

**adal**

---

**VADE-MECUM  
L A Q U A G E**

---



ACCREDITATION  
N° 5-008/97  
PORTEE  
COMMUNIQUEE  
SUR DEMANDE

Association déclarée de la loi du 1<sup>er</sup> juillet 1901  
17 rue Hamelin – 75783 PARIS Cedex 16  
Tél. : +33 1 42 25 26 44 – Fax : +33 1 53 75 02 13  
Site Internet : [www.adal.asso.fr](http://www.adal.asso.fr) – e-mail : [adal@adal.asso.fr](mailto:adal@adal.asso.fr)



# SOMMAIRE

---

1. Historique du label QUALICOAT
2. Aluminium - Caractéristiques et propriétés
3. Faces vues - Calcul de surface -  
Accrochage
4. Traitement de surface
5. Schéma de principe d'une ligne de  
thermolaquage
6. Composition et fabrication des peintures en  
poudre
7. Application en poudre
8. Cuisson
9. Environnement - Hygiène et sécurité
10. Directives QUALICOAT
11. Annexes

Chapitre 1

**Historique du label  
QUALICOAT**

# Historique du label QUALICOAT

## 1 - Introduction

Dans le souci de fixer à une branche industrielle des critères de qualité d'exécution et d'apporter aux prescripteurs et aux utilisateurs une sécurité en matière de qualité de produits laqués, deux associations européennes :

- EAA, European Aluminium Association,
- EUROCOAT, European Aluminium Coaters Association,

ont décidé de définir, en commun, des règles de bonne exécution du traitement de laquage des demi-produits corroyés (tôles et profilés) et moulés en aluminium et alliages d'aluminium destinés aux applications dans le bâtiment et dans la construction, et d'attribuer à ceux de leurs membres qui accepteraient d'en respecter l'application et en apporteraient la preuve le droit d'utiliser une marque de qualité, dite label QUALICOAT.

## 2 - Directives

Les règles de bonne exécution du traitement de laquage sont décrites dans un recueil intitulé « Directives concernant un label de qualité pour les revêtements par thermolaquage, liquide ou poudre, de l'aluminium destiné à l'architecture ».

## 3 - Gestion du label

La gestion du label QUALICOAT, d'accord commun entre EAA et EUROCOAT, a été confiée à QUALICOAT dont le secrétariat général est assuré par AC TREUHAND à Zurich (Suisse).

La marque internationale QUALICOAT est enregistrée sous le numéro 513227, conformément à la Convention de Madrid concernant l'enregistrement international des marques de fabrique et de commerce. La protection de la marque QUALICOAT s'étend, de ce fait, à tous les pays signataires de la Convention de Madrid, dont la France.

QUALICOAT accorde à une association technique ou professionnelle représentant chacun des pays membres une licence générale lui donnant le droit d'octroi de la marque de qualité QUALICOAT et devoir d'en faire respecter le bon usage par des contrôles appropriés.

Pour la France, le licencié général est ADAL, Association pour le Développement de l'Aluminium Anodisé ou Laqué.

ADAL, association déclarée de la Loi de 1901, a été créée en 1965.

ADAL est reconnue par le Ministère de l'Industrie comme Organisme Certificateur du certificat de qualification de produit QUALICOAT.

Dans le cadre de sa licence QUALICOAT, ADAL fait procéder à des contrôles inopinés des ateliers de laquage (deux visites consécutives, conformes en tout point, sont nécessaires pour obtenir le label QUALICOAT, et un minimum de deux visites annuelles, conformes en tout point, est, par ailleurs, requis pour le maintien de l'attribution du label).

Les familles de peintures (liquides ou poudres) que doivent utiliser les laqueurs labellisés font l'objet de contrôles (14 essais différents) et d'un agrément QUALICOAT, lorsque ces contrôles se sont avérés positifs en tout point.

L'exécution des contrôles a été confiée à un laboratoire indépendant.

Les rapports de visite sont adressés à l'ADAL qui donne ou non, un AVIS FAVORABLE. Une copie des rapports est envoyée à QUALICOAT.



Chapitre 2

**Aluminium**  
**Caractéristiques et propriétés**

# Aluminium

## Caractéristiques et propriétés

### Propriétés physiques de l'aluminium

L'aluminium est l'un des métaux les plus répandus sur la surface de la terre : plus que le fer et le cuivre qui sont réputés être les métaux les plus communs.

Bien que cet élément ait une grande diffusion (plus de 7% des composants de la lithosphère), à cause de sa forte réactivité, surtout avec l'oxygène, il est présent d'une façon trop dispersée et jamais à l'état élémentaire. Le seul minéral à partir duquel il est aujourd'hui rentable d'extraire de l'aluminium métallique est la BAUXITE, un oxyde d'aluminium hydraté ( $Al_2O_3 \cdot nH_2O$ ), qui est normalement joint à des oxydes de fer et de titane.

Le métal s'obtient par électrolyse à l'état de fusion de son oxyde  $Al_2O_3$ , appelé ALUMINE.

L'aluminium appartient à la famille des métaux légers. Son poids atomique est égal à 27 u.m.a.

L'aluminium a une grande conductibilité électrique, inférieure uniquement à celle de l'argent et du cuivre. Cette propriété en permet l'usage comme conducteur de courant pour différentes applications. Pour faire une comparaison avec d'autres métaux, en admettant que le titane a une valeur de conductibilité égale à 1, nous obtenons les valeurs approximatives suivantes :

<b>Métal</b>	<b>Conductibilité électrique</b>
Titane	1
Or	2,4
Plomb	2,5
Etain	3,8
Inox 316	4
Platine	5
Aluminium	19
Cuivre	32
Argent	33

D'un point de vue alimentaire, l'aluminium est un métal non toxique. En effet, il est présent en concentration non négligeable dans beaucoup de légumes et d'autres éléments (oignons, épinards, viande, oeufs, etc...).

L'aluminium trouve une place importante dans la formulation de certains médicaments (anti-acides pour l'estomac) et il est devenu d'usage courant pour la fabrication de récipients divers et utilisé couramment sous forme de papier pour la conservation d'aliments.

Sa faible densité (2,7) permet à ce métal d'être le plus léger de la métallurgie à grande consommation (densité de l'acier: 7,8) : on peut, ainsi, fabriquer en atelier des éléments de grandes dimensions pouvant être manutentionnés et mis en place sans moyen de levage important.

Son pouvoir réflecteur à l'état brut est faible, il devient fortement amélioré après polissage et anodisation.

	Aluminium	Acier	Inox 18/8	Cuivre
Masse volumique g/cm <sup>3</sup>	2,7	7,8	7,9	8,9
Température de fusion °C	658	1 450	1 424	1 083
Coefficient de dilatation x 10 <sup>-6</sup>	24	12	17	16,5
Chaleur spécifique J.kg.°K	960	420	500	376
Conductivité thermique W/m.°K	220	46	16	385
Résistivité électrique μΩ cm	2,75	11	70	1,7
Charge de rupture MPa	100	420	630	235
Limite de proportionnalité MPa	40	265	280	70
Allongement %	40	40	55	45
Dureté Brinell HB	20	120		50
Module d'élasticité MPa	70 000	210 000	200 000	120 000

## Les alliages d'aluminium

Les éléments d'addition et, en particulier, les éléments d'addition non ferreux, jouent un rôle primordial dans la métallurgie de l'aluminium, et l'on peut même affirmer que, sans eux, l'aluminium n'aurait jamais eu les nombreuses applications actuelles qui couvrent les domaines les plus variés et les plus étendus.

L'importance de ces éléments d'addition peut être illustrée par l'exemple suivant concernant les niveaux de résistance mécanique : alors que l'aluminium non allié présente une limite élastique comprise entre 30 et 140 MPa et une charge de rupture comprise entre 70 et 150 MPa, suivant qu'il a été plus ou moins durci par écrouissage, l'aluminium, renforcé de façon judicieuse par certains métaux, est susceptible de présenter une limite élastique pouvant aller jusqu'à 600-650 MPa et une charge de rupture pouvant atteindre 650-700 MPa, voire 750 MPa, soit des valeurs 5 à 10 fois plus élevées que celles de l'aluminium non allié.

Les éléments d'addition ajoutés en faible quantité pour ne pas augmenter la densité sont :

- le magnésium,
- le silicium,
- le zinc,
- le cuivre,
- le manganèse...

Les principaux alliages utilisés dans le secteur du bâtiment et en architecture sont des alliages du type Al-Mg, Al-Mg-Mn et Al-Si-Mg, avec une fourchette bien définie de chacun des composants.

Voir en annexe :

- la symbolisation et la désignation conventionnelles de l'aluminium et de ses alliages,
- les tableaux récapitulatifs des principaux alliages corroyés et de fonderie.



Chapitre 3

**Faces vues**  
**Calcul de surface**  
**Accorchage**

# Faces vues - calcul de surface - accrochage

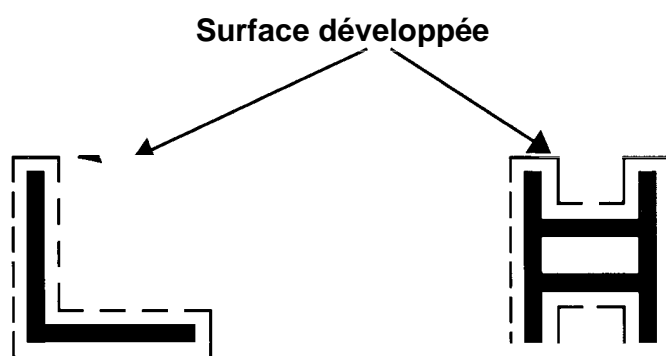
## Faces vues

Les faces vues sont déterminées par les concepteurs-gammistes et sont indiquées sur les documents techniques. Ces faces doivent être revêtues de l'épaisseur de laque spécifiée par les Directives QUALICOAT.

## Calcul de surface

Afin de déterminer les paramètres techniques de réglage du process, il est nécessaire de déterminer la surface de laquage de la pièce.

Pour les profilés droits on considère la surface développée extérieure.



Pour les tôles planes de dimension standard on retient la surface vue (une ou deux faces).

Pour les autres produits (profilés cintrés, tôles pliées, accessoires...) d'autres facteurs doivent être pris en considération (encombrement, complexité de la forme...) pour adapter le process à la pièce.

## Accrochage

- **L'accrochage sur une chaîne horizontale**

Pour le traitement en **balancelle**, les pièces seront accrochées, fixées, posées ou clipées sur des supports appropriés en aluminium. L'utilisation de supports métalliques autres qu'en aluminium est à proscrire. La présence d'autres métaux perturbe le bon développement de la chromatisation au point de contact et conduit à la décomposition irréversible du bain de chromatisation.

L'utilisation de balancelles autorise à effectuer l'ensemble du processus de laquage en continu (traitement de surface, poudrage et cuisson).

Il faut donc veiller à positionner les pièces correctement pour le poudrage.

Dans le cas d'utilisation de **paniers** en aluminium pour le traitement de surface, les pièces doivent être séparées les unes des autres par des intercalaires en aluminium de forme appropriée limitant les points de contact et permettant une bonne circulation des bains, pour un traitement homogène.

Après traitement de surface, les pièces sont reprises pour accrochage sur des balancelles. Cette opération exige une manipulation des pièces traitées avec des gants propres en textile. La règle d'accrochage est la même que décrite ci-dessus.

## • L'accrochage sur une chaîne verticale

### Le poste d'accrochage

Le poste d'accrochage peut se situer dans l'espace à deux endroits :

- soit le convoyeur est suspendu en hauteur sur l'ensemble de son périmètre et le poste d'accrochage et de décrochage se matérialise par une passerelle pour positionner le personnel à la hauteur de travail du convoyeur,
- soit le convoyeur redescend à 1,5 m du sol et le personnel reste au sol.

**Dans le premier cas**, il est nécessaire de posséder un système de vérins hydrauliques et de chariots associés pour permettre la mise à la verticale des profilés vers la passerelle.

Le personnel se saisit des pièces, les poinçonne et les accroche sur le convoyeur qui défile devant lui avec des crochets adaptés.

Les inconvénients liés à ce choix sont :

- le travail en hauteur et en particulier la nécessité de ventiler pour des problèmes de température liés entre autres à la proximité du four et au travail sous la toiture,
- des chariots à fond amovible pour que le bout du profilé quelle que soit sa longueur (de 4 m à 7 m) soit à la hauteur de travail du personnel sur la passerelle.

**Dans le deuxième cas**, un guidage doit permettre aux profilés de descendre et de monter d'une position horizontale à une position verticale ou inversement.

Les inconvénients liés à ce choix sont :

- un frottement des bouts des profilés sur le sol et du profilé lui-même sur la partie mécanique de guidage,
- un convoyeur plus long et plus compliqué surtout s'il s'agit d'une double voie.

## **Le matériel au poste d'accrochage**

Le matériel nécessaire se résume en une poinçonneuse et une perceuse «d'appoint» si l'épaisseur ou la forme de certains profilés ne permettent pas le poinçonnage avec le matériel en place. Il est à noter que le profilé n'est percé qu'à une seule de ses extrémités.

Le système d'accroche est un crochet de 20-30 cm de long qui se place sur le chariot du convoyeur et supporte le profil. Le crochet doit posséder une certaine forme au niveau de l'accroche sur le chariot pour empêcher qu'il ne se décroche lorsqu'il sera soumis à certaines turbulences. En particulier lors du traitement de surface en aspersion.

Sa matière de fabrication et son épaisseur doivent être en rapport avec les produits qu'il risque de rencontrer et le poids des pièces. En général on utilise certains type d'inox avec un diamètre de 3 mm.

Dans certains cas, il arrive d'utiliser une chaîne ou d'autres systèmes pour accrocher entre eux les profilés à leur point bas, pour les tenir à distance souhaitable. Leur poids étant faible, ils pourraient se toucher suite au mouvement du convoyeur ou au brassage et mouvement d'air à l'entrée du four de polymérisation.

## **Le type d'accrochage**

Trois paramètres régissent le travail des monteurs. Ce sont les mêmes que sur l'application horizontale mais avec des influences plus importantes sur la qualité finale.

Premièrement, le point d'accrochage doit être correctement réalisé. Ceci permettra de positionner le profilé correctement dans la cabine d'application. La meilleure position est à définir pour chaque profilé en fonction des faces principales à laquer, des fonds de gorges à laquer ou à voiler, des gorges de clipages dont il ne faut pas changer les dimensions par un apport trop important de laque. Dans certains cas, ce travail peut aussi être réalisé par le poudreur à l'entrée de la cabine de peinture, celui-ci a la possibilité depuis le bas du profil de le tourner pour le placer correctement par rapport au robot de poudrage.

Deuxièmement, la surface de poudrage doit être respectée. L'application de mise en peinture est uniquement automatique. Le nombre et le rendement des pistolets de poudrage sont calculés par rapport à une certaine quantité de m<sup>2</sup> à poudrer à la minute. Il est donc impératif d'accrocher en respectant une surface et non un nombre de profils à la minute.

Troisièmement, le fonctionnement optimum d'une chaîne verticale est tourné vers des grandes séries de profils. Le poudrage reste un élément complexe qui nécessite des réglages en fonction des produits à laquer. Il faut donc à chaque fois que possible accrocher des suites de profils de même nature. Il sera impossible de laquer correctement une paroles suivie d'un tubulaire suivi d'un profil à gorge sans provoquer une surépaisseur ou un manque de laque sur une des pièces.

### • La continuité électrique

Le poudrage électrostatique nécessite une bonne conduction électrique entre la masse du générateur de poudrage et le subjectile. La pièce est donc maintenue à la masse par l'intermédiaire de son support et du convoyeur. Ce support est poudré lors de l'application et la laque diminue considérablement la conduction. Il est donc nécessaire de changer le support pour garder une résistance entre la masse du générateur et la pièce, inférieure à 1 MΩ.

Les profilés à coupure thermique nécessitent une préparation particulière. Au cas où seule une demi-partie du profilé est reliée à la masse du convoyeur, il faut rétablir la liaison électrique avec la deuxième partie du profilé par un conducteur approprié.



## Chapitre 4

**Traitement de surface :**  
**Dégraissage - décrochage**  
**Conversions**  
**Rincages intermédiaires**  
**Rincage final**  
**Séchage**  
**Délaquage/désanodisation**

## A – DEGRAISSAGE

### 1 - But

Le dégraissage est la première étape de tout traitement de surface. Son but est d'éliminer de la surface de l'aluminium toutes traces de substances organiques, produits gras, poussières, et de créer la mouillabilité permettant l'homogénéité des traitements ultérieurs.

### 2 - Principaux types de dégraissage

2.1 - Dégraissage alcalin

2.2 - Dégraissage acide

#### 2.1 . Le dégraissage alcalin

C'est le procédé le plus utilisé en raison de son large spectre de dégraissage et de sa forte capacité à émulsionner les huiles. On distingue deux types de dégraissants alcalins :

- les dégraissants doux,
- les dégraissants dérochants.

Les spécifications auxquelles une bonne solution de dégraissant doit satisfaire, sont les suivantes :

- bien mouiller la pièce pour entrer en contact avec la salissure,
- dissoudre la salissure (par émulsion et saponification),
- mettre en solution la salissure,

- éliminer la dureté de l'eau pour accroître l'action du dégraissage,
- en cas de dérochage, maintenir l'aluminium en solution.

