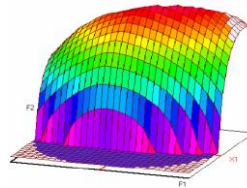




Année Universitaire : 2015-2016



**Master Sciences et Techniques CAC Agiq**  
**Chimiométrie et Analyse Chimique : Application à la gestion de la qualité**

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES  
Pour l'Obtention du Diplôme de Master Sciences et Techniques

## **ESTIMATION ET OPTIMISATION DES PERTES AU NIVEAU DE LA LIGNE CATAPHORESE**

**Présenté par:**

**Nom et prénom : ZAKI AMINE**

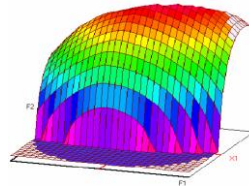
**Encadré par:**

- Nom et prénom : EL KHALIDY ABDELKABIR  
Entreprise RENAULT-NISSAN DE TANGER
- Nom et prénom : BOUAYAD ABDESSELAM FST Fès

**Soutenu Le 14 Juin 2016 devant le jury composé de:**

- Abdessalam BOUAYAD
- Ch. AMEZIANE
- Khadija. MOUGHAMIR

**Stage effectué à : l'entreprise Renault-Nissan de Tanger**



## Master ST CAC Agiq

### Mémoire de fin d'études pour l'obtention du Diplôme de Master Sciences et Techniques

**Nom et prénom: ZAKI AMINE**

**Année Universitaire : 2015/2016**

**Titre: Estimation et Optimisation des pertes au niveau de la ligne Cataphorèse**

### Résumé

Face aux nouveaux enjeux économiques, concurrence farouche, exigence des clients, les entreprises cherchent à améliorer leur compétitivité par la réduction des coûts et la recherche de la performance, Afin de conserver cet équilibre, elle cherche à éliminer toutes les anomalies existantes dans le système de leur travail.

Le suivi de la consommation des produits utilisés dans le bain cataphorèse (pate+liant) montre une surconsommation du produit due essentiellement aux pertes indésirables, l'optimisation de ces pertes sera l'objectif désiré par l'entreprise.

Donc l'objectif majeur de mon travail au sein de REUNALUT était d'estimer et d'optimiser les pertes en matière de la ligne cataphorèse en se basant sur des différentes analyses et méthodes, afin de diagnostiquer les différentes sources de gaspillage et les quantifier en terme monétaire.

En appliquant les actions correctives proposées, le taux de perte diminue favorisant un gain monétaire très important.

Mots clés : cataphorèse, optimiser, perte.



# Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

---

*A* Dieu le tout-puissant, le Clément, le glorieux, le juste et le gracieux qui a éclairé ma voie par le savoir, et qui m'a armé par la foi et la patience.

*A* ma très chère mère (NAJIA EL Heiki)  
Aucun hommage ne pourrait être à la hauteur de l'amour Dont elle ne cesse de me combler. Que Dieu la procure bonne santé et longue vie.

*A* mes chers frères et sœurs, souvenirs d'enfance,

*A* ma grande famille,  
Même si vous n'étiez pas présents, vous avez tout fait pour faciliter la réalisation de ce projet, par vos encouragements, conseils.

*A* mes amis, souvenirs de la cité universitaire saïss de Fès,

*En somme MERCI*

# Remerciements

*A*vant de développer le sujet de cette expérience professionnelle, il apparaît opportun de débiter ce mémoire de projet de fin d'études par des remerciements aux personnes qui m'ont beaucoup aidé au cours de ce mémoire.

*J*e tiens tout d'abord à remercier très chaleureusement mon respectueux encadrent Mr. **BOUAYAD ABDESALAM** professeur à la faculté des sciences et techniques, je tiens à le remercier pour sa disponibilité, sa motivation, ses idées et conseils ainsi que pour son aide précieuse pour la réalisation de ce travail.

*P*our la même occasion je tiens à remercier très chaleureusement mon respectueux encadrant Mr. **EL KHALIDY ABDELKABIR** responsable de laboratoire de traitement de surface et de cataphorèse au sein de la société **RENAULT TANGER EXPLOITATION** de la confiance qu'il m'a bien voulu m'accorder pour la réalisation de cette étude.

*J*'exprime mes remerciements les plus sincères aux membres de jury Mr. **CHAKIB AMEZIANE**, et Mme **MOUGHAMIR KHADIJA** pour avoir accepté volontiers évaluer et apporter par leur critiques des enrichissements à ce travail.

*S*ans oublier la précieuse aide de mon très cher professeur Mr. **EL HADRAMI** qui est toujours présent pour nous aider et nous encourager durant les deux années du master sciences et technique CAC :agiq.

*J*e veux remercier aussi tout le personnel du laboratoire

- KANSAI PAINT
- Henkel
- Sous-ensemble

Pour m'avoir accompagné, conseillé et guidé pendant l'ensemble de la période de stage.

*M*erci à toutes les personnes avec qui j'ai pris contact et qui par leur expérience et les renseignements qu'ils ont pu me fournir ont participé à l'élaboration de ce rapport.



## SOMMAIRE

<b>INTRODUCTION GENERALE.....</b>	<b>1</b>
<b>Chapitre I : Présentation de la société.....</b>	<b>2</b>
I- Présentation du groupe Renault.....	3
1. Historique.....	4
II- L'usine Renault-Nissan de Tanger.....	5
1. Fiche signalétique de la Renault.....	7
2. Performance environnementale.....	8
III- Processus de fabrication à l'usine de RENAULT.....	9
1. Emboutissage.....	10
2. Tôlerie.....	10
3. Peinture.....	12
4. Montage.....	17
5. Contrôle.....	17
<b>Chapitre II : Contexte générale du projet.....</b>	<b>18</b>
I. Généralité sur la Cataphorèse.....	19
1. Les Avantages de cataphorèse.....	20
2. Constituants de la peinture.....	21
3. Installation industrielle.....	23
4. Principes et mécanisme.....	26
5. Paramètres d'application.....	29
II. Contexte du projet.....	33
• Problématique.....	31
<b>Chapitre III : Analyse des défauts et la détection des sources du gaspillage.....</b>	<b>32</b>
I. Matériels et méthodes appliqués.....	33
1. Suivi de la consommation réelle de la patte et du liant.....	33
2. Perte à l'étuvage.....	34
3. Détermination de l'extrait sec.....	36
4. Masse volumique d'une pellicule sèche.....	37
5. Livraison de produit.....	41
6. Contrôle des épaisseurs de cataphorèse.....	42
II. Résultat et interprétation.....	43
CONCLUSION.....	47
Références.....	48



## ***INTRODUCTION GENERALE***

**« Renault et Nissan partagent avec le Royaume du Maroc de grandes ambitions de développement industriel. Grâce à l'engagement de Renault et de ses partenaires, et au soutien sans faille du gouvernement marocain, notre usine est en bonne voie de devenir une nouvelle référence de l'industrie automobile mondiale».**

Carlos Ghosn, PDG de Renault et de Nissan.

Le MAROC, est comme la plupart des pays en voie de développement, s'est lancé dans le domaine automobile en réalisant à Tanger Med la nouvelle usine de l'Alliance Renault-Nissan, l'une des plus grandes usines automobiles au monde avec plus de 6000 effectifs.

Face aux nouveaux enjeux économiques, concurrence farouche, exigence des clients, les entreprises cherchent à améliorer leur compétitivité par la réduction des coûts et la recherche de la performance, Afin de conserver cet équilibre, elle cherche à éliminer toutes les anomalies existantes dans le système de leur travail, partant du principe que tout problème est une opportunité d'amélioration. Dans cette optique RENAULT vise à optimiser ses processus de production, en particulier le processus: " Cataphorèse ".

C'est dans cette logique que Renault, a entrepris de nombreuses actions visant à maintenir sa position de leader mondiale. Parmi ces actions, le diagnostic des lignes de production Renault qui permettrait d'augmenter la productivité toute en minimisant les coûts. De ce fait, le projet qui m'a été confié par le service Direction Ingénierie Véhicule Décentralisé (DIVD) est un enchaînement logique de cette stratégie qui vise à minimiser les pertes au niveau de la ligne CATAPHORESE.

Nous nous sommes donc proposé d'étudier les causes de cette perte en réalisant un suivi des causes engendrant le plus grande nombre de perte.

Dans une première partie nous présenterons d'une manière générale l'organisme d'accueil, ensuite on parlera du procédé de la CATAPHORESE. Enfin, dans la dernière partie, nous détaillerons notre travail qui décrit toutes les étapes pour en déduire les causes principales de perte sur le processus concerné, et nous discuterons les résultats obtenus afin d'étudier les pistes d'optimisation et d'amélioration.



# Chapitre I :

## Présentation de la société - Processus de fabrication.



## Introduction :

L'objectif de ce chapitre est d'introduire le contexte général du projet : La première section offrira un aperçu sur le groupe Renault et en particulier Renault-Nissan, tandis que la deuxième section portera sur le processus de fabrication des véhicules à l'usine.

### I.Présentation du groupe Renault :

L'histoire de Renault avait commencé en 1898 lorsque les frères Renault fondent la société de construction automobile Renault Frères. Elle avait lancé alors la voiturette et avait inventé la première boîte à vitesses à prise directe. L'entreprise s'est développée aussi dans le secteur militaire en produisant des camions, des chars et des moteurs d'avions. Renault implante de nombreux centres de productions en France et à l'étranger. En 1922, Renault devient Société Anonyme des Usines Renault (SAUR) et arrive progressivement en tête du marché français. [1]

Après les ravages de la seconde guerre mondiale, l'entreprise a été nationalisée en 1945 et avait pris le nom de Régie Nationale des Usines Renault (RNUR). Dans le cadre de la reconstruction nationale, elle avait concentré sa production sur la 4CV. Jusqu'au milieu des années 80, Renault avait diversifié ses activités dans la finance et les services. L'entreprise a connu de grands succès avec les lancements de la R4 en 1962, de la R5 en 1972 (Figure I.1), et a innové avec l'Espace en 1984.

A partir de 1984, l'entreprise avait subi une grave crise. En 1988, après une période de restructuration et de recentrage sur les métiers de base, Renault a renoué avec les bénéfices et le lancement de la R19 qui a apporté un nouveau succès. [1]



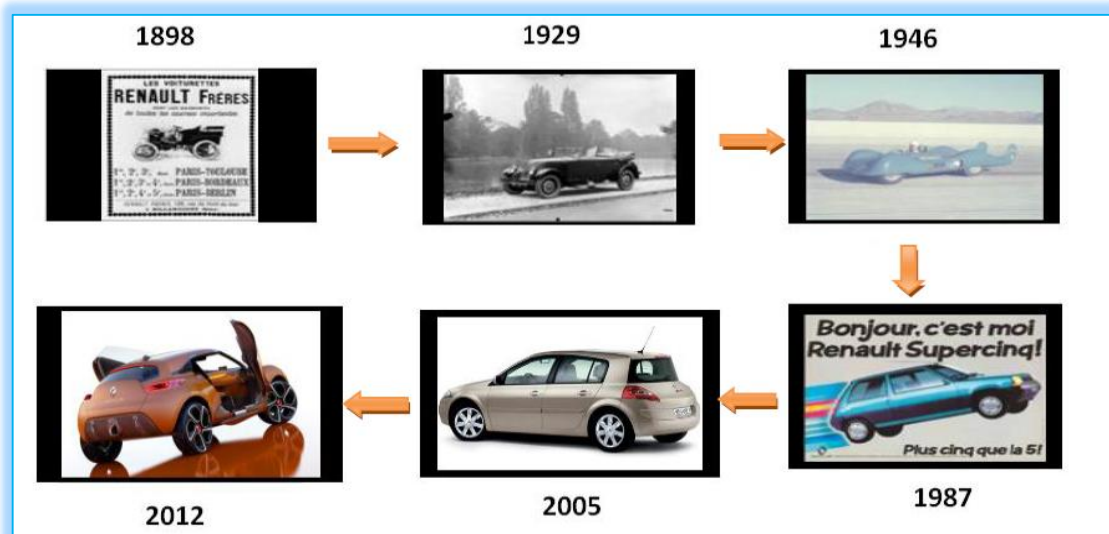


Figure I.1 : évolution du produit RENAULT

En 2001, Renault et Nissan ont regroupé leurs activités poids lourds pour donner naissance au 2<sup>ème</sup> groupe mondial du secteur. Entre 1990 et 2002, l'image innovante de la marque est constamment réaffirmée par le lancement de nombreux modèles tels que : la Twingo en 1993, la Mégane Scénic en 1996, l'Advantime en 1999, la Velsatis en 2001, puis la Mégane 2 et l'Espace 4 en 2002. L'alliance Renault-Nissan s'est consolidée et les synergies ne cessent de se développer. Avec les rachats de Samsung Motors et Dacia, Renault a accéléré son internationalisation. Le lancement de Logan est au cœur de la stratégie des marchés émergents. Depuis 2005, Carlos GHOSN, déjà président de Nissan, succède à Louis Schweitzer à la tête de Renault pour mettre en place le plan Renault Contrat 2009, qui doit positionner le groupe comme le constructeur européen le plus rentable, Renault poursuit son offensive produit avec le lancement de Nouvelle Mégane et multiplie les initiatives en faveur du véhicule électrique. [1]

## 1. Historique:

Au début de 2007 la signature d'un protocole d'intention entre l'Alliance Renault-Nissan et le Royaume du Maroc pour l'implantation du complexe industriel « Renault Tanger Méditerranée » dans le nord du Maroc.

En 2008 la signature des accords définitifs entre l'Alliance Renault-Nissan et le Royaume du Maroc confirmant la réalisation du projet d'implantation d'un complexe industriel « Renault Tanger Méditerranée », et en 2011 Renault démarre sa production des automobiles au Maroc. [1]

## II. L'usine Renault-Nissan de Tanger

La vision stratégique du gouvernement Marocain est d'intégrer le royaume dans un plan de développement ouvert sur l'Europe, la Turquie et ses voisins du Maghreb. Compte tenu de sa position géographique, véritable carrefour entre l'Europe et l'Afrique, le Maroc offre de grandes opportunités de développement, et l'automobile s'est imposée comme un domaine naturel pour parvenir à cet objectif.

C'est dans ce cadre :

- Le 1<sup>er</sup> septembre 2007 : signature du protocole d'intention pour la création de l'usine Renault Tanger Méditerranée en présence de SM le Roi Mohamed VI. Une usine sans précédent au Maroc en termes d'investissements et d'ambitions, destinée à l'Alliance Renault - Nissan.
- Le 16 Janvier 2008 : création de Renault Tanger Exploitation.

