



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Abdelhamid Benbadis de Mostaganem
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie des Procédés

N° D'ORDRE : M..... /

Mémoire pour l'obtention du

DIPLÔME DE MAGISTER EN CHIMIE

OPTION : CHIMIE APPLIQUEE ET DEVELOPPEMENT DURABLE

Présenté par

M^r HAMZAOUI Mohamed

THEME

*Etude comparative des modèles d'isothermes linéaires
et non linéaires pour l'adsorption de colorants.*

Soutenu le : 26 Juin 2012

Devant le Jury

Président	Mr BELHAKEM Mostefa	Professeur	Université de Mostaganem
Examineur	Mr BELOUATEK Aissa	Professeur	Centre Universitaire de Relizane
Examineur	Mr BENDERDOUCHE Nouredine	Professeur	Université de Mostaganem
Promoteur	M^r BESTANI Benaouda	Professeur	Université de Mostaganem

ANNÉE UNIVERSITAIRE : 2011 /2012

الملخص

النفائات السائلة الصناعية من أنشطة النسيج في مديغة أو الطباعة غالبا ما تقدم شحنة كبيرة من التلوث الصبغة القابلة للتحلل بسهولة. وجودهم ولو بكمية صغيرة في الماء واضح للغاية وغير مرغوب فيها. إزالة التلوث بواسطة التقنيات التقليدية غير فعالة في بعض الحالات. وأجري تقييم لفعالية إزالة النفائات السائلة في النسيج الأصباغ في هذه الدراسة، فقد بذلت دراسات الامتزاز باستخدام المواد الطبيعية المتاحة على نطاق واسع لإزالة أصفرالسيبرانول و احمر النيلوسان واخضر الملاكيث من محلول مائي، مع وجود هدف واضح هو مقارنة طرق لمعاملات الانحدار الخطية وغير الخطية من التباين اتبع الأيسوثرم وطبيعة الامتصاص .

خمسة نماذج خطية للأيسوثرم بينهم اربعة نماذج لانجمير خطية ونموذج ايسوثرم فروندليتس، قدرت معاملات الخاصة

بهم

ومع ذلك، والاستخدام الفعال للامتزاز يتطلب فهم أعمق لخصائص الامتصاص. وتتنحصر معظم دراسة خصائص الامتصاص لتحليل نماذج الأيسوثرم واحد أو اثنين من المعلمات (ونادرا ما متساوي نماذج متعددة بارامترية خطية)، وذلك بسبب صعوبات في حل هذه النماذج بارامترية

وأظهرت ان نموذج امتزاز الأيسوثرم يقع على التفاعل بين الصبغة وموقع أحادي الطبقة السطحية

حين عرضنا على التوالي نماذج من لانجمير وفروندليتس لشرح الامتزاز . وجدنا ان نموذج لانجمير هو أكثر في تمثيلا، هذا يدل على أن الامتصاص قد تبدو في موقع من أحادي الطبقة .

على الرغم من أن كل النماذج التي درسنا أظهرت ان البيانات التجريبية، ولكن تم التأكيد على ان نموذج الأيسوثرم

للانجمير 1 و 2 أفضل ممثلا للامتزاز. و علاوة على ذلك، لوحظ أن لتحديد معالم النماذج الخطية الغير متساوي يكون أفضل ممثل خصائص الامتصاص .

لتحليل الخطأ، استخدمت ثلاث طرق لتحديد أفضل النماذج الأيسوثرم

نسبة الخطأ المربع المتبقية و تشيسكاير، نسبة الخطأ المربع المتبقية و تشيسكاير، ونسبة الخطأ المتوسط لتقييم البيانات

الكلمات المفتاحية : إزالة اللون؛ النماذج؛ الامتصاص؛ لانجمير؛ فروندليتس

-Les effluents industriels issus des activités de textile de la tannerie ou de l'imprimerie présentent souvent une charge polluante colorante importante difficilement biodégradable leur présence en petite quantité dans l'eau est très visible et indésirable. Leur décontamination par les techniques conventionnelles s'avère dans certains cas inefficace.

L'évaluation de l'efficacité de l'élimination des colorants présents dans les effluents des textiles a été entreprise.

- Dans la présente étude, Des études d'adsorption ont été réalisées en utilisant des matières naturelles largement disponibles pour le retrait du Jaune de Supranol & Rouge de Nylosane et le Vert de Malachite à partir de la solution aqueuse, avec un objectif explicite qui est la comparaison des méthodes de régression linéaires et non linéaires pour suivre la variation des coefficients d'isotherme et la nature d'adsorption. Cinq modèles d'isotherme linéaires y comprenant les quatre modèles de Langmuir linéaires et le modèle isotherme de Freundlich ont été discutés, et leurs coefficients ont été estimés.

-Cependant, une utilisation efficace de l'adsorbant nécessite une compréhension plus profonde des caractéristiques de l'adsorption. La plupart des études des caractéristiques d'adsorption sont confinées à l'analyse des modèles isotherme à un ou deux paramètres (et, rarement les modèles isothermes linéarisés multi-paramétriques), en raison des difficultés à résoudre ces modèles paramétriques. La modélisation des Isothermes d'adsorption ont montré que l'interaction entre le colorant et la surface est localisée en site monocouche

- Les modèles de Langmuir et de Freundlich sont respectivement introduits pour expliquer l'adsorption. Le modèle de Langmuir est plus représentatif. Ceci indique que la sorption pourrait ressembler au site d'une monocouche.

- Bien que tous les modèles étudiés isotherme montrés assez bonne forme à l'expérimentation données, mais le modèle d'isotherme de Langmuir type 1 et 2 ont été trouvés pour être les meilleurs représentants de JS RN VM adsorbant. Par ailleurs, il a été observé que pour déterminer les paramètres isothermes des modèles d'isothermes non linéaires ont été trouvés pour être les meilleurs représentants de caractéristiques d'adsorption, que leurs contre-parties linéarisés.

Afin de déterminer le meilleur ajustement des modèles d'isotherme, trois méthodes d'analyse d'erreur de l'erreur quadratique moyenne résiduelle et de chi carré (χ^2) et Moyenne API pourcentage d'erreur ont été utilisés pour évaluer les données.

MOTS CLES : DECOLARATION ; REGRESSION ; ADSORBANTS ; LANGMUIR ; FREUNDLICH

ABSTRACT

Many industries, such as, textile, tanning, printing, food, cosmetics, etc...; use organic compounds as dyes to color their final products. The presence of these species in water, even at very low quantities, is highly visible and undesirable.

The decontamination by the conventional techniques proves in certain cases ineffective.

The evaluation of the effectiveness of elimination of the dyes present in the effluents of textile was undertaken.

In the present study, adsorption batch studies were carried out using a naturally raw material for removal of Supranol Yellow & Nylosane Red and Malachite Green from the aqueous solution, with an explicit objective of comparison of linear and non-linear regression methods for finding variation in isotherm coefficients and fitness of the models. Five linearized isotherm models including four linearized Langmuir models and Freundlich isotherm model were discussed, and their coefficients were estimated.

However, an effective usage of the adsorbent necessitates a deeper understanding of the adsorption characteristics. Most of the study of adsorption characteristics are confined to analysis of mono- and bi- parametric isotherm models (and rarely, linearized multi-parametric isotherm models), due to the difficulties in solving higher parametric models, as well as fairly satisfying results by lower-parametric models.

Models of Langmuir and Freundlich are respectively introduced to explain the adsorption. The Langmuir model is more representative. This indicates that the sorption might look to the filling of a monolayer of solute molecules on the surface of sorbents.

- Adsorption isotherms modeling showed that the interaction of dye with the surface is localized monolayer adsorption.

- In order to determine the best-fit isotherm models, three error analysis methods of Residual Mean Square Error and Chi-square statistic (χ^2) and Average percentage error API were used to evaluate the data.

Although all the studied isotherm models showed fairly good fit to the experimental data, but Langmuir-1 and 2 isotherms was found to be the best representative for JS RN VM adsorbent. Besides, it was observed that to determine the isotherm parameters non-linear isotherm models were found to be the best representative of adsorption characteristics, than their linearized counter-parts.

KEY WORDS:

DECOLORATION ; REGRESSION ; ADSORBANTS ; LANGMUIR ; FREUNDLICH

Remerciements

Ce travail a été effectué sous la direction de Monsieur Bestani Benaouda, Professeur à l'université de Mostaganem, que je remercie très particulièrement pour le suivi ainsi que pour ses conseils.

Mes sincères remerciements sont adressés à tous mes enseignants de la post graduation : Professeur Bestani Benaouda, Professeur Benderdouche.N, Professeur Belouatek.A ,Professeur Djelloul, Professeur Addou.A, Professeur Kaid Omar, Professeur Benahmed, Professeur Miloudi .

Je remercie aussi le staff du service de post graduation a leur tête Dr Djelti pour les facilites qu'on eux durant nos études ainsi que le Chef de département Génie des procédés.

Je tiens à remercier tous les membres du jury pour l'attention qu'ils ont bien voulu porter à ce travail sans oubliant le Professeur Belhakem.M.

Je suis également reconnaissant à mes nombreux amis et collègues pour l'aide morale qu'ils m'ont accordé.

A tous ceux qui ont pu m'aider au cours de ces trois années de post graduation reçoivent le témoignage de mon affection.

Enfin, merci à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail et que j'ai involontairement oublié de citer le nom.

Dédicace

Je dédie ce travail à mes parents

Ma famille

Mes amis

Mes collègues

A tous ceux qui m'on appris et veillé sur mon orientation

A tous ce qui contribue au développement durable

et préserve notre univers

SOMMAIRE

INTRODUCTION	page1
<u>PARTIE THEORIQUE</u>	
I. LES COLORANTS SYNTHETIQUES	page4
I.1 Généralités	page4
I.1.1 Vert de Malachite	page5
I.1.1.a Propriétés acido-basiques	page6
I.1.1.b Propriétés chimiques	page6
I.1.1.c Structures de Malachite Vertes et composés relatifs	page6
-Forme chromatique de Vert de Malachite	page6
I.1.2 Rouge de Nylosane C2R	page6
I.1.2.a Propriétés physico-chimiques	page8
I.1.3 Jaune de Supranol	page9
I.1.3.a Propriétés physico-chimiques du Jaune de Supranol	page9
I.2 Toxicité des colorants synthétiques	page10
I.2.1 Toxicité de Vert de Malachite	page10
-Effets sur des humains	page10
-Méthode d'activité mutagénique	page10
I.2.2 Toxicité des colorants azoïques (Rouge de Nylosane et Jaune de Supranol)	page11
I.2.2.1 Les dangers évidents	page12
I.2.2.1.a Eutrophisation	page12
I.2.2.1.b Sous-oxygénation	page12
I.2.2.1.c Couleur, turbidité, odeur	page12
I.2.2.2 Les dangers a long terme	page12
I.2.2.2.a La persistance	page12
I.2.2.2.b Bio-accumulation	page13
I.2.2.2.c Cancer	page13
I.2.2.2.d Sous produits de chloration (SPC)	page13
I.2.3 Actions curatives : traitements des colorants	page13
I.2.3.a Biologique	page14
I.2.3.b Physique	page14
I.2.3.c Chimique	page14

II. GENERALITES SUR LE PHENOMENE D'ADSORPTION	page15
II.1 Introduction	page15
II.2 Différents types d'adsorption	page16
II.2.1 Adsorption chimique	page16
II.2.1 Adsorption physique	page16
II.2.3 Utilisation industrielle de l'adsorption	page17
II.2.3.1 Application de l'adsorption en phase gazeuse	page17
II.2.3.2 Application de l'adsorption en phase liquide	page18
II.3 Les adsorbants	page18
II.3.1 Différents types d'adsorbants	page18
-Charbon actif	page18
-Zéolithes	page19
-Argiles activées (ou terres décolorantes)	page20
II.3.2 Qualités des adsorbants	page20
II.4 Les isothermes d'adsorption	page20
II.4.1 Classification des isothermes d'adsorption	page20
a) Classe L	page22
b) Classe S	page22
c) Classe H	page22
d) Classe C	page22
II.4.2 Modèles d'isothermes	page23
II.4.2.1 Modèles mono soluté a deux paramètres	page23
II.4.2.1.a Isotherme de Langmuir	page23
II.4.2.1.b Isotherme de Freundlich	page24
III. CALCULS D'ERREURS ET MODELES D'ISOTHERMES LINEAIRES ET NON LINEAIRES	page25
III.1 Nomenclature	page25
III.2 Représentation de différentes formes non linéaires et linéaires des isothermes de Langmuir et de Freundlich	page25
III.3 Chi-square&the residual errors RMSE et APE	page26
III.4 Conclusion	page27

IV PARTIE EXPERIMENTALE

PARTIE 1

IV.1 EXPERIMENTATION ET MODELISATION LINEAIRE	page29
IV.1.1 Adsorption du Vert de Malachite	page29
IV.1.1.1 Isotherme d'adsorption du Vert de Malachite par la Sciure du Bois traitée en H_3PO_4	page29
IV.1.1.1.1 Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir	page30
IV.1.1.1.2 Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich	page30
IV.1.1.2 Isotherme d'adsorption du Vert de Malachite par la Sciure du Bois traitée en KOH	page34
IV.1.1.2.1 Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir	page34
IV.1.1.2.2 Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich	page35
IV.1.1.3 Isotherme d'adsorption du Vert de Malachite par la Sciure du Bois traitée en $(NH_4)_2S_2O_8$	page38
IV.1.1.3.1 Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir	page38
IV.1.1.3.2 Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich	page39
IV.1.1.4 Isotherme d'adsorption du Vert de Malachite par le Charbon actif de Merck	page42
IV.1.1.4.1 Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir	page42
IV.1.1.4.2 Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich	page43
IV.1.2 Adsorption du Rouge de Nylosane	page46
IV.1.2.1 Isothermes d'adsorption du Rouge de Nylosane par les pépins de raisin activés chimiquement par le $CaCl_2$	page46
IV.1.2.1.1 Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir	page46
IV.1.2.1.2 Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich	page47
IV.1.2.2 Isothermes d'adsorption du Rouge de Nylosane par les pépins de raisin à l'Etat Naturel	page50
IV.1.2.2.1 Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir	page50
IV.1.2.2.2 Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich	page51
IV.1.2.3 Isothermes d'adsorption du Rouge de Nylosane par les pépins de raisin activés chimiquement par le H_3PO_4	page54
IV.1.2.3.1 Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir	page54
IV.1.2.3.2 Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich	page55
IV.1.2.4 Isothermes d'adsorption du Rouge de Nylosane par les pépins de raisin activés chimiquement par le KOH	page58

Sommaire

IV.1.2.4.1	Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir	page58
IV.1.2.4.2	Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich	page59
IV.1.2.5	Isothermes d'adsorption du Rouge de Nylosane par les pépins de raisin Activation mixte	page62
IV.1.2.5.1	Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir	page62
IV.1.2.5.2	Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich	page63
IV.1.2.6	Isothermes d'adsorption du Rouge de Nylosane par les pépins de raisin Activation physique	page66
IV.1.2.6.1	Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir	page66
IV.1.2.6.2	Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich	page67
IV.1.2.7	Isothermes d'adsorption du Rouge de Nylosane par les pépins de raisin Charbon actif Aldrich	page70
IV.1.2.7.1	Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir	page70
IV.1.2.7.2	Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich	page71
IV.1.3	Adsorption du Jaune de Supranol	page74
IV.1.3.1	Isothermes d'adsorption du Jaune de Supranol par les pépins de raisin activés chimiquement par le CaCl_2	page74
IV.1.3.1.1	Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir	page74
IV.1.3.1.2	Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich	page75
IV.1.3.2	Isothermes d'adsorption du Jaune de Supranol par les pépins de raisin à l'état naturel	page79
IV.1.3.2.1	Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir	page79
IV.1.3.2.2	Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich	page80
IV.1.3.3	Isothermes d'adsorption du Jaune de Supranol par les pépins de raisin activés chimiquement par le H_3PO_4	page83
IV.1.3.3.1	Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir	page83
IV.1.3.3.2	Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich	page84
IV.1.3.4	Isothermes d'adsorption du Jaune de Supranol par les pépins de raisin activés chimiquement par le KOH	page87
IV.1.3.4.1	Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir	page87
IV.1.3.4.2	Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich	page88
IV.1.3.5	Isothermes d'adsorption du Jaune de Supranol par les pépins de raisin activés physiquement	page91
IV.1.3.5.1	Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir	page91

Sommaire

IV.1.3.5.2 Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich	page92
IV.1.3.6 Isothermes d'adsorption du Jaune de Supranol par les pépins de raisin activés par le charbon actif Aldrich	page95
IV.1.3.6.1 Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir	page95
IV.1.3.6.2 Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich	page96
PARTIE 2	
IV.2 EXPERIMENTATION ET MODELISATION NON LINEAIRE	page99
IV.2.1 Adsorption du Vert de Malachite	page99
IV.2.1.1 Isotherme d'adsorption du Vert de Malachite par la Sciure du Bois traitée en H_3PO_4	page99
IV.2.1.1.1 Modèle d'isotherme non linéaire de Langmuir	page99
IV.2.1.1.2 Modèle d'isotherme non linéaire de Freundlich	page99
IV.2.1.2 Isotherme d'adsorption du Vert de Malachite par la Sciure du Bois traitée en KOH	page101
IV.2.1.2.1 Modèle d'isotherme non linéaire de Langmuir	page101
IV.2.1.2.2 Modèle d'isotherme non linéaire de Freundlich	page101
IV.2.1.3 Isotherme d'adsorption du Vert de Malachite par la Sciure du Bois traitée en $(NH_4)_2S_2O_8$	page103
IV.2.1.3.1 Modèle d'isotherme non linéaire de Langmuir	page103
IV.2.1.3.2 Modèle d'isotherme non linéaire de Freundlich	page103
IV.2.1.4 Isotherme d'adsorption du Vert de Malachite activés par le Charbon actif de Merck	page105
IV.2.1.4.1 Modèle d'isotherme non linéaire de Langmuir	page105
IV.2.1.4.2 Modèle d'isotherme non linéaire de Freundlich	page105
IV.2.2 Adsorption du Rouge de Nylosane	page107
IV.2.2.1 Isothermes d'adsorption du Rouge de Nylosane par les pépins de raisin activés chimiquement par le $CaCl_2$	page107
IV.2.2.1.1 Modèle d'isotherme non linéaire de Langmuir	page107
IV.2.2.1.2 Modèle d'isotherme non linéaire de Freundlich	page107
IV.2.2.2 Isothermes d'adsorption du Rouge de Nylosane par les pépins de raisin à l'Etat Naturel	page109
IV.2.2.2.1 Modèle d'isotherme non linéaire de Langmuir	page109
IV.2.2.2.2 Modèle d'isotherme non linéaire de Freundlich	page109

Sommaire

IV.2.2.3 Isothermes d'adsorption du Rouge de Nylosane par les pépins de raisin activés chimiquement par le H_3PO_4	page111
IV.2.2.3.1 Modèle d'isotherme non linéaire de Langmuir	page111
IV.2.2.3.2 Modèle d'isotherme non linéaire de Freundlich	page111
IV.2.2.4 Isothermes d'adsorption du Rouge de Nylosane par les pépins de raisin activés chimiquement par le KOH	page113
IV.2.2.4.1 Modèle d'isotherme non linéaire de Langmuir	page113
IV.2.2.4.2 Modèle d'isotherme non linéaire de Freundlich	page113
IV.2.2.5 Isothermes d'adsorption du Rouge de Nylosane par les pépins de raisin Activation mixte	page115
IV.2.2.5.1 Modèle d'isotherme non linéaire de Langmuir	page115
IV.2.2.5.2 Modèle d'isotherme non linéaire de Freundlich	page115
IV.2.2.6 Isothermes d'adsorption du Rouge de Nylosane par les pépins de raisin Activation physique	page117
IV.2.2.6.1 Modèle d'isotherme non linéaire de Langmuir	page117
IV.2.2.6.2 Modèle d'isotherme non linéaire de Freundlich	page117
IV.2.2.7 Isothermes d'adsorption du Rouge de Nylosane par les pépins de raisin activés par le Charbon actif Aldrich	page119
IV.2.2.7.1 Modèle d'isotherme non linéaire de Langmuir	page119
IV.2.2.7.2 Modèle d'isotherme non linéaire de Freundlich	page119
IV.2.3 Adsorption du Jaune de Supranol	page121
IV.2.3.1 Isothermes d'adsorption du Jaune de Supranol par les pépins de raisin activés chimiquement par le $CaCl_2$	page121
IV.2.3.1.1 Modèle d'isotherme non linéaire de Langmuir	page121
IV.2.3.1.2 Modèle d'isotherme non linéaire de Freundlich	page121
IV.2.3.2 Isothermes d'adsorption du Jaune de Supranol par les pépins de raisin à l'état naturel	page123
IV.2.3.2.1 Modèle d'isotherme non linéaire de Langmuir	page123
IV.2.3.2.2 Modèle d'isotherme non linéaire de Freundlich	page123
IV.2.3.3 Isothermes d'adsorption du Jaune de Supranol par les pépins de raisin activés chimiquement par le H_3PO_4	page125
IV.2.3.3.1 Modèle d'isotherme non linéaire de Langmuir	page125
IV.2.3.3.2 Modèle d'isotherme non linéaire de Freundlich	page125

Sommaire

IV.2.3.4 Isothermes d'adsorption du Jaune de Supranol par les pépins de raisin activés chimiquement par le KOH	page127
IV.2.3.4.1 Modèle d'isotherme non linéaire de Langmuir	page127
IV.2.3.4.2 Modèle d'isotherme non linéaire de Freundlich	page127
IV.2.3.5 Isothermes d'adsorption du Jaune de Supranol par les pépins de raisin activés physiquement	page129
IV.2.3.5.1 Modèle d'isotherme non linéaire de Langmuir	page129
IV.2.3.5.2 Modèle d'isotherme non linéaire de Freundlich	page129
IV.2.3.6 Isothermes d'adsorption du Jaune de Supranol par les pépins de raisin activés par le charbon actif Aldrich	page131
IV.2.3.6.1 Modèle d'isotherme non linéaire de Langmuir	page131
IV.2.3.6.2 Modèle d'isotherme non linéaire de Freundlich	page131
PARTIE 3	
IV.3 COMPARAISON DES MODELES LINEAIRES ET NON LINEAIRES	page133
IV.3.1 Adsorption du Vert de Malachite	page133
IV.3.1.1 Comparaison des modèles d'isothermes linéaires de Langmuir les plus favoris pour l'adsorption du Vert de Malachite	page133
IV.3.1.2 Comparaison des modèles d'isothermes non linéaires de Langmuir pour l'adsorption du Vert de Malachite	page133
IV.3.1.3 Comparaison des modèles d'isothermes linéaires de Freundlich les plus favoris pour l'adsorption du Vert de Malachite	page134
IV.3.1.4 Comparaison des modèles d'isothermes non linéaires de Freundlich pour l'adsorption du Vert de Malachite	page134
IV.3.1.5 Conclusion	page136
IV.3.2 Adsorption du Rouge de Nylosane	page142
IV.3.2.1 Comparaison des modèles d'isothermes linéaires de Langmuir les plus favoris pour l'adsorption du Rouge de Nylosane	page142
IV.3.2.2 Comparaison des modèles d'isothermes non linéaires de Langmuir pour l'adsorption du Rouge de Nylosane	page142
IV.3.2.3 Comparaison des modèles d'isothermes linéaires de Freundlich les plus favoris pour l'adsorption du Rouge de Nylosane	page142
IV.3.2.4 Comparaison des modèles d'isothermes non linéaires de Freundlich pour l'adsorption du Rouge de Nylosane	page143
IV.3.2.5 Conclusion	page144

Sommaire

IV.3.3 Adsorption du Jaune de Supranol	page154
IV.3.3.1 Comparaison des modèles d'isothermes linéaires de Langmuir les plus favoris pour l'adsorption du Jaune de Supranol	page154
IV.3.3.2 Comparaison des modèles d'isothermes non linéaires de Langmuir pour l'adsorption du Jaune de Supranol	page154
IV.3.3.3 Comparaison des modèles d'isothermes linéaires de Freundlich les plus favoris pour l'adsorption du Jaune de Supranol	page154
IV.3.3.4 Comparaison des modèles d'isothermes non linéaires de Freundlich pour l'adsorption du Jaune de Supranol	page155
IV.3.3.5 Conclusion	page156
IV.3.4 Comparaison des modèles des isothermes d'adsorption des trois colorants	page165
CONCLUSION GENERALE	page166

LISTE DES TABLEAUX

PARTIE THEORIQUE

I. LES COLORANTS SYNTHETIQUES

page4

Tableau I.1 Principaux groupements chromophores et auxochromes, classés par intensité croissante

page4

Tableau I.2 Les différents formes du Vert de Malachite

page6

Tableau I.3 Quelques propriétés du Vert de Malachite

page6

Tableau I.4 Propriétés physiques du Rouge de Nylosane

page8

Tableau I.5 Quelques propriétés physico-chimiques du Rouge de Nylosane

page8

Tableau I.6 Quelques propriétés physico-chimiques du Jaune de Supranol

page9

II. GENERALITES SUR LE PHENOMENE D'ADSORPTION

page15

Tableau II.1 Interprétation du facteur de séparation

page24

III. CALCULS D'ERREURS ET MODELES D'ISOTHERMES LINEAIRES ET NON LINEAIRES

page25

Tableau III.1 Les formes non linéaires et linéaires des isothermes de Langmuir et de Freundlich

page25

IV PARTIE EXPERIMENTALE

PARTIE 1

IV.1 EXPERIMENTATION ET MODELISATION LINEAIRE

page29

IV.1.1 Adsorption du Vert de Malachite

page29

IV.1.1.1 Isotherme d'adsorption du Vert de Malachite par la Sciure du Bois traitée en H_3PO_4

page29

Tableau IV.1.1.1.1 Résultats des isothermes

page29

Tableau IV.1.1.1.2 Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir

page30

Tableau IV.1.1.1.3 Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich

page30

IV.1.1.2 Isotherme d'adsorption du Vert de Malachite par la Sciure du Bois traitée en KOH

page34

Tableau IV.1.1.2.1 Résultats des isothermes

page34

Tableau IV.1.1.2.2 Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir

page34

Tableau IV.1.1.2.3 Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich

page35

IV.1.1.3 Isotherme d'adsorption du Vert de Malachite par la Sciure du Bois traitée en $(NH_4)_2S_2O_8$

page38

Tableau IV.1.1.3.1 Résultats des isothermes

page38

Tableau IV.1.1.3.2 Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir

page38

LISTE DES TABLEAUX

Tableau IV.1.1.3.3 Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich	page39
IV.1.1.4 Isotherme d'adsorption du Vert de Malachite par le Charbon actif de Merck	page42
Tableau IV.1.1.4.1 Résultats des isothermes	page42
Tableau IV.1.1.4.2 Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir	page42
Tableau IV.1.1.4.3 Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich	page43
IV.1.2 Adsorption du Rouge de Nylosane	page46
IV.1.2.1 Isothermes d'adsorption du Rouge de Nylosane par les pépins de raisin activés chimiquement par le CaCl_2	page46
Tableau IV.1.2.1.1 Résultats des isothermes	page46
Tableau IV.1.2.1.2 Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir	page46
Tableau IV.1.2.1.3 Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich	page47
IV.1.2.2 Isothermes d'adsorption du Rouge de Nylosane par les pépins de raisin à l'Etat Naturel	page50
Tableau IV.1.2.2.1 Résultats des isothermes	page50
Tableau IV.1.2.2.2 Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir	page50
Tableau IV.1.2.2.3 Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich	page51
IV.1.2.3 Isothermes d'adsorption du Rouge de Nylosane par les pépins de raisin activés chimiquement par le H_3PO_4	page54
Tableau IV.1.2.3.1 Résultats des isothermes	page54
Tableau IV.1.2.3.2 Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir	page54
Tableau IV.1.2.3.3 Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich	page55
IV.1.2.4 Isothermes d'adsorption du Rouge de Nylosane par les pépins de raisin activés chimiquement par le KOH	page58
Tableau IV.1.2.4.1 Résultats des isothermes	page58
Tableau IV.1.2.4.2 Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir	page58
Tableau IV.1.2.4.3 Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich	page59
IV.1.2.5 Isothermes d'adsorption du Rouge de Nylosane par les pépins de raisin Activation mixte	page62
Tableau IV.1.2.5.1 Résultats des isothermes	page62
Tableau IV.1.2.5.2 Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir	page62
Tableau IV.1.2.5.3 Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich	page63
IV.1.2.6 Isothermes d'adsorption du Rouge de Nylosane par les pépins de raisin Activation physique	page66
Tableau IV.1.2.6.1 Résultats des isothermes	page66

LISTE DES TABLEAUX

Tableau IV.1.2.6.2 Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir	page66
Tableau IV.1.2.6.3 Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich	page67
IV.1.2.7 Isothermes d'adsorption du Rouge de Nylosane par les pépins de raisin Charbon actif Aldrich	page70
Tableau IV.1.2.7.1 Résultats des isothermes	page70
Tableau IV.1.2.7.2 Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir	page70
Tableau IV.1.2.7.3 Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich	page71
IV.1.3 Adsorption du Jaune de Supranol	page74
IV.1.3.1 Isothermes d'adsorption du Jaune de Supranol par les pépins de raisin activés chimiquement par le CaCl_2	page74
Tableau IV.1.3.1.1 Résultats des isothermes	page74
Tableau IV.1.3.1.2 Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir	page74
Tableau IV.1.3.1.3 Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich	page75
IV.1.3.2 Isothermes d'adsorption du Jaune de Supranol par les pépins de raisin à l'état naturel	page79
Tableau IV.1.3.2.1 Résultats des isothermes	page79
Tableau IV.1.3.2.2 Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir	page79
Tableau IV.1.3.2.3 Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich	page80
IV.1.3.3 Isothermes d'adsorption du Jaune de Supranol par les pépins de raisin activés chimiquement par le H_3PO_4	page83
Tableau IV.1.3.3.1 Résultats des isothermes	page83
Tableau IV.1.3.3.2 Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir	page83
Tableau IV.1.3.3.3 Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich	page84
IV.1.3.4 Isothermes d'adsorption du Jaune de Supranol par les pépins de raisin activés chimiquement par le KOH	page87
Tableau IV.1.3.4.1 Résultats des isothermes	page87
Tableau IV.1.3.4.2 Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir	page87
Tableau IV.1.3.4.3 Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich	page88
IV.1.3.5 Isothermes d'adsorption du Jaune de Supranol par les pépins de raisin activés physiquement	page91
Tableau IV.1.3.5.1 Résultats des isothermes	page91
Tableau IV.1.3.5.2 Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir	page91
Tableau IV.1.3.5.3 Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich	page92

