

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Ecole Nationale Polytechnique



LAVALEF

Département : Génie Chimique
Laboratoire de Valorisation des Energies Fossiles

Mémoire de Master en Génie Chimique

**Estimation de la masse optimale de bentonite
pour des mélanges de colorants.**

Valorisation de la bentonite polluée

Souhaib BOUCHIHA

Sous la direction de : Mme S. HADDOUM

MCB(ENP)

Mme F. MEZIANI

MAA(ENP)

Présenté et soutenu publiquement le (18/06/2017)

Composition du Jury :

Présidente	Mme F. MOHELLEBI	Pr (ENP)
Promotrices	Mme S. HADDOUM	MCB (ENP)
	Mme F. MEZIANI	MAA (ENP)
Examineurs	M A. SELATNIA	Pr (ENP)
	Mme F. KIES	MCA (ENP)

ENP 2017

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Ecole Nationale Polytechnique



LAVALEF

Département : Génie Chimique
Laboratoire de Valorisation des Energies Fossiles

Mémoire de Master en Génie Chimique

**Estimation de la masse optimale de bentonite
pour des mélanges de colorants.**

Valorisation de la bentonite polluée

Souhaib BOUCHIHA

Sous la direction de : Mme S. HADDOUM

MCB(ENP)

Mme F. MEZIANI

MAA(ENP)

Présenté et soutenu publiquement le (18/06/2017)

Composition du Jury :

Présidente	Mme F. MOHELLEBI	Pr (ENP)
Promotrices	Mme S. HADDOUM	MCB (ENP)
	Mme F. MEZIANI	MAA (ENP)
Examineurs	M A. SELATNIA	Pr (ENP)
	Mme F. KIES	MCA (ENP)

ENP 2017

DEDICACES

Grace à DIEU « ALLAH » le tout puissant, nous avons pu aboutir à ce modeste travail que je dédie:

À la source de tendresse, de patience, de sacrifices et de générosité, À mes chers parents

À mes frères WALID, FAKHRE EDDIN et unique sœur WAFÀ, ainsi qu'à leurs enfants ATEF, KAÏS et MOATASIM

À mes professeurs de l'ENP et à ceux de la famille du Génie Chimique qui j'espère pourront ressentir, à travers ce modeste travail la fierté d'un savoir bien acquis

À toute ma famille, à tous mes ami(e)s et à tous ceux qui me sont chers

SOUHAIB

Remerciements

Nos remerciements s'adressent en premier lieu à Dieu pour nous avoir donné, l'esprit et les moyens d'arriver à ce stade de connaissance.

Notre travail, comme bien d'autres, a nécessité de nombreux efforts de motivations et de patience qui n'aurait pu aboutir sans la contribution et le soutien d'un grand nombre de personnes. Durant ces quatre mois, nous avons eu la chance de pouvoir vivre des échanges tant scientifiques que personnels avec une multitude de personnes à qui nous consacrons cette humble page de remerciements

Merci à Mesdames S. HADDOUM et F. MEZIANI, nos encadreurs, pour votre temps précieux, votre vision globale et votre caractère humain. Vos formulations et votre esprit critique ont été pour nous une référence.

Nos sincères remerciements vont à Mme F. MOHELLEBI, Professeur à l'Ecole Nationale Polytechnique pour avoir accepté de présider notre jury, pour son écoute ainsi que pour son énorme aide en termes de données scientifiques et la mise à notre disposition de matériel nécessaire au bon déroulement de nos expériences.

Nos vifs remerciements vont également à Monsieur A. SELATNIA et à Mme F. KIES, pour avoir accepté d'examiner et de juger notre travail.

Nous remercions les chefs de laboratoire MADACI – SATOUR de génie civil de Sétif pour nous avoir permis de réaliser certaines de nos expériences au sein de leur laboratoire.

Nous exprimons aussi toute notre reconnaissance à tous les enseignants du Génie des Procédés qui ont contribué à notre formation avec beaucoup de compétence et de dévouement ainsi qu'à tout le personnel du département Génie Chimique.

Un merci à tous nos camarades de la promotion Génie Chimique 2016/2017 qui ont rendu l'ambiance des études plus détendue et des plus agréables.

Notre plus grand merci revient naturellement à nos familles, et plus particulièrement à nos parents pour leurs encouragements et leur soutien tout au long de notre cursus universitaire.

Nous remercions chaleureusement sans les citer toutes les personnes qui nous ont soutenus et qui ont aussi contribué, de près ou de loin, à la concrétisation de ce travail.

ملخص :

بسبب صعوبة دراسة امتزاز خلانط الاصبغ النسيجية، يتحتم علينا دراسة كل صبغة على حدى قبل تطبيق مبدأ المخاليط لتوليد علاقة يمكن من خلالها تقدير متوسط خصائص المخاليط على أساس الخصائص الفردية للأصبغ.

يهدف هذا العمل في المقام الأول إلى اقتراح علاقة رياضية لحساب الكتلة المثلى من البنتونيت لمعالجة خليط من الأصبغ، اعتمادا على دراسة كل ملون على حدى.

يتمثل الهدف الثاني من هذه الدراسة على رسكلة واعادة استعمال البنتونيت الملوثة بالأصبغ النسيجية كمواد مضافة لتلوين البلاط الزخرفي بدون معالجتها وذلك باستخدام تقنية الدعم الإسمنتي.

الكلمات الدالة: امتزاز، الاصبغ النسيجية، علاقة رياضية، معالجة.

Abstract:

The complexity of studying the adsorption of textile dyes mixtures inevitably involves a study of each of the solutes taken separately before applying the mix rule to generate a correlation that estimates the average characteristics of the mixtures based on the Individual characteristics of dyes.

The first objective of this work is to propose a correlation for calculating the optimal amount of bentonite used to treat a mixture of dyes, based on a mono-solute study. The second objective is to upgrade a polluted bentonite using the cemented-support technique. The advantage is that the bentonite does not require treatment or regeneration. It will be used in the form of coloring additives in the manufacture of decorative pavers.

Key Words: Adsorption, textile dyes, correlation, regeneration.

Résumé :

La complexité de l'étude de l'adsorption des mélanges de colorants textiles passe inévitablement par une étude de chacun des solutés pris séparément avant d'appliquer la règle des mélanges pour générer une corrélation qui estime les caractéristiques moyennes des mélanges en se basant sur les caractéristiques individuelles des colorants.

Ce travail a pour premier objectif la proposition d'une corrélation permettant de calculer la masse optimale de bentonite utilisée pour traiter un mélange de colorants, en se basant sur une étude en mono-soluté. Le deuxième objectif consiste à valoriser une bentonite polluée en utilisant la technique des supports cimenteux. L'avantage est que la bentonite ne nécessite ni traitement, ni régénération. Elle sera utilisée sous forme d'additifs colorants lors de la fabrication de pavés décoratifs.

Mots clés : Adsorption, colorants textiles, corrélation, régénération.

Table des matières

Liste des tableaux	
Liste des figures	
Liste des nomenclatures	
Liste des abréviations	
Introduction générale	11
Partie 1 : Etude Bibliographique	13
Chapitre 1 : Adsorption de colorants textiles sur la bentonite.....	15
1.1 L'adsorption	15
1.1.1 Adsorption chimique (ou chimisorption)	15
1.1.2 Adsorption physique (ou physisorption)	15
1.1.3 Mécanisme d'adsorption d'un colorant.....	16
1.1.4 Facteurs influençant les équilibres d'adsorption	16
1.2 Les colorants.....	17
1.2.1 Les colorants textiles	17
1.2.2 Classification des colorants	18
a) Classification chimique.....	18
b) Classification tinctoriale	18
1.2.3 Les colorants basiques ou cationiques.....	18
1.3 La bentonite	19
1.3.1 Origine de la bentonite	19
1.3.2 Structure de la bentonite	19
1.3.3 La bentonite en Algérie	19
1.3.4 Application de la bentonite.....	20
Chapitre 2 : Généralités sur la gestion et la valorisation des déchets.....	22
2.1 Définition d'un déchet.....	22
2.2 Gestion des déchets	22
2.3 Classification des déchets.....	22
2.4 Les filières de traitement et de valorisation des déchets	23
2.5 Stabilisation - Solidification.....	23
2.5.1 La stabilisation.....	23
2.5.2 La Solidification	23

2.5.3	Les principales techniques de stabilisation-solidification	24
a)	Support cimenteux	24
b)	Support argileux organophile.....	24
Chapitre 3 : Généralités sur le béton coloré.....		26
3.1	Comment colorer le béton	26
3.2	Coloration de la pâte de ciment.....	27
3.3	Pavés en béton	27
Partie 2 : Partie expérimentale		29
Chapitre 4 : Estimation de la masse optimale de bentonite pour les mélanges de colorants.....		31
4.1	Les colorants étudiés	31
4.2	Technique d'analyse.....	33
4.2.1	Analyse d'un seul composé	33
4.2.2	Additivité des absorbances	34
4.2.3	Analyse multi-composants	34
4.3	Préparation de l'adsorbant (bentonite)	35
4.4	Résultats obtenus dans le cas de l'adsorption en mono-soluté	35
4.5	Etablissement des courbes d'étalonnage	36
4.6	Etude de l'adsorption en mélange	40
a)	Mélange de deux colorants (Bleu – Rouge).....	41
b)	Mélange de deux colorants (Bleu – Jaune).....	42
c)	Mélange de deux colorants (Rouge – Jaune).....	43
d)	Mélange des trois colorants	43
4.7	Etablissement de la corrélation donnant la masse optimale de bentonite pour les mélanges de colorants.....	44
Chapitre 5 : Valorisation de la bentonite polluée		47
5.1	Principe de valorisation de la bentonite colorée	47
5.2	Application de la technique.....	48
Conclusion générale.....		50
Bibliographie.....		52

Liste des tableaux

Tableau 1.1 : Distinction entre l'adsorption physique et l'adsorption chimique.	15
Tableau 1.2 : Principaux groupements chromophores et auxochromes, classés par intensité croissante.	17
Tableau 1.3 : Types des colorants selon la classification chimique ou tinctoriale.	18
Tableau 4.1 : Principales caractéristiques physico-chimiques du Bleu Bezacryl	31
Tableau 4.2 : Principales caractéristiques physico-chimiques du Rouge Bezacryl	32
Tableau 4.3 : Principales caractéristiques physico-chimiques du Jaune Bezacryl.....	32
Tableau 4.4 : Données expérimentales de l'étude de l'adsorption de Bleu Bezacryl.	35
Tableau 4.5 : Donnée expérimentales de l'étude de l'adsorption de Rouge Bezacryl.....	35
Tableau 4.6 : Donnée expérimentales de l'étude de l'adsorption de Jaune Bezacryl.	36
Tableau 4.7 : Constantes de Beer Lambert des trois colorants.	39
Tableau 4.8 : Concentrations résiduelles et taux d'élimination des colorants pour le mélange des deux colorants (BB, RB).	41
Tableau 4.9 : Concentrations résiduelles et taux d'élimination des colorants pour le mélange des deux colorants (BB, JB).	42
Tableau 4.10 : Concentrations résiduelles et taux d'élimination des colorants pour le mélange des deux colorants (RB, JB).	43
Tableau 4.11 : Concentrations résiduelles et taux d'élimination des colorants pour le mélange des trois colorants (BB, RB, JB)	43
Tableau 4.12 : Masses optimales de bentonite pour les mélanges.	44
Tableau 4.13 : Comparaison entre les valeurs calculées et les valeurs expérimentales de la masse optimale.	45