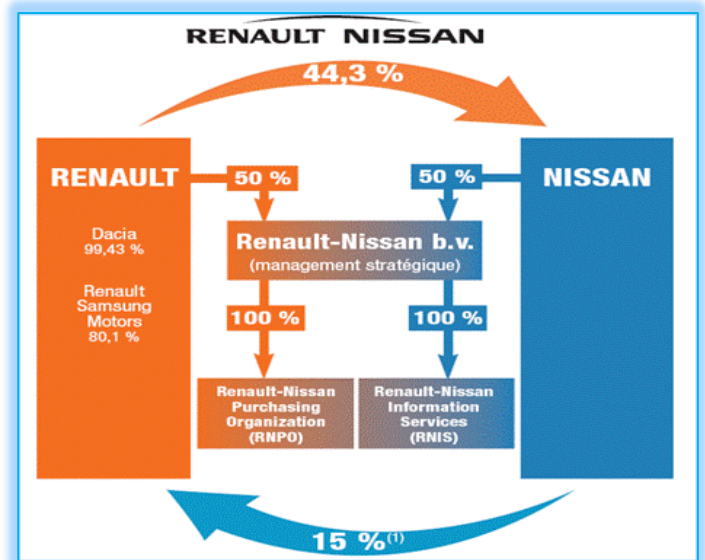


Figure I-2 : Structure de l'alliance Renault-Nissan

Cette alliance est aujourd'hui le troisième producteur automobile mondial (sur la base des ventes pour l'année 2008) avec 9% de part de marché mondial. Cette association innovante lui permet d'être présent sur tous les plus grands marchés mondiaux (États-Unis, Europe, Japon, Chine, Inde, Russie) et de partager des plateformes communes d'où des économies d'échelle importantes. [1]



Figure I-3: Image de Renault Tanger Exploitation

Le site Renault Tanger Exploitation (opérationnel depuis début 2012) est une usine d'assemblage complète réalisant l'emboutissage, la tôlerie, la peinture et le montage. Avec un accès direct à la plateforme portuaire du port de Tanger Med, les véhicules qui sortiront des ateliers seront à 90 % destinés au marché international.

Au début de 2012, ce complexe a démarré sa production avec deux nouveaux modèles: la Lodgy J92, la Dokker X67, et en septembre 2013, il est prévu de démarrer la deuxième ligne pour la Sandero B52 (figure 1-4). Ainsi, le Groupe Renault pourra répondre à la demande soutenue des clients pour les véhicules d'entrée de gamme, reconnus pour leur rapport prestations/prix inédit. En outre, le site s'appuie sur la position stratégique du port de Tanger entre l'Atlantique et la Méditerranée, un tissu développé et compétitif de fournisseurs, et une main d'oeuvre formée aux meilleures techniques automobiles.



Figure I- 4: Les marques DACIA fabriquées à RENAULT Tanger

En parallèle, le 30 octobre 2008, Renault a signé avec le gouvernement marocain une convention pour la réalisation d'un Institut de Formation aux Métiers de l'Industrie Automobile - Tanger Méditerranée (IFMIA/TM) dont l'objectif est de former d'ici 2012 dans un premier temps 4 000 personnes via 750 000 heures de formation, dont les deux tiers se dérouleront dans les locaux du centre, le tiers restant étant assuré à l'étranger dans les autres usines du Groupe. [1]



Figure I-5: Centre de formation IFMIA

En mai 2007, Renault a lancé la signature Renault ECO<sup>2</sup>, une gamme de voitures écologiques et économiques. Ecologique par des résultats mesurables sur toutes les étapes du cycle de vie de la voiture et économique dans le sens d'une faible consommation de carburant mais aussi d'offres de technologies abordables pour les clients. Un dosage est donc opéré pour définir les solutions les plus respectueuses de l'environnement. [1]

Renault développe les énergies alternatives pour réduire les pollutions en phase d'utilisation des véhicules. Des programmes de sensibilisation des conducteurs sont également développés.

En fin de vie, Renault met tout en œuvre pour permettre le recyclage des voitures et le traitement des déchets. L'objectif, à terme, est de concevoir des véhicules recyclables à 95 %.

## 1. Fiche signalétique de la Renault : [2]

### *Fiche signalétique*

<b>Raison sociale</b>	: Renault Tanger Exploitation
<b>Produits fabriqués</b>	: Lodgy J92 et dokker W67 Sandero B52
<b>Capacité de production</b>	: 400 000 véhicules par an.
<b>Nombre de lignes de montage</b>	: 1 ligne en tranche I puis 1 ligne en tranche II.
<b>Date de création</b>	: 16 janvier 2008.
<b>Forme juridique</b>	: Société anonyme.
<b>Chiffre d'affaire</b>	: 1,1 milliard d'euros. (en 2011)
<b>Certifications de l'usine</b>	: ISO 9001, ISO 14001.
<b>Secteur d'activité</b>	: industrie automobile
<b>Directeur Général</b>	: M. Tunc Basegmez
<b>Objet social</b>	: Fabrication d'automobile.
<b>Effectif</b>	: 6000 collaborateurs
<b>Surface</b>	: 300 hectares, dont 220 hectares de bâtiments couverts
<b>Siège social</b>	: Zone Franche, Melloussa, Province Fahs Anjra-Tanger



## 2. Performance environnementale :

Agir pour l'environnement, c'est anticiper. La signature Renault eco<sup>2</sup> se durcira pour accompagner les progrès notables des futures générations de voitures. En outre, l'ambition de l'Alliance Renault-Nissan est de se rendre vers les Zéro émissions : zéro bruit, zéro émission polluante, zéro gaz à effet de serre. Le groupe réaffirme ainsi son engagement pour réduire les impacts environnementaux sur tout le cycle de vie de la voiture.

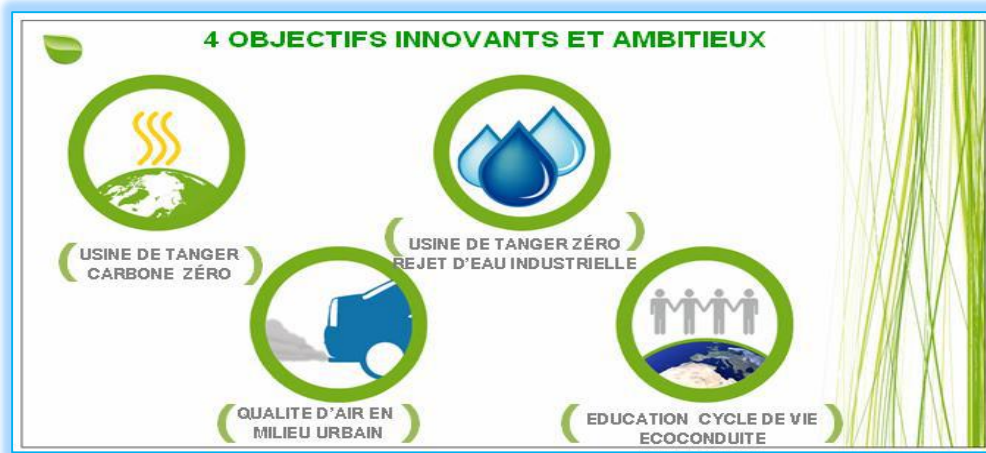


Figure I-6: PERFORMANCE ENVIRONNEMENTALE [1]

- Optimisation des consommations d'énergie thermique: Récupération de chaleur des incinérateurs, cabines et étuves de peinture (-20% /projet de base).
- Effacement des émissions carbone : 98% par rapport aux émissions dues au gaz par utilisation de chaudières biomasse et électrique.
- Suppression des approvisionnements externes en gaz naturel & Back up et complément démarrage au GPL uniquement.

### Zéro rejet des eaux industrielles

- Réduction à la source au niveau des procès.
- Recyclage total des effluents industriels liquides.
- Consommation eau de 70% inférieure à une usine équivalente.

### III. Processus de fabrication à l'usine de RENAULT.

Renault Tanger est organisé en plusieurs départements, ceux de la production sont répartis dans l'usine selon la gamme de fabrication, les quatre départements principaux de l'usine sont : l'emboutissage, la tôlerie, la peinture et enfin le montage qui est alimenté aussi par les départements « Sous ensemble » et « sièges ». (Figure I.7)



Figure I - 7: Description du processus

La production est accompagnée d'une lourde logistique, une comptabilité, une finance, une gestion d'achat, un bureau APW et bien d'autres, réunis tous dans un bâtiment nommé X. De plus, Renault Tanger a consacré une grande surface au centre de formation qui s'occupe de l'intégration des nouveaux recrutés et de la formation des employés selon le besoin des postes de travail.

Contrairement à la SOMACA qui reçoit toutes les parties du véhicule et a pour fonction principale le montage, la production d'un véhicule au sein de Renault Tanger se fait à travers la succession de centaines d'opérations réparties dans divers départements dont le montage devient la phase finale. De plus, pour une fiabilisation du produit, les véhicules doivent être d'une performance et d'une qualité très élevées. Dans ce sens, après le passage par les différents départements, le contrôle qualité permet de satisfaire les attentes du client et le plus important assurer sa sécurité.

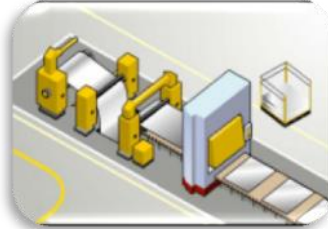
Pour plus d'explication, on va détailler chaque étape de fabrication, de la matière première jusqu'à le produit fini.

## 1. Emboutissage : [2]

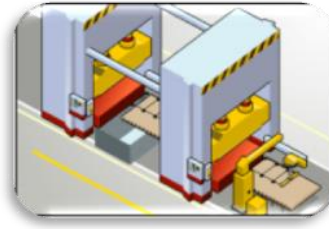
L'emboutissage est un procédé qui comporte 3 opérations : Déroulage des bobines, découpage des flans et enfin emboutissage des flans.



Déroulage des bobines



Découpage des flans



Emboutissage des flans

L'emboutissage commence par la découpe des rouleaux de tôle livrés par les aciéristes. L'acier galvanisé, livré sous forme de bobine, est déroulé et cisailé sur les lignes de découpe. Les flans obtenus sont empilés pour alimenter les lignes d'emboutissage : leur transformation se fait par des outils de presse installés sur une ligne de presses, là où ils prennent forme de toutes les pièces qui constitueront la caisse du véhicule : côtés, planchers, ailes, portières.



Figure I-8 : Image des bobines

## 2. Tôlerie : [2]

Les pièces de tôle issues de l'atelier d'emboutissage constituent un puzzle qu'il reste maintenant à assembler pour constituer la "caisse en blanc", prête à peindre. Ce stade comporte 4 opérations : assemblage de l'armature, assemblage des cotes de caisse, conformation géométrique et enfin assemblage de la caisse.



Assemblage de l'armature



Assemblage des cotes de caisse



Conformation géométrique



Assemblage de la caisse



C'est dans cet atelier très robotisé que démarre véritablement la ligne de production.

Dans ce deuxième stade de production du véhicule, les éléments de la carrosserie sont assemblés en utilisant la technologie de soudure et des moyens industriels adaptés à chaque modèle (berceaux, gabarits...).



Figure I-9 : Image de Découpage des bobines



Figure I- 10 : Image de l'atelier tôlerie.

Les technologies de soudure utilisées sont les suivantes :

- La soudure par points.
- La soudure électrique à l'arc.

Une fois la caisse est complète, elle rejoint la ligne de finition où on procède aux retouches et ajustements nécessaires.

La qualité de soudage est contrôlée suivant un plan de surveillance appliqué par les contrôleurs qualité. La tenue mécanique testée au contrôle non destructif (CND) et destructif (CD), le nombre, la position et l'aspect des points de soudures sont les paramètres clés assurant la qualité de l'opération ferrage.



### 3. Peinture : [2]

La procédure de la peinture se fait par plusieurs étapes (Figure I.11) :

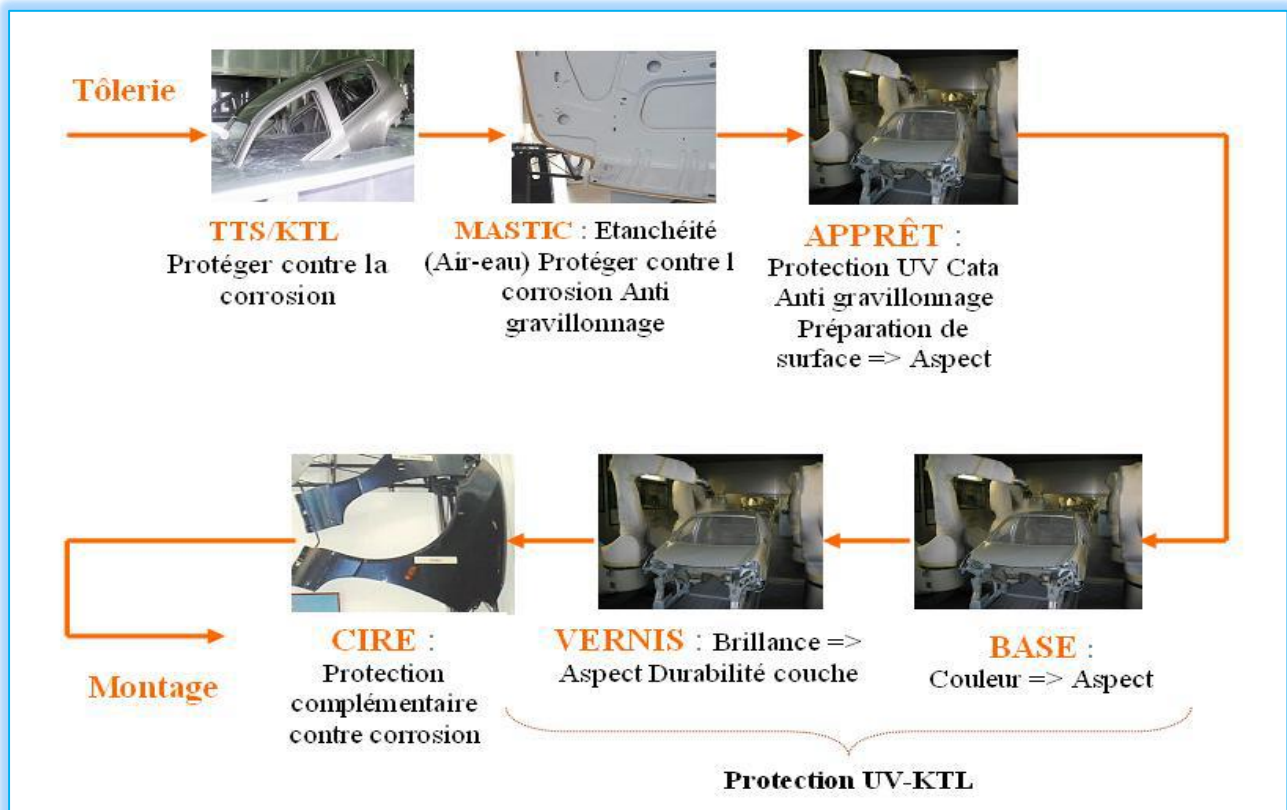


Figure I-11 : Processus Peinture Caisse

#### a. Tunnel de Traitement de Surface (TTS) : [3]

C'est le client direct du ferrage, il représente la première étape du traitement anticorrosion subit par les caisses et en utilisant la phosphatation tri cationique Ce traitement consiste à effectuer une conversion chimique de la surface métallique en vue de la recouvrir d'une couche de phosphate de Zinc micro cristalline insoluble.