IV.1.3.6 Isothermes d'adsorption du Jaune de Supranol par les pépins de raisin activés par le charbon actif Aldrich	page95
Tableau IV.1.3.6.1 Résultats des isothermes	page95
Tableau IV.1.3.6.2 Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir	page95
Tableau IV.1.3.6.3 Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich	page96
PARTIE 2	
IV.2 EXPERIMENTATION ET MODELISATION NON LINEAIRE	page99
IV.2.1 Adsorption du Vert de Malachite	page99
IV.2.1.1 Isotherme d'adsorption du Vert de Malachite par la Sciure du Bois traitée en H_3PO_4	
Tableau V.2.1.1.1 Modèle d'isotherme non linéaire de Langmuir	page99
Tableau V.2.1.1.2 Modèle d'isotherme non linéaire de Freundlich	page99
IV.2.1.2 Isotherme d'adsorption du Vert de Malachite par la S.B traitée en KOH	page101
Tableau V.2.1.2.1 Modèle d'isotherme non linéaire de Langmuir	page101
Tableau V.2.1.2.2 Modèle d'isotherme non linéaire de Freundlich	page101
IV.2.1.3 Isotherme d'adsorption du Vert de Malachite par la S.B traitée en $(NH_4)_2S_2O_8$	page103
Tableau V.2.1.3.1 Modèle d'isotherme non linéaire de Langmuir	page103
Tableau V.2.1.3.2 Modèle d'isotherme non linéaire de Freundlich	page103
IV.2.1.4 Isotherme d'adsorption du Vert de Malachite activés par le Charbon actif de Merck	page105
Tableau V.2.1.4.1 Modèle d'isotherme non linéaire de Langmuir	page105
Tableau V.2.1.4.2 Modèle d'isotherme non linéaire de Freundlich	page105
IV.2.2 Adsorption du Rouge de Nylosane	page107
IV.2.2.1 Isothermes d'adsorption du Rouge de Nylosane par les pépins de raisin activés chimiquement par le $CaCl_2$	page107
Tableau V.2.2.1.1 Modèle d'isotherme non linéaire de Langmuir	page107
Tableau V.2.2.1.2 Modèle d'isotherme non linéaire de Freundlich	page107
IV.2.2.2 Isothermes d'adsorption du Rouge de Nylosane par les pépins de raisin à l'Etat Naturel	page109
Tableau V.2.2.2.1 Modèle d'isotherme non linéaire de Langmuir	page109
Tableau V.2.2.2.2 Modèle d'isotherme non linéaire de Freundlich	page109
IV.2.2.3 Isothermes d'adsorption du Rouge de Nylosane par les pépins de raisin activés chimiquement par le H_3PO_4	page111
Tableau V.2.2.3.1 Modèle d'isotherme non linéaire de Langmuir	page111
Tableau V.2.2.3.2 Modèle d'isotherme non linéaire de Freundlich	page111

LISTE DES TABLEAUX

IV.2.2.4 Isothermes d'adsorption du Rouge de Nylosane par les pépins de raisin activés chimiquement par le KOH	page113
Tableau V.2.2.4.1 Modèle d'isotherme non linéaire de Langmuir	page113
Tableau V.2.2.4.2 Modèle d'isotherme non linéaire de Freundlich	page113
IV.2.2.5 Isothermes d'adsorption du Rouge de Nylosane par les pépins de raisin Activation mixte	page115
Tableau V.2.2.5.1 Modèle d'isotherme non linéaire de Langmuir	page115
Tableau V.2.2.5.2 Modèle d'isotherme non linéaire de Freundlich	page115
IV.2.2.6 Isothermes d'adsorption du Rouge de Nylosane par les pépins de raisin Activation physique	page117
Tableau V.2.2.6.1 Modèle d'isotherme non linéaire de Langmuir	page117
Tableau V.2.2.6.2 Modèle d'isotherme non linéaire de Freundlich	page117
IV.2.2.7 Isothermes d'adsorption du Rouge de Nylosane par les pépins de raisin activés par le Charbon actif Aldrich	page119
Tableau V.2.2.7.1 Modèle d'isotherme non linéaire de Langmuir	page119
Tableau V.2.2.7.2 Modèle d'isotherme non linéaire de Freundlich	page119
IV.2.3 Adsorption du Jaune de Supranol	page121
IV.2.3.1 Isothermes d'adsorption du Jaune de Supranol par les pépins de raisin activés chimiquement par le CaCl_2	page121
Tableau V.2.3.1.1 Modèle d'isotherme non linéaire de Langmuir	page121
Tableau V.2.3.1.2 Modèle d'isotherme non linéaire de Freundlich	page121
IV.2.3.2 Isothermes d'adsorption du Jaune de Supranol par les pépins de raisin à l'état naturel	page123
Tableau V.2.3.2.1 Modèle d'isotherme non linéaire de Langmuir	page123
Tableau V.2.3.2.2 Modèle d'isotherme non linéaire de Freundlich	page123
IV.2.3.3 Isothermes d'adsorption du Jaune de Supranol par les pépins de raisin activés chimiquement par le H_3PO_4	page125
Tableau V.2.3.3.1 Modèle d'isotherme non linéaire de Langmuir	page125
Tableau V.2.3.3.2 Modèle d'isotherme non linéaire de Freundlich	page125
IV.2.3.4 Isothermes d'adsorption du Jaune de Supranol par les pépins de raisin activés chimiquement par le KOH	page127
Tableau V.2.3.4.1 Modèle d'isotherme non linéaire de Langmuir	page127
Tableau V.2.3.4.2 Modèle d'isotherme non linéaire de Freundlich	page127

LISTE DES TABLEAUX

IV.2.3.5 Isothermes d'adsorption du Jaune de Supranol par les pépins de raisin activés physiquement	page129
Tableau V.2.3.5.1 Modèle d'isotherme non linéaire de Langmuir	page129
Tableau V.2.3.5.2 Modèle d'isotherme non linéaire de Freundlich	page129
IV.2.3.6 Isothermes d'adsorption du Jaune de Supranol par les pépins de raisin activés par le charbon actif Aldrich	page131
Tableau V.2.3.6.1 Modèle d'isotherme non linéaire de Langmuir	page131
Tableau V.2.3.6.2 Modèle d'isotherme non linéaire de Freundlich	page131
PARTIE 3	
IV.3 COMPARAISON DES MODELES LINEAIRES ET NON LINEAIRES	page133
IV.3.1 Adsorption du Vert de Malachite	page133
Tableau VI.3.1.1	
Synthèse des résultats des modèles d'isothermes linéaires et non linéaires de Langmuir	page137
Tableau VI.3.1.2	
Synthèse des résultats des modèles d'isothermes linéaires et non linéaires de Freundlich	page137
Tableau VI.3.1.3 Représentation des Résultats de q_c V M/ S B traitée en H_3PO_4	page138
Tableau VI.3.1.4 Représentation des Résultats de q_c V M/ S B traitée en KOH	page139
Tableau VI.3.1.5 Représentation des Résultats de q_c V M/ S B traitée en $(NH_4)_2S_2O_8$	page140
Tableau VI.3.1.6 Représentation des Résultats de q_c V M/ Charbon actif de Merck	page141
IV.3.2 Adsorption du Rouge de Nylosane	page142
Tableau VI.3.2.1	
Synthèse des résultats des modèles d'isothermes linéaires et non linéaires de Langmuir	page146
Tableau VI.3.2.2	
Synthèse des résultats des modèles d'isothermes linéaires et non linéaires de Freundlich	page146
Tableau VI.3.2.3 Représentation des Résultats de q_c RN/ P R traitée en $CaCl_2$	page147
Tableau VI.3.2.4 Représentation des Résultats de q_c RN/ P R à l'Etat Naturel	page148
Tableau VI.3.2.5 Représentation des Résultats de q_c RN/ P R traitée en H_3PO_4	page149
Tableau VI.3.2.6 Représentation des Résultats de q_c RN/ P R traitée en KOH	page150
Tableau VI.3.2.7 Représentation des Résultats de q_c RN/ P R Activation mixte	page151
Tableau VI.3.2.8 Représentation des Résultats de q_c RN/ P R Activation physique	page152
Tableau VI.3.2.9 Représentation des Résultats de q_c RN/ P R traitée C.A Aldrich	page153
IV.3.3 Adsorption du Jaune de Supranol	page154
Tableau VI.3.3.1	
Synthèse des résultats des modèles d'isothermes linéaires et non linéaires de Langmuir	page158

LISTE DES TABLEAUX

Tableau VI.3.3.2

Synthèse des résultats des modèles d'isothermes linéaires et non linéaires de Freundlich page158

Tableau VI.3.3.3 Représentation des Résultats de q_c JS/ P R traitée en CaCl_2 page159

Tableau VI.3.3.4 Représentation des Résultats de q_c JS/ P R à l'Etat Naturel page160

Tableau VI.3.3.5 Représentation des Résultats de q_c JS/ P R traitée en H_3PO_4 page161

Tableau VI.3.3.6 Représentation des Résultats de q_c JS/ P R traitée en KOH page162

Tableau VI.3.3.7 Représentation des Résultats de q_c JS/ P R Activation physique page163

Tableau VI.3.3.8 Représentation des Résultats de q_c JS/ P R traitée C.A Aldrich page164

LISTE DES FIGURES

PARTIE THEORIQUE

I. LES COLORANTS SYNTHETIQUES

Figure I .1 Structure du Vert de Malachite page5

Figure I .2 Structure moléculaire du Rouge de Nylosane page7

Figure I.4 Structure moléculaire du Rouge de Nylosane page17

II. GENERALITES SUR LE PHENOMENE D'ADSORPTION

Fig II.1 Domaines d'existence d'un soluté lors de l'adsorption sur un matériau microporeux page21

Fig II.2 Classification des isothermes d'adsorption selon Giles et al. page21

IV PARTIE EXPERIMENTALE

PARTIE 1

IV.1 EXPERIMENTATION ET MODELISATION LINEAIRE

IV.1.1 Adsorption du Vert de Malachite

IV.1.1.1 Isotherme d'adsorption du Vert de Malachite par la Sciure du Bois traitée en H_3PO_4

Fig IV.1.1.1.1 Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir-1 page31

Fig IV.1.1.1.2 Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich page31

Fig IV.1.1.1.3 Evolution de q_e & K_d page32

Fig IV.1.1.1.4 Modèle de Langmuir Type-I en 3D page33

Fig IV.1.1.1.5 Modèle de Freundlich en 3D page33

Fig IV.1.1.1.6 Le Facteur de Séparation page33

IV.1.1.2 Isotherme d'adsorption du Vert de Malachite par la Sciure du Bois traitée en KOH

Fig IV.1.1.2.1 Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir-1 page35

Fig IV.1.1.2.2 Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich page35

Fig IV.1.1.2.3 Evolution de q_e & K_d page36

Fig IV.1.1.2.4 Modèle de Langmuir Type-I en 3D page37

Fig IV.1.1.2.5 Modèle de Freundlich en 3D page37

Fig IV.1.1.2.6 Le Facteur de Séparation page37

IV.1.1.3 Isotherme d'adsorption du Vert de Malachite par la Sciure du Bois traitée en $(NH_4)_2S_2O_8$

Fig IV.1.1.3.1 Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir-1 page39

Fig IV.1.1.3.2 Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich page39

Fig IV.1.1.3.3 Evolution de q_e & K_d page40

Fig IV.1.1.3.4 Modèle de Langmuir Type-I en 3D page41

Fig IV.1.1.3.5 Modèle de Freundlich en 3D page41

LISTE DES FIGURES

Fig IV.1.1.3.6 Le Facteur de Séparation	page41
IV.1.1.4 Isotherme d'adsorption du Vert de Malachite par le Charbon actif de Merck	
Fig IV.1.1.4.1 Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir-1	page43
Fig IV.1.1.4.2 Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich	page43
Fig IV.1.1.4.3 Evolution de q_e & K_d	page44
Fig IV.1.1.4.4 Modèle de Langmuir Type-I en 3D	page45
Fig IV.1.1.4.5 Modèle de Freundlich en 3D	page45
Fig IV.1.1.4.6 Le Facteur de Séparation	page45
IV.1.2 Adsorption du Rouge de Nylosane	
IV.1.2.1 Isothermes d'adsorption du Rouge de Nylosane par les pépins de raisin activés chimiquement par le $CaCl_2$	
Fig IV.1.2.1.1 Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir-2	page47
Fig IV.1.2.1.2 Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich	page47
Fig IV.1.2.1.3 Evolution de q_e & K_d	page48
Fig IV.1.2.1.4 Modèle de Langmuir Type-I en 3D	page49
Fig IV.1.2.1.5 Modèle de Freundlich en 3D	page49
Fig IV.1.2.1.6 Le Facteur de Séparation	page49
IV.1.2.2 Isothermes d'adsorption du Rouge de Nylosane par les pépins de raisin à l'Etat Naturel	
Fig IV.1.2.2.1 Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir-1	page51
Fig IV.1.2.2.2 Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich	page51
Fig IV.1.2.2.3 Evolution de q_e & K_d	page52
Fig IV.1.2.2.4 Modèle de Langmuir Type-I en 3D	page53
Fig IV.1.2.2.5 Modèle de Freundlich en 3D	page53
Fig IV.1.2.2.6 Le Facteur de Séparation	page53
IV.1.2.3 Isothermes d'adsorption du Rouge de Nylosane par les pépins de raisin activés chimiquement par le H_3PO_4	
Fig IV.1.2.3.1 Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir-1	page55
Fig IV.1.2.3.2 Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich	page55
Fig IV.1.2.3.3 Evolution de q_e & K_d	page56
Fig IV.1.2.3.4 Modèle de Langmuir Type-I en 3D	page57
Fig IV.1.2.3.5 Modèle de Freundlich en 3D	page57
Fig IV.1.2.3.6 Le Facteur de Séparation	page57
IV.1.2.4 Isothermes d'adsorption du Rouge de Nylosane par les pépins de raisin activés chimiquement par le KOH	

LISTE DES FIGURES

Fig IV.1.2.4.1 Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir-2	page59
Fig IV.1.2.4.2 Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich	page59
Fig IV.1.2.4.3 Evolution de q_e & K_d	page60
Fig IV.1.2.4.4 Modèle de Langmuir Type-I en 3D	page61
Fig IV.1.2.4.5 Modèle de Freundlich en 3D	page61
Fig IV.1.2.4.6 Le Facteur de Séparation	page61
IV.1.2.5 Isothermes d'adsorption du Rouge de Nylosane par les pépins de raisin Activation mixte	
Fig IV.1.2.5.1 Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir-1	page63
Fig IV.1.2.5.2 Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich	page63
Fig IV.1.2.5.3 Evolution de q_e & K_d	page64
Fig IV.1.2.5.4 Modèle de Langmuir Type-I en 3D	page65
Fig IV.1.2.5.5 Modèle de Freundlich en 3D	page65
Fig IV.1.2.5.6 Le Facteur de Séparation	page65
IV.1.2.6 Isothermes d'adsorption du Rouge de Nylosane par les pépins de raisin Activation physique	
Fig IV.1.2.6.1 Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir-2	page67
Fig IV.1.2.6.2 Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich	page67
Fig IV.1.2.6.3 Evolution de q_e & K_d	page68
Fig IV.1.2.6.4 Modèle de Langmuir Type-I en 3D	page69
Fig IV.1.2.6.5 Modèle de Freundlich en 3D	page69
Fig IV.1.2.6.6 Le Facteur de Séparation	page69
IV.1.2.7 Isothermes d'adsorption du Rouge de Nylosane par les pépins de raisin Charbon actif Aldrich	
Fig IV.1.2.7.1 Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir-1	page71
Fig IV.1.2.7.2 Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich	page71
Fig IV.1.2.7.3 Evolution de q_e & K_d	page72
Fig IV.1.2.7.4 Modèle de Langmuir Type-I en 3D	page73
Fig IV.1.2.7.5 Modèle de Freundlich en 3D	page73
Fig IV.1.2.7.6 Le Facteur de Séparation	page73
IV.1.3 Adsorption du Jaune de Supranol	
IV.1.3.1 Isothermes d'adsorption du Jaune de Supranol par les pépins de raisin activés chimiquement par le $CaCl_2$	
Fig IV.1.3.1.1 Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir-1	page75

LISTE DES FIGURES

Fig IV.1.3.1.2 Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich	page75
Fig IV.1.3.1.3 Evolution de q_e & K_d	page77
Fig IV.1.3.1.4 Modèle de Langmuir Type-I en 3D	page78
Fig IV.1.3.1.5 Modèle de Freundlich en 3D	page78
Fig IV.1.3.1.6 Le Facteur de Séparation	page78
IV.1.3.2 Isothermes d'adsorption du Jaune de Supranol par les pépins de raisin à l'état naturel	
Fig IV.1.3.2.1 Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir-1	page80
Fig IV.1.3.2.2 Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich	page80
Fig IV.1.3.2.3 Evolution de q_e & K_d	page81
Fig IV.1.3.2.4 Modèle de Langmuir Type-I en 3D	page82
Fig IV.1.3.2.5 Modèle de Freundlich en 3D	page82
Fig IV.1.3.2.6 Le Facteur de Séparation	page82
IV.1.3.3 Isothermes d'adsorption du Jaune de Supranol par les pépins de raisin activés chimiquement par le H_3PO_4	
Fig IV.1.3.3.1 Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir-1	page84
Fig IV.1.3.3.2 Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich	page84
Fig IV.1.3.3.3 Evolution de q_e & K_d	page85
Fig IV.1.3.3.4 Modèle de Langmuir Type-I en 3D	page86
Fig IV.1.3.3.5 Modèle de Freundlich en 3D	page86
Fig IV.1.3.3.6 Le Facteur de Séparation	page86
IV.1.3.4 Isothermes d'adsorption du Jaune de Supranol par les pépins de raisin activés chimiquement par le KOH	
Fig IV.1.3.4.1 Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir-1	page88
Fig IV.1.3.4.2 Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich	page88
Fig IV.1.3.4.3 Evolution de q_e & K_d	page89
Fig IV.1.3.4.4 Modèle de Langmuir Type-I en 3D	page90
Fig IV.1.3.4.5 Modèle de Freundlich en 3D	page90
Fig IV.1.3.4.6 Le Facteur de Séparation	page90
IV.1.3.5 Isothermes d'adsorption du Jaune de Supranol par les pépins de raisin activés physiquement	
Fig IV.1.3.5.1 Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir-1	page92
Fig IV.1.3.5.2 Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich	page92
Fig IV.1.3.5.3 Evolution de q_e & K_d	page93
Fig IV.1.3.5.4 Modèle de Langmuir Type-I en 3D	page94

LISTE DES FIGURES

Fig IV.1.3.5.5 Modèle de Freundlich en 3D	page94
Fig IV.1.3.5.6 Le Facteur de Séparation	page94
IV.1.3.6 Isothermes d'adsorption du Jaune de Supranol par les pépins de raisin activés par le charbon actif Aldrich	
Fig IV.1.3.6.1 Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir-1	page96
Fig IV.1.3.6.2 Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich	page96
Fig IV.1.3.6.3 Evolution de q_e & K_d	page97
Fig IV.1.3.6.4 Modèle de Langmuir Type-I en 3D	page98
Fig IV.1.3.6.5 Modèle de Freundlich en 3D	page98
Fig IV.1.3.6.6 Le Facteur de Séparation	page98

PARTIE 2

IV.2 EXPERIMENTATION ET MODELISATION NON LINEAIRE

IV.2.1 Adsorption du Vert de Malachite

IV.2.1.1 Isotherme d'adsorption du Vert de Malachite par la Sciure du Bois traitée en H_3PO_4	
Fig V.2.1.1.1 Modèle d'isotherme Non Linéaire de Langmuir	page100
Fig V.2.1.1.2 Modèle d'isotherme Non Linéaire de Freundlich	page100
Fig V.2.1.1.3 Facteur de Séparation	page100
IV.2.1.2 Isotherme d'adsorption du Vert de Malachite par la Sciure du Bois traitée en KOH	
Fig V.2.1.2.1 Modèle d'isotherme Non Linéaire de Langmuir	page102
Fig V.2.1.2.2 Modèle d'isotherme Non Linéaire de Freundlich	page102
Fig V.2.1.2.3 Facteur de Séparation	page102
IV.2.1.3 Isotherme d'adsorption du Vert de Malachite par la Sciure du Bois traitée en $(NH_4)_2S_2O_8$	
Fig V.2.1.3.1 Modèle d'isotherme Non Linéaire de Langmuir	page104
Fig V.2.1.3.2 Modèle d'isotherme Non Linéaire de Freundlich	page104
Fig V.2.1.3.3 Facteur de Séparation	page104
IV.2.1.4 Isotherme d'adsorption du Vert de Malachite activés par le Charbon actif de Merck	
Fig V.2.1.4.1 Modèle d'isotherme Non Linéaire de Langmuir	page106
Fig V.2.1.4.2 Modèle d'isotherme Non Linéaire de Freundlich	page106
Fig V.2.1.4.3 Facteur de Séparation	page106

IV.2.2 Adsorption du Rouge de Nylosane

IV.2.2.1 Isothermes d'adsorption du Rouge de Nylosane par les pépins de raisin activés chimiquement par le $CaCl_2$	
Fig V.2.2.1.1 Modèle d'isotherme Non Linéaire de Langmuir	page108
Fig V.2.2.1.2 Modèle d'isotherme Non Linéaire de Freundlich	page108

LISTE DES FIGURES

Fig V.2.2.1.3 Facteur de Séparation	page108
IV.2.2.2 Isothermes d'adsorption du Rouge de Nylosane par les pépins de raisin à l'Etat Naturel	
Fig V.2.2.2.1 Modèle d'isotherme Non Linéaire de Langmuir	page110
Fig V.2.2.2.2 Modèle d'isotherme Non Linéaire de Freundlich	page110
Fig V.2.2.2.3 Facteur de Séparation	page110
IV.2.2.3 Isothermes d'adsorption du Rouge de Nylosane par les pépins de raisin activés chimiquement par le H_3PO_4	
Fig V.2.2.3.1 Modèle d'isotherme Non Linéaire de Langmuir	page112
Fig V.2.2.3.2 Modèle d'isotherme Non Linéaire de Freundlich	page112
Fig V.2.2.3.3 Facteur de Séparation	page112
IV.2.2.4 Isothermes d'adsorption du Rouge de Nylosane par les pépins de raisin activés chimiquement par le KOH	
Fig V.2.2.4.1 Modèle d'isotherme Non Linéaire de Langmuir	page114
Fig V.2.2.4.2 Modèle d'isotherme Non Linéaire de Freundlich	page114
Fig V.2.2.4.3 Facteur de Séparation	page114
IV.2.2.5 Isothermes d'adsorption du Rouge de Nylosane par les pépins de raisin Activation mixte	
Fig V.2.2.5.1 Modèle d'isotherme Non Linéaire de Langmuir	page116
Fig V.2.2.5.2 Modèle d'isotherme Non Linéaire de Freundlich	page116
Fig V.2.2.5.3 Facteur de Séparation	page116
IV.2.2.6 Isothermes d'adsorption du Rouge de Nylosane par les pépins de raisin Activation physique	
Fig V.2.2.6.1 Modèle d'isotherme Non Linéaire de Langmuir	page118
Fig V.2.2.6.2 Modèle d'isotherme Non Linéaire de Freundlich	page118
Fig V.2.2.6.3 Facteur de Séparation	page118
IV.2.2.7 Isothermes d'adsorption du Rouge de Nylosane par les pépins de raisin activés par le Charbon actif Aldrich	
Fig V.2.2.7.1 Modèle d'isotherme Non Linéaire de Langmuir	page120
Fig V.2.2.7.2 Modèle d'isotherme Non Linéaire de Freundlich	page120
Fig V.2.2.7.3 Facteur de Séparation	page120
IV.2.3 Adsorption du Jaune de Supranol	
IV.2.3.1 Isothermes d'adsorption du Jaune de Supranol par les pépins de raisin activés chimiquement par le $CaCl_2$	
Fig V.2.3.1.1 Modèle d'isotherme Non Linéaire de Langmuir	page122

LISTE DES FIGURES

Fig V.2.3.1.2 Modèle d'isotherme Non Linéaire de Freundlich	page122
Fig V.2.3.1.3 Facteur de Séparation	page122
IV.2.3.2 Isothermes d'adsorption du Jaune de Supranol par les pépins de raisin à l'état naturel	
Fig V.2.3.2.1 Modèle d'isotherme Non Linéaire de Langmuir	page124
Fig V.2.3.2.2 Modèle d'isotherme Non Linéaire de Freundlich	page124
Fig V.2.3.2.3 Facteur de Séparation	page124
IV.2.3.3 Isothermes d'adsorption du Jaune de Supranol par les pépins de raisin activés chimiquement par le H_3PO_4	
Fig V.2.3.3.1 Modèle d'isotherme Non Linéaire de Langmuir	page126
Fig V.2.3.3.2 Modèle d'isotherme Non Linéaire de Freundlich	page126
Fig V.2.3.3.3 Facteur de Séparation	page126
IV.2.3.4 Isothermes d'adsorption du Jaune de Supranol par les pépins de raisin activés chimiquement par le KOH	
Fig V.2.3.4.1 Modèle d'isotherme Non Linéaire de Langmuir	page128
Fig V.2.3.4.2 Modèle d'isotherme Non Linéaire de Freundlich	page128
Fig V.2.3.4.3 Facteur de Séparation	page128
IV.2.3.5 Isothermes d'adsorption du Jaune de Supranol par les pépins de raisin activés physiquement	
Fig V.2.3.5.1 Modèle d'isotherme Non Linéaire de Langmuir	page130
Fig V.2.3.5.2 Modèle d'isotherme Non Linéaire de Freundlich	page130
Fig V.2.3.5.3 Facteur de Séparation	page130
IV.2.3.6 Isothermes d'adsorption du Jaune de Supranol par les pépins de raisin activés par le charbon actif Aldrich	
Fig V.2.3.6.1 Modèle d'isotherme Non Linéaire de Langmuir	page132
Fig V.2.3.6.2 Modèle d'isotherme Non Linéaire de Freundlich	page132
Fig V.2.3.6.3 Facteur de Séparation	page132

PARTIE 3

IV.3 COMPARAISON DES MODELES LINEAIRES ET NON LINEAIRES

IV.3.1 Adsorption du Vert de Malachite

Fig VI.3.1.1 Représentation des isothermes du V/M par S.B traitée en H_3PO_4	page138
Fig VI.3.1.2 Représentation des isothermes du V/M par S.B traitée en KOH	page139
Fig VI.3.1.3 Représentation des isothermes du V/M par S.B traitée en $(NH_4)_2S_2O_8$	page140
Fig VI.3.1.4 Représentation des isothermes du V/M par actif de Merck	page141

IV.3.2 Adsorption du Rouge de Nylosane

Fig VI.3.2.1 Représentation des isothermes du R/N par P.R traitée en CaCl_2	page147
Fig VI.3.2.2 Représentation des isothermes du R/N par P.R l'Etat Naturel	page148
Fig VI.3.2.3 Représentation des isothermes du R/N par P.R traitée en H_3PO_4	page149
Fig VI.3.2.4 Représentation des isothermes du R/N par P.R traitée en KOH	page150
Fig VI.3.2.5 Représentation des isothermes du R/N par P.R Activation mixte	page151
Fig VI.3.2.6 Représentation des isothermes du R/N par P.R Activation physique	page152
Fig VI.3.2.7 Représentation des isothermes du R/N par P.R Charbon actif Aldrich	page153

IV.3.3 Adsorption du Jaune de Supranol

Fig VI.3.3.1 Représentation des isothermes du J/S par P.R traitée en CaCl_2	page159
Fig VI.3.3.2 Représentation des isothermes du J/S par P.R l'Etat Naturel	page160
Fig VI.3.3.3 Représentation des isothermes du J/S par P.R traitée en H_3PO_4	page161
Fig VI.3.3.4 Représentation des isothermes du J/S par P.R traitée en KOH	page162
Fig VI.3.3.5 Représentation des isothermes du J/S par P.R Activation physique	page163
Fig VI.3.3.6 Représentation des isothermes du J/S par P.R Charbon actif Aldrich	page164

INTRODUCTION

Les effluents d'origine industrielle, agricole et domestique sont souvent chargés de polluants peu ou non biodégradables. Leur impact sur la faune et la flore est très néfaste. Ils sont parfois recyclés ou tout simplement rejetés dans la nature ce qui cause un problème capital et un souci majeur pour les pouvoirs publics, les instances, organismes nationaux et internationaux. Ceci a donc stimulé et encouragé l'amélioration des techniques de dépollution existantes et le développement de nouveaux procédés, permettant de satisfaire et de se conformer aux normes internationales de plus en plus restrictives.

Parmi les industries consommatrices d'eau en grande quantité, on y trouve celle du textile avec celle de la tannerie en tête de liste. Les secteurs de teintures, de l'impression ou du finissage du textile. Ces activités génèrent une pollution importante en eaux résiduaires. Ces effluents sont très chargés en colorants acides ou basiques, des sels et autres.

En effet un grand nombre de techniques de traitement des eaux usées, domestiques ou industrielles, existent tel que la coagulation-floculation, l'adsorption sur charbon actif et tout dernièrement l'électrocoagulation se sont révélés efficaces mais dans la plupart des cas très onéreux. Les recherches se sont alors orientées vers les procédés de traitement utilisant les matériaux naturels tels que les argiles, les matières agricoles (sciures de bois, déchets agricoles, charbons actifs,..) et certains rejets industriels en raison de leur disponibilité et de leurs faibles coûts. Cela entre dans le contexte de la valorisation de ces matériaux et surtout participera au développement durable. Ces techniques adoptées permettent une diminution de la charge polluante, sans toutefois conduire à une réutilisation des eaux épurées.

Dans cette étude on vise les techniques d'adsorption. Cependant la performance et l'efficacité de ces techniques d'adsorption dépendent d'une façon prépondérante de la nature du support utilisé comme adsorbant, particulièrement ces caractéristiques, son coût, sa disponibilité, sa régénération, etc. L'utilisation des adsorbants préparés localement à partir de déchets végétaux pour la decolorisation d'effluents de l'industrie textile est une méthode très efficace. Les pépins de raisins ainsi que la sciure de bois font l'objet de notre étude ils sont utilisés comme support. Ces types de déchets possèdent toutes les caractéristiques propices pour qu'il bénéficie en subissant au préalable des traitements chimiques ou physiques d'un très important pouvoir adsorbant vis-à-vis des matières organiques.

La plupart des caractéristiques des études d'adsorption sont fait ou basées sur des modèles d'isotherme a un ou deux paramètres suite a la complexité des modèles a trois ou plusieurs paramètres. Dans cette étude on propose l'utilisation d'autres modèles linearisé et non linearisé afin d'obtenir un résultat satisfaisant.