Liste des figures

Figure 1.1 : Structure de la montmorillonite.	19
Figure 3.1 : Les pistes cyclables colorées.	26
Figure 3.2 : Revêtement décoratif en béton coloré.	26
Figure 3.3 : Couleur sous forme liquide.	27
Figure 3.4 : Pavé coloré.	28
Figure 4.1 : Atténuation d'un faisceau à travers un matériau absorbant.	33
Figure 4.2 : Courbe d'étalonnage du BB ($\lambda=590$ nm).	36
Figure 4.3 : Courbe d'étalonnage du RB ($\lambda=590$ nm).	37
Figure 4.4 : Courbe d'étalonnage du JB ($\lambda=590$ nm).	37
Figure 4.5 : Courbe d'étalonnage du BB ($\lambda=520$ nm).	37
Figure 4.6 : Courbe d'étalonnage du RB ($\lambda=520$ nm).	37
Figure 4.7 : Courbe d'étalonnage du JB ($\lambda=520$ nm).	38
Figure 4.8 : Courbe d'étalonnage du BB ($\lambda=440$ nm).	38
Figure 4.9 : Courbe d'étalonnage du RB ($\lambda=440$ nm).	38
Figure 4.10 : Courbe d'étalonnage du JB ($\lambda=440$ nm).	38
Figure 4.11 : Influence de la masse de bentonite sur le taux d'élimination du mélange des deux colorants (BB, RB) ($C_0=100$ mg.L ⁻¹ ; T= 20 °C ; w=500 tr.min ⁻¹ ; V=0,1L).	42
Figure 4.12 : Influence de la masse de bentonite sur le taux d'élimination du mélange des deux colorants (BB, JB) ($C_0=100$ mg.L ⁻¹ ; T= 20 °C ; w=500 tr.min ⁻¹ ; V=0,1L).	42
Figure 4.13 : Influence de la masse de bentonite sur le taux d'élimination du mélange des deux colorants (BB, JB) ($C_0=100$ mg.L ⁻¹ ; T= 20 °C ; w=500 tr.min ⁻¹ ; V=0,1L).	43
Figure 4.14 : Influence de la masse de bentonite sur le taux d'élimination du mélange des trois colorants (BB, RB, JB) ($C_0=100$ mg.L ⁻¹ ; T= 20 °C ; w=500 tr.min ⁻¹ ; V=0,1L).	44
Figure 5.1 : Ingrédients pour la fabrication des pavés.	48
Figure 5.2 : Décantation naturelle de la bentonite colorée.	48
Figure 5.3 : Séparation de l'eau dépolluée de la bentonite colorée.	48
Figure 5.4 : Mélange des ingrédients	49
Figure 5.5 : Moulage de la pâte.	49
Figure 5.6 : Séchage des pavés.	49
Figure 5.7 : Produit fini.	49

Liste des nomenclatures

Symbole	Signification	Unité
A	Absorbance	-
C_t	Concentration du soluté en solution au temps t	mg.L^{-1}
C_0	Concentration initiale de soluté	mg.L^{-1}
E	Efficacité	%
T	Température	$^{\circ}\text{C}$ ou K
t	Temps	min
V	Volume	L
λ	Longueur d'onde	nm
ω	Vitesse d'agitation	tr.min^{-1}
ε	Coefficient spécifique d'absorption	$\text{L.cm}^{-1}.\text{g}^{-1}$

Liste des abréviations

BB	Bleu Bezacryl
BM	Bleu de méthylène
JB	Jaune Bezacryl
RB	Rouge Bezacryl
UV	Ultra-violet

Introduction générale

Il est évident que la vie sur terre est basée essentiellement sur l'eau. En revanche, cette eau est susceptible d'être contaminée et polluée par différents types de polluants qui présentent une menace pour la santé publique.

Les efforts des chercheurs se penchent de plus en plus vers la recherche de nouvelles méthodes qui peuvent diminuer voire éliminer les contaminants. Parmi les secteurs industriels qui consomment des quantités énormes en eau, l'industrie textile. Cette dernière est classée parmi les grands polluants des eaux, dont les contaminants principaux sont les colorants, qu'une fois évacués sans traitement causent de sérieux problèmes en raison de leur stabilité et de leur faible biodégradabilité.

L'adsorption compte parmi les méthodes les plus efficaces pour la dépollution des eaux contaminées issues de l'industrie textile. Cette efficacité est due à la maîtrise de la technologie, à la facilité de sa mise en place mais aussi à son faible coût.

Pour une meilleure élimination des colorants, les industriels tentent d'utiliser des matériaux qui présentent une bonne capacité d'adsorption. Parmi ces matériaux, la bentonite est un minéral argileux qui présente un intérêt majeur, en raison de son efficacité, son coût raisonnable et sa disponibilité. Ces caractéristiques font que la bentonite est une bonne alternative au charbon actif.

Les rejets de l'industrie textile ne contiennent pas un colorant unique. Ils sont composés d'un mélange de plusieurs colorants. La complexité de l'étude d'un tel mélange nous conduit à étudier chaque colorant pris séparément et utiliser la règle des mélanges pour générer une corrélation qui estime les caractéristiques moyennes des mélanges, basée sur les caractéristiques individuelles des colorants.

La masse de l'adsorbant est considérée comme étant l'une des principales caractéristiques. L'augmentation ou la diminution de celle-ci influe sur le taux d'élimination.

D'un point de vue environnemental, l'adsorption consiste à déplacer les contaminants contenus dans une phase liquide (l'eau) vers une phase solide (l'adsorbant). Cependant, cette méthode nécessite une étape supplémentaire, économiquement contraignante, qui consiste à régénérer l'adsorbant. Cependant, même si la régénération est effectuée, le problème reste posé vu que nous nous retrouvons de nouveau face à des contaminants résiduels (colorants dans le cas du textile).

Le défi principal est donc de trouver le moyen le plus approprié pour éliminer et/ou valoriser l'adsorbant utilisé, sans avoir recours à la régénération.

Ce présent travail présente un double objectif :

Le premier objectif, consiste à proposer une corrélation qui nous permet de déterminer la masse optimale de la bentonite à utiliser pour traiter un mélange de colorants, ceci en nous basant sur l'étude en mono-soluté.

Le deuxième objectif sera de proposer un éventuel moyen de valorisation de la bentonite polluée issue du traitement des colorants.

Pour ce faire, cette étude est scindée en cinq chapitres:

- Les trois premiers chapitres représentent une synthèse bibliographique rassemblant des généralités sur l'adsorption des colorants textiles sur la bentonite, la gestion et la valorisation des déchets et des généralités sur le béton coloré.
- Le quatrième chapitre détaille l'étude des mélanges avec l'estimation de la masse optimale de bentonite pour les mélanges de colorants.
- Le dernier chapitre est consacré à la valorisation de la bentonite polluée.

Nous terminerons par une conclusion générale.

Partie 1

Etude Bibliographique

Chapitre 1

**Adsorption de colorants
textiles sur la bentonite**

Chapitre 1 : Adsorption de colorants textiles sur la bentonite

1.1 L'adsorption

L'adsorption à l'interface solide/soluté est un phénomène de nature physique ou chimique par lequel des molécules présentes dans un effluent liquide ou gazeux, se fixent à la surface d'un solide (Montgomery, 1985) Ce phénomène dépend à la fois de cette interface et des propriétés physico-chimiques de l'adsorbat (Weber, et al., 1991). C'est un phénomène spontané qui provient de l'existence à la surface du solide de forces non compensées, qui sont de nature chimique ou physique. Ces forces conduisent respectivement à deux types d'adsorption : adsorption chimique et adsorption physique.

1.1.1 Adsorption chimique (ou chimisorption)

La chimisorption est un phénomène d'adsorption qui met en jeu une ou plusieurs liaisons chimiques covalentes ou ioniques entre l'adsorbant et l'adsorbat. La chimisorption, généralement irréversible, conduit à une modification des molécules adsorbées. Ces dernières ne peuvent pas être accumulées sur plus d'une couche. Dans ce type d'adsorption, les molécules sont directement liées au solide (Nandi, et al., 2009). La chaleur d'adsorption, relativement élevée est comprise entre 40 et 200 kcal/mol (Colak, et al., 2009).

1.1.2 Adsorption physique (ou physisorption)

L'adsorption physique se produit à de basses températures. Les molécules s'adsorbent sur plusieurs couches (multicouches) avec des chaleurs d'adsorption souvent inférieures à 40 kcal/mol (Nandi, et al., 2009). Les interactions entre la surface du solide (adsorbant) et les molécules du soluté (adsorbat) sont assurées par des forces électrostatiques type dipôles, liaison hydrogène ou Van der Waals (liaisons physiques faibles) (Hameed, 2010). La physisorption est rapide et réversible.

Le tableau 1.1 regroupe quelques critères de distinction entre les deux types d'adsorption.

Tableau 1.1 : Distinction entre l'adsorption physique et l'adsorption chimique.

<i>Propriétés</i>	<i>Adsorption physique</i>	<i>Adsorption chimique</i>
Température du processus	Relativement basse	Plus élevée
Chaleur d'adsorption	10 kcal/mol environ	100 kcal/mol environ
Liaisons	Physiques : Van der Waals	Chimiques
Cinétique	Rapide, réversible	Lente, irréversible
Spécificité	Processus non spécifique	Processus très spécifique
Désorption	Facile	Difficile
Couches formées	Mono ou multicouches	Uniquement monocouches

1.1.3 Mécanisme d'adsorption d'un colorant

L'adsorption, processus largement répandu dans l'élimination des colorants, a également une applicabilité large dans le traitement des eaux résiduaires (Dogan, et al., 2006).

La séparation par adsorption est basée sur une adsorption sélective (thermodynamique et /ou cinétique) des polluants par un adsorbant, grâce à des interactions spécifiques entre la surface du matériau et les produits adsorbés ; c'est un simple transfert de masse à partir de la phase liquide vers la surface du solide, ce processus s'opère en plusieurs étapes.

- **Diffusion externe** : Correspond au transfert du soluté (un colorant) du sein de la solution à la surface externe des grains. Le transfert de la matière externe dépend des conditions hydrodynamiques de l'écoulement d'un fluide dans un lit adsorbant.
- **Diffusion interne** : Correspond à la diffusion de l'adsorbat à l'intérieur des pores de la particule. Elle dépend de gradient de concentration du soluté.

1.1.4 Facteurs influençant les équilibres d'adsorption

Plusieurs facteurs peuvent influencer les équilibres d'adsorption parmi lesquels nous pouvons citer :

La surface spécifique : La surface spécifique est une donnée essentielle de la caractérisation des solides et des matériaux poreux. Il est clair que l'on cherche à conférer aux adsorbants une grande surface spécifique. Cette grandeur désigne la surface accessible rapportée à l'unité de poids d'adsorbant.

La porosité : La porosité, ou distribution poreuse, renseigne sur la répartition de la taille des pores. Ce paramètre reflète la structure interne de l'adsorbant.

La nature de l'adsorbat : Moins une substance est soluble dans un solvant, mieux elle est adsorbée.

La polarité : Un soluté polaire aura une affinité d'autant plus grande, avec l'adsorbant que celui-ci est polaire. De même, les solutés apolaires sont préférentiellement adsorbés sur des supports hydrophobes (Naib, 2006).

Le pH : Le pH peut avoir un effet non négligeable sur les phénomènes d'adsorption. Souvent les meilleurs résultats sont obtenus à pH faible (Masschelein, 1996).

1.2 Les colorants

Un colorant est défini comme étant un produit capable de teindre une substance d'une manière durable.

1.2.1 Les colorants textiles

Un colorant doit posséder, outre sa couleur propre, la propriété de teindre. Cette propriété résultant d'une affinité particulière entre le colorant et la fibre, est à l'origine des principales difficultés rencontrées lors des traitements. En effet, selon le type d'application et d'utilisation, les colorants synthétiques doivent répondre à un certain nombre de critères afin de prolonger la durée de vie des produits textiles sur lesquels ils sont appliqués: résistance à l'abrasion, stabilité photolytique des couleurs, résistance à l'oxydation chimique (notamment par les détergents) et aux attaques microbiennes.