Le traitement de surface des caisses est un procédé très complexes, faisant intervenir plusieurs facteurs interdépendants qui opèrent selon trois axes principaux :

- **Phase de pré phosphatation** : elle a pour but de dégraisser la surface de la tôle en éliminant les souillures telles les huiles d'emboutissage, les huiles de protection temporaire et les résidus métalliques de l'emboutissage.
- **Phase de la phosphatation** : elle confère à la surface de la tôle une bonne protection contre la corrosion et une bonne adhérence des couches de peintures appliquées ultérieurement, au moyen d'une

conversion chimique de la surface métallique par formation d'une couche micro cristalline de phosphate de Zn et de Fe.

• **Phase post-phosphatation** : elle a aussi un rôle très important dans la mesure où elle améliore d'avantage la résistance à la corrosion de la couche de phosphate formée, surtout au niveau des joints inter cristallins.

Le tunnel de traitement de surface est composé de 10 stades partagés comme suit :

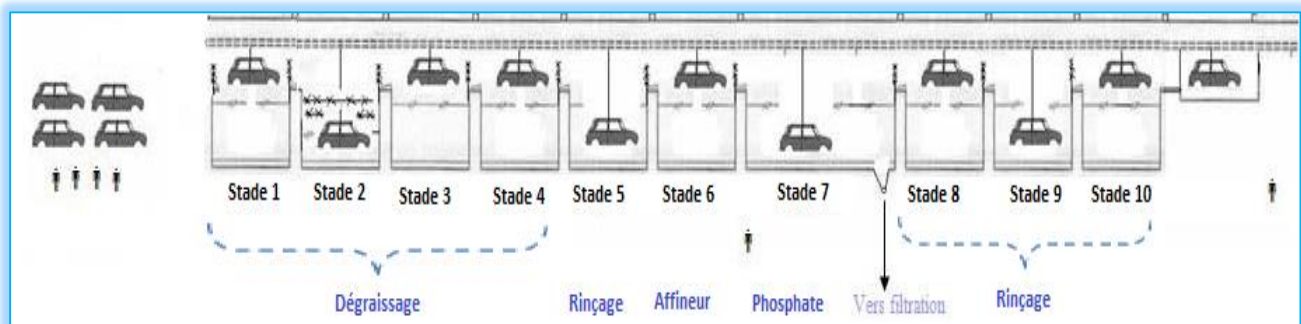


Figure I-12 : Schéma de l'engagement des caisses dans le tunnel

- ✓ -4 stades de dégraissages (stade 1,2,3,4)
- ✓ -Stade de rinçage (stade 5)
- ✓ -Stade d'affineur (stade 6)
- ✓ -Stade de phosphatation (stade 7)
- Stade de rinçage (stade 8)
- Stade de passivation (stade 9)
- Stade de rinçage (stade 10)

### **b. Cataphorèse :**

C'est la deuxième étape de traitement anticorrosion basée sur procédé d'électrodéposition, sous l'action d'un champ électrique, de micelle de peinture chargée électriquement sur support formant une électrode.

La cataphorèse qui se trouve directement après le TTS permet de renforcer d'avantage la protection des tôles contre la corrosion, par électrodéposition d'un revêtement organique.



Figure I-13: Image de l'engagement des caisses dans le bain

### c. Mastic : [4]

C'est un procédé qui consiste à avoir une caisse étanche des jonctions d'arrêt, des sus tissures ayant une tenue au gravillonnage. Le mastic est un mélange à base des résines, de solvant et des additifs ayant une forte adhésivité et permettant de bouche des trous ou d'étanchéité des joints.

Donc les mastics appliqués ont diverses fonctions :

- Anti-gravillonnage
- Etanchéité
- Insonorisation
- Soudures des structures



Figure I-14 : Image de l'opération de masticage

### d. Apprêt, Base et Vernis(ABV) : [4]

#### i. Apprêt

L'apprêt est une couche appliquée entre la cataphorèse et la base, il consiste à l'application d'une peinture intermédiaire d'épaisseur suffisante dont le but est triple :

- ✓ Assurer le Garnissage nécessaire pour éliminer les défauts d'aspect de Surface.
- ✓ Favoriser la Protection antigravillonnage.
- ✓ Protéger la Cataphorèse des Radiations UV.

Cette Peinture Intermédiaire doit satisfaire les caractéristiques suivantes :

- ✓ Pouvoir garnissant à combler les défauts de surface.
- ✓ Participation à la résistance antigravillonnage.
- ✓ Ponçage Facile.

Compatibilité avec les autres couches de protection.(Figure I.15).

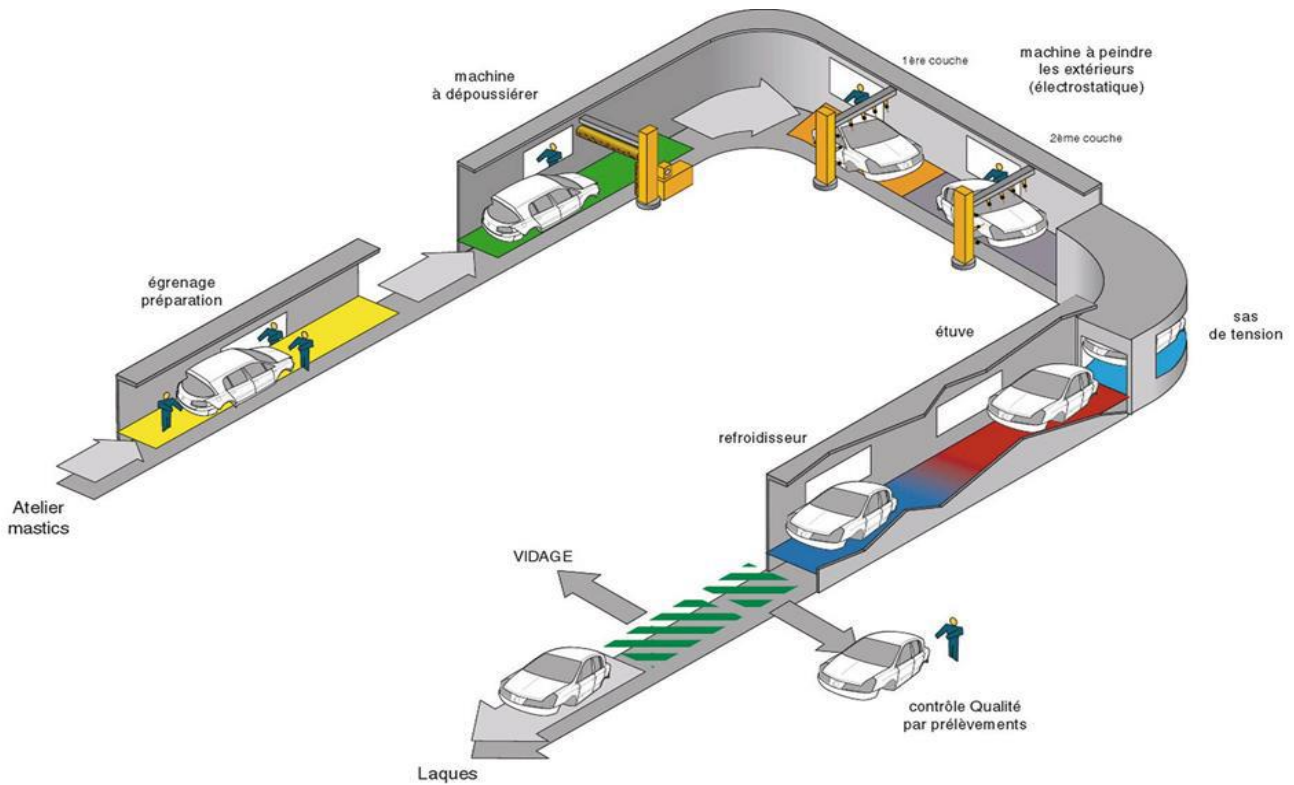


Figure I-15 : Schéma du processus d'Apprêts

## ii. Base

Il s'agit de l'application d'une teinte coloré sur la partie superficielle apparente de la voiturer pour lui procurer la couleur désignée par le client.

## iii. Vernis

Il s'agit d'une couche finale qui donne un aspect brillant pour augmenter la dureté générale de la couche de peinture.



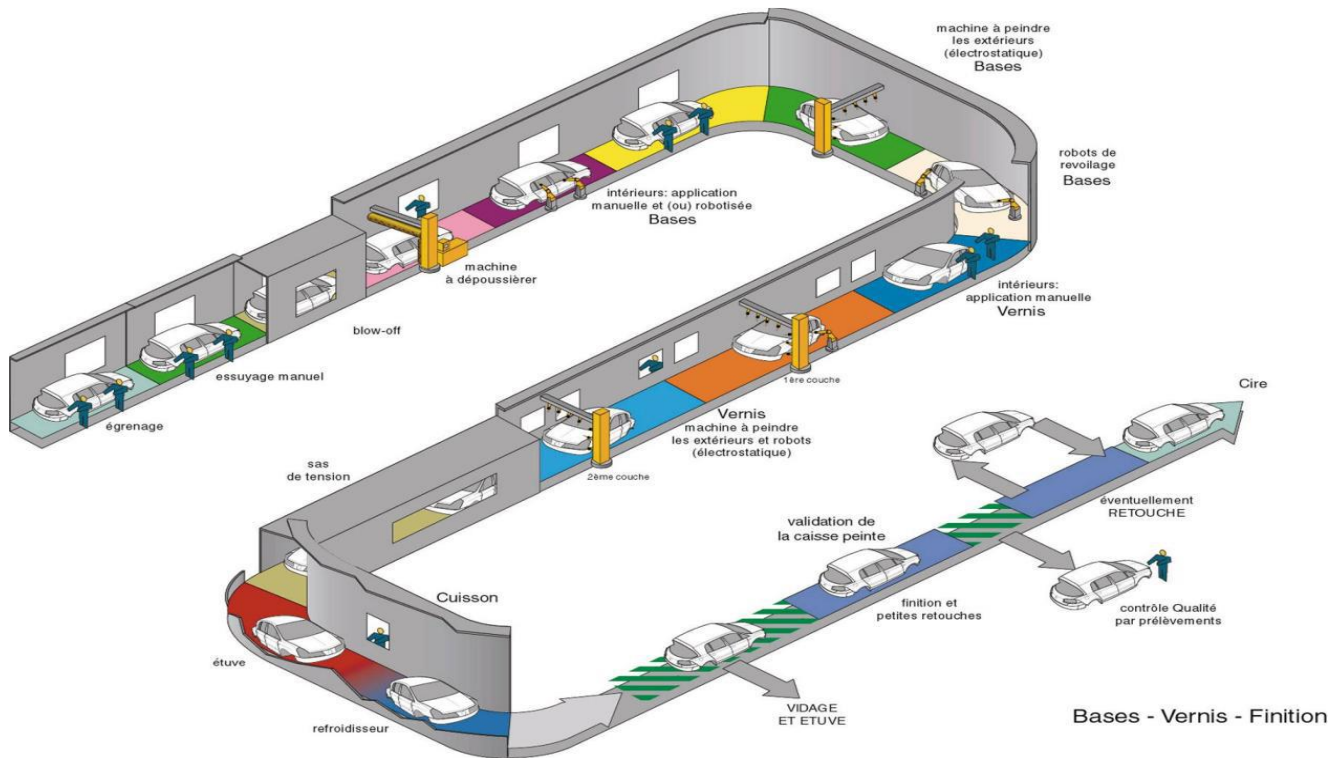
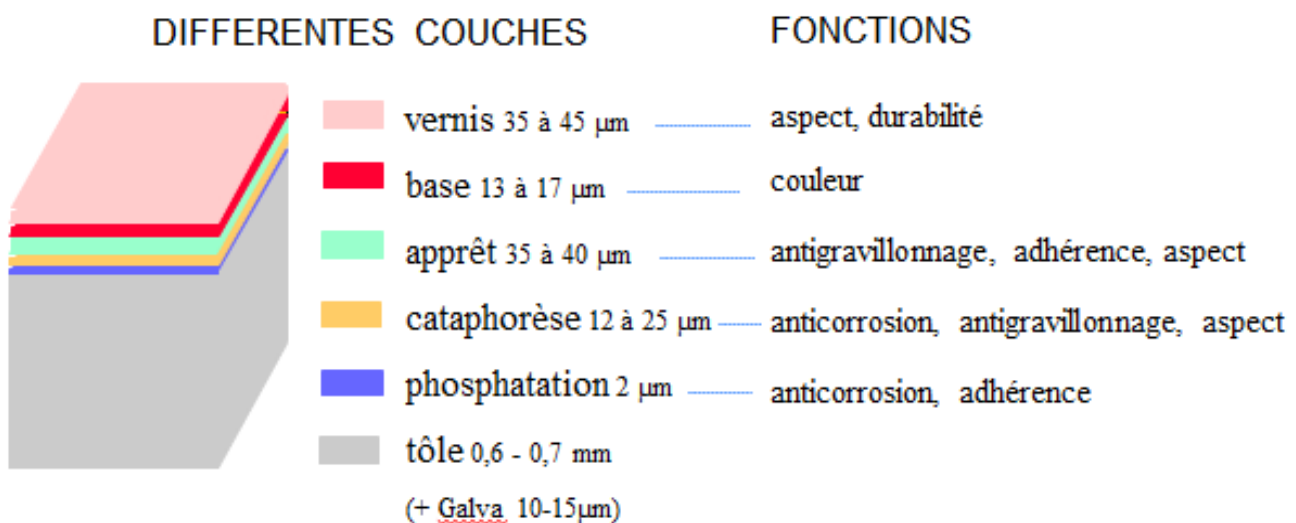


Figure I-16: Schéma du processus bases / vernis.

