réglé pour une durée de 1000 cycles sous une charge de un kilogramme.



Figure 2-6: Abrasimètre Taber 5131

## 2-8 Essai de perte de masse

Les essais d'immersion sont effectués en fixant un échantillon sur un support à l'aide d'un fil en nylon dans un bécher de 400 ml de solution à la température ambiante. Les échantillons utilisés sont de forme rectangulaire 50 x 30 x 1.6 mm. Le pH de la solution est autour de 3. La solution d'acide sulfurique H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a été utilisée dans le but de voir le pouvoir d'échantillons à résister dans un milieu corrosif.

## 2-9 Essai d'adhérence

Les essais d'adhérence sont faits généralement pour connaître la force d'arrachement du revêtement de son substrat.

A l'aide d'un équipement dédié à cela, de marque POSITEST et montré à la figure 2-7, nous avons mesurée la force nécessaire pour l'arrachement d'une plot de diamètre 20 mm collé sur le revêtement à tester. L'appareil utilise une pompe hydraulique pour retirer le plot de son revêtement.

Avant d'effectuer l'essai, nous avons fait un nettoyage du plot à l'aide d'éthanol. Après séchage, l'adhésive constitué d'une résine et d'un durcisseur ont été mélangé soigneusement et appliqué à la surface du plot. La surface du revêtement polymérique a été aussi enduite d'adhésif. Ensuite, le plot est collé immédiatement sur le revêtement. Un étrier assure le maintien de ce dernier sur le revêtement et une durée de 24 heures à température ambiante est allouée pour s'assurer d'une polymérisation complète de l'adhésif. Il faut noter que le substrat contenant le revêtement a quant à lui été préalablement grenailé et soufflé à l'air comprimé avant qu'il ne soit projeté. Le périmètre entourant le plot a été dépourvue de son revêtement polymérique avant l'essai proprement dit afin de ne tester que la zone sur laquelle le plot est collé. On évite ainsi qu'il y ait une consolidation du revêtement testé à celui du reste de la plaque, ce qui pourrait fausser les résultats d'adhésion. L'outil qui sert à dépourvoir la zone périphérique du plot est montré à la figure 2-8. La forme du plot d'essai est montré sur la même figure.

Enfin, le système hydraulique sert à tirer un piston dont la tête est conçue spécialement pour s'arrimer à la tête du plot. L'augmentation de la pression dans le piston fait remonter ce dernier qui entraîne avec lui le plot. La figure 2-9 montre le système du piston.



Figure 2-7 : Appareille de test d'adhérence Positest.



Figure 2-8 : Outil de découpage et plot d'essai



Figure 2-9: Système de piston hydraulique

## **2-10 Résistance au choc**

L'essai au choc s'est fait simplement avec une masse métallique, un marteau, qui est lancée sur les éprouvettes revêtues et non revêtues de polyuréthane. En général, nous laissons un objet tel que réceptionné et un autre qui reçoit le revêtement polymérique.

## **2-11 Test d'étanchéité à l'eau**

Une boîte en carton a été pulvérisée avec du polyuréthane côté intérieur et extérieur; de l'eau est déversée dans la boîte et une période de 15 jours pour vérifier la perméabilité du revêtement polymérique.

# Chapitre 3

## Résultats et discussions

### Introduction

Chaque expérience se suis avec des analyses ou contrôle pour connaitre l'efficacité du produit, après d'avoir projeté et fait ces essais nous avons contrôlé nos échantillon grâce au contrôle que nous avons décrit dans ce chapitre là.

### 3.1Essai de TABER:

Des plaques de 100 x 100 mm ont été revêtues en polyuréthane avec différents paramètres opératoires (pression, température) et testés à 1000 révolutions sous une charge de 1 Kg. Une meule abrasive CS - 17 est utilisée pour frotter contre les plaques revêtues. Les résultats des essais d'usure par abrasion sont présentés sur le tableau 3-1.

	T(°C)	P (bar)	$\Delta m(g)$
Ech 1	A=65 B=65	150	0,3168
Ech2	A=65 B=70	170	0,0402
Ech3	A=70 B=70	170	0,0692
Ech 4	A=70 B=75	200	0,0449

Tableau 3-1: les résultats de l'essai de Taber

TA= température de l'isocyanate (durcisseur);

TB=température de polyamine (résine)

De ces résultats, nous pouvons en déduire deux remarques:

1. les propriétés mécaniques du revêtement polyuréthane dépendent des paramètres opératoires de projection.
2. la meilleure résistance à l'usure abrasive est obtenu pour l'échantillon numéro 2. Lorsque la pression de projection est faible, les qualités mécaniques du revêtement sont médiocres. Par contre, ce n'est pas à la plus grande pression, ni aux plus fortes de température de chauffe des composants que nous obtenons les meilleures caractéristiques à l'usure. Il y a donc un optimum à rechercher pour chaque produit

à projeter. C'est d'ailleurs le conseil que nous donnons ici pour les futurs utilisateurs. La figure 3-1 nous montre l'aspect de la surface de l'éprouvette après l'essai de Taber. L'éprouvette n'a pratiquement pas souffert de l'essai d'abrasion.



Figure 3-1 : Revêtement de polyuréthane après l'essai de Taber

### 3.2 Essai de perte de masse :

Le tableau 4-2 ci-dessous regroupe les résultats des essais de perte de masse dans un électrolyte de 1 N  $H_2SO_4$  à la température ambiante. La durée de l'essai est de vingt neuf heures. La perte de masse a été notée après le premier jour, soit après 24 heures. Ensuite, après chaque heure, nous notons la nouvelle perte de masse.

Les revêtements de polyuréthane ont été déposés avec les paramètres opératoires suivants:  
a :  $T_A=65\text{ C}^\circ$ ,  $T_B=70\text{ C}^\circ$ ,  $P=170\text{bar}$ .

$\Delta m$  représente la perte de masse notée après la première journée avec un incrément d'une heure. L'éprouvette est retiré de l'électrolyte, séchée à l'air et pesée sur la balance de précision à 0.1mg. Le pH de la solution était mesuré à 3.

Perte de masse en	Temps d'essai après immersion d'une journée plus l'incrément
-------------------	--

gramme	Incrément 1 h	Incrément 2 h	Incrément 3h	Incrément 4h	Incrément 5h
$\Delta m$ (g)	0,0014	0,0013	0,0017	0,0009	0,0011

Tableau 3-2: Essais de perte de masse

$\Delta m$  : la masse après chaque expérience.

Bien qu'il semble avoir une différence dans la perte de masse en fonction de l'incrément, nous pouvons qu'il y a aucune différence de perte de masse après une heure d'essai. La perte de masse reste sensiblement inchangée. Les différences sont essentiellement dues aux erreurs de lecture sur la balance extrêmement sensible aux vibrations.

Par cette réaction on voit que des éléments de  $[OH]$  l'eau viennent s'ajouter a la surface du fer ceci expliqué la petite augmentation de poids.

La figure 4- montre l'éprouvette d'essai qui ne semble avoir souffert de l'essai de corrosion.



Figure 3- 2: revêtement du polyuréthane avant l'essai de perte de masse

### 3.3 Essai d'adhérence

L'adhérence est la force ou travail qu'il faut fournir au système adhérent pour séparer deux constituants. L'essai d'adhérence est le test de rupture des assemblages collés (traction, cisaillement, pelage, clivage). L'adhérence au substrat du revêtement polymérique sur le substrat en acier préalablement grenailé donne sur une idée sur l'assurance que l'industriel peut avoir quant à son utilisation.