L'affinité du colorant pour la fibre est particulièrement développée pour les colorants qui possèdent un caractère acide ou basique accentué. Ces caractéristiques propres aux colorants organiques accroissent leur persistance dans l'environnement et les rendent peu disposés à la biodégradation (Capon, et al., 1999).

De manière générale, les colorants consistent en un assemblage de groupes chromophores, auxochromes et de structures aromatiques conjuguées (cycles benzéniques anthracène, perylène, etc...). Lorsque le nombre de noyaux aromatiques augmente, la conjugaison des doubles liaisons s'accroît. L'énergie des liaisons p diminue tandis que l'activité des électrons π ou n augmente et produit un déplacement vers les grandes longueurs d'onde. De même, lorsqu'un groupe auxochrome donneur d'électrons (amino, hydroxy, alkoxy...) est placé sur un système aromatique conjugué, ce groupe se joint à la conjugaison du système p, il peut y avoir hyperconjugaison et la molécule absorbe dans les grandes longueurs d'onde et donne des couleurs plus foncées (Zhenwang, et al., 2000).

Le tableau 1.2 donne les principaux groupements chromophores et auxochromes, classés par intensité croissante.

Tableau 1.2 : Principaux groupements chromophores et auxochromes, classés par intensité croissante.

<i>Groupements chromophores</i>	<i>Groupements auxochromes</i>
Azo (-N=N-)	Amino (-NH ₂)
Nitroso (-NO ou -N-OH)	Méthylamino (-NHCH ₃)
Carbonyl (>C=O)	Diméthylamino (-N(CH ₃) ₂)
Vinyl (-C=C-)	Hydroxyl (-HO)
Nitro (-NO ₂ ou =NO-OH)	Alkoxy (-OR)
Sulphure (>C=S)	Groupements donneurs d'électrons

1.2.2 Classification des colorants

Les principes de classification les plus couramment rencontrés dans les industries textiles, sont basés sur les structures chimiques des colorants synthétiques et sur les méthodes d'application aux différents substrats.

a) Classification chimique

Le classement des colorants selon leur structure chimique repose sur la nature du groupement chromophore.

b) Classification tinctoriale

Si la classification chimique présente un intérêt pour le fabricant de matières colorantes, le teinturier préfère le classement par domaines d'application. Ainsi, il est renseigné sur la solubilité du colorant dans le bain de teinture, son affinité pour les diverses fibres et sur la nature de la fixation. Celle-ci est de force variable selon que la liaison colorant/substrat est du type ionique, hydrogène, de Van der Waals ou covalente. On distingue différentes catégories tinctoriales définies cette fois par les auxochromes.

Le tableau 1.3 regroupe quelques types des colorants selon la classification chimique ou tinctoriale.

Tableau 1.3 : Types des colorants selon la classification chimique ou tinctoriale.

<i>Classification chimique</i>	<i>Classification tinctoriale</i>
Les colorants azoïques	Les colorants acides ou anioniques
Les colorants indigoïdes	Les colorants basiques ou cationiques
Les colorants xanthènes	Les colorants de cuve
Les colorants nitrés et nitrosés	Les colorants réactifs
Les phtalocyanines	Les colorants directs

1.2.3 Les colorants basiques ou cationiques

Les colorants basiques ou cationiques sont des sels d'amines organiques, ce qui leur confère une bonne solubilité dans l'eau. Les liaisons se font entre les sites cationiques des colorants et les sites anioniques des fibres. En phase de disparaître dans la teinture de la laine et de la soie, ces colorants ont bénéficié d'un regain d'intérêt avec l'apparition des fibres acryliques, sur lesquelles ils permettent des nuances très vives et résistantes.

1.3 La bentonite

La bentonite est une roche argileuse, friable, tendre et onctueuse au toucher, sa teinte dépend des composés minéraux et impuretés qui lui sont étroitement associés. Elle est blanche, grise ou légèrement jaune. Elle se caractérise par une capacité élevée d'adsorption, d'échange ionique et de gonflement.

1.3.1 Origine de la bentonite

L'altération et la transformation hydrothermale de cendres des tufs volcaniques riches en verre entraînent la néoformation des minéraux argileux, qui font partie principalement du groupe des smectites. Les roches argileuses ainsi formées portent le nom de bentonite, d'après le gisement situé près de Fort Benton (Wyoming, Etats-Unis). Elle contient plus de 75 % de montmorillonite; cette dernière fut découverte pour la première fois en 1847 près de Montmorillon, dans le département de la Vienne (France).

1.3.2 Structure de la bentonite

La montmorillonite (Figure 1.1) est le constituant principal de la bentonite. C'est un phyllosilicates 2 :1 (famille de smectites) dans lequel la charge négative de la couche est électriquement équilibrée par une charge égale, des cations échangeables (Ca^{2+} , Mg^{2+} , H^+ , Na^+ et K^+) situés principalement entre ces couches silicates ; ces cations ne font pas partie de la structure et garde une certaine mobilité.

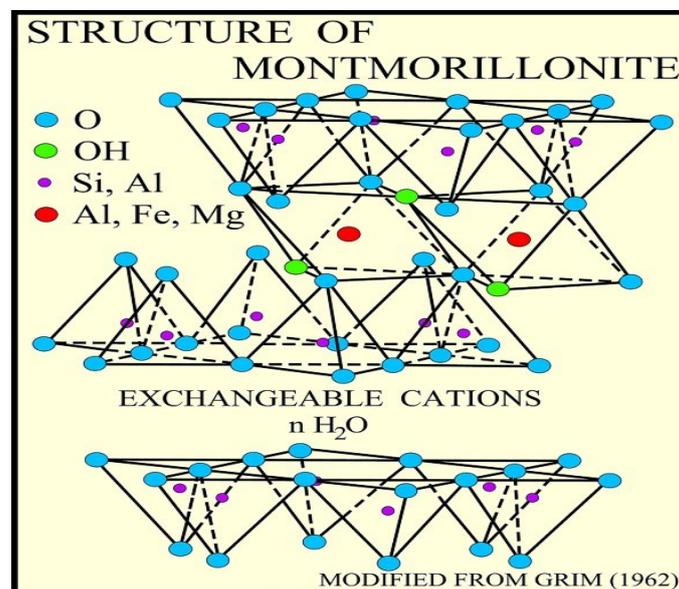


Figure 1.1 : Structure de la montmorillonite.

1.3.3 La bentonite en Algérie

En Algérie, les gisements de bentonite les plus importants se trouvent à l'ouest algérien. On relève en particulier la carrière de Maghnia (Hammam Bouhrara) dont les réserves sont estimées à un million de tonnes et de celle de Mostaganem (M'zila) avec des réserves de deux millions de tonnes.

1.3.4 Applications de la bentonite

Les bentonites ont de larges applications dans différents domaines (forage, fonderie, céramique, peinture, pharmacie, terres décolorantes, etc...). La majeure partie de la bentonite exploitée dans le monde est utilisée comme liant du sable de moulage, dans l'industrie de la fonderie et aussi pour épaissir les fluides de forage.

Chapitre 2

Généralités sur la gestion et la valorisation des déchets

Chapitre 2 : Généralités sur la gestion et la valorisation des déchets

2.1 Définition d'un déchet

Selon le Code de l'Environnement, un déchet est « tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit ou plus généralement tout bien, meuble abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon ». Cette définition est valable quelque soit la nature physique ou chimique du déchet.

Le déchet est une matière première qu'on doit la valoriser.

2.2 Gestion des déchets

Le terme de « gestion des déchets » englobe, de manière générale, toute activité participant à l'organisation de la prise en charge des déchets depuis leur production jusqu'à leur traitement final. Elle inclut notamment les activités de collecte, transport, et traitement (valorisation ou élimination) des déchets.

La gestion des déchets a pour objectif de :

- **Prévenir** ou réduire la production et la nocivité des déchets,
- **Organiser** le transport des déchets et le limiter en distance et en volume,
- **Valoriser** les déchets par réemploi, recyclage ou tout autre action visant à obtenir à partir des déchets des matériaux réutilisables ou de l'énergie,
- **Informer** le public des risques sur l'environnement et la santé publique.

2.3 Classification des déchets

Les déchets peuvent être classés selon leur origine (agricoles, municipaux, industriels, des activités de soins) ou selon la typologie ci-dessous :

- **Les déchets biodégradables ou compostables** : Ils correspondent aux déchets ménagers et alimentaires.
- **Les déchets inertes** : Ce sont des déchets qui ne se décomposent pas, ne brûlent pas et ne produisent aucune autre réaction physique, chimique ou biologique de nature à nuire à l'environnement. Ils ne sont pas biodégradables et ne se détériorent pas au contact d'autres matières.
- **Les déchets recyclables** : Un déchet recyclable est un matériau que l'on peut techniquement réutiliser.
- **Les déchets ultimes** : Un déchet ultime est défini comme n'étant plus susceptible d'être traité dans les conditions techniques et économiques appartenant au processus de valorisation du déchet ou de réduction de son caractère polluant ou dangereux.

- **Les déchets dangereux :** Un déchet dangereux présente une ou plusieurs des caractéristiques suivantes : explosif, comburant, inflammable, irritant, nocif, toxique, cancérigène...

2.4 Les filières de traitement et de valorisation des déchets

La valorisation des déchets s'appelle également revalorisation. Elle désigne l'ensemble des opérations effectuées sur un objet inutile afin de le rendre à nouveau utile. La valorisation permet de réaliser :

- Un nouveau matériau,
- Un nouveau produit de qualité égale ou supérieure.

Parmi les filières de traitement et de valorisation des déchets, nous pouvons citer :

- Transformation en matière première (Recyclage),
- Valorisation énergétique (incinération),
- Valorisation biologique (méthanisation, compostage),
- Stockage (stabilisation-solidification).

2.5 Stabilisation - Solidification

Les traitements de stabilisation/solidification ont pour but d'améliorer la rétention des polluants et de conférer au matériau obtenu un certain niveau de durabilité structurale.

Les techniques de stabilisation/solidification ne sont pas seulement utilisées pour le traitement des déchets mais également pour d'autres applications telles que le traitement de sédiments contaminés, d'effluents industriels, ainsi que la réhabilitation de sites pollués.

L'objectif de ce procédé consiste à :

- Améliorer les propriétés physiques et chimiques du déchet,
- Diminuer la solubilité des constituants et la perméabilité du déchet.

2.5.1 La stabilisation

C'est un procédé de transformation des espèces toxiques présentes dans le déchet sous une forme moins ou pas toxique ou plus difficilement mobilisable.

La stabilisation des déchets est un traitement qui empêche la dissolution et la dissémination des composés nocifs, toxiques ou polluants présents dans les déchets et tend à réduire le plus possible leurs effets dommageables sur l'environnement.

2.5.2 La Solidification

La solidification consiste à lier physiquement ou à emprisonner les polluants au sein d'une masse stable dure et inerte, la solidification doit être appliquée sur l'ensemble de la matrice polluée.

La stabilisation et la solidification sont souvent simultanées.