## vi. La Cire

Etape qui consiste à injecter dans les corps creux un produit liquide (Cire) pour assurer la protection des accostages et pour donner une protection anticorrosion supplémentaire[4]

### o Les couches de Peinture :



#### 4. Montage : [2]

A cette dernière étape du processus de fabrication, la caisse peinte reçoit successivement tous les équipements du véhicule : habillages, sellerie, circuits électriques, vitrages et bien entendu éléments mécaniques (moteur, boîte de vitesse...) produits sur un autre site.

A l'entrée de la caisse dans l'atelier, les portes sont démontées afin de faciliter les opérations du montage puis elles partent sur une ligne parallèle pour y être préparées. Les images ci-dessous présentent en détail les différentes opérations effectuées dans ce stade.



Repérage des caisses



Démontage des portes



Pose de la planche de bord



Pose du bard-brise



Coiffage



Habillage de la caisse



Montage des portes

#### 5. Contrôle :

Le véhicule subit d'abord un contrôle complet de ses équipements électroniques (réglages des phares, vérification du fonctionnement des voyants, systèmes d'alerte, de sécurité, de confort...). Les véhicules déclarés conformes sont ensuite testés sur bancs de roulage ou sur pistes pour vérifier le bon fonctionnement de tous leurs organes mécaniques. A chacune de ces étapes, les éventuels défauts sont aussitôt corrigés.

Une fois contrôlés, les véhicules seront livrés à leurs clients tout en respectant les trois points coût, qualité, délai.



# Chapitre II

## Contexte générale du projet



Ce chapitre va comporter la définition et la description de quelques notions utilisées dans la suite de ce projet. Les définitions données dans ce chapitre permettront de s'entourer du projet, à partir de l'élaboration du cahier des charges, Introduction à l'installation cataphorèse et ses stades, ainsi que la méthode de la sélection des critères ayant la plus grande rentabilité et faisabilité.

## I. Généralité sur la Cataphorèse.

L'électrodéposition consiste à déposer un revêtement organique filmogène sur des pièces métalliques sous l'effet conjugué d'un champ électrique et des réactions d'électrolyse de l'eau, Une tension continue est appliquée entre la pièce à peindre et une contre électrode, toutes deux immergées dans la peinture.

Le polymère qui constitue la peinture, doit donc être chargé électriquement :

- Si la pièce à peindre est reliée au pôle (+) du redresseur (anode) et la peinture chargée (-), le procédé d'application est l'anaphorèse.
- Si la pièce à peindre est reliée au pôle (-) du redresseur (cathode) et la peinture chargée (+), le procédé d'application est la cataphorèse.

Donc l'électrodéposition cationique ou **cataphorèse** est un procédé de peinture par immersion utilisé principalement dans l'industrie automobile et les autres industries métalliques comme primaire anticorrosion. Par ses performances supérieures, elle a succédé à l'anaphorèse dont l'utilisation industrielle s'était généralisée dès 1966. [4]

### ▪ Évolution des primaires anticorrosion.

Les techniques de protection des carrosseries automobiles n'ont cessé de progresser ces trente dernières années. Ces progrès ont été dus à l'évolution des méthodes d'application des peintures anticorrosion, leur nature chimique et à l'utilisation de plus en plus importante de matériaux zingués. L'évolution des techniques de protection est résumée dans le tableau suivant (tableau I). [4]



Tableau 1 – Évolution des primaires anticorrosion

Année	1950	1960	1966	1977
Méthodes d'application .....	pistolet	trempe	anaphorèse	cataphorèse
Type de polymère .....	alkydes/mélamines	phénoliques/alkydes	huiles maléinisées/ polybutadiènes	Époxy
Résistance brouillard salin* .....(h)	240	300	360	> 1 000
Recouvrement corps creux .....	impossible	acceptable	bon	excellent
Solvants organiques .....(%)	100	100 à 50	10	< 5
Rendement .....(%)	50	60 à 80	> 95	> 95

\* Norme AFNOR NF X 41-002 - Essai au brouillard salin (Tôles d'acier phosphatées rayées).

Tableau I : L'évolution des techniques de protection[4]

## 1. Les Avantages de la cataphorèse :

### + Anticorrosion :

Les propriétés anticorrosion imparties aux pièces métalliques par la cataphorèse sont exceptionnelles et bien supérieures à celles imparties par l'anaphorèse : elles permettent de doubler ou tripler la durée de vie d'un véhicule sans apparition de pustules ou de perforations dans les soubassements, les garanties anticorrosion de 6 ans données par les constructeurs sont là pour en témoigner. Les raisons en sont les suivantes :

➡ Les résines cationiques sont inertes chimiquement et résistent aux phénomènes de délamination cathodique (soulèvement et dissolution du feuillet de peinture sous l'effet de la corrosion)

➡ Au cours du processus de dépôt à la cathode, il n'y a pas dissolution du métal, et celle de la phosphatation est très réduite, alors que dans le cas de l'anaphorèse il y a dissolution non négligeable du métal et de la couche de phosphatation. D'autre part, le **pouvoir de pénétration**, qui est l'aptitude du produit à revêtir les zones difficiles à atteindre et les zones cachées vis-à-vis de l'anode, permet une excellente protection des corps creux :

Il est possible, avec une conception appropriée (trous judicieusement placés), d'obtenir un minimum de 10 µm sur toutes les parties à protéger, pour une épaisseur moyenne extérieure de 20 à 25µm. [4]

### + Aspect

La répartition d'épaisseur extérieure est très uniforme, avec des variations inférieures à 5 µm. Il n'y a, ni coulures, ni surépaisseurs. En effet, la peinture électro déposée possède une résistivité

électrique intrinsèque: la résistance du film croît dans le temps au fur et à mesure de l'augmentation de son épaisseur, jusqu'à atteindre une valeur telle que le courant tombe à pratiquement zéro : il y a donc une autolimitation de la couche de peinture, ce qui explique la grande uniformité d'épaisseur de cette couche. [4]

### **Propriétés mécaniques**

Le film est d'une bonne souplesse. Son adhérence est excellente sur tous supports et, combinée avec des apprêts appropriés, la résistance aux chocs et au gravillonnage est bonne.

### **Application**

L'opération est totalement automatisée.

Le traitement est rapide : 150 à 250 s suffisent pour traiter une pièce.

Le rendement peut atteindre près de 99 % par rinçage et recyclage à travers des membranes d'ultrafiltration.

Écologie et sécurité : la peinture est diluée dans l'eau et contient moins de 5 % de solvants organiques[4].

La pièce à peindre doit être conductrice de l'électricité, le procédé ne s'applique donc pas aux plastiques et aux substrats non conducteurs. Le succès de l'application et la constance des résultats sont subordonnés à un contrôle rigoureux de nombreux paramètres physico-chimiques du bain de cataphorèses. [4]

## 2. Constituants de la peinture [4]

Une peinture cationique est constituée par :

- a. **Un liant principal** : polymère cationique proprement dit.

Le polymère cationique est une résine époxydique polyaminée, protonisée par un monoacide faible, comme l'acide acétique, formique ou lactique.

Pour l'élaboration de la résine époxy, on prépare d'abord un polymère époxy, en faisant réagir du bisphénol A avec de l'épichlorhydrine. La macromolécule obtenue est un di-époxyde, c'est-à-dire qu'elle présente un groupe époxy à chaque extrémité.

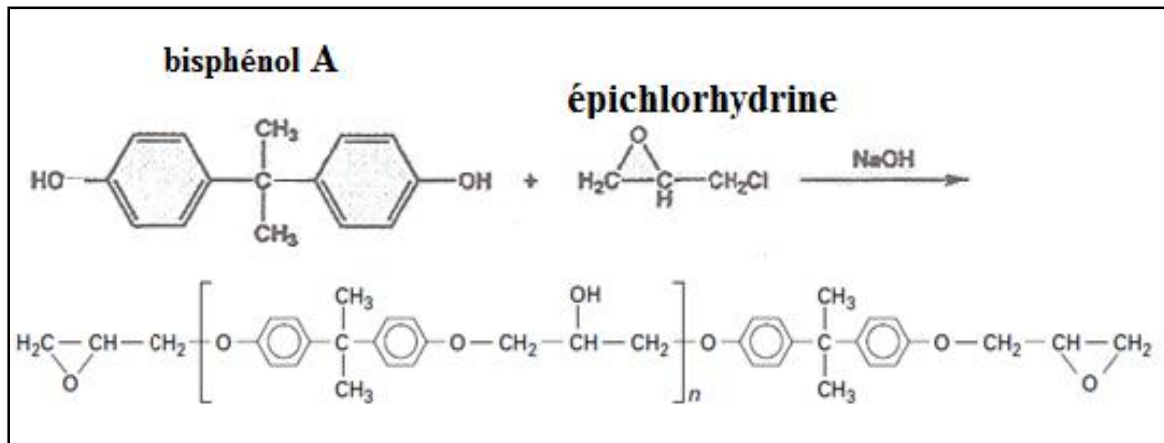


Figure II-1 : la réaction de l'obtention de la la résine époxy[4]

### Etape 1: Modification de la résine Epoxy

Pour lui donner un caractère basique, on la fait réagir avec un sel d'amine, de façon à disposer :

- De fonctions amines pour la solubilité à l'eau.
- De fonctions alcool pour la réticulation.

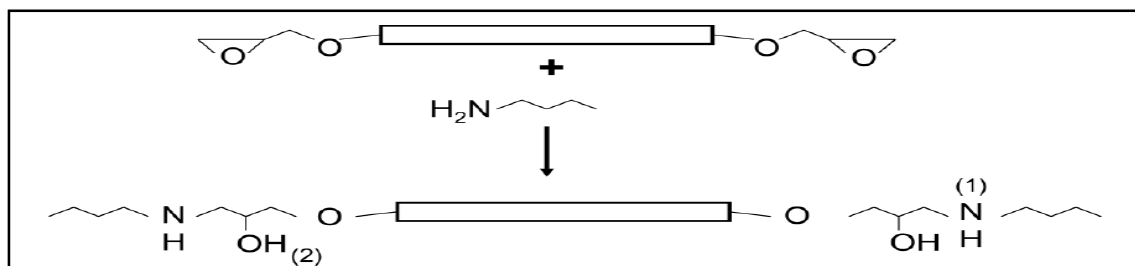


Figure II-2 : la réaction de modification de la résine Epoxy[4]

### Etape 2 : Ionisation et solubilisation par addition acide

La résine époxy modifiée est salifiée par un acide pour l'ionisation et la solubilisation (FigureII-3).

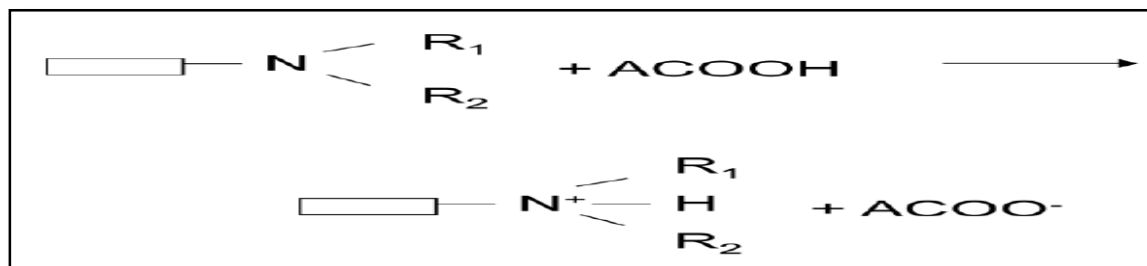


Figure II-3 : la réaction d l'ionisation et solubilisation[4]

Le composé obtenu est suffisamment hydrophile pour former avec l'eau une dispersion stable, utilisable pour l'électrodéposition.

Le passage du courant dans le bain provoque la déposition du liant époxy-aminé alcalin sur la cathode et à l'anode, la libération de l'acide ayant servi à la salification des groupes amines.

b. **Une pâte pigmentaire** : composée de pigments et de charges minérales enrobés par une résine également cationique. La teinte obtenue, pour un primaire, peut varier du blanc au noir, en passant par des nuances de gris variées ;

c. **Des solvants organiques** : principalement des éthers de glycol, jouant un rôle important sur l'aspect du film. Leur quantité n'a cessé de diminuer au cours des années, actuellement leur concentration est inférieure à 5 % (en masse) dans le bain de travail ;

d. **Eau déminéralisée**: c'est le véhicule de la peinture et le milieu d'électrolyse du système.

Pratiquement la peinture est livrée sous forme concentrée, généralement en deux pots : concentré de liant, et concentré pigmentaire dilués ensuite à l'utilisation dans l'eau déminéralisée en ajustant la partie active du bain (extrait sec) et le *rapport massique entre le taux de pigments et charges et celui des liants organiques (P/L)*.