Le but de ce présent travail de faire une étude comparative des modèles d'isothermes linéaire et non linéaire pour l'adsorption des colorants en particulier le Vert de Malachite ; le Rouge de Nylosane et le Jaune de Supranol.

Par conséquent, le manuscrit présentant ce travail est entamé par cette introduction générale qui donne une idée sur l'importance du thème abordé.

Ce mémoire est constitué de deux grandes parties, l'une théorique et l'autre expérimentale.

La première partie qui est théorique comporte trois chapitres

Le premier chapitre présente une revue bibliographique sur les colorants synthétiques notamment le Vert de Malachite ; le Rouge de Nylosane et le Jaune de Supranol, ce chapitre traitera aussi : les priorités physico-chimique ; les structures ainsi que la toxicité de chaque colorants et les dangers évidents et a long terme aussi les divers possibilités de traiter ces colorants que ce soit physique ; biologique et/ou chimique.

Le deuxième chapitre comprend une synthèse bibliographique sur l'adsorption et ces différents types ; la sélectivité des adsorbants ainsi que ces applications.

Les modèles d'isothermes de solutés à deux paramètres notamment celui de Langmuir et de Frenlich sont traité dans ce chapitre ; de même la classification des isothermes.

Les différents modèles d'isothermes de Langmuir et de Frenlich que ce soit linéaire ou non linéaire sont rassemblées dans le troisième chapitre cette partie aborde les différents méthodes de calculs d'erreurs. A la fin de cette première partie on a fait une conclusion.

La deuxième partie de ce mémoire qui est expérimentale contient trois chapitres aussi dans le chapitre quatre qui est nommé " Expérimentation et Modélisation LINEAIRE" les équations des modèles des isothermes d'adsorption du Vert de Malachite ; Rouge de Nylosane et Jaune de Supranol sur la sciure de bois ou sur les pépins de raisins subissant un traitement

physique et/ou chimique par différents réactifs ont été déterminés ainsi que les différents paramètres qui régissent ces isothermes et qui nous aident à valider ces modèles, cette partie est accompagnée par des représentations graphiques du modèle linéaire de Langmuir le plus favorisé ; celui de Freundlich ; un graphique qui représente l'évolution de q_e & RE & K_d et aussi un graphique tracé pour le Facteur de Séparation en fonction des concentrations initiales

Les résultats expérimentaux des équilibres d'adsorption et leur modélisation sont rassemblés dans ce chapitre et aussi le calcul des fonctions des erreurs qui nous permet de savoir si l'adsorption est possible ou non. Ainsi on a discuté les résultats et sélectionné les meilleurs modèles pour chaque cas.

Dans le chapitre cinq qui est appelé " Expérimentation et Modélisation Non Linéaire " on a étudié les modèles d'isothermes non linéaires de Langmuir et de Freundlich pour l'adsorption des colorants cités au-dessus sur différents adsorbants, des représentations graphiques de ces deux modèles ainsi que celui du facteur de séparation sont incluses dans cette partie.

Le Chapitre six qui est nommé "Comparaison des Modèles Linéaires et Non Linéaires" on a fait une Comparaison des modèles d'isothermes linéaires de Langmuir les plus favorisés pour l'adsorption et une autre comparaison des modèles d'isothermes linéaires de Freundlich les plus favorisés et une Comparaison des modèles d'isothermes non linéaires de Langmuir et de Freundlich séparément pour l'adsorption du Vert de Malachite du Rouge de Nylosane et du Jaune de Supranol puis on a fait une conclusion pour chaque colorant.

Des Synthèses des résultats des modèles d'isothermes linéaires et non linéaires de Langmuir et de Freundlich ainsi que des Calculs des quantités de substance adsorbée q_e pour les Isothermes et une représentation graphique de cette dernière existent dans ce chapitre.

A la fin de ce chapitre on a fait une Comparaison globale des différents modèles d'isothermes d'adsorption des trois colorants.

On s'est limité de présenter que les modèles très favorables suites au nombre important de graphiques et tableaux, la régression linéaire et non linéaire du modèle linéaire que ce soit de Langmuir ou de Freundlich donne les mêmes résultats.

Enfin une conclusion générale récapitule les principaux résultats obtenus au cours de ce travail ainsi que la sélectivité du support et les recommandations futures pour une éventuelle amélioration.

CHAPITRE I

LES COLORANTS SYNTHETIQUES

I.1. Généralités

Un colorant est défini comme étant un produit capable de teindre une substance d'une manière durable. Il possède des groupements qui lui confèrent la couleur: appelés chromophores et des groupements qui permettent sa fixation: auxochromes.

Les matières colorantes se caractérisent par leur capacité à absorber les rayonnements lumineux dans le spectre visible (de 380 à 750 nm). La transformation de la lumière blanche en lumière colorée par réflexion sur un corps, ou par transmission ou diffusion, résulte de l'absorption sélective d'énergie par certains groupes d'atomes appelés chromophores. La molécule colorante est un chromogène. Plus le groupement chromophore donne facilement un électron, plus la couleur est intense. Le tableau I.1 donne les groupements chromophores classés par intensité décroissante. D'autres groupes d'atomes du chromogène peuvent intensifier ou changer la couleur due au chromophore, ils sont appelés les groupements auxochromes. Les chromophores sont des systèmes à liaisons π conjuguées ou des complexes de métaux de transition.

Les colorants diffèrent les uns des autres par des combinaisons d'orbitales moléculaires. La coloration correspond aux transitions possibles après absorption du rayonnement lumineux entre ces niveaux d'énergie propres à chaque molécule.

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.

Tableau I.1: Principaux groupements chromophores et auxochromes, classés par intensité croissante

Groupements chromophores	Groupements auxochromes
Azo ($-\text{N}\equiv\text{N}-$)	Amino ($-\text{NH}_2$)
Nitroso ($-\text{NO}$ ou $-\text{N}-\text{OH}$)	Methylamino ($-\text{NHCH}_3$)
Carbonyl ($=\text{C}=\text{O}$)	Diméthylamino ($-\text{N}(\text{CH}_3)_2$)
Vinyl ($-\text{C}=\text{C}-$)	Hydroxyl ($-\text{HO}$)
Nitro ($-\text{NO}_2$ ou $=\text{NO}-\text{OH}$)	Alkoxy ($-\text{OR}$)
Sulphure ($>\text{C}=\text{S}$)	Groupements donneurs d'électrons

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 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.

I.1.1 Vert de Malachite

Le nom de « Vert de Malachite » (ou vert d'aniline, ou vert de diamant B, ou 4-[(4-diméthylaminophenyl)-phenyl-méthyl]- N,N-diméthyl-aniline $C_{23}H_{25}ClN_2$) provient du nom d'un carbonate minéral : la Malachite est un produit chimique toxique principalement connu pour ses qualités de colorant bleu-vert.

Il a aussi été employé pour traiter les parasites, les infections fongiques, et les infections bactériennes dans le poisson et les œufs de poisson. Il possède également des propriétés bactériologiques. Cependant, en 1992, au Canada, on a montré qu'il existait un risque sanitaire significatif pour les humains qui ont mangé des poissons contenant du vert de Malachite et le composé a été répertorié en classe II.

Il s'est avéré que la molécule était toxique pour les cellules humaines et qu'il existait une possibilité qu'elle soit la cause de la formation de tumeurs au foie. Cependant, en raison de sa facilité de préparation et du faible coût de sa synthèse, il est encore employé dans certains pays avec des lois moins restrictives ne concernant pas l'aquaculture. En 2005, des anguilles et des poissons importés de Chine ont été trouvés à Hong Kong avec des traces de ce produit chimique. La solution aqueuse du vert Malachite a un goût légèrement amer. Une bonne manière d'enlever la teinture des dents est de les rincer avec une solution d'éthanol.

Enfin, les dernières caractéristiques intéressantes du vert Malachite sont ses propriétés d'indicateur coloré de pH en chimie. Le vert Malachite possède deux zones de virages, un en milieu très acide et un en milieu très basique.

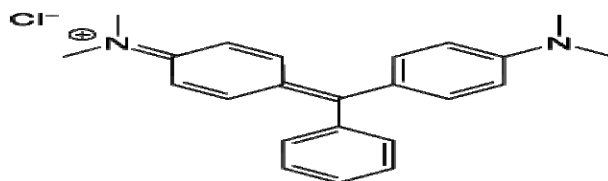


Figure I.1 : Structure du Vert Malachite

I.1.1.a Propriétés acido-basiques

Le vert de Malachite est utilisé comme indicateur coloré dans les dosages acido-basiques en chimie. Il possède trois formes différentes caractérisées par différentes couleurs qui permettent de déterminer le pH d'une solution.

Tableau I.2 : Les différentes formes du Vert de Malachite

Couleurs du vert de Malachite	forme acide jaune	zone de virage 1	forme classique bleu-vert	zone de virage 2	forme basique incolore
		pH 0.2 à pH 1,8		pH 11.5 à pH 13.2	

I.1.1.b Propriétés chimiques

Tableau I.3 : Quelques propriétés du Vert de Malachite

Formule brute	$C_{23}H_{25}ClN_2$ (Isomères)
Masse molaire	$364,911 \pm 0,023 \text{ g.mol}^{-1}$ C 75,7 %, H 6,91 %, Cl 9,72 %, N 7,68 %,
pKa	$pK_{a1}: 1,3$ $pK_{a2}: \text{environ } 12,5$

I.1.1.c Structures de malachite vertes et composés relatifs

Les structures des composés expliquent leurs propriétés chimiques et biologiques, telles qu'à quel point ils pourraient être absorbés dans le corps. Le vert de malachite est généralement connu sous une forme appelée la forme chromatique dans laquelle c'est un colorant vert. Cependant, pendant qu'il est absorbé dans le corps, il est converti par des mécanismes de corps en d'autres formes. La première forme s'appelle la forme de carbinol, qui est importante parce qu'elle écarte à travers des membranes de cellules plus rapidement.

Quand il est à l'intérieur de la cellule, il est alors métabolisé dans une forme appelée le vert de leuco-malachite. Cette forme est connue par des chercheurs pour être toxique en plus du fait qu'il est maintenu dans le corps pendant une plus longue période que la forme chromatique de vert de malachite.

-Forme chromatique de vert de malachite

Le vert de malachite est employé comme colorant des matériaux comme la soie, le cuir et le papier. Il s'avère également particulièrement en activité contre mycète sprolegnia, qui infecte des oeufs de poisson en aquiculture commerciale.

C'est également un traitement très populaire contre ichthyophthirius dans d'eau douce aquarium. Le métabolite de principe, le vert de leuco-malachite (LMG), est le produit chimique principal trouvé dans les poissons traités avec le vert de malachite. C'est dû à son temps de plus longue conservation à l'intérieur des tissus de muscle de poisson. L'utilisation de cette substance a été interdite dans beaucoup de pays en tant que suspecté carcinogène. Le vert de malachite est connu pour être fortement toxique à certains poissons d'eau douce comme tétras, poisson-chat. Le vert de malachite est employé comme a tache biologique pour microscopique analyse de cellule et échantillons de tissu. Dans Gimenez souillant la méthode, de base fuchsin des bactéries de taches rouges ou magenta, et le vert de malachite est employées en tant que bleu-vert counterstain. Le vert de malachite peut également directement souiller endospores dans des cellules.

Il peut également être employé comme amortisseur saturable dans lasers de colorant, ou comme a indicateur de pH entre pH 0.2 - 1.8. Cependant cette utilisation est relativement rare. Le vert de Leuco-malachite (LMG) est employé comme méthode de détection pour le sang latent dedans criminalistics. Hémoglobine catalyse la réaction entre LMG et peroxyde d'hydrogène, convertissant le LMG sans couleur en forme chromatique de vert de malachite. Par conséquent, l'aspect d'une couleur verte indique la présence de sang.

I.1.2 Rouge de Nylosane C2R

La formule moléculaire brute du RN est : $C_{22}H_{15}N_4NaO_4S$ qui est appelé aussi Acide rouge 151, acide Benzenesulfonique, 4((4-((2-Hydroxy-1 Naphthalenyl) Azo) Phenyl)Azo), Sel Monosodium. Ce produit est Solide poudreux, rouge, inodore instable dans les conditions suivantes: Lorsqu'il est chauffé à plus de 250 degrés Celsius, le produit se décompose. Il est incompatible avec ces substances: Les agents oxydants forts, les agents réducteurs.

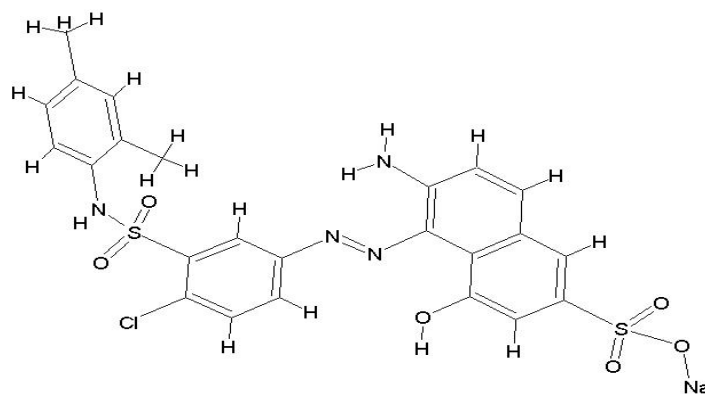


Figure I.2 : Structure moléculaire du Rouge de Nylosane

I.1.2.a Propriétés physico-chimiques

Tableau I.4 Propriétés physiques

État physique	Solide
Masse moléculaire	454,44
Solubilité dans l'eau	10,00 g/l à 20 °C
Point de fusion	300,00 °C

Tableau I.5 Quelques propriétés physico-chimiques du Rouge de Nylosane.

Propriétés	Rouge de Nylosane N-2RBL
Formule chimique	$C_{24}H_{21}ClN_4O_6S_2 Na$
Masse moléculaire	587.97
Taille de la molécule	$(14,7 \times 13,1 \times 6,6)A^{O3}$
Concentration en colorant	35-40%
λ_{max}	500 (nm)
pK_{a1} , pK_{a2}	6.8, 9.2
Caractérisation chimique	Colorant acide anionique azoïque
Etat	Granulé
Couleur	Rouge foncé
Odeur	Inodore
Densité apparente	$510kg/m^3$
Solubilité dans l'eau	80g/L (90°C)
pH	10-11 (20°C)

Le Rouge de Nylosane et le jaune de Supranol appartiennent à la famille des colorants acides anioniques azoïques. Les colorants azoïques sont caractérisés par la présence au sein de la molécule d'un groupement azoïque (-N=N-) reliant deux noyaux benzéniques. Cette catégorie de colorant est actuellement la plus répandue sur le plan de l'application, puisqu'ils représentent plus de 50% de la production mondiale de matières colorantes.

Les colorants azoïques se répartissent en plusieurs catégories: les colorants basiques, acides, directs et réactifs solubles dans l'eau, et les azoïques dispersés et à mordant non ioniques insolubles dans l'eau. Il est estimé que 10-15 % des quantités initiales sont perdues durant les procédures de teinture et sont évacués sans traitement préalable dans les effluents. Or ces

composés organiques cancérigènes sont réfractaires aux procédés de traitements habituellement mis en œuvre et sont très résistants à la biodégradation.

Les colorants acides ou anioniques sont solubles dans l'eau grâce à leurs groupements sulfonâtes ou carboxylates, ils sont ainsi dénommés parce qu'ils permettent de teindre les fibres animales (laine et soie) et quelques fibres acryliques modifiées (nylon, polyamide) en bain légèrement acide. L'affinité colorant-fibre est le résultat de liaisons ioniques entre la partie acide sulfonique du colorant et les groupements amine des fibres textiles.

I.1.3 Jaune de Supranol (4GL)

Le Jaune de Supranol $C_{16}H_{10}N_2O_7S_2Na_2$ est un colorant acide, soluble dans l'eau, destiné à la teinture des fibres protéiques et de polyamide. Les colorants acides sont généralement des sels sodiques de sulfoacides aromatiques selon leur structure chimique ces colorants appartiennent aux colorants azoïques diazoïques anthraquinoniques. La combustion peut produire des gaz toxiques d'oxydes de carbone, d'oxydes d'azote, d'oxydes de soufre.

I.1.3.a propriétés physico-chimiques du Jaune de Supranol

Tableau I.6 Quelques propriétés physico-chimiques du Jaune de Supranol.

Propriétés	Jaune de Supranol (4GL)
Formule chimique	$C_{16}H_{10}N_2O_7S_2Na_2$
Masse moléculaire	452g/mol
λ_{max}	405(nm)
pKa	6.4
Caractérisation chimique	Colorant acide anionique azoïque
Etat	poudreux
Couleur	jaune
Odeur	inodore
Densité apparente	510kg/m ³
Solubilité dans l'eau	120g/L (90°C)
Stabilité	La combustion peut produire des gaz toxiques d'oxydes de carbone, d'oxydes d'azote, d'oxydes de soufre.

I.2 Toxicité des colorants synthétiques

I.2.1 Toxicité de vert de malachite

Quand le vert de malachite est employé chez les animaux aquatiques, il sera métabolisé au vert de leuco-malachite. Le vert de Leuco-malachite (LMG) non polaire s'est avéré pour maintenir dedans poisson-chat le muscle pendant une plus longue période de 10 jours pour LMG a comparé à 2.8 en magnésium. L'étude de la toxicité du vert de malachite dans les poissons a été dure car elle est fortement influencée par dureté de l'eau, pH, la température et quantité de oxygène dissous dans l'eau. Les études détaillées ont indiqué que la toxicité du produit chimique augmente à mesure que la température augmente ou le pH diminue. Les effets du vert de malachite sur des oeufs de poisson ont été également examinés et on lui a montré qu'une augmentation double de la concentration du vert de malachite pourrait amener à 20 fois le taux de mortalité dedans truite arc-en-ciel oeufs. Ceci prouve qu'il peut être extrêmement toxique pour quelques espèces des poissons et particulièrement pour des oeufs de poisson.

D'autres effets comme carcinogénèse, mutagénèse, et réduit fertilité ont été rapportés pour se produire en truite arc-en-ciel. De façon générale, bien que le vert de malachite soit une arme extrêmement efficace contre mycète et parasite les infections dans les poissons, le produit chimique cause des effets secondaires sérieux dans les poissons aussi bien.

-Effets sur des humains

On a rapporté que le vert de malachite et son métabolite principal, vert de leuco-malachite ont des effets mutagénique et cancérigène. Culp SJ dans son article récent a édité dans la recherche de mutation mentionne que les rats ont alimenté à malachite une expérience verte « une augmentation liée à la dose dans le foie ADN additifs » avec le poumon adénomes. Le vert de Leuco-malachite cause une « augmentation du nombre et de la sévérité de changements ». Car le vert de leuco-malachite est le métabolite primaire du vert de malachite et est maintenu dans le muscle de poisson beaucoup plus longtemps, la plupart de prise de vert de malachite serait sous la forme de leuco. Ceci prouve que bien que des additifs soient formés, ils ont « la conséquence peu mutagénique ou cancérigène. » Par conséquent il pourrait conclure que des symptômes cancérigènes causés verts de malachite mais un lien direct entre le vert de malachite et la tumeur de foie ne pourrait pas être prouvée.

-Méthode d'activité mutagénique

Prises ensemble, ces données ont suggéré que les métabolites de N-demethylated du vert de leuco-malachite et du vert de malachite pourraient subir l'activation métabolique en quelque

sorte semblable à cela observée avec cancérogène amine aromatiques, c.-à-d. oxydation aux métabolites qui réagissent avec de l'ADN directement ou ensuite estérification. Cependant, l'additif n'a pas été caractérisé, depuis exister in vitro les analyses de mutagénicité et les systèmes métaboliques d'activation a été non réussi en vert de déclenchement de leuco-malachite ou vert de malachite aux espèces ADN-préjudiciables (Culp et Blankenship, résultats non publiés).

Cas impliquant le vert de malachite détecté dans les poissons

Une recherche par Hong Kong Les laboratoires de gouvernement (département de santé de Hong Kong) dans 2005 ont indiqué d'eau douce poissons, crabes et autre aquiculture produits dedans la Chine a eu de petites traces de vert de malachite. Plus tard, poissons de mer de la Chine et Taiwan se sont également avérés contenir cette toxine. Cependant, les fonctionnaires de Taiwan ont affirmé cette découverte pour être unconfirmable, déclarant que le vert de malachite a été longtemps interdit dans Taiwan. La nourriture de Hong Kong et le département environnemental d'hygiène ont confirmé que 11 de 14 anguille - les produits basés examinés des supermarchés locaux ont eu les niveaux élevés du vert de malachite. Cependant, la concentration du vert de malachite a trouvé dedans fruits de mer étaient extrêmement petit, avec la concentration la plus élevée en anguilles avérées 4.500 µg/kg et 900 µg/kg pour les poissons d'eau douce.

I.2.2 Toxicité des colorants azoïques (Rouge de Nylosane et Jaune de Supranol)

Une étude effectuée sur le recoupement des DL50 avec les classifications chimiques et tinctoriales des colorants, démontre que les colorants synthétiques organiques les plus toxiques sont les colorants diazo et cationiques .Or le caractère électro-attracteur des groupes azo génère des déficiences électroniques, ce qui rend les azoïques peu disposés au oxydatif dans des conditions environnementales aérobies.

La toxicité des azoïques par exposition aux colorants et à leurs métabolites n'est pas un fait nouveau. Dès 1895, l'augmentation du nombre de cancers de la vessie observés chez des ouvriers de l'industrie textile, est reliée à leur exposition prolongée aux colorants azoïques. Depuis, les travaux effectués sur ces colorants ont démontré que ces composés chimiques présentaient des effets cancérigènes pour l'homme et l'animal.

L'azobenzène est reconnu pour être un composé génotoxique au même titre que l'amarante, la tartrazine et le rouge cochenille Figureurent parmi les colorants azoïques les plus dangereux pour l'homme et ils ont été retirés des listes de colorants alimentaires dans la plupart des pays.

Les effets cancérigènes des composés azoïques s'expriment par leurs dérivés amines. La liaison azo est la portion la plus labile de ces molécules et peut facilement se rompre sous l'action enzymatique (enzyme azo-reductase P450) des organismes mammifères incluant l'homme, pour se transformer en composé amino cancérigène. La toxicité des azoïques est accrue par la présence de substituant sur le noyau aromatique notamment des groupes nitro (-NO₂) et halogènes (particulièrement Cl). Selon l'EPA, l'estimation des risques de cancer impose de fixer une concentration limite de 3,1 µg/L en colorant azoïque dans l'eau potable.

I.2.2.1 Les dangers évidents

I.2.2.1.a Eutrophisation

Sous l'action des microorganismes, les colorants libèrent des nitrates et des phosphates dans le milieu naturel. Ces ions minéraux introduits en quantité trop importante peuvent devenir toxiques pour la vie piscicole et altérer la production d'eau potable. Leur consommation par les plantes aquatiques accélère leur prolifération anarchique et conduit à l'appauvrissement en oxygène par inhibition de la photosynthèse dans les strates les plus profondes des cours d'eau et des eaux stagnantes.

I.2.2.1.b. Sous-oxygénation

Lorsque des charges importantes de matière organique sont apportées au milieu via des rejets ponctuels, les processus naturels de régulation ne peuvent plus compenser la consommation bactérienne d'oxygène. Manahan estime que la dégradation de 7 à 8 mg de matière organique par des micro-organismes suffit pour consommer l'oxygène contenu dans un litre d'eau.

I.2.2.1.c. Couleur, turbidité, odeur

L'accumulation des matières organiques dans les cours d'eau induit l'apparition de mauvais goûts, prolifération bactérienne, odeurs pestilentielles et colorations anormales. Willmott et al. ont évalué qu'une coloration pouvait être perçue par l'œil humain à partir de 5 10⁻⁶ g/L. En dehors de l'aspect inesthétique, les agents colorants ont la capacité d'interférer avec la transmission de la lumière dans l'eau, bloquant ainsi la photosynthèse des plantes aquatiques.

I.2.2.2 Les dangers à long terme

I.2.2.2.a. La persistance

Les colorants organiques synthétiques sont des composés impossibles à épurer par dégradations biologiques naturelles. Cette persistance est en étroite relation avec leur réactivité chimique:

- Les composés insaturés sont moins persistants que les saturés,

- Les alcanes sont moins persistants que les aromatiques,
- La persistance des aromatiques augmente avec le nombre de substituants,
- Les substituants halogènes augmentent plus la persistance des colorants que les groupements alkyles.

I.2.2.2.b Bio-accumulation

Si un organisme ne dispose pas de mécanismes spécifiques, soit pour empêcher la résorption d'une substance, soit pour l'éliminer une fois qu'elle est absorbée, cette substance s'accumule. Les espèces qui se trouvent à l'extrémité supérieure de la chaîne alimentaire, y compris l'homme, se retrouvent exposées à des teneurs en substances toxiques pouvant être jusqu'à mille fois plus élevées que les concentrations initiales dans l'eau.

I.2.2.2.c Cancer

Si la plupart des colorants ne sont pas toxiques directement, une portion significative de leurs métabolites l'est. Leurs effets mutagènes, tératogène ou cancérigène apparaissent après dégradation de la molécule initiale en sous-produits d'oxydation : amine cancérigène pour les azoïques, leuco-dérivé pour les triphénylméthanes. Les techniques de dépollution intervenant le plus couramment en deuxième étape dans les industries textiles d'après Barclay et Buckley et kurbus et al. se divisent en trois types :

I.2.2.2.d Sous produits de chloration (SPC)

Le chlore utilisé pour éliminer les microorganismes pathogènes réagit avec la matière organique pour former des trihalométhanes (THM) pouvant atteindre plusieurs centaines de mg/L. Les SPC sont responsables de développement de cancer du foie, des poumons, des reins et de la peau chez l'homme.

I.2.3 Actions curatives: Traitements des colorants

Le traitement des rejets textiles, compte tenu de leur hétérogénéité de composition, conduira toujours à la conception d'une chaîne de traitement assurant l'élimination des différents polluants par étapes successives. La première étape consiste à éliminer la pollution insoluble par l'intermédiaire de prétraitements (dégrillage, dessablage, déshuilage..) et/ou de traitements physiques ou physico-chimiques assurant une séparation solide/liquide. Les techniques de dépollution intervenant le plus couramment en deuxième étape dans les industries textiles d'après Barclay et Buckley et kurbus et al. se divisent en trois types :

I.2.3.a. Biologique

- Traitement aérobie,
- Traitement anaérobie.

I.2.3.b. Physique

- Méthodes de précipitation (coagulation, floculation, sédimentation),
- Adsorption (sur charbon actif),
- Osmose inverse, filtration,
- Incinération.

I.2.3.c. Chimique

- Oxydation (oxygène, ozone, oxydants tels que NaOCl, H₂O₂),
- Réduction (Na₂S₂O₄),
- Méthode complexométrique,
- Résine échangeuse d'ions.

CHAPITRE II

GENERALITES SUR LE PHENOMENE D'ADSORPTION

II.1. Introduction

L'adsorption à l'interface soluté/solide est un phénomène de nature physique ou chimique par lequel des molécules présentes dans effluent liquide ou gazeux, se fixent à la surface d'un solide. Ce phénomène dépend à la fois de cette interface et des propriétés physico-chimiques de l'adsorbât. Ce phénomène spontané provient de l'existence, à la surface du solide et de forces non compensées, qui sont de nature physique ou chimique. Ces forces conduisent respectivement à deux types d'adsorption: la chimisorption et la physisorption. Le solide acquiert alors des propriétés superficielles susceptibles de modifier l'état d'équilibre du milieu.

En phase liquide la capacité d'adsorption augmente:

- lorsque la concentration du ou des solutés adsorbables augmente.
- lorsque la surface spécifique de l'adsorbant augmente.
- lorsque le poids moléculaire du soluté augmente.
- lorsque le pH diminue, pour autant que cette diminution de pH s'accompagne d'une diminution de la solubilité des solutés

Cependant les principales caractéristiques des adsorbants sont comme suit:

- * La surface spécifique : elle constitue la surface disponible pour les substances adsorbées.
- * Les adsorbants usuels présentent une grande surface spécifique, supérieure à 500 m²/g, caractéristique d'une très forte micro porosité ;
- * La nature physico-chimique de la surface: la présence de groupes ionisés, de groupes fonctionnels actifs, etc. conditionnera la nature des liaisons adsorbants/adsorbat;
- * La taille et la forme des particules : des particules de petite taille améliorent la capacité d'adsorption car elles facilitent la diffusion dans l'adsorbant;
- * La densité des particules: qu'elle soit proche ou très différente de celle de la solution à traiter, elle a une certaine influence sur l'adsorption.
- * La dureté et la résistance des particules : elles n'influencent pas directement la capacité d'adsorption mais il est préférable d'éviter l'usure et la détérioration des particules de l'adsorbant, surtout s'il est amené à subir des cycles de régénération.
- * Les caractéristiques de l'adsorbat conditionnent également la capacité d'adsorption, notamment sa taille moléculaire, sa solubilité dans l'eau, sa forme moléculaire, etc.

* La température et le pH de l'eau à traiter, éventuellement la présence d'autres substances dissoutes, etc., sont également des facteurs à prendre en compte lors de l'évaluation de la capacité d'adsorption.

La classification des pores proposée par Dubinin (1979) est fondée sur leurs tailles. Trois catégories de pores ont été définies :

- * les micropores dont le rayon est inférieur à 2 nm ;
- * les mésopores dont le rayon est compris entre 2 et 50 nm ;
- * les macropores dont le rayon est supérieur à 50 nm.

Chaque type de pores joue un rôle particulier dans le phénomène d'adsorption. Les micropores déterminent pratiquement à eux seuls la capacité d'adsorption d'un charbon actif : ils représentent presque la totalité de la surface et du volume offerts à l'adsorption. Les macropores et les mésopores constituent les voies de passage vers les micropores.

II.2. Différents types d'adsorption

Selon les forces intervenant entre les molécules de l'adsorbât et la surface d'adsorption, on distingue en générale les types d'adsorption suivants.

II.2.1. Adsorption chimique

Elle met en jeu une ou plusieurs liaisons chimiques covalentes ou ioniques entre l'adsorbât et l'adsorbant. La chimisorption est généralement irréversible, produisant une modification des molécules adsorbées. Ces dernières ne peuvent pas être accumulées sur plus d'une monocouche. Seules sont concernées par ce type d'adsorption, les molécules directement liées au solide. La chaleur d'adsorption, relativement élevée, est comprise entre 20 et 200 Kcal/mol. La distance entre la surface et la molécule adsorbée est plus courte que dans le cas de la physisorption.