2.5.3 Les principales techniques de stabilisation-solidification

Les principales techniques de stabilisation-solidification sont les suivantes :

a) Support cimenteux

- **Ciment** : les déchets sont mélangés avec du ciment (de type Portland principalement) afin de former des composés peu solubles (hydroxydes et silicates) et de les incorporer chimiquement dans la matrice solide de ciment (c'est-à-dire dans le silicate de calcium hydraté et l'aluminate de calcium hydraté formé par le ciment).
- **Matériaux pozzolaniques** : ils présentent des propriétés similaires au ciment de Portland surtout quand les teneurs en silice sont élevées ; il s'agit d'espèces de silicates et d'aluminate qui réagissent avec de la chaux en présence d'eau pour former un silicate de calcium hydraté qui durcit pour former un matériau solide de faible perméabilité.
- **Ajout à base de chaux** : l'addition d'oxyde de calcium ou d'hydroxyde de calcium produit du silicate de calcium ou des aluminates hydratés, qui permettent de fixer les contaminants inorganiques.

Il est d'usage d'ajouter des additifs aux ciments ou aux matériaux pouzzolaniques afin d'en améliorer les propriétés, nous citerons :

La bentonite : Amélioration de l'imperméabilité du mélange,

Les silicates : Formation avec les métaux des complexes chimiques ayant une solubilité inférieure aux hydroxydes, carbonates ou sulfates,

Les charbons actifs, argiles hydrophobes, zéolites et gypse : Amélioration de l'adsorption/absorption des composés semi-volatils.

Les supports cimenteux sont bien adaptés pour réduire la pollution par les contaminants inorganiques. Par contre, l'efficacité est très variable dans le cas de pollution par les composés organiques.

b) Support argileux organophile

Des argiles sont traitées chimiquement afin d'améliorer le pouvoir d'adsorption des composés organiques. Des formulations spécifiques peuvent être réalisées afin d'améliorer l'adsorption de composés organiques particuliers.

Chapitre 3

**Généralités sur le béton
coloré**

Chapitre 3 : Généralités sur le béton coloré

Le béton coloré est souvent utilisé pour l'aménagement de revêtements (routiers), parfois pour des raisons fonctionnelles, parfois pour des motifs purement esthétiques. L'objectif fonctionnel consiste généralement à accroître la « lisibilité » de la voirie, afin d'y sécuriser le trafic. Les pistes cyclables colorées (figure 3.1) en sont l'exemple le plus connu. Les revêtements décoratifs (figure 3.2) en béton sont appliqués notamment pour l'aménagement d'espaces publics. Les revêtements colorés peuvent être réalisés tant en béton coulé qu'au moyen d'éléments préfabriqués (Guillaume, 2002).



Figure 3.1 : Les pistes cyclables colorées.



Figure 3.2 : Revêtement décoratif en béton coloré.

3.1 Comment colorer le béton

Pour des raisons esthétiques ou pratiques, il est parfois indiqué de donner au béton une certaine teinte. On peut pour cela utiliser des peintures que la technique moderne a permis de rendre durables, ou appliquer un vieux procédé qui consiste à teinter le béton dans sa masse.

Cette dernière méthode a certains avantages sur celle de la peinture: ainsi la structure de la surface n'est pas modifiée et le béton peut être travaillé comme s'il était une pierre naturelle (S.n, 2017).

La coloration du béton dans la masse est réalisable par divers moyens utilisables seuls ou combinés:

- Emploi de granulats ayant la teinte désirée,
- Coloration de la pâte de ciment à l'aide d'un pigment.

L'emploi de granulats colorés ne produit qu'une teinte assez faible qui souvent n'est visible qu'après un traitement de la surface du béton (par lavage, bouchardage ou meulage). La coloration de la pâte de ciment est le moyen le plus efficace et en même temps le moins onéreux. Elle est appliquée soit pour des bétons coffrés sur le chantier, soit pour des éléments préfabriqués (pavé).

3.2 Coloration de la pâte de ciment

Pour teinter la pâte de ciment, on utilise des pigments. Ce sont des poudres très fines qui peuvent être dispersées d'une façon très homogène dans le béton. Ces colorants doivent être chimiquement stables (Rens, et al., 2016).

La liste ci-dessous énumère les produits admissibles dont le prix est supportable:

Blanc: Oxyde de titane,

Jaune: Oxyde de fer jaune, ocre, jaune du Népal, jaune minéral 1893,

Brun: Manganèse brun, Umbra,

Rouge: Oxyde de fer rouge, pigment rouge C.I. 97 (organique),

Vert: Oxyde de chrome vert, hydroxyde de chrome vert Phthalocyanin vert (organique),

Bleu: Outremer, bleu de cobalt, phthalocyanin bleu (organique),

Noir: Noir de fumée, oxyde de fer noir, noir de manganèse.

De nombreuses couleurs sont également disponibles sous forme liquide (slurry) (poudre en suspension). Un colorant liquide (figure 3.3) est facile à doser et simplifie le processus de mélange.



Figure 3.3 : Couleur sous forme liquide.

3.3 Pavés en béton

Ces dernières années, le réaménagement des rues et des places a fait de plus en plus appel aux pavés en béton (figure 3.4). A côté des qualités bien connues du béton, les pavés offrent par ailleurs un certain nombre d'avantages spécifiques, tels une mise en place facile, une possibilité étendue de remplacement et de réutilisation, un prix relativement favorable, un choix incomparable de formes, de teintes, de structures et d'appareils de pose (Hendrikx, 1994).

Les pavés peuvent remplir diverses fonctions dont l'aspect esthétique n'est pas la moindre. C'est ainsi qu'au cours des dernières années, la gamme des formats et des teintes s'est richement étendue et diversifiée de telle sorte qu'en plus des pavés classiques, un nombre croissant de pavés décoratifs (pavé coloré) a paru sur le marché.



Figure 3.4 : Pavé coloré.

Partie 2

Partie expérimentale

Chapitre 4

Estimation de la masse optimale de bentonite pour les mélanges de colorants

Chapitre 4 : Estimation de la masse optimale de bentonite pour les mélanges de colorants

L'adsorption est régie par plusieurs facteurs, dont la masse de l'adsorbant. L'optimisation de cette masse nous permet d'augmenter l'efficacité du phénomène d'adsorption.

Dans le présent chapitre nous allons aborder l'influence de la masse de bentonite sur l'efficacité d'élimination de mélanges de colorants. Nous allons ensuite procéder à l'optimisation de cette masse en établissant une corrélation de celle-ci basée sur les données de l'adsorption en mono-soluté.

4.1 Les colorants étudiés

Dans notre étude, nous avons travaillé avec trois colorants textiles synthétiques utilisés par la société FITAL SPA qui sont le Bleu Bezacryl, le Rouge Bezacryl et le Jaune Bezacryl. Les échantillons nous ont été fournis par FITAL SPA, dont le fournisseur est l'Association Générale BEZEMA.

Les trois colorants appartiennent à la gamme BEZACRYL, ce sont des colorants cationiques utilisés pour la teinture de fibres polyacrylonitriles et monoacryliques. Les tableaux 4.1, 4.2 et 4.3 suivants résument les principales caractéristiques de ces colorants :

Tableau 4.1: Principales caractéristiques physico-chimiques du Bleu Bezacryl
(Référence, BB).

Bleu Bezacryl		
<i>Nomenclatures</i>	<i>Dénomination</i>	Bleu GRL 300
	<i>Colour Index</i>	Basic Blue 41
	<i>Colour Number</i>	C.I. 11105,11154
	<i>CAS Number</i>	12270-13-2
<i>Famille</i>	Colorant Basique/ Cationique	
<i>Structure Moléculaire</i>	Classe azoïdale simple	
<i>Formule Brute</i>	$C_{20}H_{26}N_4O_6S_2$	
<i>Formule Développée</i>		
<i>Masse Molaire (g/mol)</i>	482.57	
λ_{max}	617 nm	
<i>Solubilité dans l'eau (g.L⁻¹)</i>	90°C	40
	25°C	30

Tableau 4.2 : Principales caractéristiques physico-chimiques du Rouge Bezacryl

(Référence, RB).

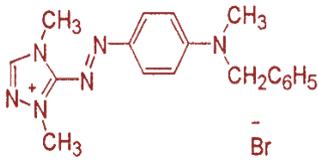
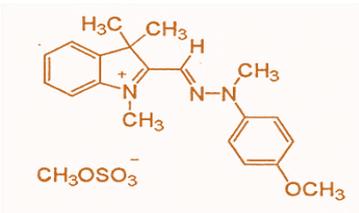
Rouge Bezacryl		
<i>Nomenclatures</i>	<i>Dénomination</i>	Rouge GRL 180
	<i>Colour Index</i>	Basic Red 46
	<i>Colour Number</i>	C.I.110825
	<i>CAS Number</i>	12221-69-1
<i>Famille</i>	Colorant Basique/ Cationique	
<i>Structure Moléculaire</i>	Classe Azo simple	
<i>Formule Brute</i>	$C_{18}H_{21}Br N_6$	
<i>Formule Développée</i>		
<i>Masse Molaire (g/mol)</i>	401.3	
λ_{max}	530 nm	
<i>Solubilité dans l'eau (g.L⁻¹)</i>	90°C	80
	25°C	60

Tableau 4.3 : Principales caractéristiques physico-chimiques du Jaune Bezacryl

(Référence, JB).

Jaune Bezacryl		
<i>Nomenclatures</i>	<i>Dénomination</i>	Jaune Or GL 200
	<i>Colour Index</i>	Basic Yellow 28
	<i>Colour Number</i>	C.I.48054
	<i>CAS Number</i>	54060-92-3
<i>Famille</i>	Colorant Basique/ Cationique	
<i>Structure Moléculaire</i>	Classe d'Azométhine	
<i>Formule Brute</i>	$C_{21}H_{27}N_3O_5S$	
<i>Formule Développée</i>		
<i>Masse Molaire (g/mol)</i>	433.52	
λ_{max}	438 nm	
<i>Solubilité dans l'eau (g.L⁻¹)</i>	90°C	100
	25°C	80

4.2 Technique d'analyse

L'analyse de nos échantillons a été réalisée sur un colorimètre photoélectrique de-type FISHER SCIENTIFIC Model 45.

Le principe de fonctionnement de l'appareil est simple. Un faisceau lumineux de longueur d'onde λ , selon le filtre utilisé et d'intensité I_0 traverse une cuve d'épaisseur l contenant une solution colorée de concentration C (figure 4.1). Le faisceau ressort avec une intensité $I < I_0$, la différence est absorbée par la substance

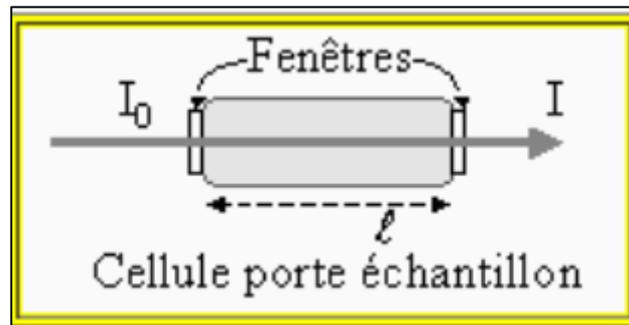


Figure 4.1 : Atténuation d'un faisceau à travers un matériau absorbant.

Ce principe est basé sur la loi de Beer Lambert qui s'exprime comme suit :

$$A = \log\left(\frac{I_0}{I}\right) = \varepsilon l C \quad (4.1)$$

Avec :

A : Absorbance,

I_0 : Intensité du faisceau incident (avant traversée de la cellule),

I : Intensité du faisceau émergent (après traversée de la cellule),

ε : Coefficient spécifique d'absorption massique dépendant du composé et de la longueur d'onde considérée ($l.cm^{-1}.g^{-1}$),

C : Concentration massique du composé dosé (g/l),

l : Epaisseur de la cuve (cm).

