

SOMMAIRE

SOMMAIRE	I
LISTE DES TABLEAUX.....	IV
LISTE DES FIGURES	V
GLOSSAIRE.....	VII
INTRODUCTION	1
PREMIERE PARTIE : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE	3
A. Généralités sur les peintures.....	4
A. 1. Définition	4
A. 1. Constituants.....	4
A.1.1. Liant	4
A.1.1. Pigments.....	5
A.1.1. Charges	5
A.1.2. Solvants	6
A.1.1. Additifs	6
A. 2. Peinturages	6
A.2.1. Première couche	7
A.2.2. Couche intermédiaire.....	7
A.2.3. Couche de finition	7
A. 3. Aspect de la peinture	7
A.3.1. Peinture mate	7
A.3.2. Peinture satinée	7
A.3.3. Peinture brillante.....	8
A.3.4. Peinture laquée	8
A. 4. Méthodes de performances et d'identifications	8
A. 5. Différents types de peintures selon les solvants.....	9
A.5.1. Peinture en phase solvant organique.....	9
A.5.2. Peinture en phase aqueuse.....	10
B. Peinture acrylique.....	11
B. 1. Définition	11
B. 2. Historique	11
B. 3. Constituants	11
B.3.1. Liant	11
B.3.2. Matières pulvérulentes.....	12
B.3.3. Milieu de suspension.....	12
B.3.4. Additifs	12
B. 4. Caractéristiques	13
B.4.1. Principales caractéristiques	13
B.4.2. Séchage	13
B.4.3. Nettoyage	13
B.4.4. Fabrication	14
B. 5. Applications	14
B.5.1. Application de la peinture sur une pièce (plafond, mur, porte et fenêtre).....	14
B.5.2. Préparations	14
B.5.3. Applications industrielles.....	15
B.5.4. Autres applications de la peinture acrylique	16
B. 6. Système ordonné de couleurs	18

<i>B.6.1. Teinte</i>	18
<i>B.6.2. Luminosité</i>	18
<i>B.6.3. Saturation</i>	19
<i>B.6.4. Permanence</i>	19
C. Hygiène et sécurité	19
C. 1. Etiquetage	19
<i>C.1.1. Arsenic</i>	20
<i>C.1.2. Baryum</i>	20
<i>C.1.3. Cadmium</i>	21
<i>C.1.4. Chrome</i>	21
<i>C.1.5. Plomb</i>	21
<i>C.1.6. Mercure</i>	21
<i>C.1.7. Sélénium</i>	22
<i>C.1.8. Argent</i>	22
C. 2. Sécurités pour les travaux de peinture	22
D. Plan d'expériences	23
D. 1. Définition	23
D. 2. Termes de base.....	23
<i>D.2.1. Facteurs</i>	24
<i>D.2.1. Espace expérimental</i>	24
<i>D.2.2. Réponse</i>	24
<i>D.2.3. Niveaux</i>	24
<i>D.2.4. Domaine du facteur</i>	24
<i>D.2.5. Points expérimentaux</i>	25
<i>D.2.6. Domaine d'étude</i>	25
<i>D.2.7. Surface de réponse</i>	25
<i>D.2.8. Isoréponse</i>	26
D. 3. Modélisation.....	26
D. 4. Choix du plan	27
<i>D.4.1. Plan factoriel</i>	27
<i>D.4.2. Plan composite centré</i>	28
<i>D.4.3. Plan de Doehlert</i>	29
<i>D.4.4. Plan de Box-Benhken</i>	30
DEUXIEME PARTIE : PARTIE EXPERIMENTALE.....	31
A. Matériels et méthodes	32
B. Choix des constituants	32
B. 1. Eau.....	32
B. 2. Charges.....	32
<i>B.2.1. Dolomie</i>	33
<i>B.2.2. Carbonate de calcium</i>	33
B. 3. Pigments	33
B. 4. Liants	34
<i>B.4.1. Résine alkyde</i>	35
<i>B.4.2. Polymère acrylique</i>	<i>Erreur ! Signet non défini.</i>
C. Polymères.....	35
C. 1. Définition	35
C. 2. Exemples les plus courants	36
C. 3. Polymérisation.....	36
C. 4. Polymères acryliques.....	36
D. Appareillage et mode opératoire	36

D. 1. Description des matériels	36
D. 2. Dimensionnement de l'agitateur	39
<i>D.2.1. Mobile : type</i>	39
<i>D.2.2. Mobile : vitesse</i>	39
<i>D.2.3. Mobile : positionnement</i>	41
D. 3. Mode opératoire	41
E. Essais préliminaires	42
E. 1. Détermination de la quantité d'eau.....	42
E. 2. Détermination du domaine	42
<i>E.2.1. Plan de Doeblert</i>	43
<i>E.2.2. Choix des facteurs</i>	43
<i>E.2.3. Choix des réponses</i>	44
<i>E.2.4. Choix des niveaux</i>	45
E. 3. Résultats	46
F. Optimisation par plan de Doeblert.....	49
F. 1. Méthodologie.....	49
F. 2. Résultats.....	52
<i>F.2.1. Temps de séchage</i>	52
<i>F.2.2. Pouvoir couvrant</i>	53
<i>F.2.3. Masse volumique</i>	53
<i>F.2.1. Résistance à l'eau</i>	53
F. 3. Modélisation	53
<i>F.3.1. Temps de séchage</i>	55
<i>F.3.2. Pouvoir couvrant</i>	58
<i>F.3.3. Masse volumique</i>	61
<i>F.3.4. Résistance à l'eau</i>	64
F. 4. Détermination de l'optimum multiréponse.....	66
CONCLUSION.....	68
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	70

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Liants fréquemment utilisés	5
Tableau 2 : Principaux pigments utilisés en peinture.....	5
Tableau 3 : Charges fréquemment utilisées en peinture.....	6
Tableau 4 : Liste des additifs et leurs fonctions	13
Tableau 5 : Mode d'application pour les peintures industrielles.....	16
Tableau 6 : Essais préliminaires.....	42
Tableau 7 : Coordonnées réduites et réelles des facteurs X_1 , X_2 et X_3	46
Tableau 8 : Matrice expérimentale en coordonnées réduites	47
Tableau 9 : Coordonnées réelles de la matrice d'expériences	47
Tableau 10 : Matrices d'expérimentations et des réponses	48
Tableau 11 : Coordonnées réduites et réelles des facteurs X_1 , X_2 et X_3	50
Tableau 12 : Matrice d'expériences en coordonnées réelles	51
Tableau 13 : Quantités des constituants et les résultats correspondant.....	52
Tableau 14 : Matrice des résultats expérimentaux et des résultats modélisés.....	55
Tableau 15 : Coordonnées des points présentant les optimums pour chaque réponse.....	66

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Espace expérimental	24
Figure 2 : Représentation du plan d'expériences à deux facteurs	25
Figure 3 : Surface de réponse	26
Figure 4 : Plan factoriel complet 3^k à 3 facteurs	28
Figure 5 : Plan composite pour deux facteurs	28
Figure 6 : Plan composite pour trois facteurs.....	29
Figure 7 : Plan de Doehlert à 2 facteurs	29
Figure 8 : Plan de Doehlert à trois facteurs	30
Figure 9 : Plan de Box-Benhken à trois facteurs.....	30
Figure 10 : Photographies de la dolomie (a) et du CaCO_3 (b)	33
Figure 11 : Dioxyde de titane rutile R937 (a) et dioxyde de titane rutile premtec (b)	34
Figure 12 : Installation complet du réacteur.....	37
Figure 13 : Réacteur en verre	38
Figure 14 : Photographie de la colonne de distillation.....	38
Figure 15 : Agitateur à ancre modifiée.....	39
Figure 16 : Poules et moteur	40
Figure 17 : Cuve de Rushton.....	41
Figure 18 : Plan de Doehlert à 3 facteurs vu sur le plan X_1X_2 et présentant les 15 essais.....	48
Figure 19 : Nouveau domaine du facteur X_1	50
Figure 20 : Nouveaux points et domaine expérimentaux pour le plan de Doehlert à trois facteurs superposés à l'ancien plan.....	51
Figure 21 : Surface de réponses et courbes d'interaction pour Y_1 en fonction de X_1 et X_2 avec $X_3 = 0$	55
Figure 22 : Surface de réponses et courbes d'interaction de Y_1 en fonction de X_1 et X_3 pour X_2 = 0.....	56
Figure 23 : surface de réponse et courbes d'interaction de Y_1 en fonction de X_2 et X_3 pour X_1 = 0.....	56
Figure 24 : courbes représentant $Y_1=f(X_3)$ avec $(X_1, X_2) = (+1, 0)$ et $Y_1=f(X_2)$ avec $(X_1, X_3) =$ $(+1, 0)$	58
Figure 25 : surface de réponse et courbes d'interaction de Y_2 en fonction de X_1 et X_2 pour X_3 = 0.....	59
Figure 26 : surface de réponse et courbes d'interaction de Y_2 en fonction de X_1 et X_3 pour $X_2 =$ 0.....	59
Figure 27 : surface de réponse et courbes d'interaction de Y_2 en fonction de X_2 et X_3 pour $X_1 =$ 0.....	60
Figure 28 : surface de réponse et courbes d'interaction de Y_3 en fonction de X_1 et X_2 pour X_3 = 0.....	62
Figure 29 : surface de réponse et courbes d'interaction de Y_3 en fonction de X_1 et X_3 pour $X_2 =$ 0.....	62
Figure 30 : surface de réponse et courbes d'interaction de Y_3 en fonction de X_2 et X_3 pour $X_1 =$ 0.....	63
Figure 31 : surface de réponse et courbes d'interaction de Y_4 en fonction de X_1 et X_2 pour X_3 = 0.....	64
Figure 32 : Surface de réponse et courbes d'interaction de Y_4 en fonction de X_1 et X_3 pour X_2 = 0.....	65
Figure 33 : surface de réponse et courbes d'interaction de Y_4 en fonction de X_2 et X_3 pour $X_1 =$ 0.....	65

Figure 34 : Superposition des surfaces de réponses 67

GLOSSAIRE

Filmogène : se dit des peintures aptes à former un film.

Opacité : capacité d'une surface à ne pas être traversée par la lumière.

Thermoplasticité : état d'un polymère qui, sous l'action de la chaleur, fond ou se ramollit suffisamment pour pouvoir être mis en forme.

Thermodurcissabilité : se dit d'un polymère dont les macromolécules s'unissent sous l'action de la chaleur, par liaison chimique.

Réflexion spéculaire : une réflexion pour laquelle, il y a un rayon de lumière projetée sur une surface parfaitement plane et qui est réfléchie dans une direction unique. L'angle de réflexion est égal à l'angle incident.

Réflexion diffuse : type de réflexion lumineuse qui peut être perçue lorsqu'un faisceau lumineux, projeté sur une surface irrégulière, est réfléchi dans toutes les directions.

Système lymphatique : ensemble des structures qui participent à la formation et à la circulation de la lymphe.

Argiria : pigmentation bleuâtre ou noirâtre de la peau.

INTRODUCTION

L'utilisation de la peinture remonte à la préhistoire. Les hommes l'appliquaient sur les murs pour des raisons esthétiques, religieuses voire mercantiles. Depuis, l'utilisation de la peinture a connu un changement, surtout après la construction des maisons en bois ou avec d'autres matériaux. A cette époque, la peinture était fabriquée en mélangeant de l'eau à des terres colorées pour obtenir une pâte. Cette peinture ne supportait pas l'agression de l'eau. Les hommes cherchaient alors des moyens pour avoir des peintures plus résistantes en ajoutant des produits insolubles dans l'eau comme les jaunes d'œufs, les graisses animales, etc. A partir du 19^{ème} siècle, avec l'évolution des industries de la peinture, les peintures synthétiques ont fait leur apparition. Les peintures à base d'huile demeurent les plus utilisées à cette période. A cause de l'exigence des utilisateurs qui ne cessaient de croître, les fabricants étaient obligés d'utiliser des produits chimiques souvent néfastes à la santé et à l'environnement. Dans les années 1940, après plusieurs années de recherche, les peintures à base d'eau ont fait leur place. Ensuite, vers les années 1950, la peinture acrylique, également à base d'eau, est apparue en Amérique du Sud. Aujourd'hui, à cause de la société de consommation toujours plus exigeante, elle est la peinture la plus populaire pour des raisons écologiques et à cause de sa facilité de dilution à l'eau, de sa rapidité de séchage, de son prix, de sa résistance au vieillissement et de sa faible toxicité.

A Madagascar, les fabricants de peintures n'apparaissaient que dans les années 1980. Actuellement, les fabricants de peintures se multiplient et les marchés sont envahis par différentes marques. Cependant, la qualité de la plupart des produits locaux n'arrivent pas encore à concurrencer celle des produits importés. Une étude approfondie de ce type de peinture a été faite afin d'améliorer sa qualité. Et notre objectif est d'obtenir des peintures acryliques qui résistent à toutes sortes d'agressions avec un pouvoir couvrant élevé et qui sèchent rapidement. Ces propriétés sont les critères déterminant dans le choix d'une peinture. Plusieurs paramètres entrent dans la formulation de la peinture. L'utilisation de la méthode de modélisation par les plans d'expériences est donc nécessaire pour optimiser les conditions opératoires afin d'obtenir des peintures d'excellente qualité.

Cette étude est divisée en deux grandes parties. La première partie porte sur les généralités sur les peintures et sur la méthode de modélisation par les plans d'expériences. La deuxième partie, subdivisée en deux sous-parties, concerne l'expérimentation où les matériels et les

méthodes seront tout d'abord détaillés. Les résultats seront par la suite présentés et discutés. Une conclusion générale terminera ce travail.

PREMIERE PARTIE :
REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

A. Généralités sur les peintures

La peinture est, le plus souvent, utilisée à titre décoratif. Par ailleurs, dans le domaine purement technique, on l'utilise pour se protéger de l'humidité et protéger les métaux de la corrosion, etc. [Etienne, 2008].

A. 1. Définition

Une peinture est un matériau liquide ou pulvérulent qui, après l'application d'une couche mince sur un support, donne, par un processus physique ou chimique, un film mince adhérent protecteur et/ou décoratif. Elle peut s'étaler en couche mince sur toutes sortes de matériaux appelés subjectiles. La couche mince forme, après séchage ou durcissement, un revêtement mince adhérent et résistant [INRS, 2006].

A. 1. Constituants

Valables pour tous types de peintures, les peintures sont généralement constituées par un ou plusieurs liant(s), un ou plusieurs pigment(s), un ou plusieurs solvant(s), une ou plusieurs charge(s) et/ou un ou plusieurs additif(s) [Serge, 2008].

A.1.1.Liant

Appelé également résine, le liant joue un rôle important dans la formulation de la peinture. Composant principal de la peinture, il lie ensemble les constituants de la peinture. Il assure également la cohésion du film de peinture et son adhérence sur le support ainsi que la protection contre les agressions extérieures. Le liant peut être d'origine naturelle ou synthétique.

Le tableau 1 présente quelques liants naturels et synthétiques utilisés dans la fabrication des peintures.

Tableau 1 : Liants fréquemment utilisés

Les liants naturels	Huiles, gommes, féculles
Les liants synthétiques	Epoxyde, éther cellulosique, formol phénolique (phénoplaste), polyester-uréthane, urée, formol (aminoplaste), polyuréthane, acrylique, vinylique, alkyde, etc.

A.1.1.Pigments

Ils donnent à la peinture sa couleur et son opacité. On utilise, le plus souvent, du dioxyde de titane (pigment blanc) pour apporter la blancheur et l'opacité à la peinture. Les pigments peuvent être d'origine minérale ou organique.

Les pigments minéraux peuvent être d'origine naturelle (ocre) ou d'origine synthétique comme la plupart des oxydes de fer jaune ou rouge qui sont très utilisés dans les bâtiments.

Les pigments organiques sont généralement d'origine synthétique. Ils offrent une grande variété de couleurs (violet, magenta, etc.). En revanche, ils sont généralement moins résistants à la lumière et aux acides que les pigments minéraux.

Les pigments les plus utilisés sont donnés dans le tableau 2.

Tableau 2 : Principaux pigments utilisés en peinture

Couleurs	Pigments
Blanches	Dioxyde de titane, lithopone, oxyde de zinc
Noires	Oxyde de fer, noir de fumée, noir de carbone
Vertes	Oxyde de chrome, oxyde de chrome hydraté, vert de chrome, vert de cobalt
Bleues	Bleu outremer, ferrocyanure ferrique, bleu de cobalt
Violettes	Oxydes de fer naturels et synthétiques, violet de manganèse, violet de cobalt
Rouges	Oxyde de fer, rouge de molybdène, rouge de cadmium
Orangées	Orange de chrome, orange de molybdène
Jaunes	Oxyde de fer, jaune de zinc, jaune de chrome, chromate et sulfate de plomb, jaune de cadmium

A.1.1.Charges

Ce sont des substances minérales insolubles qui jouent un rôle important sur les propriétés physiques de la peinture telles que la compacité, la résistance, l'imperméabilité, etc. Elles sont utilisées pour augmenter l'extrait sec et l'épaisseur du film. Contrairement aux pigments, elles ne sont pas responsables de la couleur ni de l'opacité. Cependant, elles sont utilisées pour améliorer la matité du film. Le carbonate de calcium en est un exemple; on l'utilise surtout pour des raisons économiques. C'est donc la charge la plus répandue.

Le tableau 3 donne les différents produits minéraux employés comme charges

Tableau 3 : Charges fréquemment utilisées en peinture

Familles des minéraux	Charges minéraux
Silicates	Silicate de calcium, wollastonite, mica, kaolin, talc
Oxydes	Quartz, silice, diatomée, alumine
Carbonates	Carbonate de calcium ou chaux, dolomie
Sulfates	Barytine (sulfate de baryum), blanc fixe

A.1.2.Solvants

La phase de dissolution est composée d'eau et/ou de solvant organique. Les solvants organiques permettent d'ajuster la viscosité de la peinture tandis que l'eau est utilisée comme diluant en phase aqueuse. Les résines utilisées dans la peinture en phase aqueuse ne sont pas dissoutes mais simplement dispersées dans l'eau.

Après application, l'évaporation des solvants et le durcissement du film de peinture se font simultanément.

Auparavant, le solvant le plus utilisé était le white spirit pour les peintures décoratives. Actuellement, il est remplacé peu à peu par d'autres solvants à faibles odeurs et qui sont beaucoup plus faciles à utiliser.

A.1.1. Additifs

Les additifs, appelés également adjutants, font partie des constituants de la peinture. Utilisés généralement à faible dose, ils ont pour rôle de modifier certaines propriétés comme la résistance aux feux. Ils sont également utilisés comme épaississant, stabilisant, anti ultraviolet, etc. Les additifs les plus utilisés pour la modification des propriétés de la peinture sont les siccatis, les anti-peaux, les agents dispersants, les agents mouillants, les fongicides, les agents de coalescence, etc.

A. 2. Peinturages

Les peinturages peuvent être constitués par l'ensemble de couches compatibles, de nature et de fonctions différentes et complémentaires. Ces couches assurent la protection, la texture et la couleur du support.

On distingue la première couche, la couche intermédiaire et la couche de finition.

A.2.1. Première couche

La première couche, possédant la propriété d'anticorrosion, assure le contact et l'adhérence sur le support. On parle de primaire si le support est non-absorbant (plastique, métal, etc.) et d'impression lorsqu'il s'agit d'un support absorbant (bois, maçonnerie, etc.).

A.2.2. Couche intermédiaire

Appelée également sous couche ou surfaceur, elle sert surtout à masquer les inégalités des supports.

A.2.3. Couche de finition

Dernière couche de peinture, elle apporte l'aspect visuel final. Elle supporte les agressions extérieures, la lumière, le choc, la température, divers produits chimiques, etc. [Peschke, 2001].

A. 3. Aspect de la peinture

L'aspect de la peinture peut être choisi : mat, satiné, brillant ou laqué.

A.3.1. Peinture mate

Elle est surtout utilisée pour masquer au maximum les imperfections de la surface. En d'autre terme, une peinture mate va gommer les imperfections du mur qui n'est pas totalement plan. Plus une peinture est mate, moins il y aura de reflet de lumière et plus elle est poreuse. Une peinture poreuse peut résister au lavage, c'est-à-dire à l'abrasion humide. En revanche, elle ne résiste pas aux taches qui ont pénétré dans le film poreux.

Idéale pour les chambres à coucher et le salon, elle est surtout utilisée pour le plafond.

A.3.2. Peinture satinée

Les peintures satinées sont utilisées pour les pièces à fort passage comme les couloirs et les entrées puisqu'elles permettent d'obtenir un aspect poché. Elles sont également adaptées aux chambres d'enfants, aux cuisines et aux salles de bains. En effet, plus une peinture est satinée, plus elle réfléchit la lumière et résiste aux lessivages et aux taches. En d'autre terme, une peinture satinée, avec une brillance modérée, possède, par conséquent, un degré élevé de résistance.

A.3.3. Peinture brillante

Elle apporte une luminosité qui tend à rendre les pièces plus grandes en raison de son effet miroir. De ce fait, elle rend les couleurs éclatantes et valorise les éléments d'architecture. Elle est très résistante, c'est pour cette raison qu'elle est utilisée pour les pièces utilitaires comme la cuisine, la salle de bains et les sanitaires.

A.3.4. Peinture laquée

Elle offre une finition avec une brillance et un effet de miroir. Elle génère plus de profondeur et plus de luminosité qu'une simple peinture brillante. Toutefois, elle est à appliquer avec prudence puisque dans le plan, la luminosité de la peinture va créer une ombre dès la moindre irrégularité. Elle ne doit s'appliquer que sur des supports qui ne présentent aucun défaut et ne doit donc être utilisée qu'après un travail rigoureux de préparation de support [Anne, 1996].

A. 4. Méthodes de performances et d'identifications

Généralement, les méthodes d'identifications de la peinture peuvent être caractérisées par cinq grandeurs, à savoir :

- La masse volumique,
- l'extrait sec,
- la viscosité,
- la finesse de broyage,
- et le pouvoir couvrant.

Par ailleurs, pour qualifier les produits appliqués, c'est-à-dire pour faire l'évaluation des propriétés liées à la fonction et à la dureté du revêtement, il y a des normes à ne pas négliger tels que :

- le temps de séchage,
- l'adhérence au support et entre couches,
- les résistances mécaniques, c'est-à-dire la dureté, la résistance à la rayure, au choc, au quadrillage et à l'abrasion,
- l'aspect : la texture, la couleur, la brillance après l'application et après vieillissement,
- la durabilité de l'aspect,
- la résistance à la corrosion, aux agressions chimiques et biologiques,
- et la résistance à des agressions spécifiques [Gérard, 2008].