Les paramètres opératoires de la projection utilisés pour réaliser cet essai étaient:

Température du composant A: 65 °C

Température du composant B: 70 °C

Pression des fluides chauds: 170 bars

La figure 3-3 montre une photo du plot collé sur la surface du polyuréthane avant l'essai. La périphérie du polyuréthane entourant le plot a été complètement enlevé pour valider l'essai comme il a été expliqué au chapitre 2.



Figure 3-3 : Plot collé sur la surface du polyuréthane avant l'essai d'adhérence

Après l'essai d'arrachement, nous avons constaté une rupture à l'interface plot/substrat. La rupture est de type adhésive comme le montre clairement les photos de la figure 3-5 et de la figure 3-4 qui montrent respectivement la surface du substrat après arrachement du revêtement et le plot avec son revêtement polymérique. La force d'arrachement donné par l'appareil Positest de 6,2 MPA ce qui représente environ 900 psi. C'est une force très



acceptable et c'est d'ailleurs la valeur la plus courante acceptée industriellement.



Figure 3-4 : Surface du substrat à l'endroit de l'arrachement du revêtement



Figure 3-5 : Plot avec son revêtement polymérique après l'essai d'adhérence

### 3.4 Résistance au choc

La résistance au choc a longtemps intéressé les industriels mais ses applications ne sont réellement apparues que seulement depuis un peu plus d'une quinzaine d'années, notamment en Amérique du Nord. Les premières applications étaient militaires avec des formulations de bicomposant spécialement formulées pour résister au choc tout en gardant une grande élasticité.

Bien que la formulation de notre polyuréthane n'était spécialement formulée pour ce type d'application, nous avons revêtu divers articles courants mais que nous ne reportons pas tous les résultats dans ce paragraphe. Nous reportons ici les résultats de projection de polyuréthane faite sur du parpaing, matériau qui s'effrite facilement, et sur une plaque fabriquée à partir de déchets de carton. Les figures 3-6 et 3-7 montrent respectivement la plaque de carton et le parpaing avec leur revêtement en polyuréthane.



Figure 3-6 : Plaque en carton revêtue en polyuréthane.



Figure 3-7: Parpaing revêtu en polyuréthane.

L'essai au choc simplement à prendre un marteau et à taper sur les deux objets jusqu'à rupture. Nous remarquons à la figure 3-8 que la plaque en carton a été détruite au premier coup de marteau. Un trou béant est visible sur la plaque en carton. Ce résultat, prévisible, montre clairement qu'une plaque est extrêmement friable et fragile.



Figure 3-8 : Plaque en carton non revêtue après essai au choc.

Pour la plaque en carton revêtue du polyuréthane, il a fallu plusieurs coups de marteau pour déchirer la plaque sur le côté qui ne porte le revêtement polyuréthane. C'est d'ailleurs de ce type d'essais qu'un groupe de chercheurs ont testé un mur en brique au souffle d'une bombe. Les chercheurs ont constaté que le mur se maintient grâce au revêtement polyuréthane et ne tombent pas sur les occupants d'une salle, pièce ou bâtiment. Son utilisation dans ce domaine a permis de sauver beaucoup de vies lors des attentats.

Pour le parpaing, nous avons constaté là aussi qu'au premier coup de marteau, le parpaing vole en éclats comme l'illustre la photo de la figure 3-9. Pour le parpaing revêtu par le revêtement polyuréthane, le parpaing, après quelques coups de marteau, reste intact.

Cette performance du revêtement polyuréthane est essentiellement à sa grande élasticité et à grande capacité à absorber les chocs.



Figure 3-9: Parpaing non revêtu après essai au choc.

### **3.5 Essai de l'étanchéité à l'eau**

Un des pratiques les plus courantes est la dalle de béton des garages de stationnement qui doit être protégée contre l'infiltration de l'eau et des ions chlorure, qui peuvent provoquer la corrosion de l'armature, une grave détérioration de la dalle et, à terme, un affaiblissement de la structure. Le moyen employé habituellement est la réalisation d'une membrane d'étanchéité en polyuréthane. La capacité de ce revêtement d'étanchéité à réduire la pénétration de l'eau dans la dalle dépend non seulement de ses caractéristiques physiques mais aussi de la façon dont il est appliqué. Il arrive souvent que des façons de faire laissent à désirer et la négligence au niveau du contrôle de la qualité, lors de l'application, donnent un produit final dont la performance et la durabilité ne sont pas assurées. L'autre cas pratique est la toiture. Une toiture qui fuit est probablement ce qui peut arriver de pire sur un site de production par exemple. Les infiltrations d'eau risquent en effet d'endommager la structure du bâtiment. Les fuites d'eau peuvent également entraîner des pertes de matériaux ou de produits. Des pannes de machines et la destruction d'équipements techniques risquent en plus de venir s'ajouter aux problèmes graves que peut

causer une toiture qui fuit. Une toiture étanche contribue ainsi à préserver les investissements en matériel et en équipements.

Les produits utilisés pour réaliser ce type de membrane sont : le polyuréthane monocomposant, le polyuréthane bicomposant, l'époxyde-uréthane bicomposant et le néoprène monocomposant à base d'eau. Dans notre cas, nous utilisons un polyuréthane bicomposant. Cette partie est dédiée au test d'étanchéité, très simple, mais qui nous donne une idée sur la performance de ce type de produit pour parer au problème d'étanchéité.

Pour ce faire, nous avons fixé les paramètres opératoires suivants:

Pression au niveau du pistolet: 200 bars

Température dans les tuyaux et les fûts: 80 °C

Temps de recirculation: 60 minutes

La projection du polyuréthane bicomposant a été faite dans une boîte en carton sans préparation spéciale de sa surface. La boîte en carton a été simplement nettoyée de toute poussière et débris qui pourraient gêner l'adhérence du revêtement au substrat.

La figure 3-10 montre la boîte en carton remplie d'eau de robinet. Après 15 jours d'attente, nous avons inspecté la boîte en carton sur tous ces côtés. Nous avons constaté qu'il n'y avait aucune fuite et aucun endommagement sur le carton.

Le polyuréthane a rempli sa fonction, c'est-à-dire assurer l'étanchéité mais aussi renforcer la solidité de la boîte en carton. Il a procuré une rigidité accrue à la boîte en carton. C'est pourquoi, en pratique, on le projette sur la mousse polyuréthane sur les toitures des maisons ou de bâtiments industriels pour que celle-ci soit plus résistante à l'abrasion et aux attaques de la grêle lors des intempéries.





Figure 3-10: Boîte en carton remplie d'eau.

## Conclusion

Dans ce travail, nous avons été initié à une nouvelle méthode de projection de revêtement à base de polymères. Nous déballé et mis en route une nouvelle machine dont l'apprentissage sur sa mise en route a été très bénéfique pour nous. La machine haute pression pour la projection des polyuréthanes est relativement complexe et on doit une attention particulière quant à sa mise en route, les moyens de prévention et de sécurité à mettre en œuvre pour projeter les revêtements dans des conditions sécuritaires. Une fois la projection terminée, le protocole de mise à l'arrêt doit aussi respecter toutes les règles de sécurité et de maintenance pour assurer un bon fonctionnement pour le prochain départ. La mise en marche et l'arrêt de la machine haute pression est en soi une véritable formation pour nous.