4.2.1 Analyse d'un seul composé

Avant toute mesure, on commence par établir une courbe d'étalonnage $A = f(C)$ à partir de solutions de concentrations connues en composé à doser, soumises au même traitement que l'échantillon. Cette courbe, le plus souvent assimilable à une droite pour les solutions diluées, permet de déduire la concentration C_X de la solution inconnue.

4.2.2 Additivité des absorbances

La loi de Beer Lambert est additive. Ceci veut dire que si on mesure l'absorbance A , dans une cuve d'épaisseur l , d'un mélange de deux composés 1 et 2 en solution dans un solvant, on obtiendra la même absorbance totale si la lumière passe successivement à travers deux cuves d'épaisseur l , placées l'une après l'autre, contenant l'une le composé 1 (Abs A_1) et l'autre le composé 2 (Abs A_2). Il faut bien sûr que les concentrations et le solvant soient les mêmes que pour le mélange initial (on donne ici l'indice 1 au composé 1 et l'indice 2 au composé 2) :

$$A = A_1 + A_2 = l (\varepsilon_1 C_1 + \varepsilon_2 C_2) \quad (4.2)$$

4.2.3 Analyse multi-composants

Lorsqu'on est en présence d'un mélange de composés dont les spectres d'absorption individuels sont connus, on peut déterminer la composition. Selon la loi d'additivité (relation 4.2), le spectre du mélange correspond à la somme pondérée des spectres de chacun des constituants. La méthode classique de calcul n'est plus utilisée telle quelle, mais au travers des outils logiciels.

- **Méthode algébrique de base**

Soit un mélange de trois composés a, b et c en solution de concentration C_a, C_b, C_c respectivement dont nous mesurons les absorbances A_1, A_2 et A_3 aux trois longueurs d'onde λ_1, λ_2 et λ_3 respectivement.

Connaissant les valeurs des absorbances spécifiques de chacun des trois composés pris isolément pour ces trois longueurs d'onde (9 valeurs au total, de ε_a^1 à ε_c^3) on écrira, par application de la loi d'additivité des absorbances, le système suivant de trois équations (on suppose que le trajet optique des cuves utilisées est de 1 cm) :

$$\text{à } \lambda_1 \quad A_1 = \varepsilon_a^1 C_a + \varepsilon_b^1 C_b + \varepsilon_c^1 C_c \quad (4.3)$$

$$\text{à } \lambda_2 \quad A_2 = \varepsilon_a^2 C_a + \varepsilon_b^2 C_b + \varepsilon_c^2 C_c \quad (4.4)$$

$$\text{à } \lambda_3 \quad A_3 = \varepsilon_a^3 C_a + \varepsilon_b^3 C_b + \varepsilon_c^3 C_c \quad (4.5)$$

ε_i^j : ε du composé i, à la longueur d'onde j

i : Correspond au composé a, b ou c

j : correspond à la longueur d'onde λ_1, λ_2 ou λ_3

La résolution de ce système, qui correspond à une matrice $[3 \times 3]$, permet de trouver les trois concentrations cherchées C_a, C_b et C_c

$$\begin{bmatrix} C_a \\ C_b \\ C_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \varepsilon_a^1 & \varepsilon_b^1 & \varepsilon_c^1 \\ \varepsilon_a^2 & \varepsilon_b^2 & \varepsilon_c^2 \\ \varepsilon_a^3 & \varepsilon_b^3 & \varepsilon_c^3 \end{bmatrix}^{-1} \quad (4.6)$$

Cette approche donne de bons résultats quand les composés ont des spectres significativement différents, mais elle devient moins précise quand les spectres sont voisins.

4.3 Préparation de l'adsorbant (bentonite)

L'argile utilisée dans cette étude est une bentonite algérienne provenant du gisement de Maghnia, fournie par l'ENOF (Entreprise Nationale des Substances Utiles et Matériaux non Ferreux).

Après un broyage et un tamisage, nous recueillons les fractions argileuses de taille inférieure à 80 μm . La bentonite est ensuite séchée à 105 °C jusqu'à poids constant.

4.4 Résultats obtenus dans le cas de l'adsorption en mono-soluté

Pour cette étude, nous exploitons les résultats obtenus lors d'un travail en cours (Bouchiha, S. ; koubladji, M. 2017). Ces résultats sont reportés dans les tableaux 4.4, 4.5 et 4.6 suivants :

Tableau 4.4 : Données expérimentales de l'étude de l'adsorption de Bleu Bezacryl.

<i>Bleu Bezacryl</i>	
Volume de la solution coloré	V = 100 mL
Concentration initiale de l'adsorbat	$C_0 = 100 \text{ mg.L}^{-1}$
Adsorbants	bentonite naturelle
Granulométrie de l'adsorbant	$d_p < 80 \mu\text{m}$
Masse optimale de l'adsorbant	m = 0.08 g
Temps d'équilibre	t = 5 min
λ_{max} du travail	590 nm
Température	T = 20 \pm 1 °C
Vitesse d'agitation	w = 500 tr.min ⁻¹

Tableau 4.5 : Donnée expérimentales de l'étude de l'adsorption de Rouge Bezacryl

<i>Rouge Bezacryl</i>	
Volume de la solution coloré	V = 100 mL
Concentration initiale de l'adsorbat	$C_0 = 100 \text{ mg.L}^{-1}$
Adsorbants	bentonite naturelle
Granulométrie de l'adsorbant	$d_p < 80 \mu\text{m}$
Masse optimale de l'adsorbant	m = 0.07 g
Temps d'équilibre	t = 10 min
λ_{max} du travail	520 nm
Température	T = 20 \pm 1 °C
Vitesse d'agitation	w = 500 tr.min ⁻¹

Tableau 4.6 : Donnée expérimentales de l'étude de l'adsorption de Jaune Bezacryl.

<i>Jaune Bezacryl</i>	
Volume de la solution coloré	V = 100 mL
Concentration initiale de l'adsorbat	$C_0 = 100 \text{ mg.L}^{-1}$
Adsorbants	bentonite naturelle
Granulométrie de l'adsorbant	$d_p < 80 \text{ }\mu\text{m}$
Masse optimale de l'adsorbant	m = 0.05 g
Temps d'équilibre	t = 6 min
λ_{max} du travail	440 nm
Température	T = $20 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$
Vitesse d'agitation	w = 500 tr.min^{-1}

4.5 Etablissement des courbes d'étalonnage

La méthode de calcul des concentration inconnues est basée sur la connaissance des valeurs des ($K = \epsilon \cdot l$) pour chacun des trois colorants (Bleu, Rouge, Jaune) pris isolément pour les trois longueurs d'onde ($\lambda = 590$, $\lambda = 520$ et $\lambda = 440$ nm), (9 valeurs au total, de k_{BB}^{590} à K_{JB}^{440}).

Pour obtenir les courbes d'étalonnage $A = f(C)$ (figure 4.2 à 4.10), nous avons utilisé la même méthode pour les trois colorants, qui consiste à préparer tout d'abord des solutions de concentrations bien déterminées. Ces dernières seront, par la suite, analysées par colorimétrie. L'eau distillée étant utilisée comme référence (étalon).

- A la longueur d'onde $\lambda = 590$ nm

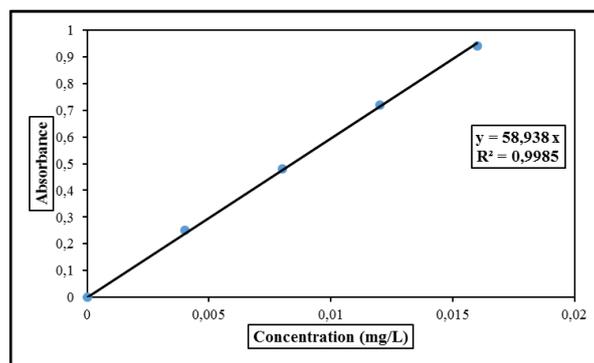


Figure 4.2 : Courbe d'étalonnage du BB ($\lambda=590$ nm).

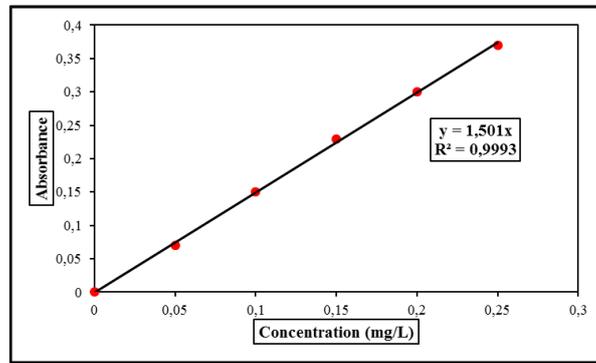


Figure 4.3 : Courbe d'étalonnage du RB ($\lambda=590$ nm).

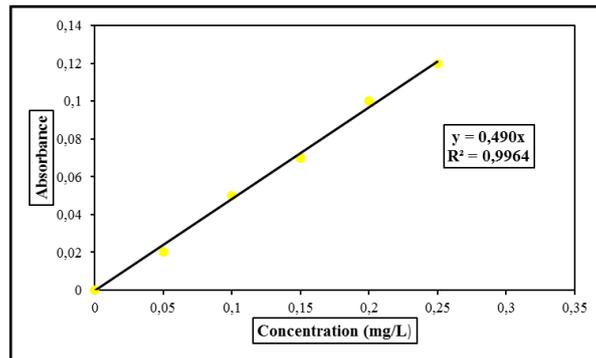


Figure 4.4 : Courbe d'étalonnage du JB ($\lambda=590$ nm)

- A la longueur d'onde $\lambda = 520$ nm

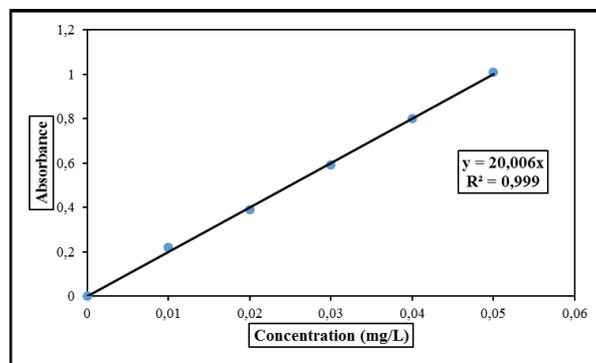


Figure 4.5 : Courbe d'étalonnage du BB ($\lambda=520$ nm).

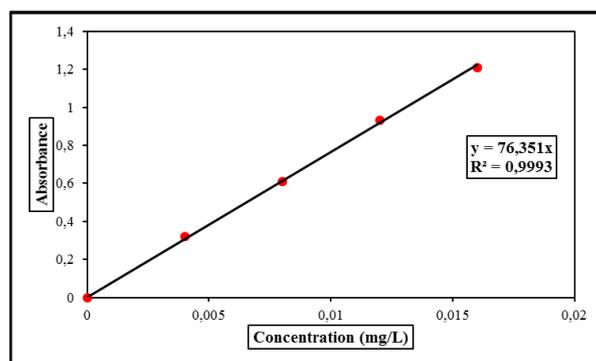


Figure 4.6 : Courbe d'étalonnage du RB ($\lambda=520$ nm).