A. 5. Différents types de peintures selon les solvants

On distingue deux types de peintures : la peinture en phase solvant organique et la peinture en phase aqueuse [INRS, 2006].

A.5.1. Peinture en phase solvant organique

La plupart des peintures utilisées dans les industries sont celles en phase solvant organique.

La peinture en phase solvant organique, connue également sous l'appellation de « peinture à l'huile », est une peinture que l'on peut diluer avec un solvant organique. Ces peintures contiennent des résines, des pigments, des liants, des durcisseurs et des solvants organiques. Elles sont constituées de plus de 50% de solvants organiques qui servent à dissoudre les différents constituants de la peinture. Le solvant permet également d'homogénéiser les différents constituants et d'humidifier la peinture pour une meilleure application et pénétration dans les surfaces à peindre. En revanche, son utilisation pose des problèmes au niveau de la santé et de l'environnement à cause de l'utilisation de solvants organiques. Outre les solvants, d'autres constituants comme les liants, les additifs et également les pigments métalliques peuvent provoquer des risques pour l'organisme. En effet, les peintures peuvent émettre environ $120 \text{ mg.m}^2.\text{h}^{-1}$ de COV (composés organiques volatiles) qui, lors du séchage, peut provoquer des maladies du système nerveux central, des lésions du foie et des reins ainsi qu'une irritation des muqueuses et de la peau. C'est pourquoi, leur utilisation n'est plus recommandée [Jo Crook, 2000].

Il est à noter que les COV sont des substances dont le point d'ébullition se situe entre 50 et 260°C. Par conséquent, ils peuvent se trouver sous forme de vapeur à la température ambiante. L'air à l'intérieur des logements est alors chargé de substances nocives pour l'organisme.

Les impacts des COV sur la santé dépendent des individus. Cela va de la gêne olfactive aux effets cancérogènes en passant par les allergies, l'altération du système nerveux, les troubles hépatiques, digestifs et rénaux ainsi qu'un effet négligeable sur la reproduction [Schuman, 2006].

Citons quelques risques que l'on pourrait rencontrer lors de l'exposition face à des peintures en phase solvant organique :

- Explosion à cause des vapeurs en présence d'une source d'ignition,
- Effet neurologique lors des expositions de courte durée mais à des concentrations importantes,
- Cancer pour certaines substances comme le benzène, etc, [INRS, 2006].

A.5.2. Peinture en phase aqueuse

Ce type de peinture peut être dilué à l'eau. Connue couramment sous l'appellation de « peinture à l'eau », elle est surtout utilisée parce qu'elle est facile à appliquer et ne pose que très peu de risque pour la santé et l'environnement. En effet, l'utilisation d'eau dans sa formulation la rend beaucoup moins agressive que la peinture en phase solvant organique même si, dans ses constituants, on peut encore trouver certains pourcentages de solvants organiques, de pigments, de charges, ainsi que des additifs qui peuvent être nocifs. De ce fait, les peintures en phases aqueuses gagnent de plus en plus de place dans l'industrie et surtout dans les bâtiments face aux peintures en phase solvants organiques [Wieslander, 1994].

Les avantages des peintures à l'eau sont :

- L'utilisation d'un « solvant vert »,
- la réduction de la consommation de solvants et de diluants,
- la réduction du risque d'incendies,
- et la simplification du stockage.

On peut distinguer deux grandes catégories de peintures à base d'eau : les hydrodiluables et les hydrosolubles.

A.5.2.1. Hydrodiluables

Pour les hydrodiluables, le liant est en émulsion dans le diluant. Ils sont constitués de 2 à 5 % d'agent de coalescence (hydrocarbures, éther de glycol, etc.) ralentissant la formation de film. On les utilise surtout dans le secteur du bâtiment.

A.5.2.2. Hydrosolubles

Pour les hydrosolubles, le liant est en solution dans le mélange de la peinture. Les hydrosolubles sont composés de 10 à 15% de co-solvants (alcool, éther de glycol, etc.). Ces derniers réduisent la viscosité de la peinture et donnent une meilleure apparence [Crook, 2006].

La plus récente et la plus courante des peintures en phase aqueuse est la peinture acrylique. Aujourd'hui, elle est la plus utilisée tant par les particuliers que par les professionnels.

Elle présente plusieurs avantages. Elle est facile à appliquer avec un séchage rapide (moins d'une heure). De plus, elle ne jaunit pas au fil du temps. Les outils peuvent être nettoyés à l'eau ou au savon après utilisation. En outre, elle ne présente que de faibles odeurs [Maurice, 2013].

B. Peinture acrylique

B. 1. Définition

C'est la peinture à l'eau qui est constituée de particules de pigments dispersées dans une émulsion de polymère acrylique [Artist, 2007].

B. 2. Historique

Par rapport aux autres types de peinture fréquemment utilisés, les peintures acryliques sont d'usage récent.

Au début du XX^{ème} siècle, la peinture acrylique a tout d'abord été élaborée pour la couleur des travaux d'arts à base de solvant organique. Aux alentours des années 1930, les premiers essais de dispersions acryliques sont réalisés. Ces essais ont engendré, dès l'année 1936 aux Etats Unis, l'élaboration des peintures acryliques en dispersion dans des solvants organiques. C'est en 1955 qu'a été mise au point la première peinture acrylique à l'eau et c'est vers les années 1960 qu'elle a été utilisée pour la première fois par les Anglo-saxons. Dans les années 80, ce type de peinture était devenu la peinture la plus populaire et la plus utilisée, dépassant ainsi l'aquarelle et la peinture à l'huile pour la raison que l'on peut l'utiliser pratiquement sur tous les supports (toile, papier, tissu, cuir, métal, bois, etc.) [Artist, 2007].

La qualité de la peinture acrylique peut s'expliquer par trois raisons :

- Elle colle pratiquement sur tous les supports
- Elle est souple. De ce fait, elle reste souple tout en séchant et en vieillissant sans risque de craquelure.
- Grâce au développement de la chimie, leurs propriétés peuvent être ajustées ou modifiées en fonction du besoin et de l'objectif [Rancillac, 1987].

B. 3. Constituants

Les principaux constituants de la peinture acrylique sont les liants, les matières pulvérulentes (pigments et charges), le milieu de suspension et enfin, les additifs.

B.3.1.Liant

C'est un polymère acrylique dénué d'eau. Il confère à la peinture sa durabilité.

B.3.2. Matières pulvérulentes

B.3.2.1. Pigment

Ne pouvant pas être soluble, le pigment est un composé sec et poudreux qui reste en suspension lorsqu'on le mélange à une émulsion de polymère acrylique. Les pigments peuvent être organiques ou minéraux ; ils peuvent également être d'origine naturelle ou d'origine synthétique.

B.3.2.2. Charge

C'est un composé poudreux, souvent d'origine minérale. Au début, elle était utilisée pour des raisons économiques. C'est avec le développement de la recherche des industries de la peinture que d'autres fonctions de la charge ont été découvertes. Elle est aujourd'hui utilisée pour modifier la viscosité et les propriétés optiques (brillance, aspect). Elle est également utilisée pour renforcer les qualités mécaniques de la peinture.

B.3.3. Milieu de suspension

C'est un mélange d'eau et de polymère qui crée une émulsion de polymère. Le mélange stable est hétérogène.

B.3.4. Additifs

Même si les additifs sont utilisés en faibles quantités, ils peuvent avoir des rôles très importants sur la qualité et la manipulation.

Le tableau 4 montre quelques additifs et leurs lieux d'action dans la peinture.

Tableau 4 : Liste des additifs et leurs fonctions

Additifs	Localisation d'action	Rôles
Agents mouillants	Fabrication	Augmentent la faculté du liant à enrober ou mouillent les particules pigmentaires
Agents dispersants	Fabrication	Facilitent la dispersion des charges et des pigments dans le milieu de suspension
Anti-mousses	Fabrication	Empêchent ou ralentissent la formation de mousses
Agents épaisseurs	Stockage	Augmentent la viscosité de la peinture
Anti-sédimentations	Stockage	Conservent la dispersion des particules de pigments dans la peinture
Anti-peaux	Stockage	Améliorent la conservation de la peinture pendant la mise en boîte
Siccatis	Séchage	Accélèrent le processus d'oxydation
Agents de coalescences	Séchage	Améliorent l'adhésion entre les particules pendant la formation du film homogène
Fongicides	Films secs	Limitent ou éliminent le développement des algues et des moisissures
Absorbeurs UV	Films secs	Protègent le film contre les dégradations par l'absorption des rayons UV

B. 4. Caractéristiques

B.4.1. Principales caractéristiques

Une fois appliquée sur un mur, la peinture acrylique est permanente et indélébile à l'état sec. Par temps froid, elle paraît moins souple et par temps chaud, elle est onctueuse. En outre, la peinture peut être diluée avec un minimum d'eau. Les peintures acryliques peuvent être mélangées seulement avec des peintures à émulsion acrylique. Elle est lessivable, ininflammable et ne produit aucune émanation [Learner, 2009].

B.4.2. Séchage

Le séchage se déroule en plusieurs étapes. Tout d'abord, les particules de résine fusionnent et emprisonnent les pigments pendant l'évaporation de l'eau. La résine de polymère se lie et forme, par la suite, une structure plus ou moins hexagonale et stable. Enfin, il y a production de film de peinture qui est souple, indélébile et ne jaunit pas au cours du temps.

La chaleur accélère le séchage de la peinture tandis que l'humidité le défavorise.

B.4.3. Nettoyage

Lorsqu'elle est au contact de la peau, la peinture acrylique, encore humide ou déjà sèche, peut être nettoyée au savon et à l'eau. En étant humide, les pinceaux et les rouleaux peuvent

également être lavés à l'eau savonneuse. En revanche, une fois sèche, les peintures ne peuvent plus être enlevées de cette façon. L'utilisation des produits comme l'acétone, l'alcool dénaturé ou d'autres produits équivalents deviennent donc indispensables. Leurs utilisations nécessitent beaucoup de prudence.

Sur les vêtements, si elle est encore humide, elle peut être lavée avec de l'eau ou un nettoie vitre. En revanche, une fois sèche, elle est permanente.

B.4.4. Fabrication

La peinture acrylique est obtenue en mélangeant les pigments en poudre à un adhésif acrylique. Ce dernier a un aspect laiteux quand il est humide, mais devient transparent en séchant, laissant apparaître ainsi la véritable couleur du pigment.

Tous les ingrédients sont soigneusement pesés et testés avant d'être mélangés. Cette précision et ce contrôle rigoureux lors de la préparation permettent de produire et de reproduire des milliers de tubes de peinture d'une même couleur, de consistance égale et d'une qualité pratiquement identique [Maurice, 2013].

B. 5. Applications

On peut appliquer les peintures acryliques dans divers champs d'application. Il convient aux travaux de bricolage et de décoration sur le métal, le bois, le verre, la pierre, la céramique, le carton et les plastiques durs et pour l'industrie dans des travaux consistant en un séchage rapide et en un vaste choix de teinte [Maurice, 2013].

B.5.1. Application de la peinture sur une pièce (plafond, mur, porte et fenêtre)

La préparation et l'application de la peinture nécessitent de la méthodologie. Il y a différentes étapes et quelques conditions d'utilisation à ne pas négliger pour l'application de la peinture dans chaque partie de la pièce. Les préparations des parties à peindre doivent être faites au préalable avant d'y appliquer la peinture [Gérard, 2008].

B.5.2. Préparations

Les supports doivent être propres et secs avant de les peindre. L'utilisation d'un enduit de lissage est nécessaire pour reboucher les trous et les fissures. Il faut, par la suite, décaper les anciennes peintures pour une meilleure adhérence. Les pinceaux et rouleaux devraient être

adaptés à la surface à peindre. Même si la peinture acrylique ne dégage pas de C.O.V, par mesure de sécurité, il faut aérer ou ventiler la pièce durant les travaux.

B.5.2.1. Plafond

Une sous-couche est toujours nécessaire avant de passer à la couche de finition. Cette dernière sera appliquée après séchage de la sous-couche. Cette technique est surtout destinée aux plafonds qui n'ont jamais été peints. Un rouleau est utilisé pour les grandes surfaces et un pinceau, pour les bords et les poutres.

B.5.2.2. Mur

Il faut tout d'abord enlever les couches de peintures non adhérentes. En effet, si les anciennes peintures se décollent, la nouvelle partira avec. Pour garantir une meilleure tenue de la peinture, il est recommandé de poncer légèrement les supports avec du papier de verre humidifié. La pièce sera, par la suite, rincée avec de l'eau avant le séchage et l'application de la peinture. Il est conseillé de commencer le travail dans le sens de l'entrée de la lumière. Pour éviter les traces de rouleau, il ne faut pas appuyer sur le dernier coup de rouleau. Cette technique est appelée lissage.

B.5.2.3. Portes et fenêtres

L'utilisation d'un petit rouleau « spécial petite surface » permet de peindre plus vite et plus régulièrement. Cette méthode est conseillée pour les montants des fenêtres. Il faut protéger les vitrages et les joints d'étanchéité avec du ruban de masquage [Peschke, 2001].

B.5.3. Applications industrielles

La peinture acrylique destinée aux industries est mise en œuvre pour la finition des objets manufacturés que les industriels produisent. Destinée à être appliquée dans des usines, on peut la trouver dans des domaines comme dans la construction automobile, l'industrie générale tels que l'ameublement, l'électroménager, etc. Elle est également très utilisée dans les produits pour emballages, le pré-laquage du métal, etc.

L'application industrielle de la peinture acrylique peut se faire manuellement et aussi par des robots de peinture.

Le tableau 5 montre quelques secteurs industriels où l'on applique la peinture acrylique [INRS, 2006].

Tableau 5 : Mode d'application pour les peintures industrielles

Secteurs industriels	Fonction du revêtement	Mode d'application
Laquage en bande de l'acier et de l'aluminium	Primaire	Machines à rouleaux
Revêtement des boîtes métalliques	Extérieur (couche blanche ou vernis de surimpression)	Machines à cylindres
Electroménagers	Primaire	Trempé, électrophorèse, pulvérisation
Industries du bois	Finition	Pulvérisation, machine à rideau, à cylindre
Peintures d'entretien	Primaire ou finition	Pulvérisation, rouleau, brosse

B.5.4. Autres applications de la peinture acrylique

B.5.4.1. Peintures pour voiture

L'utilisation de la peinture acrylique pour voiture a débuté vers les années 1970. Sa particularité par rapport aux autres types de peinture est sa performance en sa souplesse et en sa dureté. Elle est utilisée comme produit décoratif, isolant, protecteur, absorbant, réfléchissant et filtrant [Jargot, 1999], [INRS, 1999].

Les peintures acryliques pour automobile sont divisées en deux catégories :

- les peintures acryliques thermoplastiques, utilisées principalement pour obtenir un effet métallisé,
- et les peintures acryliques thermodurcissables, permettant d'obtenir des couleurs pastelles ou métallisées. Cette catégorie est la plus adaptée pour la peinture automobile [Decool, 1998].

Un décapage et un dégraissage sont nécessaires pour améliorer l'adhérence. Pour un meilleur résultat, il est préférable d'utiliser un pistolet à air comprimé [Persyn, 1998].

B.5.4.2. Peinture acrylique pour piscine

Pour les peintures acryliques destinées aux piscines, la résine utilisée est une résine acrylique modifiée, c'est-à-dire qu'un médium spécial va être incorporé avec la résine acrylique. Par conséquent, la résistance à l'eau du film, après séchage, est améliorée.

Les travaux de peinture se font en deux étapes. Il faut tout d'abord préparer la surface à peindre avant d'appliquer la peinture.

B.5.4.2.a. Préparation de la surface

Une solution de nettoyage est utilisée pour nettoyer et dégraisser les surfaces à peindre. Le support est ensuite séché.

B.5.4.2.b. Application

Les peintures acryliques pour piscine sont compatibles avec la plupart des revêtements. Il est, cependant, indispensable de faire un essai, sur une petite zone, pour tester son adhérence.

La peinture peut être appliquée à l'aide d'un pinceau, d'un rouleau à poil ou d'un pulvérisateur. Deux couches suffisent pour les supports nus et non-recouverts. En revanche, pour les surfaces déjà peintes, une couche peut être suffisante. Pour les zones à faible humidité, il est préférable de mouiller les supports avant d'appliquer la peinture. Toutefois, le rendement et le nombre de couches varient selon la porosité et la texture du support.

Un additif antidérapant peut être utilisé sur les marches et dans les piscines pour enfant.

B.5.4.3. Peintures acryliques pour tissu et cuir

B.5.4.3.a. Tissu

Les peintures acryliques peuvent être directement appliquées sur les fibres naturelles et synthétiques. Elles peuvent être utilisées sur les cotons, les textiles tissés, tricotés, feutrés, sur les daims, sur les éponges, sur les soies, sur les velours, sur les flanelles et sur les tissus composés de mélange de polyesters. Le pourcentage idéal est de 50% de coton et 50% de polyester.

Plus le tissage est serré, plus les couleurs sont vives. En outre, si la peinture n'a pas été mélangée à un médium textile, elle rend le tissu rigide.

B.5.4.3.b. Cuir

Les peintures acryliques peuvent également être appliquées sur les cuirs. L'adhérence dépend énormément de la structure des fibres, de la présence d'huile, du type de colorant et de l'épaisseur de la peinture. Il faut alors effectuer un test préalable.

Les huiles, sur les zones à peindre, devraient être nettoyées avec de l'alcool dénaturé ou de l'acétone. La peinture doit pénétrer dans le cuir pour assurer une adhérence parfaite et une longévité maximale. Toutefois, si après application, le cuir est étiré au-delà de ces capacités, elle peut craquer [Artist, 2007].

B. 6. Système ordonné de couleurs

Le système ordonné de couleurs est l'estimation visuelle de l'identité des couleurs de la peinture. Il est fonction de la teinte, de la couleur, de la luminosité, de la saturation et de la permanence.

B.6.1. Teinte

La teinte correspond à la couleur obtenue à partir des couleurs de base.

On distingue la couleur primaire, la couleur secondaire et la couleur tertiaire.

B.6.1.1. Couleurs primaires

Les couleurs primaires sont le rouge, le jaune et le bleu. Les autres couleurs (secondaires et tertiaires) sont obtenues à partir des couleurs primaires.

B.6.1.2. Couleurs secondaires

Les couleurs secondaires sont obtenues à partir de deux des couleurs primaires.

- le bleu et le jaune donnent le vert,
- le rouge et le jaune donnent l'orange,
- et le rouge et le bleu donnent le violet

B.6.1.3. Couleurs tertiaires

Le mélange d'une couleur primaire avec une couleur secondaire forme une couleur tertiaire dite couleur intermédiaire.

Par exemple, le jaune, qui est une couleur primaire, donne avec l'orange, couleur secondaire, du jaune orangé.

B.6.2. Luminosité

La luminosité correspond aux propriétés des couleurs de la peinture par ses niveaux de clartés. Il existe 10 niveaux de clartés qui vont du plus sombre au plus clair.

La luminosité est différente de la brillance. Cette dernière est la conséquence de l'état de surface, c'est-à-dire que plus une surface présente des irrégularités, plus elle perd de sa brillance. La brillance concerne donc l'aspect de la peinture.

Optiquement, il s'agit d'une réflexion spéculaire pour l'obtention d'un aspect brillant. Dans le cas contraire, c'est-à-dire pour une surface qui paraît mate, il s'agit d'une réflexion diffuse.

B.6.3. Saturation

La saturation, appelée également intensité de la couleur, est identifiée par un chiffre de 0 à 20. Plus la couleur est vive, plus le chiffre est élevé.

Par exemple, la teinte rouge du cadmium clair est classée 13 tandis que la Terre de Sienne brûlée est classée 4.

B.6.4. Permanence

La permanence des couleurs, une fois la peinture appliquée sur un support, est assurée par sa résistance à la lumière. Il existe 3 classes de résistance de la peinture à la lumière.

- les peintures très solides, idéales pour les supports qui sont fréquemment exposés au rayon ultraviolet.
- les peintures à résistance moyenne, applicable seulement sur les surfaces se trouvant à l'abri des intempéries. En effet, cette classe de peinture ne supporte pas une forte exposition au rayon ultraviolet.
- Et les peintures à permanence minime, possédant une résistance à la lumière très faible [Artist, 2007].

C. Hygiène et sécurité

C. 1. Etiquetage

Si possible, il serait nécessaire de mentionner, sur les étiquettes, les notices détaillées expliquant comment utiliser la peinture sans aucun risque si, bien sûr, on a recourt à des produits dangereux. Ces derniers peuvent être toxiques, corrosifs, irritants, comburants et explosifs pour l'environnement. Le plus souvent, les produits utilisés peuvent être nocifs et inflammables. Toutefois, les indications varient en fonction du produit. Par rapport à la peinture à l'huile, la peinture acrylique ne contient pas ou peu de solvant organique ; le risque d'inflammation est alors moindre.

On classe les peintures par rapport à leurs risques d'incendie et par la détermination de leur point éclair (PE). Il est à noter que le point éclair est la température minimale au cours de laquelle, il peut y avoir de l'explosion au contact d'une flamme ou d'un point chaud.

- Pour un $PE \leq 21^\circ C$, les peintures sont faiblement ou extrêmement inflammables.
- Pour $21^\circ C < PE \leq 55^\circ C$, les peintures sont inflammables.
- Pour $PE > 55^\circ C$, les peintures sont classées ininflammables.

Plus le point éclair est bas, plus la substance est inflammable et classée dangereuse.

La peinture acrylique a un point éclair supérieur à 55°C. Cela signifie l'absence de risque face aux dangers d'incendies.

Citons quelques métaux ou éléments qui pourraient être dangereux pour la santé [Schuman, 2006] : l'arsenic, le baryum, le cadmium, le chrome, le plomb, le mercure, le sélénium et l'argent.

Ces éléments entrent dans la composition des pigments ou des charges utilisées dans la fabrication de la peinture.

C.1.1.Arsenic

L'arsenic est l'un des composés les plus toxiques que l'on puisse trouver. Il peut être organique ou inorganique.

L'arsenic inorganique est plus dangereux que l'arsenic organique. L'exposition à l'arsenic inorganique peut provoquer différents effets comme l'irritation des intestins de l'estomac, la diminution de la production des globules blancs, des globules rouges et le problème de la peau. La prise importante de ce produit peut intensifier le risque de développement d'un cancer et en particulier le cancer de la peau, des poumons, du foie ou un cancer du système lymphatique.

L'arsenic présente également des effets néfastes considérables sur l'environnement. Actuellement, ce produit est partout à cause des activités humaines, essentiellement de l'exploitation minière et de la fonderie.