### 3. Installation industrielle [4]

Une installation industrielle de cataphorèse (figure II-4) sera située en aval de l'installation de traitement de surface (TTS) et comprendra les éléments suivants :

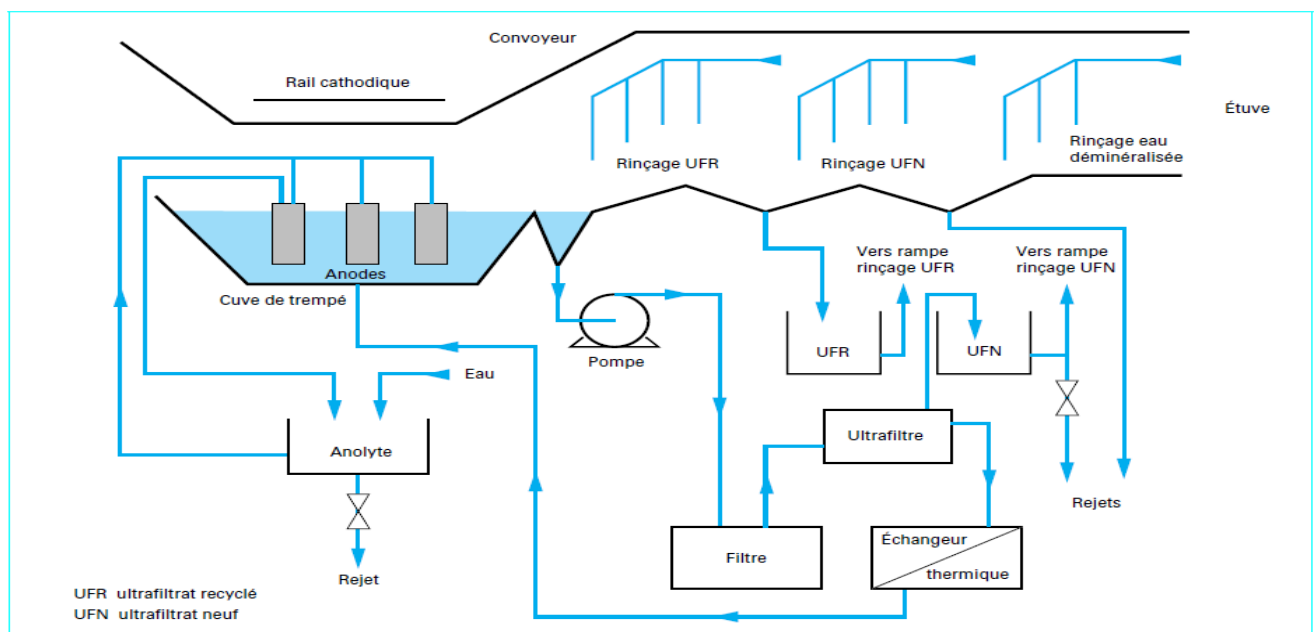


Figure II-4 : Schéma de l'installation industrielle du cataphorèse [4]

#### **a- La cuve de trempé cationique :**

Elle est en acier ordinaire, isolée électriquement et revêtue d'une peinture anticorrosion de type époxydique. Ses dimensions sont calculées en fonction des pièces à peindre et des cadences. Dans l'industrie automobile, les volumes est de 480 m<sup>3</sup>. [4]

#### **b- Le déversoir**

Il est installé en sortie de bain, pour maintenir le niveau, éliminer les mousses et éviter les retours le long des parois.

#### **c- L'agitation**

Nécessaire pour la stabilité physique du bain, elle est assurée par des pompes de circulation. L'ensemble sera conçu afin d'obtenir un mouvement du liquide dans le sens de l'avancée des pièces en surface avec retour en sens inverse dans le fond.

#### **d- L'unité de refroidissement**

Elle est nécessaire pour maintenir la température de travail, le bain ayant tendance à s'échauffer par effet Joule.

#### **e- L'unité de filtration**

Elle est composée d'un pré filtre puis de modules équipés de poches filtrantes. La filtration normale de la peinture s'effectue à travers des poches d'environ 25 mm. Des poches spéciales, dites absorbantes, qui retiennent des polluants organiques (huiles), sont occasionnellement utilisées. [4]

#### **f- Alimentation en produit frais**

Elle doit maintenir constantes les caractéristiques du bain. L'alimentation se fait par pompage à partir des bacs de stockage des produits frais dans le circuit de circulation du bain. Cette alimentation peut être complètement automatique. [4]

#### **g- Les anodes**

Leurs nombres est de 200, elles sont réparties symétriquement le long des parois latérales du bain, parallèlement à l'axe du convoyeur des carrosseries. Elles sont en acier inoxydable (nuance Z2 CND 17-12 de la norme française ou 316L de la norme AISI).

#### **h- Le circuit d'anolyte**

Il est conçu pour l'élimination de l'excédent d'acide produit au cours de l'électrolyse, ce circuit relie les cassettes d'anolyte, en PVC, dans lesquelles sont enfermées les anodes : La face des cassettes tournée vers le bain est ouverte, mais isolée de la peinture par une membrane spéciale, semi-perméable

dite membrane d'électrodialyse, qui laisse passer les électrons et les anions présents dans le bain, notamment les anions de l'acide,  $\text{AcCOO}^-$ , se dirigeant vers l'anode au cours du processus d'électrolyse, mais qui est imperméable à tout retour de l'acide généré à l'anode et à tout passage de la peinture et des solvants dans les cassettes.

Dans ces boîtiers, circule une solution acide permettant le passage du courant, sa concentration est régulée automatiquement par conductimétrie. [4]

#### **i- Le circuit d'ultrafiltration**

Il est utilisé pour le rinçage des pièces et le recyclage de la peinture non coagulée. Ce système permet également l'épuration des polluants minéraux et organiques entraînés par les carrosseries, l'épuration de certains éléments du bain n'ayant pas réagi, et dont l'accumulation serait nocive, et la régulation du taux de solvants. La peinture est envoyée sous pression à travers des membranes semi-perméables qui ne laissent passer que des particules de très faible taille (10 à 20 nm). Passent à travers les membranes, toutes les molécules de basse masse molaire comme :

- ✓ l'eau ;
- ✓ les sels minéraux solubles dans l'eau ;
- ✓ les sels organiques de faible masse molaire, n'ayant pas réagi au cours de l'électrodéposition (amines) ;
- ✓ une partie des solvants organiques.

Le liquide ainsi obtenu forme l'ultrafiltrat neuf (UFN).

Sont retenus par les membranes, le polymère cationique proprement dit et les pigments : ce reliquat est recyclé dans le bain.

L'UFN est utilisé pour des rinçages en cascade inverse, depuis la sortie du bain, jusqu'à l'UFN, avec débordement par trop plein du bac en aval vers le bac en amont. Ces rinçages sont réalisés par aspersion et/ou par immersion.

Au fur et à mesure, la pièce est donc nettoyée par de l'UF de plus en plus propre, et finalement par l'UFN.

Une fois sortie de ce circuit fermé, la pièce est rincée une dernière fois à l'eau déminéralisée pure en circuit perdu.

Le résidu du premier rinçage, le plus riche en peinture non réagie est recyclé directement dans la cuve[4].

#### j- L'étuvage

C'est le stade ultime de la ligne de cataphorèse. Il permet la polymérisation du film de peinture.

Les temps de passage varient de 20 à 30 min, pour des températures métal allant de 150 °C minimum, à 200 °C, suivant les types de cataphorèse utilisés.

Un four à convection est préférable, l'association convection-radiation est aussi satisfaisante.

La pièce est maintenant prête à entrer dans la ligne des peintures de finition.

De nombreuses industries sont concernées, de l'automobile à l'électroménager, en passant par les tracteurs ou le mobilier métallique

Aujourd'hui, suivant les objectifs, les épaisseurs déposées peuvent varier de 18 à 28 mm.

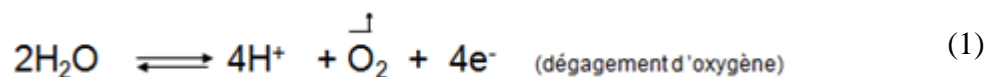
Il est intéressant de mentionner l'utilisation de la cataphorèse en monocouche colorée, pour certaines pièces spécifiques demandant pour des raisons économiques et facilité de mise en œuvre d'obtenir résistance à la corrosion et esthétique à la fois : noir pour des pièces détachées automobiles: filtres à huile, cardans, essuie-glaces..., transparents et alimentaires pour couvercles de boîtes de conserve, couleurs plus vives, rouge, vert, etc., pour pièces de tracteurs et outillages[4].

## 4. Principes et mécanisme [4]

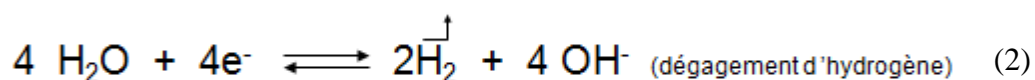
En appliquant une tension continue entre la cathode (pièce à peindre) et l'anode, l'électrolyte étant la peinture décrite plus haut, une série de réactions va se produire.

### i. Électrolyse de l'eau

❖ À l'anode :



❖ À la cathode :



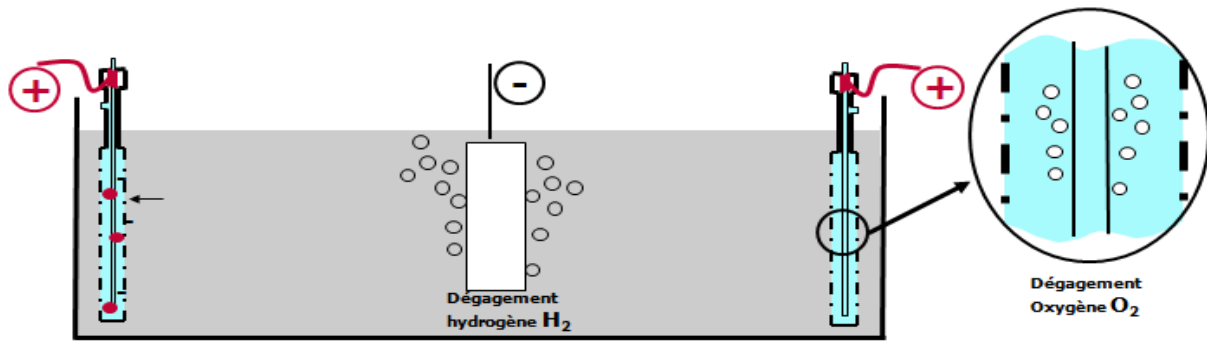


Figure II-5 : Schéma du mécanisme peinture cataphorèse (anode)

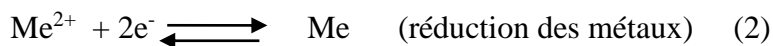
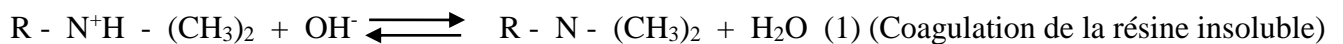
Il se produit un dégagement de gaz oxygène à l'anode, de gaz hydrogène à la cathode.

La réaction (1) est une oxydation, avec acidification au voisinage de l'anode ; la réaction (2) est une réduction avec alcalinisation au voisinage de la cathode.

La réaction de dissolution du métal à l'anode nécessite l'emploi d'anodes non corrodables : acier inoxydable.

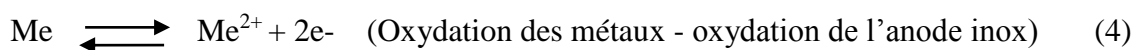
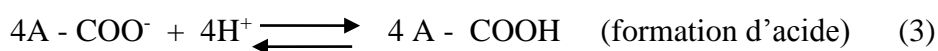
## ii. Électrophorèse et électrocoagulation

### ❖ Réactions à la cathode



➡ À l'interface cathode/peinture, le cation polymérique réagit avec l'anion  $OH^-$  (élévation du pH vers 11-12) et la peinture est coagulée sur la cathode.

### ❖ Réactions à l'anode



➡ La réaction suppose le transport des particules de liant cationique vers la cathode, c'est l'électrophorèse. Coagulation de la peinture sur la pièce et formation d'acide à l'anode (anolyte).



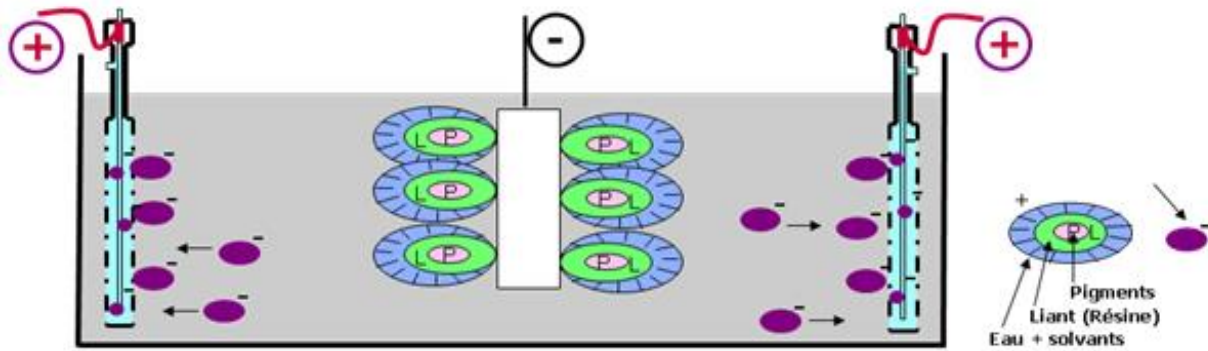


Figure II-6 : Schéma de Coagulation de la peinture sur la pièce (cathode)

➔ La réaction (3) d'acidification à l'anode nécessite une élimination de l'excès d'acide : c'est le rôle du circuit anolyte décrit antérieurement.

### iii. Electro-osmose

L'électro-osmose est la migration de la phase liquide à travers la pellicule de peinture en cours de formation vers le bain, sous l'effet du champ électrique. Le film est ainsi déshydraté et la teneur résiduelle en eau est d'environ 5 % en masse.

L'excédent de peinture non coagulé est ensuite éliminé par rinçage et recyclé grâce à un système d'ultrafiltration.

La Figure suivante montre l'expulsion de l'eau (+ solvants en partie) hors du film sous l'effet du champ électrique (Figure II-7).

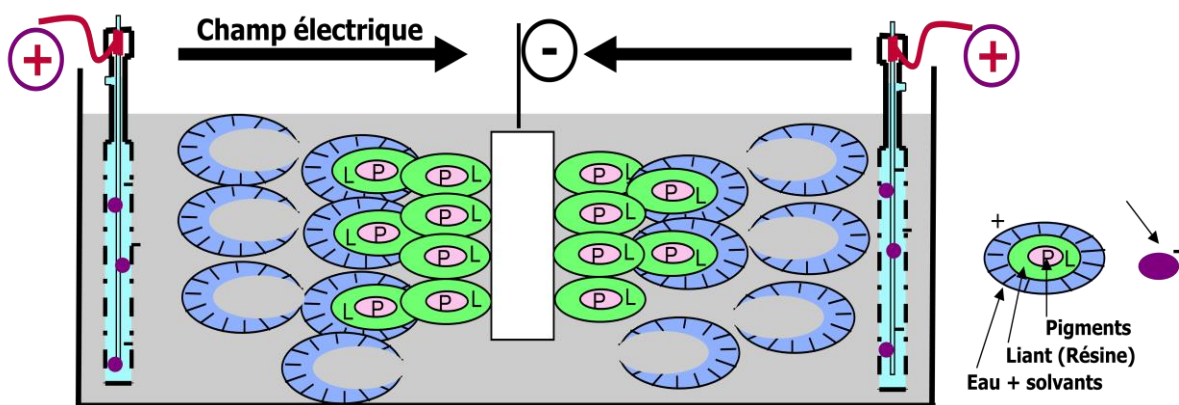


Figure II-7 : Schéma de l'électro-osmose

### iv. Polymérisation

La couche de peinture ainsi électro-déposée est insoluble, mais sans résistance physique ni chimique. Le film sera donc polymérisé par étuvage afin d'acquérir toutes ses propriétés finales.