En terme de projection, nous avons essayé de revêtir différentes formes de substrats avec des matériaux aussi variés que possible: du métal, du bois, de la mousse, du carton, du béton, des fruits, des œufs, des composites, etc. Nous concluons que la projection des revêtements polyuréthane peut se faire sur n'importe quel matériau en autant qu'il y ait une bonne préparation de surface et un réglage optimal des paramètres opératoires de la machine.

Les résultats de projection du polyuréthane en faisant varier la pression de projection et la température des fluides montrent que les propriétés mécaniques du revêtement final sont sensibles à ces paramètres. Des essais préliminaires doivent être engagés avant de commencer tout travail de projection notamment pour des surfaces très importantes à revêtir et pour choisir la bonne formulation de la résine.

En général, nous pouvons dire que:

Les matériaux revêtus en polyuréthane ont une bonne résistance à l'usure abrasive, à la corrosion.

Ils ont une adhérence suffisante (6.2 Mpa) sur les substrats si la surface de ces derniers est correctement préparée.



Les revêtements en polyuréthane sont imperméables et présentent une très étanchéité à l'eau.

Les revêtements de polyuréthane amortissent les chocs.

## Référence Bibliographiques:

- [1] <https://polyurethane.americanchemistry.com/Introduction-to-Polyurethanes/>
- [2] <http://www.polyurethanes.org/fr/qu-est-ce-que-c-est/histoire>.
- [3] P.G. DE GENNES, "Wetting statics and dynamics", Previous on modern Physics, .54. 827-63, (1985)
- [4] S. KRAUSE, Macromolécules, .3. (1), 84, (1970)
- [5] B.J. BRISCOE, Tribology of polymers, "Physico chemical aspects of polymers surfaces", Plenum Press, New York, 387-412, (1983)
- [6] L.H. LEE, "Polymer wear and its control", ACS Symposium series, LEE L.H. Ed, 27-38, (1985)
- [7] K.H. ZUM GAHR, "Microstructure and wear of materials", Tribol. Ser.10, Elsevier, Amsterdam, (1987)
- [8] <http://solutions-in-plastics.info/fr/plastics/datasheets/plastiques%20anti-usure/eriks%20-%20pu%20resistance%20chimique.pdf>

# ANNEXE 1

## Principe de fonctionnement du Reactor A-25/ A-XP1

### Introduction

Nous allons présenter la machine haute pression qui permet de projeter un polyuréthane bi-composant à travers un pistolet à air. Le but est d'avoir un revêtement adéquat pour tout type de pièces projetées. La projection est une opération très délicate car on doit respecter certains paramètres et certaines consignes avant la mise en marche.

### Machine de projection Reactor A-25/ A-XP1

La figure 1 montre schématiquement le Reactor A-25/ A-XP1 avec son câblage chauffant. Elle contient deux compartiments qui sont séparés distinctement: un compartiment A pour la résine et un compartiment B pour le durcisseur. Le mélange des deux composés ne fait qu'à la sortie du pistolet à air. La réaction des composants A et B est tellement rapide qu'il faut juste cinq secondes pour former un revêtement sec au toucher. Une pulvérisation fine se voit à la sortie du pistolet et est dirigée sur le substrat à revêtir. Il faut noter que le produit sort à une température variant entre 65 °C à 80 °C selon la nature et la composition du polyuréthane.

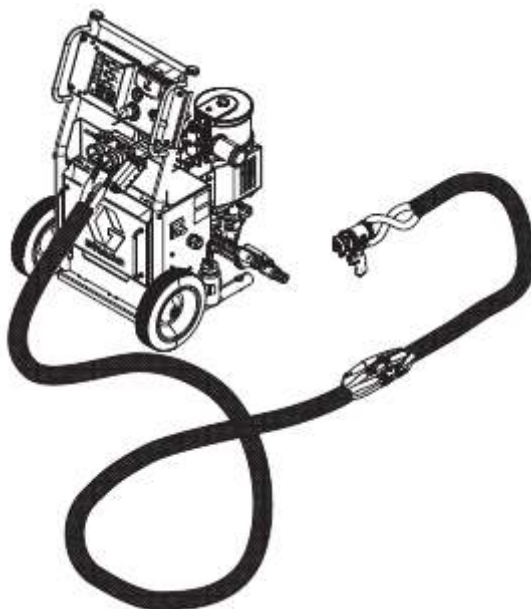


Figure 1: Machine Reactor A-25/ A-XP1 avec son pistolet à air

### Installation de la machine :

La machine se compose de plusieurs parties ou éléments, chaque emplacement a ces spécifications que ce soit une partie d'assemblage ou une consigne de sécurité. La figure 2 présente une vue éclatée de l'installation du Reactor A-25/ A-XP1 avec les détails des

éléments constituant la machine. Cette partie a été ajoutée à la demande de notre promoteur pour qu'elle sert de référence aux travaux futurs des étudiants.

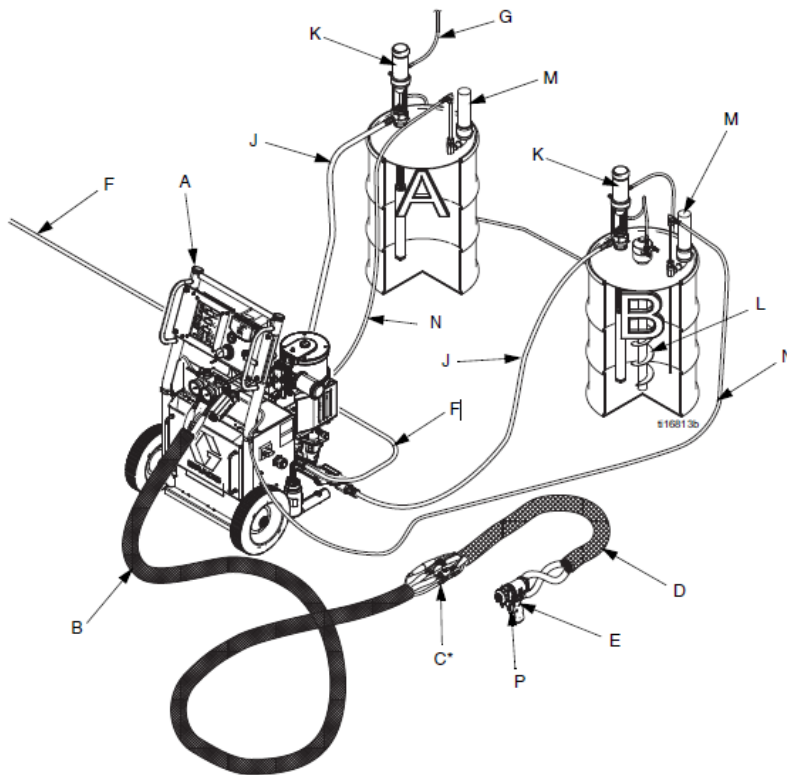


Figure 2: Vue éclatée de l'installation du Reactor A-25/ A-XP1

Les composants de la machine sont :

- A Reactor Doseur
- B Tuyau chauffé
- C Capteur de température du fluide (FTS)
- D Petit flexible chauffant
- E Pistolet pulvérisateur
- F Flexible du doseur et tuyau d'alimentation en air pour pistolet
- G Conduites d'alimentation en air de la pompe d'alimentation
- J Conduites d'alimentation en liquide
- K Pompes d'alimentation
- L Agitateur (si nécessaire)
- M Dessiccateur

N Flexibles de retour pour la recirculation / décharge de soupape de sûreté

P Collecteur de produit

La figure 3 illustre le Reactor A-25/ A-XP1 lui même sous différentes positions afin de présenter les principales pièces mécaniques et électriques qui le constituent. La connaissance de la machine permet de ne pas d'erreur lors des manipulations et surtout de mieux appréhender sa maintenance.