C.1.2.Baryum

Comme le baryum est très utilisé dans le secteur industriel, y compris la peinture, il est très répandu dans l'environnement. Les composés du baryum, qui se dissolvent dans l'eau, peuvent être nocifs pour la santé. Les effets du baryum dépendent, par conséquent, de sa concentration. Son absorption en quantité importante peut provoquer des paralysies et même la mort.

A faible concentration, il peut provoquer des problèmes respiratoires, une augmentation de la tension artérielle, des modifications du rythme cardiaque, une faiblesse musculaire, etc. Par ailleurs, il n'est pas encore démontré que le baryum puisse provoquer des risques de cancers et de stérilité.

C.1.3.Cadmium

Une exposition au cadmium peut endommager les poumons et peut même entraîner la mort si le taux en cadmium dans l'organisme est important. Il est tout d'abord transporté par le sang jusqu'au foie et se lie aux protéines pour former des complexes qui sont transportés jusqu'aux reins. Les cadmiums accumulés dans les reins sont difficiles à excréter du corps.

C.1.4.Chrome

L'absorption excessive de chrome dans l'organisme peut provoquer des éruptions cutanées, des irritations nasales, des saignements du nez, un dérangement de l'estomac, de l'ulcère, des problèmes respiratoires, des systèmes immunitaires affaiblis, de la maladie du foie et des reins, l'altération des organes génétiques, un cancer des poumons, et même la mort à très forte concentration. Cependant, le chrome peut être utile à l'organisme à faible dose. La plupart du chrome dans l'air finit par se déposer au sol et descend jusqu'aux eaux souterraines.

C.1.5.Plomb

Le Plomb est un produit chimique particulièrement dangereux car il s'accumule dans l'organisme. Il se trouve parmi l'un des quatre métaux les plus nocifs pour la santé. Contrairement au chrome, le plomb n'a que des effets nocifs sur la santé tels que la perturbation de la biosynthèse de l'hémoglobine et l'anémie, l'augmentation de la pression artérielle, des problèmes aux reins, des fausses couches, une perturbation du système nerveux et du cerveau, un déclin de la fertilité des hommes, etc.

Le plomb peut se retrouver dans l'eau et sur les sols lors de l'emploi des peintures au plomb. Il ne peut pas être détruit mais peut changer de forme.

C.1.6.Mercure

Sous forme liquide à une température ambiante, le mercure peut s'évaporer et son inhalation peut provoquer des problèmes au niveau des cerveaux, des nerfs et des reins. Il peut également provoquer une irritation des poumons, des yeux, une éruption cutanée, des vomissements, des diarrhées, etc.

Une fois sur les eaux de surfaces ou sur les sols, les micro-organismes peuvent le transformer en méthyle de mercure. Ce dernier peut être absorbé rapidement par la plupart des organismes et peut endommager les nerfs.

C.1.7. Sélénium

Même si le corps de l'homme a un besoin de certaines quantités de sélénum, il peut être dangereux à forte dose. En effet, Il peut provoquer des vertiges, de la fatigue et des irritations des membranes et des muqueuses, des problèmes de poumons et de bronches, etc.

Sur le sol, il ne réagit pas sur l'oxygène ; le sélénum reste stable. En revanche, dans l'eau, il est instable. En effet, il ne s'y dissout pas. Dans ce cas, Il n'est donc pas dangereux pour l'organisme.

C.1.8. Argent

Les composés de l'argent peuvent être lentement absorbés par les tissus du corps humain et provoque la pigmentation bleuâtre ou noirâtre de la peau (argyria). En contact avec les yeux, il peut endommager les cornées si le liquide entre en contact avec les yeux. Il peut causer l'irritation de la peau. Le contact répété et prolongé avec la peau peut causer la dermite allergique. En outre, l'exposition prolongée à la vapeur peut causer les vertiges, les problèmes respiratoire, les maux de tête, etc. Une concentration extrêmement élevée peut causer la somnolence, la confusion, la perte de connaissance, le coma ou même la mort.

Pour obtenir un label écologique, la peinture ne devrait pas contenir l'un des métaux cités ci-dessus. De plus, la teneur en solvant organique doit être limitée.

C. 2. Sécurités pour les travaux de peinture

Certaines mesures doivent être prises pour une meilleure condition de travail.

Tout d'abord, le lieu de travail doit être ventilé, surtout si la peinture contient du solvant organique. L'utilisation d'une cabine de peinture est conseillée. Ces cabines doivent être munies d'un système de ventilation par aspiration avec une évacuation vers l'extérieur.

S'il y a des produits à pulvériser ou des pigments en poudre, l'usage d'un masque est très important. Il est important d'éloigner les produits hors des sources de chaleur et surtout des flammes. L'utilisation des gants est indispensable pour éviter tout contact avec la peau. Ceci est valable pour l'application de la peinture et le nettoyage des outillages. En effet, les pigments et les solvants organiques, qui peuvent contenir des produits toxiques peuvent pénétrer dans la peau. Si, de plus, la peinture est très visqueuse, l'utilisation d'une brosse à dents usagée et d'un savon doux est très efficace pour enlever le reste de peinture sur les pinceaux. Après le travail de peinture avec de la peinture acrylique, les restes de peinture et les essuie-tout doivent être totalement séchés avant de les jeter. En effet, le polymère, une fois

sec, emprisonne le pigment, ce qui réduit le risque de dissolution du pigment dans les décharges et dans les eaux usées.

Si par accident il y a projection de la peinture dans les yeux, il faut les rincer abondamment et immédiatement à l'eau froide.

Enfin, les mains doivent toujours être lavées avec un savon de bonne qualité [Hansen, 1987] ; [Gérard, 1994].

D. Plan d'expériences

Pour réaliser des expériences aboutissant à des résultats intéressants, il est nécessaire d'adopter des expériences bien organisées appelées plans d'expériences. Les objectifs devraient être définis pour avoir des résultats appropriés. Un plan bien choisi et efficace permet de modéliser le phénomène étudié et d'avoir des résultats optimums à moindre coûts. Un tel plan défini permet, en effet, d'éviter les expériences inutiles et de perdre du temps.

D. 1. Définition

Un plan d'expériences est la réalisation d'un ensemble organisé d'expérimentations. Il permet de prédire les comportements d'un procédé en fonction des facteurs clés. Par le modèle obtenu, il est ensuite possible de déduire les conditions optimales d'expérimentations. C'est donc une démarche indispensable pour l'amélioration des qualités.

Il est souvent utilisé dans les industries chimiques, pétrochimiques, pharmaceutiques et agroalimentaires. Il peut également être utilisé dans les industries automobiles et les métallurgies ainsi que dans plusieurs domaines industriels.

La réalisation d'un plan d'expériences nécessite les contrôles d'un ou de plusieurs paramètres d'entrée pour l'obtention des résultats. Ces paramètres d'entrée sont des grandeurs nommées facteurs notées X_i et les résultats validés sont les réponses ou grandeurs d'intérêt notés Y . Le plan d'expériences est alors utilisé s'il existe une relation, entre les facteurs et les réponses, qui peut être traduit sous forme mathématique par $Y = f(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n)$.

D. 2. Termes de base

Il existe des termes souvent utilisés pour la réalisation d'un plan d'expériences : les facteurs, les réponses, les niveaux, le domaine du facteur, le domaine d'étude, l'espace expérimental, les points expérimentaux et la surface de réponse ainsi que l'isoréponse.

D.2.1. Facteurs

Les facteurs sont les variables contrôlables qui sont souvent mesurables. Ils peuvent être continus (longueur, concentration, température, pression, etc.) ou discrets (les couleurs, personnes, etc.). Contrairement aux facteurs continus, les facteurs discrets ont des valeurs qui ne sont forcément pas numériques. Ils peuvent se mettre dans un ordre logique (premier, deuxième et troisième, etc). Les facteurs discrets peuvent également être des facteurs booléens, c'est-à-dire qu'ils ne peuvent prendre que deux valeurs (blanc ou noir, haut ou bas, etc.).

D.2.1. Espace expérimental

L'espace expérimental est l'espace euclidien à n dimensions défini par un repère cartésien. Ce repère est formé par les axes gradués des facteurs.

La figure 1 montre les axes orthogonaux des facteurs et l'espace expérimental pour un plan à deux facteurs.

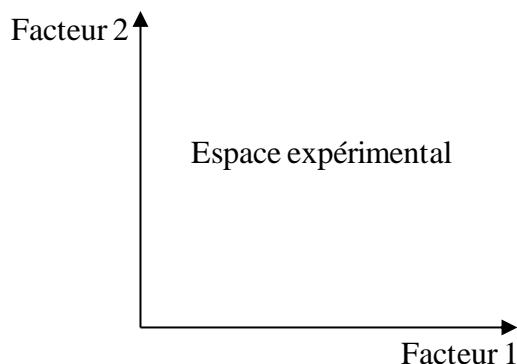


Figure 1: Espace expérimental

D.2.2. Réponse

La réponse est la grandeur d'intérêt mesurée que l'on choisit.

D.2.3. Niveaux

Les niveaux sont les valeurs données à un facteur pour réaliser un essai. Ils sont limités entre deux bornes : la borne inférieure qui est le niveau bas et la borne supérieure qui est le niveau haut (figure 2).

D.2.4. Domaine du facteur

Nommé également domaine de variation du facteur, le domaine du facteur est l'ensemble de toutes les valeurs que peut prendre le facteur entre le niveau bas et le niveau haut (figure 2).

D.2.5. Points expérimentaux

Les points expérimentaux sont des points qui se trouvent dans l'espace expérimental et sont disposés dans le domaine d'étude. Ils ont comme coordonnées les niveaux des facteurs.

D.2.6. Domaine d'étude

Le domaine d'étude est l'ensemble de tous les points de la surface délimitée par les niveaux bas et haut de chaque facteur. C'est une partie de l'espace expérimental.

La figure 2 représente les domaines du facteur, le domaine d'étude, les points expérimentaux et les niveaux pour un plan à deux variables.

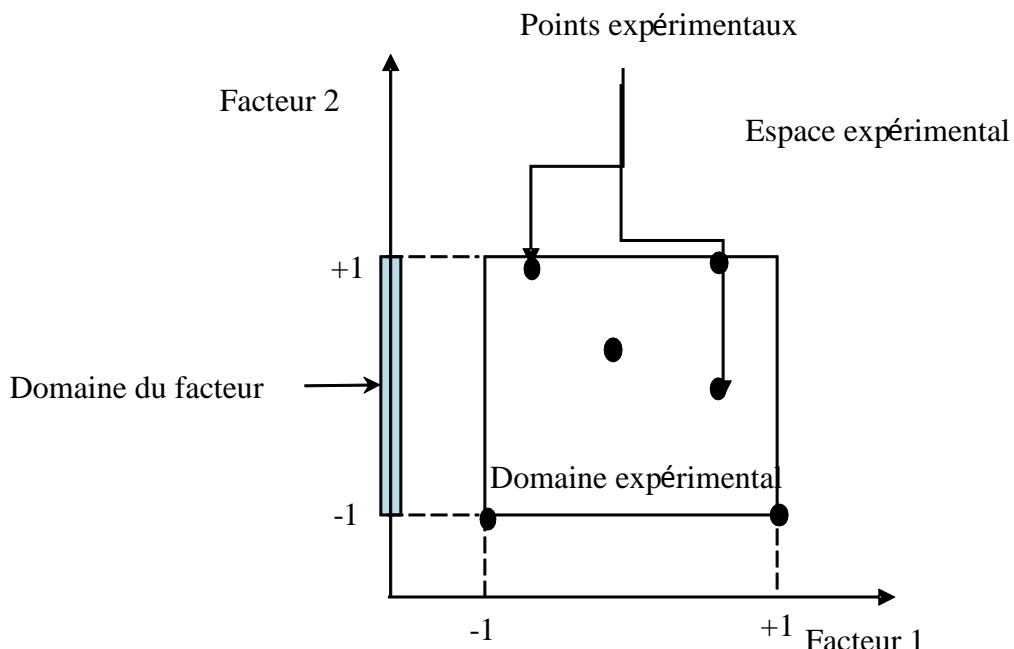


Figure 2 : Représentation du plan d'expériences à deux facteurs

D.2.7. Surface de réponse

La surface de réponse est une surface sur laquelle est localisé l'ensemble des réponses correspondant à l'ensemble de tous les points du domaine d'étude (figure 3). L'axe de la réponse est orthogonal à l'espace expérimental.

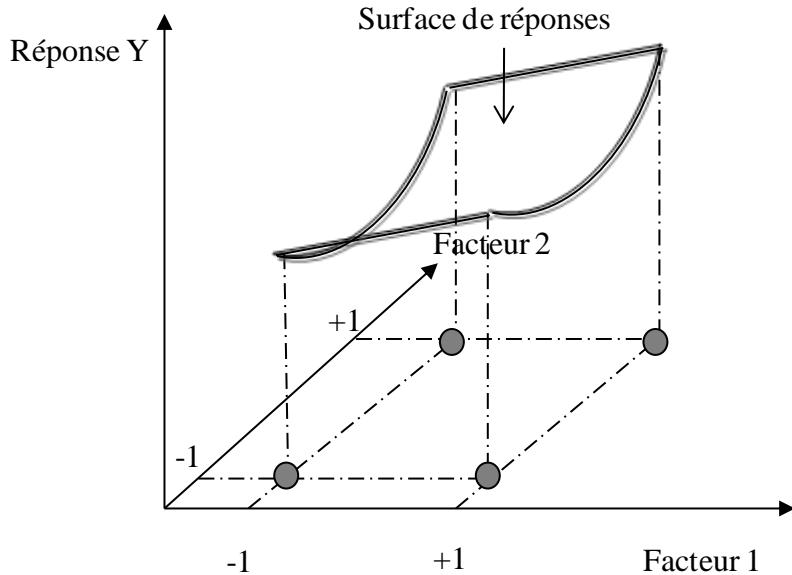


Figure 3 : Surface de réponse

D.2.8. Isoréponse

L'isoréponse est une courbe qui est obtenue par la projection de la surface de réponse sur un plan à deux dimensions.

D. 3. Modélisation

Il existe plusieurs fonctions mathématiques pour modéliser la réponse mais le polynôme est le plus utilisé. Le modèle est appelé modèle à priori ou modèle postulé. Il est obtenu à partir du dérivé du développement limité de Taylor avec la forme donné par l'équation 1.

$$Y = a_0 + \sum a_i X_i + \sum a_{ij} X_i X_j + \sum a_{ii} X_i^2 + \sum a_{ijk} X_i X_j X_k + \varepsilon \quad \text{Équation 1}$$

- Y est la réponse mesurée,
- X_i est la coordonnée d'un point expérimental,
- a_0, a_i, a_{ii}, a_{ij} et a_{ijk} sont les coefficients du modèle mathématique.

Ce polynôme est souvent du 1^{er} degré (équation 2) ou du 2nd degré (équation 3).

$$Y = a_0 + \sum a_i X_i + \sum a_{ij} X_i X_j \quad \text{Équation 2}$$

$$Y = a_0 + \sum a_i X_i + \sum a_{ij} X_i X_j + \sum a_{ii} X_i^2 \quad \text{Équation 3}$$

L'équation 3 peut s'écrire sous la forme matricielle :

$$[Y] = [a][X] \quad \text{Équation 4}$$

Avec, $[Y]$, la matrice de réponse, $[a]$, la matrice des coefficients et $[X]$, la matrice du modèle. La résolution de l'équation 4 permet d'écrire l'équation 5 et de déterminer ainsi la matrice des coefficients $[a]$.

$$[a] = [X^t X]^{-1} [X^t] [Y] \quad \text{Équation 5}$$

Avec, $[X^t]$, la matrice transposée de la matrice du modèle $[X]$ et $[X^t X]^{-1}$, la matrice inverse du produit des matrices transposée et du modèle, appelée matrice de dispersion.

Pour faciliter les calculs matriciels ainsi que les représentations graphiques des surfaces de réponse et des isoréponses, l'utilisation de logiciels spécifiques comme excel® ou statgraphics® est requis. Les données collectées sont nécessaires à l'interprétation du plan d'expériences.

D. 4. Choix du plan

Les plans d'expériences sont très variés mais dans le domaine de la chimie et du génie des procédés, les plans les plus connus sont :

- les plans factoriels,
- les plans composites centrés,
- les plans de Doehlert,
- et les plans de Box-Benhken.

D.4.1. Plan factoriel

Le plan factoriel est parmi les plus utilisés des plans d'expériences. En effet, il est facile à mettre en œuvre et permet de mettre en évidence l'existence des interactions entre les facteurs. Ce plan peut être complet ou fractionnaire.

La figure 4 montre un plan factoriel à 3 facteurs.

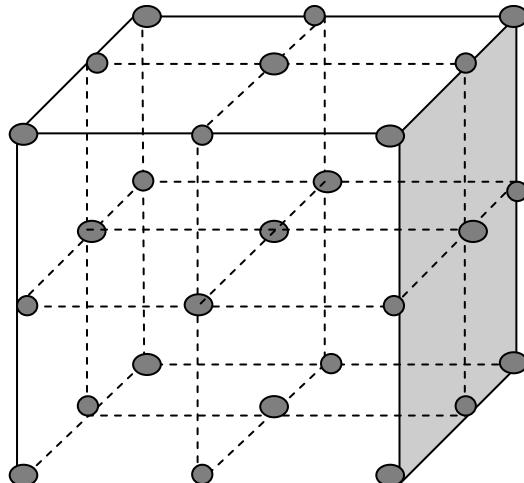


Figure 4 : Plan factoriel complet 3^k à 3 facteurs

D.4.2.Plan composite centré

Le plan composite centré possède une propriété de séquentialité. Il est par conséquent constitué de trois parties :

- un plan factoriel à deux niveaux,
- au moins un point expérimental situé au centre du domaine expérimental,
- et des points axiaux qui sont situés sur les axes de chacun des facteurs.

Les plans composites pour deux et trois facteurs sont présentés sur les figures 5 et 6.

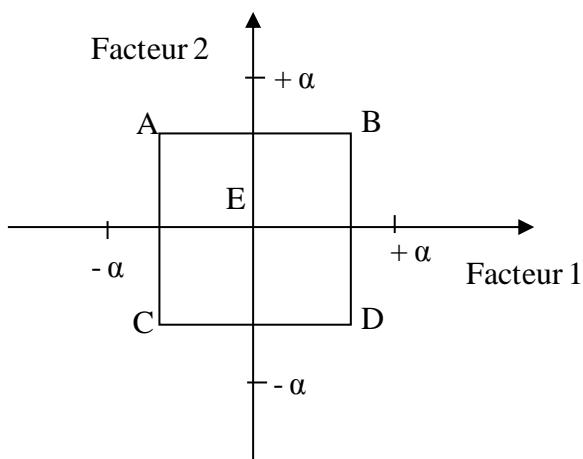


Figure 5 : Plan composite pour deux facteurs

- A, B, C et D forment les points du plan factoriel 2^2 (2 facteurs et 2 niveaux),
- α et $-\alpha$ forment les points en étoiles,
- et E est le point central.

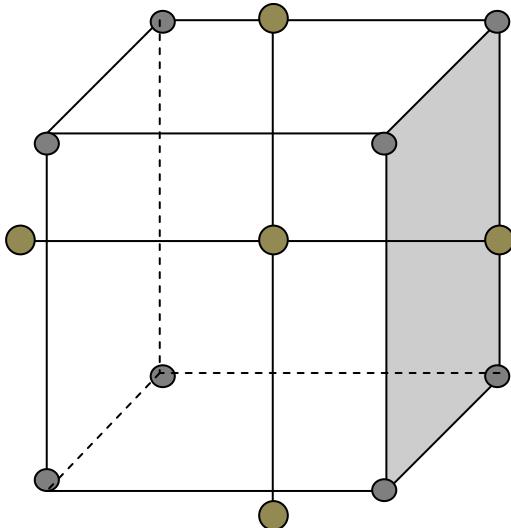


Figure 6 : Plan composite pour trois facteurs

D.4.3.Plan de Doehlert

La principale caractéristique du plan de Doehlert est la répartition uniforme des points expérimentaux dans l'espace expérimental. En effet, ils sont situés à la même distance du centre du domaine expérimental. Pour un plan à deux facteurs, les points expérimentaux se trouvent sur un cercle trigonométrique. Le domaine expérimental est donc un hexagone régulier.

La figure 7 montre les niveaux d'un plan de Doehlert à deux facteurs avec un modèle du second degré et la figure 8, le plan de Doehlert à trois facteurs.

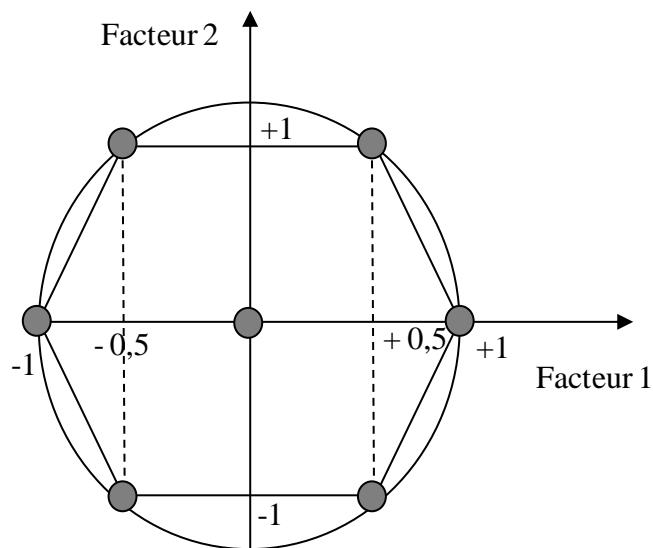


Figure 7 : Plan de Doehlert à 2 facteurs

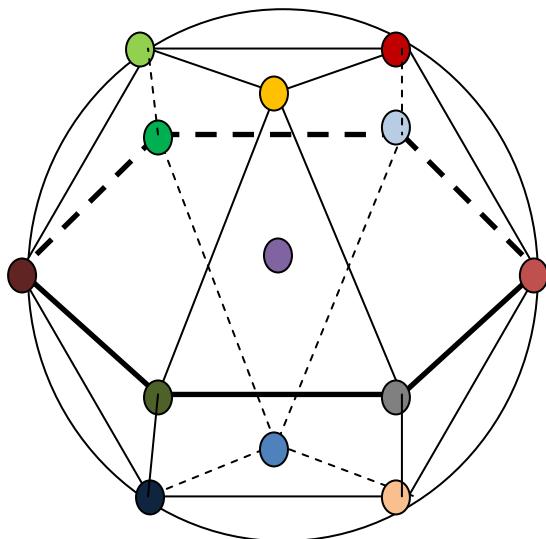


Figure 8 : Plan de Doehlert à trois facteurs

D.4.4. Plan de Box-Benhken

Le plan de Box-Benhken est une fraction du plan factoriel complet 3^k (k facteurs et 3 niveaux). C'est un plan qui est souvent à trois facteurs. Les points expérimentaux se trouvent sur les arrêtes d'un cube. Il comporte, en général, 12 essais auxquels sont ajoutés des essais au point central (figure 9).