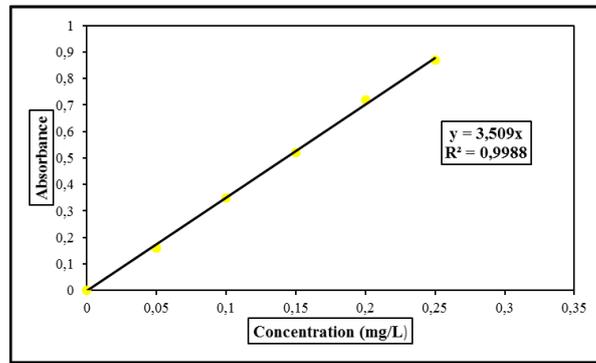


Figure 4.7 : Courbe d'étalonnage du JB ($\lambda=520$ nm)

- A la longueur d'onde $\lambda = 440$ nm

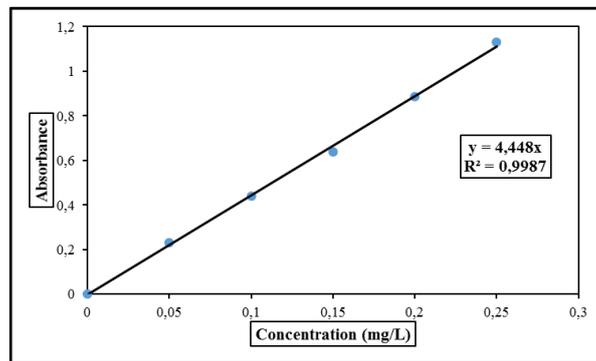


Figure 4.8 : Courbe d'étalonnage du BB ($\lambda=440$ nm)

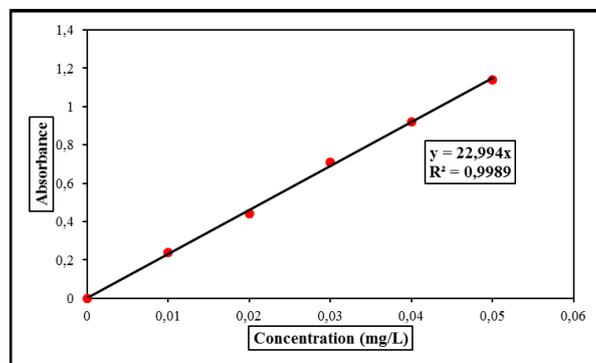


Figure 4.9 : Courbe d'étalonnage du RB ($\lambda=440$ nm).

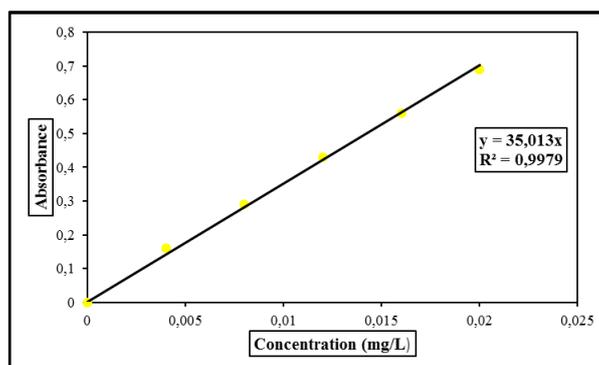


Figure 4.10 : Courbe d'étalonnage du JB ($\lambda=440$ nm).

On peut réécrire la loi de Beer Lambert sous la forme suivante :

$$A = K C \quad \text{avec : } K = \varepsilon l \quad (4.7)$$

On note :

A_{BB}^λ : Absorbance de solution de bleu Bezacryl à la longueur d'onde λ ,

A_{RB}^λ : Absorbance de solution de rouge Bezacryl à la longueur d'onde λ ,

A_{JB}^λ : Absorbance de solution de jaune Bezacryl à la longueur d'onde λ ,

C : Concentration de solution colorée par un seul colorant.

- A la longueur d'onde $\lambda = 590 \text{ nm}$

$$A_{BB}^{590} = K_{BB}^{590} \cdot C \quad \Longrightarrow \quad K_{BB}^{590} = \frac{A_{BB}^{590}}{C} \quad (4.8)$$

$$A_{RB}^{590} = K_{RB}^{590} \cdot C \quad \Longrightarrow \quad K_{RB}^{590} = \frac{A_{RB}^{590}}{C} \quad (4.9)$$

$$A_{JB}^{590} = K_{JB}^{590} \cdot C \quad \Longrightarrow \quad K_{JB}^{590} = \frac{A_{JB}^{590}}{C} \quad (4.10)$$

- A la longueur d'onde $\lambda = 520 \text{ nm}$

$$A_{BB}^{520} = K_{BB}^{520} \cdot C \quad \Longrightarrow \quad K_{BB}^{520} = \frac{A_{BB}^{520}}{C} \quad (4.11)$$

$$A_{RB}^{520} = K_{RB}^{520} \cdot C \quad \Longrightarrow \quad K_{RB}^{520} = \frac{A_{RB}^{520}}{C} \quad (4.12)$$

$$A_{JB}^{520} = K_{JB}^{520} \cdot C \quad \Longrightarrow \quad K_{JB}^{520} = \frac{A_{JB}^{520}}{C} \quad (4.13)$$

- A la longueur d'onde $\lambda = 440 \text{ nm}$

$$A_{BB}^{440} = K_{BB}^{440} \cdot C \quad \Longrightarrow \quad K_{BB}^{440} = \frac{A_{BB}^{440}}{C} \quad (4.14)$$

$$A_{RB}^{440} = K_{RB}^{440} \cdot C \quad \Longrightarrow \quad K_{RB}^{440} = \frac{A_{RB}^{440}}{C} \quad (4.15)$$

$$A_{JB}^{440} = K_{JB}^{440} \cdot C \quad \Longrightarrow \quad K_{JB}^{440} = \frac{A_{JB}^{440}}{C} \quad (4.16)$$

Les résultats sont consignés dans le tableau (4.7) ci-dessous :

Tableau 4.7 : Constantes de Beer Lambert des trois colorants.

<i>Les colorants</i>	$\lambda = 590 \text{ nm}$	$\lambda = 520 \text{ nm}$	$\lambda = 440 \text{ nm}$
<i>Bleu Bezacryl</i>	$K_{BB}^{590} = 58,938$	$K_{BB}^{520} = 20,006$	$K_{BB}^{440} = 4,448$
<i>Rouge Bezacryl</i>	$K_{RB}^{590} = 1,501$	$K_{RB}^{520} = 76,351$	$K_{RB}^{440} = 22,994$
<i>Jaune Bezacryl</i>	$K_{JB}^{590} = 0,490$	$K_{JB}^{520} = 3,509$	$K_{JB}^{440} = 35,013$

Dans le cas de mélanges des colorants, par application de la loi d'additivité des absorbances, on aboutit à un système de trois équations suivant:

$$\text{à } \lambda = 590 \quad A_M^{590} = A_{BB}^{590} + A_{RB}^{590} + A_{JB}^{590} \quad (4.17)$$

$$\text{à } \lambda = 520 \quad A_M^{520} = A_{BB}^{520} + A_{RB}^{520} + A_{JB}^{520} \quad (4.18)$$

$$\text{à } \lambda = 440 \quad A_M^{440} = A_{BB}^{440} + A_{RB}^{440} + A_{JB}^{440} \quad (4.19)$$

Où:

$$A_M^{590} = K_{BB}^{590} C_{BB} + K_{RB}^{590} C_{RB} + K_{JB}^{590} C_{JB} \quad (4.20)$$

$$A_M^{520} = K_{BB}^{520} C_{BB} + K_{RB}^{520} C_{RB} + K_{JB}^{520} C_{JB} \quad (4.21)$$

$$A_M^{440} = K_{BB}^{440} C_{BB} + K_{RB}^{440} C_{RB} + K_{JB}^{440} C_{JB} \quad (4.22)$$

Avec:

C_{BB} : Concentration du bleu Bezacryl dans le mélange,

C_{RB} : Concentration du rouge Bezacryl dans le mélange,

C_{JB} : Concentration du jaune Bezacryl dans le mélange,

A_M^λ : Absorbance du mélange à la longueur d'onde λ .

La résolution de ce système, qui correspond à une matrice $[3 \times 3]$, permet de trouver les trois concentrations recherchées C_{BB} , C_{RB} et C_{JB} :

$$\begin{bmatrix} C_{BB} \\ C_{RB} \\ C_{JB} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_M^{590} \\ A_M^{520} \\ A_M^{440} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} k_{BB}^{590} & k_{RB}^{590} & k_{JB}^{590} \\ k_{BB}^{520} & k_{RB}^{520} & k_{JB}^{520} \\ k_{BB}^{440} & k_{RB}^{440} & k_{JB}^{440} \end{bmatrix}^{-1} \quad (4.23)$$

4.6 Etude de l'adsorption en mélange

Dans cette partie, nous avons étudié l'influence de la masse de bentonite sur l'élimination de chaque mélange de colorants. Les autres paramètres étant maintenus constants. La méthode utilisée est la même pour les quatre mélanges de colorants : (BB, RB, JB) ; (BB, RB) ; (BB, JB) et (RB, JB).

Des solutions mères correspondant à chacun des quatre mélanges de colorants (BB, RB et JB) ; (BB, RB) ; (BB, JB) et (RB, JB) ont été préparées dans les proportions suivantes :

- Cas du mélange à trois colorants (BB, RB et JB) : (33,33; 33,33 ; 33,33mg),
- Cas des mélanges à deux colorants (BB, RB) ; (BB, JB) et (RB, JB) : (50, 50mg).

Les expériences d'adsorption des colorants sont réalisées par la mise en contact d'une masse de bentonite avec 100 mL de solution colorée.

Le mélange est soumis à une agitation d'environ 500 tr.min⁻¹ à température ambiante.

L'agitation a pour but d'homogénéiser le mélange et d'augmenter la surface de contact entre les deux phases liquide et solide.

Après centrifugation, les échantillons aqueux sont analysés par colorimétrie dans les longueurs d'onde correspondant aux longueurs d'onde maximales de chacun du constituant du mélange. Le calcul des concentrations résiduelles des colorants se fait par la résolution du système d'équations (4.23) (*Francis R ; Annick R.*).

Lors des différentes manipulations, et afin de limiter la dégradation de la solution colorée par la lumière, nous avons pris soin de recouvrir nos flacons (Erlens et fioles) de papier aluminium.

Nous avons travaillé dans les conditions opératoires suivantes :

- Volume de la solution colorée : $V = 100 \text{ mL}$,
- Adsorbant : bentonite naturelle,
- Granulométrie de l'adsorbant : $d_p < 80 \text{ }\mu\text{m}$,
- Masse de l'adsorbant : $m = 0,02 \text{ à } 0,14 \text{ g}$
- Concentration initiale de l'adsorbat : $C_0 = 100 \text{ mg.L}^{-1}$,
- Température : $T = 20 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$,
- Vitesse d'agitation : $w = 500 \text{ tr.min}^{-1}$,
- Temps de contact : $t = 30 \text{ min}$.

Les concentrations résiduelles sont regroupées dans les tableaux 4.8 à 4.11.

Nous avons exprimé les résultats obtenus par la variation de taux d'élimination des colorants de la phase aqueuse en fonction de la masse de bentonite (figures 4.11 à 4.14).

Le taux d'élimination est exprimé par la relation suivante :

$$E(\%) = \frac{(C_0 - C_t)}{C_0} \times 100 \quad (4.24)$$

Avec :

C_0 : Concentration initiale de soluté (mg. L^{-1}),

C_t : Concentration de soluté à l'instant t (mg. L^{-1}).

a) Mélange de deux colorants (Bleu - Rouge)

Tableau 4.8 : Concentrations résiduelles et taux d'élimination des colorants pour le mélange des deux colorants (BB, RB).