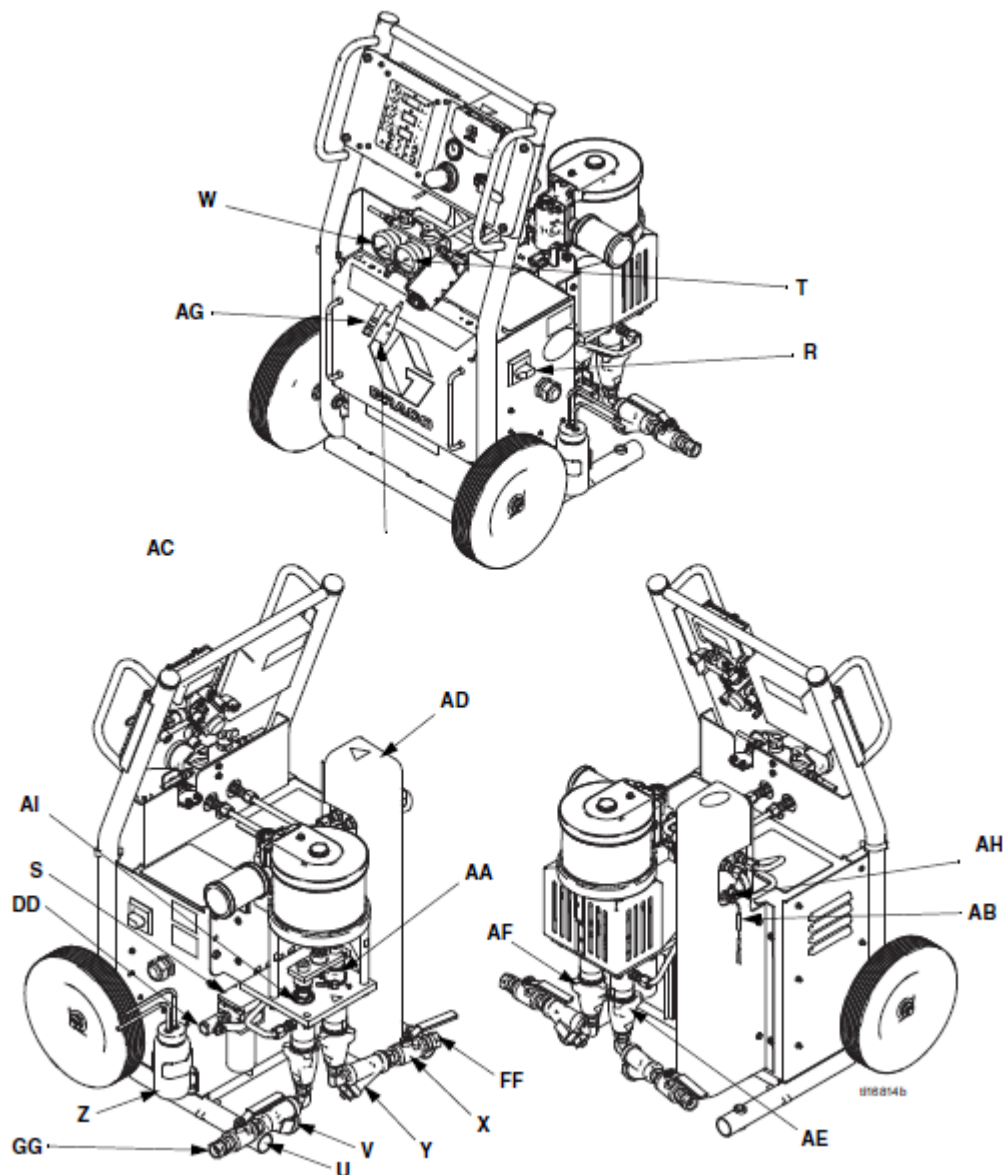


Figure 3: Reactor A-25/ A-XP1 vue sous différentes positions

- R** Interrupteur principal – Commande la mise sous tension des circuits de chauffage. I
- S** Filtre à air principal – Filtrage de l'admission d'air du système.
- T** Manomètre de résine (B) – Affichage de la pression dans le système de dosage de la résine (côté B).
- U** Résine (B) – Vanne d'admission sur l'entrée
- V** Crépine (B) en Y du filtre en résine – (20 mailles)
- W** Manomètre pour l'ISO (A) – Affichage de la pression dans le système de dosage de l'isocyanate (côté A).
- X** ISO (A) – Vanne d'admission sur l'entrée
- Y** Tamis (A) en Y du filtre pour isocyanate – (20 mailles)
- Z** Système de lubrification de la pompe (A) ISO – Derrière le capotage du doseur. (Côté A uniquement)
- AA** ISO (A) – Écrou de presse-étoupe et réservoir de lubrifiant – (côté A uniquement)
- AB** Thermocouples du chauffage primaire – Lecture de la température du chauffage primaire et saisie de cette information.
- AC** Couplage pour le capteur de la température produit (FTS) – Conduit le signal électrique du capteur de la température du produit dans le tuyau pour l'isocyanate vers la commande de la température du tuyau.
- AD** Chauffage primaire – Chauffage du produit à la température nécessaire à la distribution.
- AE** ISO (A) – Pompe doseuse (isocyanate) – Aspiration et distribution d'un volume fixe d'isocyanate vers le pistolet.
- AF** Résine (B) Pompe doseuse – Aspiration et distribution d'un volume fixe de résine vers le pistolet.
- AG** Bornier du boîtier de raccordement du chauffage du tuyau – Raccorde l'alimentation vers les tuyaux chauffés.
- AH** Thermostats de surchauffe du chauffage primaire – Transmission du signal vers le régulateur de température lors d'un dépassement de la température maximale autorisée du chauffage.
- AI** Coupelle du presse-étoupe de la pompe à résine (B) – Orifice pour le remplissage quotidien de la coupelle.
- DD** Vanne à bille d'entrée d'air principale – (raccord femelle 1/2 ptn)
- FF** Entrée ISO (A) – Raccord (raccord tournant 3/4)

**GG** Entrée (B) en résine – Raccord (raccord tournant 3/4)

Le tableau de commande du Reactor A-25/ A-XP1 est montré schématiquement à la figure 2-4. Il comporte dans sa partie gauche, les réglages de températures des composants A et B avant leur sortie vers le pistolet. La partie de droite est réservée pour le réglage des pressions d'air comprimé dans les tuyaux A et B.