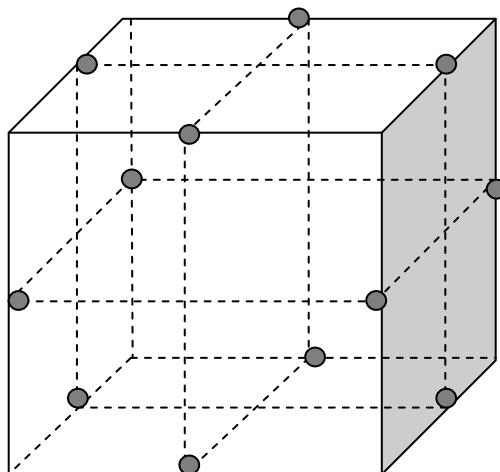


Figure 9 : Plan de Box-Benhken à trois facteurs

DEUXIEME PARTIE : PARTIE EXPERIMENTALE

A. Matériels et méthodes

Plusieurs manières existent pour fabriquer une peinture. Chaque fabricant possède sa propre technique. Si on prend, par exemple, quelques sociétés de peinture qui existent à Madagascar comme Aurlac, Somalaval, Aitec, Upema, Decorel, Etoile Color, etc., la qualité des produits, supposés de mêmes types, est différent d'un fabricant à l'autre. Tout dépend, en effet, du type et du pourcentage des différents constituants utilisés, des matériaux et surtout des procédés pour l'élaboration des peintures.

En observant les maisons à Madagascar, la plupart des peintures à l'eau ne résistent pas à l'eau. Les peintures à l'eau de bonne qualité sont trop chères. De plus, la qualité des peintures produites à Madagascar n'atteint pas celle fabriquée à l'étranger.

Il se trouve que la peinture à l'huile surpassé la peinture à l'eau sur la qualité et la résistance à l'humidité. Les peintures à l'huile sont généralement plus chères. Aujourd'hui, comme il a déjà été dit dans la première partie, les peintures à l'huile sont remplacées peu à peu par des peintures à l'eau. Les raisons principales sont l'augmentation du prix des produits d'origine pétrolière et surtout, les règlements stricts concernant l'environnement et l'hygiène.

C'est pour cette raison que nous avons réalisé cette étude pour obtenir des peintures à l'eau à prix raisonnable et supportant, en permanence, l'agression de l'eau.

B. Choix des constituants

Quatre principaux constituants sont utilisés pour fabriquer une peinture : l'eau, les charges, les pigments et les liants.

B. 1. Eau

L'eau est l'un des constituants majoritaires pour la fabrication d'une peinture. C'est le solvant le moins cher, le plus disponible et le plus vert qui existe. En effet, elle est non toxique, sans danger pour la santé et ininflammable.

Dans toutes nos expériences, à l'exception des essais préliminaires, le volume d'eau est maintenu constant.

B. 2. Charges

Comme il a été déjà dit dans la première partie, la charge peut intervenir sur les propriétés mécaniques. Cependant, le choix des charges dépend surtout du prix et de la disponibilité du produit. Dans notre étude, les charges utilisées sont la dolomie et le carbonate de calcium.

B.2.1. Dolomie

Nous savons que la dolomie est une poudre blanche qui a comme formule chimique $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$. Elle cristallise dans le système rhomboédrique. Les paramètres des mailles sont $a = b = c = 4,842 \text{ \AA}$.

Dans notre étude, la dolomie utilisée est la dolomie 10, c'est-à-dire que sa granulométrie est de $10 \mu\text{m}$. Ce produit est utilisé parce qu'elle est disponible dans la plupart des quincailleries à très bon prix. De plus, elle possède une excellente résistance aux acides. En outre, l'utilisation des charges à faible granulométrie permet d'obtenir, après application de la peinture, des murs lisses.

B.2.2. Carbonate de calcium

De couleur blanche, le carbonate de calcium est également sous forme poudreuse. Possédant une masse moléculaire égale à $100,1 \text{ g.mol}^{-1}$, il a comme formule brute CaCO_3 , c'est-à-dire qu'il est composé d'un anion carbonate CO_3^{2-} et d'un cation calcium Ca^{2+} . Même s'il rend mat l'aspect final de la peinture, il est très utilisé comme charge dans la fabrication des peintures. N'étant disponible que chez les revendeurs de produits chimiques, son prix ne diffère pas de celui de la dolomie. Du point de vue granulométrie, le carbonate de calcium utilisé dans ce travail est beaucoup plus fin que la dolomie.

Les photographies de la dolomie et du carbonate de calcium sont présentées à la figure 10.



(a)



(a)

Figure 10 : Photographies de la dolomie (a) et du CaCO_3 (b)

B. 3. Pigments

Le pigment est également l'un des constituants principaux d'une peinture. Il est responsable de la couleur mais également de l'opacité. Dans notre étude, le pigment utilisé est le dioxyde

de titane. De formule brute TiO_2 , ce pigment donne une couleur blanche à la peinture. Du point de vue structural, il existe 3 catégories de dioxyde de titane : le rutile, l'anatase et le brookite. Nous avons opté pour le dioxyde de titane rutile.

Très utilisé en peinture, le rutile est obtenu à partir de l'ilménite concentré avec 19,5 à 47,5 % de dioxyde de titane. De plus, c'est la forme la plus stable. De masse molaire égale à 75,9 g.mol⁻¹ et de température d'ébullition de 2500°C, le titane rutile cristallise dans le système quadratique avec $a = b = 4,5593 \text{ \AA}$ et $c = 2,9592 \text{ \AA}$. Les angles formés par les mailles sont égaux ($\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$). Il se décompose à 1860°C et fond à 1,855°C. Le dioxyde de titane est ininflammable, incombustible et non explosible [INRS, 2013].

Les pigments utilisés sont le dioxyde de titane rutile premtec et le dioxyde de titane rutile R 937 qui sont, tous les deux, sous forme de poudre blanche. La différence est que le dioxyde de titane rutile R937 est beaucoup plus fin que le titane premtec. C'est le pigment blanc le plus connu. Disponibles chez les revendeurs de produits chimiques, il est utilisé, dans ce travail, même s'il est un peu cher. En effet, ce pigment offre à la peinture une meilleure texture et une meilleure opacité.

La figure 11 montre les photos de ces deux dioxydes de titane.

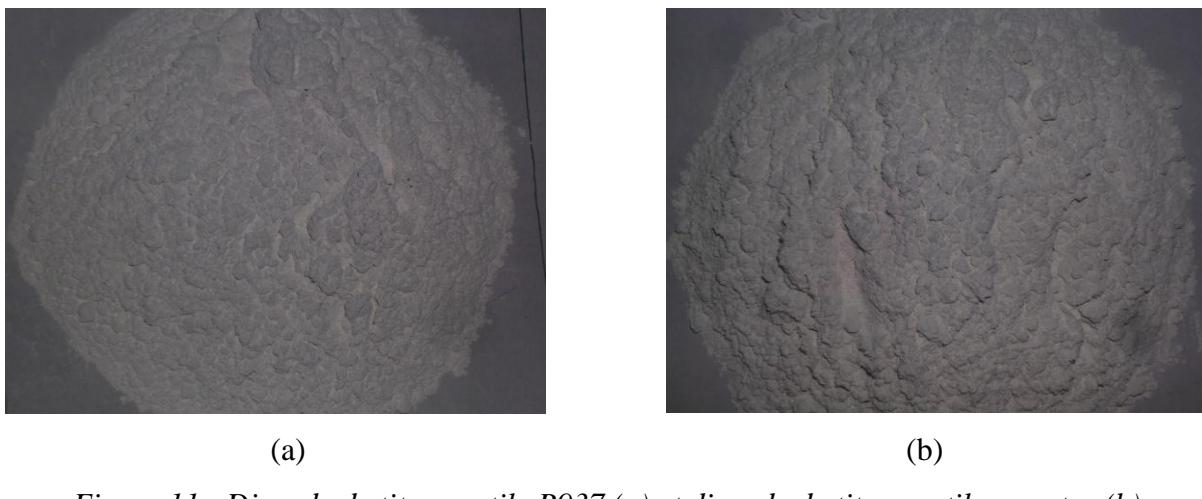


Figure 11 : Dioxyde de titane rutile R937 (a) et dioxyde de titane rutile premtec (b)

B. 4. Liants

Rappelons que les liants sont des macromolécules utilisés pour assurer les liens entre chaque constituant de la peinture. Il assure également l'adhérence de la peinture sur les supports.

Utilisée comme diluant, l'eau forme, avec le liant acrylique, une émulsion de polymère acrylique. Elle s'évapore lors du séchage pour former le film de la peinture.

Pour la peinture à l'eau, les liants les plus connus sont le vinylique, l'alkyde et l'acrylique. Dans notre étude, le choix s'est porté sur la résine alkyde N45670 % et sur un polymère acrylique.

B.4.1.Résine alkyde

Les alkydes sont des esters macromoléculaires. Ils sont obtenus à partir de la réaction entre un alcool polyhydroxylé (avec des molécules qui contiennent plusieurs groupement –OH) et un polyacide organique (avec des molécules contenant plusieurs groupements –COOH).

La résine alkyde est utilisée pour la peinture en phase aqueuse mais également pour la peinture à l'huile. C'est donc une résine mixte qui possède, à la fois, les avantages des peintures à l'eau et ceux des peintures à l'huile. La peinture obtenue pour ce type de peinture est réputée très résistante. De plus, elle est non toxique. En effet, elle est dépourvue ou contient très peu de composés organiques volatiles.

Plus visqueuse que le polymère acrylique, la résine alkyde est un liquide mielleux possédant une forte odeur. Elle est beaucoup plus collante. Elle est donc plus difficile à enlever au contact de la peau.

B.4.2.Polymère acrylique

Sous forme liquide, le polymère acrylique est un polymère acrylique possédant un aspect laiteux. Composé de polyuréthane aliphatique avec quelques modifications, son utilisation ne présente aucun danger sur la santé et sur l'environnement. Disponible également chez les revendeurs de produits chimiques, son prix est beaucoup moins cher comparé au prix des liants utilisés en peinture à l'huile.

C. Polymères

C. 1. Définition

Un polymère est une macromolécule constituée de monomères unis les uns aux autres par des liaisons covalentes. Les polymères ont des propriétés élastiques et un caractère visqueux. D'où leur comportement viscoélastique.

Les polymères peuvent être des homopolymères ou des copolymères.

Les homopolymères sont des polymères obtenus à partir d'un seul type de monomère, comme les polyéthylènes ou les polystyrènes. Pour les copolymères, ils sont formés d'au moins deux types différents de monomères. Les styrènes- butadiènes en est un exemple.

C. 2. Exemples les plus courants

Il existe plusieurs polymères mais les plus courants sont les fibres naturelles, les matières plastiques, les caoutchoucs naturels et artificiels, les colles et les peintures.

C. 3. Polymérisation

C'est une réaction chimique permettant la formation de polymères (macromolécules) à partir de monomères.

Il existe la polymérisation en chaîne ou polyaddition et la polymérisation par étape ou polycondensation. Le premier type se fait sans élimination de petites molécules alors que pour la deuxième, il y a départ des petites molécules comme l'acide chlorhydrique et le plus souvent, l'eau.

C. 4. Polymères acryliques

Etant des résines synthétiques thermoplastiques, les polymères acryliques sont obtenus par la polymérisation d'esters d'acide acrylique et/ou d'acide méthacrylique (polyacrylate ou polyméthacrylate).

Ces résines peuvent être des polyacryliques, de formule $(ROCOCHCH_2^-)_n$, ou des polyméthacryliques, de formule $(ROCOCMeCH_2^-)_n$.

Le type de polymérisation qui entre en jeu dans cette réaction est la polyaddition puisqu'il y a la double liaison du carbone.

Cette résine est vulcanisée afin d'assurer sa résistance. Par conséquent, elle peut résister à des températures de l'ordre de 400°C. De plus, elle est imperméable à de nombreux gaz. C'est avec ces capacités de résistance que cette résine est utilisée en peinture. La peinture acrylique obtenue pourrait alors résister à l'eau.

D. Appareillage et mode opératoire

D. 1. Description des matériaux

L'installation est présentée à la figure 12. Cette installation comporte :

- un bâti, permettant de supporter le réacteur,
- un réacteur en verre (figure 13),
- une colonne de distillation (figure 14),
- et un système d'agitation.



Figure 12 : Installation complet du réacteur

Les expériences ont été réalisées, en discontinue, dans le réacteur polyvalent en verre à double enveloppe (figure 13). C'est dans cette double enveloppe que circulent les fluides caloporteurs permettant les contrôles thermiques. Le volume du réacteur est de 10 L. Toutes les expériences ont été faites à température ambiante. Le réacteur utilisé est une instrumentation industrielle. Ce réacteur, en étant polyvalent, peut être utilisé en :

- réaction chimique,
- extraction solide-liquide,
- extraction liquide-liquide,
- adsorption,
- cristallisation,
- distillation,
- chimie à basse température, etc.

La photographie du réacteur est présentée à la figure 13.



Figure 13 : Réacteur en verre

Le réacteur est fait en verre borosilicaté pour supporter une température très élevée. Il est accompagné d'un mobile d'agitation interchangeable qui peut être à débit axial, à débit radial, à débit à écoulement mixte ou à débit tangentiel. La vidange est assurée par une vanne de fond de cuve.



Figure 14 : Photographie de la colonne de distillation

D. 2. Dimensionnement de l'agitateur

D.2.1. Mobile : type

L'agitation est assurée par un mobile de type ancre (figure 15). Ce mobile d'agitation se trouve dans la classe des mobiles à débit tangentiel. Ce mobile convient très bien pour un milieu visqueux. C'est la raison pour laquelle, ce type de mobile a été choisi.



Figure 15 : Agitateur à ancre modifiée

D.2.2. Mobile : vitesse

Le mobile est entraîné par un moteur asynchrone triphasé tournant à vide à 2800 tours par minute. Cette vitesse de rotation est très élevée pour agiter les différents constituants de la peinture. L'utilisation d'une résistance peut diminuer cette vitesse de rotation, mais le moteur peut être endommagé par effet joule (surchauffe). De plus, le couple du moteur diminue considérablement. Pour remédier à ce problème, deux poulies de diamètres différents, reliées par une courroie, ont été utilisées pour réduire la vitesse angulaire d'agitation jusqu'à 300 tours par minute. A cette vitesse, le mélange se déroule selon la norme de l'agitation des peintures.

Pour diminuer la vitesse de rotation du moteur de 2800 tours par minute à 300 tours par minute, il faut calculer les diamètres des deux poulies. Les diamètres des poulies peuvent être déterminés par l'équation 6.

$$V_p = \pi N d \quad \text{Équation 6}$$

Avec V_p , la vitesse périphérique ($\text{m}.\text{min}^{-1}$),

N , la vitesse de rotation ($\text{trs}.\text{min}^{-1}$),

et d , le diamètre (cm).

D'après cette équation, les diamètres des poulies peuvent être déterminés puisque leurs vitesses périphériques sont égales. On peut alors écrire l'équation 7.

$$N_1 d_1 = N_2 d_2$$

Équation 7

Avec N_1 , la vitesse de rotation de la grande poulie ($\text{trs} \cdot \text{min}^{-1}$),

d_1 , le diamètre de la grande poulie (cm),

N_2 , la vitesse de rotation de la petite poulie (cm),

et d_2 , le diamètre de la petite poulie (cm).

La petite poulie est fixée sur l'axe du moteur. Ce qui signifie que sa vitesse de rotation (N_2) est de 2800 tours par minute. Son diamètre est le même que celui de l'axe du moteur qui est de 2 cm.

Le but est d'obtenir une vitesse de rotation de 300 tours par minute. Cette vitesse n'est autre que la valeur de la vitesse de rotation de la grande poulie (N_1). Ainsi, d'après l'équation 7, une poulie de 19 cm de diamètre permet d'avoir la vitesse de rotation de 300 $\text{trs} \cdot \text{min}^{-1}$.

La figure 16 montre la photo de l'ensemble du moteur et des poulies.



Figure 16 : Poulies et moteur

D.2.3. Mobile : positionnement

L'emplacement du mobile dans le réacteur n'était pas fait au hasard. En effet, Rushton a défini une cuve dite standard. Cela permet de calculer la hauteur du mobile, son diamètre et son positionnement par les équations 8, 9 et 10 [Roustan, 1999].

$$d = \frac{1}{3} D \quad \text{Équation 8}$$

$$d = y \quad \text{Équation 9}$$

$$H = D \quad \text{Équation 10}$$

Avec d , le diamètre du mobile (en cm),

D , le diamètre du réacteur (en cm),

y , la distance de la hauteur du mobile par rapport au fond de la cuve (en cm),

et H , la hauteur du réacteur (en cm).

La figure 16 présente la cuve standard définie par Rushton

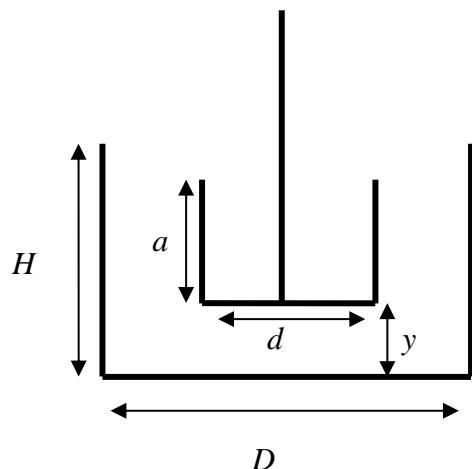


Figure 17 : Cuve de Rushton

Comme le diamètre intérieur du réacteur est de 21 cm, le diamètre du mobile et sa hauteur sont de 7 cm. De même, la distance du mobile par rapport au fond de la cuve (y) est de 7 cm. Le mobile d'agitation utilisé est alors, un mobile d'agitation à ancre possédant un diamètre de 7cm et une hauteur de 7cm.

D. 3. Mode opératoire

Après pesage des différents constituants, l'eau et les liants sont introduits dans le réacteur polyvalent. Le mélange forme une émulsion de polymère acrylique. Après une durée d'agitation bien définie, les pigments et les charges sont introduits à leurs tours selon la

quantité définie par le plan d'expériences qui sera détaillé ultérieurement. Ils vont, par la suite, être dispersés dans le mélange.

Le produit obtenu, qui n'est autre que de la peinture acrylique de couleur blanche, sera soutiré du réacteur par la vanne de fond de cuve.

E. Essais préliminaires

Les essais préliminaires ont pour objectif d'étudier, d'une part, la quantité d'eau nécessaire et, d'autre part, le domaine du plan d'expériences.

E. 1. Détermination de la quantité d'eau

Les essais préliminaires ont pour but de déterminer la quantité d'eau nécessaire pour obtenir une concentration, une viscosité et un temps de mélange satisfaisant.

Tout d'abord, les expériences ont été réalisées avec un mélange contenant 50 % d'eau. La solution est agitée pendant une heure.

Dans le tableau 6 se trouvent les quantités des différents constituants pour chaque expérience permettant la détermination de la quantité d'eau.

Tableau 6 : Essais préliminaires

Essais	Eau (g)	Liant		Pigment		Charge	
		Polymère acrylique (g)	Alkyde (g)	R937 (g)	Premtec (g)	Dolomie (g)	Caco ₃ (g)
1	1000	225	225	225	225	50	50
2	1000	450	0	225	225	50	50

Pour les deux essais, la peinture s'étale et adhère très bien sur tous les supports que ce soit de l'enduit, du ciment, du bois ou du métal. En revanche, durant les expériences, une partie de la solution est projetée sur les parois du réacteur et sèche avant même que l'agitation soit terminée. La quantité d'eau utilisée est trop importante. Ainsi, pour les essais ultérieurs, la quantité d'eau est diminuée à 40 % et la durée d'agitation fixée à 30 minutes.

E. 2. Détermination du domaine

Pour la suite, il faut adopter des expériences bien définies pour mieux organiser les essais. Pour cela, la réalisation d'un plan d'expériences est la solution fiable pour cette étude. Ce plan permet d'obtenir les maximums d'informations pour un minimum d'expériences. Le choix d'un plan d'expériences qui convient au mieux à une étude est parfois très compliqué étant

donné la diversité des plans. Dans ce travail, le plan de Doehlert a été choisi car ce plan minimise les nombres d'expériences à réaliser tout en couvrant un domaine assez large et offrant un modèle uniforme.

E.2.1.Plan de Doehlert

C'est un plan formé par $(k^2 + k + 1)$ essais avec les points expérimentaux répartis uniformément dans l'espace expérimental (sphère de rayon 1). Tous les points se situent à la même distance du centre du domaine d'étude. k étant le nombre de facteurs, c'est-à-dire le nombre de variables.

Le nombre d'expériences est obtenu, d'après la définition, par l'équation 11.

$$n=k(k+1)+1 \quad \text{Équation 11}$$

Comme $k = 3$, la valeur de n est de 13 alors qu'il faut tenir compte des 3 points centraux, le nombre des essais est donc de 15.

Pour un plan de Doehlert à trois facteurs, les points se trouvent dans un plan sphérique (figure 8).

Les sept points se trouvant sur le plan horizontal du centre forment un empilement de tétraèdres sur la base de l'hexagone. Les six points restant forment deux triangles situés au-dessus et au-dessous de l'hexagone.

E.2.2.Choix des facteurs

Les 3 facteurs choisis pour ce plan de Doehlert sont les liants, les pigments et les charges qui sont les principaux constituants de la peinture. Ces trois facteurs sont nommés X_1 , X_2 et X_3 .

E.2.2.1.Facteur 1

Exprimé en rapport massique, le facteur 1 (noté X_1) est la composition des composés constituant le liant (polymère acrylique/alkyde).

Le polymère acrylique est un liant utilisé dans les peintures acryliques alors que l'alkyde est utilisé comme liant dans les peintures alkydes. Etant tous les deux des peintures à l'eau, ils ont chacun leurs propres caractéristiques qui sont déjà décrites dans la partie matériaux et méthodes (paragraphes B.4.1 et B.4.2). Il est alors intéressant d'étudier un mélange des deux

liants en travaillant dans un intervalle de rapport massique (polymère acrylique/alkyde) de (0/100) à (100/0).