Les dégraissants alcalins sont donc des compositions susceptibles de répondre à toutes ces spécifications et qui renferment des matières premières dont chacune a un rôle bien défini.

**Soude caustique** : très bon saponifiant des matières grasses, forte agressivité chimique sur l'aluminium. Pouvoirs mouillant et détergent limités.

**Carbonate de soude** : moins agressif que la soude caustique. Bon adoucisseur de l'eau.

**Phosphates** : bons adoucisseurs et séquestrants pour le calcium et le magnésium se trouvant dans l'eau. Certains sont de très bons dégraissants et des tensioactifs efficaces. Bons tampons.

**Savons et détergents synthétiques** : ils se comportent en tensioactifs, c'est-à-dire qu'ils baissent la tension superficielle sur la pièce et en facilitent le mouillage.

On distingue deux catégories de tensioactifs :

- les ioniques qui se divisent en deux groupes :
  - les anioniques
  - les cationiques
- les non ioniques

**Silicates de sodium** : ils ont un bon pouvoir tampon, un grand pouvoir émulsifiant et sont d'excellents inhibiteurs. Ils sont par contre difficiles à rincer tout particulièrement au trempé.

**Borates, Gluconates, Ethanolamines** : ils augmentent l'efficacité du dégraissage en réduisant les temps et sont des inhibiteurs d'attaque du métal. Ils ont une forte action complexante et séquestrante.

## Conditions d'utilisation

### Au trempé

- la concentration varie de 2 à 6%,
- la température de travail est généralement de 55 à 70 °C,
- le temps de traitement varie en fonction du degré de pollution en substances grasses sur la pièce. Il peut être de 6 à 10 mn.

### Par aspersion

- la concentration varie de 0,5 à 3%,
- la température de travail varie de 40 à 60 °C,
- le temps de traitement est de l'ordre de 2 à 3 mn sous une pression de 1 à 2 bars.

## 2.2 . Le dégraissage acide

Ce type de produits s'est développé du fait de leur utilisation à basse température. (Le pouvoir dégraissant de ce type de produits est généralement faible, souvent insuffisant pour les pièces chargées en matières grasses).

L'action de nettoyage est double :

- élimination des corps gras par émulsion à l'aide de tensioactifs appropriés,
- désoxydation et élimination des particules solides par l'attaque acide de l'aluminium (provoquant un léger dégagement d'hydrogène).

Ces produits sont généralement constitués de mélanges d'acides minéraux (acide sulfurique, acide phosphorique), de complexants et de tensioactifs.

Un réglage particulier en fluorures peut leur conférer une fonction dérochante, mais cette solution est peu satisfaisante : les boues formées sont difficilement maîtrisables, la présence d'aluminium dissous réduisant l'activité du bain.

## Conditions d'utilisation

### Au trempé

- concentration : 3 à 6 %,
- temps : 8 à 15 mn,
- température : 20 à 35 °C.

### Par aspersion

- concentration : 1 à 3 %,
- température : 20 à 35 °C pour le dégraissage  
50 à 60 °C pour le dégraissage/dérochage,
- temps : 2 à 3 mn,
- pression : 1,5 bars.

NB : Les cuves doivent être au minimum en inox 316L ou mieux, en acier revêtu de plastique ou en plastique approprié.

## 3 - Contrôles chimiques des bains

### 3.1 - Dégraissage alcalin

La concentration en produit de dégraissage est déterminée par mesure d'alcalinité. Prélever un volume déterminé de bain puis titrer par une solution acide normalisée (chlorhydrique ou sulfurique) en présence d'un indicateur coloré (méthyle orange ou phénolphthaléine).

### 3.2 - Dégraissage acide

La concentration en produit de dégraissage est déterminée par mesure d'acidité. Prélever un volume déterminé de bain puis titrer par une solution normalisée de soude en présence d'un indicateur coloré (méthyle orange ou phénolphthaléine).

## **B – DEROCHAGE**

### **1 - But**

Le dérochage est très important avant la conversion chimique.

En effet, après avoir parfaitement dégraissé, il est nécessaire d'éliminer toutes traces d'oxydes afin d'obtenir, avant conversion, une surface mise à nu et homogène.

### **2 - Principaux types de dégraissage**

2.1 - Dérochage alcalin

2.2 - Dérochage acide

#### **2.1 . Le dérochage alcalin**

Le dérochage alcalin permet de débarrasser la surface de l'aluminium des oxydes qui se sont formés naturellement et du graphite apporté sur les profilés lors de l'opération de filage.

Ce bain permet également d'éliminer des couches de chromatisation ou d'anodisation résultant d'un traitement antérieur des profilés.

##### **2.1. 1 - Conditions d'utilisation**

###### **Uniquement au trempé**

- température : 40 à 60 °C,
- temps : 2 à 10 mn,
- concentration : 3 à 10 % dans le cas d'un produit complet  
1 à 2 % dans le cas d'un additif à la soude (40 g/l).

Ce type de produit est composé de bases minérales fortes et de complexants. Il existe aussi des versions «additifs» à ajouter à une solution de soude caustique.

Ce bain dissout les sels d'aluminium présents à la surface.

Les éléments d'alliages vont former des insolubles restant à la surface des profilés, qui nécessiteront un passage ultérieur en dérochage acide léger (bain de blanchiment).

Le dérochage alcalin est obligatoirement suivi d'un rinçage et d'un bain de «blanchiment» pour éliminer les insolubles restant à la surface des profilés. Ce bain de blanchiment, acide, est composé d'acide nitrique ou d'un mélange d'acide et d'additif.

**Remarque :** Ce procédé ne peut être utilisé sur les alliages de fonderies à base de silicium.

## 2.1. 2 - Contrôles chimiques :

- soude libre,
- aluminium dissous,
- additif (par mesure de DCO).

## 2.2 - Le dérochage acide

Dans le cas d'un dérochage acide après dérochage alcalin, ce bain sert à neutraliser la surface d'aluminium et à la débarrasser des insolubles d'éléments d'alliage (généralement à base d'acide nitrique).

Dans le cas d'un dérochage acide direct après dégraissage, il sert à désoxyder l'aluminium.

En règle générale, les produits de dérochage contiennent des acides organiques ou minéraux, des fluorures et des complexants stables en milieu très acide.

En aspersion, le graphite est éliminé grâce aux actions mécaniques et chimiques combinées.

En immersion, un réglage de la teneur en fluorures est nécessaire pour obtenir une perte de poids suffisante assurant l'élimination du graphite et des oxydes. Ce type de bain permet de désoxyder les alliages de fonderie.

## 2.2. 1 - Conditions d'utilisation

### Aspersion

- température : 20 à 30 °C,
- temps : 1 à 3 mn,
- concentration : 1 à 3 %.

### Immersion

- température : 20 à 30 °C,
- temps : 2 à 10 mn,
- concentration : 3 à 6 %.

La cuve contenant ces produits est au minimum en inox 316L ou mieux en acier revêtu de plastique ou en plastique approprié.

## 2.2. 2 - Contrôles chimiques

- acidité libre,
- aluminium dissous,
- fluor libre.

# C - CONVERSIONS

## 1 - But

Il s'agit de créer à la surface de l'aluminium, une couche d'un composé insoluble d'aluminium parfaitement adhérent, ayant des propriétés anti-corrosives et permettant un bon accrochage du revêtement organique.

## 2 - Types de conversion

Il y a deux types de conversion :

2.1 - Chromique (dite «jaune»)

2.2 - Phosphochromique (dite «verte»)

### 2.1 . Conversion chromique

Ce type de conversion dite «jaune», est composé d'acide chromique, d'acides minéraux, de complexants et d'accélérateurs divers.

C'est le procédé le plus utilisé en raison de sa facilité et de sa robustesse. Il est utilisable aussi bien en aspersion qu'en immersion.

#### 2.1. 1 - Conditions d'utilisation

##### Immersion

- concentration : 0,5 à 3%,
- température : 20 à 30°C,
- temps : 1 à 3 mn.

##### Aspersion

- concentration : 0,5 à 3%,
- température : 20 à 30°C,
- temps : 30 s à 2 mn,
- pression : 0,5 à 1,5 bars.

Dans les deux applications le pH doit être maintenu entre 1,6 et 1,8.

La cuve contenant ces produits est en inox 316L ou en acier revêtu de plastique ou en plastique approprié.

## 2.1. 2 - Contrôles chimiques

### Dosage de la teneur en chrome 6

La concentration en chrome hexavalent est déterminée par titrage avec une solution normalisée de thiosulfate ou de sulfate ferreux (sel de Mohr) en présence d'un indicateur coloré.

### pH

Le contrôle du pH doit être réalisé à chaque régénération.

## 2.2 - Conversion phosphochromique

Les phosphochromatations dites «vertes», sont composées d'acide chromique et phosphorique, d'acides minéraux, de complexants et d'accélérateurs divers.

Elles sont maintenant couramment utilisées en France; leur moindre sensibilité à la température de séchage amène une réduction du temps de séchage quelquefois intéressante. Ce type de bain est utilisable aussi bien en aspersion qu'en immersion.

### 2.2. 1 - Conditions d'utilisation

#### Immersion

- concentration : 2 à 3%,
- température : 25 à 45°C,
- temps : 1 à 3 mn.

#### Aspersion

- concentration : 1 à 3%,
- température : 25 à 45°C,
- temps : 30 s à 2 mn,
- pression : 0,5 à 1,5 bars.

La cuve contenant ces produits est en inox 316L ou en acier revêtu de plastique ou en plastique approprié.

### 2.2. 2 - Contrôles chimiques

#### Dosage de la teneur en chrome 6

La concentration en chrome hexavalent est déterminée par titrage avec une solution normalisée de thiosulfate ou de sulfate ferreux (sel de Mohr) en présence d'un indicateur coloré.

#### Dosage du fluor libre

#### Mesure du pH

## D - RINÇAGES INTERMÉDIAIRES

Ils se font en eau industrielle.

On admet généralement un rapport de dilution  $Rd = 500$  pour toutes les fonctions rinçages sauf dans le cas de rinçage entre deux alcalins ou deux acides où  $Rd = 100$  sera suffisant.

(On définit  $Rd$  par :

$Rd = Ct/Cr$  où  $Ct$  : concentration bain de traitement  
 $Cr$  : concentration bain de rinçage)

Ceci oblige dans tous les cas à des rinçages en double cascade au minimum afin de respecter la limite réglementaire des 8 litres par  $m^2$  et par fonction de rinçage.

On peut également utiliser la technique du rinçage mort suivi de rinçages à eau renouvelée.

Un rinçage mort ne peut en concentration être supérieur à 20% de la concentration du bain chimique qui le précède.

Il est recommandé d'avoir un égouttage suffisant pour supprimer les transferts d'un bain à l'autre, tout en évitant l'autoséchage qui rend plus difficiles les rinçages ultérieurs.

**E - RINÇAGE FINAL**

On réglera le débit de l'eau déminéralisée pour respecter les directives QUALICOAT fixant à 30  $\mu\text{S}$  maximum (à 20 C°) la conductivité des égouttures sur profilés ouverts.

**Tableau de correspondance**

<b>Conductivité <math>\mu\text{S/cm}</math></b>	<b>Résistivité <math>\Omega/\text{cm}</math></b>
0,2	5 000 000
0,6	1 670 000
1,0	1 000 000
2,0	500 000
3,0	330 000
4,0	250 000
5,0	200 000
6,0	170 000
7,0	140 000
8,0	130 000
9,0	110 000
10,0	100 000
15,0	70 000
20,0	50 000
30,0	33 000
40,0	25 000
50,0	20 000
100,0	10 000
200,0	5 000

## F - SECHAGE

Les directives QUALICOAT fixent la température maxi de séchage (mesurée sur l'objet To) à :

- 65 °C To pour la conversion chromique (jaune),
- 85 °C To pour la conversion phosphochromique (verte).

La température de séchage du traitement préparatoire peut atteindre 100°C To pour le traitement sans discontinuité.

On entend par continuité un poudrage immédiat. Une température élevée de séchage rend la couche de chromatation plus sensible aux pollutions, notamment la reprise d'humidité avant mise en peinture.

On a intérêt à prévoir un poste d'égouttage des pièces avant introduction dans le poste de séchage.

## G - DELAQUAGE / DESANODISATION

Le délaquage et la désanodisation doivent rester des opérations exceptionnelles réalisées sous le contrôle du laqueur. Dans le cas contraire, le laqueur peut difficilement s'assurer de la conformité du métal à une opération de laquage suivant les directives QUALICOAT.

### 1 - Délaquage

Le délaquage s'effectue au trempé.

Il y a au moins deux types de décapants :

- décapants à base de chlorure méthylène travaillant à froid,
- décapants à chaud sans attaque de l'aluminium.

Dans les deux cas, après délaquage, les profilés ou pièces devront être parfaitement rincées et déchromatées dans un bain de décapage alcalin (par exemple, le bain de désanodisation) pour supprimer toutes traces de décapant et de chromatisation afin d'éviter :

- le risque de pollution des bains de traitement de surfaces au moment du retraitement,
- le risque de décollement ou de corrosion dans le temps.

## **2 - Désanodisation**

Ce traitement s'effectue au trempé dans un bain de soude et additifs complexants :

- concentration en soude : 40 à 60 g/l,
- concentration en additif : 10 à 20 g/l,
- température : ambiante à 40 °C (réaction exothermique),
- temps : en fonction de l'épaisseur d'oxyde.

Cette opération est suivie d'un rinçage et de préférence d'une neutralisation à l'acide nitrique (blanchiment) avant passage dans la ligne de traitement de surface.

## **3 - Recommandations**

Il est préférable d'implanter ces deux bains et leurs rinçages dans un local différent de la ligne de traitement de surfaces et poudrage peinture, ceci afin d'éviter tout risque de pollution (vapeurs alcalines ou chlorées) sur les profilés stockés ou sortant de traitement de surface.