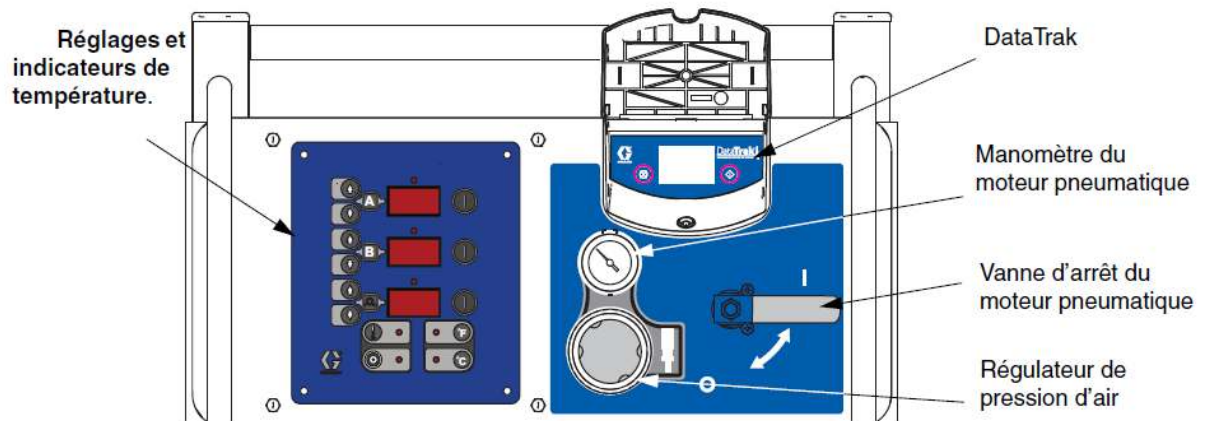
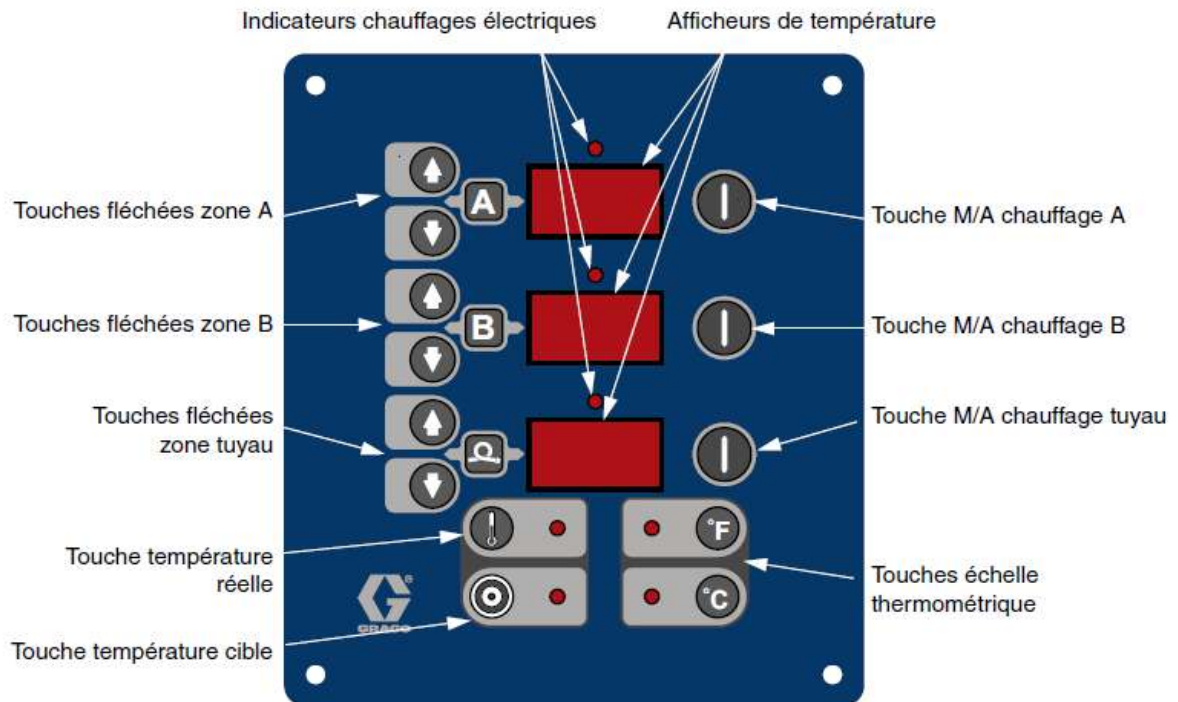


Figure 4: tableau de commande



## Fonctionnement de la machine Reactor A-25/ A-XP1

### Démarrage initial :

### Remplissage de produit avec les pompes d'alimentation

Le Reactor a été testé en usine avec de l'huile. Éliminez l'huile à l'aide d'un solvant compatible avant toute pulvérisation.

1. Assurez-vous que l'installation est bien terminée
2. Mettez l'agitateur du composant B en marche, s'il est utilisé.
3. Positionnez les deux vannes de DÉCOMPRESSION/PULVÉRISATION (SA, SB) sur PULVÉRISATION.



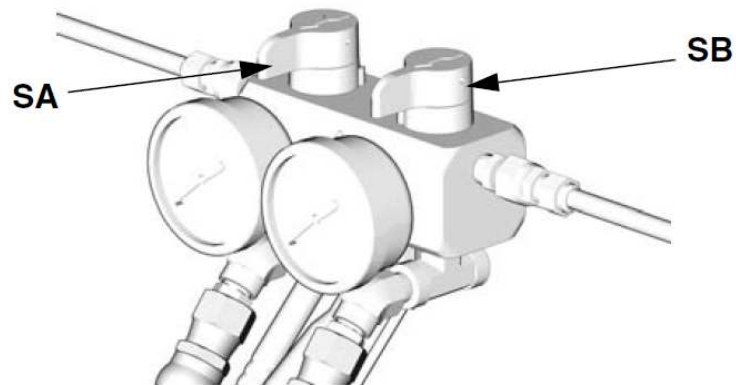


Figure 5: vannes SA et SB

4. Ouvrez les deux vannes de produit (FV).

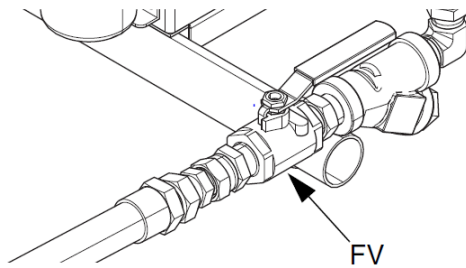


Figure 6: Vanne du produit

5. Mettez en marche les pompes d'alimentation. Ne démarrez pas le moteur pneumatique ou les pompes du doseur.

6. Purgez l'air des tuyaux (Desserrez les raccords de tuyau et purgez l'air jusqu'à ce qu'un liquide sans air s'écoule des tuyaux)

**Réglage des températures :**

1. Mettez l'interrupteur principal sur ON (MARCHE)
2. régler les températures de chaque composant a l'aide de table de commande sans oublier les températures des tuyaux.

## Pulvérisation

Le pistolet à purge mécanique est illustré.

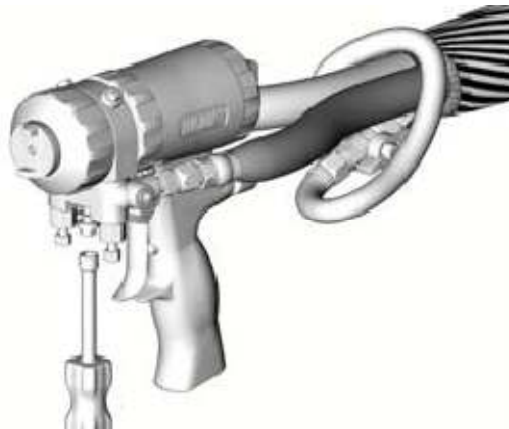
1. Mettez le verrou de sécurité du piston du pistolet après avoir atteint les températures de pulvérisation.