E.2.2.2.Facteur 2

Le facteur 2 (X_2), exprimé en rapport massique, est la composition des composés (dioxyde de titane R937/dioxyde de titane premtec) qui constituent le pigment.

Le pigment peut être utilisé à l'état pur ou en mélangeant avec d'autres pigments pour obtenir une structure ou une couleur souhaitée. Pour cette étude, les pigments utilisés sont le dioxyde de titane rutile premtec et le dioxyde de titane rutile R 937. Ces pigments blancs ne diffèrent que par leur finesse d'après ce qui a été dit dans la partie matériaux et méthodes (paragraphe B.3). Dans ce cas, leurs rapports massiques ont été étudiés dans l'intervalle (0/100) à (100/0).

E.2.2.3.Facteur 3

Exprimé en pourcentage massique, le facteur 3, noté X_3 correspond à la composition des composés (dolomie/carbonate de calcium) constituant la charge.

Dans les constituants de la peinture, la charge utilisée est la dolomie ou le dioxyde de calcium. En effectuant un mélange de ces deux charges, il peut y avoir des changements des propriétés physiques de la peinture. L'intervalle choisi pour le rapport massique (dolomie/CaCO₃) est également de (0/100) à (100/0).

E.2.3.Choix des réponses

A chaque essai doit correspondre au moins une grandeur à mesurer. Ces grandeurs sont les grandeurs nommées « réponses » et sont notées « y_i ». Quatre réponses vont être mesurées dans cette étude : le temps de séchage (Y_1), le pouvoir couvrant (Y_2), la densité (Y_3) et la résistance à l'eau de la peinture obtenue (Y_4).

E.2.3.1.Temps de séchage (Y_1)

L'évaporation de l'eau ou du solvant organique assure le séchage de la peinture pour former le film ou feuil.

Un temps de séchage est une grandeur très importante pour qualifier une peinture. En effet, un temps de séchage réduit permet d'appliquer plusieurs couches en une courte période. De plus, la pièce peut être habitée rapidement.

Il existe deux types de séchage : le séchage au toucher et le séchage à cœur qui est le temps de séchage complet de la peinture. Dans cette étude, la réponse choisie est le séchage au toucher.

La détermination du temps de séchage se fait comme suit : dès l'application de la peinture sur un mur, le chronomètre est démarré et le temps de séchage est obtenu lorsque le mur est sec au toucher. Les expériences sont réalisées dans une pièce à température ambiante.

E.2.3.2. Pouvoir couvrant (Y_2)

Le pouvoir couvrant donne la surface qui peut être couverte par une quantité donnée de peinture ($m^2 \cdot L^{-1}$ ou $m^2 \cdot kg^{-1}$). La quantité de peinture nécessaire peut alors être déterminée avec le pouvoir couvrant. En outre, il est en relation directe avec l'opacité d'une peinture. Un pouvoir couvrant élevé permet d'économiser de la peinture et du temps. De plus, il n'est pas nécessaire d'appliquer plusieurs couches sur une même surface. C'est donc une grandeur très importante pour la caractérisation de cette dernière.

Pour déterminer le pouvoir couvrant, comme pour la détermination du temps de séchage, les expériences sont réalisées sur un mur intérieur en une seule couche. Un petit rouleau a été utilisé. La surface à peindre est tout d'abord mesurée avec un mètre métallique. C'est avec la mesure de la longueur et de la largeur du mur à peindre que la valeur de la surface est obtenue.

E.2.3.3. Masse volumique (Y_3)

La masse volumique est le rapport entre la masse de la peinture et son volume. Cette grandeur a été choisie pour savoir si le pouvoir couvrant est fonction de la masse volumique.

E.2.3.4. Résistance à l'eau (Y_4)

La peinture est souvent confrontée à l'agression de l'eau surtout si elle est appliquée à l'extérieur ou dans des salles exposées à l'humidité comme la salle de bain, la cuisine, etc. Il est donc important d'utiliser de la peinture qui résiste mieux à l'eau.

Pour déterminer la résistance à l'eau d'une peinture, cette dernière est appliquée sur une plaque en bois qui est ensuite complètement immergée dans l'eau après séchage au toucher. Le chronomètre est activé dès l'immersion de la plaque dans l'eau. La résistance à l'eau correspond à la durée que met la peinture pour être détruite.

E.2.4. Choix des niveaux

Pour réaliser un essai, il faut donner une valeur à un facteur. Limitées par deux bornes, les valeurs données pour chaque facteur déterminent les niveaux. Le niveau bas correspond à la

borne inférieure et le niveau haut à celle de la borne supérieure. Les niveaux sont représentés par des unités codées. Ainsi, le niveau haut est codé +1 et le niveau bas, -1.

Les facteurs 1 et 2 sont choisis pour former la base du plan qui devrait être hexagonal. Le facteur 1 est constitué de 5 niveaux, le facteur 2 en possède 7 tandis que le facteur 3 contient 3 niveaux (tableau 7). Ce choix est motivé par le fait que la qualité du pigment est primordiale dans le pouvoir couvrant des peintures. Le nombre de niveaux du facteur 2 est plus élevé que celui du facteur 3 car le liant joue un rôle plus important dans la qualité et les propriétés des peintures. Le nombre de niveaux du facteur 2 est, en conséquence, le plus élevé.

Tableau 7 : Coordonnées réduites et réelles des facteurs X_1 , X_2 et X_3 .

Niveaux	X_1	X_2	X_3
	(polymère acrylique/Alkyde)	(R937/PREMTEC)	(Dolomie/CaCO ₃)
-1	0/100		
-0,866		0/100	
-0,816			0/100
-0,577		21/79	
-0,5	25/75		
-0,289		35/65	
0	50/50	50/50	50/50
+0,289		65/35	
+0,5	75/25		
+0,577		79/21	
+0,816			100/0
+0,866		100/0	
+1	100/0		

E. 3. Résultats

15 expériences ont été effectuées et les essais au centre du domaine expérimental sont répétés 3 fois (essais 1, 8, 15).

La matrice expérimentale des coordonnées réduites est présentée dans le tableau 8.

Cinq des essais ont donné de la peinture non utilisable. En effet, les peintures, trop visqueuses, constituent un mélange hétérogène. Elles ne peuvent pas être appliquées sur un mur (cas des essais 4, 5, 6, 9 et 12). Ce problème apparaît lorsque le taux de la résine alkyde dépasse les 50 % de l'ensemble du liant. Dans les 10 autres essais, les produits obtenus ressemblent bien à de la peinture.

Tableau 8 : Matrice expérimentale en coordonnées réduites

Essais	X1	X2	X3
1	0	0	0
2	1	0	0
3	0,5	0,866	0
4	-0,5	0,866	0
5	-1	0	0
6	-0,5	-0,866	0
7	0,5	-0,866	0
8	0	0	0
9	-0,5	0,289	0,816
10	0	-0,577	0,816
11	0,5	0,289	0,816
12	-0,5	-0,289	-0,816
13	0	0,577	-0,816
14	0,5	-0,289	-0,816
15	0	0	0

Les coordonnées réelles de la matrice d'expériences correspondant à la matrice du tableau 8 sont présentées dans le tableau 9.

Tableau 9 : Coordonnées réelles de la matrice d'expériences

	Liant	Pigment	Charge
Essais	(polymère acrylique/Alkyde)	(R937/PREMTEC)	(Dolomie/CaCO₃)
1	50/50	50/50	50/50
2	100/0	50/50	50/50
3	75/25	100/0	50/50
4	25/75	100/0	50/50
5	0/100	50/50	50/50
6	25/75	0/100	50/50
7	75/25	0/100	50/50
8	50/50	50/50	50/50
9	25/75	65/35	100/0
10	50/50	21/79	100/0
11	75/25	65/35	100/0
12	25/75	35/65	0/100
13	50/50	79/21	0/100
14	75/25	35/65	0/100
15	50/50	50/50	50/50

Les quantités de chaque constituant ainsi que les résultats correspondant à chaque essai sont présentés dans le tableau 10.

Tableau 10 : Matrices d'expérimentations et des réponses

Essais	Eau (g)	Liant		Pigment		Charge		Réponses		
		Polymère acrylique (g)	Akyde (g)	R937 (g)	Premtec (g)	Dolomie (g)	CaCO ₃ (g)	Temps de séchage (min)	Pouvoir couvrant (m ² .L ⁻¹)	Masse volumique (kg.L ⁻¹)
1	800	275	275	275	275	50	50	60	7,5	1,5
2	800	550	0	275	275	50	50	20	10,5	1,6
3	800	412	138	550	0	50	50	35	8	1,3
4	800	138	412	550	0	50	50			
5	800	0	550	275	275	50	50			
6	800	138	412	0	550	50	50			
7	800	412	138	0	550	50	50	45	8,5	1,2
8	800	275	275	275	275	50	50	60	7,5	1,5
9	800	138	412	357	193	100	0			
10	800	275	275	116	434	100	0	70	8	1,7
11	800	412	138	357	193	100	0	30	9	1,5
12	800	138	412	193	357	0	100			
13	800	275	275	434	116	0	100	60	8	1,5
14	800	412	138	193	357	0	100	35	9	1,5
15	800	275	275	275	275	50	50	60	7,5	1,5

Les points représentant les 5 essais non valides sont présentés dans la partie hachurée de l'espace expérimental (figure 18). Par conséquent, cette partie de l'espace expérimental ne peut pas être utilisée. Il faut alors limiter l'étude dans l'espace non hachuré.

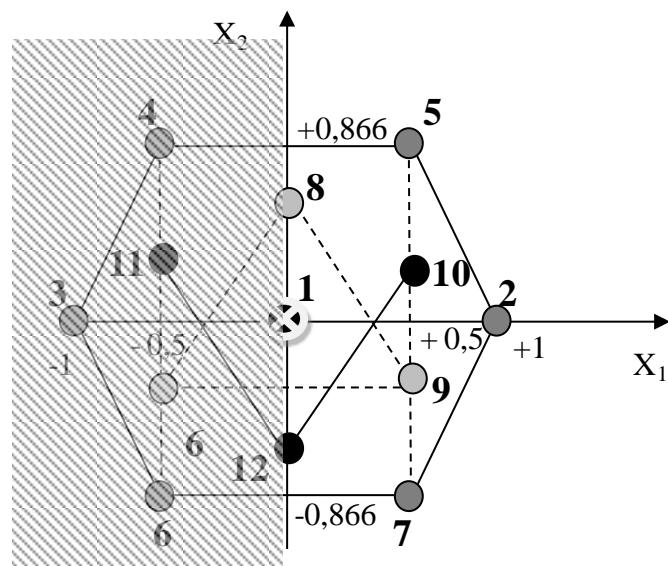


Figure 18 : Plan de Doehlert à 3 facteurs vu sur le plan X₁X₂ et présentant les 15 essais

Dans la suite de l'étude, le facteur X_1 est délimité par l'intervalle [50/50 - 100/0] (rapport massique polymère acrylique/alkyde).

F. Optimisation par plan de Doehlert

Différents types de plan peuvent être utilisés pour placer les points expérimentaux dans un domaine compatible avec les contraintes techniques. Toutefois, le modèle de Doehlert est toujours utilisé pour des raisons de flexibilité. De plus, plusieurs essais déjà effectués peuvent être intégrés dans le nouveau domaine étudié et peuvent donc être utilisés comme points de vérification.

Comme précédemment, l'objectif est de pouvoir mesurer l'influence de tous les facteurs sur les réponses choisies afin de construire les modèles et trouver ainsi les domaines des constituants permettant d'optimiser les propriétés désirées de la peinture.

Un autre plan d'expériences va être réalisé dans un domaine plus restreint.

F. 1. Méthodologie

Le modèle mathématique pour ce plan de Doehlert à 3 facteurs est un modèle du second degré par rapport à chaque facteur. C'est une fonction du type $Y = f(X_i)$ (équation 12).

$$Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3 + a_{11}X_1^2 + a_{22}X_2^2 + a_{33}X_3^2 + a_{12}X_1X_2 + a_{13}X_1X_3 + a_{23}X_2X_3$$

Équation 12

Avec, Y est la réponse ou grandeur d'intérêt,

X_1 , X_2 et X_3 sont les coordonnées des facteurs 1, 2 et 3 pour réaliser un essai,

a_0, a_i, a_{ii} et a_{ij} sont les coefficients du modèle mathématique adopté à priori.

Cette équation 12 peut se mettre sous forme matricielle (équation 13).

$$[Y] = [a][X]$$

Équation 13

Avec $[a]$, la matrice des coefficients du modèle,

$[X]$, la matrice du modèle,

et $[Y]$, la matrice des réponses.

Pour les facteurs X_2 et X_3 , les mêmes niveaux ont été maintenus pour la réalisation du nouveau plan de Doehlert. Pour le facteur X_1 , ce sont les coordonnées réelles correspondant aux coordonnées réduites qui ont été changées. Les nouvelles coordonnées réduites de X_1 correspondent aux coordonnées réelles répondant aux contraintes techniques (figure 19).

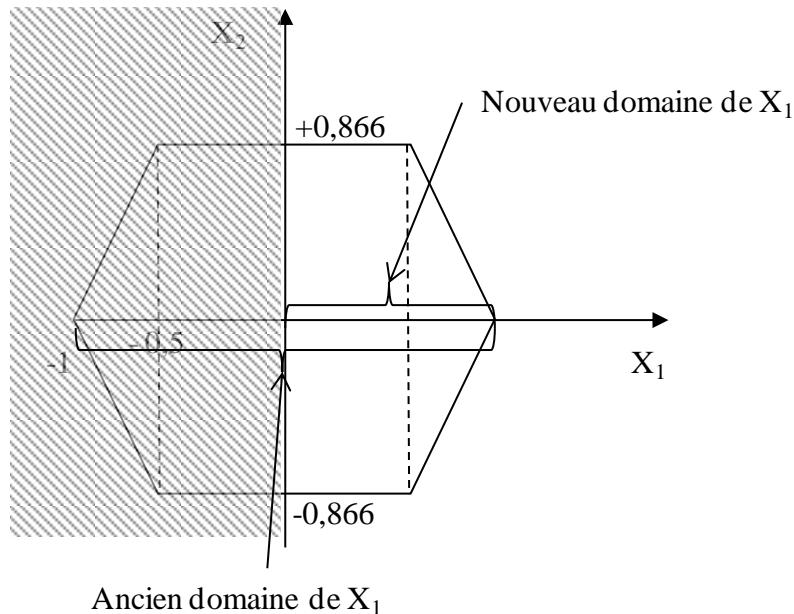


Figure 19 : Nouveau domaine du facteur X_1

Les coordonnées réduites et réelles pour chaque facteur sont données dans le tableau 11. Il est à remarquer que le niveau -1 du facteur X_1 correspond, en coordonnée réelle, au rapport polymère acrylique/alkyde 50/50.

Tableau 11 : Coordonnées réduites et réelles des facteurs X_1 , X_2 et X_3 .

Niveaux	\mathbf{X}_1	\mathbf{X}_2	\mathbf{X}_3
	(polymère acrylique/Alkyde)	(R937/PREMTEC)	(Dolomie/CaCO ₃)
-1	50/50		
-0,866		0/100	
-0,816			0/100
-0,577		21/79	
-0,5	62,5 / 37,5		
-0,289		35/65	
0	75/25	50/50	50/50
+0,289		65/35	
+0,5	87,5/12,5		
+0,577		79/21	
+0,816			100/0
+0,866		100/0	
+1	100/0		

Comparé au plan de Doehlert initial, ce nouveau plan de Doehlert n'est autre que la moitié du domaine initial (figure 20).

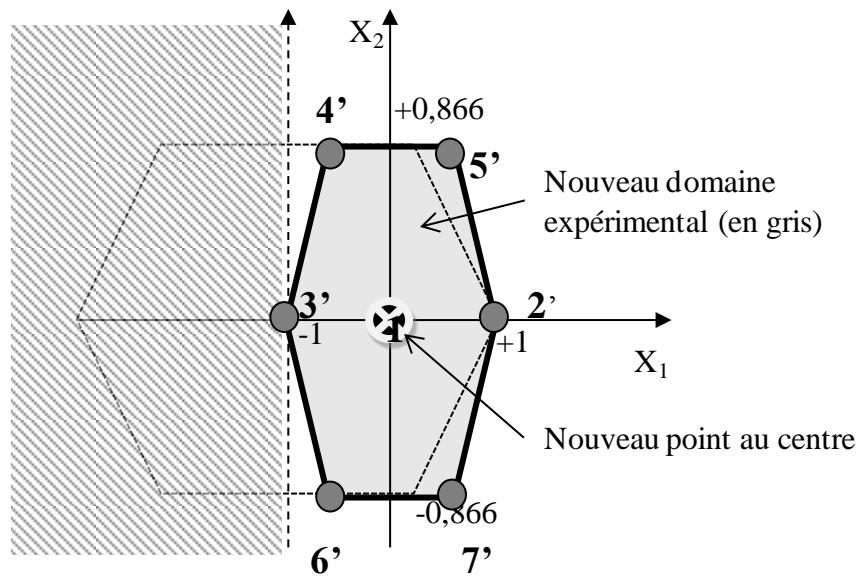


Figure 20 : Nouveaux points et domaine expérimentaux pour le plan de Doehlert à trois facteurs superposés à l'ancien plan.

La matrice d'expériences en coordonnées réelles est présentée dans le tableau 12.

Tableau 12 : Matrice d'expériences en coordonnées réelles

	Liant (polymère acrylique/ Alkyde)	Pigment (R937/PREMTEC)	Charge (Dolomie/CaCO ₃)
Essais			
1'	75/25	50/50	50/50
2'=2	100/0	50/50	50/50
3'	87,5/12,5	100/0	50/50
4'	62,5/37,5	100/0	50/50
5'	0/100	50/50	50/50
6'	62,5/37,5	0/100	50/50
7'	87,5/12,5	0/100	50/50
8'	75/25	50/50	50/50
9'	62,5/37,5	65/35	100/0
10'	75/25	21/79	100/0
11'	87,5/12,5	65/35	100/0
12'	62,5/37,5	35/65	0/100
13'	75/25	79/21	0/100
14'	87,5/12,5	35/65	0/100
15'	75/25	50/50	50/50

Quinze essais ont été effectués et le point au centre est répété 3 fois (essais numéro 1, 8 et 15) afin de vérifier la fiabilité du modèle.

F. 2. Résultats

Les quantités des constituants utilisées ainsi que les résultats correspondant à chaque essai sont rassemblés dans le tableau 13.

Tableau 13 : Quantités des constituants et les résultats correspondant

Essais	Eau (g)	Liant		Pigment		Charge		Réponses			Résistance à l'eau (nombre de frottements)
		Polymère acrylique (g)	Akyde (g)	R937 (g)	Premtec (g)	Dolomie (g)	CaCO ₃ (g)	Temps de séchage (min)	Pouvoir couvrant (m ² .L ⁻¹)	Masse volumique (kg.L ⁻¹)	
1'	800	412	138	275	275	50	50	35	8	1,3	10
2'	800	550	0	275	275	50	50	20	10,5	1,7	12
3'	800	481	69	550	0	50	50	30	8,5	1,25	9
4'	800	344	206	550	0	50	50	50	7,5	1,21	11
5'	800	275	275	275	275	50	50	60	7,5	1,6	8
6'	800	344	206	0	550	50	50	30	8	1,17	12
7'	800	481	69	0	550	50	50	30	9	1,2	10
8'	800	412	138	275	275	50	50	35	8	1,3	9
9'	800	344	206	357	193	100	0	50	8	1,22	8
10'	800	412	138	116	434	100	0	25	8,3	1,54	11
11'	800	481	69	357	193	100	0	30	9	1,27	8
12'	800	344	206	193	357	0	100	45	7,8	1,18	9
13'	800	412	138	434	116	0	100	25	8	1,52	7
14'	800	481	69	193	357	0	100	30	8,5	1,2	9
15'	800	412	138	275	275	50	50	35	8	1,3	11

F.2.1.Temps de séchage

Les réponses montrent que les erreurs expérimentales sont négligeables. En effet, pour les essais 1, 8 et 15, les résultats sont identiques. Le temps de séchage varie de 20 à 60 minutes. Cette grande variation du temps de séchage montre l'influence notable des facteurs étudiés sur la qualité des peintures. Le temps de séchage le plus court est de 20 minutes. Ce temps est similaire à celui des peintures commerciales importées dont le temps de séchage est dit « rapide ». En général, le temps de séchage normal des peintures acryliques est d'environ 1heure. Les temps de séchage obtenus sont alors très satisfaisants.

F.2.2.Pouvoir couvrant

Comparé au pouvoir couvrant des produits commerciaux importés dont la moyenne est à $8 \text{ m}^2.\text{L}^{-1}$, le pouvoir couvrant des peintures que nous avons fabriquées varie de 7,5 à $10,5 \text{ m}^2.\text{L}^{-1}$. La peinture obtenue avec l'essai 2 possède le pouvoir couvrant le plus élevé ($10,5 \text{ m}^2.\text{L}^{-1}$) et en même temps, le temps de séchage le plus court (20 minutes). En revanche, la peinture issue de l'expérience 5 possède le pouvoir couvrant le moins important ($7,5 \text{ m}^2.\text{L}^{-1}$) et le temps de séchage le plus élevé.

F.2.3.Masse volumique

Les masses volumiques des quinze peintures sont comprises entre $1,17$ et $1,7 \text{ kg.L}^{-1}$. Comme précédemment, la peinture obtenue avec l'essai 2 possède la masse volumique la plus élevée ($1,7 \text{ kg.L}^{-1}$) mais cette fois ci, la peinture obtenue avec l'essai 5 est la plus dense ($1,6 \text{ kg.L}^{-1}$) après celle obtenue avec l'essai 2.

F.2.1.Résistance à l'eau

Rappelons que les contreplaquéés ont été peints avec les peintures que nous avons fabriquées. Une fois sèches, ils ont été immergés dans l'eau. Après deux mois, il a été observé que toutes les peintures restent inchangées. Ainsi, pour évaluer la résistance à l'eau de ces peintures, des frottements solides ont été appliqués sur les contreplaquéés pour décapier les peintures et connaître ainsi la peinture la plus résistante.

Le nombre de frottements pour décapier les peintures varie de 7 à 12. Ces résultats sont déjà très satisfaisants comparés aux peintures commerciales locales. En effet, nos peintures ont déjà subi 2 mois d'immersion dans l'eau avant de les faire passer aux frottements alors que moins d'un mois suffit pour décapier les peintures commerciales locales. Parmi les 15 essais réalisés, les peintures obtenues avec les essais 2 et 6 résistent bien à l'eau (12 frottements) tandis que celle issue de l'essai 13 est la moins résistante (7 frottements).