Le mécanisme de la polymérisation consiste à faire réagir, en présence de catalyseur, les groupements hydroxylés de la résine cationique avec des isocyanates aromatiques bloqués par des alcools légers, stables à la température ambiante. Ces isocyanates sont mélangés avec le liant et se débloquent à l'étuvage en provoquant une réaction d'uréthanisation du liant organique. D'autres mécanismes de polymérisation sont envisageables. [4]

## 5. Paramètres d'application [4]

Le suivi de certains paramètres d'exploitation est indispensable pour maintenir les propriétés du film.

Suite aux consommations de peinture, ces paramètres sont maintenus par recharge du liant principal et de la pâte pigmentaire.

### a. Paramètres du bain

Les principaux paramètres sont les suivants (à titre indicatif) :

- extrait sec..... (15 à 25 %)
- pigment/liant ..... (0,12 à 0,35)
- Meq amine..... (40 à 65)
- Meq acide ..... (15 à 30)
- pH ..... (5,6 à 6,4)
- conductivité ..... (1 200 à 1 800 mS)
- taux de solvants ..... 1 à 5 % en masse

L'anolyte et l'ultrafiltrat sont également suivis par pH, conductivité en Meq (milliéquivalents exprimés pour 100 g d'extrait sec).

### b. Paramètres d'exploitation

On applique une tension continue comprise entre 200 et 400 V. Le redresseur utilisé ne doit pas avoir un taux d'ondulation supérieur à 5 %.

Des voltages trop élevés conduisent à des dégagements d'hydrogène excessifs provoquant la détérioration du film : au-delà d'un seuil dit tension de claquage, il y a rupture irréversible de la peinture.

La consommation électrique est d'environ 30 à 40 coulombs par gramme de film sec déposé. Cette grandeur est appelée improprement rendement coulombique et constitue une des caractéristiques de la peinture.

Les autres paramètres importants sont la température du bain qui se situe entre 27 et 36°C, régulée à +/-0,5°C et le temps d'application qui, suivant les installations, se situent entre 2 et 4 min. Pénétration, épaisseur, qualité du film dépendent fortement de ces variables.

## II. Contexte du projet.

Dans le cadre d'une politique générale de RENAULT visant l'amélioration de la compétitivité et l'augmentation de sa part du marché national, RENAULT s'inscrit dans cette politique pour assurer un produit et service de meilleure qualité et intégrant de nouveaux marchés.

Plusieurs projets ont été lancés afin d'assurer cette politique à long et moyen terme, parmi ces projets on m'a été assigné le sujet « Estimation et Optimisation des pertes au niveau de la ligne cataphorèse » comme sujet de mon stage de fin d'étude, ce dernier à pour but d'abord d'estimer en terme du coût les pertes en indiquant les différents sources de gaspillage et par la suite de proposer des plans d'action pour optimiser ces pertes.

Pour cela, il est indispensable d'identifier ces gaspillages en se basant sur la méthode de sept MUDA ; méthode japonaise défini par Toyota ; et qui permet de définir sept types de gaspillages qui sont :

- Surproduction/surqualité
- Surstockage ou Stocks Inutiles
- Transports et Déplacements Inutiles
- Mouvements Inutiles
- Erreurs, Défauts et rebuts
- Temps d'Attente et Délais
- Sous-utilisation des Compétences

Alors tout ça entre dans l'amélioration continue de la performance industrielle permettant ainsi d'atteindre un niveau de rendement considérable.

## 1) Problématique :

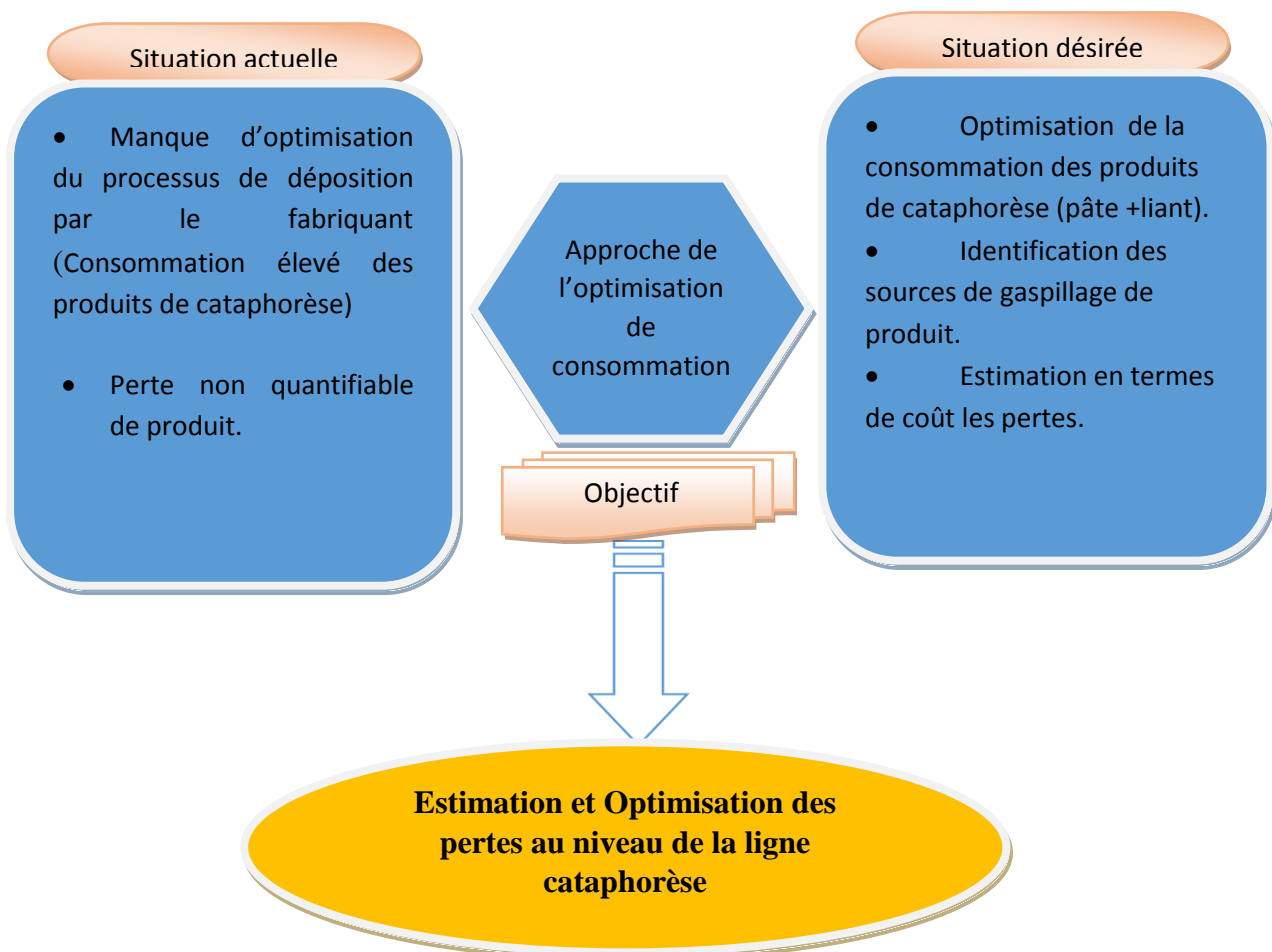
Les méthodes de mesure et de calcul des consommations de cataphorèse divergent selon l'usine Renault et son fournisseur de produits. Elles présentent généralement des défauts qui se traduisent souvent par un résultat de consommation erroné. De plus, les consommations mensuelles de cataphorèse présentées reflètent un manque d'optimisation du processus de déposition par le fabricant.

Alors, le département de peinture a constaté une consommation élevée des produits utilisés dans la cataphorèse (pâte+ liant). Ils ont décidé de faire un suivi avec son leader fournisseur KANSAI PAINT qui s'occupe du fonctionnement de la ligne cataphorèse afin de dévoiler les vraies sources de pertes et de les optimiser, notamment en termes de coût, qui est le motif principal qui encourage les exploitants à anticiper les problèmes susceptibles d'avoir lieu.

L'objectif principal est de respecter au maximum l'équation suivante :

$$\text{Consommation brute} = \text{consommation réelle} + \text{minimum de Perte}$$

Le schéma suivant illustre la problématique à cerner à travers ce projet, la démarche adoptée et l'objectif principal visé :



# Chapitre III



## ANALYSE DES DEFAUTS ET LA DETECTION DES SOURCES DU GASPILLEGE



Dans le présent chapitre, nous allons faire le diagnostic de cataphorèse, analyser les défauts présents les quantifier et en détectant les sources. Puis à travers une étude des causes nous allons établir un plan d'actions qui nous aidera à atteindre nos objectifs, en détaillant les méthodes et les analyses adoptés tout au long de la période de stage. La démarche générale pour réaliser ce travail est la suivante :

- Suivi régulier de la consommation réelle des produits cataphorèse (Pâte+ Liant),
- Analyses ciblées à l'échelle du laboratoire,
- Interprétation des résultats obtenus,
- mise en application des solutions pérennes pour réduire les pertes,

## I. Matériels et méthodes appliqués :

### 1. Suivi de la consommation réelle de la patte et du liant :

Avant de décrire la méthodologie suivie, il est nécessaire de balayer les différents termes rencontrés pendant de notre travail :

Il est important de savoir faire la distinction entre la consommation brute et la consommation réelle de cataphorèse :

**La consommation brute** est la quantité de produits ajoutée dans le bain de travail pendant la période de production.

**La consommation réelle** est la quantité des produits (pâte+liant) déposé sur les véhicules en gsec/m<sup>2</sup>.

La méthodologie appliqué pendant la période du suivie est décrite comme suit :

- **la collecte des données de la production :** Détermination du nombre et du type des unités produites pendant la journée cela noté chaque jour sur un fichier Excel pour calculer un moyen mensuel de production.
- **Détermination de la surface traitée :** en se basant sur les données de la production pour la calculé selon la relation suivante :

$$\text{Surface mensuelle traitée} = \sum (\text{surface totale de chaque type} * \text{nombre des unités traités correspondantes à chaque type})$$

- **Détermination de la quantité de peinture consommée (pâte et liant) :** à partir d'un débitmètre installée sur la ligne de production on peut déterminer la quantité en **kg** de la peinture ajoutée dans le bain de cataphorèse.

✓ **Pour pâte**

$$\text{Consommation de Pâte} = \text{débit volumique} * 1000 * 1.5$$

✓ **Pour liant**

$$\text{Consommation de Liant} = \text{débit volumique} * 1000 * 1.05$$

( les valeurs 1.5 et 1.05 sont des masses volumiques de la pâte et du liant).

- **Calcul de la consommation réelle:** à partir des données collecté on calcule la consommation réelle de pâte et de liant déposée sur une surface bien déterminée, exprimé en Kg/m<sup>2</sup>.

$$\text{Consommation réelle} = \frac{(\text{consommation de pâte} * \text{extrait sec de pâte}) + (\text{consommation de liant} * \text{extrait sec de liant}) * 1000}{\text{surface total traité de chaque véhicule}}$$

## 2. Perte à l'étuvage -[5]:

Cette méthode a pour objet la description du mode opératoire permettant de déterminer les pertes en cuisson des peintures Cataphorèse.

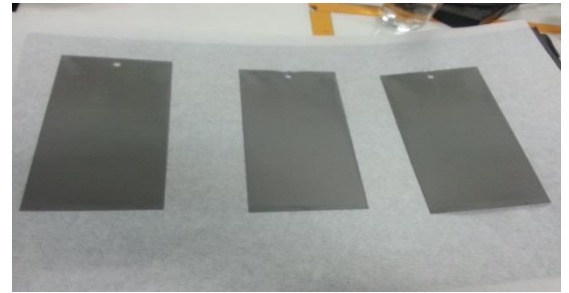
Sur trois éprouvettes électro-déposées, pré-étuver et cuire dans les conditions de cuisson. Par pesées successives, on détermine les pertes à l'étuvage.

### **Les matériels utilisée sont :**

- Balance de précision au milligramme.
- Eprouvettes type standard phosphatées.
- Porte éprouvette pour maintenir les éprouvettes en position verticale.
- Etuve ventilées avec extraction régulée à 105°C ± 1°C pour pré-étuver les éprouvettes.
- Four de cuisson de peinture pour étuver les éprouvettes.



- a- Application de l'échantillon
- Sécher l'éprouvette phosphatée pendant 5 minutes à 180°C
  - Laisser refroidir à température ambiante
  - Peser l'éprouvette à tester, soit M0 sa masse
  - Electro-déposer l'éprouvette selon les conditions de la ligne de production
  - Rincer et sécher l'éprouvette 1/2 heure à température ambiante



[Figure III-1 : Image des éprouvettes séchées](#)

b- Cuisson :

- Etuver- l'éprouvette à 105°C pendant 3 heures
- Après refroidissement à température ambiante, peser l'éprouvette, soit M1 sa masse
- Cuire l'éprouvette dans l'étuve de cuisson à 175°C pendant 15 minutes
- Après refroidissement à température ambiante, peser l'éprouvette, soit M2 sa masse



[Figure III-2 : Image des éprouvettes dans la ligne de production](#)



[Figure III-3 : Image du séchage des éprouvettes dans l'étuve](#)

c- Expression des résultats :

Le pourcentage de perte à l'étuvage global est donné par la formule :

$$\% \text{ de perte à l'étuvage} = \frac{(M1 - M2)}{(M1 - M0)} * 100$$



[Figure III-4 : Image du pesage des éprouvettes](#)



### 3. Détermination de l'extrait sec[5].

La présente méthode a pour objet de déterminer la quantité de la matière qui reste après évaporation des produits volatils (solvants, diluants...). Elle s'applique, en particulier aux colles, apprêts, peintures et préparations assimilées.

On appelle "extrait sec" le rapport à la masse initiale exprimée en %, du résidu obtenu par chauffage pendant un temps déterminé, d'une certaine quantité de produit, dans des conditions expérimentales bien définies, en particulier à une température suffisante pour éliminer tous les éléments y jouant le rôle de produits volatils, sans toutefois entraîner une dégradation du produit étudié.