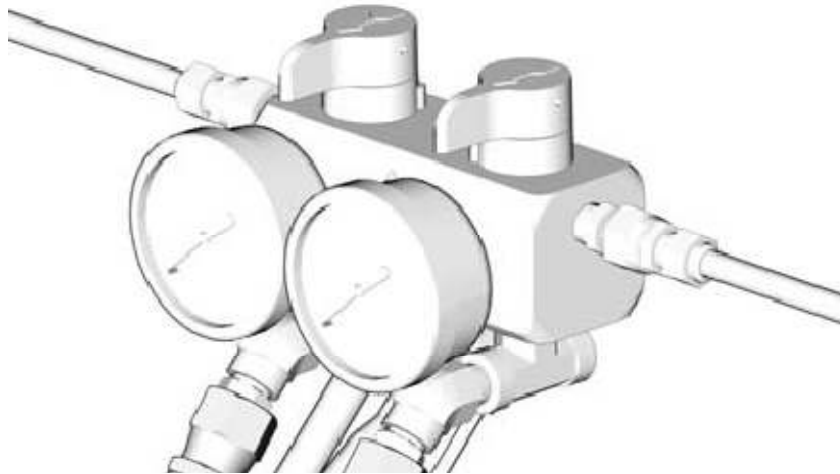
2. Fermez les vannes A et B d'entrée produit du pistolet.



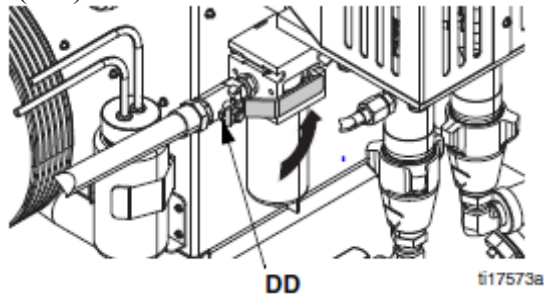
3. Fixez le collecteur de produit du pistolet. Branchez la conduite d'air du pistolet. Ouvrez la vanne de la conduite d'air.



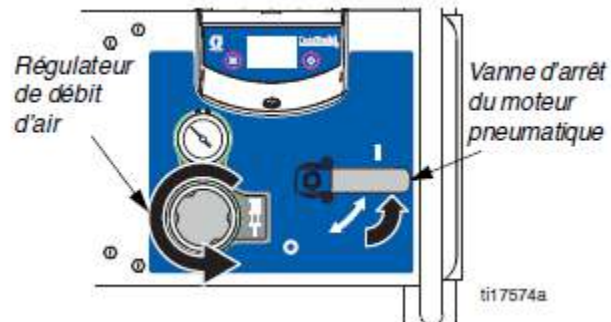
4. Positionnez les vannes de DÉCOMPRESSION/PULVÉRISATION (SA, SB) sur PULVÉRISATION



5. Ouvrez la vanne à bille (DD) de l'admission d'air.



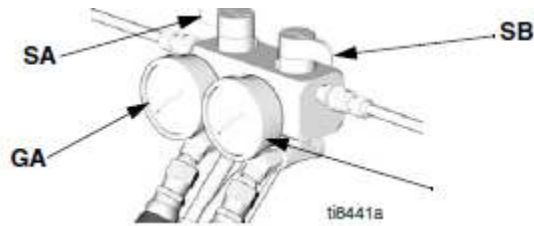
6. Tournez le régulateur de débit d'air dans le sens antihoraire jusqu'à une pression de 0.



7. Ouvrez la vanne d'arrêt du moteur pneumatique.

8. Fermez la vanne.

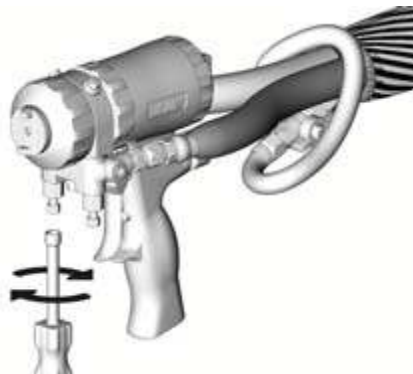
9. Augmentez légèrement le réglage du régulateur de débit d'air jusqu'à atteindre une pression de calage (statique) approximative sur les manomètres (GA) et (GB).



10. Contrôlez les manomètres produits (GA, GB) pour vous assurer que l'équilibre de pression est correct. En cas de déséquilibre, réduisez la pression du composant le plus élevé en tournant légèrement la vanne de DÉCOMPRESSION/PULVÉRISATION de ce composant vers DÉCOMPRESSION/CIRCULATION, jusqu'à ce que les manomètres affichent des pressions équilibrées.

Assurez-vous que les tuyaux de décharge sont déposés dans des conteneurs à déchets.

11. Ouvrez les vannes A et B d'entrée produit du pistolet.



12. Déverrouillez le piston du pistolet.



13. Faites un essai d'application sur un carton. Ajustez le régulateur de débit d'air pour obtenir la pression de liquide minimum garantissant un jet de pulvérisation adapté.

Les pompes ont un rapport produit-air de 25:1.

Les pompes d'alimentation ajoutent 2X l'apport de pression d'alimentation à la pression de sortie (uniquement sur la course ascendante). Pour obtenir les meilleurs résultats, utilisez des régulateurs sur les pompes d'alimentation pour limiter la pression d'alimentation en entrée à environ 0,7 MPa (7 bars ; 100 psi).

14. Contrôlez les manomètres des produits A et B (GA, GB) pour vous assurer que l'équilibre de pression est correct entre A et B.

15. L'équipement est prêt pour la pulvérisation.

### Fonctionnement

1. Vérifiez l'état de l'installation de lubrification pour l'isocyanate et effectuez un entretien si nécessaire.

Vidangez le lubrifiant de la pompe lorsque celui-ci commence à avoir une apparence crémeuse.

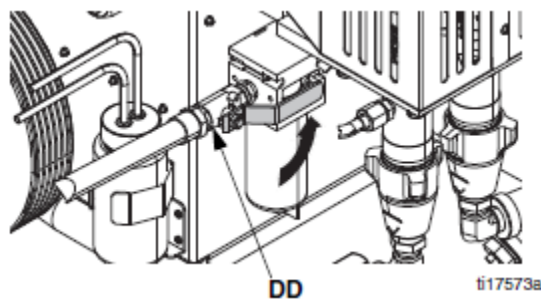
2. Assurez-vous que le produit d'alimentation est à la température recommandée par le fournisseur.

Assurez-vous que chaque produit chimique est bien mélangé dans son fût/réservoir journalier, et que le système de protection contre l'humidité est correctement réglé pour bien fonctionner. Au besoin, faites recirculer le produit chauffé de retour vers les fûts d'alimentation ; reportez-vous page 31.

3. Allumez l'alimentation d'air principale vers les pompes de transfert.

4. Mettez les pompes de transfert sous pression et ouvrez les vannes d'alimentation A et B sur l'entrée.

5. Ouvrez la vanne à bille (DD) de l'admission d'air.



6. Mettez l'interrupteur principal sur ON (MARCHE).

7. Déroulez le tuyau chauffé.

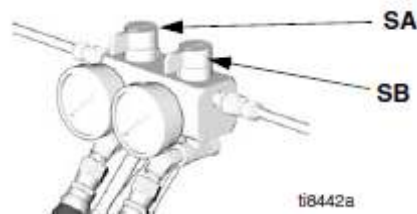
8. Vérifiez l'exactitude de la température de consigne du tuyau.