F. 3. Modélisation

Les coefficients du polynôme de l'équation 12 sont déterminés à partir de la matrice de l'équation 13. Les modèles obtenus pour le temps de séchage, le pouvoir couvrant, la masse volumique et la résistance à l'eau sont exprimés respectivement par les équations 14, 15, 16 et 17.

$$Y_1 = 35 - \frac{16,875}{\pm 2} X_1 + \frac{4,69}{\pm 2,01} X_2 + \frac{1,019}{\pm 2,01} X_3 + \frac{5}{\pm 3} X_1^2 - \frac{1,6}{\pm 3,6} X_2^2 + \frac{2,09}{\pm 3,6} X_3^2 \\ - \frac{11,5}{\pm 4,5} X_1 X_2 + \frac{1,02}{\pm 5,20} X_1 X_3 + \frac{17,10}{\pm 5,20} X_2 X_3$$

Équation 14

$$Y_2 = 8,00 - \frac{1,21}{\pm 0,16} X_1 + \frac{0,2}{\pm 0,14} X_2 + \frac{0,2}{\pm 0,1} X_3 + \frac{1,00}{\pm 0,26} X_1^2 - \frac{7,9 \cdot 10^{-15}}{\pm 0,263602} X_2^2 + \frac{0,15}{\pm 0,25} X_3^2 \\ - \frac{1,66 \cdot 10^{-17}}{\pm 0,333676} X_1 X_2 + \frac{0,28}{\pm 0,37} X_1 X_3 + \frac{0,1}{\pm 0,3} X_2 X_3$$

Équation 15

$$Y_3 = \frac{1,3}{\pm 0,004} 00 - \frac{0,042}{\pm 0,003} X_1 + \frac{0,024}{\pm 0,003} X_2 + \frac{0,026}{\pm 0,003} X_3 + \frac{0,350}{\pm 0,006} X_1^2 - \frac{0,20}{\pm 0,006} X_2^2 + \frac{0,15}{\pm 0,006} X_3^2 \\ + \frac{0,005}{\pm 0,008} X_1 X_2 + \frac{0,016}{\pm 0,009} X_1 X_3 + \frac{0,600}{\pm 0,009} X_2 X_3$$

Équation 16

$$Y_4 = 10 + \frac{0,5}{\pm 1} X_1 - \frac{1,15}{\pm 0,9} X_2 + \frac{0,40}{\pm 0,92} X_3 - \frac{7,11 \cdot 10^{-15}}{\pm 1,683251} X_1^2 + \frac{0,66}{\pm 1,68} X_2^2 - \frac{2,16}{\pm 1,59} X_3^2 - \frac{0,47}{\pm 2,38} X_2 X_3$$

Équation 17

Les matrices des résultats expérimentaux et des résultats modélisés sont présentées dans le tableau 14.

Les différences entre les réponses expérimentales et les réponses modélisées ainsi que les résidus des coefficients sont faibles. Ceci montre que les modèles sont bien ajustés.

Tableau 14 : Matrice des résultats expérimentaux et des résultats modélisés

Y ₁ (min)			Y ₂ (m ² .L ⁻¹)			Y ₃ (kg.L ⁻¹)			Y ₄ (frottements)		
Exp	Mod	Rés	Exp	Mod	Rés	Exp	Mod	Rés	Exp	Mod	Rés
35	35	0	8	8	0	1,3	1,3	0	10	10	0
20	23,125	3,125	10,5	10,21	-0,288	1,7	1,69	-0,008	12	10,5	-1,5
30	25,625	-4,375	8,5	8,67	0,175	1,25	1,25	0,003	9	9,75	0,75
50	52,5	2,5	7,5	7,46	-0,038	1,21	1,205	-0,005	11	9,25	-1,75
60	56,875	-3,125	7,5	7,78	0,288	1,6	1,60	0,008	8	9,5	1,5
30	34,375	4,375	8	7,82	-0,175	1,17	1,16	-0,003	12	11,25	-0,75
30	27,5	-2,5	9	9,037	0,038	1,2	1,205	0,005	10	11,75	1,75
35	35	0	8	8	0	1,3	1,3	0	9	10	1
50	50,625	0,625	8	7,75	-0,25	1,22	1,22	0,008	8	8,25	0,25
25	23,125	-1,875	8,3	8,43	0,138	1,54	1,52	-0,01	11	10	-1
30	31,25	1,25	9	9,11	0,113	1,27	1,27	0,002	8	8,75	0,75
45	43,75	-1,25	7,8	7,68	-0,113	1,18	1,17	-0,008	9	8,25	-0,75
25	26,875	1,875	8	7,86	-0,138	1,52	1,51	-0,005	7	8	1
30	29,375	-0,625	8,5	8,75	0,25	1,2	1,21	0,013	9	8,75	-0,25
35	35	0	8	8	0	1,3	1,3	0	11	10	-1

F.3.1. Temps de séchage

Les présentations des surfaces tridimensionnelles correspondant à l'équation 14 sont présentées aux figures 21, 22 et 23 en fixant à zéro l'un des facteurs.

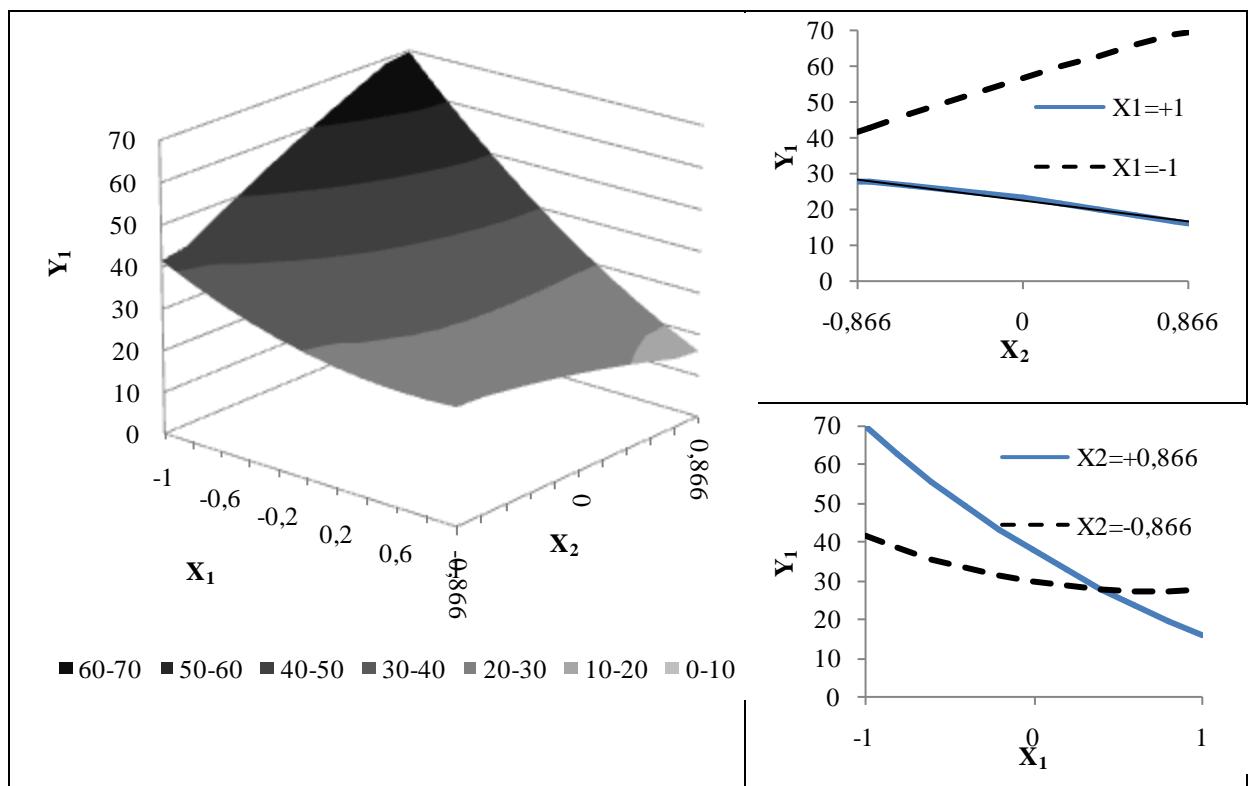


Figure 21 : Surface de réponses et courbes d'interaction pour Y₁ en fonction de X₁ et X₂ avec X₃ = 0

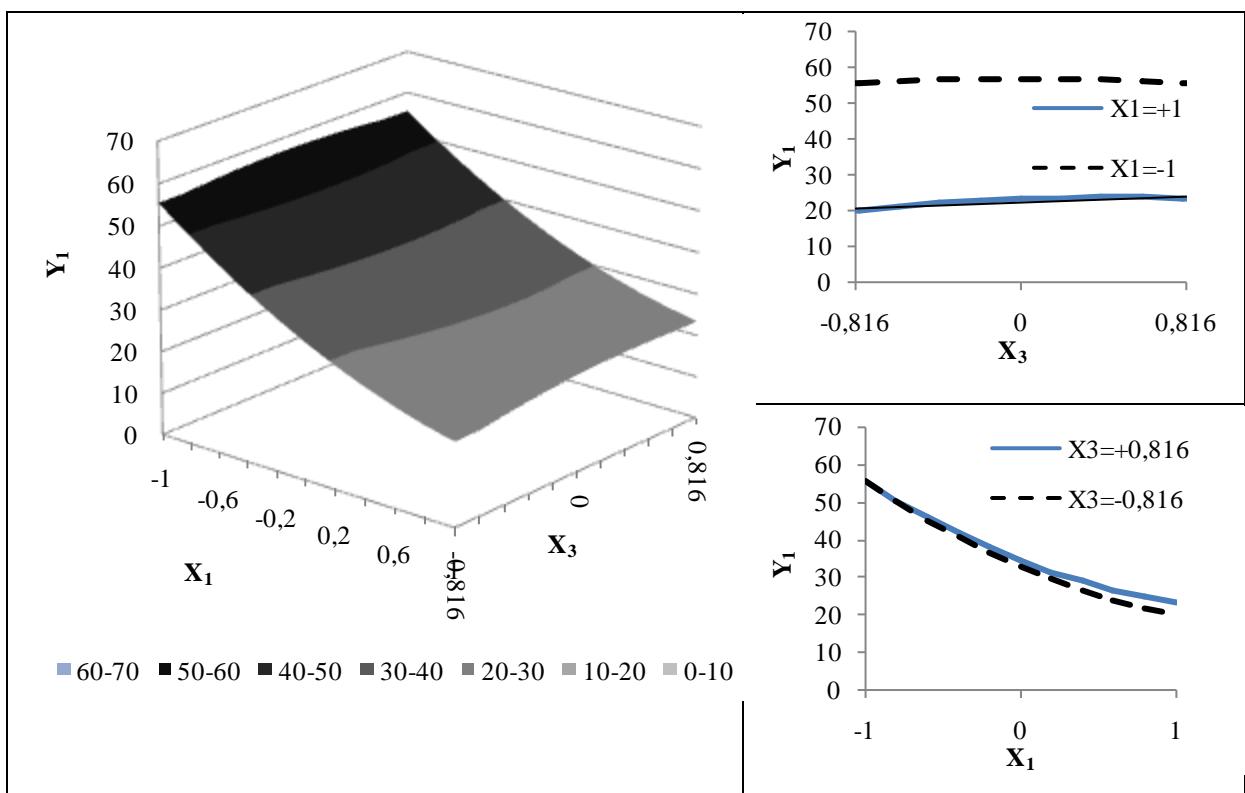


Figure 22 : Surface de réponses et courbes d'interaction de Y_1 en fonction de X_1 et X_3 pour $X_2 = 0$

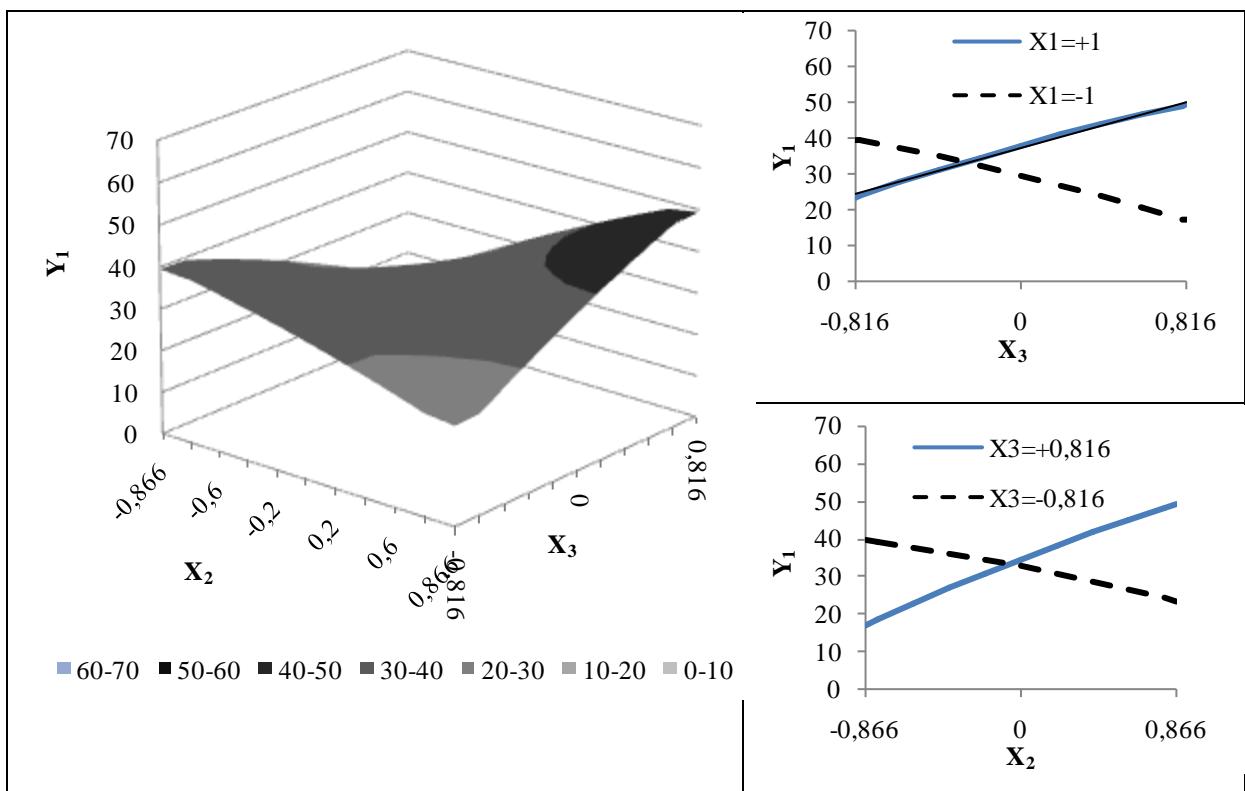


Figure 23 : surface de réponse et courbes d'interaction de Y_1 en fonction de X_2 et X_3 pour $X_1 = 0$

F.3.1.1. Influences propres de chaque facteur

Le facteur X_1 , dont l'influence est exprimée par le coefficient $|a_1| = 16,875$, est le plus influent. Cette influence est schématisée aux figures 21 et 22. En effet, une importante variation de Y_1 ($\Delta=30$ minutes) en fonction de X_1 peut être observée. Quand X_1 augmente, Y_1 diminue (figures 21 et 22).

L'influence de X_2 est également importante même si le coefficient a_2 est beaucoup moins élevé que a_1 ($|a_2| = 4,69$). Une variation de Y_1 de plus de 30 minutes peut également être constatée en fonction de X_2 (figures 22 et 23)

Le coefficient relatif au facteur X_3 est faible. Cependant, la variation de Y_1 en fonction de X_3 est importante (figure 23). Par conséquent, l'influence de X_3 n'est pas négligeable.

F.3.1.2. Interactions

En observant la figure 13, il existe une interaction entre les facteurs X_1 et X_2 . En effet, la variation de X_1 affecte l'influence de X_2 sur la réponse Y_1 . De plus, cette interaction est représentée par une valeur élevée du coefficient a_{12} ($|a_{12}| = 11,54$) (équation 9).

Pour les facteurs X_1 et X_3 , aucune interaction n'est perçue entre ces deux facteurs (figure 13). En effet, le facteur X_1 n'interfère pas sur l'influence de X_3 sur la réponse et réciproquement. La faible valeur du coefficient a_{13} (1,02) confirme cette observation.

Une forte interaction peut être observée entre les facteurs X_2 et X_3 . Le coefficient $a_{23} (= 17,10)$ est élevé. La surface de réponse présentée à la figure 14 montre une surface complexe et des courbes d'interaction croisées.

F.3.1.3.Effets quadratiques

Malgré le fait que a_{11} ait une valeur assez élevée, les figures 24 montrent que les influences de chaque facteur sont presque linéaires. Les effets quadratiques sont donc négligeables.

F.3.1.4. Y_1 optimum

Pour trouver la valeur optimale de Y_1 , il faut calculer la dérivée partielle de Y_1 de l'équation 8. Ces dérivations ont abouti au système d'équation qui suit (équation 11) :

$$-16,87 + 10X_1 - 11,54X_2 + 1,025X_3 = 0$$

$$4,69 - 11,54X_1 - 3,2X_2 + 17,10X_3 = 0$$

$$1,01 + 1,025X_1 + 17,10X_2 - 4,10X_3 = 0$$

Équation 18

La résolution de ce système d'équation a donné les valeurs des trois facteurs X_1 , X_2 et X_3 avec $X_1 = 2$, $X_2 = 0,27$ et $X_3 = 1,14$. Il est à remarquer que les valeurs de X_1 et X_3 se trouvent en dehors du domaine des facteurs. De plus, les coordonnées réelles correspondantes à ces valeurs ne peuvent pas exister.

Si l'on observe l'influence de X_1 , la condition pour obtenir une réponse optimale correspond à $X_1 = +1$. Pour respecter cette condition et rester dans le domaine d'étude, il faut que l'un des facteurs X_2 ou X_3 soit égal à zéro. Deux cas sont donc possibles :

$(X_1, X_2, X_3) = (+1, 0, x)$ ou $(X_1, X_2, X_3) = (+1, x, 0)$ où x est à déterminer.

Les deux courbes qui correspondent à $Y_1 = f(X_3)$ avec $(X_1, X_2) = (+1, 0)$ et à $Y_1 = f(X_2)$ avec $(X_1, X_3) = (+1, 0)$ sont présentées aux figures 24.

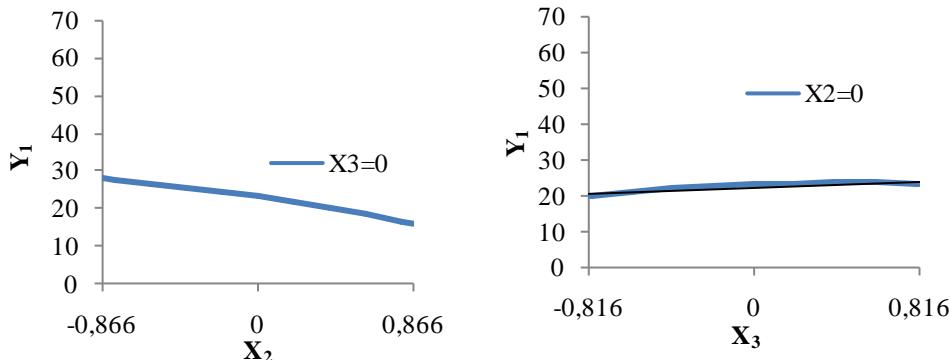


Figure 24 : courbes représentant $Y_1 = f(X_3)$ avec $(X_1, X_2) = (+1, 0)$ et $Y_1 = f(X_2)$ avec $(X_1, X_3) = (+1, 0)$

On en conclut que le temps de séchage le plus court est de 16 minutes et correspond au point $(X_1, X_2, X_3) = (+1 ; +0,866 ; 0)$.

F.3.2. Pouvoir couvrant

Les surfaces tridimensionnelles correspondant à l'équation 15 sont présentées dans les figures 25, 26 et 27. Un des facteurs est toujours fixé à 0 pour chaque figure.