Masse de bentonite(mg)	20	30	40	50	60	70	80	90	100	120	140
$C_{BB} \text{ (mg.L}^{-1}\text{)}$	7,74	0,71	0,28	0,16	0,16	0,17	0,16	0,16	0,32	1,31	1,30
$C_{RB} \text{ (mg.L}^{-1}\text{)}$	29,41	12,13	2,28	0,48	0,35	0,09	0,22	0,35	0,57	2,02	2,28
Concentration totale (mg.L ⁻¹)	37,15	12,84	2,56	0,64	0,51	0,26	0,38	0,51	0,89	3,33	3,58
$E \text{ (%)}$	62,85	87,16	97,44	99,36	99,49	99,74	99,62	99,49	99,11	96,67	96,42

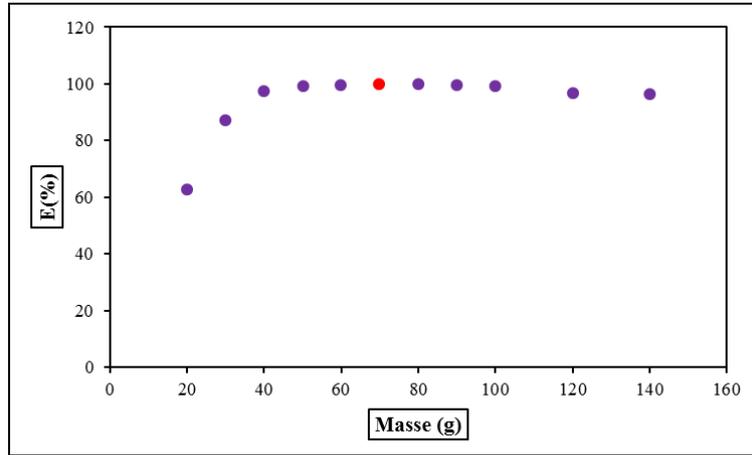


Figure 4.11 : Influence de la masse de bentonite sur le taux d'élimination du mélange des deux colorants (BB, RB) ($C_0=100 \text{ mg.L}^{-1}$; $T= 20 \text{ }^\circ\text{C}$; $w=500 \text{ tr.min}^{-1}$; $V=0,1\text{L}$).

b) Mélange de deux colorants (Bleu - Jaune)

Tableau 4.9 : Concentrations résiduelles et taux d'élimination des colorants pour le mélange des deux colorants (BB, JB).

Masse de bentonite (mg)	20	30	40	50	60	70	80	90	100	120	140
$C_{BB} \text{ (mg.L}^{-1}\text{)}$	8,27	0,77	0,16	0,16	0,00	0,17	0,17	0,66	1,50	2,16	2,99
$C_{JB} \text{ (mg.L}^{-1}\text{)}$	24,66	9,61	1,41	0,84	0,29	0,26	0,55	1,63	2,67	4,87	7,62
Concentration totale (mg.L ⁻¹)	32,93	10,38	1,57	1,00	0,29	0,43	0,72	2,29	4,17	7,03	10,61
E (%)	67,07	89,62	98,43	99,00	99,71	99,57	99,28	97,71	95,83	92,97	89,39

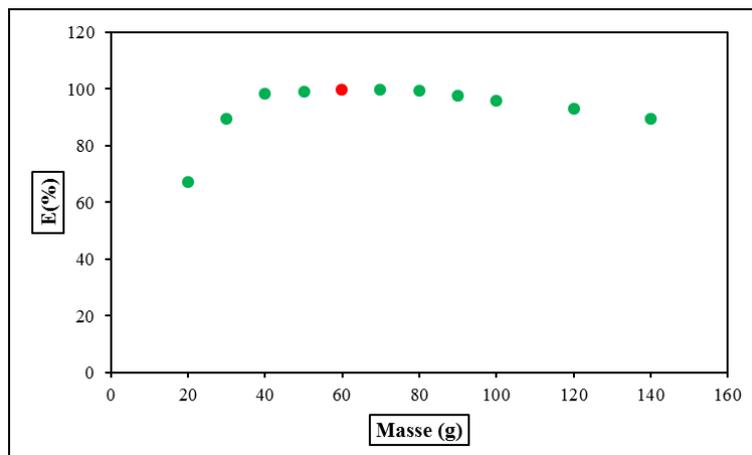


Figure 4.12 : Influence de la masse de bentonite sur le taux d'élimination du mélange des deux colorants (BB, JB) ($C_0=100 \text{ mg.L}^{-1}$; $T= 20 \text{ }^\circ\text{C}$; $w=500 \text{ tr.min}^{-1}$; $V=0,1\text{L}$).

c) Mélange de deux colorants (Rouge - Jaune)

Tableau 4.10 : Concentrations résiduelles et taux d'élimination des colorants pour le mélange des deux colorants (RB, JB).

Masse de bentonite (mg)	20	30	40	50	60	70	80	90	100	120	140
$C_{RB} (mg.L^{-1})$	21,20	10,17	2,49	0,62	0,50	1,12	1,86	2,73	2,48	5,21	6,46
$C_{JB} (mg.L^{-1})$	23,20	9,60	2,64	0,73	0,53	1,26	2,20	3,35	2,94	6,29	7,76
Concentration totale ($mg.L^{-1}$)	44,40	19,77	5,13	1,35	1,03	2,38	4,06	6,08	5,42	11,50	14,22
$E (%)$	55,60	80,23	94,87	98,65	98,97	97,62	95,94	93,92	94,58	88,50	85,78

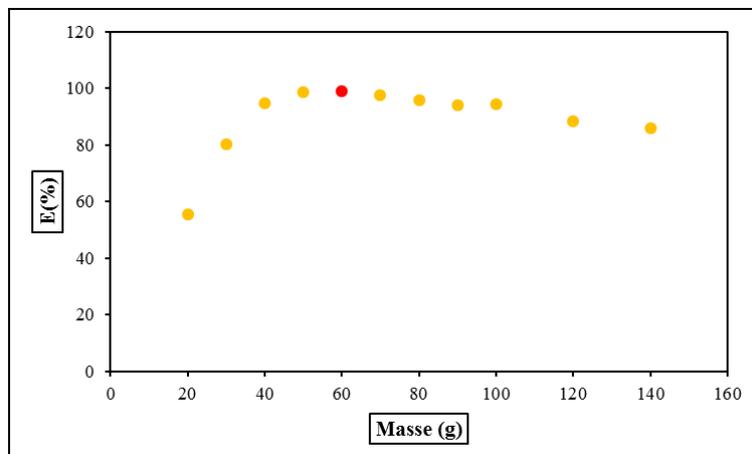


Figure 4.13 : Influence de la masse de bentonite sur le taux d'élimination du mélange des deux colorants (BB, JB) ($C_0=100 mg.L^{-1}$; $T= 20 ^\circ C$; $w=500 tr.min^{-1}$; $V=0,1L$).

d) Mélange des trois colorants

Tableau 4.11 : Concentrations résiduelles et taux d'élimination des colorants pour le mélange des trois colorants (BB, RB, JB)

Masse de bentonite (mg)	20	30	40	50	60	70	80	90	100	120	140
$C_{BB} (mg.L^{-1})$	0,79	0,08	0,14	0,00	0,16	0,65	0,33	0,47	0,96	2,25	3,07
$C_{RB} (mg.L^{-1})$	16,54	7,64	0,96	0,36	0,21	0,85	0,43	1,14	2,08	4,02	5,21
$C_J (mg.L^{-1})$	17,6	7,26	1,06	0,62	0,12	0,50	0,25	0,90	0,51	2,21	3,04
Concentration totale ($mg.L^{-1}$)	34,93	14,98	2,16	0,98	0,49	2,00	1,01	2,51	3,55	8,48	11,32
$E (%)$	65,07	85,02	97,84	99,02	99,51	98,00	98,99	97,49	96,45	91,52	88,68

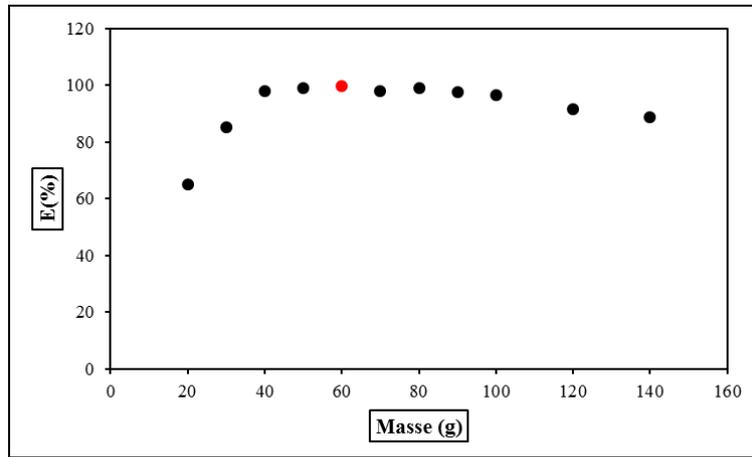


Figure 4.14 : Influence de la masse de bentonite sur le taux d'élimination du mélange des trois colorants (BB, RB, JB) ($C_0=100 \text{ mg.L}^{-1}$; $T=20 \text{ }^\circ\text{C}$; $w=500 \text{ tr.min}^{-1}$; $V=0,1\text{L}$).

Les courbes obtenues montrent que pour les quatre mélanges des colorants, le taux d'élimination augmente au fur et à mesure que la masse de la bentonite augmente jusqu'à atteindre un maximum qui correspond à la masse optimale pour laquelle nous observons alors une décoloration quasi-totale de la solution.

Au-delà de ce maximum, le taux d'élimination diminue pour l'ensemble des colorants.

Selon certains auteurs (F. Sakr), l'augmentation de la quantité d'adsorbant crée des agglomérations de particules empêchant ainsi le colorant d'accéder aux sites d'adsorption.

Les résultats obtenus sont récapitulés sur le tableau (4.12) ci-dessous :

Tableau 4.12 : Masses optimales de bentonite pour les mélanges.

<i>Mélanges</i>	<i>Deux colorants (BB, RB)</i>	<i>Deux colorant (BB, JB)</i>	<i>Deux colorant (RB, JB)</i>	<i>Trois colorants (BB, RB, JB)</i>
<i>Masse optimale de bentonite (g)</i>	0.07	0.06	0.06	0.06
<i>Taux d'élimination (%)</i>	99.74	99.71	98.97	99.51

4.7 Etablissement de la corrélation donnant la masse optimale de bentonite pour les mélanges de colorants

A partir des données expérimentales de l'étude de l'adsorption en mono-soluté et de l'étude de l'adsorption en mélange nous avons constaté qu'il est possible de déterminer la masse optimale de bentonite.

La relation est basée sur les masses optimales trouvées dans l'étude en mono soluté, sur la concentration de chaque colorant dans le mélange ainsi que sur le volume total du mélange.

Dans l'étude en mono soluté, nous avons trouvé que pour 100 mL de solution colorée de concentration 100 mg.L⁻¹, la masse de bentonite optimale est de 0,08 ; 0,07 et 0,05 g respectivement pour les colorants BB, RB et JB.

Donc pour une solution contenant un seul colorant de concentration et de volume quelconques la masse optimale est donnée par :

$$m_{BB} = \frac{0.08 \times C_{BB} \times V}{100 \times 0.1} \implies m_{BB} = 0.008 \times C_{BB} \times V \quad (4.25)$$

$$m_{RB} = \frac{0.07 \times C_{RB} \times V}{100 \times 0.1} \implies m_{RB} = 0.007 \times C_{RB} \times V \quad (4.26)$$

$$m_{JB} = \frac{0.05 \times C_{JB} \times V}{100 \times 0.1} \implies m_{JB} = 0.005 \times C_{JB} \times V \quad (4.27)$$

Avec :

m_{BB} , m_{RB} et m_{JB} : Masse optimale de bentonite pour les solutions de BB, RB et JB respectivement.

C_{BB} , C_{RB} et C_{JB} : Concentration du colorant BB, RB et JB respectivement dans la solution en mg.L⁻¹

V : le volume de la solution coloré en L.