La Persorption, constitue un cas particulier de l'adsorption chimique. Certaines molécules d'une substance sont retenues dans les canaux du réseau cristallographique de l'adsorbât jouant ainsi le rôle d'un tamis moléculaire par exemple les aluminosilicates qui retiennent par persorption l'eau, le méthanol, etc.

II.2.2. Adsorption physique

Contrairement à la chimisorption, l'adsorption physique se produit à des températures basses. Les molécules s'adsorbent sur plusieurs couches (multicouches) avec des chaleurs d'adsorptions souvent inférieures à 20 Kcal/mole.

Les interactions entre les molécules du soluté (adsorbât) et la surface du solide (adsorbant) sont assurées par des forces électrostatiques type dipôles, liaison hydrogène ou Van der Waals. La physisorption est rapide, réversible et n'entraînant pas de modification des molécules adsorbées. La distinction entre les deux types d'adsorption n'est pas toujours facile. En effet, les énergies mises en jeu dans les physisorptions fortes rejoignent celles qui interviennent dans les chimisorptions faibles.

II.2.3 Utilisation industrielle de l'adsorption

Les nombreuses applications techniques de l'adsorption résultent de trois caractéristiques qui la différencient des autres procédés de séparation, à savoir :

- * La rétention des très petites particules, comme par exemple les colloïdes
- * la rétention des composants à très faibles concentrations, par exemples des impuretés ou des molécules et ions métalliques qui confèrent au produit couleurs, odeurs ou saveurs désagréables, voir une toxicité
- * La sélectivité de l'adsorbant par rapport à certains constituants du mélange.

Parmi les applications, on cite :

- * Le séchage, purification et désodorisation des gaz
- * Le raffinage des produits pétroliers
- * La catalyse de contact
- * La déshumidification et la désodorisation de l'air
- * La récupération des solvants volatils et de l'alcool dans le processus de fermentation
- * La décoloration des liquides
- * La chromatographie gazeuse (méthodes de fractionnement basée sur les différences de vitesse d'adsorption de substances différentes sur un adsorbant donne)

Les trois manifestations de l'adsorption par les solides, ont des applications pratiques et nombreuses. On comprend que les phénomènes provoquant une modification de la composition d'un mélange gazeux, d'un mélange liquide, puissent avoir des développements industriels par contre, l'adsorption des gaz et vapeurs purs, présente moins d'intérêt pratique.

II.2.3.1. Application de l'adsorption en phase gazeuse

Dans l'utilisation pratique des phénomènes d'adsorption des mélanges gazeux en vue de leur fractionnement, il ne faut pas oublier que le fonctionnement d'une colonne d'adsorption ou adsorbeur est par nature intermittent et doit comporter deux phases :

- Une phase d'adsorption, qui doit être stoppée quand la zone de transfert de masse atteint la pureté recherchée, en sortie de la colonne: point de rupture ou point de fuite.

- Une phase consécutive de désorption ou régénération de l'adsorbant pour le rendre apte à une nouvelle phase d'adsorption et pour récupérer éventuellement l'adsorbât.

A titre d'exemple, on peut citer:

- Le stockage des gaz permanents;
- Fractionnement des mélanges gazeux;
- La récupération des solvants;
- Dessiccation des gaz;
- La purification de l'hydrogène.

II.2.3.2. Application de l'adsorption en phase liquide

On peut classer les applications de l'adsorption en phase liquide en deux domaines: celui du traitement des solutions diluées et celui du fractionnement des mélanges liquides, bien que, dans les deux cas, il s'agit toujours de séparation de composés chimiques.

Les applications industrielles concernant le traitement des solutions diluées (purification et extraction) sont extrêmement nombreuses. Les traitements les plus importants concernent:

- La décoloration des jus sucrés;
- La purification de divers produits pétroliers et de matières grasses animales et végétales;
- Le traitement des eaux (élimination : des métaux lourds, des odeurs)
- La dessiccation des produits organiques industriels.

II.3. Les adsorbants

II.3.1. Différents types d'adsorbants

Charbon actif

Les charbons actifs, à base de carbone, préparés à haute température sont utilisés pour la régénération des solvants, la purification de CO₂ et des gaz industriels et le fractionnement des hydrocarbures. Le charbon actif est l'adsorbant le plus couramment utilisé industriellement. Il est caractérisé par une surface quasi non polaire, qui lui permet d'adsorber préférentiellement les composés organiques ou non polaires par rapport aux composés polaires tels que l'eau. Il peut ainsi être utilisé pour des opérations de séparation/purification de gaz sans déshumidification préalable contrairement à la plupart des autres adsorbants. L'énergie de liaison adsorbat/adsorbant est généralement plus faible pour le charbon actif que pour les autres adsorbants, ce qui diminue la quantité d'énergie nécessaire pour la phase de régénération. Le charbon actif présente une faible sélectivité (capacité à séparer deux composés) par rapport aux autres adsorbants du fait de sa large distribution de tailles de pores. Cependant cette grande

distribution permet d'adsorber de nombreuses espèces chimiques en particuliers les composés organiques volatiles (COV).

Le charbon actif est obtenu par traitement spécial (pyrolyse) de charbons naturels (anthracite, tourbe) ou artificiels (bois de noix de coco carbonise).après traitement, le charbon actif dispose d'une surface spécifique de l'ordre de 500 a 1000m²/g avec des pores de 10 a 60 Å,une faible densité apparente(0.5 kg/l) et surtout deux propriétés principales :un pouvoir adsorbant et un pouvoir catalyseur.

Le charbon actif est utilise pour :

- la décoloration des jus sucrés et des graisses végétales
- la production d'eau potable, pour ses propriétés de catalyseur dans le traitement de l'eau (désodorisation par décoloration et détoxification de l'eau ozonée)
- la récupération des solvants
- le conditionnement de l'air

Zéolithes

Les zéolithes, (tamis moléculaires) ce sont des alumino-silicates de sodium ou de calcium qui ont subi un traitement thermique pour éliminer l'eau d'hydratation. Elles diffèrent des autres adsorbants par leur structure cristalline et par l'ouverture fixe et uniforme de leurs pores. Elles sont utilisées pour le traitement des gaz ou la déshumidification des liquides organiques.

Les zéolithes sont des cristaux poreux d'aluminosilicates. La structure primaire consiste en un assemblage de tétraèdres de SiO₄ et d'AlO₄. Ces éléments s'assemblent par la mise en commun d'atomes d'oxygène pour former une structure secondaire qui peut être sous forme de cubes, d'octaèdres, etc. La structure finale de la zéolithe consiste en un assemblage de ces unités secondaires en une structure cristalline régulière. Les zéolithes étant des réseaux cristallins bien définis, elles se comportent comme des tamis moléculaires, les molécules de taille supérieure à l'ouverture ne pouvant pénétrer.

Du fait de leur nature polaire, les zéolithes sont utilisées pour la séparation de composés eux-mêmes polaires. On peut citer par exemple la production d'oxygène et d'azote à partir de l'air, l'azote étant préférentiellement adsorbé à l'oxygène. Les propriétés de tamis moléculaire sont également utilisées, par exemple pour la séparation des paraffines branchées et linéaires.

Les tamis moléculaires permettent la séparation des molécules des molécules d'un mélange d'après leur taille et leur forme, par exemple la séparation des hydrocarbures a chaine linéaire et des hydrocarbures à chaînes ramifiées ou des hydrocarbures cycliques.

Argiles activées (ou terres décolorantes)

On obtient les argiles activées par addition d'eau à certaines qualités d'argile (bentonite, kaolinite, terre de Fuller), puis incorporation à la pâte ainsi obtenue d'une certaine quantité d'acide chlorhydrique. L'opération est suivie d'un lavage et séchage à des conditions déterminées. Il apparaît qu'une valeur du rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ plus grande confère à l'adsorbant un pouvoir de décoloration plus important.

La décoloration et la purification des huiles minérales et végétales utilisent ce type d'adsorbant. En plus des types d'adsorbant présentés dans les paragraphes précédents, de nombreux autres adsorbants existent. On peut citer par exemple le gel de silice et l'alumine activée, utilisés principalement pour la déshumidification d'effluents gazeux du fait de leur grande affinité pour l'eau tout en ayant des énergies de liaison faibles permettant une régénération moins coûteuse en énergie par rapport aux zéolithes.

II.3.2. Qualités des adsorbants

Un bon adsorbant doit avoir les qualités suivantes :

- une haute capacité d'adsorption
- une grande efficacité pour adsorber des substances de faibles concentrations
- une sélectivité élevée
- une aptitude à être facilement régénéré et utilisé de nouveau
- une grande inertie chimique
- un prix peu élevé

II.4. Les isothermes d'adsorption

Tous les systèmes adsorbant/adsorbât ne se comportent pas de la même manière. Les phénomènes d'adsorption sont souvent abordés par leur comportement isotherme. Les courbes isothermes décrivent la relation existante à l'équilibre d'adsorption entre la quantité adsorbée et la concentration en soluté dans un solvant donné à une température constante.

II.4.1 Classification des isothermes d'adsorption

Expérimentalement, on distingue quatre classes principales nommées: S (Sigmoïde), L (Langmuir), H (Haute affinité) et C (partition Constante). La Figure I.2 illustre la forme de chaque type d'isothermes.

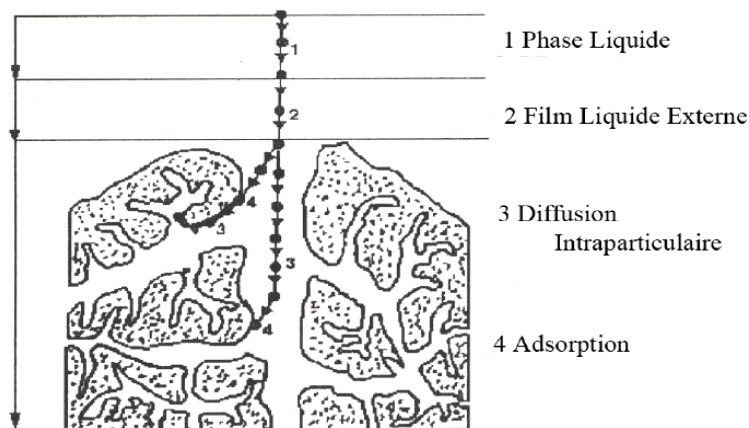


Figure II.1 : Domaines d'existence d'un soluté lors de l'adsorption sur un matériau microporeux.

Avant son adsorption, le soluté va passer par plusieurs étapes :

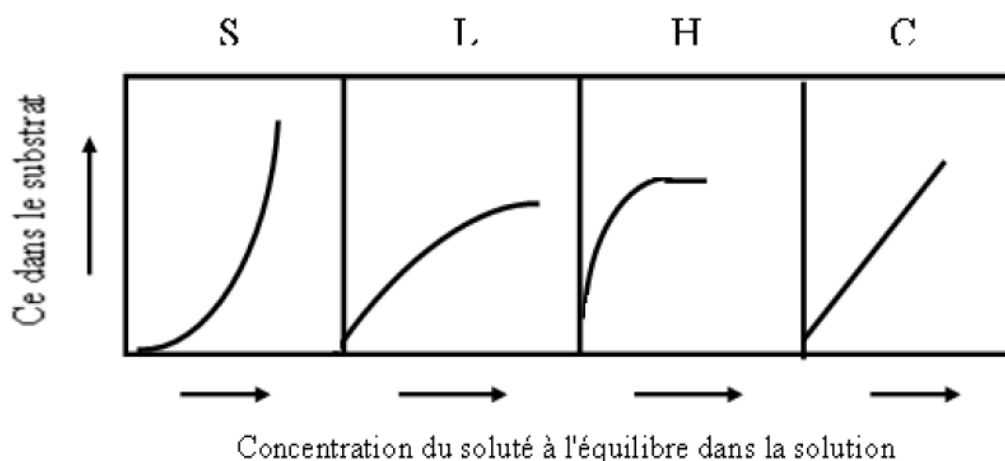


Figure II.2: classification des isothermes d'adsorption selon Giles et *al.*

Cette classification tient compte entre autre d'un certain nombre d'hypothèses:

- Le solvant s'adsorbe sur les mêmes sites que le soluté. Ceci implique l'existence d'une compétition d'adsorption entre le solvant et le soluté.
- Le nombre de sites susceptibles d'accueillir les molécules de soluté à la surface du solide diminue quand la quantité adsorbée augmente.
- L'orientation des molécules à la surface. On peut citer le cas où les molécules sont adsorbées verticalement ou horizontalement sur la surface.
- Enfin, les interactions attractives ou répulsives entre les molécules adsorbées se manifestent d'une façon notable dans le phénomène d'adsorption.

a) Classe L

Les isothermes de classe L présentent, à faible concentration en solution, une concavité tournée vers le bas qui traduit une diminution des sites libres au fur et à mesure de la progression de l'adsorption. Ce phénomène se produit lorsque les forces d'attraction entre les molécules adsorbées sont faibles. Elle est souvent observée quand les molécules sont adsorbées horizontalement, ce qui minimise leur attraction latérale. Elle peut également apparaître quand les molécules sont adsorbées verticalement et lorsque la compétition d'adsorption entre le solvant et le soluté est faible. Dans ce cas, l'adsorption des molécules isolées est assez forte pour rendre négligeable les interactions latérales.

b) Classe S

Les isothermes de cette classe présentent, à faible concentration, une concavité tournée vers le haut. Les molécules adsorbées favorisent l'adsorption ultérieure d'autres molécules (adsorption coopérative). Ceci est dû aux molécules qui s'attirent par des forces de Van Der Waals, et se regroupent en îlots dans lesquels elles se tassent les unes contre les autres. Ce comportement est favorisé, d'une part, quand les molécules de soluté sont adsorbées verticalement comme c'est le cas des molécules possédant un seul groupe fonctionnel et d'autre part, quand les molécules se trouvent en compétition d'adsorption forte avec le solvant.

c) Classe H

La partie initiale de l'isotherme est presque verticale, la quantité adsorbée apparaît importante à concentration quasiment nulle du soluté dans la solution. Ce phénomène se produit lorsque les interactions entre les molécules adsorbées et la surface du solide sont très fortes. L'isotherme de classe H est aussi observée lors de l'adsorption de micelles ou de polymères formées à partir des molécules de soluté.

d) Classe C

Les isothermes de cette classe se caractérisent par une partition constante entre la solution et le substrat jusqu'à un palier. La linéarité montre que le nombre de sites libres reste constant au cours de l'adsorption. Ceci signifie que les sites sont créés au cours de l'adsorption. Ce qui implique que les isothermes de cette classe sont obtenues quand les molécules de soluté sont capables de modifier la texture du substrat en ouvrant des pores qui n'avaient pas été ouverts préalablement par le solvant.

II.4.2 Modèles d'isothermes

Plusieurs lois ont été proposées pour l'étude de l'adsorption. Elles expriment la relation entre la quantité adsorbée et la concentration en soluté dans un solvant à une température donnée. Nous rappellerons ci-dessous les principales lois utilisées.

II.4.2.1 Modèles mono soluté à deux paramètres

II.4.2.1.a Isotherme de Langmuir

C'est le modèle le plus utilisé pour commenter les résultats trouvés au cours de l'adsorption des composés organiques en solution aqueuse. Nous résumons ci-dessous ses principales caractéristiques.

A une température constante, la quantité adsorbée Q est liée à la capacité maximale d'adsorption Q_m , à la concentration à l'équilibre C_e du soluté et à la constante d'affinité K par l'équation:

$$\frac{Q}{Q_m} = \frac{KC_e}{1 + KC_e} \quad \text{Équation (II -1)}$$

La transformée linéaire de ce modèle a pour équation :

$$\frac{1}{Q} = \frac{1}{Q_m} + \frac{1}{KQ_m} * \frac{1}{C_e} \quad \text{Équation (II -2)}$$

En portant $1/Q$ en fonction de $1/C_e$ on obtient une droite de pente $1/Kq_m$ et d'ordonnée à l'origine $1/q_m$, cela permet la détermination des deux paramètres d'équilibre de l'équation q_m et K . Parmi les caractéristiques de l'isotherme de Langmuir, on peut citer sa simplicité et le fait que les paramètres q_m et K qu'il permet d'évaluer, ont un sens physique. La valeur de K est liée à la force d'interaction entre la molécule adsorbée et la surface du solide ; la valeur de q_m exprime la quantité de soluté fixée par gramme de solide dont la surface est considérée comme totalement recouverte par une couche mono moléculaire. Cette simplicité est une conséquence des hypothèses restrictives qui permettent d'établir ce modèle. L'équivalence de tous les sites d'adsorption et la non dépendance de l'énergie d'adsorption avec le taux de couverture de la surface. Ceci se traduit par l'absence des interactions entre des espèces adsorbées et adjacents sur la surface.

Notons que K_L est souvent appelée « b » ou encore « L » et que certains auteurs définissent le rapport R_L comme une grandeur sans unité indiquant si l'adsorption d'autant plus favorable que R_L tend vers zéro ($R_L \rightarrow 0$) et d'autant plus défavorable que R_L tend vers un ($R_L \rightarrow 1$) (HALL *et al.* 1966). La caractéristique essentielle de l'isotherme de Langmuir est

exprimée par une constante sans dimension appelée facteur de séparation ou aussi le paramètre d'équilibre, R_L , qui est défini selon l'Équation :

$$R_L = \frac{1}{1 + bC_0} \quad \text{Équation (II -3)}$$

Le modèle de Langmuir est basé les hypothèses suivantes:

- une seule couche de molécules s'adsorbe à la surface du solide.
- les interactions attractives entre les molécules adsorbées sont négligées.
- la surface de la particule est homogène.
- tous les sites d'adsorption sont indépendants.

La valeur du R_L peut être interprétée selon le tableau (II -1) ci-dessous :

Valeur du R_L	Type d'isotherme
$R_L > 1$	Pas favorable
$R_L = 1$	Linéaire
$R_L = 0$	Irréversible
$0 < R_L < 1$	Favorable

II 4.2.1.b Isotherme de Freundlich

C'est une équation empirique largement utilisée pour la représentation pratique de l'équilibre d'adsorption. Elle ne repose sur aucune base théorique. Toutefois l'expérience montre qu'elle décrit bien les résultats d'adsorption des micropolluants par les solides tels que les charbons actifs, les sols et les argiles. Elle se présente sous la forme:

$$Q = K_f C_{eq}^{1/nf} \quad \text{Équation (II -4)}$$

Q: Quantité adsorbée par gramme du solide.

C_e : Concentration de l'adsorbât à l'équilibre d'adsorption.

K_f et $1/nf$: constantes de Freundlich caractéristiques de l'efficacité d'un adsorbant donné vis-à-vis d'un soluté donné. La transformée linéaire permettant de vérifier la validité de cette équation est obtenue par passage en échelle logarithmique:

$$\ln Q = \ln K_F + \frac{1}{nf} \ln C_e \quad \text{Équation (II -5)}$$

CHAPITRE III

CALCULS D'ERREURS ET MODELES D'ISOTHERMES LINEAIRES ET NON LINEAIRES

III .1 Nomenclature

V : volume de l'adsorbat (ml)

m : masse de l'adsorbat (g)

C_0 : concentration initiale de l'adsorbat (mg/l)

C_{eq} : concentration a l'équilibre de l'adsorbat (mg/l)

$1/n$: constante de Freundlich indiquant l'intensité de l'adsorption

K_F : constante de Freundlich correspondante a l'énergie d'adsorption (mg/g)

q_e : la quantité de substance adsorbée par unité de masse de l'adsorption (mg/g).

q_m : capacité maximale d'adsorption en mg/g

b : constante de Langmuir correspondant a l'énergie d'adsorption (l/mg)

R_L : facteur de séparation de Langmuir ou paramètre d'équilibre

III .2 Représentation de différentes formes non linéaires et linéaires des isothermes de Langmuir et de Freundlich

Tableau III.1: les formes non linéaires et linéaires des isothermes Langmuir et Freundlich

Isotherme		Forme Linéaire	Tracé
Freundlich	$q_e = K_F C_{eq}^{1/n}$	$\ln(q_e) = \ln K_F + (1/n) \ln(C_e)$	$\ln(q_e)$ vs $\ln(C_e)$
Langmuir-1	$q_e = \frac{q_m b C_e}{1 + b C_e}$	$C_e/q_e = (C_e/q_m) + (1/b * q_m)$	C_e/q_e vs C_e
Langmuir-2		$1/q_e = (1/b * q_m) * (1/C_e) + (1/q_m)$	$1/q_e$ vs $1/C_e$
Langmuir-3		$q_e = q_m - (1/b) * (q_e/C_e)$	q_e vs q_e/C_e
Langmuir-4		$q_e/C_e = b * q_m - b * q_e$	q_e/C_e vs q_e

La performance de l'adsorption est évaluée par le taux d'élimination (removal efficiency), il est estimé par l'Équation suivante :

$$RE(\%) = \frac{(C_0 - C_t)}{C_0} * 100 \quad \text{Équation (III -1)}$$

La caractéristique essentielle de l'isotherme de Langmuir est exprimée par une constante sans dimension appelée facteur de séparation ou aussi le paramètre d'équilibre, R_L , qui est défini selon l'Équation :

$$R_L = \frac{1}{1 + bC_0} \quad \text{Équation (IV-1)}$$

La valeur du R_L peut être interprétée selon le tableau (IV-2) ci-dessous :

Valeur du R_L	Type d'isotherme
$R_L > 1$	Pas favorable
$R_L = 1$	Linéaire
$R_L = 0$	Irréversible
$0 < R_L < 1$	Favorable

En outre les coefficients (à savoir K_F et $1/n$) pour les isothermes linéarisé et non-linéarisé sont élevés. La grandeur 'n' de l'intensité d'adsorption de Freundlich donne une indication sur la possibilité de l'adsorption.

Les valeurs du 'n' qui s'étend de 2 -10 indique une bonne capacité d'adsorption, pour 'n' compris entre 1-2 la capacité d'adsorption est modérée et pour 'n' moins de 1 cela indique une capacité d'adsorption faible.

III .3 Chi-square &the residual errors RMSE et APE

Afin de vérifier la validité du modèle d'isotherme de Langmuir et de Freundlich, il est essentiel de calculer le pourcentage moyen d'erreurs APE &RMSE et les valeurs de Chi-square, une grande différence entre les valeurs expérimentales et les valeurs calculées, cela indique que les modèles ne peuvent pas décrire des données d'équilibre.

Pour évaluer les erreurs entre les valeurs calculer et expérimentales on a utilisé le Chi-Square-static et le RMSE leurs expressions sont:

$$Chi - SquareStatistic = \chi^2 = \sum \frac{(q_{e,exp} - q_{e,cal})^2}{q_{e,cal}} \quad \text{Équation (III -2)}$$

$$RMSE = \sqrt{(1/N - 2) * \sum_1^N (q_{e,exp} - q_{e,cal})^2} \quad \text{Équation (III -3)}$$

Si les valeurs obtenu par le Modèle sont similaire a celles de l'expérience le chi-square static et le RMSE seront les plus petits possibles.

Exp et calc sont les valeurs expérimentales et calculer et N c'est le nombre d'observations des donnés expérimentales.

APE : Average percentage error : Le pourcentage moyen absolu entre les valeurs expérimentales et prédictives est calculer selon :

$$APE = \left(\sum_1^N (|q_{e,exp} - q_{e,cal}| / q_{e,exp}) / N \right) * 100 \quad \text{Équation (III -4)}$$

III .4 Conclusion

Les données bibliographiques montrent d'une part la diversité des techniques de traitement des effluents issus des activités industrielles et d'autre part celle des polluants présents dans les eaux. Les colorants synthétiques organiques sont des polluants utilisés dans de nombreux secteurs industriels (le domaine automobile, chimique, papeterie, le secteur textile etc...). Les rejets chargés de colorant posent deux problèmes majeurs, l'un esthétique et l'autre lié à la santé publique. Des études ont montrés que lorsque ces polluants ne sont pas directement mis en cause, ce sont leurs métabolites qui induisent des maladies comme le cancer. Il est par conséquent indispensable de suivre l'abattement de la DCO de l'eau à traiter et de vérifier que cette dernière s'annule après le processus. Dans ce sens, la majorité de ces procédés sont trop sélectifs sur les catégories de colorants à traiter et certains ne font que déplacer la pollution plutôt que la supprimer. La mise en œuvre de procédés capables de minéraliser ces colorants s'avère nécessaire.

L'impact environnemental de l'industrie du textile est associé à une grande consommation d'eau aussi bien que les colorants utilisé. D'ou l'eau usagée des opérations de coloration contiennent des traces des colorants et divers produits chimiques sans oublier la présence des particules solide en suspension. Tous ces facteur influence la qualité d'eau le PH ne sera plus neutre, la température augmente sans oublier la demande chimique en oxygène qui sera élevée,

due à la coloration de cette eau la pénétration de la lumière sera réduite cela entraîne un effet négatif sur la photosynthèse, la composition des colorants peut causer des maladies et la contamination du sol, Pour toutes ces raisons il est indispensable d'éliminer disant traiter les eaux résiduaires de l'industrie du textile.

D'une façon générale, les adsorbants industriels doivent répondre à un certain nombre de Critère tel que : Haute capacité d'adsorption ; Grande efficacité ; Sélectivité élevée ; Résistance physique ; Aptitude à être régénéré ; Prix peu élevé.

Divers modèles d'isothermes existent dans la littérature aussi divers méthodes de validité et de calculs des paramètres de ces isothermes prennent en considération les erreurs et la convergence et ou la divergence des valeurs expérimentales et celles calculer.

Toujours d'après HINZ (2001), les modélisations dites de « Langmuir », «Langmuir – 2 sites », « Tóth » et « Redlich-Peterson » sont celles qui décriraient le mieux les données de l'isotherme de type « L », alors que le type « H » serait mieux décrit par les modélisations dites de « Freundlich », « Langmuir-Freundlich » et « Freundlich généralisé ».

Enfin l'isotherme d'adsorption est très utile pour le choix du meilleur adsorbant. Pour la détermination des différents paramètres des modèles d'isothermes linéaires on a utilisé la méthode des moindres carrée, le XLSTAT pour la régression linéaire et non linéaire et bien sur l'Excel. Afin de déterminer les paramètres des modèles d'isothermes non linéaire on a fait recours à XLSTAT et Graphpad prism Version5.

CHAPITRE IV

PARTIE 1

IV.1 EXPERIMENTATION ET MODELISATION LINEAIRE

IV.1.1 ADSORPTION DU VERT DE MALACHITEIV.1.1.1 Isotherme d'adsorption du Vert de Malachite par la Sciure du Bois traitée en H_3PO_4

La Sciure du Bois traitée en H_3PO_4 a été utilisée pour éliminer le Vert de Malachite à partir des solutions aqueuses, le matériau a été préparé par pyrolyse puis activée chimiquement par H_3PO_4 .

Les modèles d'isothermes linéaires de Langmuir et de Freundlich ont été appliqués pour la présente étude pour estimer les différents paramètres des modèles.

Tableau IV.1.1.1 Résultats des isothermes d'adsorption du V/M par la S.B traitée en H_3PO_4
PH=8 t=3h

m	Dose	C_0	C_{eq}	%RE	q_e	C_e/q_e	$1/q_e$	$1/C_e$	q_e/C_e	$\ln q_e$	$\ln C_e$
0.2	8	3200	1.4	99.95	399.82	0.0035	0.0025	0.71	284.77	5.99	0.33
0.2	8	3400	4.15	99.87	424.48	0.0098	0.0023	0.24	102.13	6.05	1.42
0.2	8	3600	7.82	99.78	449.02	0.0174	0.0022	0.12	57.37	6.10	2.05
0.2	8	3800	9.32	99.75	473.83	0.0196	0.0021	0.107	50.83	6.16	2.23
0.2	8	3900	15.14	99.61	485.6	0.0311	0.00206	0.066	32.08	6.18	2.71
0.2	8	4000	20.87	99.48	497.39	0.0419	0.00201	0.048	23.83	6.20	3.03
0.2	8	4100	23.85	99.42	509.52	0.0468	0.00196	0.042	21.36	6.23	3.17
0.2	8	4200	30.27	99.28	521.21	0.0581	0.00192	0.033	17.21	6.25	3.41
0.2	8	4300	41.97	99.02	532.25	0.0788	0.00188	0.024	12.68	6.27	3.73
0.2	8	4400	53.67	98.78	543.29	0.0988	0.00184	0.018	10.12	6.29	3.98
0.2	8	4500	65.36	98.54	554.33	0.1179	0.0018	0.015	8.48	6.31	4.18
0.2	8	4600	77.52	98.31	565.31	0.1371	0.00177	0.013	7.29	6.33	4.35
0.2	8	4700	88.3	98.12	576.46	0.1532	0.00173	0.011	6.53	6.35	4.48
0.2	8	4800	96.33	97.99	587.96	0.1638	0.0017	0.01	6.1	6.37	4.56
0.2	8	2800	0.17	99.99	349.98	0.0005	0.00285	5.882	2058.7	5.85	-1.77
0.2	8	3000	0.88	99.97	374.89	0.0023	0.00266	1.136	426.01	5.92	-0.13

IV.1.1.1.1 Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir

Tableau IV.1.1.1.2 Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir

Modèle	R ²	b (l/mg)	q _m (mg/g)	χ ²	RMSE	APE
Etude du q _e en fonction du C _{eq} q _e = 1.9684*C _e + 424.26	0.787	NA	NA	37.6407	34.875	6.100
Etude du C _e /q _e en fonction du C _{eq} Isotherme Linéaire de Langmuir-1 C _e /q _e = 0.0017*C _e + 0.0038	0.998	0.4524	583.52	0.0069	0.0026	61.733
Etude 1/q _e en fonction de 1/C _e Isotherme Linéaire de Langmuir-2 1/q _e = 0.0002*1/C _e + 0.002	0.529	11.5563	501.06	0.0004	0.00024	9.161
Etude q _e en fonction de q _e /C _e Isotherme Linéaire de Langmuir-3 q _e = -0.0945*q _e /C _e + 508.8	0.436	10.5782	508.80	92.999	56.832	9.753
Etude q _e /C _e en fonction de q _e Isotherme Linéaire de Langmuir-4 q _e /C _e = -4.6107*q _e + 2456.1	0.436	4.6106	532.70	2417.92	396.900	935.999

Avec V volume de l'adsorbant (ml), m masse de l'adsorbant (g), C_0 concentration initiale de l'adsorbant (mg/l), C_{eq} concentration à l'équilibre de l'adsorbant (mg/l), $1/n$ constante de Freundlich indiquant l'intensité de l'adsorption, K_F constante de Freundlich correspondante à l'énergie d'adsorption (mg/g), q_e la quantité de substance adsorbée par unité de masse de l'adsorbant (mg/g), q_m capacité maximale d'adsorption en (mg/g), b constante de Langmuir correspondant à l'énergie d'adsorption (l/mg), χ^2 Chi-square et RE est le taux d'élimination (removal efficiency) qui est égale à $\%RE = (C_0 - C_{eq})/C_0$.