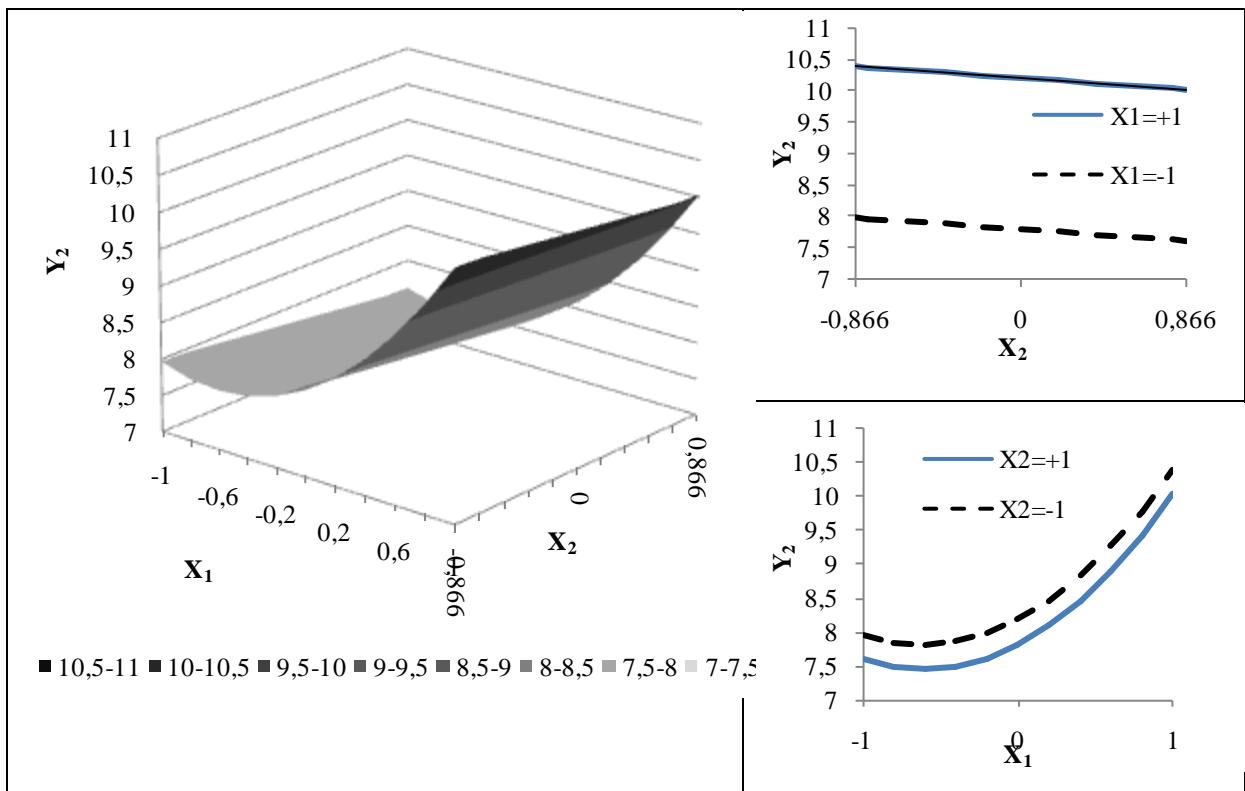


Figure 25 : surface de réponse et courbes d'interaction de Y_2 en fonction de X_1 et X_2 pour $X_3 = 0$

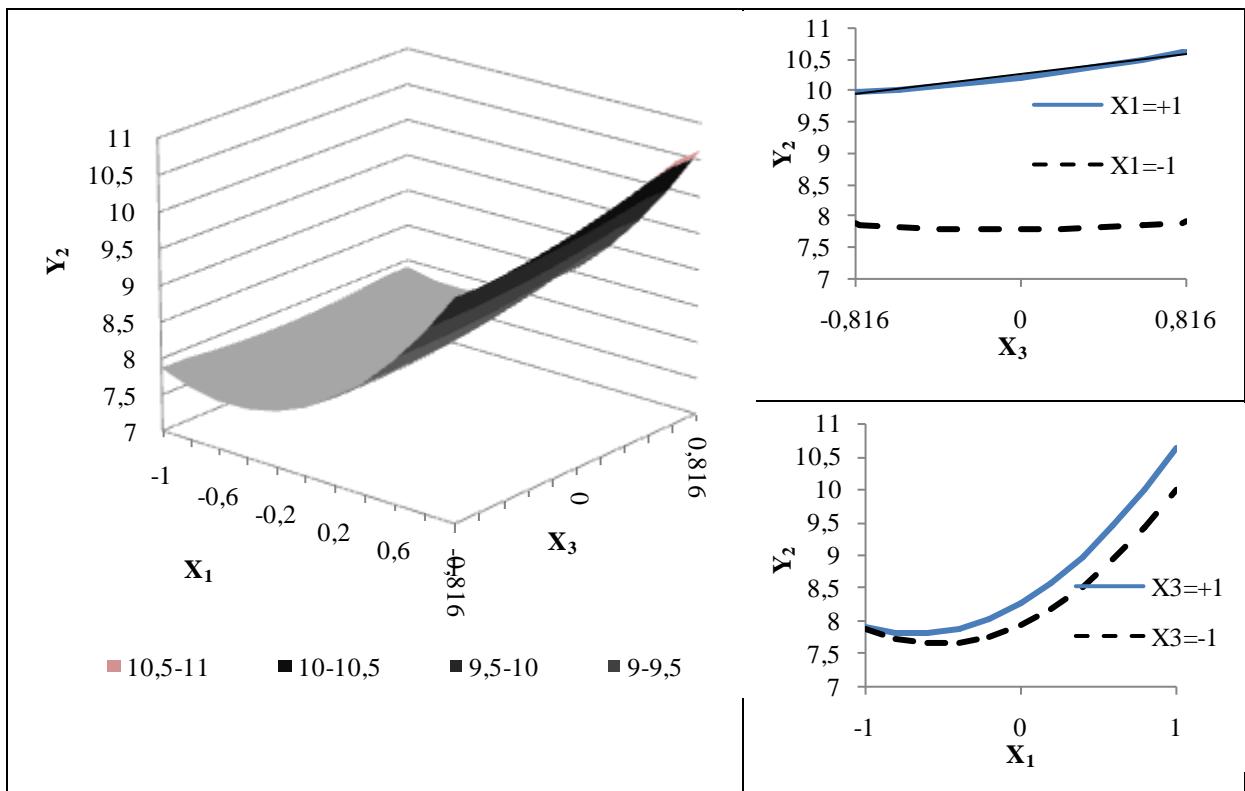


Figure 26 : surface de réponse et courbes d'interaction de Y_2 en fonction de X_1 et X_3 pour $X_2 = 0$

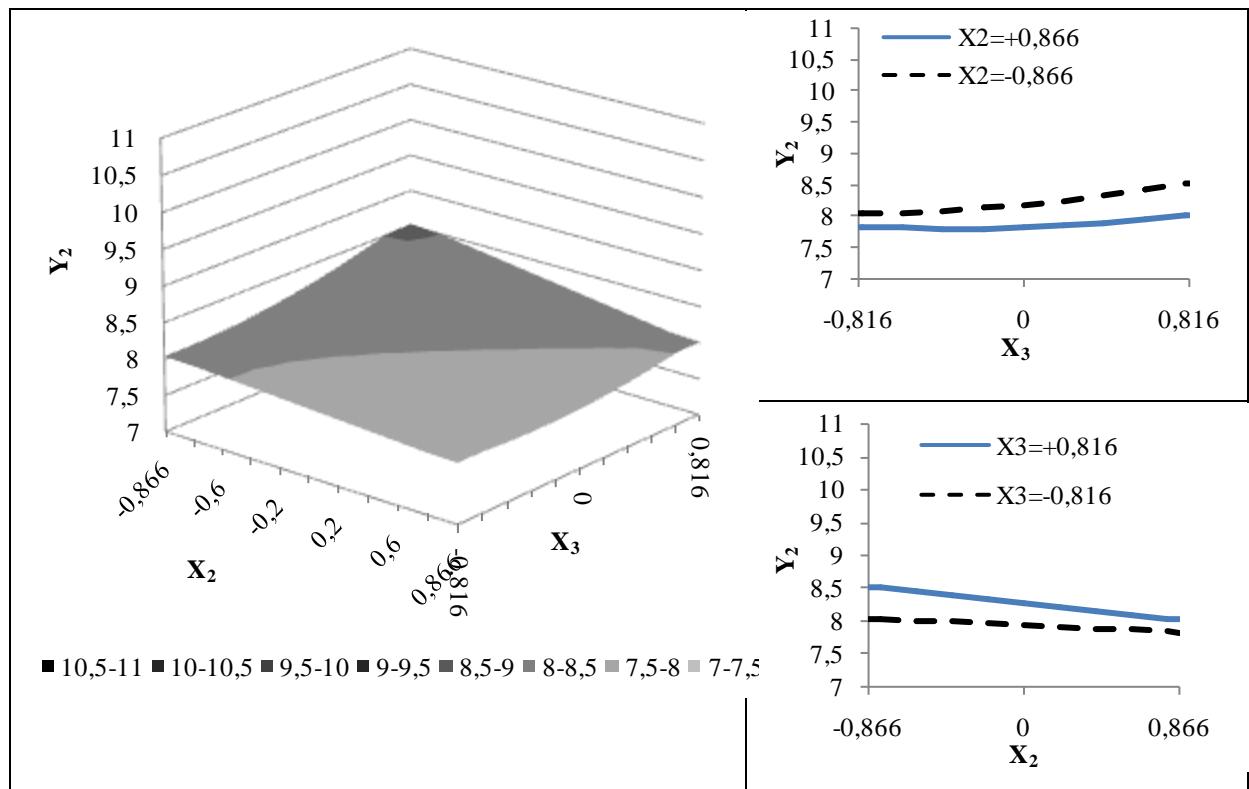


Figure 27 : surface de réponse et courbes d'interaction de Y_2 en fonction de X_2 et X_3 pour $X_1 = 0$

F.3.2.1. Influences propres pour chaque facteur et effets quadratiques

Le facteur X_1 est le seul facteur qui fasse varier Y_2 de façon importante et non linéaire. L'influence des deux autres facteurs est faible comme le montre les coefficients de l'équation 15 et les figures 26 et 27.

F.3.2.2. Interactions

Aucune interaction n'existe entre les 3 facteurs X_1 , X_2 et X_3 (figures 25, 26 et 27). Ceci est confirmé par les faibles valeurs des coefficients a_{12} , a_{13} et a_{23} de l'équation 15.

F.3.2.3. Y_2 optimum

La valeur optimale de Y_2 est déterminée en annulant les dérivées partielles de Y_2 de l'équation 9 par rapport à X_1 , X_2 et X_3 . Le système d'équation suivant (équation 19) a été obtenu.

$$\begin{aligned} 1,21 + 2X_1 + 0,28X_3 &= 0 \\ 0,2 - 0,1X_3 &= 0 \\ 0,2 + 0,28X_1 - 0,1X_2 - 0,30X_3 &= 0 \end{aligned}$$

Équation 19

La résolution de ce système d'équation a donné les valeurs des trois facteurs X_1 , X_2 et X_3 avec $X_1 = -0,88$, $X_2 = 5,6$ et $X_3 = 2$. Notons que les valeurs de X_2 et X_3 ne sont pas incluses dans le domaine des facteurs. De plus, la valeur de Y_2 calculée à partir de ces facteurs est $Y_2 = 8,21 \text{ m}^2 \cdot \text{L}^{-1}$, ce qui correspond au pouvoir couvrant minimal. , c'est la valeur maximale qu'il fallait déterminer. Pour remédier à ce problème, la méthode graphique est utilisée. Il a été noté que:

- quels que soient X_2 et X_3 , le meilleur pouvoir couvrant est obtenu lorsque X_1 tend vers +1 ;
- quels que soient X_1 et X_3 , le meilleur pouvoir couvrant est obtenu lorsque X_2 tend vers -0,866 ;
- et quels que soient X_1 et X_2 , le meilleur pouvoir couvrant est obtenu lorsque X_3 tend vers +0,816;

Toutefois, ce point se trouve également en dehors du domaine du modèle.

Expérimentalement, $X_1 = +1$ permet d'obtenir le pouvoir couvrant le plus élevé. Or, si l'on considère que $X_1 = +1$, une des valeurs de X_2 ou des X_3 devrait être égale à zéro pour rester dans le domaine d'étude. D'après les résultats issus du modèle, il est plus intéressant de fixer X_2 à zéro $X_3 = +0,816$ et d'avoir un maximum de pouvoir couvrant ($10,63 \text{ m}^2 \cdot \text{L}^{-1}$).

F.3.3. Masse volumique

Les surfaces tridimensionnelles qui correspondent à l'équation 16 sont présentées aux figures 28, 29 et 30.

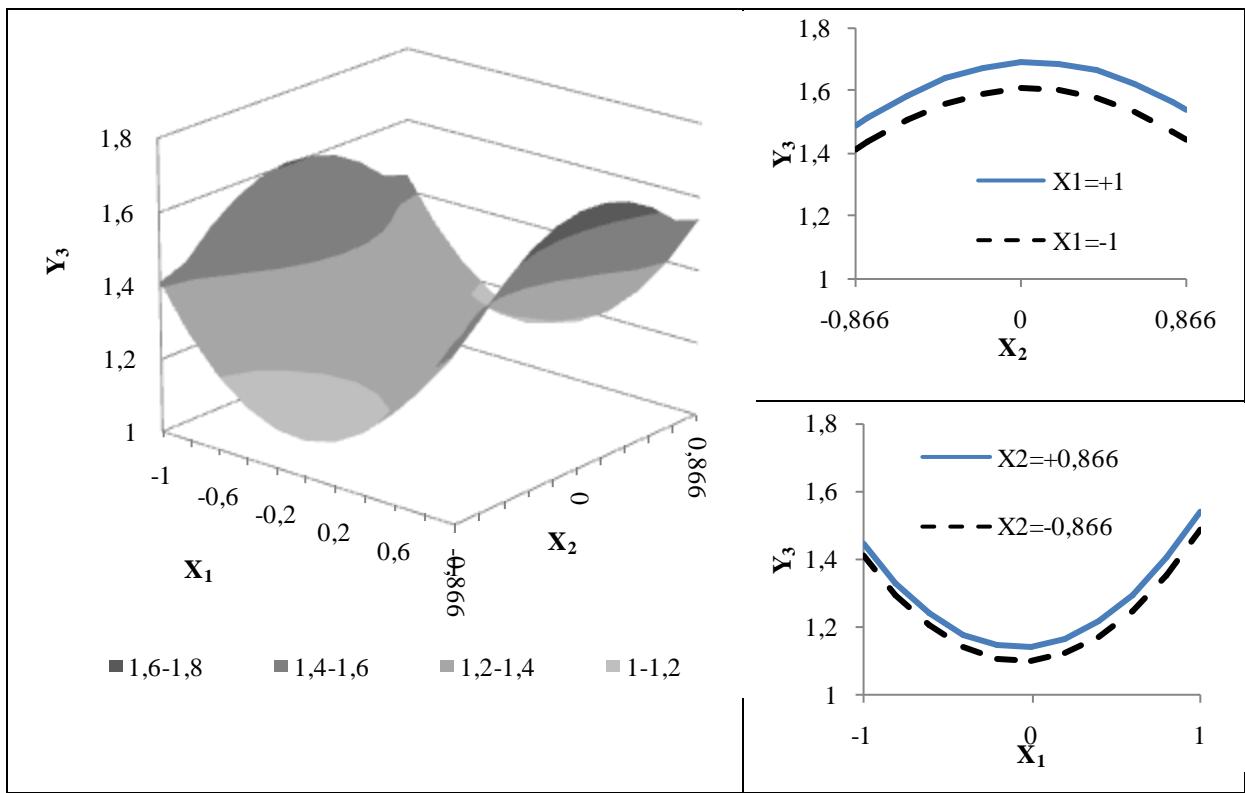


Figure 28 : surface de réponse et courbes d'interaction de Y_3 en fonction de X_1 et X_2 pour $X_3 = 0$

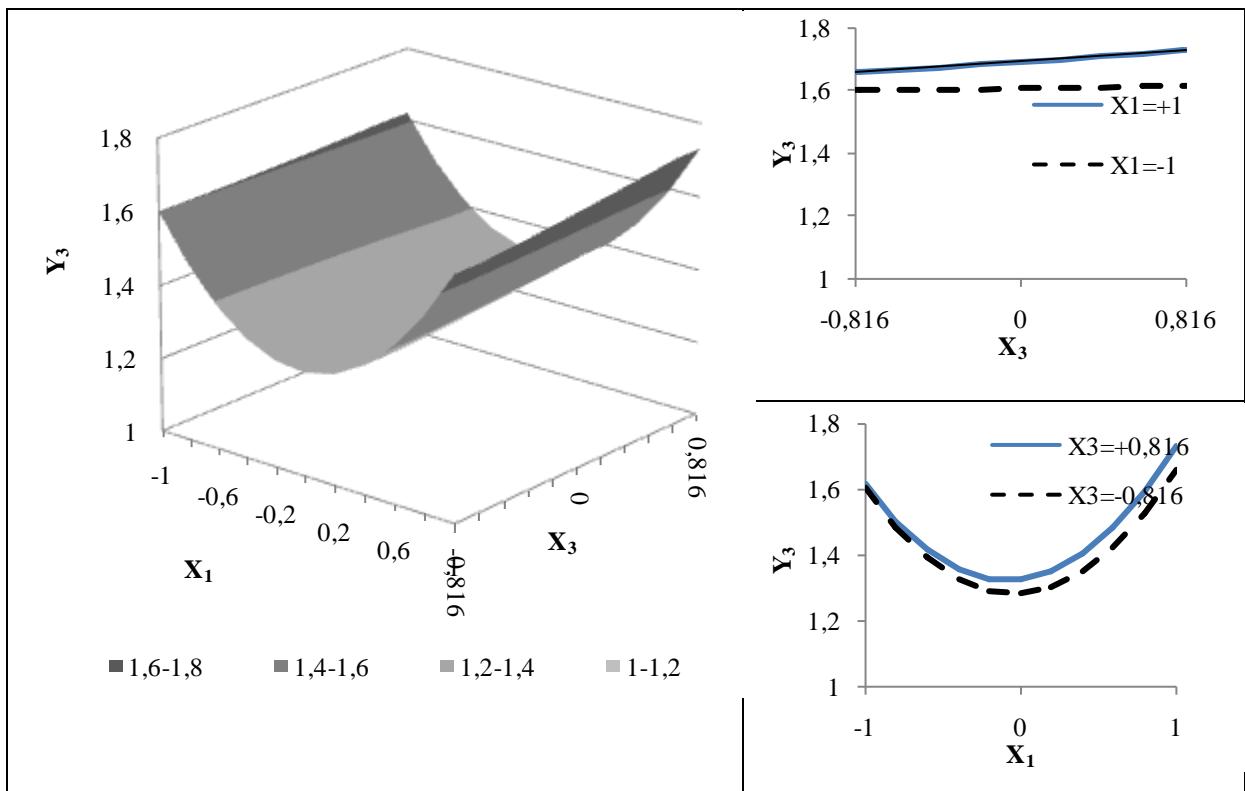


Figure 29 : surface de réponse et courbes d'interaction de Y_3 en fonction de X_1 et X_3 pour $X_2 = 0$

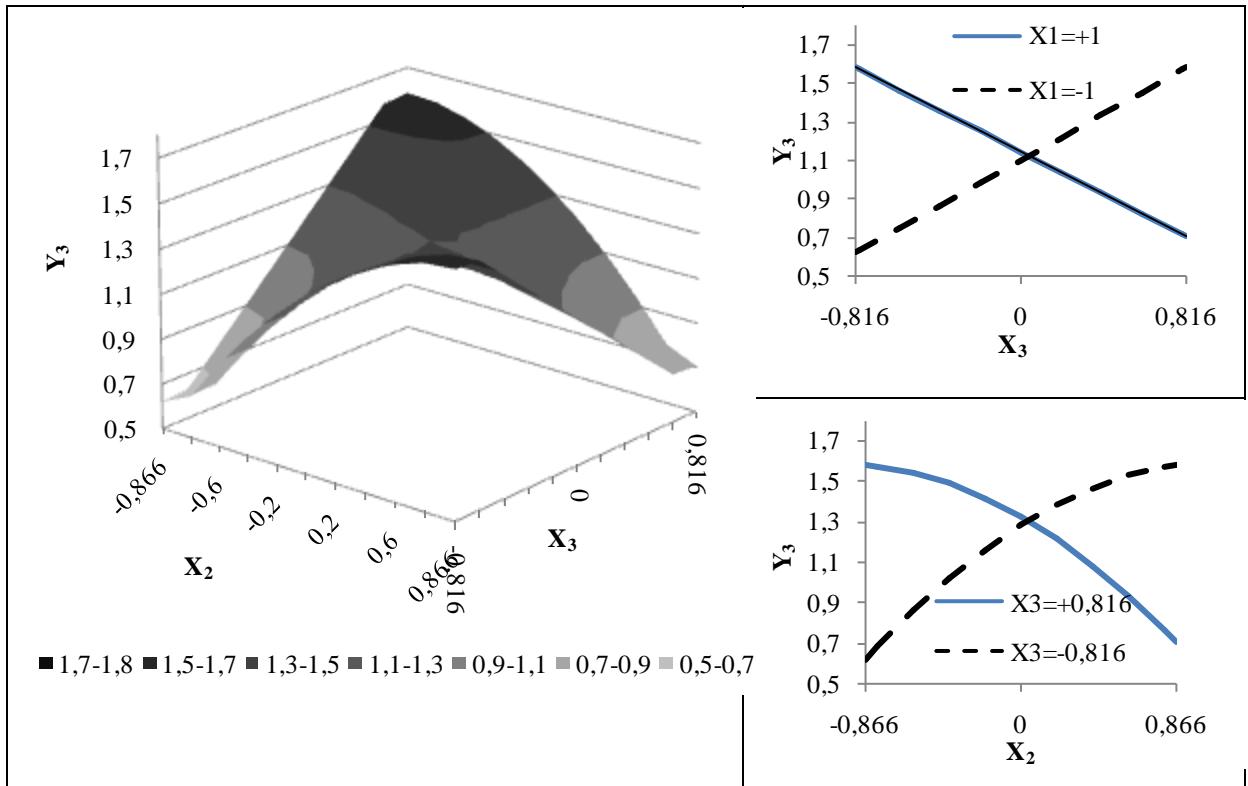


Figure 30 : surface de réponse et courbes d'interaction de Y_3 en fonction de X_2 et X_3 pour $X_1 = 0$

Ces figures montrent que la masse volumique de la peinture dépend des trois facteurs

L'influence du facteur 1 dépend de la composition du liant. Le mélange kamycril/alkyde diminue la masse volumique. Lorsque ces composants sont utilisés à l'état pur, la masse volumique est plus élevée (figure 28). D'où, l'effet quadratique de ce facteur.

Des effets quadratiques de X_2 sont également constatés. En présence de X_1 , il n'y a pas d'interaction entre les deux facteurs. La masse volumique est faible lorsque le liant est constitué de deux composants. En revanche, l'utilisation d'un produit pur permet d'obtenir une masse volumique élevée.

Par ailleurs, en présence de X_3 , une interaction a lieu entre les deux facteurs et l'influence de X_2 dépend de X_3 (figure 29).

L'influence de X_3 est linéaire quel que soit les valeurs de X_1 et de X_2 . Aucune interaction n'est notée entre X_1 et X_2 et l'effet de X_3 est dans ce cas très faible. L'interaction entre X_2 et X_3 , agit sur l'effet de X_3 sur la masse volumique (figure 30).

On peut alors en déduire que la masse volumique dépend de l'effet de mélange entre les composants de chaque facteur et les facteurs entre eux.

F.3.4.Résistance à l'eau

Les surfaces tridimensionnelles correspondantes à l'équation 17 sont présentées aux figures 31, 32 et 33. Comme précédemment, l'un des facteurs est fixé à 0 pour chaque figure.