Chapitre 5

**Schéma de principe  
d'une ligne de thermolaquage**

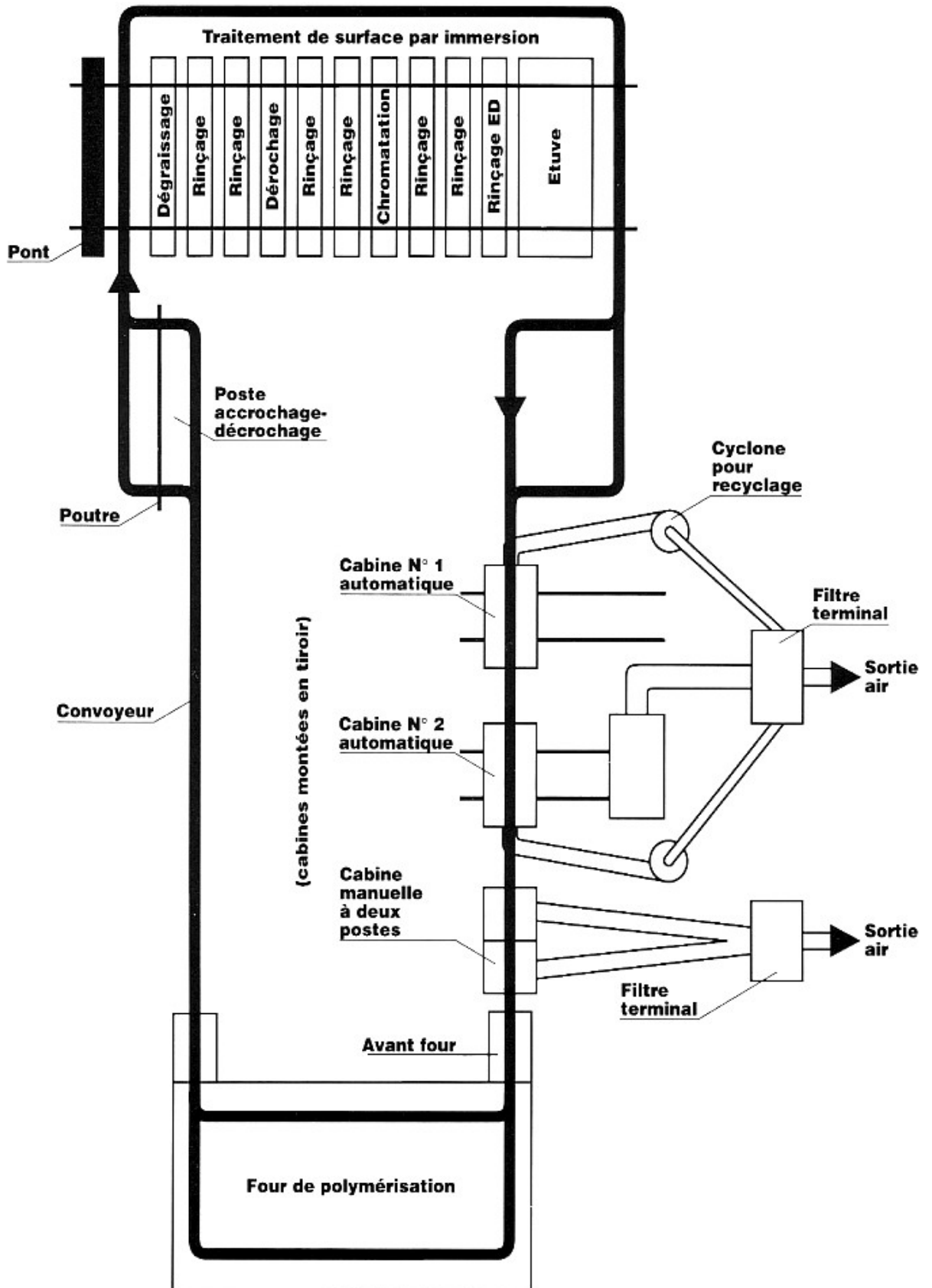
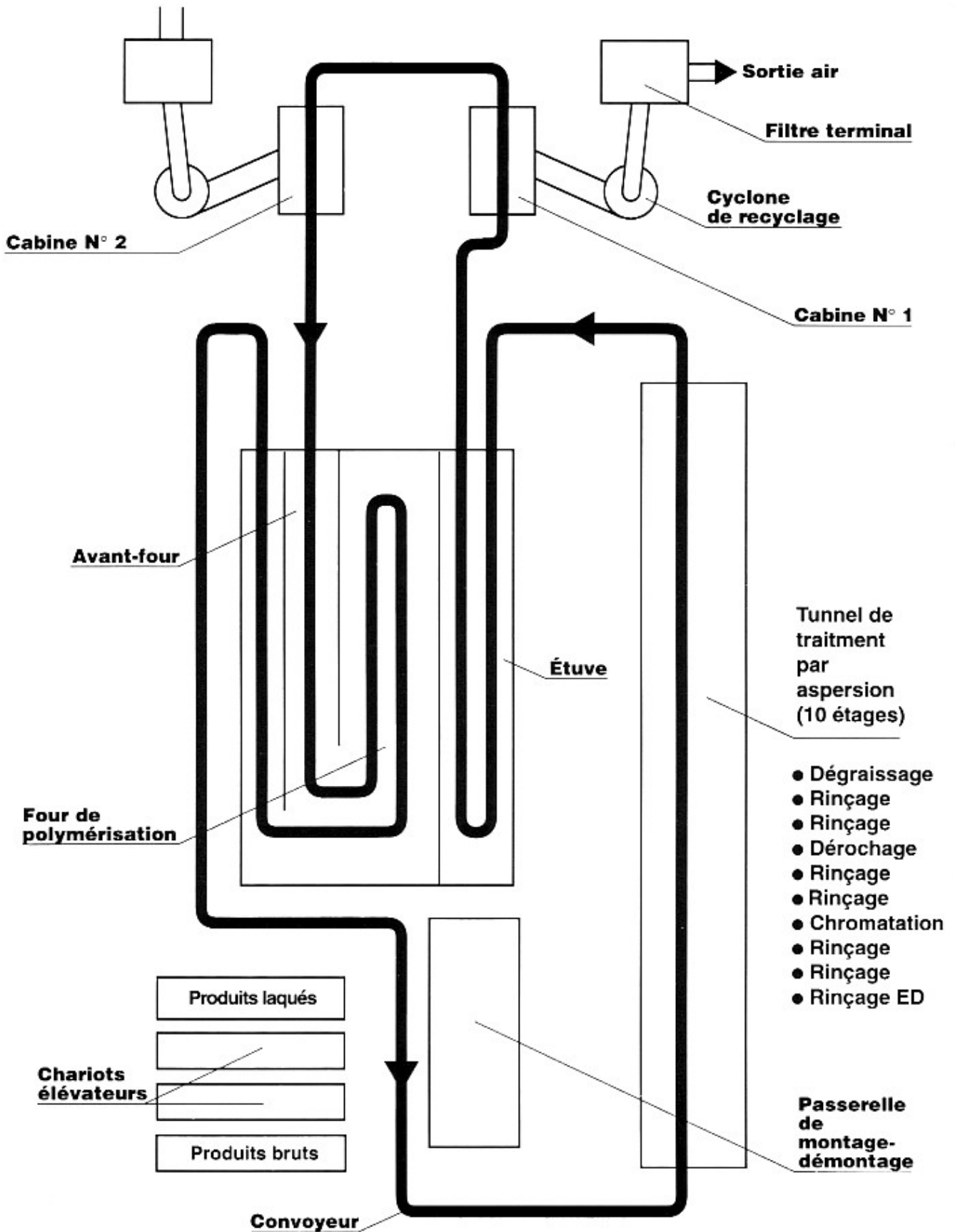


Schéma d'une chaîne de laquage horizontale



**Schéma d'une chaîne de laquage verticale**

Chapitre 6

**Composition et fabrication  
des peintures en poudre**

# Composition et fabrication des peintures en poudre

## Constitution

Les poudres sont essentiellement formées de quatre constituants : les liants, les pigments, les charges et les additifs.

## Les liants

C'est un mélange de résines et de durcisseurs qui, une fois fondu, réagit à une température supérieure à celle de la fusion pour former une masse homogène, infusible et insoluble, qui constituera le ciment (incolore) de la peinture.

Les principaux liants existant actuellement sont de plusieurs types : époxyde, polyester, polyuréthane, acrylique.

A chaque type de liant correspond un ou plusieurs types de durcisseurs agissant lors de la cuisson du film.

Ces mélanges sont présentés à titre d'exemples, mais il y en existe quantités d'autres qui peuvent donner des liants aux qualités très diverses car il est bien évident qu'aucun ne peut les posséder toutes.

## Les pigments

Ils donnent à la peinture sa couleur et son pouvoir opacifiant par rapport au support.

Ce sont en général les mêmes que pour les peintures liquides cuisant au four :

- le blanc, composé en majorité d'oxydes de titane,
- le noir, de carbone ou d'oxyde de fer,
- le vert, d'oxyde de chrome ou de vert de phtalocyanine,
- le bleu, de bleu de manganèse, de cobalt ou encore de phtalocyanine,
- le jaune, de chromate de plomb, de sulfures de cadmium, d'oxyde de fer, de jaunes organiques,
- le rouge et l'orange, d'oxyde de fer, de chromate de plomb et de molybdène, de rouges de cadmium et de rouges organiques,
- les teintes métallisées, de poudres d'aluminium, de cuivre, de bronze.

## Les charges

Ce sont des pigments non opacifiants qui, sous le terme un peu péjoratif de charge, servent à améliorer les propriétés mécaniques et anticorrosives et la tenue aux intempéries des films de peintures. Ils améliorent certaines résistances et sont tirés de produits naturels, très finement pulvérisés (5 à 10 microns), dont la surface des grains a souvent été traitée pour aider à leur mouillage par le liant.

On utilise des carbonates de chaux de différentes formes cristallines, des talcs, du sulfate de baryum naturels ou synthétiques.

## Les additifs

Ce sont des produits d'origines diverses, minérale ou organique. Ils ont différentes fonctions :

- la rhéologie du film : des additifs modifient la tension de surface, ils facilitent le mouillage du support et augmentent la limite de coulure,
- ils améliorent les propriétés chimiques, la résistance aux ultraviolets et la résistance à la chaleur,

- ils améliorent les propriétés physiques de la poudre permettant un stockage plus long sans mottage, lui donnent une meilleure fluidité pour la manutention et le transport pneumatique,
- enfin, ils permettent d'obtenir des aspects spéciaux aux films (structurés).

## Fabrication

La mise au point des formules de poudres est si spécifique qu'elle pourrait faire à elle seule l'objet d'un livre.

Elle ne sera donc pas détaillée ici, bien qu'elle soit à la base de toute fabrication. Le laboratoire crée une formule qui, une fois réalisée, doit donner l'épaisseur, la couleur, l'aspect désirés par le client, dans ses conditions d'application et de cuisson. La formule comprend, en général, une dizaine de produits tous pulvérulents.

Le principe de fabrication est simple. Il consiste à :

- peser soigneusement tous les constituants du lot de fabrication dans les proportions de la formule,
- les mélanger intimement à sec,
- les fondre ensemble et refroidir la pâte,
- réduire en poudre le produit obtenu selon une granulométrie préalablement déterminée,
- enfin, effectuer un contrôle du produit.

## La pesée

La fabrication des poudres ne permet que très difficilement des rectifications en cours de processus.

C'est la raison pour laquelle les pesées initiales et la régularité absolue des matières premières font partie des points primordiaux de la qualité des peintures en poudre. La précision des pesées doit être de l'ordre du 1/500e.

## **Le mélange à sec des matières**

Cette opération s'effectue dans un mélangeur rapide de 100 à 2000 litres. L'ensemble des matières premières est placé dans le mélangeur qui, en quelques minutes, en fait un mélange si intime que chaque ingrédient est réparti de façon régulière dans toutes les parties du mélange, selon les proportions exactes de la formule.

## **La fusion et le refroidissement**

Ces opérations s'effectuent dans une extrudeuse (monovis ou double vis). C'est un appareil à vis sans fin que l'on peut chauffer et refroidir par double enveloppe. Le débit de ces appareils est de 100 à 2000 kilos par heure.

La poudre sortant du mélangeur alimente donc une extrudeuse chauffée à une température supérieure à 100 °C. Ainsi, les résines (et en partie les durcisseurs) sont fondues.

Dans cette phase pâteuse, les pigments et les durcisseurs non fondus sont très finement répartis pour constituer un magma homogène. Les effets de friction et d'étirement de la pâte dans le corps de l'extrudeuse assurent le développement complet de la couleur des pigments.

On doit veiller à ne chauffer ni à trop haute température, ni trop longtemps afin d'éviter une réaction prématurée entre les résines et les durcisseurs. Il faut donc que le temps de séjour dans l'extrudeuse soit aussi court que possible et que, dès la sortie de l'extrudeuse, le produit soit très vite refroidi. La pâte, qui sort en boudin, est acheminée entre les deux cylindres refroidis d'un laminoir. La pellicule, encore pâteuse, est reprise sur un ruban métallique transporteur, lui aussi très largement refroidi à l'eau par-dessous .

Au bout du tapis, le produit (épais de quelques millimètres) est froid et cassant. Un concasseur le brise en petits morceaux («chips») qui tombent dans un conteneur ou alimentent directement un broyeur. A ce stade, le produit ne peut plus être modifié dans sa composition.

## **Le broyage ou micronisation**

Le produit doit encore être mis en poudre selon une granulométrie déterminée, grâce à des broyeurs cribleurs dits «à doigts». Leur rendement est habituellement de 200 à 1000 kilos par heure. Sur le parcours de la poudre broyée, le tamiseur, le cyclone ou le sélecteur de particules permettent d'obtenir très précisément la répartition granulométrique désirée.

Habituellement, une fabrique de peintures en poudre possède plusieurs lignes parallèles de fabrication, chacune pouvant traiter de 100 à 2000 kilos par heure.

## **Les contrôles**

Les matières premières sont contrôlées avant toute transformation. En effet, comme il est impossible de modifier ou d'interrompre la fabrication pendant son déroulement, un contrôle très strict des constituants est nécessaire. Les pesées font l'objet d'une surveillance rigoureuse et le matériel est souvent vérifié.

Au début de l'extrusion, un prélèvement de la pâte est effectué, il est refroidi, broyé et appliqué. Cette opération permet de vérifier, avant l'extrusion de l'ensemble du produit, la conformité de sa couleur, du brillant, de son aspect et de ses qualités mécaniques. Bien entendu, de la sortie du broyeur et jusqu'à l'emballage, des applications et des tests sont faits avec des échantillons représentatifs de la production.

Lorsque le fabricant doit produire une nouvelle teinte, il faut «nettoyer» toute la chaîne de fabrication. Elle comporte : le prémélangeur, l'extrudeuse, le tapis de refroidissement, le cylindre concasseur, le broyeur, le filtre, les tamis et le poste d'emballage. Cela nécessite un nombre d'heures important et un travail difficile, rebutant mais primordial car les moindres grains de teinte restants s'inscriront en pointillé dans la fabrication suivante. Le temps passé ne dépend aucunement de l'importance de la fabrication : il est le même pour un lot de 100 kilos ou pour lot de plusieurs tonnes.

La qualité du produit fini livré dépend aussi fortement du laboratoire d'essai qui conçoit sa formulation, des performances de l'ordinateur de couleur et du coloriste qui déterminent le mélange des pigments, leur proportions et du soin porté à la réalisation de la formule type.

## La peinture en poudre et la couleur

- La peinture en poudre, notamment dans le laquage de l'aluminium, permet une très grande liberté quant au choix des teintes.

Les fabricants proposent ainsi une très large gamme issue :

- soit de listes de couleurs gérées par des organismes nationaux tels que AFNOR, BRITISH STANDARD, RAL,
- soit de leurs propres recherches de coloris.

La référence actuelle est la «carte RAL», nuancier créé en Allemagne. Comportant 180 coloris, il offre un choix très large dans chaque famille de couleurs. Les statistiques d'utilisation des poudres polyester pour 1990 et 1991 montrent que 90% des coloris utilisés appartenaient à la carte RAL. Ceci a permis de définir les coloris les plus demandés pour en faire des références de base toujours disponibles chez les fabricants et qui sont appliqués régulièrement chez les laqueurs. Mais ceci, bien entendu, n'est pas restrictif et de nombreux chantiers ont déjà été réalisés dans des teintes personnalisées.

- D'une fabrication à l'autre, la fidélité de la teinte doit être respectée. Pour matérialiser une couleur, il est nécessaire de réunir trois paramètres :
  - un sujet (par ex : un objet),
  - un illuminant (lumière du jour ou artificielle),
  - un récepteur (l'oeil).
- Le **spectrophotocolorimètre** se substitue aux deux derniers paramètres et permet de standardiser les mesures de la couleur.

Il comprend :

- un spectrophotocolorimètre qui émet un illuminant et mesure la couleur,
- un ordinateur qui traite les informations reçues,
- une vidéo et une imprimante qui expriment les résultats.

Son fonctionnement est basé sur le principe suivant :

- le spectrophotomètre envoie une lumière constante et calibrée (définie par la convention internationale de l'éclairage (C.I.E.) sur la teinte à mesurer,
- le récepteur, matérialisé par la tête du spectrophotomètre, mesure la courbe de réflectance de la source de lumière renvoyée par l'objet. Cette courbe définit précisément une couleur par des coordonnées dans l'espace de la couleur mesurée.

Cette technique permet :

- de définir précisément une couleur par des coordonnées issues d'une mesure physique,
- de calculer par ordinateur des teintes à partir de pigments sélectionnés (contretypage de nouvelles teintes ou corrections de teintes en cours de production),
- de stocker en mémoire toutes les couleurs fabriquées et contretypées; lui donne la possibilité d'effectuer des recherches rapides à partir d'un échantillon à étudier,
- de contrôler les matières premières utilisées en production et notamment les pigments.

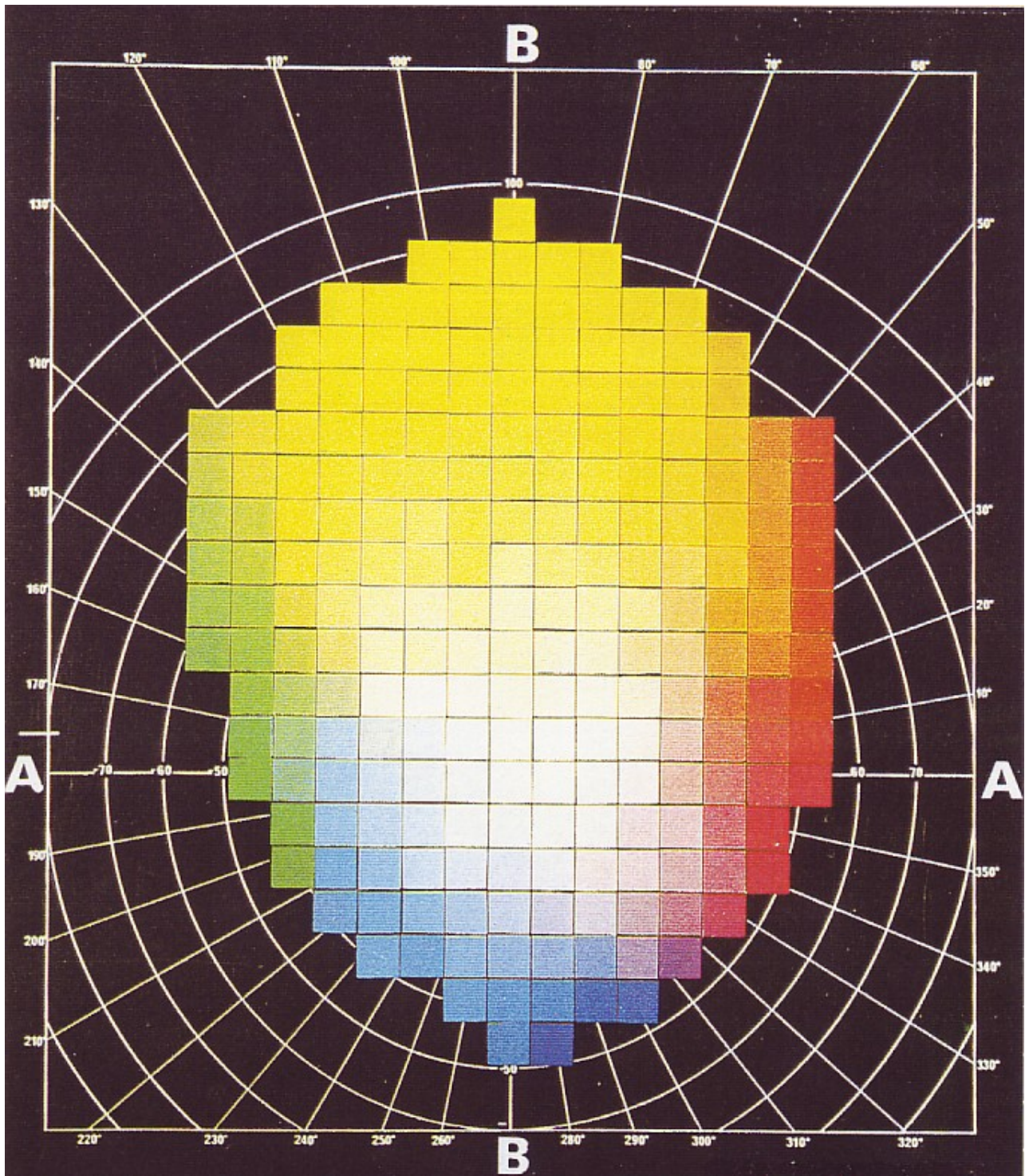
Ces évolutions techniques permettent de dialoguer à partir d'éléments beaucoup plus concrets et de fabriquer à nouveau la même teinte spécifique déjà étudiée plusieurs semaines ou plusieurs mois auparavant.