IV.1.1.1.2 Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich

Tableau IV.1.1.1.3 Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich

Modèle Linéaire de Freundlich	Paramètres		P-value	Erreurs	
	$\ln q_e = 5.962 + 0.084 * \ln C_e$	$\ln K_F$	5.9622	8.23E-33	χ ²
$1/n$		0.0848	5.28E-14		
K_F		388.442	R²	APE	0.225
n		11.779	0.984	RMSE	0.0205

Les figures Fig IV.1.1.1.1 et Fig IV.1.1.1.2 ci-dessous représentent les régressions linéaires et non linéaires de différents modèles d'isothermes linéaires de Langmuir et de Freundlich.

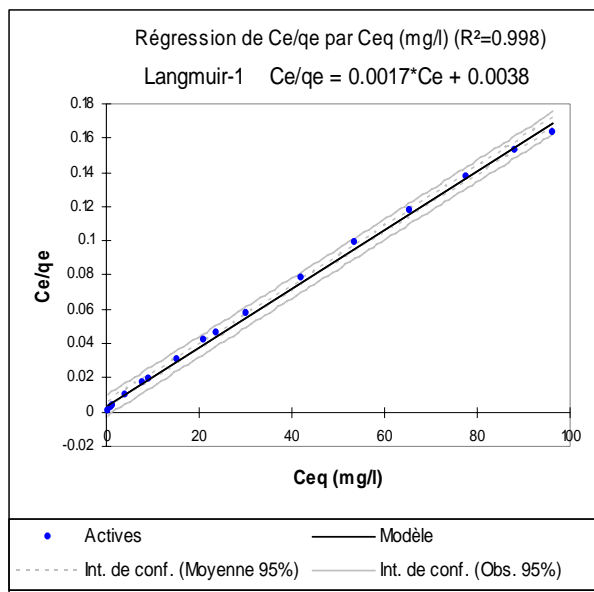


Fig IV.1.1.1.1

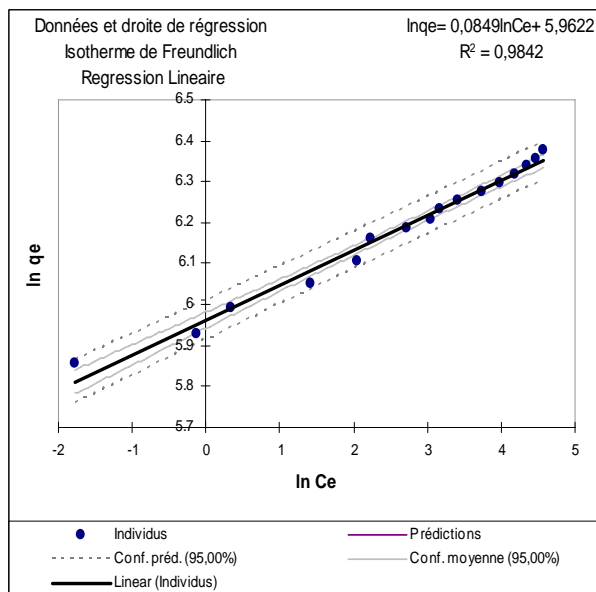


Fig IV.1.1.1.2

A ce stade de concentration importante et en fixant la dose à 8 g/l tous les valeurs du taux d'élimination RE tendent vers 100%. Cependant le pourcentage d'élimination augmente avec la diminution de la concentration initiale. Des régressions linéaires et non linéaires étaient utilisées afin de déterminer les coefficients de déterminations.

L'application du modèle d'isotherme linéaire de Langmuir Type-I pour le système montre une capacité maximale d'adsorption q_m la plus élevée qui est de 588.23 mg/g et un coefficient de détermination R^2 proche de l'unité, les fonctions d'erreurs tels que le Chi-square et le RMSE ne sont pas élevés mais par contre l'APE est significative et égale à 61.733% la constante de Langmuir b est de 0.4473 l/mg.

L'équation du modèle est : $C_e/q_e = 0.0017 \cdot C_e + 0.0038$

L'ordre des modèles est comme suit : Type-I, Type-II, Type III et Type IV.

Le modèle de Langmuir présente une adsorption en monocouche et ne prévoit pas d'interaction entre les molécules adsorbées sa caractéristique essentielle est exprimée par une constante sans dimension appelée facteur de séparation ou aussi le paramètre d'équilibre R_L . Selon la Fig IV.1.1.1.6 Les valeurs de ce facteur sont tous entre $0 < R_L < 1$ indiquant que les processus sont favorables.

Le modèle d'isotherme linéaire de Freundlich a été aussi vérifié en utilisant les méthodes de moindres carrés et l'analyse de régression et des programmes d'Excel.

L'équation du modèle de Freundlich est : $\ln q_e = 5.962 + 0.084 \cdot \ln C_e$

Le coefficient de détermination obtenu dans le modèle de Freundlich est égal à 0.984 ce qui est très élevé ceci indique une bonne corrélation entre $\ln q_e$ et $\ln C_e$

pour la première fois la constante de Freundlich n est au-delà du domaine d'une bonne capacité d'adsorption (2-10) cette fois-ci elle est égale à 11.7807 l'énergie d'adsorption est très importante elle est de 388.4653 mg/g.

Ce modèle de Freundlich est valide et peut décrire les données d'équilibre sauf que le modèle de Langmuir Type-I possède un coefficient de détermination $R^2 = 0.998$ et une capacité d'adsorption énorme égale à 588.23 mg/g impliquant qu'il est très favorable.

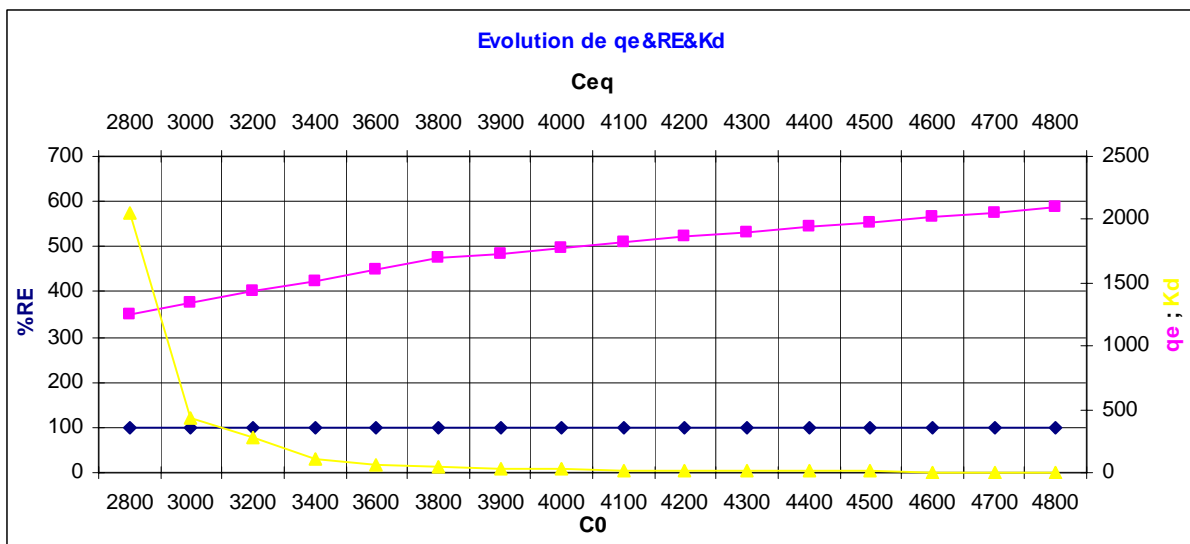


Fig IV.1.1.1.3 Evolution de q_e & RE & K_d

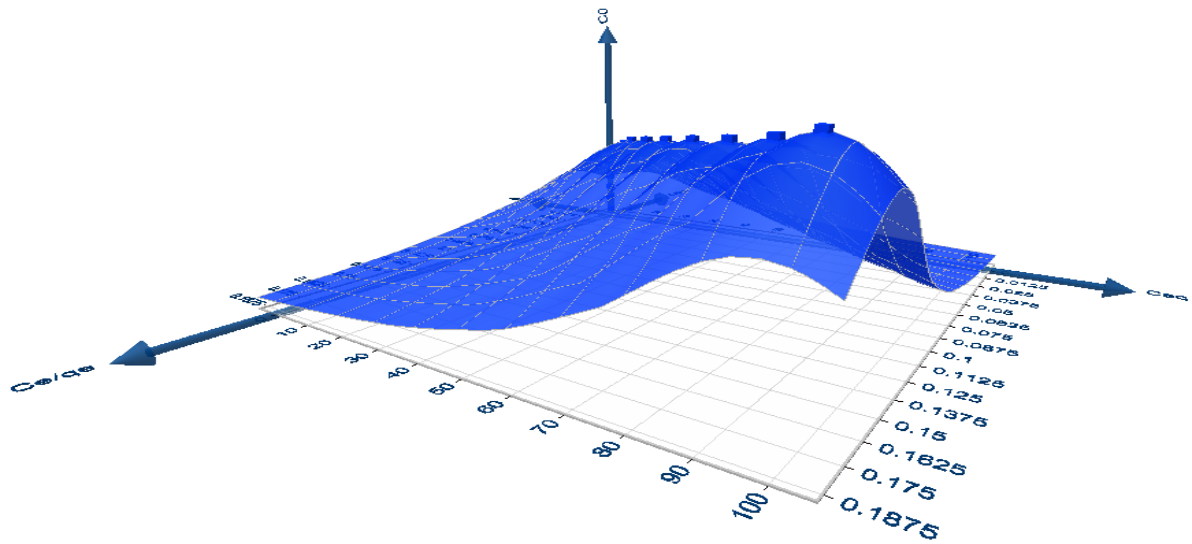


Fig IV.1.1.1.4 Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir Type-I en 3D

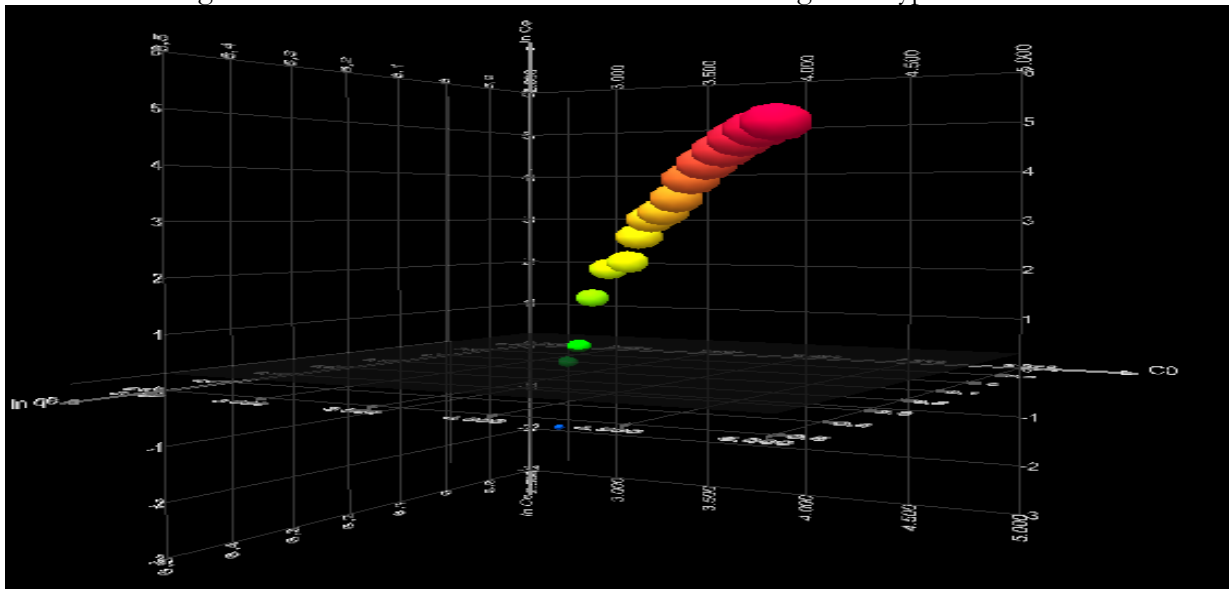


Fig IV.1.1.1.5 Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich en 3D

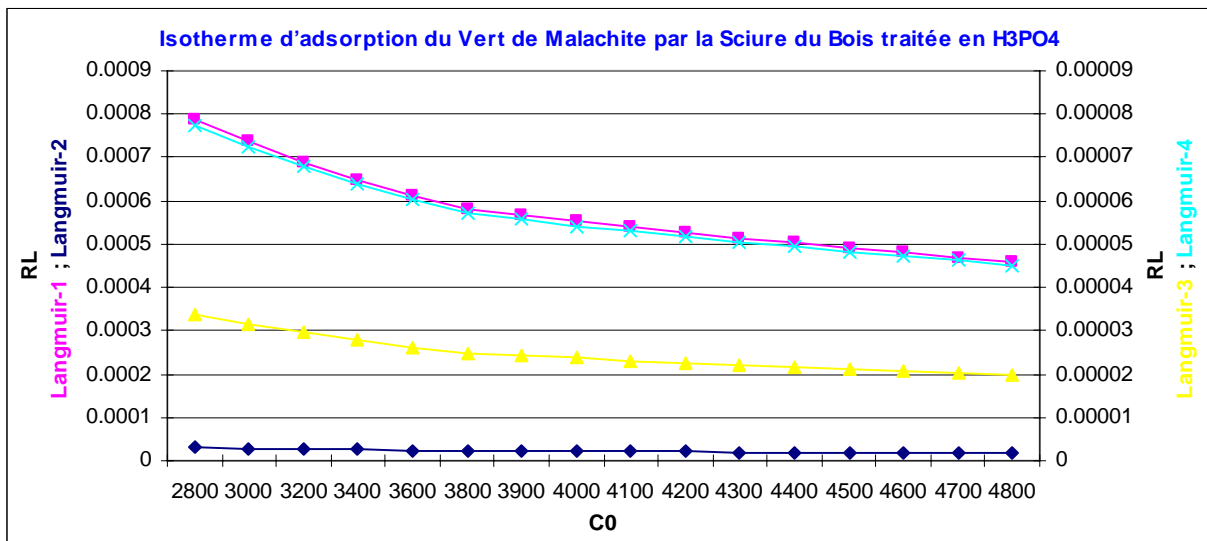


Fig IV.1.1.1.6 Facteur de Séparation

IV.1.1.2 Isotherme d'adsorption du Vert de Malachite par la Sciure du Bois traitée en KOH

Après pyrolyse la Sciure du Bois est activée chimiquement par KOH puis utilisé pour éliminer le Vert de Malachite à partir des solutions aqueuses, Les quatre modèles d'isothermes linéaires de Langmuir et un modèle linéaire de Freundlich ont été appliqués pour la présente étude pour estimer les différents paramètres des modèles en tenons comptes de l'analyse des fonctions d'erreurs, toutes ces valeurs sont présenter dans les tableaux ci-dessous.

Tableau IV.1.1.2.1 Résultats des isothermes d'adsorption du V/M par S.B traitée en KOH
PH=6 t=2h

m	Dose	C ₀	C _{eq}	%RE	q _e	C _e /q _e	1/q _e	1/C _e	q _e /C _e	ln q _e	ln C _e
0.2	8	1000	1.63	99.83	124.79	0.013	0.008	0.612	76.42	4.827	0.489
0.2	8	1400	1.59	99.88	174.8	0.009	0.0057	0.626	109.52	5.164	0.464
0.2	8	1900	4.12	99.78	236.98	0.017	0.0042	0.242	57.53	5.468	1.416
0.2	8	2000	2.59	99.87	249.67	0.01	0.004	0.385	96.17	5.52	0.952
0.2	8	2500	5.91	99.76	311.76	0.019	0.0032	0.169	52.77	5.742	1.777
0.2	8	2800	9.63	99.65	348.79	0.027	0.0028	0.104	36.21	5.854	2.265
0.2	8	2900	15.36	99.47	360.58	0.042	0.00277	0.065	23.46	5.888	2.732
0.2	8	3000	20.41	99.32	372.45	0.055	0.00268	0.049	18.24	5.92	3.016
0.2	8	3100	25.46	99.18	384.31	0.066	0.0026	0.039	15.09	5.951	3.237
0.2	8	3200	42.66	98.66	394.66	0.108	0.0025	0.023	9.25	5.978	3.753
0.2	8	3400	48.39	98.57	418.95	0.115	0.00238	0.02	8.65	6.038	3.879
0.2	8	3500	63.76	98.18	429.53	0.148	0.00233	0.015	6.73	6.063	4.155
0.2	8	3600	70.64	98.03	441.17	0.16	0.00226	0.014	6.24	6.089	4.258
0.2	8	800	0.52	99.93	99.93	0.005	0.01	1.912	191.08	4.604	-0.65

IV.1.1.2.1 Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir

Tableau IV.1.1.2.2 Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir

Modèle	R ²	b (l/mg)	q _m (mg/g)	χ ²	RMSE	APE
Etude du q _e en fonction du C _{eq} q _e = 3.7481*C _e + 226.88	0.636	NA	NA	238.44	71.67	27.239
Etude du C _e /q _e en fonction du C _{eq} Isotherme Linéaire de Langmuir-1 C _e /q _e = 0.0022*C _e + 0.0072	0.997	0.3093	448.7875	0.003	0.0028	11.1538
Etude 1/q _e en fonction de 1/C _e Isotherme Linéaire de Langmuir-2 1/q _e = 0.0043*1/C _e + 0.0026	0.871	0.6102	377.8089	0.0018	0.00088	11.608
Etude q _e en fonction de q _e /C _e Isotherme Linéaire de Langmuir-3 q _e = -1.9454*q _e /C _e + 408.9	0.816	0.5140	408.903	204.589	50.921	18.0079
Etude q _e /C _e en fonction de q _e Isotherme Linéaire de Langmuir-4 q _e /C _e = -0.4198*q _e + 180.91	0.816	0.4197	430.9757	98.1148	23.653	44.7036

Avec, V volume de l'adsorbat (ml), m masse de l'adsorbat (g), C_0 concentration initiale de l'adsorbat (mg/l), C_{eq} concentration à l'équilibre de l'adsorbat (mg/l), $1/n$ constante de Freundlich indiquant l'intensité de l'adsorption, K_F constante de Freundlich correspondante à l'énergie d'adsorption (mg/g), q_e la quantité de substance adsorbée par unité de masse de l'adsorption (mg/g), q_m capacité maximale d'adsorption en (mg/g), b constante de Langmuir correspondant à l'énergie d'adsorption (l/mg), χ^2 Chi-square et RE est le taux d'élimination (removal efficiency) qui est égale à $\%RE = (C_0 - C_{eq}) / C_0$.

IV.1.1.2.2 Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich

Tableau IV.1.1.2.3 Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich

Modèle Linéaire de Freundlich	Paramètres		P-value	Erreurs	
	$\ln q_e = 5.003 + 0.2854 * \ln C_e$	$\ln K_F$	5.0034	3.58E-16	χ^2
$1/n$		0.2854	8.88E-07		
K_F		148,8031	R^2	APE	2.495
n		3,5006	0.875	RMSE	0.175

Les figures Fig IV.1.1.2.1 et Fig IV.1.1.2.2 ci-dessous représentent les régressions linéaires et non linéaires de différents modèles d'isothermes linéaires de Langmuir et de Freundlich.

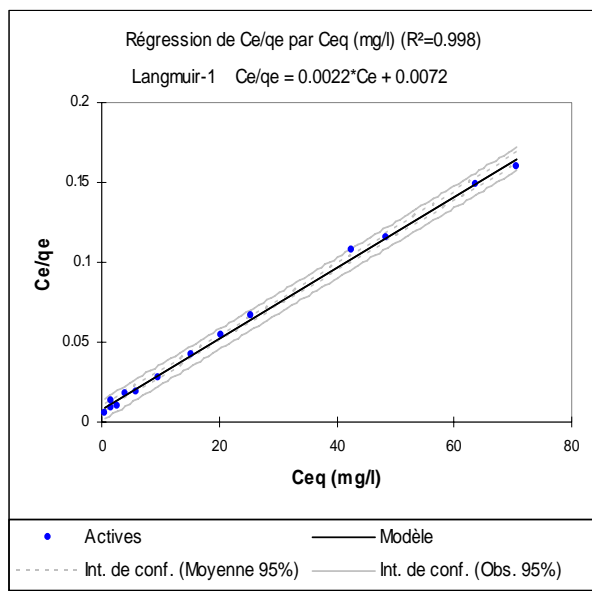


Fig IV.1.1.2.1

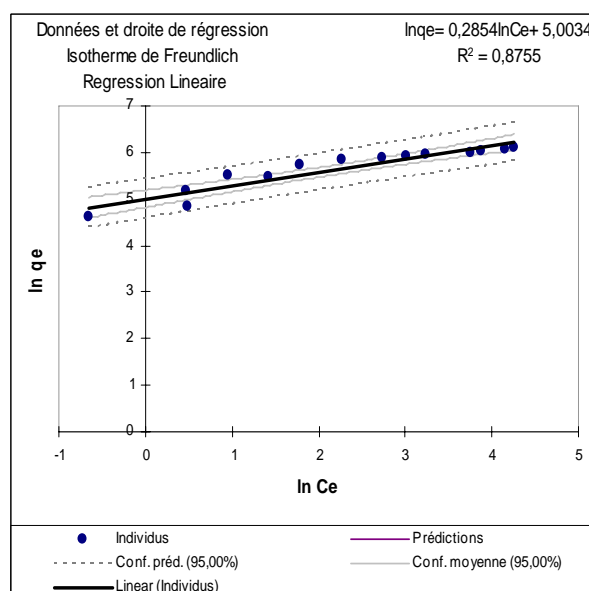


Fig IV.1.1.2.2

Très légère variation du taux d'élimination RE en ce fixant la dose à 8 g/l et une concentration initiale C_0 de 800 mg/l le taux d'élimination RE est relativement le plus élevé 99.93%. La capacité maximale d'adsorption q_m la plus importante est égale à 454.54 mg/g obtenue a partir du modèle Type-I ce dernier possède un coefficient de détermination R^2 proche à l'unité et des erreurs plus aux moins faibles la constante de Langmuir de modèle est de 0.3055 et son équation est : $C_e/q_e = 0.0022 * C_e + 0.0072$

Le modèle Type III et Type IV possède le même coefficient de détermination R^2 , la capacité maximale d'adsorption de dernier est supérieure par rapport au modèle Type III par contre le coefficient de détermination du modèle du Type-II est relativement supérieur a ces derniers qui est égale à 0.871 et une capacité maximale d'adsorption de 377.8 mg/g et des erreurs négligeables.

Le modèle d'isotherme linéaire de Freundlich donne une constante égale à 3.5033 indiquant une bonne adsorption ; et une bonne énergie d'adsorption égale à 148.9177 mg/g et un coefficient de détermination plus au moins acceptable égale à 0.875 ; les erreurs trouvées sont minimales.

L'équation du modèle est: $\ln q_e = 5.003 + 0.2854 * \ln C_e$

Étant donné que le modèle de Langmuir Type-I possède un coefficient de détermination R^2 égale à 0.997 et une capacité maximale d'adsorption égale à 454.54 mg/g on peut conclure qu'il décrit bien les données expérimentales et calculer donc il est valide pour ce type d'isotherme. La caractérisation de l'isotherme de Langmuir par le paramètre d'équilibre, R_L montre selon la Fig IV.1.1.2.6 que ces valeurs sont tous entre $0 < R_L < 1$ indiquant que les processus sont favorables.

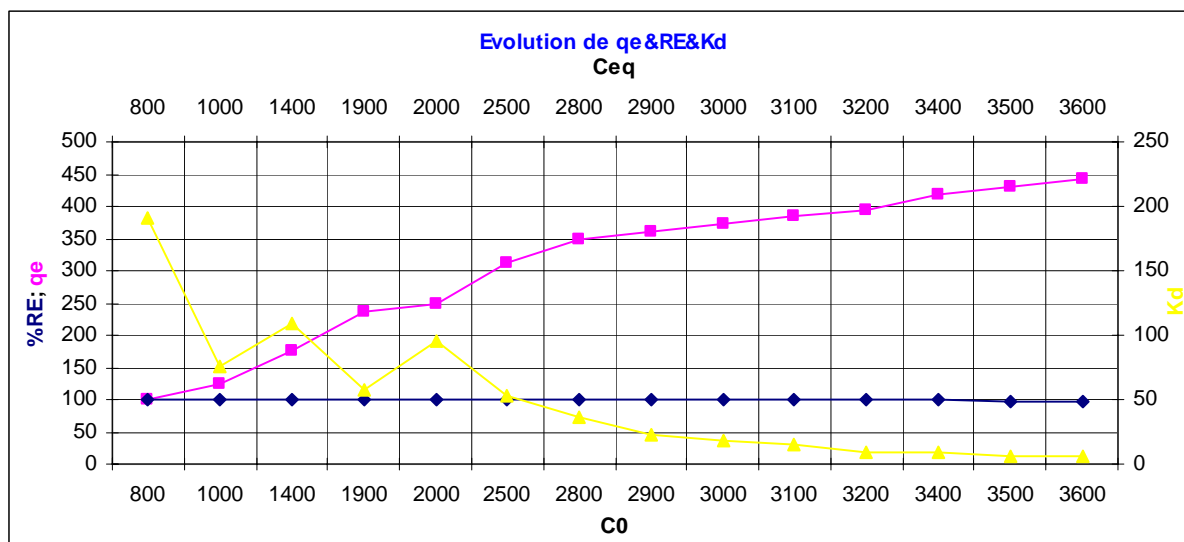


Fig IV.1.1.2.3 Evolution de q_e & RE & K_d

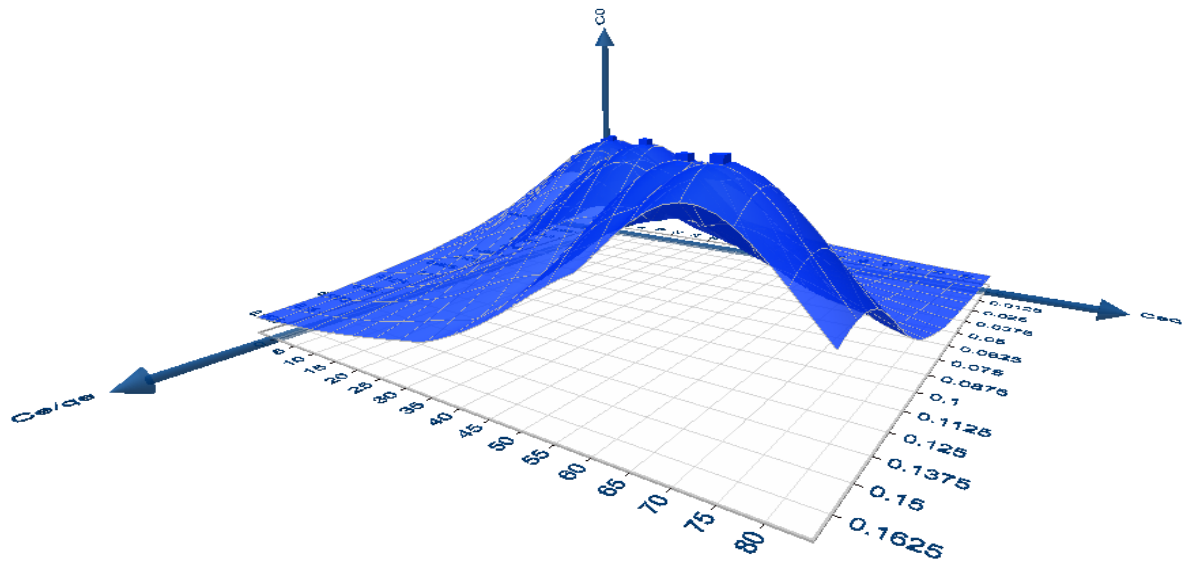


Fig IV.1.1.2.4 Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir Type-I en 3D

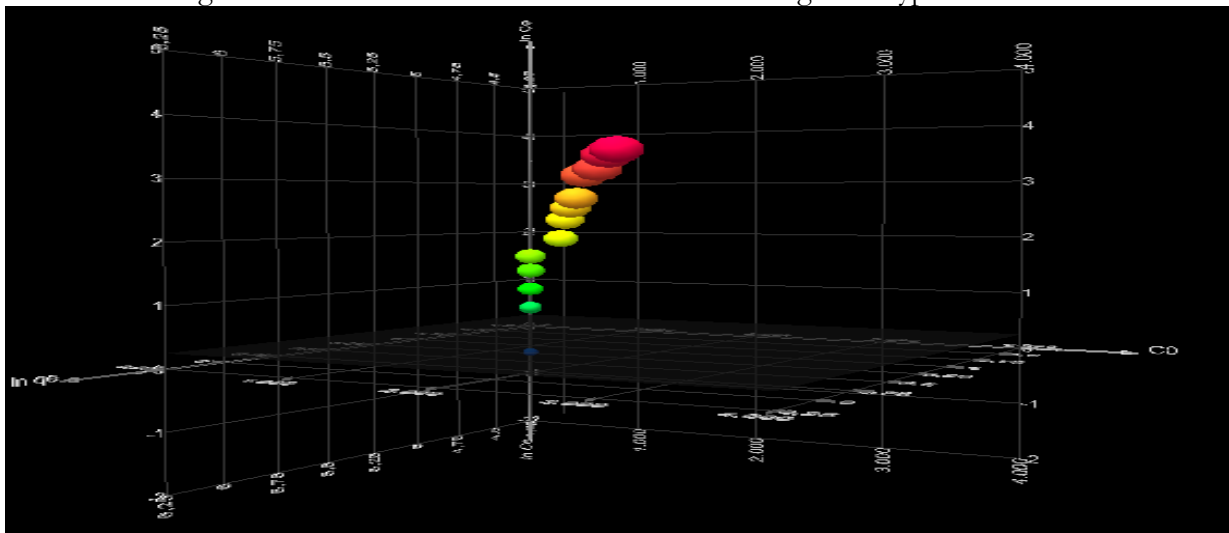


Fig IV.1.1.2.5 Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich en 3D

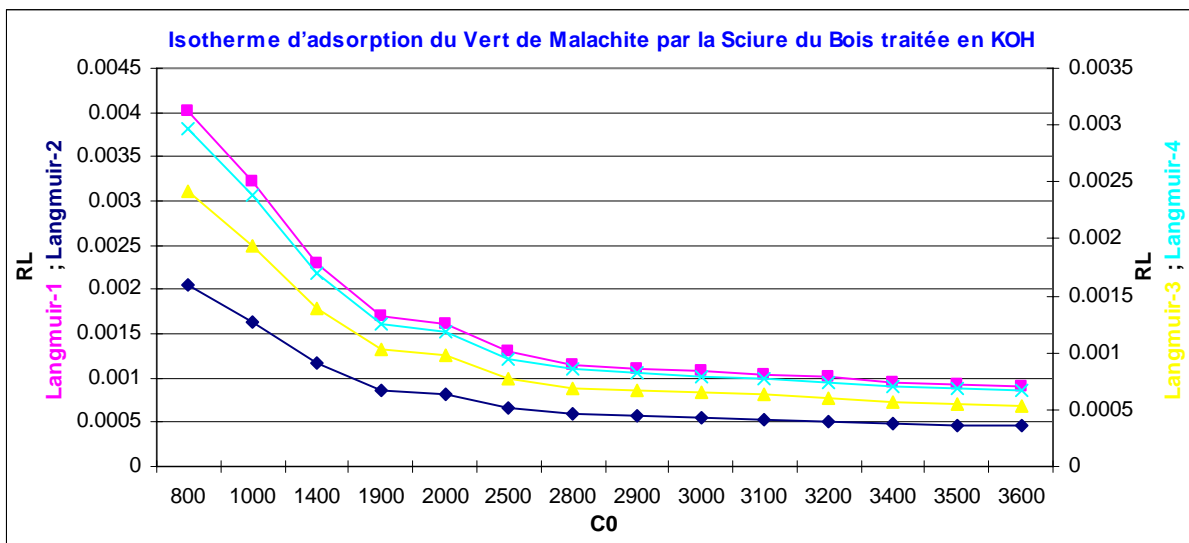


Fig IV.1.1.2.6 Facteur de Séparation

IV.1.1.3 Isotherme d'adsorption du Vert de Malachite par la Sciure du Bois traitée en $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$

La Sciure du Bois traitée en $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ a été utilisée pour éliminer le Vert de Malachite à partir des solutions aqueuses, l'adsorbant a été obtenu après par pyrolyse et activation chimique par $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$. Les différents paramètres des modèles d'isothermes linéaires de Langmuir et de Freundlich ont été estimés afin de valider les modèles.