Pour les mélanges, nous avons utilisé la propriété d'additivité des masses :

$$m_{\text{mélange}} = m_{BB} + m_{RB} + m_{JB} \quad (4.28)$$

Soit :

$$m_{\text{(mélange)}} = [0.008 \times C_{BB} + 0.007 \times C_{RB} + 0.005 \times C_{JB}] \times V \quad (4.29)$$

Tableau 4.13 : Comparaison entre les valeurs calculées et les valeurs expérimentales de la masse optimale.

	<i>Trois colorants (BB, RB, JB)</i>	<i>Deux colorants (BB, RB)</i>	<i>Deux colorants (BB, JB)</i>	<i>Deux colorants (RB, JB)</i>
<i>Masse calculée (g)</i>	0,06	0,07	0,06	0,06
<i>Masse expérimentale (g)</i>	0,066	0,075	0,065	0,060
<i>Erreur(%)</i>	9,09	6,66	7,69	0,00

L'écart entre les résultats expérimentaux et ceux du calcul analytique ne dépasse pas les 10%, ce qui présente un résultat relativement satisfaisant. Cette erreur est peut-être due principalement au manque de précision du matériel utilisé pour la réalisation des analyses.

Chapitre 5

Valorisation de la bentonite polluée

Chapitre 5 : Valorisation de la bentonite polluée

La dépollution des colorants par adsorption sur bentonite est une méthode efficace et peu onéreuse par rapport aux autres méthodes telles que la coagulation-précipitation, les techniques membranaires...

Sur le plan environnemental, la méthode consiste à déplacer la pollution (colorants) du liquide (l'eau) vers le solide (la bentonite). La bentonite adsorbe les molécules de colorant quasi totalement et comme elle est blanche, elle prend la couleur de l'eau polluée en question.

Cependant, la bentonite utilisée nécessite un traitement et une régénération qui sont des étapes coûteuses, et les colorants issus de ces étapes ne sont pas valorisés. La question qui se pose est la suivante :

Quelle serait le devenir de ces colorants après la régénération de la bentonite ?

Dans le chapitre suivant nous allons proposer une valorisation de la bentonite polluée par des colorants textiles sans avoir recours au traitement et à la régénération de cette dernière.

5.1 Principe de valorisation de la bentonite colorée

La valorisation de la bentonite colorée repose sur un principe de solidification et de stabilisation qui est une filière de traitement et de valorisation des déchets.

Nous avons utilisé la technique des supports cimenteux qui consiste à mélanger les déchets (bentonite colorée) avec du ciment (type Portland principalement) afin de former des composés peu solubles (hydroxydes et silicates). La bentonite incorporée dans la matrice solide de ciment joue le rôle de colorant dans la fabrication du béton coloré (pavé).

Cette idée est réalisable d'autant plus que la bentonite n'influe pas sur la matrice solide du ciment pour plusieurs raisons :

- Dans le procédé de fabrication du ciment, le matériau principal utilisé est l'argile.
- Bien que contenant des impuretés argileuses, le sable rentrant dans la fabrication industrielle du pavé ne diminue en rien la qualité du béton. D'autre part, la quantité de bentonite colorée utilisée pour la fabrication d'un pavé, est de 20g ce qui correspond à peine à 1% de la masse de sable utilisé.
- De plus, dans la technique des supports cimenteux, la bentonite est utilisée comme additif afin d'améliorer les caractéristiques du support en matière d'imperméabilité.

5.2 Application de la technique

La fabrication des pavés consiste à mélanger deux types de granulats (sable fin et gravillon concassé) avec une quantité équivalente en volume de ciment blanc (figure 5.1).

La méthode de fabrication ainsi que les ingrédients nécessaires à la production des pavés nous ont été fournis par un industriel.



Figure 5.1: Ingrédients pour la fabrication des pavés.

Pour mettre en exécution notre idée, nous allons procéder de la façon suivante :

La bentonite colorée est obtenue suite à l'adsorption des colorants textiles contenus dans l'eau. Après simple décantation de la boue colorée (figure 5.2), nous séparons l'eau dépolluée de la bentonite colorée (figure 5.3).



Figure 5.2 : Décantation naturelle de la bentonite colorée.



Figure 5.3 : Séparation de l'eau dépolluée de la bentonite colorée.

La bentonite colorée récupérée est ensuite incorporée dans le support cimenteux à raison de 20 g pour un pavé soit environ 1% de la matrice solide.



Figure 5.4 : Mélange des ingrédients

Le mélange obtenu est ensuite versé dans des moules pour prendre la forme souhaitée, et est laissé sécher à l'air libre (étape de moulage et séchage) (figure 5.5 et 5.6).



Figure 5.5 : Moulage de la pâte.



Figure 5.6 : Séchage des pavés.

Le produit fini, prêt à être utilisé est représenté dans la figure (5.7) suivante :



Figure 5.7 : Produit fini.

Conclusion générale

Dans une démarche de valorisation des ressources naturelles algériennes, notre département a intégré ces dernières années la bentonite comme adsorbant pour traiter les différents types d'effluents industriels contaminés. Cette étude suit la même démarche mais cette fois-ci nous avons été plus loin en essayant de revaloriser la bentonite utilisée en l'instaurant dans un autre procédé industriel sans la régénérer.

Après avoir étudié les paramètres de l'adsorption des mélanges des colorants sur la bentonite naturelle, nous avons conclu que sur la base de la connaissance des caractéristiques individuelles des colorants, nous pouvons estimer les caractéristiques moyennes d'un mélange. Cette conclusion nous a permis de proposer une corrélation qui donne la masse optimale de la bentonite nécessaire pour le traitement d'un effluent contenant un mélange de colorants

Pour valider cette corrélation, des expériences ont été menées pour déterminer les masses optimales de la bentonite ; ces résultats sont comparés à ceux obtenus à partir de la corrélation proposée. L'écart entre les résultats expérimentaux et ceux calculés analytiquement ne dépasse pas les 10%, ce qui représente un résultat relativement satisfaisant. Cette erreur est peut-être due principalement au manque de précision du matériel utilisé pour réaliser les analyses.

Pour ne pas laisser les travaux effectués enfermés entre les murs du laboratoire nous avons proposé et réalisé un prototype pour valoriser la bentonite polluée en utilisant la technique des supports cimentaux. La bentonite sera utilisée sous forme d'additif colorant lors de la fabrication de pavés décoratifs.

Cette solution paraît avantageuse, d'une part, en réduisant les quantités de colorants utilisés dans la fabrication des pavés colorés et d'autre part, en traitant les rejets issus du textile.

Cette étude est encourageante pour inciter à l'application de la bentonite comme adsorbant à échelle industrielle.

Les résultats peuvent être améliorés en précision en utilisant un matériel plus performant (spectrophotométrie UV visible).

En ce qui concerne la qualité du pavé décoratif, des tests doivent être effectués par des experts en génie civil.

Une étude de l'influence à long terme du béton coloré (pavé) sur l'environnement doit être réalisée.

Références bibliographiques

Bibliographie

-B-

Bouchiha, S. ; koubladji, M. Etude de l'adsorption de colorants textiles sur la, Mémoire de projet de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en génie chimique. 109p. 2017.

-C-

Capon, M., Courilleu, V. et Valette, C. Chimie des couleurs et des odeurs.cultures et techniques, 255p, 1999.

Colak, F., Atar, N. et Olgun, A. Biosorption of acidic dyes from aqueous solution by *Paenibacillus macerans*: kineti, thermodynamic and equilibrium studies, Chem. Eng. J. 150. pp. 122-130. 2009.

-D-

Dogan, M., et al. Adsorption kinetics of maxilon blue GRL onto sepiolite from aqueous solution, Chemical Engineering Journal, Volume 124, pp. 89-101.2006.

-E-

Edeline, F. L'épuration physico-chimique des eaux, theorie et technologie de l'eau, Liège,cebedoc. Paris: tech et lavoisier, Belgique, 288 p. 1998.

-F-

F. Sakr, A. Sennaoui, M. Elouardi, M. Tamimi, A. Assabbane. *adsorption study of methylene blue on biomaterial using cactus.* Laboratoire de Chimie Physique. s.l. : Université Ibn Zohr. journaln of materials and environment science,pp 397-406, 2015.

Francis, R.;Annick, R. *Méthodes et techniques instrumentales modernes, science sup, ed: Dunod,* 512p, 2009

-G-

Grim, R.E. *Applied Clay Mineralogy,* McGraw Hill, vol 2, 188p. New York, 1962.

Guillaume, F. *La technologie du beton, construction chemicals.* MBT France, 111p, s.n., 2002.

-H-

Hameed, B.H. Evaluation of papaya seed as a novel non-conventional low-cost adsorbent for removal of methylene blue, J. Hazard. Mater. 162, pp. 939-994. 2010.

Hendriks, L. *Les pavés décoratifs colorés. Beton - Revue de la Fédération de l'Industrie du Béton,n° 126,* pp. 76-80.1994

-M-

Masschelein, W. J. Processus unitaires du traitement de l'eau potable. pp179-207, cebedoc 1996.

Montgomery, Y.J.M. Consulting engineers Water traitement principales and designs. [éd.] J. Wiley & Sons. 387p, 1985.

-N-

Naib, N. Etude du procede d'adsorption du phenol sur charbon actif a base de grignon d'olive, modelisation par les plans d'experience. université M'hamed bougara de Boumerdes, magister 2007.

Nandi, B.K., Goswami, A. et Purkait, M.K. Adsorption characteristics of brilliant green dye on kaolin. J Hazard. Mater. 161. pp. 387-395. 2009.

-R-**Référence. BB.**

- https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Basic_blue_41#section=Top
- <http://www.worlddyevariety.com/basic-dyes/basic-blue-41.html>
- [https://www.cht.com/cht/medien.nsf/gfx/med_ASAN-9QYLDF_55C8F2/\\$file/Farbkarte_BEZACRYL_fr.pdf](https://www.cht.com/cht/medien.nsf/gfx/med_ASAN-9QYLDF_55C8F2/$file/Farbkarte_BEZACRYL_fr.pdf)

Référence. RB.

- <https://bestchem.hu/bestchem/en/surplus/product/6036>
- <http://www.worlddyevariety.com/basic-dyes/basic-red-46.html>
- [https://www.cht.com/cht/medien.nsf/gfx/med_ASAN-9QYLDF_55C8F2/\\$file/Farbkarte_BEZACRYL_fr.pdf](https://www.cht.com/cht/medien.nsf/gfx/med_ASAN-9QYLDF_55C8F2/$file/Farbkarte_BEZACRYL_fr.pdf)

Référence. JB.

- <https://bestchem.hu/bestchem/en/chemicals/dyes-pigments/item/BY28>
- https://www.jmaterenvironsci.com/Document/vol5/vol5_NS2/13-JMES-S2-Jaafar.pdf
- [https://www.cht.com/cht/medien.nsf/gfx/med_ASAN-9QYLDF_55C8F2/\\$file/Farbkarte_BEZACRYL_fr.pdf](https://www.cht.com/cht/medien.nsf/gfx/med_ASAN-9QYLDF_55C8F2/$file/Farbkarte_BEZACRYL_fr.pdf)

Rens, L. et Febelcem. 2016. *LE BÉTON COLORÉ*. [éd.] Jasienski A. Bruxelles : s.n., 2016.

-S-

S.n. 2017. Bulletin du ciment. Mai 2017.

-W-

Weber, W.J. Jr., McGinley, P.M. et Katz, L.E. *Sorption phenomena in subsurface system* Water Res. 25. pp. 499-528. 1991.

-Z-

Zhenwang, L., Zhenluc, L. et L, jranjan. The pt dye molecular structure and itsChromophori clumnescences mechanisme. 15th word conference on non-destructive testing. pp. 15-21. 2000.