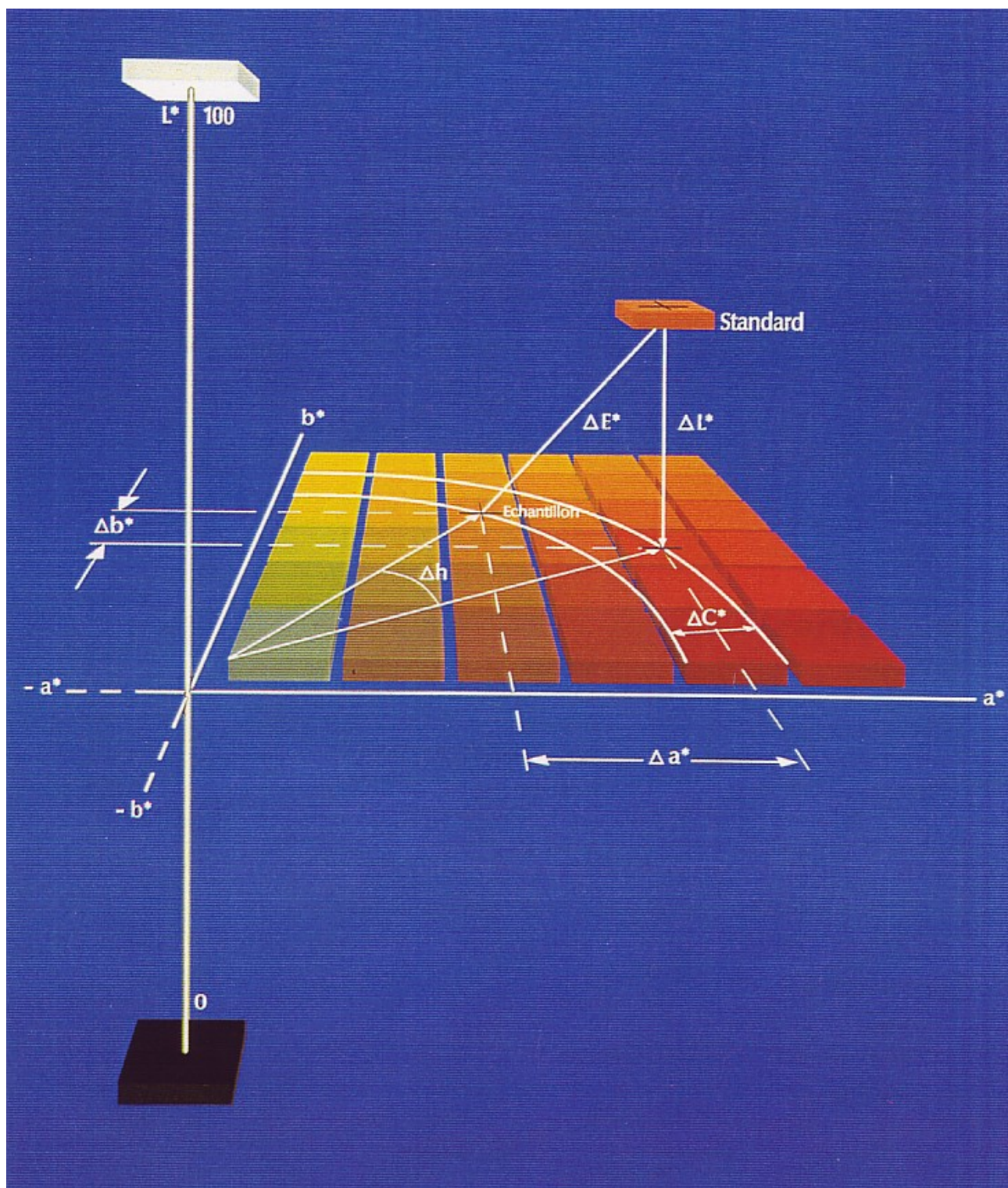
Le fabricant peut ainsi «stocker» une multitude de données sur ses produits.

## **AVERTISSEMENT**

Le principal ennemi du laqueur est le silicone, c'est le cancer du laquage.

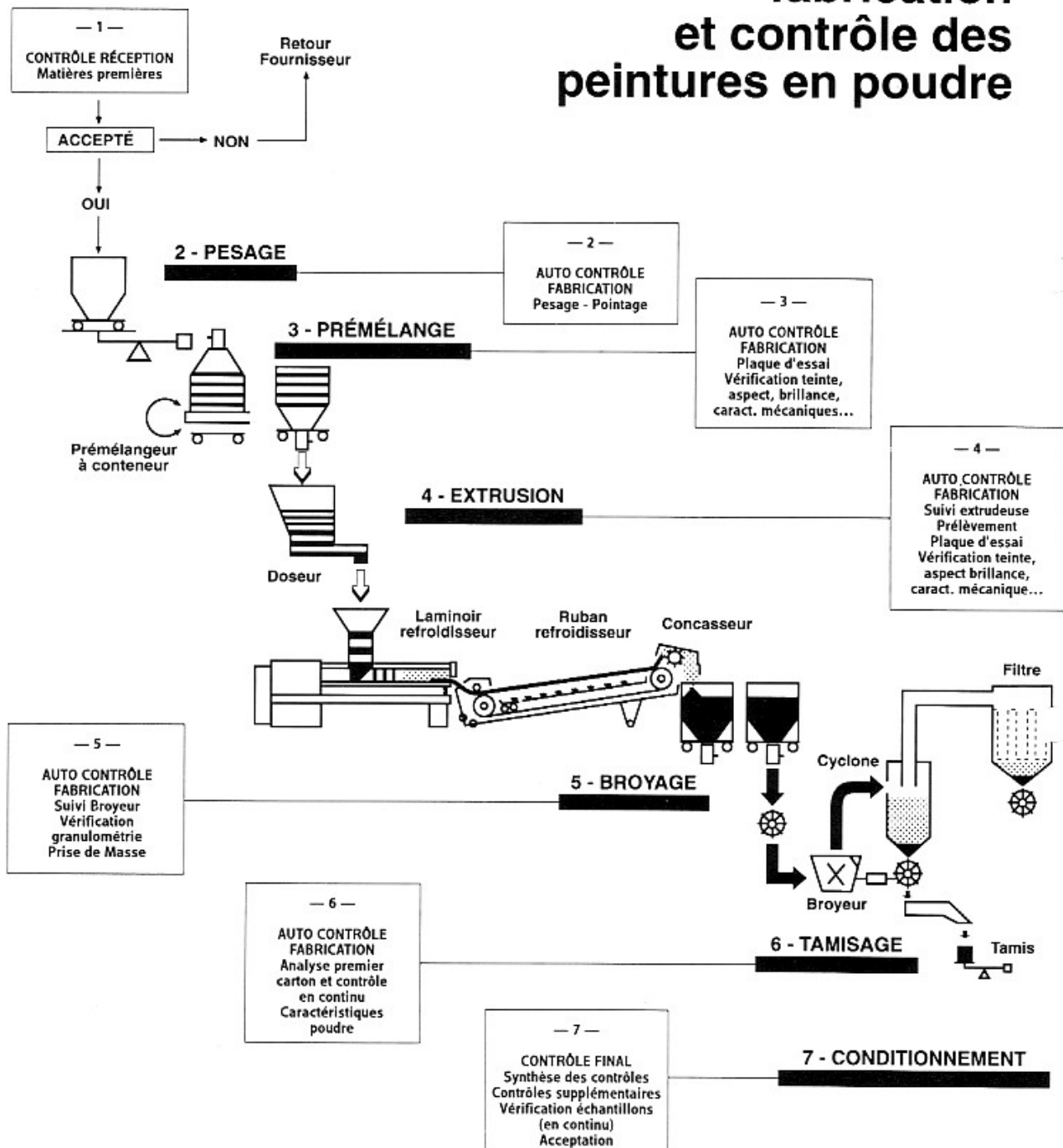
Dès la construction d'une usine de laquage et à chaque entrée de nouveau matériel ou produit, il est indispensable de préciser "sans silicone."





CONSEILS D'UTILISATION DES "PEINTURES EN POUDRE"					
PIÈCES REVÊTUES	NATURE DU LIANT				
	ÉPOXY	ÉPOXY POLYESTER	POLYESTER "INDUSTRIE"	POLY- URÉTHANNE	POLYESTER CARBOXYLES
CHAUFFAGE: - Convecteurs, radiateurs - Chauffe-eau, chaudières - Équipements air conditionné	●	● ● ●	● ● ●		
ÉLECTRO-MÉNAGER: - Réfrigérateurs, congélateurs - Laves-linge et laves-vaisselle - Cuisinières, micro-ondes - Petit électroménager		● ● ● ●	●		
ÉQUIPEMENT ÉLECTRIQUE: - Armoires - Transformateurs	●	● ●	● ●	●	
MOBILIER MÉTALLIQUE: - Ameublement - Bureaux, collectivités - Jardin, camping	●	● ● ●	●		
ÉQUIPEMENT BÂTIMENT: - Cloisons, faux plafonds - Rayonnage, stockage - Éclairage - Aménagement magasins - Serrures, coffres	● ● ●	● ● ● ● ●	● ●		
ARCHITECTURE EXTÉRIEURE: - Huisseries aluminium - Panneaux aluminium de façade - Profilés et panneaux galvanisés - Mobilier urbain - Clôtures, grillages			● ●		● ● ● ●
MACHINERIE: - Machines-outil - Outillage manutention - Machines agricoles - Équipement jardin	● ●	● ● ●	● ● ●	●	
ÉQUIPEMENT AUTOMOBILE: - Roues, pare-chocs - Équipement intérieur - Châssis - Accessoires	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ●	
CYCLES ET MOTOCYCLES: - Bicyclettes - Cyclomoteurs - Pièces et accessoires	●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	
RÉCIPIENTS MÉTALLIQUES - Bouteilles de gaz - Extincteurs		●	● ●	●	
ÉQUIPEMENTS POUR L'ARMÉE: - Caisses à munitions, casques, accessoires, etc.	●	●	●		
ISOLATION ÉLECTRIQUE: - Moteurs électriques - Résistances et composants	● ●				

# Synoptique fabrication et contrôle des peintures en poudre



Chapitre 7

**Application de la poudre**

# Application de la poudre sur une chaîne de laquage

## 1 - Principe de l'application

Le principe utilisé est le procédé électrostatique décrit dans le schéma 1. Plusieurs sortes de matériel permettent l'application électrostatique, nous parlerons du plus répandu chez les laqueurs : bac de fluidisation + pistolet électrostatique.

Pour les applications verticales, il existe un autre système constitué d'un bol électrostatique. Celui-ci est placé sur un robot "monte et baisse" et est alimenté en continu de poudre de peinture. La poudre déborde du bol et se charge électriquement par des électrodes montées sur sa périphérie.

### 1.1 - Bac de fluidisation

La poudre de peinture est placée dans un bac de fluidisation. Celui-ci sert d'alimentation aux pompes des pistolets. Le calcul du volume du bac tient donc compte du nombre de pistolets à alimenter. Le fond du bac est constitué d'une plaque poreuse qui sert à diffuser uniformément l'air de fluidisation. Celle-ci est réglée de manière à obtenir l'équilibre entre la force de l'air et la force de gravité de la poudre. L'ensemble air-poudre se comporte alors comme un fluide.

### 1.2 - Transport de la poudre du bac vers le pistolet

Une pompe à effet «venturi» permet de transporter la poudre vers le pistolet de poudrage. Cette pompe dont la canne d'aspiration plonge dans le lit fluidisé est alimentée en général par deux arrivées d'air qui peuvent être appelées «air de dosage» et «air additionnel». L'air de dosage règle le débit de poudre que le

pistolet doit pulvériser pour assurer une épaisseur de laque sur la pièce. Si la surface en  $m^2/mn$  est importante, l'air de dosage sera important pour transporter une grande quantité de poudre. Dans ce cas, l'air additionnel n'est pas toujours nécessaire. Dans le cas où l'air de «dosage» ou de «transport» est réglé sur une valeur faible due à une surface  $m^2/mn$  plus petite, la vitesse d'air dans le tuyau n'est pas toujours suffisante pour assurer un débit régulier à travers le tuyau vers le pistolet, il est alors nécessaire d'ajouter une autre quantité d'air à l'air de «transport» sans augmenter le débit de poudre. Il évite aussi d'avoir un débit irrégulier et donc un aspect final sur la pièce mauvaise suite à des surépaisseurs locales. Les débits atteints par pistolet varient entre 3 et 15 kg/heure.

### 1.3 - Procédé électrostatique

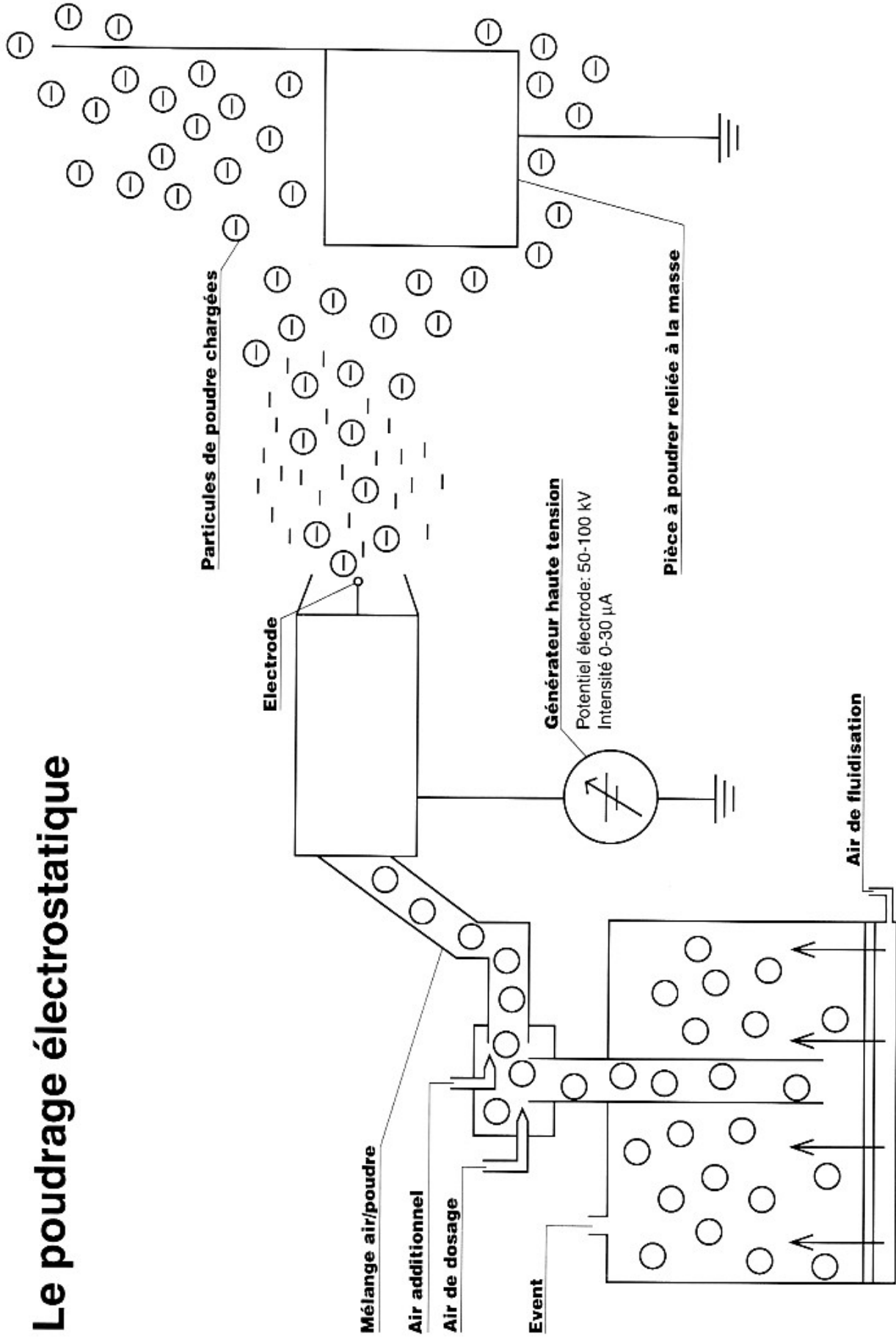
La poudre est transportée jusqu'à l'extrémité du pistolet où, par contact avec une électrode, elle prend une charge électrostatique proportionnelle à la tension d'application. La poudre ainsi chargée se trouve dans un champ électrostatique défini par les lignes de champs entre l'électrode et la pièce maintenue à la masse par l'intermédiaire du convoyeur. Les particules de poudre se déposent alors sur la pièce. Le potentiel de l'électrode varie entre 50 et 100 kV et dépend du type de poudre et de pièce à laquer.