Tableau IV.1.1.3.1 Résultats des isothermes d'adsorption du V/M par S.B traitée en $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$
PH=6 t=2h

m	Dose	C_0	C_{eq}	%RE	q_e	C_e/q_e	$1/q_e$	$1/C_e$	q_e/C_e	$\ln q_e$	$\ln C_e$
0.2	8	400	1.72	99.56	49.78	0.03	0.02	0.58	28.86	3.908	0.542
0.2	8	600	7.76	98.7	74.03	0.1	0.013	0.13	9.54	4.304	2.049
0.2	8	800	47.59	94.05	94.05	0.5	0.01	0.02	1.97	4.544	3.863
0.2	8	1200	108.94	90.92	136.38	0.79	0.0073	0.009	1.25	4.915	4.691
0.2	8	1300	176.6	86.42	140.42	1.25	0.0071	0.0056	0.79	4.945	5.174
0.2	8	1400	172.01	87.71	153.49	1.12	0.0065	0.0058	0.89	5.034	5.148
0.2	8	1600	258.03	83.87	167.74	1.54	0.0059	0.0038	0.65	5.122	5.553
0.2	8	1800	280.96	84.39	189.88	1.48	0.0052	0.0035	0.67	5.246	5.638
0.2	8	2000	433.94	78.3	195.75	2.21	0.0051	0.0023	0.45	5.277	6.073
0.2	8	2200	384.17	82.53	226.98	1.69	0.0044	0.0026	0.59	5.425	5.951
0.2	8	2400	567.66	76.34	229.04	2.48	0.0043	0.0017	0.4	5.434	6.342
0.2	8	2600	642.2	75.29	244.72	2.62	0.0041	0.0015	0.38	5.5	6.465
0.2	8	2800	837.15	70.1	245.35	3.41	0.004	0.0012	0.29	5.503	6.73
0.2	8	3000	986.24	67.12	251.72	3.92	0.0039	0.001	0.25	5.528	6.894

IV.1.1.3.1 Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir

Tableau IV.1.1.3.2 Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir

Modèle	R^2	b (l/mg)	q_m (mg/g)	χ^2	RMSE	APE
Etude du q_e en fonction du C_{eq} $q_e = 0.1928 * C_e + 103.85$	0.806	NA	NA	75.636	30.445	20.182
Etude du C_e/q_e en fonction du C_{eq} Isotherme Linéaire de Langmuir-1 $C_e/q_e = 0.0037 * C_e + 0.3506$	0.976	0.0106	268.4191	0.660	0.186	91.409
Etude $1/q_e$ en fonction de $1/C_e$ Isotherme Linéaire de Langmuir-2 $1/q_e = 0.0264 * 1/C_e + 0.0059$	0.795	0.2220	170.4339	0.008	0.0021	25.246
Etude q_e en fonction de q_e/C_e Isotherme Linéaire de Langmuir-3 $q_e = -5.8438 * q_e/C_e + 191.01$	0.461	0.1711	191.009	204.041	50.791	31.382
Etude q_e/C_e en fonction de q_e Isotherme Linéaire de Langmuir-4 $q_e/C_e = -0.0789 * q_e + 16.873$	0.461	0.0788	213.969	26.41	5.9	455.549

Avec V volume de l'adsorbant (ml) , m masse de l'adsorbant (g) , C_0 concentration initiale de l'adsorbant (mg/l) , C_{eq} concentration à l'équilibre de l'adsorbant (mg/l) , $1/n$ constante de Freundlich indiquant l'intensité de l'adsorption , K_F constante de Freundlich correspondante à l'énergie d'adsorption (mg/g) , q_e la quantité de substance adsorbée par unité de masse de l'adsorbant (mg/g) , q_m capacité maximale d'adsorption en (mg/g) , b constante de Langmuir correspondant à l'énergie d'adsorption (l/mg) , χ^2 Chi-square et RE est le taux d'élimination (removal efficiency) qui est égale à $\%RE = (C_0 - C_{eq}) / C_0$

IV.1.1.3.2 Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich

Tableau IV.1.1.3.3 Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich

Modèle Linéaire de Freundlich	Paramètres		P-value	Erreurs	
	$\ln q_e = 3.695 + 0.266 * \ln C_e$	$\ln K_F$	3.6954	2.43E-15	χ^2
$1/n$		0.2664	1.83E-10		
K_F		40,2429	R²	APE	1.363
n		3,7515	0.969	RMSE	0.089

Les figures Fig IV.1.1.3.1 et Fig IV.1.1.3.2 ci-dessous représentent les régressions de différents modèles d'isothermes linéaires de Langmuir et de Freundlich.

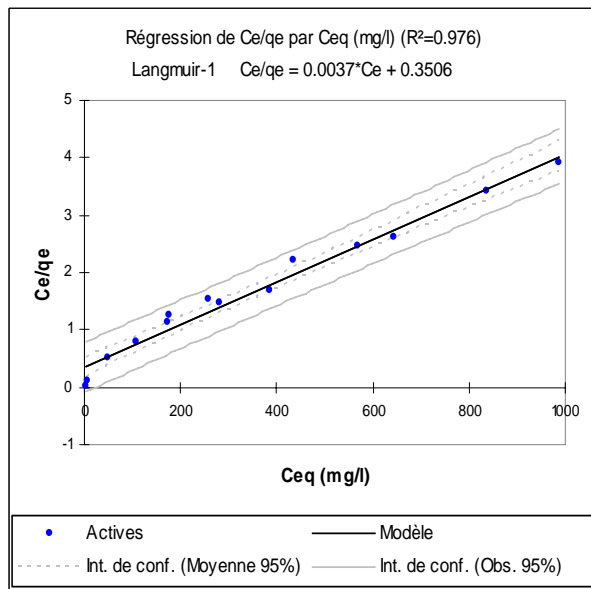


Fig IV.1.1.3.1

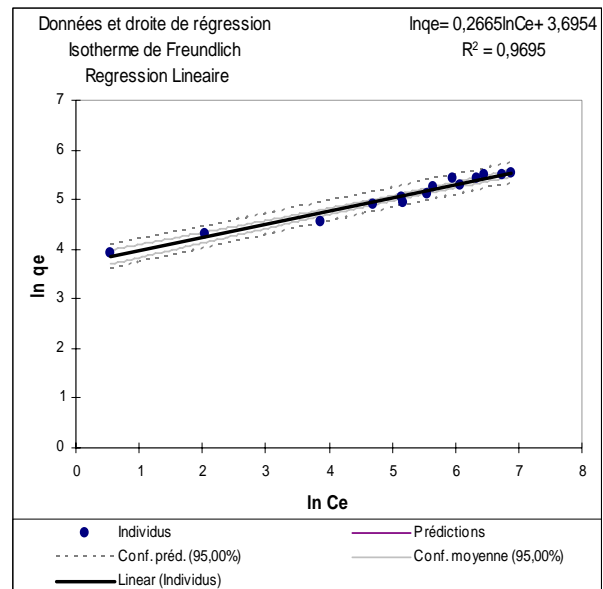


Fig IV.1.1.3.2

On remarque que le pourcentage d'élimination est inversement proportionnel à la concentration initiale un taux supérieure à 90% est obtenu pour des concentrations initiales inférieurs à 1200 mg/l. Une concentration initiale de 400 mg/l prévoit un coefficient de distribution le plus élevé qui est de 28.86 l/g.

Le modèle Type-I possède un coefficient de détermination R^2 égale à 0,976 et une capacité maximale d'adsorption q_m de 270.27 mg/g ces deux derniers sont les plus important par rapport aux autres modèles ce qui nous permet de dire que ce modèle est valide et décrit bien les données d'équilibre son équation est :

$$C_e/q_e = 0.0037 * C_e + 0.3506$$

L'ordre des modèles reste aussi inchangeable comme suit : Type-I, Type-II, Type III et Type IV.

Le coefficient de détermination du modèle d'isotherme linéaire de Freundlich est de 0.969 il est très significative, les erreurs sont négligeables la capacité d'adsorption est de 40.2612 mg/g et la constante n de l'intensité d'adsorption est égale à 3.7526 ce qui implique une bonne capacité d'adsorption.

$$L'équation \text{ est comme suit : } \ln q_e = 3.695 + 0.266 * \ln C_e$$

La validité de l'isotherme est exprimée par celui de Freundlich et aussi de Langmuir Type-I ce dernier possède un coefficient de détermination R^2 égale à 0,976 et une capacité maximale d'adsorption q_m de 270.27 mg/g.

Selon la Fig IV.1.1.3.6 Les valeurs du facteur de séparation sont toutes comprises entre $0 < R_L < 1$ indiquant que les processus des isothermes linéaires de Langmuir sont favorables.

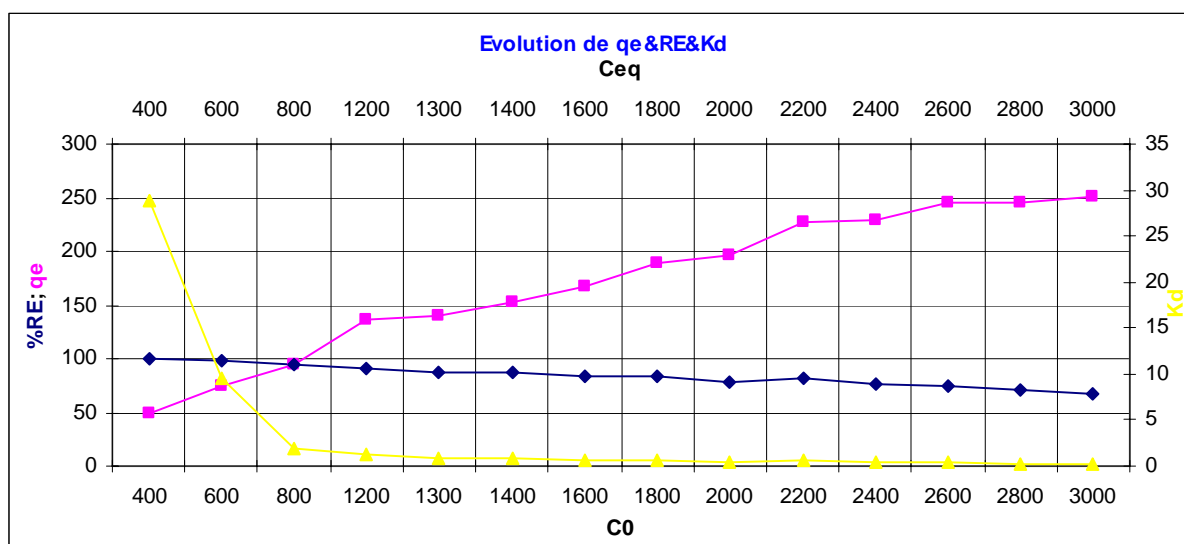


Fig IV.1.1.3.3 Evolution de q_e & RE & K_d

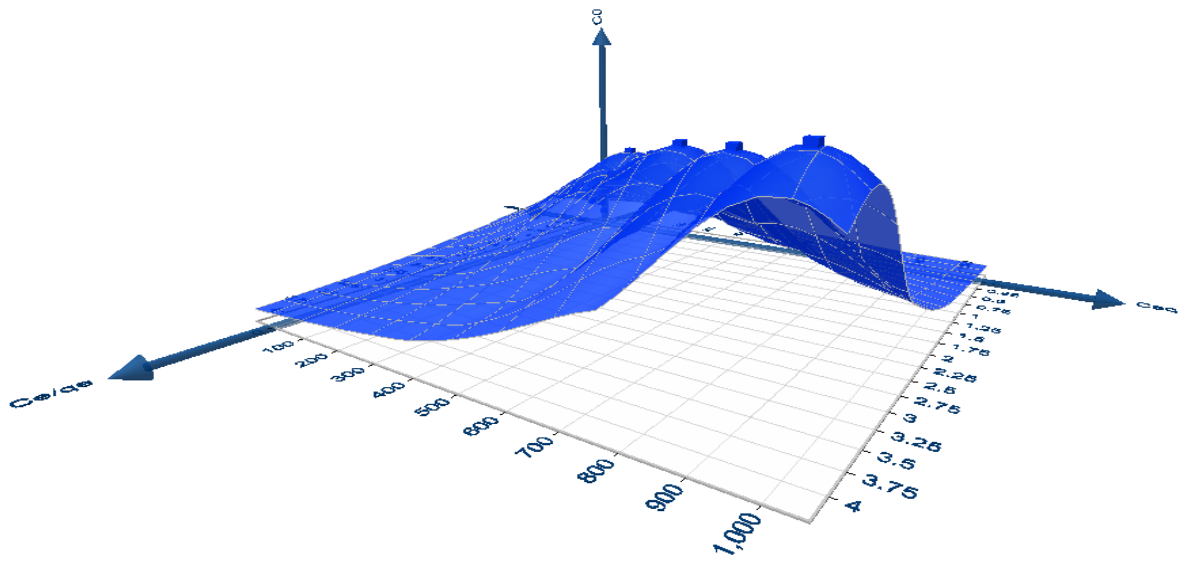


Fig IV.1.1.3.4 Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir Type-I en 3D

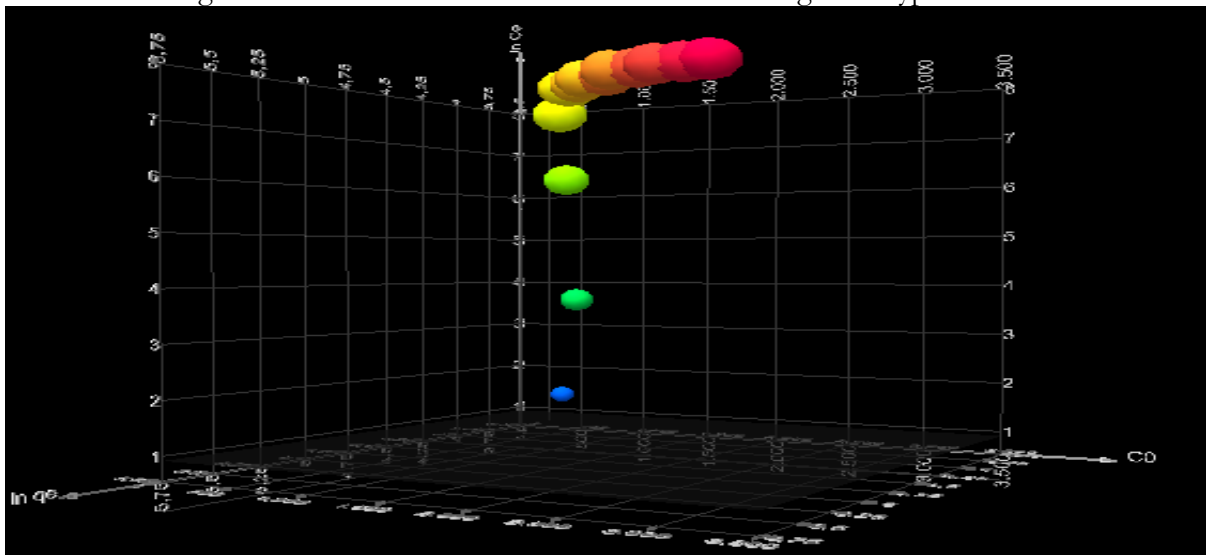


Fig IV.1.1.3.5 Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich en 3D

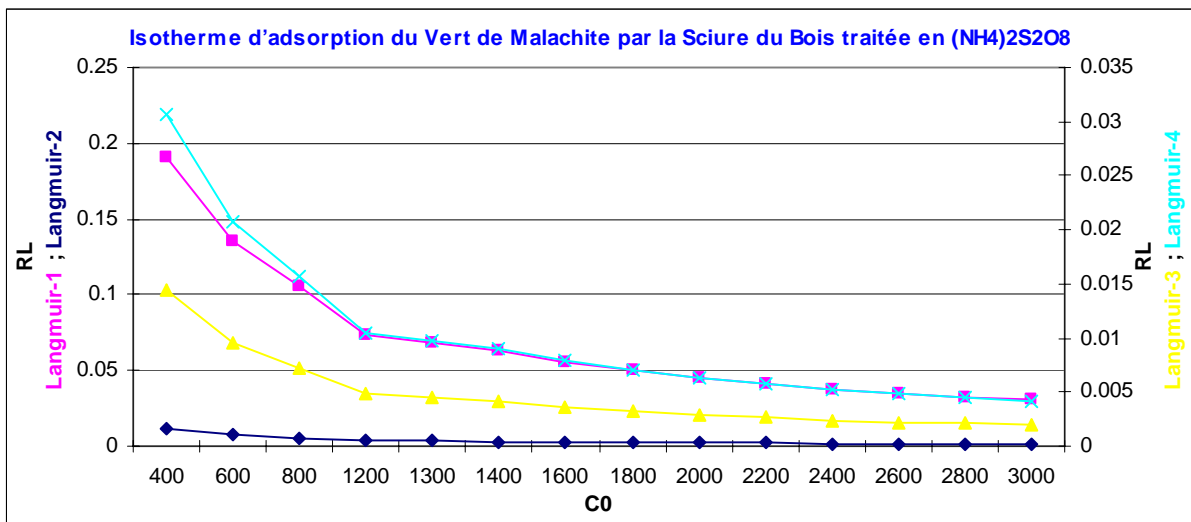


Fig IV.1.1.3.6 Facteur de Séparation

IV.1.1.4 Isotherme d'adsorption du Vert de Malachite par le Charbon actif de Merck

Des modèles d'isothermes linéaires de Langmuir et de Freundlich ont été appliqués pour l'élimination du Vert de Malachite à partir des solutions aqueuses par le Charbon actif de Merck, les différents paramètres des modèles ont été estimés comme présentés dans les tableaux ci-dessous.

Tableau IV.1.1.4.1 Résultats des isothermes d'adsorption du V/M par le Charbon actif de Merck
PH=6 t=2h

m	Dose	C ₀	C _{eq}	%RE	q _e	C _e /q _e	1/q _e	1/C _e	q _e /C _e	ln q _e	ln C _e
0.2	8	700	0.29	99.96	87.46	0.0033	0.011	3.45	301.6	4.471	-1.238
0.2	8	900	0.95	99.89	112.38	0.0084	0.009	1.05	118.29	4.722	-0.051
0.2	8	1100	1.36	99.87	137.33	0.0099	0.007	0.73	100.98	4.922	0.307
0.2	8	1300	3.83	99.7	162.02	0.0236	0.0061	0.26	42.3	5.088	1.343
0.2	8	1600	24.54	98.46	196.93	0.1246	0.0051	0.04	8.02	5.283	3.2
0.2	8	2000	412.38	79.38	198.45	2.0779	0.005	0.0024	0.48	5.291	6.022
0.2	8	2400	894.49	62.73	188.19	4.7531	0.0053	0.0011	0.21	5.237	6.796
0.2	8	2800	1124	59.85	209.5	5.3651	0.0047	0.0009	0.18	5.345	7.025

IV.1.1.4.1 Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir

Tableau IV.1.1.4.2 Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir

Modèle	R ²	b (l/mg)	q _m (mg/g)	χ ²	RMSE	APE
Etude du q _e en fonction du C _{eq} q _e = 0.0635*C _e + 141.99	0.421	NA	NA	55.996	36.885	19.285
Etude du C _e /q _e en fonction du C _{eq} Isotherme Linéaire de Langmuir-1 C _e /q _e = 0.005*C _e + 0.0168	0.996	0.2963	201.2596	0.0625	0.1539	100.76
Etude 1/q _e en fonction de 1/C _e Isotherme Linéaire de Langmuir-2 1/q _e = 0.0019*1/C _e + 0.0054	0.911	2.8111	184.3302	0.000489	0.00075	7.898
Etude q _e en fonction de q _e /C _e Isotherme Linéaire de Langmuir-3 q _e = 189.9705-0.3976*q _e /C _e	0.853	2.4782	190.128	15.35	18.45	10.27
Etude q _e /C _e en fonction de q _e Isotherme Linéaire de Langmuir-4 q _e /C _e = 417.8033-2.1438*q _e	0.853	2.1196	194.9652	-6.53	42.28	3162.95

Avec, V volume de l'adsorbant (ml), m masse de l'adsorbant (g), C₀ concentration initiale de l'adsorbant (mg/l), C_{eq} concentration à l'équilibre de l'adsorbant (mg/l), 1/n constante de Freundlich indiquant l'intensité de l'adsorption, K_F constante de Freundlich correspondante à l'énergie d'adsorption (mg/g), q_e la quantité de substance adsorbée par unité de masse de l'adsorbant (mg/g), q_m capacité maximale d'adsorption en (mg/g), b constante de Langmuir correspondant à l'énergie d'adsorption (l/mg), χ² Chi-square et RE est le taux d'élimination (removal efficiency) qui est égale à %RE=(C₀-C_{eq})/C₀.

IV.1.1.4.2 **Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich**

Tableau IV.1.1.4.3 Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich

Modèle Linéaire de Freundlich	Paramètres		P-value	Erreurs	
	$\ln q_e = 4.801 + 0.083 \cdot \ln C_e$	$\ln K_F$	4.8015	1.44E-09	χ^2
$1/n$		0.0831	0.004394		
K_F		121,6504	R^2	APE	2.4474
n		12,0173	0.767	RMSE	0.1642

Les figures Fig IV.1.1.4.1 et Fig IV.1.1.4.2 ci-dessous représentent les régressions linéaires et non linéaires de différents modèles d'isothermes linéaires de Langmuir et de Freundlich.

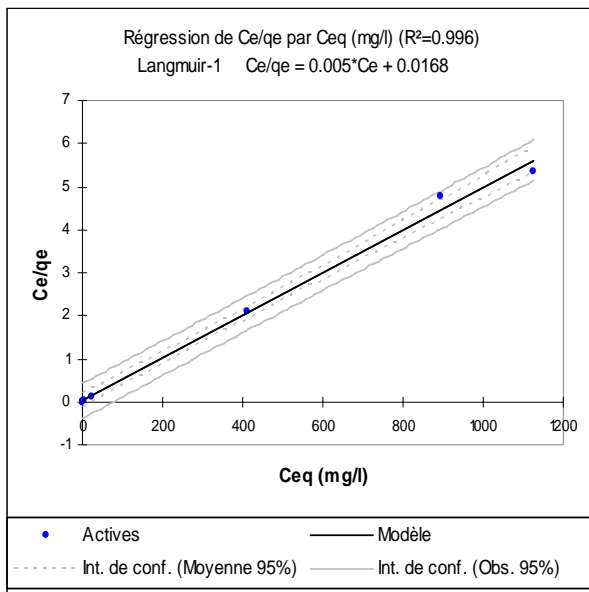


Fig IV.1.1.4.1

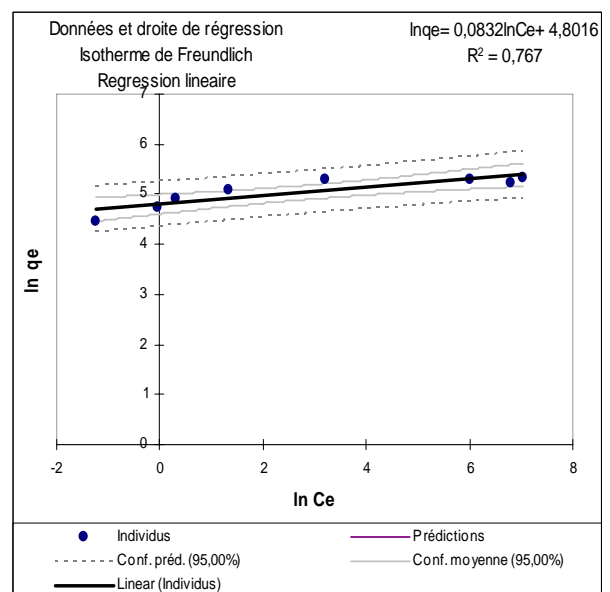


Fig IV.1.1.4.2

On remarque que le coefficient de distribution a atteint une valeur de 301.6 l/g lorsque la concentration initiale était de 700 mg/l d'où il est inversement proportionnel à ces concentrations.

A une dose fixe égale à 8 g/l, Plus la concentration initiale augmente plus le taux d'élimination RE décroît. Le modèle Type-I possède un coefficient de détermination R^2 qui est proche de l'unité et suite à sa capacité maximale d'adsorption q_m qui est égale à 201.26 mg/g qui est en plus élevée comparativement aux autres on peut conclure que ce modèle est valide et décrit les données d'équilibre la constante de ce modèle est de 0.2976 l/mg son équation est la suivante :
 $C_e/q_e = 0.005 \cdot C_e + 0.0168$

Les modèles Type III et Type IV présentent les mêmes valeurs du coefficient de détermination R^2 égale à 0.853 mais la capacité maximale d'adsorption q_m du dernier est légèrement supérieure au Type II.

L'ordre des isothermes selon la favorabilité est : Type-I, Type-II, Type III et Type IV

Les isothermes de Langmuir sont caractériser par le paramètre d'équilibre R_L son domaine est entre $0 < R_L < 1$ affirmant que les processus sont favorables et cela comme il est montrer dans la Fig IV.1.1.4.6.

L'équation du modèle de Freundlich est comme suit : $\ln q_e = 4.801 + 0.083 \cdot \ln C_e$

La constante de Freundlich n est hors du domaine d'une bonne capacité d'adsorption (2-10) elle est de 12.0252 cela dit que l'adsorption est très favorable, la capacité d'adsorption est de 121.699 mg/g et le coefficient de détermination R^2 est égale à 0.767 ce coefficient est inférieur par rapport au modèle de Langmuir Type-I qui est égale 0.996 et qui présente une bonne capacité d'adsorption, donc le Modèle de Langmuir Type-I décrit bien les données d'équilibre et il est valide pour cet isotherme d'adsorption du Vert de Malachite par le Charbon actif de Merck.