9. Mettez en marche les trois zones de chauffage.

10. Le régulateur de la puissance vers la flexible règle automatiquement le courant vers le tuyau pour compenser sa longueur et la température ambiante.

Attendez que l'affichage de la température réelle du tuyau soit égal à la température de consigne du tuyau.

11. Positionnez les vannes de DÉCOMPRESSION/PULVÉRISATION (SA, SB) sur PULVÉRISATION.

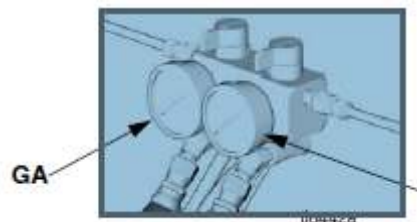


12. Vérifiez si les zones de chauffage sont bien activées et si les températures ont atteint les valeurs ciblent.

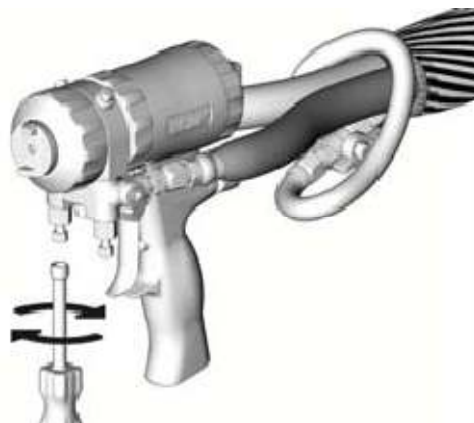
13. Ouvrez la vanne d'arrêt du moteur pneumatique.

14. La pompe met le produit sous pression en fonction de la pression du régulateur pneumatique.

15. Vérifiez les manomètres (GA, GB) des produits A et B pour vous assurer du bon équilibre entre les pressions des produits A et B. En cas de déséquilibre, purgez le côté avec la pression la plus élevée à l'aide des vannes SA et SB jusqu'à l'obtention de l'équilibre.



16. Ouvrez les vannes A et B du collecteur de produit.



17. Déverrouillez le piston du pistolet.



18. Faites un essai d'application sur un carton.
19. L'équipement est prêt pour la pulvérisation.

### **Sécurité :**

La santé et la sécurité sont des aspects de la vie quotidienne et du travail, qui sont souvent évoqués, mais, malheureusement, souvent ignorés lorsque sous pression ou par manque d'informations ou de connaissances. Cette partie a été élaborée pour donner les conseils et informations nécessaires. Parce que les matériaux spécialisés nécessitent des informations particulières, le PDA vous conseille fortement de contacter le fournisseur du matériau et/ou de l'équipement pour de plus amples informations. Différents aspects de la santé et de la sécurité sont impliqués dans le traitement de polyuréthane, d'une façon générale, au niveau des ressources, des produits chimiques, du matériel à haute pression, des équipements de protection individuelle (EPI). Ceux-ci seront abordés dans les paragraphes suivants.

### **Aspects généraux**

Il est important de prêter attention aux risques pour la santé et la sécurité afin de prévenir les accidents et l'exposition aux produits chimiques. En matière d'accident, il est toujours supposé qu'il s'agit de malchance, ce qui est faux! 85% des accidents sont liés à un comportement et pourraient être évités. La communication est le facteur clé dans la prévention des accidents. Si une personne remarque un comportement dangereux ou pense qu'il l'est, elle y réfléchit ainsi qu'aux actions lui permettant de travailler plus en sécurité. Il est important de garder à l'esprit que, lorsque quelqu'un souligne vos actions comme étant dangereuses, ce n'est pas pour vous critiquer, mais pour éviter que vous ne vous blessiez ou que vous ne blessiez les personnes autour de vous et pour protéger

l'environnement. Par nature, les produits chimiques doivent être traités avec précautions par une manipulation adaptée.

### **Produits chimiques**

Tous les produits chimiques n'ont pas le même niveau de dangerosité, mais sont sûrs s'ils sont manipulés correctement.

### **Polyuréthane**

La poly urée, produit d'une réaction, n'est pas classé comme dangereux dans son état polymérisé. Dans de nombreux pays, il peut être éliminé avec les déchets normaux (inertes).

Toutefois, il ne faut pas oublier que la réaction entre les polyamines et les iso cyanates (qui forment le polyuréthane) est une réaction exothermique. Ceci signifie que la réaction dégage de la chaleur. Par exemple, une mauvaise projection pourrait entraîner une réaction sur la peau provoquant des brûlures.

### **Côté résine, polyamine**

La polyamine utilisée avec le polyuréthane est classée comme corrosive et dangereuse pour l'environnement. Il est donc nécessaire de prendre des précautions pour toute manipulation ainsi que pendant le transport. Lors de la manipulation de la résine ou des pièces qui pourrait être contaminée par la résine, le port de lunettes de sécurité et de gants résistants aux produits chimiques est recommandé afin de prévenir toute exposition. En raison de la nature corrosive de ce produit, tout contact avec la peau pourrait conduire à des brûlures chimiques. Lors du transport de ce produit, il convient de noter que de nombreuses formulations sont classées « ADR ».

Ceci signifie que des règles particulières sont applicables à la quantité transportée, au véhicule utilisé et au conducteur. Il faut toujours anticiper ce qui pourrait arriver en cas de déversement de produits chimiques, et prévoir différents moyens en vue d'éviter que le produit ne se répande, comment collecter le produit déversé et l'éliminer en toute sécurité. De plus amples informations sont disponibles sur les fiches de données sécurité (FDS) de votre fournisseur.



### **Côté isocyanate**

Le côté isocyanate utilisé avec le polyuréthane est le plus souvent classé comme nocif. Toutefois, dans certains cas, il peut également être classé comme toxique. En règle générale, les isocyanates sont manipulés de la même manière que les résines. A l'exception de ceux classés non corrosifs, mais vont réagir en présence d'humidité. Dans cette réaction, il y a formation de CO<sub>2</sub> (gaz) qui pourrait conduire à une accumulation de pression, notamment dans des fûts fermés.

De plus, l'exposition aux isocyanates en concentration au-dessus des limites d'exposition professionnelle (LEP) peut entraîner une irritation de la peau et du système respiratoire (poumons). Une exposition continue à des concentrations supérieures aux LEP peut conduire à une sensibilisation. Dans ce cas, il deviendra impossible pour l'opérateur de travailler en présence d'isocyanates. Ce scénario peut toutefois être évité en prenant les précautions appropriées tels que: le port de lunettes de sécurité et de gants ; le travail dans un endroit bien ventilé ou le port d'une protection respiratoire.

### **Projection**

Bien que le polyuréthane dans sa forme polymérisée ne soit pas nocive, son inhalation du en cas de projection peut être nocive. Au cours de l'étape d'atomisation (projection), l'air se remplit d'aérosols et de vapeurs. Le seul moyen de prévenir l'exposition est de porter des vêtements de protection et d'utiliser une protection respiratoire. Cela ne s'applique pas seulement à la personne qui manipule le pistolet, mais à tout le personnel potentiellement exposé aux vapeurs et aux aérosols.