### 1.4 - Air comprimé

La principale énergie que demande l'application de poudrage est l'air comprimé. Celui-ci doit répondre aux caractéristiques suivantes :

- pression d'entrée optimale : environ 7 bars,
- teneur en vapeur d'eau maximum :  $1,3 \text{ g/Nm}^3$ ,
- teneur en vapeur d'huile maximum : 0,1 ppm.

# Le poudrage électrostatique



La quantité d'air est fonction du nombre de pistolets en fonctionnement, des bacs de fluidisation et des soufflettes éventuelles de nettoyage.

## 2 - La cabine de poudrage

### 2.1 - Cabine manuelle et automatique, ventilation

L'application électrostatique peut être réalisée en manuel ou en automatique. En manuel, le pistolet est tenu par le poudreur qui réalise les gestes de balayage pour poudrer uniformément la pièce. Cette méthode est utilisée le plus souvent pour réaliser des petites quantités de surface, pour des pièces à géométrie complexe, difficiles à poudrer uniquement en automatique et nécessitant une prétoche ou une retouche manuelle.

En automatique, les pistolets sont montés sur un ou deux robots «monte et baisse» en vis-à-vis. Cette méthode est utilisée pour des quantités importantes dans une même teinte.

Dans les deux cas, l'application nécessite d'être cloisonnée dans une cabine de poudrage. Cette cabine est équipée d'une aspiration continue qui permet de récupérer la poudre projetée par le pistolet et qui n'adhère pas à la pièce. Le rendement de ce type d'application peut être estimé entre 30 et 60%.

La poudre, pour une certaine valeur de concentration dans l'air est explosive 40 à 70 g/m<sup>3</sup>. Il est donc obligatoire d'aspirer la poudre non déposée au fur et à mesure de l'application. Les vitesses d'air souhaitées de l'ordre de 0,4 à 0,7m/s au niveau des ouvertures et de plus de 20m/s dans les tuyauteries pour éviter les dépôts de poudre permettent de calculer les caractéristiques des ventilateurs d'aspirations. L'air est rejeté à l'extérieur. L'air contient de la poudre et doit donc être filtré. Plusieurs systèmes permettent de piéger la poudre :

- filtres à manches à décolmatage séquentiel,
- filtres à cartouches à décolmatage séquentiel, cassettes filtrantes....,

## 2.2 - Recyclage

Il est possible d'intercaler entre la cabine et le filtre final un cyclone qui récupère la poudre aspirée pour pouvoir la réinjecter dans le bac de fluidisation de départ. Le rendement de l'application de poudrage augmente très rapidement. Seules les particules fines moins lourdes (diamètre inférieur à 5-10 $\mu$ m) ne sont pas récupérées par le cyclone, mais ensuite piégées par le filtre final. Il est possible de placer entre le retour du recyclage et le bac de fluidisation un tamisage pour stopper les particules étrangères aspirées avec la poudre et ayant un diamètre supérieur aux mailles du tamis (120-200  $\mu$ m).

Le matériel utilisé pour le recyclage demande un nettoyage complet entre chaque couleur.

Le taux de poudre recyclée peut parfois faire l'objet de limitations indiquées par le fabricant des poudres.

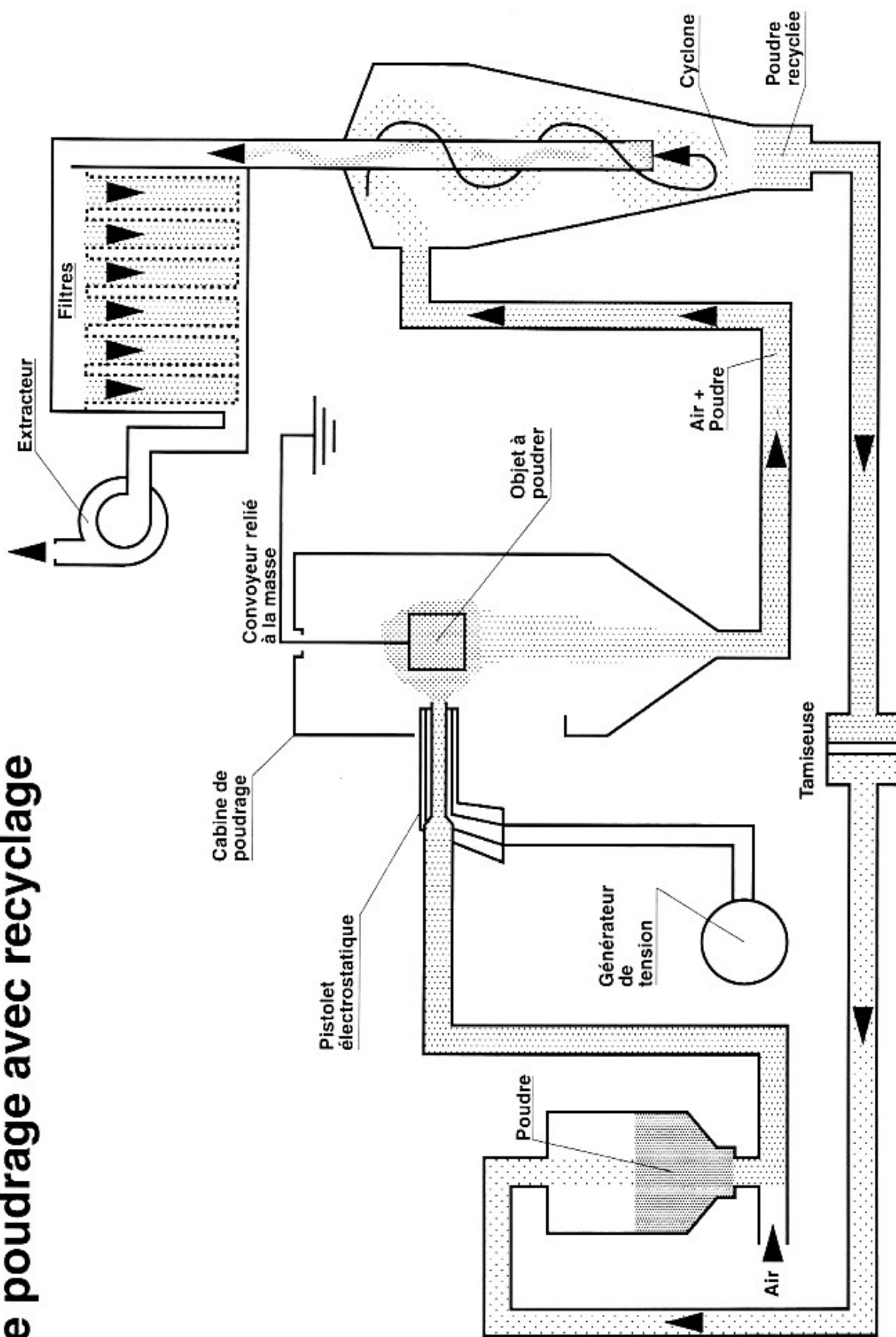
## 2.3 - Disposition et utilisation

Si la poudre compte de nombreux avantages, ce qui explique son développement, absence de solvant, pas de boues solvantées de peinture, possibilité de recyclage, son inconvénient majeur réside dans le changement de teinte. En effet, là où avec une peinture liquide un changement de teinte se compte en secondes, en peinture poudre les données sont différentes. Tout le matériel doit être nettoyé, pistolets, bacs de fluidisation, pompes, tuyaux, cabine, ensemble de recyclage. Les méthodes utilisées sont le soufflage et l'aspiration.

Pour diminuer les temps de changement de teinte, on utilise souvent plusieurs cabines, montées en tiroir sur un convoyeur simple voie, ou avec un convoyeur double-voie, ou deux cabines en parallèles avec un aiguillage. Dans les deux cas, le matériel extérieur à la cabine (bac de fluidisation, pompes, tamis) est souvent doublé ou triplé.

Ces dispositifs permettent de changer de teinte sans arrêt de production.

# Schéma général d'une installation de poudrage avec recyclage



On préférera le poudrage manuel pour les petites séries avec des changements de teinte plus rapide (5 à 10 mn) mais avec une consommation plus forte (pas de recyclage) et le poudrage avec recyclage (nettoyage entre 20 et 50mn) pour les grandes séries.

### 3 - Caractéristiques du système d'application

Les données de départ sont :

- le type de profilé et ses caractéristiques de laquage,
- la surface de poudrage S liée à la vitesse du convoyeur  $V_c$ ,
- le rendement du poudrage électrostatique.

#### 3.1 - Nombre de pistolets et définition du balayage du robot en automatique

Le nombre de pistolets nécessaire à l'application et le réglage du balayage du robot dépendent de la surface à poudrer et de sa complexité pendant une unité de temps, donc du débit de poudre en kg/h.

Exemple pour une installation verticale :

En application verticale, les surfaces moyennes S sont de l'ordre de 400 à 650m<sup>2</sup>/h.

Pour un pistolet de poudrage travaillant à 10 kg/h de poudre projetée, si la consommation moyenne utilisé est de 150 g/m<sup>2</sup> avec un rendement de poudrage de 50 %, pour une production de 400 m<sup>2</sup>/h, on a besoin de 120 kg/h, soit un ensemble de 12 pistolets.

Le calcul du balayage du robot est un élément essentiel de l'homogénéité d'épaisseur de la laque sur la pièce.

En verticale, les vitesses de balayage ne permettent pas de passer plus de 2,3 ou 4 fois l'impact de poudrage constitué par l'ensemble des pistolets. Il est donc nécessaire de corrélérer la vitesse de balayage du robot avec la vitesse du convoyeur et l'amplitude du déplacement du robot.

Le calcul de la vitesse est donné par:  $V_r = n \cdot ((V_c \cdot 2h) / P)$

avec  $V_r$  : vitesse du robot

$n$  : nombre d'aller et retour des pistolets par une pièce

$V_c$  : vitesse du convoyeur

$h$  : amplitude du balayage

$P$  : largeur de l'impact de poudrage

#### 4 - Problèmes pratiques d'application

Voici une liste non exhaustive des problèmes que l'on peut rencontrer pendant le cycle d'application de la poudre :

**Cage de Faraday** : les lignes de champ électrostatique entre l'électrode et la pièce à poudrer ne se dirigent pas dans les gorges d'un profilé. Plus la gorge est étroite et profonde, plus ce phénomène de cage de Faraday est accentué. Il est donc très difficile de déposer de la poudre dans ces endroits. Il faut diminuer les tensions utilisées et augmenter les débits et vitesse de poudre.

## **Manque d'épaisseur sur la pièce**

- Discontinuité électrique :
  - coupure de la liaison entre le générateur haute tension et l'électrode,
  - défaillance du générateur haute tension,
  - mauvaise mise à la masse de la pièce (valeur de 1 MS2).
- Réglage du débit de poudre :
  - manque de pistolet,
  - défilement trop rapide de la pièce,
  - air de dosage trop faible.
- Humidité relative de l'air trop faible (< à 40%)

## **Peau d'orange**

- Trop grande épaisseur déposée.
- Excès de tension dans la poudre, il faut baisser la tension ou augmenter la distance objet-pistolet.

## **Epaisseur irrégulière**

- Mauvaise vitesse du balayage robot par rapport au défilement de la pièce.
- Différence de débit de poudre entre les pistolets.

- Débit irrégulier sur un pistolet :
  - fluidisation irrégulière dans le bac,
  - tuyau de poudre usé,
  - matériel usé,
  - mauvais rapport air de dosage/air additionnel.
- Soufflage de la poudre déposée : air additionnel trop important.

## **Cratères dans le film**

- Propreté de l'air comprimé.
- Présence de silicone dans l'air.
- Pièces humides avant laquage, rétention d'eau.

## **Impuretés ou inclusions dans le film**

- Mauvais nettoyage.
- Tamis percé.
- Particules gélifiées dans la poudre avant l'application.
- Manque de propreté du convoyeur et des balancelles.

## **Aspect moucheté sur la pièce suite à un mélange de deux poudres**

- Mauvais nettoyage du matériel entre deux teintes.
- Vitesse d'air trop importante à l'entrée du four.
- Mauvaise adhérence électrostatique de la poudre sur la pièce.
- Dépôt de poudre dans les tuyauteries de recyclage dû à une vitesse d'air trop faible.

## **Mauvaise aspiration, mauvais rendement du cyclone**

- Colmatage des filtres terminaux.
- Entrée d'air extérieur dans le système de recyclage, ouverture du bac de poudre, manque d'étanchéité du système.



Chapitre 8

# Cuisson

# Cuisson

## 1- Modes de transmission de la chaleur

Plusieurs modes de transmission de la chaleur peuvent être utilisés pour la polymérisation des poudres :

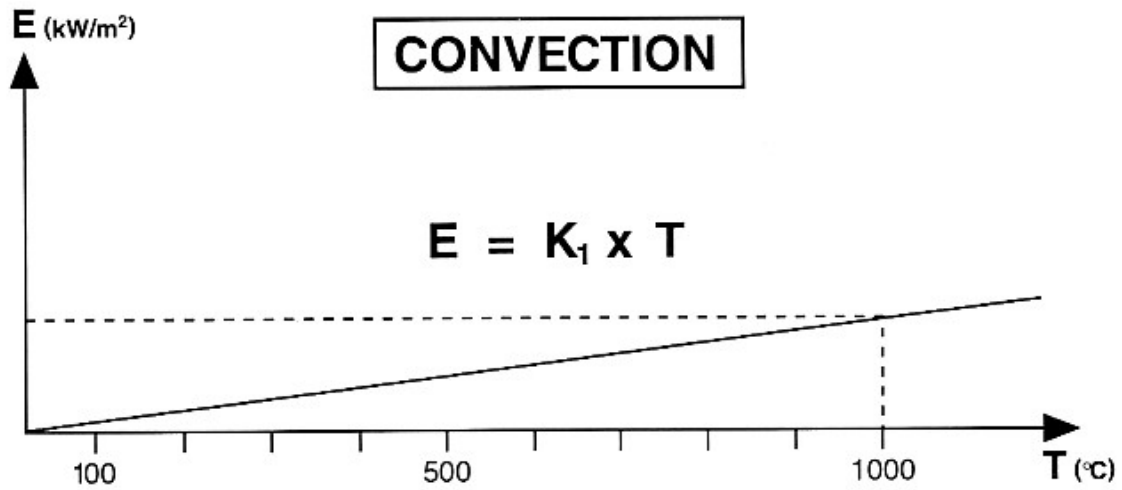
- la conduction,
- la convection,
- le rayonnement ou radiation,
- la conduction implique un contact entre la source de chaleur et l'objet chauffé, (par exemple, plaques électriques et casseroles sur une cuisinière)(sujet non développé).
- la convection est le phénomène de déplacement des gaz ambiants. Dans ce mode, la chaleur ou accroissement de l'agitation moléculaire, a pour caractéristique d'évoluer de proche en proche. Autrement dit, elle se propage d'une molécule à l'autre. L'air chaud est un moyen d'apport d'énergie au support. La différence de température entre l'air et la pièce ainsi que la vitesse de déplacement de l'air servent de moteur au transfert d'énergie.

La densité de puissance est une fonction linéaire de la température (voir fig. 1).