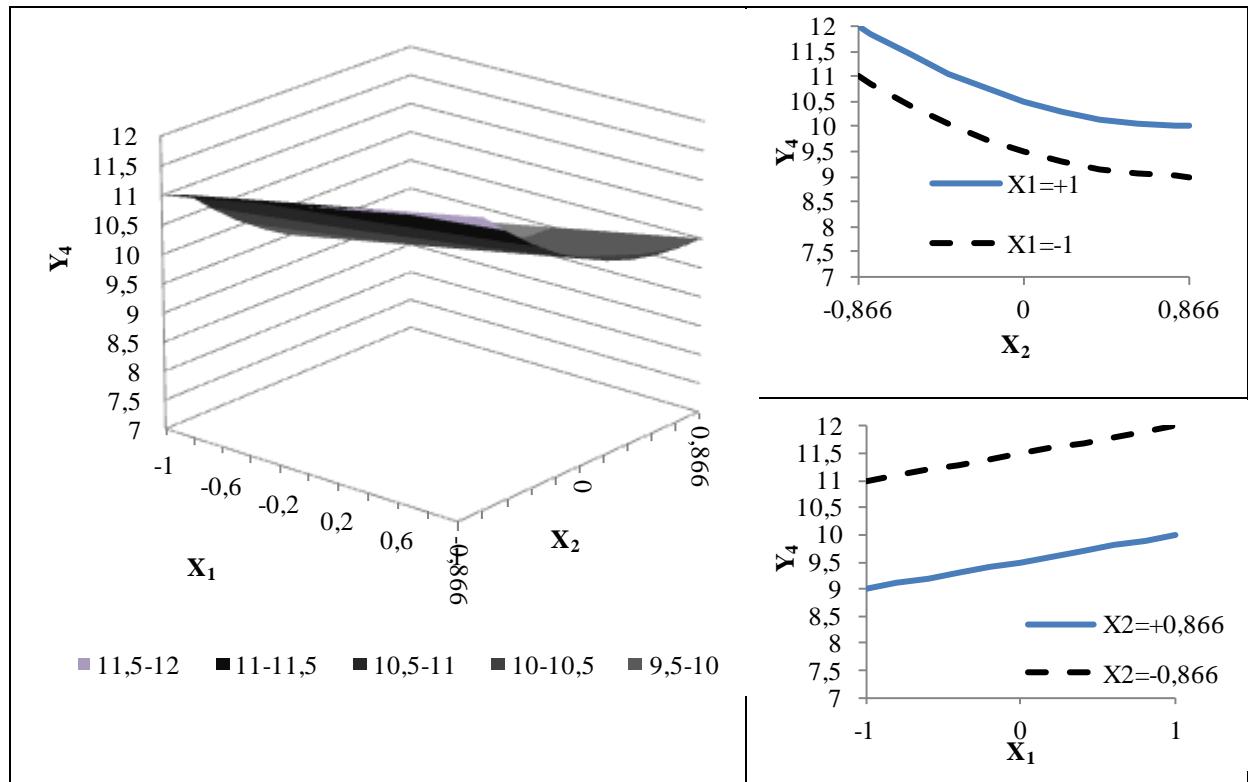


Figure 31 : surface de réponse et courbes d'interaction de Y_4 en fonction de X_1 et X_2 pour $X_3 = 0$

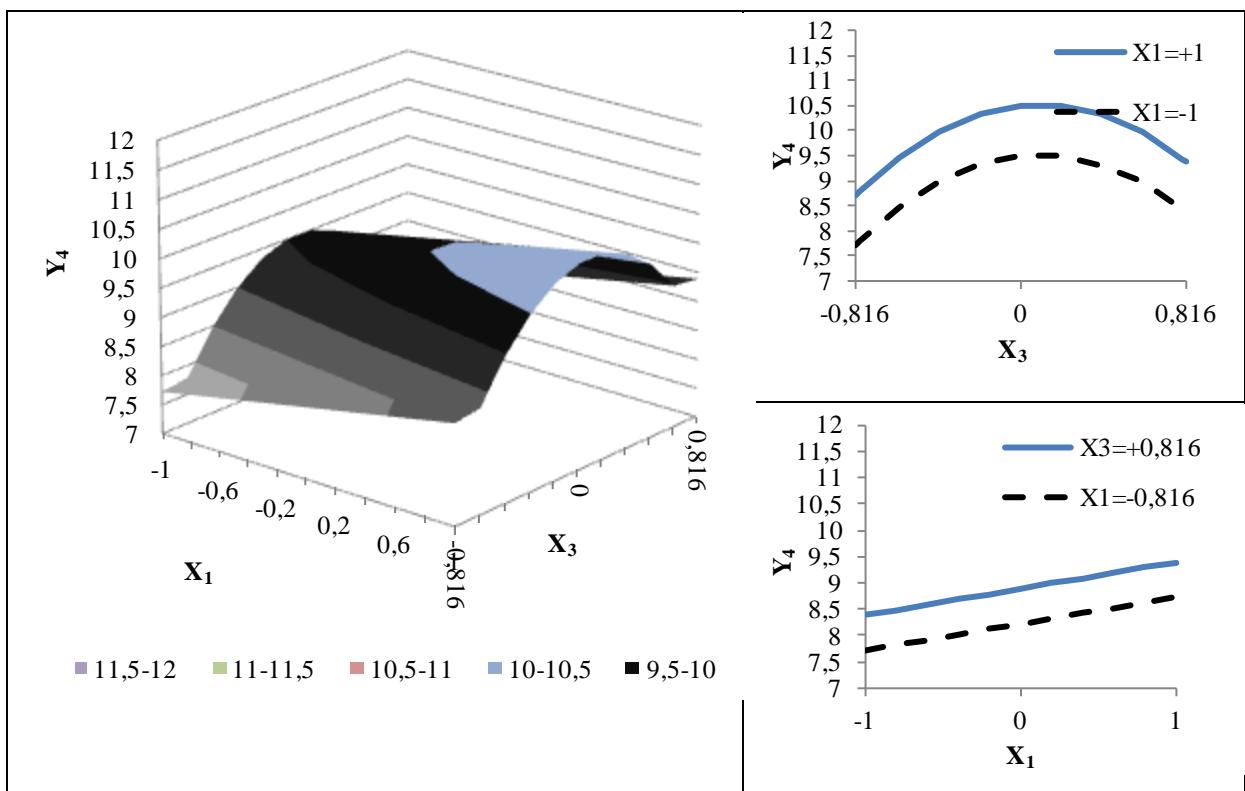


Figure 32 : Surface de réponse et courbes d'interaction de Y_4 en fonction de X_1 et X_3 pour $X_2 = 0$

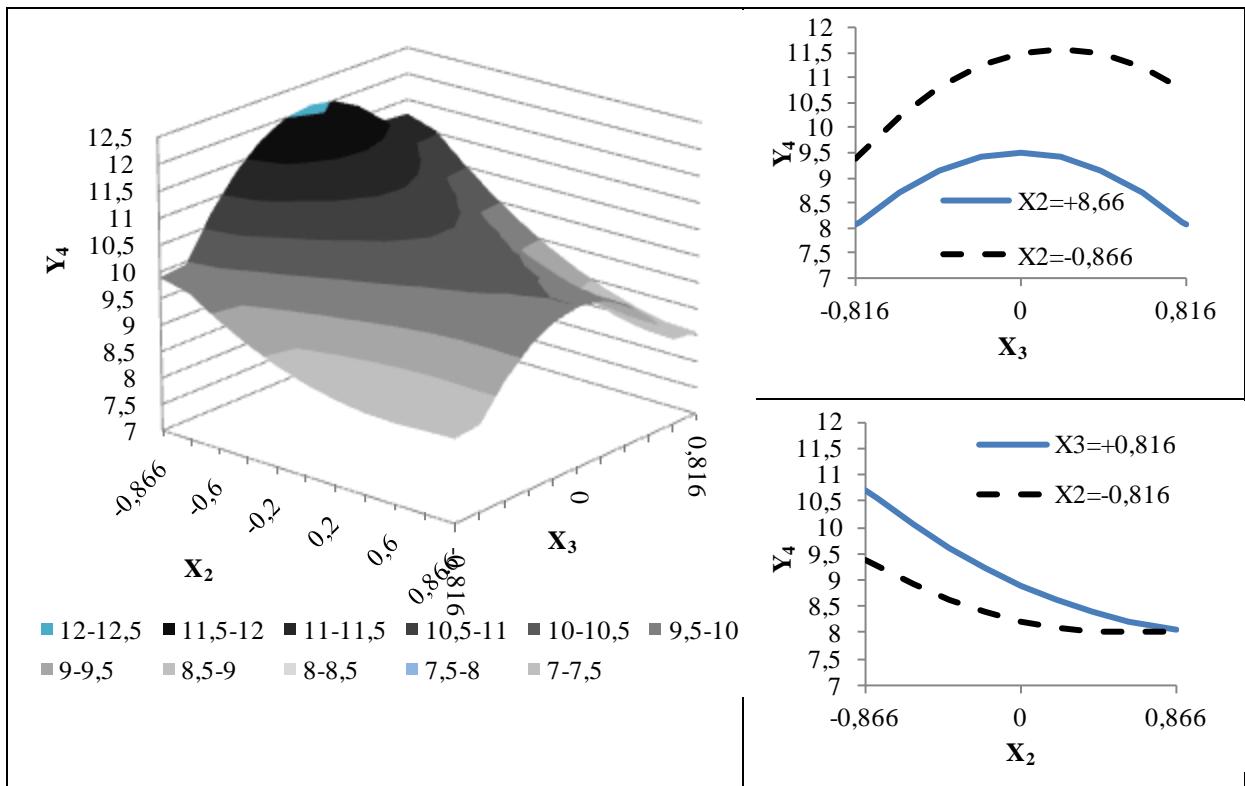


Figure 33 : surface de réponse et courbes d'interaction de Y_4 en fonction de X_2 et X_3 pour $X_1 = 0$

Les facteurs X_1 et X_2 ont des influences quasi-linéaires comme le montrent les figures X et Y. En revanche, le facteur X_3 est très influent. De plus, la variation de Y_4 en fonction de X_3 est quadratique. .

Les facteurs X_1 , X_2 et X_3 n'interagissent pas sur la réponse Y_4 . En effet, les courbes d'interaction sont toutes parallèles.

Pour déterminer la valeur optimale de Y_4 , les dérivées partielles de Y_4 de l'équation 9 par rapport à X_1 , X_2 et X_3 ont été calculées et égalisées à zéro. Ce qui permet d'obtenir le système d'équation suivant (équation 20) :

$$\begin{aligned} 0,5 - 1,4 \cdot 10^{-14} X_1 &= 0 \\ -1,15 + 1,32 X_2 - 0,47 X_3 &= 0 \\ 0,40 - 0,47 X_2 - 4,32 X_3 &= 0 \end{aligned}$$

Équation 20

Ce système d'équation permet de calculer les valeurs des facteurs X_1 , X_2 et X_3 avec $X_1 = 3,51 \cdot 10^{13}$, $X_2 = 0,80$ et $X_3 = -0,18$. La valeur calculée de X_1 se trouve en dehors du domaine d'étude. Toutefois, si l'on néglige le coefficient a_{11} , la dérivée partielle devient constante, ce qui signifie que la variation de Y_4 est linéaire. On en déduit que la réponse Y_4 optimale est obtenue avec $X_1 = +1$. Les valeurs de X_2 et X_3 , ne dépendant pas de X_1 , restent alors les mêmes. Malgré le fait que les coordonnées de ces 2 facteurs soient incluses dans leurs domaines, le point correspondant à ces coordonnées se trouve en dehors du domaine d'étude. En effet, pour un plan de Doehlert, lorsque X_1 est fixé à +1, il faut que l'un des facteurs (X_2 ou X_3) soit égal à zéro. Il faut alors fixer X_3 à zéro pour obtenir la résistance à l'eau la plus élevée ($Y_4=12$ frottements). La valeur de X_2 correspondant est dans ce cas de -0,866.

F. 4. Détermination de l'optimum multiréponse

Les points pour l'obtention des maximums sont présentés dans le tableau 15.

Tableau 15 : Coordonnées des points présentant les optimums pour chaque réponse

	\mathbf{Y}_1	\mathbf{Y}_2	\mathbf{Y}_4
\mathbf{X}_1	+1	+1	+1
\mathbf{X}_2	0,866	0	-0,866
\mathbf{X}_3	0	0,816	0

Ces points ne permettent pas de choisir un point commun pour toutes les réponses.

Une optimisation multiréponse a donc été effectuée. Cette procédure aide à déterminer la combinaison des facteurs expérimentaux qui optimise de façon simultanée les trois réponses.

Ainsi une analyse graphique des isoréponses pour $X_1 = +1$ pour ces trois réponses a été réalisée (figure 34).

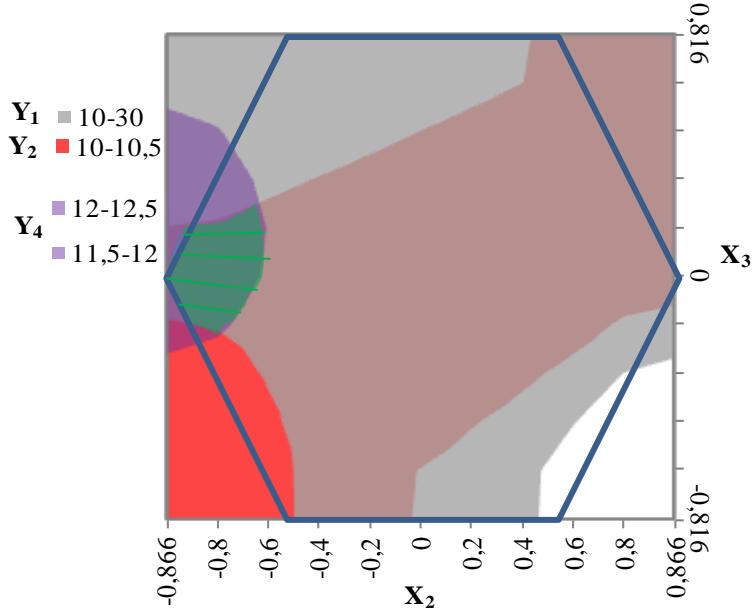


Figure 34 : Superposition des surfaces de réponses

On peut définir donc un domaine expérimental optimal (hachuré en vert) dans lequel, on observe simultanément un temps de séchage court, un pouvoir couvrant élevé et une excellente résistance à l'eau. Les coordonnées réelles correspondantes sont : $X_1=100/0, 8/92 < X_2 < 30/70$ et $77/23 < X_3 < 30/70$, c'est-à-dire un temps de séchage inférieur à 20 minutes, un pouvoir couvrant supérieur à $10 \text{ m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$ et une résistance à l'eau de plus de 10 frottements.

Les conditions optimales sont obtenues en utilisant :

- d'un polymère acrylique comme liant,
- une proportion élevée de dolomie dans la charge,
- et un mélange de pigment.

CONCLUSION

Dans ce travail, l'objectif était d'obtenir des peintures acryliques possédant une meilleure résistance à l'eau, un temps de séchage rapide et un pouvoir couvrant élevé. Ce type de peinture est non seulement à base d'eau, lui conférant les avantages des produits écologiques, mais aussi, elle possède des caractéristiques bien définies dont les autres types de peintures à l'eau n'en disposent pas.

Ce travail a été divisé en deux parties. La première partie est une revue bibliographique des peintures et des plans d'expériences. Ceci a été fait pour avoir les connaissances nécessaires à la fabrication de la peinture. La deuxième partie est focalisée sur l'étude des différents constituants de la peinture acrylique pour avoir un produit très résistant avec un pouvoir couvrant élevé et un produit qui sèche rapidement. Pour ce faire, le plan de Doehlert a été utilisé.

Plusieurs essais préliminaires ont tout d'abord été réalisés. Un essai de modélisation avec un premier plan de Doehlert a été effectué. Les résultats ont montré que les peintures ne sont pas utilisables lorsque le pourcentage de l'alkyde composant le liant dépasse les 50 %. De ce fait, le domaine du plan d'expériences a été réduit. Un nouveau plan d'expériences a été alors établi.

En se référant aux surfaces de réponse obtenues, les résultats ont montré que chaque facteur a une influence propre sur les quatre réponses choisies telles que la résistance à l'eau, le pouvoir couvrant, le temps de séchage et la masse volumique. Des interactions entre les facteurs ont été observées pour chaque réponse à l'exception du pouvoir couvrant. Pour les quatre réponses, l'annulation de la dérivée n'a pas permis de trouver les optimums. La méthode graphique a été alors utilisée. Les conditions pour avoir les réponses optimales sont les suivantes :

Réponses	Liant		Charge		Pigment	
	Polymère acrylique	Alkyde	Dolomie	Carbonate de Calcium	Premtec	R934
<i>Pouvoir couvrant</i>	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
<i>Résistance</i>	100	0	100	0	50	50
<i>Temps de séchage</i>	100	0	50	50	0	100

L'influence des facteurs est propre pour chaque réponse. Toutefois, il a été observé que le polymère acrylique est le constituant clé.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [Anne, 1996] : Lanquetin A S. Le métier de peintre, Eco-guide professionnel, 1996.
- [Artist, 2007] : Artist matériaux liquitex. Le livre de l'acrylique, un guide complet pour l'artiste, 2007.
- [Alexis, 1999] : Alexis P. Pratique industrielle des plans d'expériences, AFNOR, 1999.
- [Crook, 2006] : Crook, Learner J, Hayes T. The chimestry of modern paint, Los Angeles, Getty conversation institute, 2006.
- [Decool, 1998] : Decool M. Application des laques hydrodiuables dans l'automobile. L'exemple du nouvel atelier peinture PSA à Paissy. In : seminaire Euroforum « peinture industrielle et nouvelles technologies », 1998.
- [Deterre, 1997] : Deterre R., Froyer G. : Introduction aux matériaux et polymères. Technique et Documentations, 1997, Paris
- [Elison, 2010] : Elison, R. Smithen, P. Turnbul. Mixing and matching/ approaches to retouching paintings. Archetype, Londre, 2010.
- [Etienne, 2008] : Etienne S. Laurent David L, Gaudry E, Lagrange P, Ledieu J, Steinmetz J. Les matériaux de A à Z - 400 entrées et des exemples pour comprendre, Dunod, 2008.
- [Gérard, 2008] : Gérard B. Peinture, sachez en plus pour avoir le bon coup de pinceau, 2008.
- [Goupy, 2006] : Goupy J et Creighton L. Introduction aux plans d'expérience. Dunod, 2006.
- [INRS, 1999] : INRS. Peintures en phase aqueuse pour l'industrie automobile-Formulations et risques à la mise en œuvre. ND 2115, Paris, 1999.
- [INRS, 2006] : INRS. Peintures en phase aqueuse (peintures à l'eau)-Composition, risques toxicologiques, mesures de prévention, Paris, 2006.
- [Jargot, 1999] : Jargot D, Dieudonné M. Peinture en phase aqueuse pour l'industrie automobile, 1999.
- [Jo Crook, 2000] : Jo Crook tom learning, the impact of modern paints, Watson Cruptill, New York 2000.
- [Learner, 2009] : Learner T. Cleaning acrylic emulsion paints, putting research into context, 2009.
- [Lewis, 2001] : Lewis R J. Titanium dioxide – condensed chemical dictionary. 14th edition New York, John Wiley and sons, 2001.
- [Maurice, 2013] : Maurice L. Atelier d'initiation à la peinture acrylique, 2013.

- [Maurice, 2013]** : James E. Physical properties of polymer handbook, Springer, 2007.,
- [Nakamaru, 1999]** : Nakamaru M. Arima Y. Yonedak, Nobuhara S. Occupationnal contact dermatitis from acrylic monomer in paint, 1999.
- [Persyn, 1998]** : Persyn A., Alleaux J.C. Les peintures de réparations automobiles : hydrodiluable ou haut extrait sec , 1998.
- [Peschke, 2001]** : Peschke B. Saint-Jours Y. Peinture : Comment ne pas se mélanger les pinceaux ?, 2001.
- [Rancillac, 1987]** : Bernard Rancillac. Peindre à l'acrylique, Bordas, Paris, 1987.
- [Richard, 2005]** : Richard L. Les plans d'expériences, un outil indispensable à l'expérimentateur. Presses de l'École Nationale des Ponts et Chaussées, 2005,
- [Roustan, 1999]** : Roustan M. Agitation et mélange : concepts théoriques de base. Technique de l'ingénieur. J3800, 1999.
- [Schuman, 2006]** : Schuman R. Les produits toxiques, 2006.
- [William, 2000]** : William J. Methacrylic acid and derivatives, 2000.
- [Wieslander, 1994]** : Wieslander G., Norbäck D., EDling C. Occupational exposure to water-based paint and symptoms from the skin and eyes. Occupational and Environmental Medicine, 1994.

Titre : Application de la méthode de Doehlert à l'optimisation du pouvoir couvrant, du temps de séchage et de la résistance à l'eau des peintures acryliques

Auteur : Renaud Raphaël RAMANANKOARIVO

Adresse : 054/K5 Ivato Aéroport

Nombre de pages : 70

Nombre de tableaux : 15

Nombre de figures : 34

Résumé

L'objectif de ce travail est de concevoir une peinture, entièrement aqueuse, qui résiste à l'eau en incorporant des résines acryliques et des résines alkydes. Un grand nombre de paramètres entrent dans la composition de la peinture. Pour cela, le plan de Doehlert a été utilisé pour modéliser et optimiser les réponses. Les réponses choisies sont la résistance à l'eau, le pouvoir couvrant, le temps de séchage et la masse volumique.

Les essais préliminaires ont permis de fixer la quantité d'eau à 40% du mélange, et le pourcentage de l'alkyde, qui constitue le liant, à 50%, sinon le mélange devient hétérogène.

Les modèles établis avec le plan de Doehlert ont montré que les facteurs (composition de la charge, du liant et du pigment) ont tous des influences et des interactions sur les réponses, notamment celles du liant pour le temps de séchage, celles de la charge pour la résistance à l'eau et celles du pigment pour le pouvoir couvrant. Toutefois, parmi les différents composants utilisés, l'effet du polymère acrylique, qui offre le meilleur résultat, est remarquable sur toutes les réponses.

Pour avoir une peinture de qualité optimale, le liant devrait contenir 92 % de polymère acrylique, la charge au moins 23 % de CaCO₃ et le pigment, 8 % de premtec.

Mots clés : Peinture, résine acrylique, résine alkyde, plan de Doehlert, optimisation, modélisation.

Abstract

The aim of this work is to elaborate a paint, fully aqueous, which is water resistant, by incorporating acrylic resins and alkyd resins. A large number of parameters are used in the composition of the paint. For this to happen, the Doehlert design was used to model and optimize the responses. Selected responses are water resistance, covering power, drying time and density.

Preliminary experiments have allowed to set the amount of water to 40% of the mixture, and the percentage of the alkyd, which constitutes the binder, to 50%, otherwise the mixture becomes heterogeneous.

The established models with the Doehlert design showed that the factors (composition of the filler, the binder and pigment) have all influences and interactions on responses, especially the binder for the drying time, those of the filler for water resistance and those of the pigment for covering power. However, among the diverse components used, the effect of polymère acrylique, which provides the best result, is noticeable on all the responses.

To obtain a paint of optimal quality, the binder should contain 92% of acrylic polymer, the filler at least 23% CaCO₃ and the pigment, 8% Premtec.

Keywords: Paint, acrylic resin, alkyd resin, Doehlert design, optimization, modeling.

Encadrants : Pr. Mihasina RABESIAKA et Dr. Lovasoa RABESIAKA