### **Solvants**

Le polyuréthane en général est une technologie sans solvant. Ceux-ci sont toutefois utilisés pour le nettoyage des pièces du pistolet et des équipements. Lors de la manipulation de solvants, toutes les règles de sécurité données sur les FDS de ces produits doivent être respectées.

### **Équipement à haute pression**

Lors de l'utilisation d'une machine de projection (équipement à haute pression), il convient de noter que l'on manipule une machine conçue pour chauffer des produits chimiques à environ 75°C et sous pression à environ 200 bars. Cet équipement est conçu pour gérer ces

deux aspects à condition qu'il soit bien entretenu. L'opérateur est donc tenu de veiller au bon entretien de la machine à projeter. La sécurité concernant l'utilisation de pressions et de températures élevées est primordiale. Il est également important de veiller aux pièces mobiles et donc seul un personnel qualifié et formé doit être autorisé à utiliser ces machines. Les conseils et directives exactes sont donnés dans les manuels d'utilisation des machines à pulvériser.

### **Équipement de protection individuelle (EPI)**

Le travail en toute sécurité passe par la prévention de l'exposition. Le meilleur moyen est le port d'EPI adaptés. Les différents EPI, les recommandations et conseils sont listés ci-après :

- **Yeux :**

- Port de lunettes de sécurité pendant le travail avec des produits chimiques mais pas pendant la projection.

- Port de lunettes de sécurité ou d'un masque facial pendant la projection.

- **Peau :**

- Gants résistants aux produits chimiques pendant leur manipulation.

- Combinaisons ou vêtements offrant une protection suffisante. Ne pas oublier la tête et les cheveux.

- **Protection respiratoire :**

- Pendant la projection et si le travail se fait dans une pièce insuffisamment ventilée, il est absolument nécessaire et vital de porter une protection respiratoire

- Les équipements de purification de l'air sont les plus couramment utilisés. Une attention particulière est à accorder aux détails suivants :

- Préférer un masque intégral à un masque + lunettes de sécurité.

- Sélectionner la cartouche de filtre adaptée indiquée sur le FDS. Une cartouche ABEK est en général adéquate (code sur le côté de la cartouche).

- La cartouche du filtre doit être remplacée aux intervalles indiqués par le fabricant de la cartouche.

- Les équipements respiratoires autonomes sont également adaptés et utilisés, mais dans certains pays, l'utilisateur doit avoir reçu une formation adaptée et être certifié.

## Conclusion

Dans ce travail, nous avons été initié à une nouvelle méthode de projection de revêtement à base de polymères. Nous déballé et mis en route une nouvelle machine dont l'apprentissage sur sa mise en route a été très bénéfique pour nous. La machine haute pression pour la projection des polyuréthanes est relativement complexe et on doit une attention particulière quant à sa mise en route, les moyens de prévention et de sécurité à mettre en œuvre pour projeter les revêtements dans des conditions sécuritaires. Une fois la projection terminée, le protocole de mise à l'arrêt doit aussi respecter toutes les règles de sécurité et de maintenance pour assurer un bon fonctionnement pour le prochain départ. La mise en marche et l'arrêt de la machine haute pression est en soi une véritable formation pour nous.

En terme de projection, nous avons essayé de revêtir différentes formes de substrats avec des matériaux aussi variés que possible: du métal, du bois, de la mousse, du carton, du béton, des fruits, des œufs, des composites, etc. Nous concluons que la projection des revêtements polyuréthane peut se faire sur n'importe quel matériau en autant qu'il y ait une bonne préparation de surface et un réglage optimal des paramètres opératoires de la machine.

Les résultats de projection du polyuréthane en faisant varier la pression de projection et la température des fluides montrent que les propriétés mécaniques du revêtement final sont sensibles à ces paramètres. Des essais préliminaires doivent être engagés avant de commencer tout travail de projection notamment pour des surfaces très importantes à revêtir et pour choisir la bonne formulation de la résine.

En général, nous pouvons dire que:

Les matériaux revêtus en polyuréthane ont une bonne résistance à l'usure abrasive, à la corrosion.

Ils ont une adhérence suffisante (6.2 Mpa) sur les substrats si la surface de ces derniers est correctement préparée.

Les revêtements en polyuréthane sont imperméables et présentent une très étanchéité à l'eau.

Les revêtements de polyuréthane amortissent les chocs.

## Référence :

- [1] <http://www.polyurethanes.org/fr/qu-est-ce-que-c-est/histoire>.
- [2] P.G. DE GENNES, "Wetting statics and dynamics", Previous on modern Physics, .54. 827-63, (1985)
- [3] S. KRAUSE, Macromolécules, .3. (1), 84, (1970)
- [4] J. VERDU, "Vieillissement des plastiques", AFNOR technique, Ed. Eyrolles,(1984)
- [5] B.J. BRISCOE, Tribology of polymers, "Physico chemical aspects of polymers surfaces", Plenum Press, New York, 387-412, (1983)
- [6] L.H. LEE,"Polymer wear and its control", ACS Symposium series, LEE L.H. Ed, 27-38, (1985)
- [7] K.H. ZUM GAHR, "Microstructure and wear of materials", Tribol. Ser.10, Elsevier, Amsterdam, (1987)

# *Liste des figures*

## **Chapitre 1 : Généralités**

Figure 1.1: structure de polyuréthane.....	4
Figure1.2 : réaction de polyuréthane.....	4

## **Chapitre 2 : Procédure expérimentale**

Figure 2-1: Guillotine.....	12
Figure2.2:Grenailleuse.....	13
Figure 2.3 : Pistolet à air comprimé.....	13
Figure 2.4 : Figure 2-4: Pistolet Graco AP à purge d'air.....	14
Figure2.5 :Balance électronique.....	16
Figure3.6: abrasimètre TABER 5131.....	17
Figure 3.7 : Appareille de test d'adhérence Positest.....	19
Figure 2-8 : Outil de découpage et plot d'essai.....	19
Figure 2-9: Système de piston hydraulique.....	19

## **Chapitre 3 : Résultats et discussions**

Figure 3-1 : Revêtement de polyuréthane après l'essai de Taber.....	22
Figure 3- 2: revêtement du polyuréthane avant l'essai de perte de masse.....	23
Figure 3-3 : Plot collé sur la surface du polyuréthane avant l'essai d'adhérence.....	24
Figure 3-4 : Surface du substrat à l'endroit de l'arrachement du revêtement.....	25
Figure 3-5 : Plot avec son revêtement polymérique après l'essai d'adhérence .....	26
Figure 3-6 : Plaque en carton revêtue en polyuréthane.....	27
Figure 3-7: Parpaing revêtu en polyuréthane.....	27

Figure 3-8 : Plaque en carton non revêtue après essai au choc.....	28
Figure 3-9: Parpaing non revêtu après essai au choc.....	29
Figure 3-10: Boîte en carton remplie d'eau.....	31

### **ANNEXE 1 : Principe de fonctionnement du Reactor A-25/ A-XP1**

Figure 1: Machine Reactor A-25/ A-XP1 avec son pistolet à air.....	35
Figure 2: Vue éclatée de l'installation du Reactor A-25/ A-XP1.....	36
Figure 3: Reactor A-25/ A-XP1 vue sous différentes positions.....	37
Figure 4: tableau de commande.....	39
Figure 5: vannes SA et SB.....	41
Figure 6: Vanne du produit.....	41

## ***Liste des tableaux***

Tableau 3-1: les résultats de l'essai de Taber.....	22
Tableau 3-2: Essais de perte masse.....	23