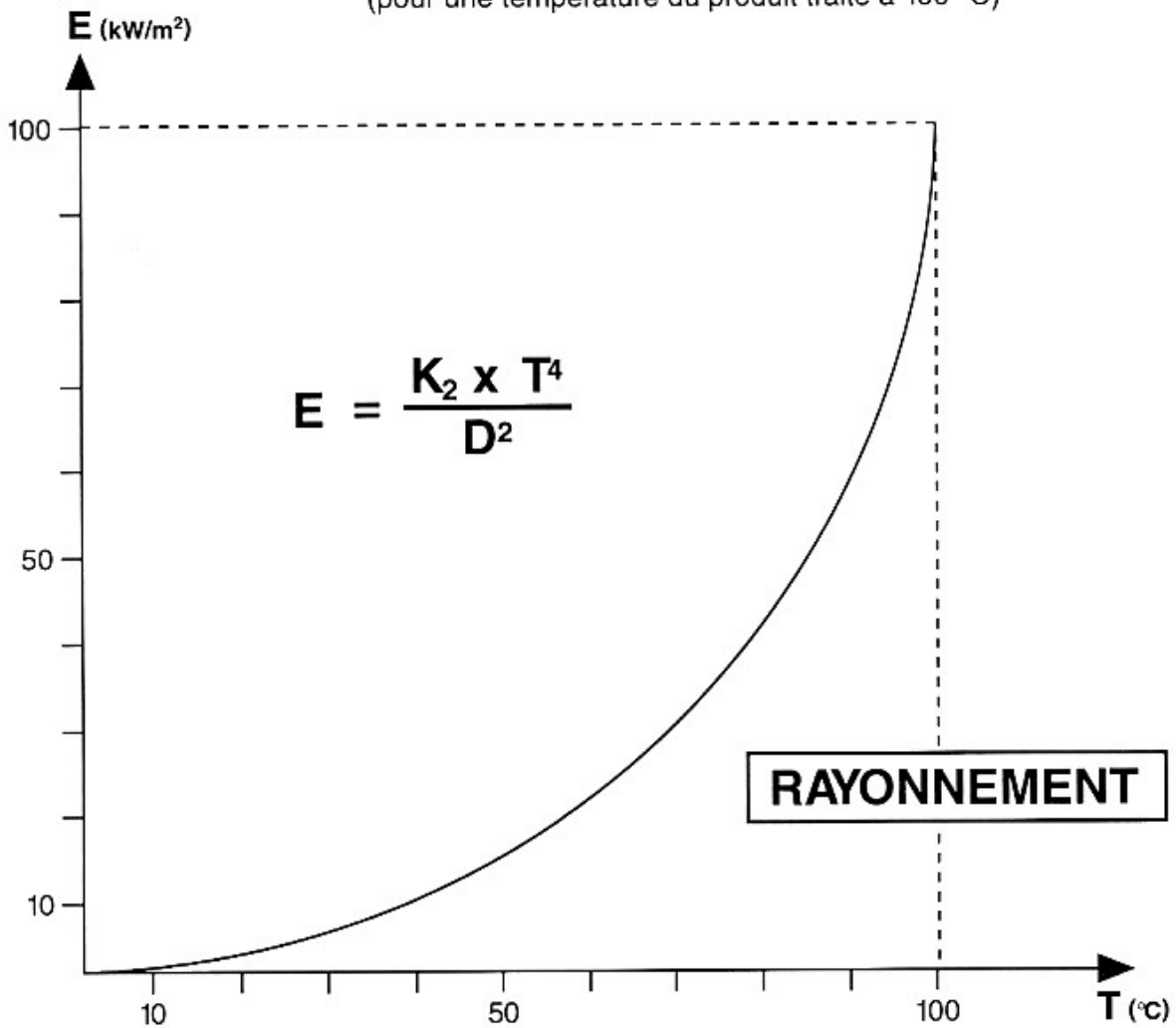
- le rayonnement a lieu lorsque les corps émettent et absorbent une forme d'énergie thermique appelée énergie radiante. Le pouvoir absorbant et émissif des corps varie suivant leur nature (matériaux, teintes, formes) et leur température.

Cette énergie est transmise dans l'espace à la vitesse de la lumière et ne nécessite pas de support tel qu'un métal conducteur ou dans l'air.

La transmission d'énergie radiante est inversement proportionnelle au carré de la distance et varie en fonction de la puissance 4 de la température d'émission (voir fig. 2)(sujet non développé).



- E : densité de puissance transmise par la source (en °C)
- T : température de la source (en convection ou en rayonnement)
- D : distance entre la source et la pièce  
(pour une température du produit traité à 100 °C)



## 2 - Fours à convection

### 2.1 - Principaux paramètres

Quatre paramètres tiennent un rôle important pour la cuisson des poudres.

#### A - La température de l'air du four

Elle se situe entre 160 et 240 °C et doit être régulée dans le temps et l'espace du four à environ  $\pm 5$  °C de manière que la température pièce + poudre soit conforme aux prescriptions du fournisseur de poudre et au cahier des charges du label QUALICOAT.

#### B - Le renouvellement de l'air du four

Pour la cuisson des poudres, le renouvellement est pratiquement nul du fait qu'il n'y a pas de solvant à évacuer. Toutefois, pour extraire les produits non solvantés, le débit maximal de l'extraction correspond à 5 fois le volume utile du four à l'heure. Par contre, en chauffage gaz direct, le renouvellement d'air est lié à la puissance du brûleur installé pour extraire les gaz brûlés.

#### C - La durée du séjour des pièces

Elle se définit en deux temps complémentaires :

- la phase de montée en température des pièces: de l'ordre de 5 mn pour des pièces en tôle fine, dans un four à convection forcée. Mais ce temps peut être allongé pour des pièces massives ou dans un four à faible convection forcée.
- le palier est la phase où la pièce, revêtue de poudre, est soumise à une température constante pendant un certain temps.

La durée est définie par le fournisseur de poudre et se situe généralement entre 10 et 20 mn.

## **D - La vitesse d'air au contact des pièces**

C'est l'élément déterminant dans l'efficacité d'un four ; pour la polymérisation des poudres, il faut résoudre deux problèmes contradictoires.

- Avoir une ventilation importante dans l'enceinte de travail pour :

- monter rapidement en température les pièces,
- avoir une bonne homogénéité de température dans l'enceinte de travail et par voie de conséquence sur les pièces,
- avoir un temps de réponse faible sur la régulation de la température pour s'adapter aux variations de charge. (c'est le cas d'un arrêt du convoyeur suivi d'un redémarrage à charge maximale).

- Ne pas faire voler la poudre déposée sur les pièces avant qu'elle se gélifie de manière à éviter les inconvénients suivants :

- épaisseur insuffisante ou manque de poudre sur les pièces,
- création de poussières de poudre qui, entraînées par la ventilation, se déposent sur les pièces, le convoyeur ou dans le four.

## **2.2 - Eléments constitutifs d'un four**

### **A - Un convoyeur aérien avec ses pièces**

Le tracé du convoyeur qui peut être en ligne, en U, à passages multiples, à accumulation, définit la forme de l'enveloppe du four. Les dimensions de l'enveloppe sont déterminées parfaitement en tenant compte du tracé du convoyeur et des dimensions des pièces ou balancelles.

## **B - Une enceinte calorifugée**

Elle est réalisée avec des parois à double enveloppe (panneaux sandwichs) comprenant entre elles un isolant minéral (laine de roche) d'épaisseur 100 à 160 mm.

Les caractéristiques dépendent des niveaux de température obtenus dans l'étuve et des performances de déperditions thermiques. Les ponts thermiques, inévitables dans ce genre de panneaux, sont soigneusement traités.

## **C - Un caisson de chauffage de l'air**

En général, intégré dans l'enceinte calorifugée, il est composé de deux systèmes complémentaires :

### **1 c - La source de chaleur**

Différentes sources de chaleur sont possibles selon les cas :

- Chauffage indirect :

- échangeur à fluides intermédiaires (huile, vapeur et parfois eau surchauffée),
- chambre de combustion avec un brûleur fuel ou gaz.

- Chauffage direct :

- résistances électriques,
- brûleur gaz direct.

**2 c - La circulation de l'air** est réalisée par des groupes moto-ventilateurs en général du type centrifuge et quelquefois hélicoïde.

## **D - Un ensemble distribuant l'air dans le four**

Il est réalisé par l'intermédiaire de gaines de soufflage et de reprise qui sont reliées au caisson de chauffage. Ces gaines sont judicieusement disposées dans l'enceinte de travail de manière à bien répartir l'air, et par voie de conséquence à obtenir une bonne homogénéité de température. L'air est distribué au niveau des pièces soit par des gaines recouvertes de tôles perforées pour des vitesses d'air faibles soit par des buses de soufflage.

## **E - Des sas d'entrée et de sortie**

Ils sont aussi intégrés dans l'enceinte calorifugée. Leur but est de limiter les déperditions calorifiques. Ils sont implantés à chaque entrée et sortie et parfois ne font qu'un quand les pièces entrent et sortent du même côté.

Deux conceptions de sas sont possibles et leur technologie dépend de l'implantation du four :

### **1 e - Sas pour four canopy ou dos d'âne**

C'est le cas des fours où l'implantation permet soit de les monter sur une charpente, soit de les laisser au sol avec un génie civil qui permet l'entrée et la sortie des pièces sous le four.

Le sas est composé d'une zone non ventilée où est réalisée la montée ou descente du convoyeur.

### **2 e - Sas avec rideau d'air**

Cette technique est réalisée quand les montées et descentes du convoyeur ne sont pas possibles. La dimension du ou des sas est déterminée en fonction du gabarit des pièces ou balancelles.

Chaque sas est composé :

- d'un groupe moto-ventilateur,
- des buses de soufflage disposées de part et d'autre de la section de passage des pièces,
- de gaines de reprise,
- d'une cheminée d'équilibrage.

Le principe de fonctionnement consiste à recycler l'air chaud (qui a tendance à sortir du four) à l'aide du ventilateur et le diriger vers les gaines de soufflage de manière à créer un écran d'air sur la silhouette du passage des pièces.

Une partie de l'air recyclé est extraite pour réaliser l'équilibre aéraulique du four.

Le rideau d'air peut créer des problèmes dans les sas d'entrée : pour éviter que la poudre ne s'envole devant les gaines de soufflage, il faut impérativement limiter son efficacité.

## **F - Une cheminée d'extraction**

- permet de régler l'équilibrage aéraulique du four de manière à le mettre légèrement en dépression.
- permet d'effectuer le pré-balayage et l'extraction des gaz brûlés dans le cas d'un brûleur gaz direct.

## **G - Une régulation**

Est composée :

- d'un capteur de température (thermo-couple ou sonde platine 100  $\Omega$  à 0°C) qui est implanté dans une zone représentative de la température du four,
- d'un régulateur de température permettant :
  - d'afficher une température de consigne,
  - d'indiquer la température du four mesurée par le capteur,

- de réguler la source de chaleur de manière à obtenir une température constante dans le temps quelles que soient les variations de charge.

## 3 - Conclusion

Le four à convection est d'une conduite simple et permet les contrôles rigoureux exigés par le label QUALICOAT.

Cependant, il présente deux inconvénients :

- temps de montée en température relativement long,
- risques de décollement d'une partie des particules de poudre lors de l'entrée des pièces poudrées dans l'enceinte. Pour y pallier, il suffit de faire précéder le four à convection par une zone d'infrarouge.

Le rayonnement infrarouge :

- accélère la montée en température,
- permet une gélification de la poudre avant d'entrer dans l'enceinte en convection forcée.

L'expérience est là pour le prouver, le four idéal pour la cuisson de la poudre est un four mixte infra rouge (pour la gélification) + convection.



Chapitre 9

**Environnement  
hygiène et sécurité**

# Environnement

## hygiène et sécurité

### 1 - Une entreprise de thermolaquage et son environnement

Une installation de thermolaquage sur aluminium, comme toute installation de traitement de surface, est soumise à la législation concernant les installations classées (loi du 19 juillet 1976, article du 26 septembre 1985). Suivant son importance, une demande d'autorisation d'exploitation (si le volume des cuves de traitement est supérieur à 1500l) ou une déclaration d'exploitation (si le volume des cuves de traitement est inférieur ou égal à 1500l) doit être déposée à la préfecture en même temps que la demande de permis de construire. La demande d'autorisation d'exploiter contient, entre autres, une étude d'impact dans laquelle le futur exploitant énumère l'impact du fonctionnement de l'entreprise pour quatre points principaux :

- l'eau,
- l'air,
- le bruit,
- les déchets.

#### 1.1 - L'eau

##### 1.1. 1 - Utilisation et consommation

L'eau est un élément important du traitement de surface. Sa quantité et sa qualité sont essentielles à la bonne marche de tous traitements. Le type d'eau peut être de quatre sortes :

- eau de puits,
- eau de rivière,

- eau potable (de ville),
- eau déminéralisée ou distillée.

Elle est employée dans les phases suivantes du processus :

- alimentation des rinçages, préparation des solutions de traitement,
- alimentation des chaudières.

Mais il faut penser aux économies de consommation de cet élément. Les raisons de ce rationnement sont :

- diminution des ressources hydrologiques souterraines,
- coût de pompage, d'épuration.

Pour cela une norme (arrêté du 26/09/85) impose une consommation maximale de 8 l par m<sup>2</sup> et par rinçage. Cette consommation englobe :

- l'alimentation des rinçages,
- le montage et la remise à niveau des baignoires,
- la régénération des résines (station d'eau déminéralisée),
- le nettoyage des sols,
- les effluents des stations de traitement des effluents atmosphériques.

La tendance future est d'utiliser d'une façon toujours plus rationnelle et complète les ressources en eau disponible, en prévoyant son épuration, un recyclage partiel, des rinçages cascades double ou triple.

## 1.1. 2 - Traitement des effluents

Les effluents en provenance du traitement de surface contiennent des éléments en concentrations supérieures aux normes administratives et ne peuvent donc pas

être rejetés avant d'avoir subi un traitement d'épuration conforme. Le procédé ne présente pas de difficulté, se résumant à une neutralisation des effluents et séparation des matières polluantes.

A ce jour, les principaux systèmes d'épuration sont les suivants :

- épuration physico-chimique par décantation,
- épuration chimique avec des résines échangeuses d'ions.

Le premier système est couramment utilisé.

L'installation d'épuration physico-chimique par décantation est représentée dans ses éléments essentiels dans la figure, en annexe de ce chapitre.

### **Description du procédé**

#### **Réduction des chromes hexavalents**

Si le traitement de surface utilise des produits à base de chrome hexavalent (élément très toxique), tous les effluents contenant cet élément (rinçage, bain actif, eau de régénération des résines ED) doivent subir un prétraitement avant le traitement commun de neutralisation et décantation.

Le réactif le plus utilisé pour la réduction des chromes hexavalents ( $\text{Cr}^{6+}$  réduit en  $\text{Cr}^{3+}$ ) est le bisulfite de sodium. On opère en milieu acide (généralement sulfurique) à  $\text{pH} = 2$ .

#### **Neutralisation et décantation**

Les effluents, contenant maintenant du chrome trivalent, rejoignent dans une cuve de neutralisation les autres produits à épurer. Le principe consiste à effectuer une neutralisation par la chaux pour précipiter l'hydroxyde d'aluminium, le phosphate de calcium, l'hydroxyde de chrome et le fluorure de calcium à un  $\text{pH}$  voisin de 8-9.

L'eau neutralisée passe ensuite dans une cuve de floculation où est réalisé le dosage du poly-électrolyte provoquant la floculation et la précipitation des impuretés. Ensuite la solution est envoyée (de préférence par débordement) dans une cuve de décantation dans laquelle les matières solides se déposent sur le fond et où l'eau épurée ressort par trop-plein. L'eau épurée peut être recyclée ou partiellement recyclée, ou encore subir une dernière filtration sur filtre à sable et charbon actif. En règle générale, on exécute un contrôle final du pH sur les rejets et une prise d'échantillon pour son analyse.

La boue se trouvant sur le fond du décanteur est envoyée dans un filtre-presse ou dans un filtre centrifuge pour la séparation de la partie solide et de la solution qui reprend le cycle d'épuration.

### **Quelques données**

La boue s'accumulant sur le fond de la cuve de décantation a un taux de matières solides allant de 2 à 3% (97-98% d'eau).

Le filtre presse réduit la quantité d'humidité à 60 - 70 %.

Le séchage des boues, s'il est possible, réduit de façon importante leur poids et leur volume. De cette façon, le transport final et le stockage en décharge de classe 1 est moins coûteux.

### **Conseils pour le bon fonctionnement de l'installation d'épuration**

Nettoyer tous les jours les sondes de pH (réduction des chromes hexavalents et neutralisation) et de conductivité (réduction des chromes hexavalents).

Vérifier le niveau des réactifs dans les cuves de stockage.

Vider tous les jours les boues contenues dans le fond du décanteur et les boues du filtre-presse.

Effectuer le contre-lavage du filtre à sable et charbon actif dès que le tableau de commande en signale la nécessité.

Etalonner périodiquement les sondes de mesure. Nettoyer périodiquement les toiles du filtre-presse.

Effectuer périodiquement l'analyse des eaux de rejets (pH, MES, DCO, chrome hexavalent et trivalent, aluminium...).

### **Traitement des bains actifs**

Les bains actifs se chargent en polluants qui affectent le traitement (principalement l'entraînement de bain à bain et les souillures présentes sur l'aluminium). Ceux-ci doivent être surveillés et nécessitent leur élimination et le montage de bains neufs.

Le traitement du bain actif peut se faire dans la station d'épuration, les éléments à éliminer étant les mêmes que ceux contenus dans les eaux de rinçages. Cependant, ils se trouvent dans des proportions beaucoup plus importantes et ceci peut provoquer un dysfonctionnement de l'installation d'épuration.

Trois solutions peuvent être envisagées :

- l'installation est calculée pour le traitement de ces bains (mais ceci implique que cette installation ne fonctionne pas à 100% de sa capacité la plupart du temps).
- les bains peuvent être stockés dans une cuve à part et être envoyés à petite dose avec les effluents des rinçages sur la station d'épuration.
- Il est fait appel à un centre éliminateur extérieur agréé qui pompe sur place le bain pour le traiter dans sa propre installation .

Les eaux de rejets doivent rentrer dans les limites prévues par le tableau A de l'arrêté ministériel du 26 septembre 1985. Nous portons ci-dessous les limites prévues par cette norme concernant les produits pouvant se trouver dans une installation de laquage sur aluminium.

**Tableau A: arrêté du 26 septembre 1985**

PH :	6,5 à 9
MES :	30 mg/l
DC0 :	150 mg/l
Cr VI :	0,1 mg/l
Cr III :	3,0 mg/l
Al :	5,0 mg/l
F :	15 mg/l
P :	10 mg/l
Hydrocarbures totaux :	5 mg/l

Pour des informations plus précises, il est nécessaire de consulter le texte de la loi et, en particulier, les arrêtés préfectoraux qui, dans certains cas, sont plus restrictifs que cet arrêté.