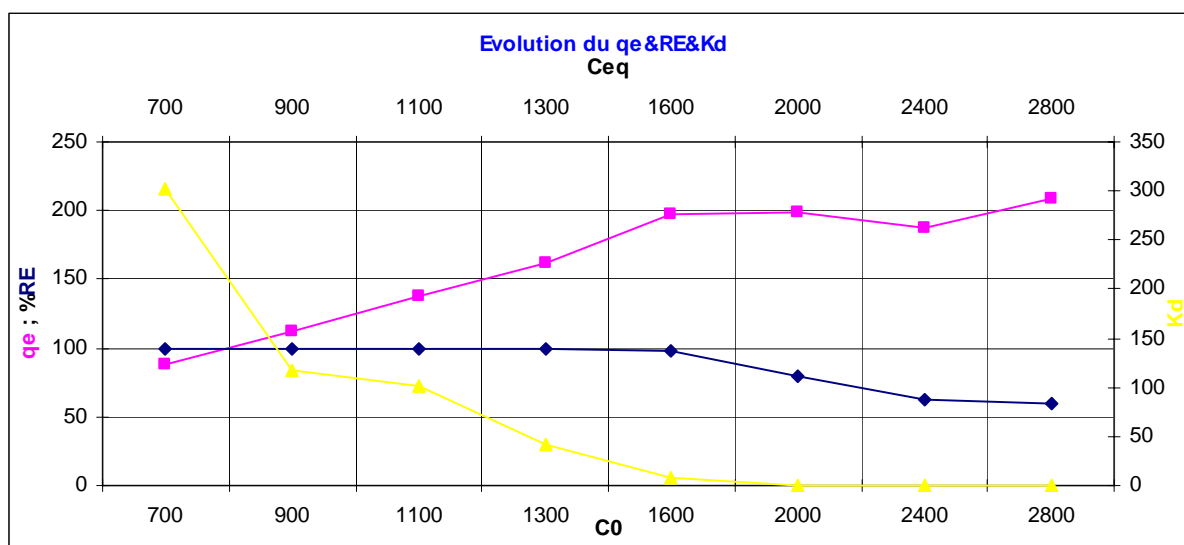


Fig IV.1.1.4.3 Evolution de q_e , R_L & K_d

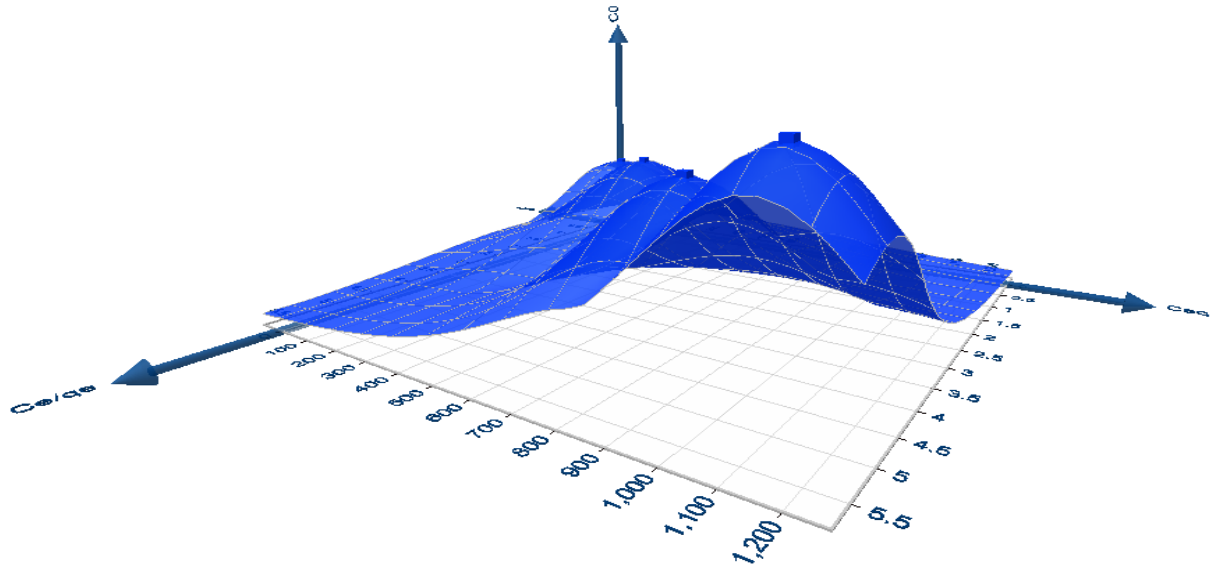


Fig IV.1.1.4.4 Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir Type-I en 3D

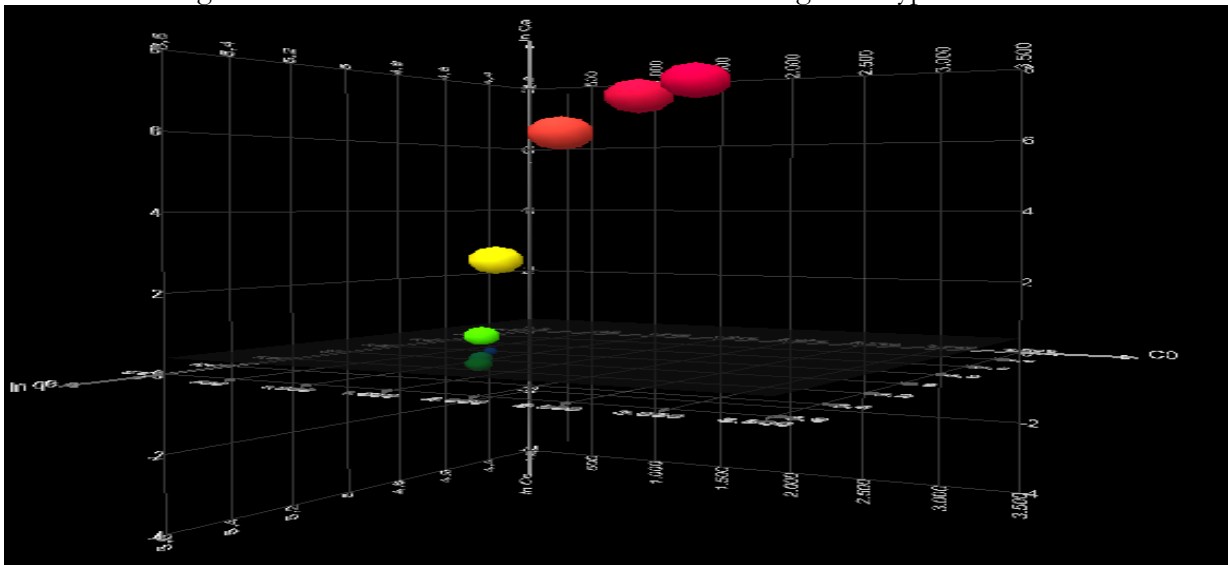


Fig IV.1.1.4.5 Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich en 3D

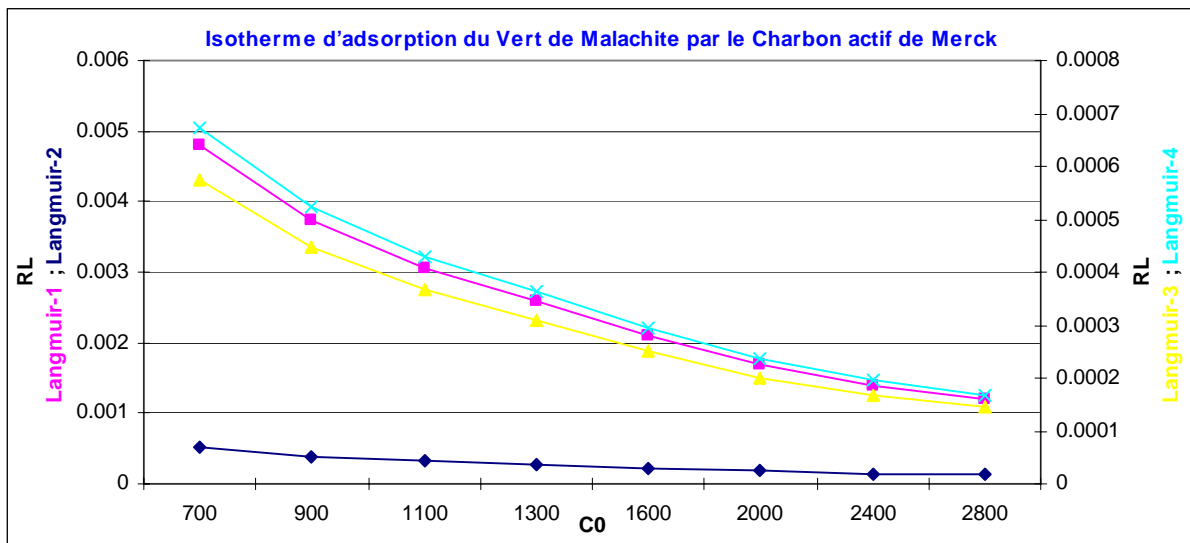


Fig IV.1.1.4.6 Facteur de Séparation

IV.1.2 ADSORPTION DU ROUGE DE NYLOSANE

IV.1.2.1 Isothermes d'adsorption du Rouge de Nylosane par les pépins de raisin activés chimiquement par le CaCl_2

Les pépins de raisins traitée en CaCl_2 ont été utilisés pour éliminer le Rouge de Nylosane à partir des solutions aqueuses, cette matière a été préparé par pyrolyse puis activée chimiquement par CaCl_2 . Les modèles d'isothermes linéaires de Langmuir et de Freundlich ont été appliqués pour la présente étude pour estimer les différents paramètres des modèles.

Tableau IV.1.2.1.1 Résultats des isothermes d'adsorption du Rouge de Nylosane par les pépins de raisin activés chimiquement par le CaCl_2 $m=0,2\text{g}$

C_0	C_{eq}	%RE	q_e	C_e/q_e	$1/q_e$	$1/C_e$	q_e/C_e	$\ln q_e$	$\ln C_e$
100	11.69	88.31	11.038	1.059	0.09	0.085	0.944	2.401	2.458
200	13.94	93.03	23.257	0.599	0.043	0.071	1.668	3.146	2.634
300	38.38	87.21	32.702	1.173	0.03	0.026	0.852	3.487	3.647
400	49.75	87.56	43.781	1.136	0.023	0.02	0.88	3.78	3.907
500	53.63	89.27	55.796	0.961	0.018	0.018	1.04	4.021	3.982
600	76.25	87.29	65.468	1.164	0.015	0.013	0.858	4.181	4.334
700	84.38	87.95	76.952	1.096	0.013	0.012	0.912	4.343	4.435
800	89.38	88.83	88.827	1.006	0.011	0.011	0.994	4.486	4.492
900	102.5	88.61	99.687	1.028	0.01	0.009	0.972	4.602	4.629
1000	113.8	88.63	110.781	1.026	0.009	0.008	0.974	4.707	4.734

IV.1.2.1.1 Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir

Tableau IV.1.2.1.2 Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir

Modèle	R^2	b (l/mg)	q_m (mg/g)	χ^2	RMSE	APE
Etude du q_e en fonction du C_{eq} $q_e = 0.9302 * C_e + 1.8877$	0.977	NA	NA	7.539	5.344	10.909
Etude du C_e/q_e en fonction du C_{eq} Isotherme Linéaire de Langmuir -1 $C_e/q_e = 0.0016 * C_e + 0.9266$	0.112	0.0017	642.3957	0.224	0.165	13.448
Etude $1/q_e$ en fonction de $1/C_e$ Isotherme Linéaire de Langmuir -2 $1/q_e = 0.8457 * 1/C_e + 0.0029$	0.874	0.0035	339.7532	0.012	0.0094	14.534
Etude q_e en fonction de q_e/C_e Isotherme Linéaire de Langmuir-3 $q_e = -40.6058 * q_e/C_e + 101.82$	0.084	0.0246	101.824	146.908	33.944	81.504
Etude q_e/C_e en fonction de q_e Isotherme Linéaire de Langmuir-4 $q_e/C_e = -0.0021 * q_e + 1.1362$	0.084	0.0021	545.9287	0.439	0.243	13.803

Avec, V volume de l'adsorbant (ml), m masse de l'adsorbant (g), C_0 concentration initiale de l'adsorbant (mg/l), C_{eq} concentration à l'équilibre de l'adsorbant (mg/l), $1/n$ constante de Freundlich indiquant l'intensité de l'adsorption, K_F constante de Freundlich correspondante à l'énergie d'adsorption (mg/g), q_e la quantité de substance adsorbée par unité de masse de l'adsorbant (mg/g), q_m capacité maximale d'adsorption en (mg/g), b constante de Langmuir correspondant à l'énergie d'adsorption (l/mg), χ^2 Chi-square et RE est le taux d'élimination (removal efficiency) qui est égale à $\%RE = (C_0 - C_{eq}) / C_0$.

IV.1.2.1.2 Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich

Tableau IV.1.2.1.3 Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich

Modèle Linéaire de Freundlich	Paramètres		P-value	Erreurs	
	$\ln q_e = 0.4515 + 0.8824 * \ln C_e$	$\ln K_F$	0.4515	0.170685	
$1/n$		0.8824	2.49E-06	χ^2	0.0869
K_F		1,5706	R²	APE	3.8146
n		1,1331	0.9453	RMSE	0.1806

Les figures Fig IV.1.2.1.1 et Fig IV.1.2.1.2 ci-dessous représentent les régressions linéaires et non linéaires de différents modèles d'isothermes linéaires de Langmuir et de Freundlich.

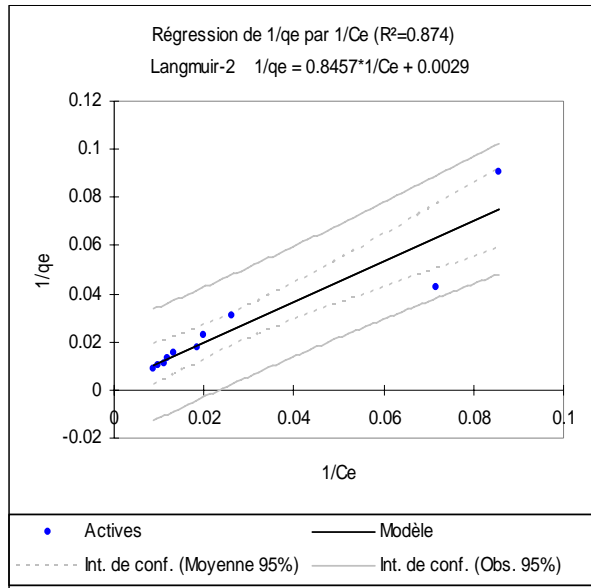


Fig IV.1.2.1.1

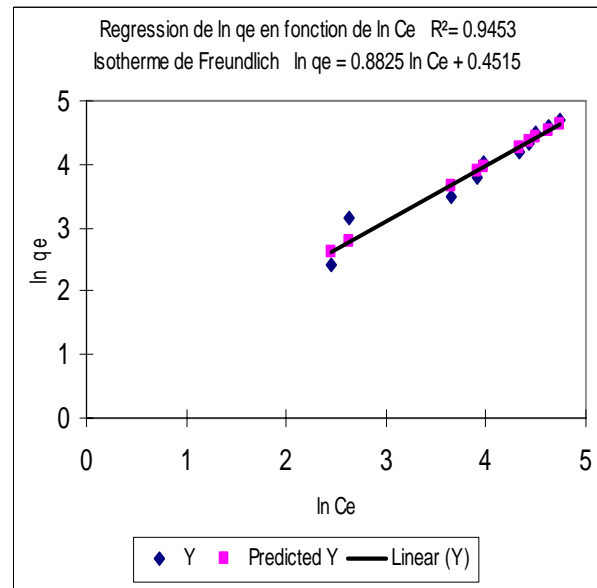


Fig IV.1.2.1.2

Les valeurs du coefficient de distribution K_d et le taux d'élimination RE trouver les plus élevées sont égales a 1.668 l/g et 93.03% respectivement et correspondent a une concentration initial de 200 mg/l, la quantité de substance adsorbée par unité de masse q_e correspondante est de 23.257 mg/g.

A l'exception du modèle Type-II tous les autres présentent un coefficient de détermination R^2 très bas disant négligeable. Donc le seule modèle qui est valide et qui peut décrire des données d'équilibre c'est celui du Type-II son coefficient de détermination R^2 est égale à 0.874 la capacité maximale d'adsorption q_m est de 344.827 mg/g et la constante b qui correspond a l'énergie d'adsorption est de 0.0034 l/mg.

L'équation qui décrit le modèle est la suivante : $1/q_e = 0.8457*1/C_e + 0.0029$

L'ordre des isothermes est le suivant : Type-II, Type-I, Type IV et Type III

La Fig IV.1.2.1.6 montre que les valeurs du Facteur de Séparation sont supérieures à 0 et inferieur à 1 indiquant que les processus d'adsorption des isothermes linéaires de Langmuir sont favorables.

Bien que le coefficient de détermination est élevé dans le cas du modèle d'isotherme linéaire de Freundlich par rapport a celui du Modèle d'isotherme linéaire de Langmuir Type-II il est de 0.9453 sauf que l'intensité d'adsorption modèle de Freundlich indique que le processus est modérée car elle a une valeur de 1.133, l'énergie d'adsorption exprimer par la constante de Freundlich est faible elle est de 1.577 mg/g, les erreurs sont négligeables.

l'équation du modèle est : $\ln q_e = 0.4515 + 0.8824 * \ln C_e$

Donc le modèle de Freundlich peut plus aux moins lui aussi décrire les données d'équilibre.

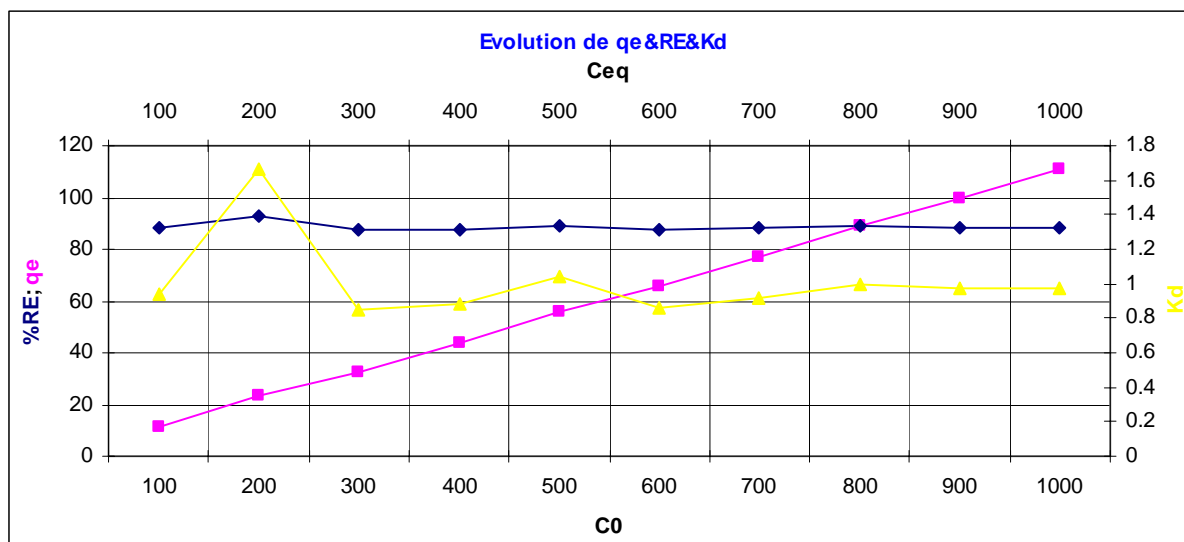


Fig IV.1.2.1.3 Evolution de qe & RE & Kd

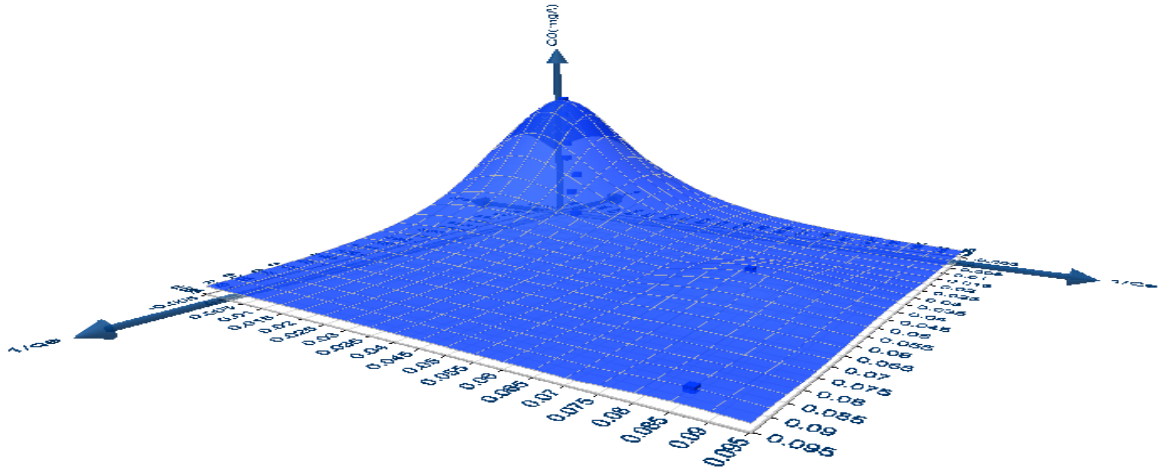


Fig IV.1.2.1.4 Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir Type-II en 3D

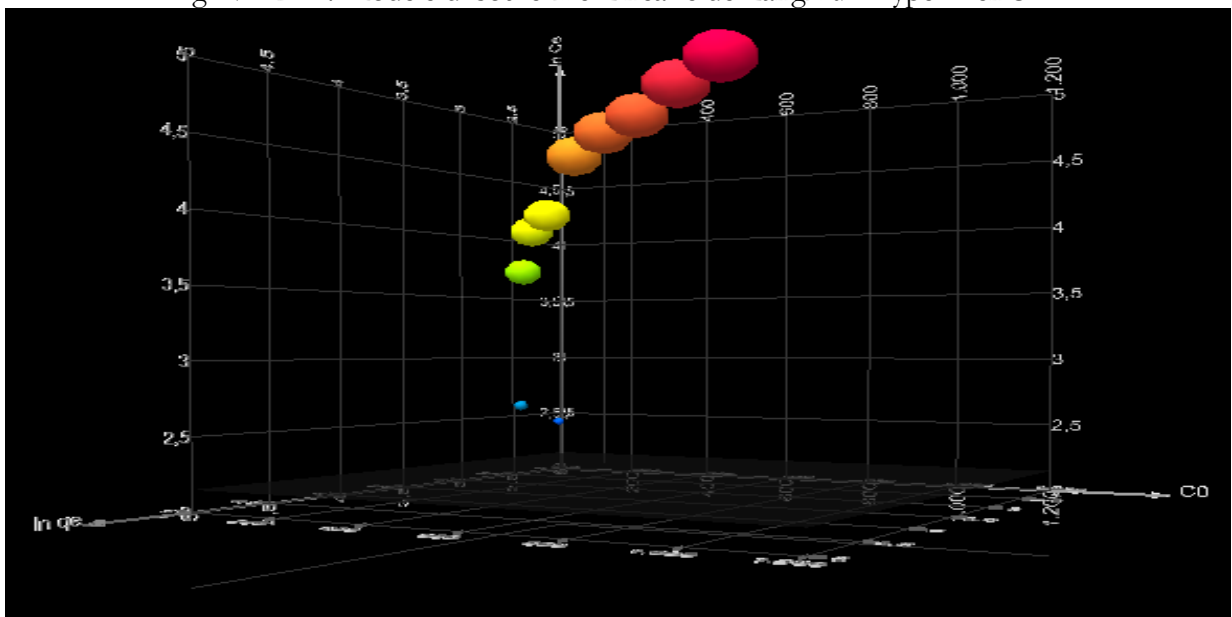


Fig IV.1.2.1.5 Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich en 3D

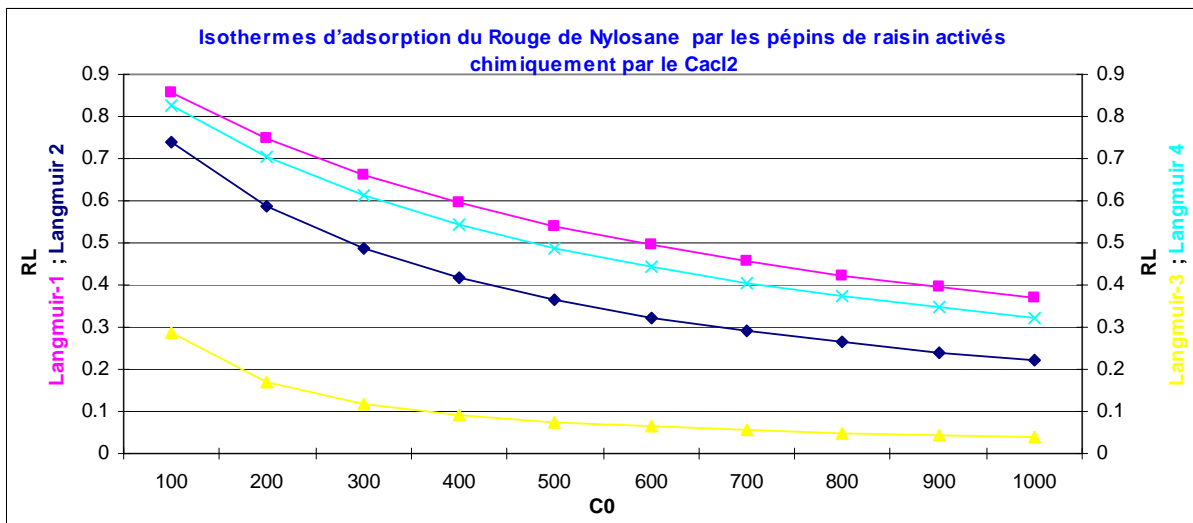


Fig IV.1.2.1.6 Facteur de Séparation

IV.1.2.2 Isothermes d'adsorption du Rouge de Nylosane par les pépins de raisin à l'Etat Naturel

Les pépins de raisins a l'état naturel ont été utilisé pour éliminer le Rouge de Nylosane à partir des solutions aqueuses, Les modèles d'isothermes linéaires de Langmuir et de Freundlich ont été appliqués pour la présente étude pour estimer les différents paramètres des modèles qui peuvent nous aidez à sélectionner les modèles les plus valides.

Tous ces paramètres sont déterminés comme mentionner dans les tableaux ci-dessous.

Tableau IV.1.2.2.1 Résultats des isothermes d'adsorption du Rouge de Nylosane par les pépins de raisin à l'Etat Naturel $m=0,1g$

C_0	C_{eq}	%RE	q_e	C_e/q_e	$1/q_e$	$1/C_e$	q_e/C_e	$\ln q_e$	$\ln C_e$
100	17.81	82.19	20.547	0.866	0.048	0.0561	1.1537	3.022	2.879
200	22.81	88.60	44.297	0.515	0.022	0.0438	1.942	3.791	3.127
300	25.75	91.42	68.562	0.3755	0.014	0.0388	2.662	4.227	3.248
400	34.31	91.42	91.422	0.3753	0.011	0.0291	2.6646	4.515	3.535
500	39.5	92.10	115.125	0.343	0.0087	0.0253	2.9145	4.746	3.676
600	126.25	78.96	118.437	1.0659	0.0084	0.0079	0.9381	4.774	4.838
700	200.63	71.34	124.842	1.607	0.008	0.0049	0.622	4.827	5.301
800	270	66.25	132.5	2.037	0.0075	0.0037	0.4907	4.886	5.598
900	355.63	60.49	136.092	2.613	0.0073	0.0028	0.3827	4.913	5.873
1000	438.75	56.13	140.312	3.1269	0.0071	0.0022	0.3198	4.943	6.084

IV.1.2.2.1 Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir

Tableau IV.1.2.2.2 Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir

Modèle	R^2	b (l/mg)	q_m (mg/g)	χ^2	RMSE	APE
Etude du q_e en fonction du C_{eq} $q_e = 0.2049 * C_e + 67.835$	0.584	NA	NA	83.084	28.500	42.685
Etude du C_e/q_e en fonction du C_{eq} Isotherme Linéaire de Langmuir-1 $C_e/q_e = 0.0064 * C_e + 0.3137$	0.969	0.0204	156.4328	0.617	0.188	20.301
Etude $1/q_e$ en fonction de $1/C_e$ Isotherme Linéaire de Langmuir-2 $1/q_e = 0.5342 * 1/C_e + 0.0029$	0,673	0.0054	343.8927	0.025	0.008	43.255
Etude q_e en fonction de q_e/C_e Isotherme Linéaire de Langmuir-3 $q_e = -18.15 * q_e/C_e + 124.79$	0.204	0.0551	124.790	130.665	39.448	63.228
Etude q_e/C_e en fonction de q_e Isotherme Linéaire de Langmuir-4 $q_e/C_e = -0.01128 q_e + 2.5245$	0.204	0.0112	224.5579	5.612	0.981	81.313

Avec ,V volume de l'adsorbat (ml) , m masse de l'adsorbat (g) ,C₀ concentration initiale de l'adsorbat (mg/l) , C_{eq} concentration a l'équilibre de l'adsorbat (mg/l) ,1/n constante de Freundlich indiquant l'intensité de l'adsorption , K_F constante de Freundlich correspondante a l'énergie d'adsorption (mg/g) ,q_e la quantité de substance adsorbée par unité de masse de l'adsorption (mg/g) , q_m capacité maximale d'adsorption en (mg/g) , b constante de Langmuir correspondant a l'énergie d'adsorption(l/mg) , χ² Chi-square et RE est le taux d'élimination (removal efficiency) qui est égale à %RE=(C_o-C_{eq})/C_o.

IV.1.2.2.2 Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich

Tableau IV.1.2.2.3 Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich

Modèle Linéaire de Freundlich	Paramètres		P-value	Erreurs	
	ln q _e =2.723+0.394*ln C _e	ln K _F	2.723	0.00060	χ ²
1/n		0.394	0.00687		
K _F		15,228	R ²	APE	6.856
n		2,535	0.619	RMSE	0.408

Les figures Fig IV.1.2.2.1 et Fig IV.1.2.2.2 ci-dessous représentent les régressions linéaires et non linéaires de différents modèles d'isothermes linéaires de Langmuir et de Freundlich.

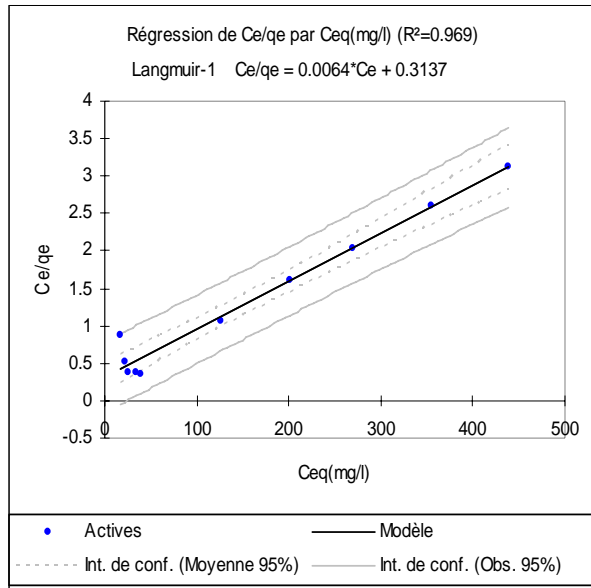


Fig IV.1.2.2.1

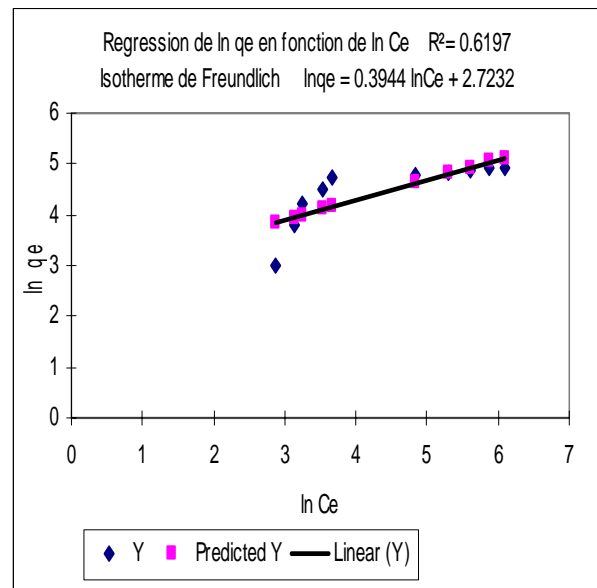


Fig IV.1.2.2.2

500 mg/l de Concentration initial utiliser donne un taux d'élimination RE élever de 92.1 % et une capacité d'adsorption a l'équilibre q_e égale à 115.125 mg/g et un coefficient de distribution aussi élevé de 2.91 l/g , on remarque que RE et K_d sont proportionnel.

Le seule modèle que ces valeurs expérimentales et ces valeurs calculées ne sont pas divergeant c'est le modèle du Type-I son coefficient de détermination R^2 est de 0.969 il est le plus significative car les coefficients de déterminations R^2 du modèle Type-II, Type III et type IV sont très petits.

La capacité maximale d'adsorption q_m du modèle favori qui est le Type-I est de 156.25 mg/g et l'énergie d'adsorption b est égale à 0.0204 l/mg

L'équation du modèle trouvé est : $C_e/q_e = 0.0064*C_e + 0.3137$

L'ordre des isothermes est comme suit : Type-I ; Type-II, Type III et type IV

La Fig IV.1.2.2.6 montre que le Facteur de Séparation est compris entre $0 < R_L < 1$ d'où les processus d'adsorption des isothermes de Langmuir sont favorables et très favorable pour le Type-I.