#### **Les matériels utilisés sont :**

- Capsule en aluminium de diamètre intérieur 55 mm à 70 mm.
- Etuve à ventilation forcée.
- Balance de laboratoire, précise à 1 mg.
- Dessiccateur.

Dans une Capsule préalablement taré, on effectue 3 prises d'essai de  $2 \text{ g} \pm 0,2 \text{ g}$ , Ensuite, la Capsule est placée dans une étuve dont la température est maintenue à  $105^\circ\text{C}$  (température obligatoire pour l'évaporation des parties volatiles des bases) pendant 3h.

- Peser le couvercle ; soit sa masse M1.
- Placer la prise d'essai en la répartissant uniformément dans le couvercle et peser; soit la masse M2.
- Porter à l'étuve et sécher à  $105^\circ\text{C}$  pendant 3 heures sauf prescriptions particulières.
- Après séchage, sortir de l'étuve et laisser refroidir dans le dessiccateur environ 15 minutes. Peser ; soit la masse M3.



Figure III-5 : Image des capsules d'extrait sec

## EXPRESSION DES RESULTATS :

Faire la moyenne des 3 résultats correspondant aux 3 prises d'essais :

$$ES = \frac{M_3 - M_1}{M_2 - M_1} \times 100$$

L'écart entre chacune des mesures et la moyenne doit être inférieure à 2 % de la valeur moyenne.

Cela permet de contrôler la peinture consommée par les voitures et de rajouter de la pâte et du liant pour garder une teneur en résines et pigments constante.

### 4. Masse volumique d'une pellicule sèche [5]

Cette méthode a pour objet la détermination de la masse volumique d'une pellicule sèche de produit applicable au cataphorèse, ne présentant pas de gonflement, de bullage, ni de dissolution au cours de l'immersion dans le liquide de déplacement (généralement de l'eau distillée).

L'essai consiste à déterminer successivement :

- la masse de la pellicule sèche obtenue par pesée dans l'air de l'éprouvette avant et après application du revêtement, à l'aide d'une balance.
- Le volume de la pellicule sèche obtenue par pesée dans l'air et dans l'eau de cette même éprouvette avant et après application du revêtement, à l'aide d'une balance.

La masse volumique de la pellicule sèche est calculée à partir des deux précédentes valeurs.

### **APPAREILLAGE ET REACTIF**

- Un bécher d'un volume suffisant pour permettre l'immersion de l'éprouvette dans le liquide de déplacement.
- Dessiccateur
- Balance de laboratoire monoplateau précise au dixième de milligramme.
- Liquide de déplacement (eau distillée).

Découper, dans une plaque d'acier inoxydable de 0,7 mm d'épaisseur, trois disques de 55 mm de diamètre, percés d'un trou de 1,5 mm de diamètre situé à 2 ou 3 mm de la périphérie.

Réaliser l'essai sur 3 éprouvettes par produit.

- Repérer les 3 éprouvettes,
- Vérifier l'horizontalité de la balance (niveau à bulle),
- Poser l'éprouvette sur le plateau,
- Effectuer 3 pesées de l'éprouvette "dans l'air"; soit  $m_1$  la moyenne des masses mesurées de l'éprouvette, exprimée en grammes,
- Immerger l'éprouvette fixée à son support dans le liquide de déplacement. Le niveau du liquide qui doit se situer au moins à 5 mm au-dessus de l'éprouvette,

- Effectuer la pesée de l'éprouvette immergée dans le liquide de déplacement,

- Sécher l'éprouvette,

- Effectuer 2 autres pesées (en séchant entre les 2 pesées) ; soit  $m_2$  la moyenne des masses mesurées de l'éprouvette, exprimée en grammes,

- Effectuer les mêmes manipulations sur les 2 autres éprouvettes.

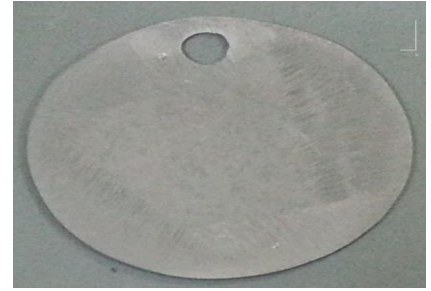


Figure III-7 : Image d'une plaque d'acier inoxydable

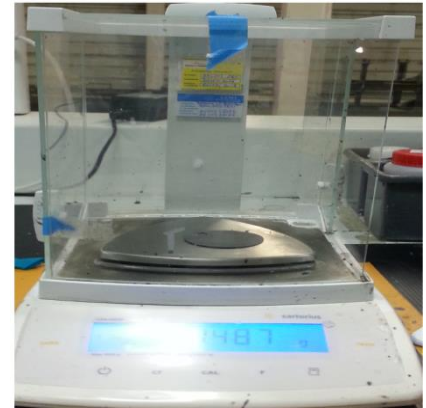


Figure III-8 : Image du pesage d'une plaque d'acier inoxydable



Figure III-9 : Image du pesage de l'immersion d'une plaque d'acier inoxydable dans l'eau

Le produit à mesurer doit être parfaitement homogène, sans bulle, mousse, peau ou corps étrangers. Les opérations d'immersion et de trempage dans les différents liquides doivent être effectuées de telle sorte qu'aucune bulle d'air ne reste fixée sur les éprouvettes immergées.

### Préparation et application des éprouvettes

- Fixer les 3 éprouvettes sur un support pour qu'ils restent stables pendant le passage dans le TTS et la cataphorèse,



Figure III-10 : Image de fixation des plaques d'acier inoxydables au cours de l'électrodéposition

- Après les éprouvettes sont placés dans l'étuve à 80°C pendant 10 minutes puis à 140°C pendant 15 minutes.

- Laisser refroidir les éprouvettes dans le dessiccateur durant 1 heure.

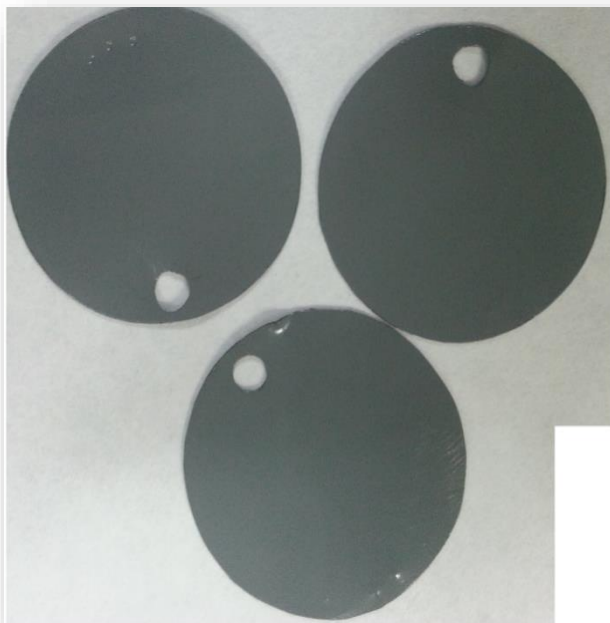


Figure III-11 : Images de refroidissement des plaques d'acier inoxydables après l'électrodéposition

### ***DETERMINATION DU VOLUME DE L'ÉPROUVETTE APRES APPLICATION***

La pellicule sèche ne doit subir aucune altération lors de l'immersion dans le liquide de déplacement.

- Effectuer 3 pesées de l'éprouvette "dans l'air" ; soit **m3** la moyenne des masses mesurées de l'éprouvette, exprimée en grammes,
- Effectuer la pesée de l'éprouvette immergée dans le liquide de déplacement, soit **m4** la moyenne des masses mesurées de l'éprouvette, exprimée en grammes.

### ***EXPRESSION DES RESULTATS***

Le volume de l'éprouvette "V1" avant application du revêtement, exprimé en centimètres cubes (cm<sup>3</sup>), est obtenu à l'aide de la formule suivante:

$$V_1 = \frac{m_1 - m_2}{\rho}$$

- m1 = masse de l'éprouvette pesée "dans l'air", exprimée en grammes (g),
- m2 = masse de l'éprouvette immergée dans le liquide de déplacement, exprimée en grammes (g),
- ρ = masse volumique du liquide de déplacement, exprimée en grammes par centimètre cube (g/cm<sup>3</sup>).

### ***DETERMINATION DU VOLUME DE L'ÉPROUVETTE APRES APPLICATION***

Le volume de l'éprouvette "V2" après application du revêtement, exprimé en centimètres cubes (cm<sup>3</sup>), est obtenu à l'aide de la formule suivante :

$$V_2 = \frac{m_3 - m_4}{\rho}$$

- m3 = masse de l'éprouvette pesée dans l'air exprimée en grammes (g),
- m4 = masse de l'éprouvette immergée dans le liquide de déplacement exprimée en grammes (g),
- ρ = masse volumique du liquide de déplacement exprimée en grammes par centimètre cube (g/cm<sup>3</sup>).

### ***DETERMINATION DE LA MASSE VOLUMIQUE DE LA PELLICULE SECHE APPLIQUEE***

La masse volumique "MV" de la pellicule sèche appliquée, exprimée en grammes par centimètre cube (g/cm<sup>3</sup>), est obtenue à l'aide de la formule suivante :



$$MV = \frac{m_3 - m_1}{V_2 - V_1}$$

- m1 = masse de l'éprouvette pesée dans l'air avant application du revêtement exprimée en grammes (g),
- m3 = masse de l'éprouvette pesée dans l'air après application du revêtement exprimée en grammes (g),
- V1 = volume de l'éprouvette avant application du revêtement exprimé en centimètres cubes (cm<sup>3</sup>),
- V2 = volume de l'éprouvette après application du revêtement exprimé en centimètres cubes (cm<sup>3</sup>)

#### 5. Livraison de produit[5] :

Après une observation visuelle des containers des produits (pâte + liant), on a remarqué que des quantités importantes restent dans les containers une fois vidés, et surtout la pâte puisqu'elle est plus visqueuse. Il reste inévitablement du produit resté collé aux parois et au fond du container. C'est pourquoi on a procédé à une pesée « plein » puis « vide » d'un container de la pâte et d'un container du liant afin de déterminer un pourcentage de perte que l'on pourra généraliser à tous les containers.

Cette démarche a été réalisée plusieurs fois pour chaque produit (Pâte et liant), en déterminant un pourcentage de perte (= quantité restée dans la citerne / Quantité totale de livraison).



Figure III-12 : Image des containers de la pâte et du liant vides



## 6. Contrôle des épaisseurs de cataphorèse [5]:

Le contrôle des épaisseurs se fait par un appareil PHASCOPE sur différents point de la surface de véhicule.

Reper A :

Zone agressées :  $18\mu\text{m}$  d'épaisseur cataphorèse.

Reper B :

Autres zones de la voiture :  $15\mu\text{m}$  d'épaisseur cataphorèse.



Figure III-13 : Image de PHASCOPE

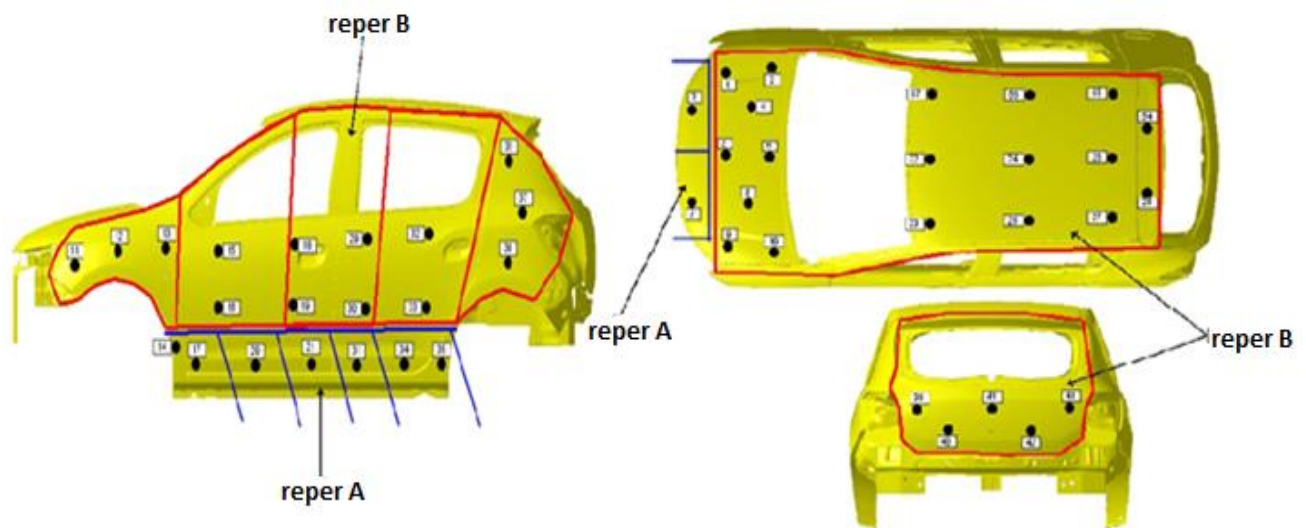


Figure III-14 : Schéma du mesure des points d'épaisseurs cataphorèse sur la véhicule

## II. Résultat et interprétation

- Consommation réelle :

Le graphe suivant regroupe les résultats de la consommation réelle hebdomadaire :

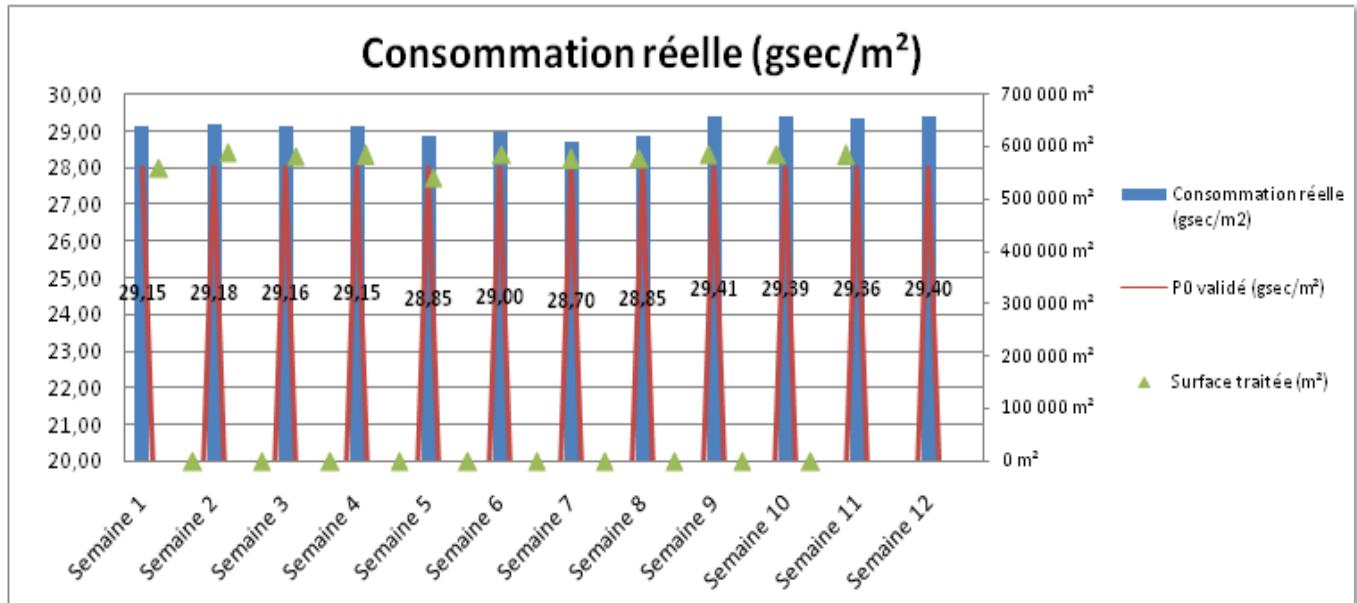


Figure III-15 : Courbe de la consommation réelle hebdomadaire

• D'après le graphe on remarque que la consommation est toujours élevée par rapport à la valeur exigée par Renault (P0 validé= 28 gsec/m²). Cette surconsommation de produit due essentiellement aux pertes.