## 1.2 - L'air

### 1.2. 1 - Traitement de surface

Certains bains sont susceptibles de produire des émanations nocives dues à l'évaporation des bains chauffés, à la concentration en produits chimiques de ces bains, au système de traitement par aspersion (dégraissage alcalin, désanodisation...).

Pour atteindre des conditions optimales, il est possible d'installer sur la toiture de l'atelier de traitement des extracteurs assurant un échange d'air correct. L'installation de l'aspiration se compose des éléments suivants :

- bouche d'aspiration sur les bords de cuves pour le traitement par immersion, ou en position haute du traitement par aspersion,

- appareil de soufflage d'air dans les cuves d'immersion pourvues de système push-pull,
- dévésiculateurs dans la partie haute du traitement par aspersion,
- gaine en matériel adéquat,
- aspirateurs centrifuges adaptés au type de vapeur aspiré,
- connexion avec des tours de lavage.

## 1.2. 2 - L'installation de poudrage

Nous avons vu que les cabines de poudrage nécessitent une aspiration en continu pour diverses raisons (pourcentage de poudre dans l'air, recyclage de la poudre...).

Cet air doit être traité avant son rejet à l'extérieur. Du fait de la granulométrie de la poudre (de 5 à 120  $\mu\text{m}$  avec un diamètre médian de 35  $\mu\text{m}$ ) des systèmes de filtres adaptés (manches, cassette, décolmatage séquentiel...) sont suffisants et permettent un rejet de taux de poussières inférieur à  $5\text{mg}/\text{Nm}^3$ .

Bien entendu, un nettoyage périodique des filtres doit être effectué pour toujours garder la même surface de filtration et ne pas diminuer les performances de ceux-ci.

## 1.3 - Le bruit

Les installations de thermolaquage sur aluminium ne sont pas des générateurs importants de bruits nuisibles à son environnement. Cependant des mesures de bruits peuvent être réalisées conformément à l'arrêté du 20 août 1985 et, au vu des résultats et des normes demandées par l'arrêté préfectoral, des traitements peuvent être mis en place :

- insonorisation du local compresseur ou du compresseur,
- baffles à absorption sur les sorties des extractions d'air des cabines de peinture,

- bardage double peau,
- obturation des ouvertures propageant une nuisance sonore à l'extérieur.

## 1.4 - Les déchets

Ils sont de deux natures :

- les déchets toxiques,
- les déchets banals.

### 1.4.1 - Les déchets toxiques

#### **Les boues de la station d'épuration**

Elles doivent être éliminées dans une décharge de classe 1. Leur admission dépend surtout de leur taux de siccité qui ne doit pas être en général inférieur à 20% (décembre 1994) et des analyses de lixivation.

#### **La poudre thermodurcissable**

Résultant des nettoyages des cabines, du poudrage en poudre perdue, et de la filtration finale de l'air d'extraction des cabines de peinture, la poudre de peinture contient des produits toxiques : chromate de plomb, TGIC... Son élimination doit se faire suivant les arrêtés ministériels et préfectoraux en cours (décharge de classe 1, incinération...).

### 1.4.2 - Les déchets banals

Ils regroupent principalement les déchets d'emballage (cartons, film plastique, papier) et les déchets métalliques (aluminium, feuillard acier, fil de fer). Pour leur traitement, l'accent doit être mis sur la revalorisation interne ou externe. Il faut donc ne pas mélanger les différents éléments, les stocker correctement, les réutiliser ou faire appel à des sociétés spécialisées de récupération.

## 2 - Hygiène et sécurité

Les deux points spécifiques à une installation de thermolaquage sur aluminium, en plus des autres paramètres propres à toute usine, sont :

- l'utilisation des produits chimiques,
- l'utilisation des poudres thermodurcissables.

### 2.1 - Les produits chimiques

#### Sécurité dans l'utilisation

Le stockage et la manipulation des produits chimiques doivent se faire dans des lieux déterminés. Ceux-ci doivent être équipés de fosse de rétention représentant 50% du volume stocké. Tout écoulement accidentel de produits doit pouvoir se diriger vers ces fosses. Les produits alcalins et acides doivent être séparés. Les mêmes règles s'appliquent à la chaîne de traitement de surface.

Les cuves du traitement de surface et les cuves de stockage (si le produit est livré en vrac) doivent être identifiées de manière à éviter des mélanges de produits. Les conditions et risques d'utilisation doivent être connus du personnel et dans certains cas affichés au poste de stockage ou d'utilisation.

Les rajouts manuels doivent être minimisés et il est souhaitable dans certains cas (rajouts nombreux) d'automatiser le système de rajout (pompes doseuses reliant directement le fût de stockage ou la cuve de prémélange à la cuve de traitement).

#### Hygiène et protection du personnel

Seules les personnes habilitées et donc ayant reçu une formation sur les risques encourus sont aptes à manipuler les produits chimiques.

La manipulation des produits chimiques doit se faire avec des protections personnelles : lunettes, gants, tablier et masque de respiration le cas échéant.

Sur une installation de traitement de surface et une aire de stockage de produits dangereux, l'installation d'une douche et d'une lave-oeil est obligatoire.

## 2.2 - Les poudres thermodurcissables

En annexe se trouve le livret édité par la FIPEC : sécurité des revêtements poudre.

### Sécurité dans l'utilisation

En général, les poudres sont combustibles et, dans certaines limites précises de concentration du mélange poudre/air, constituent un mélange potentiellement explosif. La concentration minimale explosive de la gamme de poudre se situe aux environs de 40 à 70 grammes par mètre cube. Les équipements doivent être conçus de manière à ce que la moitié de cette concentration ne soit pas dépassée. A défaut de valeurs précises l'on adopte le taux de concentration de 10 grammes par mètre cube.

Comme tous les pulvérulents, les dépôts de poudre thermodurcissables ne doivent pas s'accumuler dans l'atelier, car des nuages de poudre pourraient se former et donner lieu à de mélanges capables d'exploser.

Le stockage doit se faire dans un local séparé et adapté.

### Hygiène et protection du personnel

Quel que soit le type de poussière, il est nécessaire de contrôler l'empoussièrement des ateliers.

Les normes concernant la teneur en poussière peuvent être résumées par :

- concentration moyenne sur 8 heures en poussière totale (quelle que soit la taille des poussières) : MAXI 10 mg/m<sup>3</sup>,
- concentration moyenne sur 8 heures en poussières alvéolaire (< 5 µm) : MAXI : 5mg/m<sup>3</sup>.

Les poudres thermodurcissables contiennent des produits toxiques dont l'usage est réglementé. Si le fournisseur de poudre se doit d'étiqueter directement le carton, le laqueur, lui, doit respecter des consignes précises.

- Plomb (principalement présent sous forme de chromate de plomb et utilisé pour la pigmentation de certaines teintes) :
  - aération et assainissement des locaux de travail : concentration moyenne sur 8 heures en poussières de plomb de l'air inhalé par le personnel en contact : MAXI 0,03 mg/m<sup>3</sup>
  - surveillance médicale spéciale : déclaration à la médecine du travail du personnel exposé et suivi par la médecine du travail de ce personnel (plombémie).
- TGIC :
  - aération et assainissement des locaux de travail : concentration moyenne sur 8 heures en poussière totale (contenant du TGIC) : MAXI 3 à 5 mg/m<sup>3</sup> (à ce jour, il n'existe pas de chiffre plus précis).

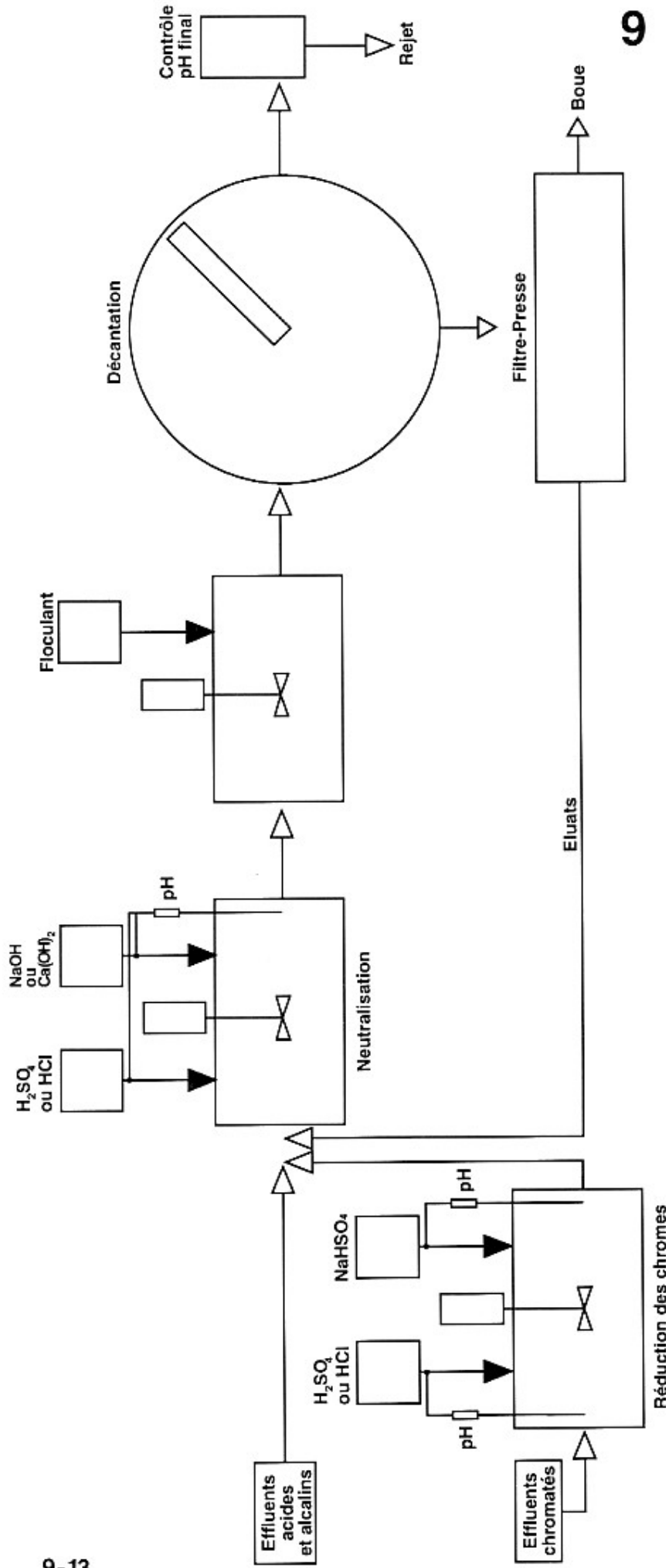
Si la ventilation correcte des cabines est un agent important de la réduction de concentration des poussières dans l'atelier, des protections personnelles pour les utilisateurs exposés à la poudre thermodurcissable sont nécessaires pour atteindre les normes demandées: masque, cagoule avec induction d'air filtré, cote de travail...

Dans tous les cas, les fournisseurs de produits chimiques et de poudre thermodurcissable donnent des fiches techniques et des fiches de sécurité indiquant les conditions d'utilisation (stockage, manutention, mise en couvre, destruction) et les risques toxicologiques de leurs produits.



# Schéma de principe d'une installation d'épuration (circuit ouvert)

adal



Chapitre 10

**Directives QUALICOAT**

[Télécharger les directives QUALICOAT](#)

Chapitre 11

**Annexes**

**Désignation des alliages  
d'aluminium**

**Principaux alliages  
d'aluminium**

## ■ Symbolisation et désignation conventionnelles de l'aluminium et de ses alliages

L'aluminium et ses alliages ont reçu dans tous les pays une symbolisation ou désignation conventionnelle :

- d'une part, au niveau de la composition chimique ;
- d'autre part, sur les modes d'obtention et sur les états de livraison.

La normalisation française est actuellement double : l'une pour les produits de fonderie, l'autre pour les aluminiums et alliages de transformation.

### Produits de fonderie

Normes AFNOR :

NF A 02-200 – Désignation conventionnelle des modes d'obtention et d'état de livraison de métaux et alliages non ferreux moulés.

NF A 02-004 – Aluminium, zinc et alliages de fonderie – Magnésium et ses alliages. Désignation conventionnelle des matériaux.

### Symbolisation chimique

**Aluminiums non alliés** : « A » suivi de la pureté

Exemples :

- A5 = aluminium à 99,5 %
- A4 = aluminium à 99,0 %
- A7 = aluminium à 99,7 %
- A9 = aluminium à 99,9 %

**Alliages** : « A » suivi de la symbolisation des métaux d'addition

- A = aluminium
- U = cuivre
- M = manganèse
- S = silicium
- G = magnésium
- Z = zinc
- T = titane
- Be = béryllium
- C = chrome
- E = étain, etc.

Exemples :

A-U5GT = alliage préparé à partir d'aluminium à 99,5 %. Élément d'alliage principal : le cuivre à environ 5 %. Puis deuxième élément d'alliage : le magnésium à environ 1 % ou moins. Enfin troisième élément : le titane à un pourcentage inférieur à celui de l'élément précédent.  
A-S7G03 = alliage à 7 % de silicium et 0,3 % de magnésium.

### Mode d'obtention et état de livraison

Le symbole chimique est suivi de la lettre Y (produit moulé) et de deux chiffres. Le premier chiffre indique le mode de moulage :

- Y2 = moulage en sable
- Y3 = moulage en coquille
- Y4 = moulage sous pression
- Y7 = coulée continue
- Y8 = moulage par centrifugation
- Y9 = suivant prescription.

Le deuxième chiffre indique le traitement effectué sur la pièce moulée :

- 0 = pas de traitement
- 1 = recuit
- 3 = trempé et revenu
- 4 = trempé et mûri
- 5 = stabilisé
- 6 = trempé et stabilisé
- 9 = suivant prescription

Exemples :

A-S7G06 Y33 = alliage à 7 % de silicium et 0,6 % de magnésium, moulé en coquille puis trempé et revenu.

A-S9U3 Y 40 = alliage à 9 % de silicium et 3 % de cuivre, moulé sous pression.

### Produits corroyés

Normes AFNOR :

NF A 02-006 – Aluminium et alliages d'aluminium – Désignation conventionnelle des états de livraison.

NF A 02-104 – Désignation numérique des aluminiums et alliages de transformation.

### Symbolisation chimique

Elle est donnée par un nombre de 4 chiffres.

Le premier chiffre indique la famille :

- 1 = aluminiums non alliés
- 2 = alliages au cuivre
- 3 = alliages au manganèse
- 4 = alliages au silicium
- 5 = alliages au magnésium
- 6 = alliages au magnésium et silicium
- 7 = alliages au zinc
- 8 = autres

• **Pour les aluminiums** : les deux derniers chiffres sont ceux de la pureté en aluminium au-delà de 99,00 %.

Le deuxième chiffre est un 0 si les impuretés de l'aluminium ne font pas

L'objet de contrôle individuel, et de 1 à 9 si l'une au moins des impuretés à une limite spéciale.

• **Pour les alliages** : les deux derniers chiffres n'ont pas de signification particulière, c'est un numéro d'enregistrement.

Le deuxième chiffre, de 0 à 9, est réservé aux modifications et sert à signaler des teneurs particulières, notamment en impuretés.

Nota : le nombre de 4 chiffres peut être suivi d'une lettre : A, B, C, etc. variante nationale, X composition expérimentale.

### Etats de livraison

Il est indiqué soit par l'indice de résistance, soit par l'état métallique, de loin le plus employé.

L'indice de résistance fait suivre la lettre R d'un nombre représentant la charge de rupture minimale garantie en hbar.

Exemple : 6060-R22 est un alliage magnésium-silicium traité pour une charge de rupture minimale de 22 hbar (220 Mpa).

Si des traitements permettent pour une même charge de rupture, d'obtenir soit une limite élastique élevée, soit des allongements élevés, ou spécifie ce traitement par les lettres E ou A après l'indice de résistance.

Exemples :

- barre 1050 R 10 A : barre en aluminium à 99,5 % traité pour une charge de rupture de 100 MPa et des allongements élevés (9 %) au détriment de la limite élastique (65 MPa) ;
- barre 1050 R 10 : barre en aluminium à 99,5 % traité pour une charge de rupture de 100 MPa, sans privilège pour la limite élastique (70 MPa) ni les allongements (7 %) ;
- barre 1050 R 10 E : barre en aluminium à 99,5 % traité pour une charge de rupture de 100 MPa et une limite élastique élevée (75 MPa) au détriment des allongements (5 %).

L'état métallurgique est défini par une lettre majuscule qui caractérise l'état fondamental (traitement mécanique ou thermique) suivie éventuellement de chiffres complémentaires pour subdiviser cet état quand nécessaire.

F = brut de fabrication  
 O = état recuit  
 H = état écroui et éventuellement partiellement adouci  
 T = état obtenu par durcissement structural

*Subdivisions de l'état H*

Le symbole H est toujours suivi d'au moins 2 chiffres.

Le premier chiffre indique le mode de durcissement :

H1 = durci par déformation, donc écrouissage, jusqu'au niveau visé de caractéristiques mécaniques, sans adoucissement ultérieur ;

H2 = durci par déformation jusqu'à un niveau supérieur à celui visé puis adouci partiellement par maintien à une température appropriée ;

H3 = durci par déformation puis stabilisé. Ce traitement s'applique aux alliages qui s'adoucisent avec le temps à la température ambiante (alliages au magnésium) et qu'un maintien à une température appropriée stabilisent aux caractéristiques visées.

Le deuxième chiffre indique le degré de durcissement :

8 = 4/4 dur (correspond à la charge de rupture obtenue par réduction de section de 75 % d'une tôle de 1 mm à l'état 0) ;

6 = 3/4 dur (équidistant de 8 et 4) ;

4 = 1/2 dur (équidistant de 8 et 0) ;

2 = 1/4 dur (équidistant de 4 et 0) ;

9 = extra dur (charge de rupture supérieure à l'état 8).

Les chiffres impairs sont aussi utilisés, exemples :

H11 = 1/8 dur :

H111 et H112 pratiquement l'état recuit plané ou dressé ;

H274 = tôle à l'état H26 avec un léger écrouissage supplémentaire donné par une opération de gravage, gaufrage ou mise en forme.

*Subdivision de l'état T*

Le premier chiffre indique le traitement de base (voir tableau ci-après).

Le deuxième chiffre indique une variante du traitement, exemples :

T61 = trempé et revenu « doux » (allongements privilégiés) ;

T66 = trempé et revenu « dur » (limite élastique privilégiée) ;

T73 = trempé et sur revenu permettant une bonne résistance à la corrosion tension.

**Note** : le chiffre 5 est réservé aux traitements diminuant les contraintes résiduelles.

Ce chiffre 5 est suivi d'un autre chiffre indiquant le traitement subi :

51 = contraintes résiduelles atténuées par traction ;

52 = contraintes résiduelles atténuées par compression ;

53 = contraintes résiduelles atténuées par traitement thermique.

Exemples :

T351 = mis en solution, trempé, tractionné ;

T651 = mis en solution, trempé, tractionné, revenu ;

T73652 = mis en solution, trempé, comprimé, sur-revenu spécial.

Traitement de base			Symbole
Avec mise en solution séparée	Sans Écrouissage	Mûri	T4
		Revenu	T6
		Sur - revenu	T7
	Avec Écrouissage	Écroui mûri	T3
		Écroui revenu	T8
		Revenu Écroui	T9
Sans mise en solution séparée	Sans Écrouissage	Mûri	T1
		Revenu	T5
	Avec Écrouissage	Écroui mûri	T11
		Écroui revenu	T12
		Revenu écroui	T10

### Correspondance avec les anciennes désignations

Aluminiums et alliages	NF A 02-004	NF A 02-104	Séries
Aluminiums de pureté $\geq 99,00$ %	A9 A8 A7 A5 A45 A4	1199 1080 A 1070 A 1050 1100 1200	1000
Alliages aluminium-cuivre	A-U2G A-U2GN A-U4G A-U4G1 A-U4SG A-U4Pb U5Pb Bi	2117 2618 A 2017 A 2024 2014 2030 2011	2000
Alliages aluminium-manganèse	A-M1 A-M1G A-MG0,5	3003 3004 3005	3000
Alliages aluminium-magnésium	A-G0,6 A G2M A-G3M A-G4MC A-G4MC A-G4,5M	5005 5251 5754 5086 5086 A 5052 5083	5000
Alliages aluminium-magnésium-silicium	A-SG A-SGM0,3 A-SGM0,7 A-GS	6005 A 6181 6081 6082 6060 6061	6000
Alliages aluminium-zinc-magnésium	A-Z3G2 A-Z5G A-Z5GU A-Z8GU	7051 7020 7075 7049 A	7000

# Tableaux récapitulatifs

## Principaux allages d'aluminium corroyés

Formes commerciales	Symbole	Etat		Caractéristiques mécaniques moyennes					Aptitudes technologiques						Propriétés physiques			Composition chimique (approximative) [%]		
				R <sub>pu,2</sub> (MPa)	R (MPa)	A (%)	Pliage à 180° *	HB	Module élastique (MPa)	Résistance à l'action de		Soudure TIG et MIG	Usinage	Emboutissage	A l'anodisation de		Masse volumique (g/cm <sup>3</sup> )		Conductivité thermique (W/m.K)	Coefficient de dilatation linéaire entre 20 et 100 °C
										Atmosphère	Air marin eau de mer				Protection	Décoration				
Tôles Bandes Barres Fils - Tubes Profilés	1050 A	Recuit 1/4 dur 1/2 dur 3/4 dur dur	0 H 12 H 14 H 16 H 18	30 85 100 120 140	80 100 120 140 165	45 14 11 8 7	0 1 2 3 4	20 30 35 40 45	69 000	4 4 4 4 4	4 4 4 4 4	4 1 2 2 2	4 4 4 3 1	4 4 4 4 4	4 4 4 4 4	2,70	222	23,3 × 10 <sup>-6</sup>	Al = 99,50	
Barres Tubes	2011	Trempé écroui	T 3	250	300	10		100	70 000	2	0	0	4		2	2	2,82	146	22,9 × 10 <sup>-6</sup>	Cu = 5,0 - 6,0 Pb = 0,2 - 0,6 Bi = 0,2 - 0,6
Tôles Bandes Barres Tubes Profilés	2014	Recuit Trempé mûri Trempé revenu	0 T 4 T 6	100 280 430	200 420 480	20 18 12	0	45 105 135	74 000	2 2 1	0 0 0	0 3 3	2 0 0	3 0 2	2 1 1	2,80	155	22,2 × 10 <sup>-6</sup>	Cu = 3,9 - 5,0 Mn = 0,4 - 1,2 Mg = 0,2 - 0,8 Si = 0,5 - 1,2	
Tôles Barres Fils - Tubes Profilés	2017 A	Recuit Trempé mûri	0 T 4	100 280	200 420	20 18	0	45 105	74 000	2 2	0 0	0 3	2 0	3 0	2 1	2,79	129	22,6 × 10 <sup>-6</sup>	Cu = 3,5 - 4,5 Mn = 0,4 - 1,0 Mg = 0,4 - 1,0	
Tôles Barres Fils Profilés	2024	Recuit Trempé mûri	0 T 4	100 320	200 460	20 18	0	45 120	73 000	2 2	0 0	0 3	2 0	3 0	2 1	2,77	121	22,8 × 10 <sup>-6</sup>	Cu = 3,8 - 4,9 Mn = 0,3 - 0,9 Mg = 1,2 - 1,8	
Barres Tubes	2030	Trempé mûri	T 4	280	420	12		105	71 000	2	0	0	4		2	2	2,85	138	23,5 × 10 <sup>-6</sup>	Cu = 3,5 - 4,5 Mg = 0,5 - 1,3 Pb = 0,8 - 1,5
Tôles	2117	Trempé mûri	T 4	150	250	22	1	70	72 000	3	1	2	2	3	2	2	2,74	155	23,1 × 10 <sup>-6</sup>	Cu = 2,2 - 3,0 Mg = 0,2 - 0,5
Tôles Barres	2618 A	Trempé revenu	T 6	400	460	10		125	72 000	2	1	0	3	0	2	1	2,75	140	22 × 10 <sup>-6</sup>	Fo = 0,9 - 1,4 Cu = 1,8 - 2,7 Mg = 1,2 - 1,8 Si = 0,15 - 0,25 Ni = 0,8 - 1,4
Tôles Disques	3002	Recuit 1/4 dur 1/2 dur 3/4 dur dur	0 H 22 H 24 H 26 H 18	35 90 130 145 170	85 115 145 175 205	45 20 18 10 8	0 1 2 3 4	25 30 35 40 50	69 000	4 4 4 4 4	4 4 4 4 4	4 1 2 2 2	4 4 3 2 1	4 4 4 4 4	4 4 4 4 4	2,73		23 × 10 <sup>-6</sup>	Mn = 0,10 - 0,25 Mg = 0,05 - 0,20	
Tôles Bandes Barres Fils - Tubes Profilés	3003	Recuit 1/2 dur dur	0 H 14 H 18	40 140 190	115 160 220	40 8 7	0 2	30 40 60	69 000	4 4 4	3 3 3	4 2 4	1 3 2	4 3 1	3 1 1	2,73	192 155	23 × 10 <sup>-6</sup>	Mn = 1,0 - 1,5 Cu = 0,05 - 0,2	
Tôles	3004	Recuit 1/2 dur 3/4 dur	0 H 14 H 36	70 200 230	180 240 260	22 8 7	0 3	45 64 70	69 000	4 4 4	3 3 3	4 2 4	1 2 2	4 3 3	3 1 1	2,72	163	23 × 10 <sup>-6</sup>	Mn = 1,0 - 1,5 Mg = 0,8 - 1,3	
Tôles Bandes	3005	Recuit 1/2 dur	0 H 14	55 160	130 190	30 7	0 3	40 50	69 000	4 4	3 3	4 4	1 2	4 3	3 1	2,70		23 × 10 <sup>-6</sup>	Mn = 1,0 - 1,5 Mg = 0,2 - 0,6	
Tôles Barres Fils Tubes Profilés	5005	Recuit 1/4 dur 1/2 dur 3/4 dur dur	0 H 12 H 14 H 36 H 18	40 110 140 150 180	120 140 160 180 210	30 13 8 7 5	0 1 2 3 4	30 35 40 45 50	70 000	4 4 4 4 4	3 3 3 3 3	4 1 2 2 2	1 4 3 2 1	4 4 4 4 4	4 4 4 4 4	2,70	200	23,4 × 10 <sup>-6</sup>	Mg = 0,50 - 1,1	
Tôles Barres Tubes	5052	Recuit 1/2 dur	0 H 24	90 200	190 250	24 12	0 2	50 70	70 000	4 4	4 4	3 3	1 2	4 3	4 3	2,68	138	23,5 × 10 <sup>-6</sup>	Mg = 2,2 - 2,8 Cr = 0,15 - 0,35	

0 - impropre 1 - à éviter, précautions à prendre 2 - possible 3 - bon, utilisable sans problème 4 - excellent, à recommander

\* Répétabilité de pliage, en fonction de l'épaisseur

**Principaux allages d'aluminium corroyés**

Formes commerciales	Symbole	Etat		Caractéristiques mécaniques moyennes						Aptitudes technologiques						Propriétés physiques			Composition chimique (approximative) (%)	
				R <sub>0,2</sub> (MPa)	R (MPa)	A (%)	Pliage à 180°	HB	Module élastique (MPa)	Résistance à l'action de		Soudure TIG et MIG	Usinage	Emboutissage	A l'anodisation de		Masse volumique (g/cm <sup>3</sup> )	Conductibilité thermique (W/mK)		Coefficient de dilatation linéaire entre 20 et 100 °C
										Atmosphère	Air marin eau de mer				Protection	Décoration				
Tôles Barres Tubes Profilés	5083	Recuit 1/4 dur	0 H 22	140 240	300 330	18 12	2 3	70 85	71 000	3 3	2 2	4 4	2 2	3 2	4 4	1 1	2,63	117	23,5 × 10 <sup>-6</sup>	Mn = 0,40 - 1,0 Cr = 0,05 - 0,25 Mg = 4,0 - 4,9
Tôles - Fils Tubes Tôles	5086	Recuit 1/2 dur	0 H 34	120 250	270 330	22 8	1 3	65 85	71 000	4 4	3 3	4 4	2 2	3 1	4 4	1 1	2,65	125	23,5 × 10 <sup>-6</sup>	Mg = 3,5 - 4,5 Cr = 0,05 - 0,25 Mg = 0,2 - 0,7
Tôles	5150	Recuit 3/4 dur	0 H 26	— 190	150 210	25 8	0 3	35 60	69 000	4 4	4 4	4 4	1 2	4 2	4 4	4 4	2,69	188	23,4 × 10 <sup>-6</sup>	Mg = 1,3 - 1,7
Barres Fils - Tubes Profilés	5251	Recuit dur	0 H 18	— 200	190 240	14 2	1	40 60	69 000	4 4	4 4	3 3	1 2	4 1	4 3	3 3	2,68	146	23,5 × 10 <sup>-6</sup>	Mn = 0,1 - 0,5 Mg = 1,7 - 2,4
Tôles Barres Fils - Tubes	5454	Recuit 1/4 dur 1/2 dur	0 H 22 H 24	80 180 200	240 280 300	19 9 8	1 2 3	60 70 80	70 000	4 4 4	4 4 4	4 4 4	1 2 2	3 2 2	4 4 4	3 3 3	2,68	134	23,6 × 10 <sup>-6</sup>	Mn = 0,50 - 1,0 Cr = 0,05 - 0,20 Mg = 2,4 - 3,0
Tôles - Fils Barres Tubes Profilés	5754	Recuit 1/2 dur	0 H 34	100 190	220 270	23 10	0 3	50 70	71 000	4 4	4 4	4 4	1 2	3 1	4 4	2 2	2,66	125	23,5 × 10 <sup>-6</sup>	Mg = 2,6 - 3,6 Mn = 0,1 - 0,5
Barres Fils - Tubes Profilés	6060	Trempe revenu	T 4 T 5	90 170	150 220	22 14	3	65	69 000	4 4	3 3	3 3	2 3	2 3	4 4	4 4	2,70	200	23,2 × 10 <sup>-6</sup>	Si = 0,3 - 0,6 Mg = 0,35 - 0,6
Tôles Barres Fils - Tubes Profilés	6061	Recuit Trempe revenu	0 T 4 T 6	60 130 270	120 230 310	28 23 13	1 3	30 65 95	69 000	4 4 4	2 2 2	3 3 3	1 2 3	4 2 3	4 4 4	2 2 2	2,71	155	23,6 × 10 <sup>-6</sup>	Cr = 0,04 - 0,35 Si = 0,4 - 0,8 Mg = 0,8 - 1,2 Cu = 0,15 - 0,40
Tôles	6081	Recuit Trempe revenu	0 T 6	50 280	110 320	30 14	1	30 90	70 000	4 4	3 3	3 3	1 3	4 3	4 4	2 2	2,71	163	24 × 10 <sup>-6</sup>	Si = 0,7 - 1,1 Mn = 0,1 - 0,45 Mg = 0,6 - 1,0
Barres Tubes Profilés	6082	Trempe revenu	T 6	280	320	14		90	70 000	4	3	3	3		4	2	2,71	163	24 × 10 <sup>-6</sup>	Si = 0,7 - 1,3 Mn = 0,4 - 1,0 Mg = 0,6 - 1,2
Tôles Barres Fils - Tubes Profilés	7020	Trempe revenu	T 6	320	380	12		95	72 000	3	2	3	3		3	2	2,80	121	23,5 × 10 <sup>-6</sup>	Mg = 1 - 1,4 Zn = 4,0 - 5,0 Ti + Zr = 0,08 - 0,25 Mn = 0,05 - 0,5
Barres	7049 A	Trempe revenu	T 6	530	610	5		160	73 000	1	0	0	4		2	1	2,80	121	23,5 × 10 <sup>-6</sup>	Cu = 1,2 - 1,9 Zn = 7,2 - 8,4 Mg = 2,1 - 3,1 Cr = 0,05 - 0,25
Tôles Barres Tubes Profilés	7075	Trempe revenu	T 6	480	540	10		145	72 000	1	0	0	4	0	2	1	2,80	121	23,5 × 10 <sup>-6</sup>	Cu = 1,2 - 2,0 Mg = 2,1 - 2,9 Zn = 5,1 - 6,1 Cr = 0,18 - 0,28

# PRINCIPAUX ALLIAGES D'ALUMINIUM DE FONDERIE

Caractéristiques physiques						Composition chimique en % dans les lingots											
Masse volumique g/cm <sup>3</sup>	Conductibilité thermique à 20°C (W m °C)	Résistivité à 20°C μΩ cm	Coefficient de dilatation entre 20 et 100°C	Intervalle de solidification °C	Retrait moyen %	Teneurs	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Ni	Zn	Pb+ Sn	Ti	Autres éléments	Désignation des alliages
2,67	1245	6	24 x 10 <sup>-6</sup>	640 - 590	14	Mini Maxi ±	- 0,22 0,03	- 0,23 0,02	- 0,04 0,01	- 0,09 0,01	2,7 3,3 0,2	- 0,04 0,01	- 0,09 0,01	- 0,02 0,01	0,08 0,13 0,01		A-G3T
2,66	140	5	24 x 10 <sup>-6</sup>	570 - 640	15	Mini Maxi ±	0,4 -	0,4 -	0,05 -	0,1 0,4	3,5 4,5	- -	0,9 1,4	- -	0,05 0,2	Cr 0,03	A-G42
2,70	160	4	22 x 10 <sup>-6</sup>	640 - 555	14	Mini Maxi ±	1,7 2,3 0,1	- 0,45 0,05	- 0,04 0,01	0,3 0,45 0,03	0,5 0,65 0,03	- 0,04 0,01	- 0,09 0,01	- 0,02 0,01	0,08 0,13 0,01		A-S2GT
2,65	155	4.5	20 x 10 <sup>-6</sup>	580 - 575	11	Mini Maxi ±	12,2 13,2 0,3	0,35 0,55 0,05	- 0,04 0,01	- 0,09 0,01	- 0,04 0,01	- 0,04 0,01	- 0,09 0,01	- 0,02 0,01	- 0,09 0,01		A-S13
2,90	125	5	21 x 10 <sup>-6</sup>	600 - 550	12,5	Mini Maxi ±	7,7 8,3 0,2	- 0,27 0,03	- 0,08 0,01	- 0,09 0,01	0,25 0,35 0,02	- 0,04 0,01	9,5 10,5 0,2	- 0,02 0,01	- 0,09 0,01		A-Z10S8