On faisant la moyenne de ces résultats pour les transformer en consommation réelle mensuelle.

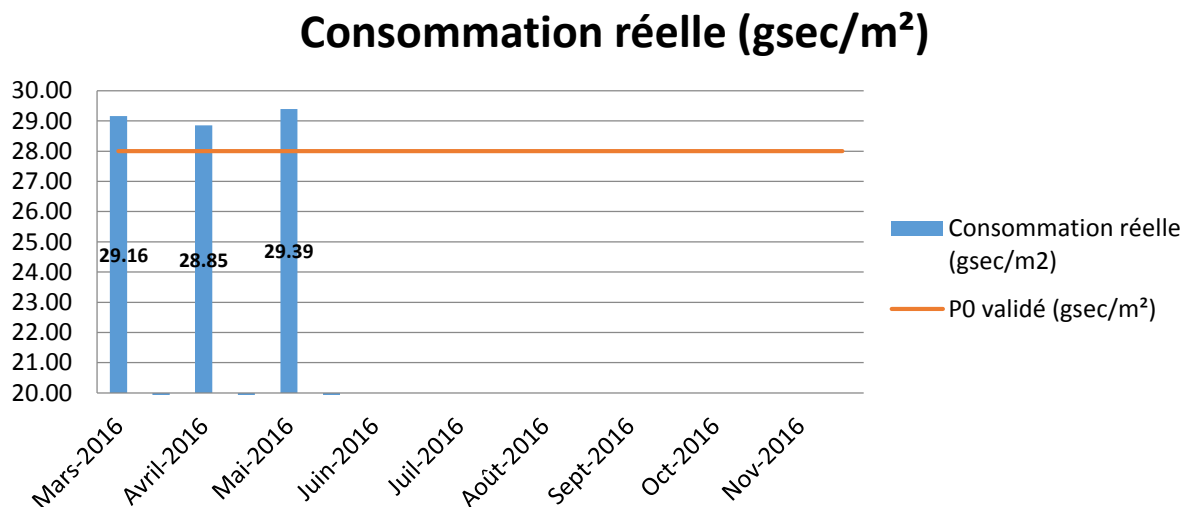


Figure III-16 : Courbe de la consommation réelle mensuelle

On calcule la différence entre la valeur  $P_0$  validé (gsec/m<sup>2</sup>) et la valeur à la moyenne de la surconsommation et on la chiffre en coût :

-Dans le cas normal : 28gsec/m<sup>2</sup>  $\longleftrightarrow$  0,148Euro/m<sup>2</sup>

- le cas actuelle : 29.13gsec/m<sup>2</sup>  $\longleftrightarrow$  X=0,154 Euro/m<sup>2</sup>

Donc :  $0,148 * 112 = 16.576$  Euro/véhicule (la valeur 112 est la surface moyenne des véhicules en m<sup>2</sup>)

$0,154 * 112 = 17,248$  Euro/véhicule

La différence est de : **17,248-16,576 = 0,672 Euro/véhicule**

Si on prend la production du 3 mois (Mars, Avril, Mai) on trouve : **0,672\* 80818= 54309.696 Euro.**

Ce qui correspond presque de : **543096.96DH.**

Avec : 80818 nombre totale des véhicules produit durant 3 mois.

- Type des pertes de bain:

Le graphe suivant indique l'influence de différentes sources des pertes et leurs proportions DSCR Cata :

#### ✚ Introduction au DSCR

Le DSCR (Design Standard Consumption Ratio) est un indicateur de performance de consommation. Ce n'est ni plus ni moins que le ratio entre la consommation réelle et la consommation utile.

L'objectif premier du DSCR est de faire la distinction entre la consommation utile et les « pertes » de produits. Nous savons que cette consommation utile est bien entendu utopique mais elle permet de connaître la non performance d'un processus de fabrication.

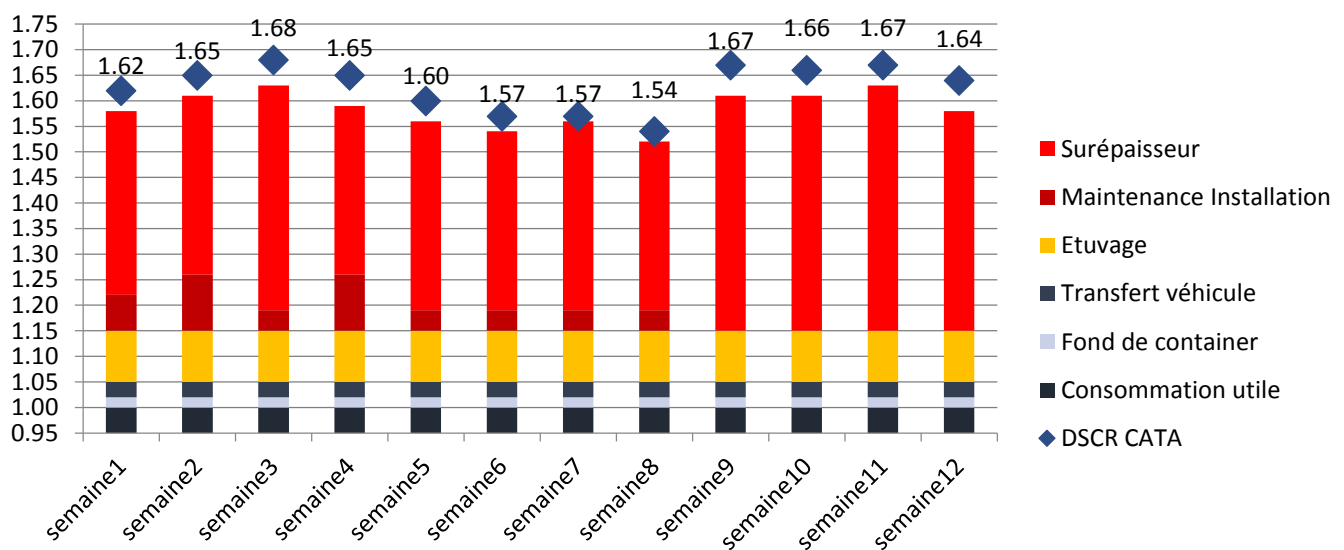


Figure III-17: Courbe des différentes sources des pertes hebdomadaires

En représentant ces résultats hebdomadaires sous forme des proportions des pertes mensuelle.

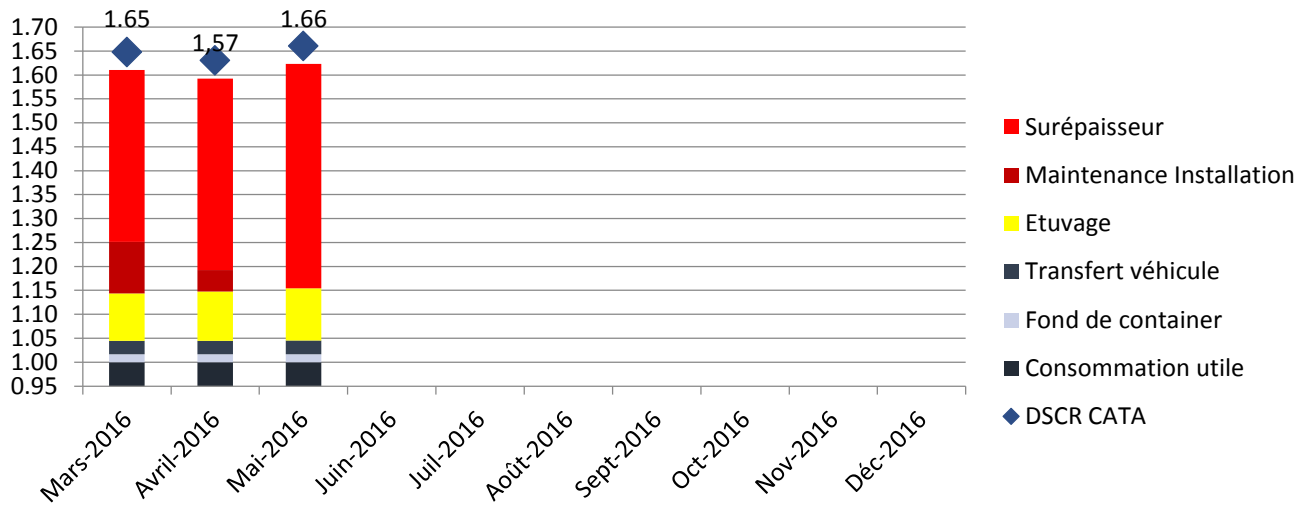


Figure III-18 : Courbe des différentes sources des pertes mensuelles

Suivant ces résultats on constate que, en cataphorèse, les pertes par entrainement véhicule, étuvage, maintenance d'installation et fond de container sont jugées incompressible par rapport à la perte par surépaisseur.

Cette surépaisseur est bien considérée comme perte de produit puisque c'est de la sur-qualité.

La cible en cataphorèse sera fixée en fonction des épaisseurs, la meilleure configuration d'épaisseur déjà observées (sous réserve de bien respecter les spécifications d'épaisseurs) sur un site sera la cible de consommation.

Donc on a proposé d'agir sur un seul paramètre afin de remédier le problème de perte surépaisseur et sans l'influence sur la stabilité des autres paramètres du bain, car on a remarqué que la variation de ce paramètre entraine une influence direct sur l'épaisseur. C'est la tension du redresseur.

La tension appliquée dans le bain est de  $U=370V$ , si on la réduire à une valeur de  $U=270V$ , l'épaisseur atteindra la valeur cible (20 micromètre) et bien évidemment dans cette condition la consommation va diminuer d'une valeur presque de  $1 \text{ gsec/m}^2$ .

➤ **Un nouveau coût :**

Avant  $28 \text{ gsec/m}^2 \longleftrightarrow 0,148 \text{ Euro/m}^2$

$\longrightarrow 0.148 * 112 = 16.576 \text{ Euro/véhicule}$

Après  $27 \text{ gsec/m}^2 \longleftrightarrow X = 0.143 \text{ Euro/m}^2$

$$\Rightarrow 0.143 \cdot 112 = 16.016 \text{ Euro/m}^2$$

La différence est de : **0.56 Euro/véhicule**

$$\Rightarrow \text{La production de 3 mois (mars, avril, mai) : } 0.56 \cdot 80818 = 45258.08 \text{ Euro}$$

$$\text{Donc pendant une année : } 543096.96 \text{ Euro } \Rightarrow 5.430969.6 \text{ DH/an.}$$

Le diagnostique, l'analyse et l'interprétation de la consommation et des pertes des produits au niveau de la ligne cataphorèse nous a amené à découvrir des pertes de sur-qualité, partie des sept MUDA à éviter.

Une qualité optimale représente le lien de confiance entre le client et l'entreprise mais dans un contexte de satisfaction à la fois du producteur et de consommateur. Une sur-qualité est un déficit pour le producteur en terme de perte et du coût monétaire.

Le plan d'action proposé c'était la diminution de la tension du redresseur pour optimiser les pertes surépasseurs ainsi de produit et aussi d'énergie.

Ce plan d'action proposé est bien désiré par l'entreprise et ça sera un pas favorable vers l'amélioration de la productivité. Mais l'application de cette approche reste toujours un point d'interrogation du fait on craint d'avoir une influence sur les différents paramètres essentiellement la conductivité et le pH qui favorisent la stabilité du bain.

# Conclusion

Toute expérience dans la vie mène à une culture acquise, en ce qui concerne mon stage, c'était une expérience très fructueuse dans le sens où elle m'a permis de mettre à l'épreuve un savoir acquis. Et elle m'a offert une réelle occasion pour satisfaire la curiosité de participer aux tâches courantes de la vie professionnelle, vivre des situations pratiques et développer le sens de responsabilité suite à une intégration dans le service de la société.

L'analyse de l'existant sur le processus de cataphorèse m'a permis de déterminer les sources de gaspillage, de cerner les faiblesses, et de les prendre en considération lors de la mise en place des actions correctives.

L'action corrective proposée se base essentiellement sur la diminution de la tension du redresseur de 370 V à 270 V. Cette approche corrective mène l'entreprise à gagner un montant d'environ de **5 MDH/an**. Sans prendre en compte le gain du coût de l'énergie.

Sur le côté personnel j'ai appris à adopter mes connaissances au contexte du travail sur les projets, en améliorant mon relationnel avec l'ensemble des collaborateurs et en travaillant en équipe. En somme mon expérience de stagiaire chez RENAULT est soldée par un bilan positif, car l'entreprise et l'ensemble des collaborateurs n'ont ménagé aucun effort pour me permettre de bien mener à terme ma mission.



## Références

- <http://iff.intra.renault.fr/iff/control/home>. [1]
- FICHE STANDARD RENAULT [2]
- STANDARD FOPS PROCESS TRAITEMENT DE SURFACE (TTS) [3]
- STANDARD FOPS PROCESS CATAPHORESE [4]
- Méthode d'essai de RENAULT [5]