L'intensité d'adsorption du modèle de Freundlich est de 2.5357 d'où elle indique que le processus est bon, les erreurs sont faibles mais le coefficient de détermination est faible aussi il est égale à 0.619, l'énergie d'adsorption est de 15.2282 mg/g.

L'équation du modèle est : $\ln q_e = 2.723 + 0.394 \ln C_e$

Le modèle de Langmuir Type-I donne un bon agrément entre les données expérimentales et calculer il est doter d'un coefficient de détermination élevé qui égale à 0.969 donc il est valide et capable de décrire les données d'équilibre.

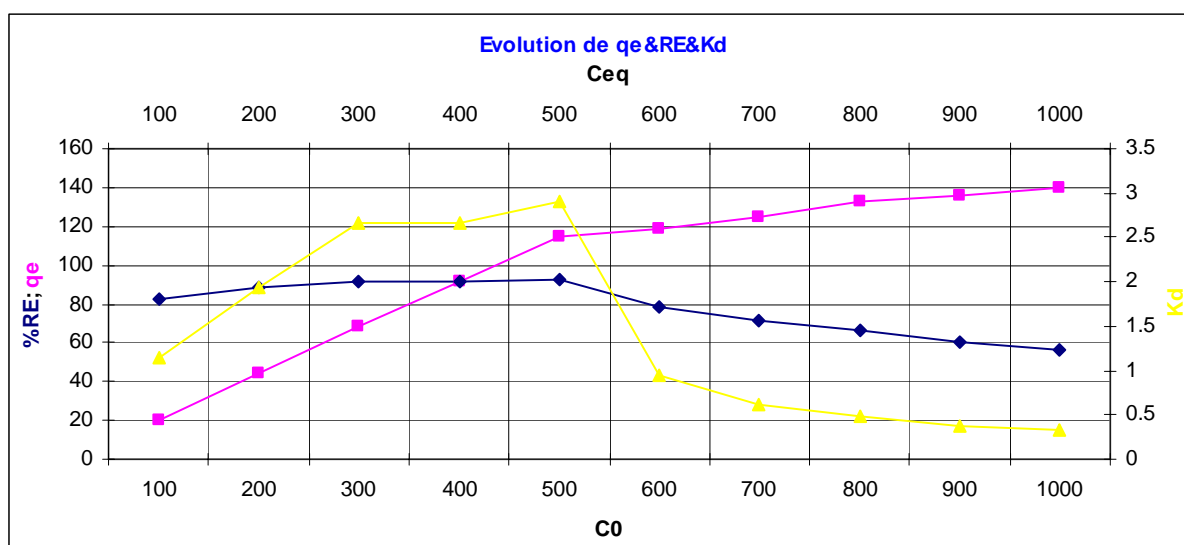


Fig IV.1.2.2.3 Evolution de q_e & RE & K_d

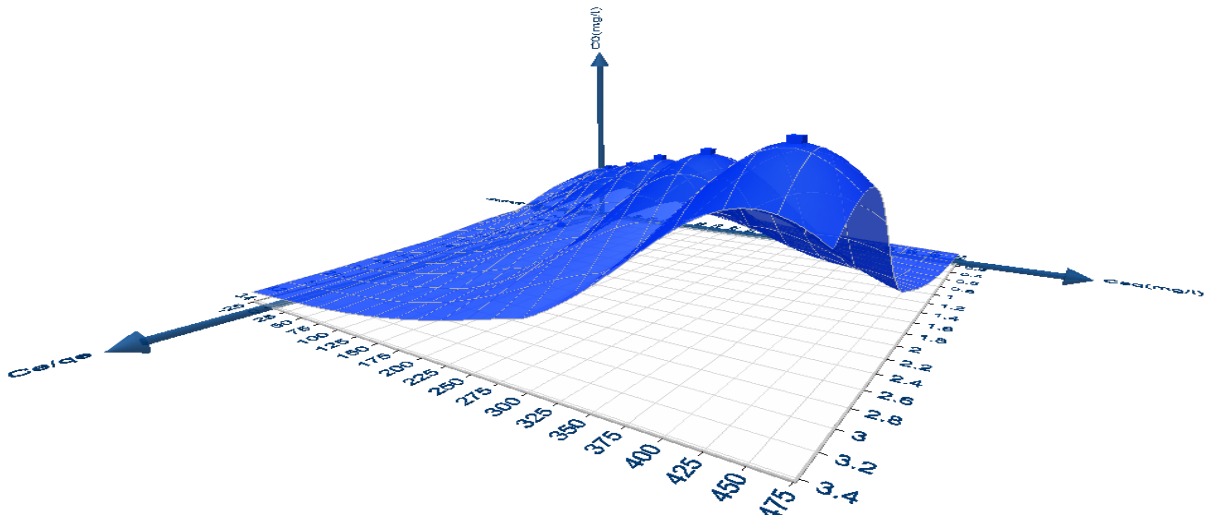


Fig IV.1.2.2.4 Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir Type-I en 3D

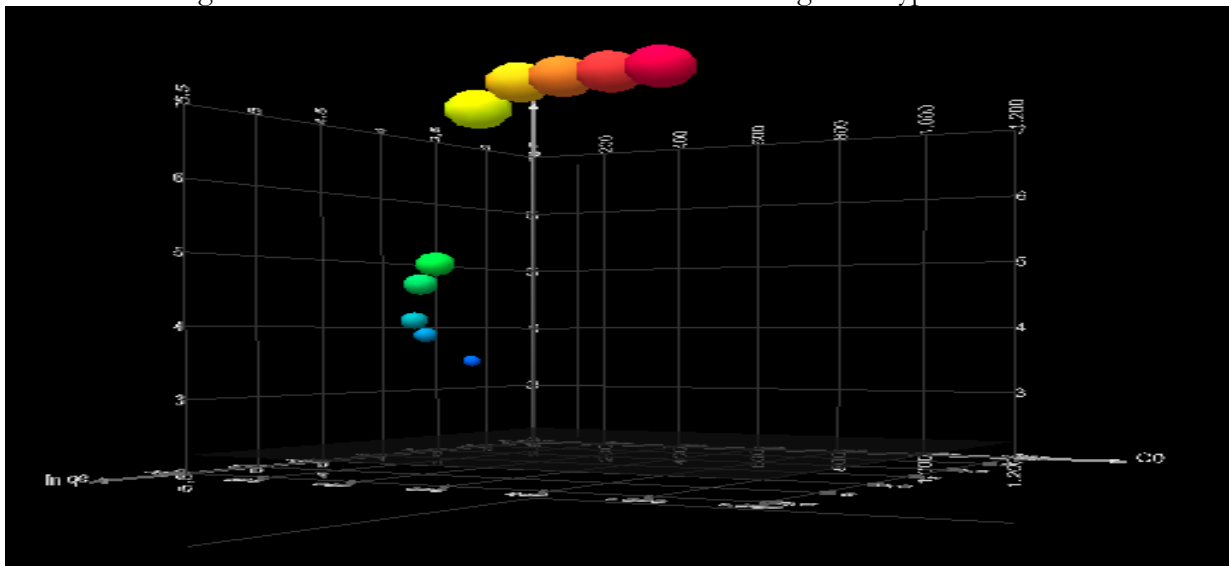


Fig IV.1.2.2.5 Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich en 3D

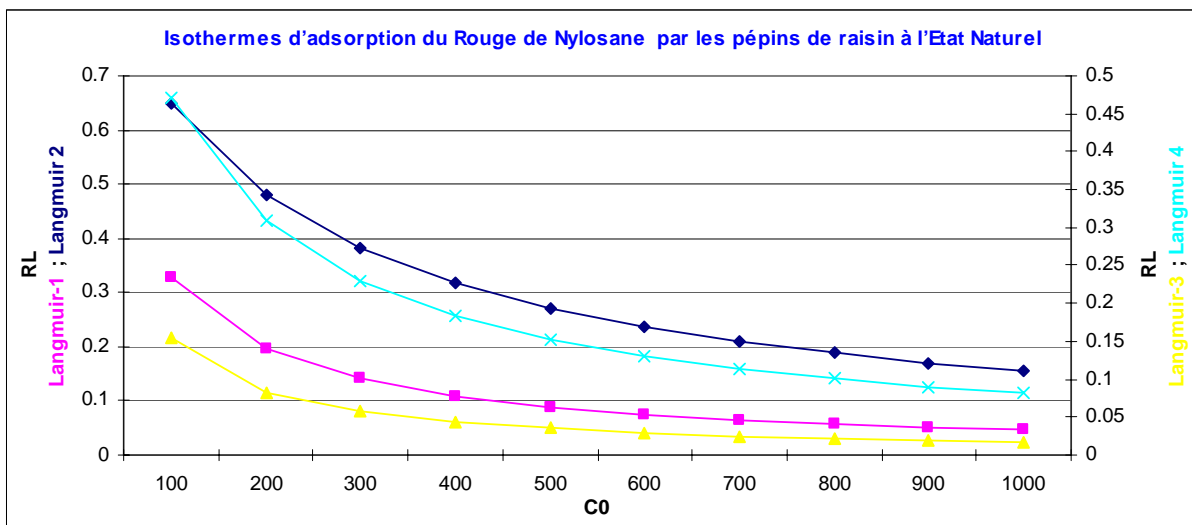


Fig IV.1.2.2.6 Facteur de Séparation

IV.1.2.3 Isothermes d'adsorption du Rouge de Nylosane par les pépins de raisin activés chimiquement par le H_3PO_4

Les pépins de raisins traités en H_3PO_4 ont été utilisés pour éliminer le Rouge de Nylosane à partir des solutions aqueuses, Les modèles d'isothermes linéaires de Langmuir et de Freundlich ont été appliqués pour la présente étude pour valider le modèle favorable.

Tableau IV.1.2.3.1 Résultats des isothermes d'adsorption du Rouge de Nylosane par les pépins de raisin activés chimiquement par le H_3PO_4 $m=0,1g$

C_0	C_{eq}	%RE	q_e	C_e/q_e	$1/q_e$	$1/C_e$	q_e/C_e	$\ln q_e$	$\ln C_e$
100	9.5	90.50	22.62	0.42	0.044	0.105	2.38	3.119	2.251
200	15.25	92.37	46.18	0.33	0.021	0.065	3.028	3.833	2.725
300	29.31	90.23	67.67	0.43	0.014	0.034	2.31	4.215	3.378
400	29.81	92.54	92.54	0.32	0.011	0.033	3.104	4.528	3.395
500	32.38	93.52	116.9	0.27	0.008	0.031	3.61	4.761	3.478
600	41.81	93.03	139.54	0.299	0.007	0.024	3.337	4.938	3.733
700	45.75	93.46	163.56	0.279	0.006	0.022	3.575	5.097	3.823
800	54.13	93.23	186.46	0.29	0.005	0.018	3.445	5.228	3.991
900	61.44	93.17	209.64	0.293	0.0047	0.016	3.412	5.345	4.118
1000	65.63	93.43	233.59	0.281	0.0043	0.015	3.559	5.454	4.184
1200	143.8	88.02	264.06	0.544	0.0038	0.007	1.837	5.576	4.968
1400	237.5	83.03	290.62	0.817	0.0034	0.004	1.223	5.672	5.47
1600	298.8	81.33	325.31	0.918	0.003	0.003	1.089	5.785	5.7
1800	410	77.22	347.5	1.179	0.0028	0.0024	0.847	5.851	6.016
2000	471.9	76.40	382.03	1.235	0.0026	0.0021	0.809	5.945	6.157
2200	520	76.36	420	1.238	0.0024	0.0019	0.807	6.04	6.254
2400	596.3	75.15	450.93	1.322	0.0022	0.0016	0.756	6.111	6.391

IV.1.2.3.1 Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir

Tableau IV.1.2.3.2 Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir

Modèle	R^2	b (l/mg)	q_m (mg/g)	χ^2	RMSE	APE
Etude du q_e en fonction du C_{eq} $q_e = 0.6131 * C_e + 110.67$	0.8585	NA	NA	281.78	51.782	51.984
Etude du C_e/q_e en fonction du C_{eq} Isotherme Linéaire de Langmuir-1 $C_e/q_e = 0.002 * C_e + 0.2627$	0.9574	0.0074	509.1718	0.25	0.086	15.918
Etude $1/q_e$ en fonction de $1/C_e$ Isotherme Linéaire de Langmuir-2 $1/q_e = 0.3779 * 1/C_e + 9E-05$	0.9539	0.00023	11297.339	0.02	0.002	38.535
Etude q_e en fonction de q_e/C_e Isotherme Linéaire de Langmuir-3 $q_e = -87.164 * q_e/C_e + 421.78$	0.5753	0.01147	421.780	676.49	89.693	94.589
Etude q_e/C_e en fonction de q_e Isotherme Linéaire de Langmuir-4 $q_e/C_e = -0.0066 * q_e + 3.7616$	0.5753	0.0066	569.8827	3.72	0.780	30.813

Avec ,V volume de l'adsorbat (ml) , m masse de l'adsorbat (g) ,C₀ concentration initiale de l'adsorbat (mg/l) , C_{eq} concentration a l'équilibre de l'adsorbat (mg/l) ,1/n constante de Freundlich indiquant l'intensité de l'adsorption , K_F constante de Freundlich correspondante a l'énergie d'adsorption (mg/g) ,q_e la quantité de substance adsorbée par unité de masse de l'adsorption (mg/g) , q_m capacité maximale d'adsorption en (mg/g) , b constante de Langmuir correspondant a l'énergie d'adsorption(l/mg) , χ² Chi-square et RE est le taux d'élimination (removal efficiency) qui est égale à %RE=(C_o-C_{eq})/C_o

IV.1.2.3.2 Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich

Tableau IV.1.2.3.3 Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich

Modèle Linéaire de Freundlich	Paramètres		P-value	Erreurs	
	ln q _e = 2.509 + 0.589 * ln C _e	ln K _F	2.509	2.79E-07	χ ²
1/n		0.589	8.95E-08		
K _F		12,304	R ²	APE	5.499
n		1,696	0.859	RMSE	0.323

Les figures Fig IV.1.2.3.1 et Fig IV.1.2.3.2 ci-dessous représentent les régressions linéaires et non linéaires de différents modèles d'isothermes linéaires de Langmuir et de Freundlich.

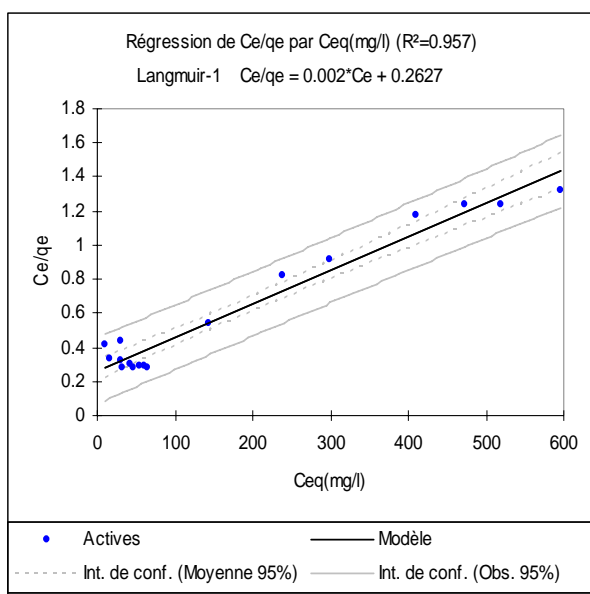


Fig IV.1.2.3.1

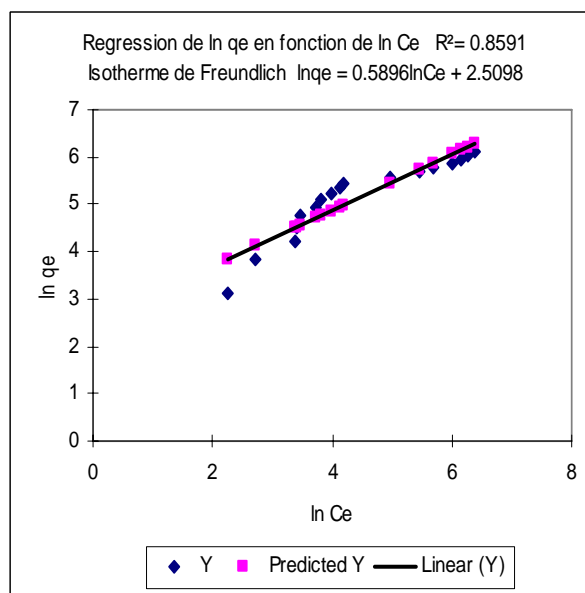


Fig IV.1.2.3.2

Toutes les Concentration initial C_0 allons de 100 a 1000 mg/l donnent un taux d'élimination RE plus que 90%.

Le coefficient de détermination R^2 du modèle Type-I est légèrement supérieur a celui du Type-II mais a deux chiffres près ils sont égaux et les plus élevés par contre la capacité maximale d'adsorption q_m du modèle Type-II est 22 fois supérieure a celui du Type-I son APE est presque le double mais son χ -square et RMSE sont très minime pour ces raisons le modèle Type-II décrit mieux données d'équilibre la constante de Langmuir est égale à 0.0002 1/mg

L'équation du modèle favori est la suivante : $1/q_e = 0.3779*1/C_e + 9E-05$

L'ordre des isothermes : Type-II, Type-I, Type IV et Type III.

Selon la Fig IV.1.2.3.6 Les valeurs du facteur de séparation ou aussi appelé le paramètre d'équilibre sont toutes entre $0 < R_L < 1$ indiquant que les processus sont favorables.

Le coefficient de détermination du modèle de Freundlich est égale à 0.859 une valeur qui est inferieur par rapport a celui du modèle de Langmuir Type-II qui est égale à 0.9539, la capacité d'adsorption est modérée car l'intensité est égale à 1.696 associer d'une énergie d'adsorption égale à 12.302 mg/g.

L'équation du modèle de Freundlich est: $\ln q_e = 2.509 + 0.589 * \ln C_e$

La capacité maximale d'adsorption trouvée dans le modèle de Langmuir Type-II est très importante ce qui nous permet de conclure que celui la est le modèle Typique.

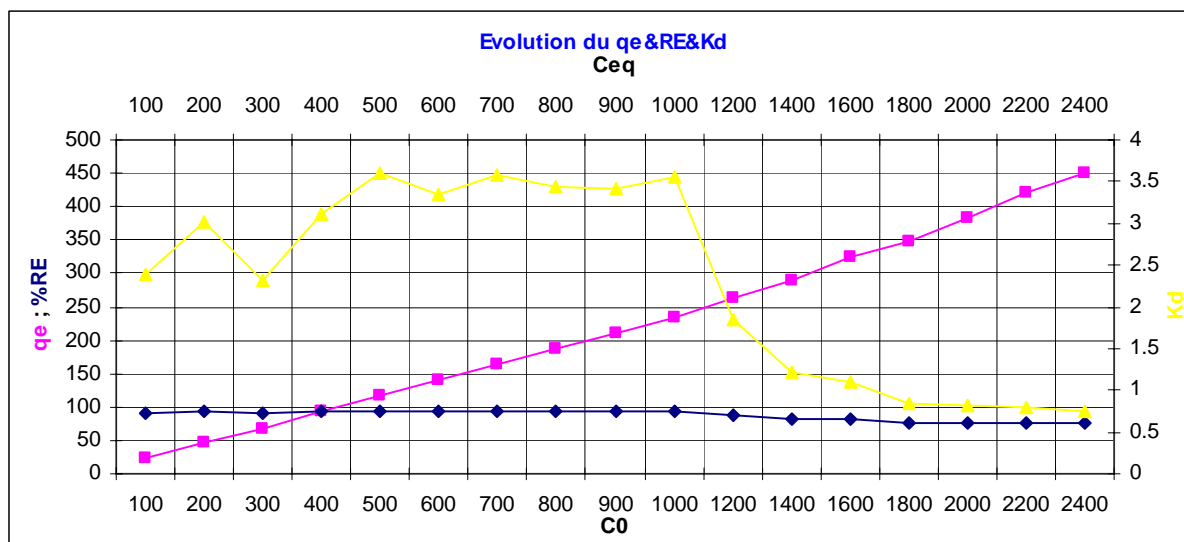


Fig IV.1.2.3.3 Evolution de q_e & RE & K_d

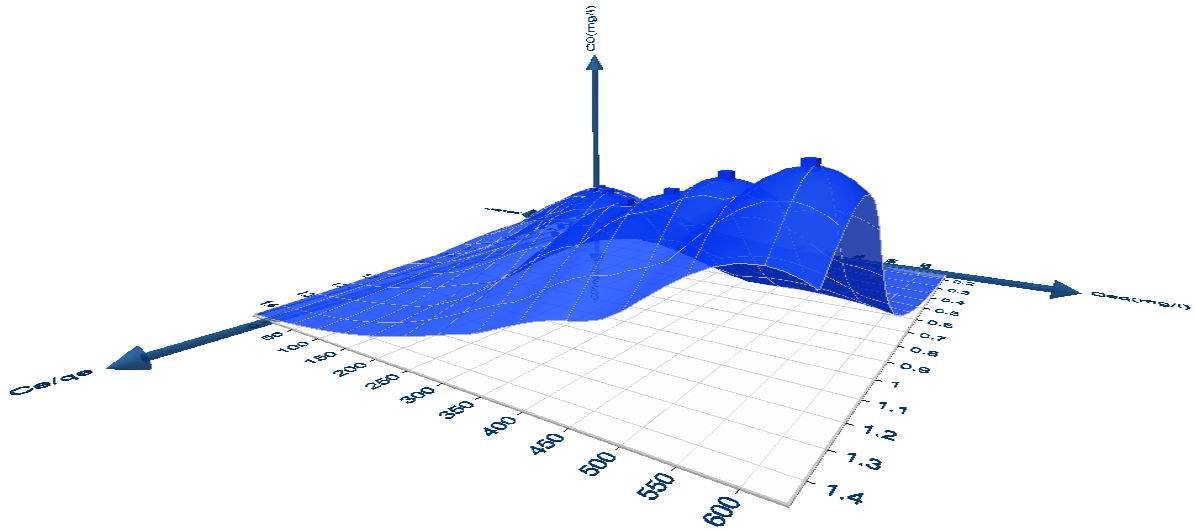


Fig IV.1.2.3.4 Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir Type-II en 3D

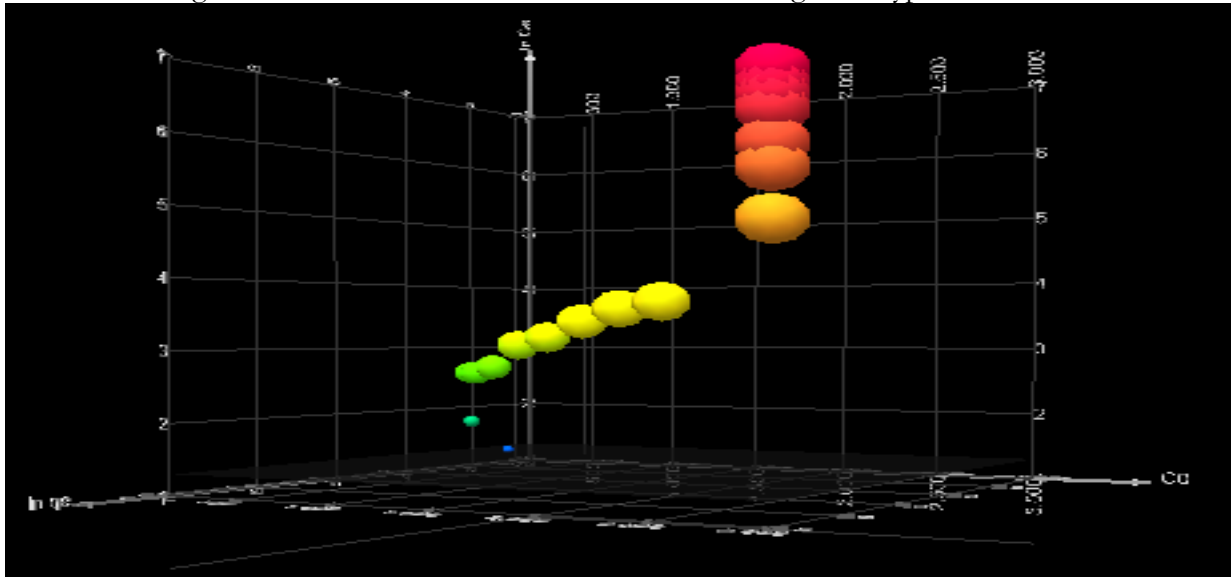


Fig IV.1.2.3.5 Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich en 3D

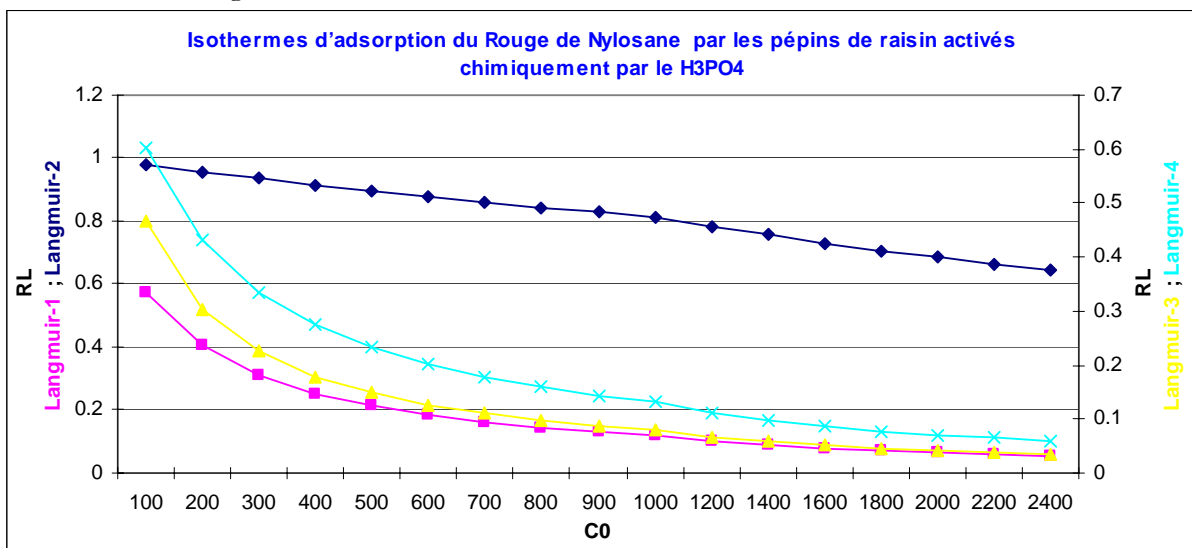


Fig IV.1.2.3.6 Facteur de Séparation

IV.1.2.4 Isothermes d'adsorption du Rouge de Nylosane par les pépins de raisin activés chimiquement par le KOH

L'activation chimique par le KOH des pépins de raisins a été utilisée pour éliminer le Rouge de Nylosane. Les modèles d'isothermes linéaires de Langmuir et de Freundlich ont été appliqués pour la présente étude pour estimer les différents paramètres et sélectionner le modèle favori comme indiqué dans les tableaux ci-dessous.

Tableau IV.1.2.4.1 Résultats des isothermes d'adsorption du Rouge de Nylosane par les pépins de raisin activés chimiquement par le KOH $m=0,1g$

C_0	C_{eq}	%RE	q_e	C_e/q_e	$1/q_e$	$1/C_e$	q_e/C_e	$\ln q_e$	$\ln C_e$
100	2	98	24.5	0.081	0.041	0.5	12.25	3.199	0.693
200	4.31	97.84	48.92	0.088	0.02	0.232	11.35	3.89	1.461
300	7.13	97.62	73.21	0.097	0.013	0.14	10.27	4.293	1.964
400	8	98	98	0.081	0.01	0.125	12.25	4.585	2.079
500	13.19	97.36	121.7	0.108	0.008	0.076	9.22	4.802	2.579
600	22.19	96.30	144.45	0.153	0.007	0.045	6.51	4.973	3.1
700	36.88	94.73	165.78	0.222	0.006	0.027	4.49	5.111	3.608
800	55.88	93.01	186.03	0.3	0.005	0.0179	3.33	5.226	4.023
900	61.56	93.16	209.61	0.293	0.0047	0.016	3.4	5.345	4.12
1000	63.44	93.65	234.14	0.271	0.0042	0.015	3.69	5.456	4.15
1200	140.6	88.28	264.84	0.531	0.0037	0.007	1.88	5.579	4.946
1400	169.4	87.90	307.65	0.55	0.0032	0.006	1.81	5.729	5.132
1600	224.4	85.97	343.9	0.652	0.0029	0.004	1.53	5.84	5.413
1800	308.8	82.84	372.81	0.828	0.0027	0.003	1.2	5.921	5.733
2000	426.3	78.68	393.43	1.083	0.0025	0.002	0.92	5.975	6.055

IV.1.2.4.1 Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir

Tableau IV.1.2.4.2 Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir

Modèle	R^2	b (l/mg)	q_m (mg/g)	χ^2	RMSE	APE
Etude du q_e en fonction du C_{eq} $q_e = 0.8361 * C_e + 113.21$	0.8215	NA	NA	215.58	51.833	49.567
Etude du C_e/q_e en fonction du C_{eq} Isotherme Linéaire de Langmuir-1 $C_e/q_e = 0.0024 * C_e + 0.1107$	0.983	0.0215	419.1368	0.094	0.041	18.757
Etude $1/q_e$ en fonction de $1/C_e$ Isotherme Linéaire de Langmuir-2 $1/q_e = 0.075 * 1/C_e + 0.003$	0.9938	0.0395	336.9512	0.0012	0.0008	10.548
Etude q_e en fonction de q_e/C_e Isotherme Linéaire de Langmuir-3 $q_e = -25.408 * q_e/C_e + 341.79$	0.8509	0.0393	341.787	243.308	47.376	20.846
Etude q_e/C_e en fonction de q_e Isotherme Linéaire de Langmuir-4 $q_e/C_e = -0.0335 * q_e + 12.283$	0.851	0.0335	366.7565	-7.742	1.720	48.613

Avec ,V volume de l'adsorbat (ml) , m masse de l'adsorbat (g) ,C₀ concentration initiale de l'adsorbat (mg/l) , C_{eq} concentration a l'équilibre de l'adsorbat (mg/l) ,1/n constante de Freundlich indiquant l'intensité de l'adsorption , K_F constante de Freundlich correspondante a l'énergie d'adsorption (mg/g) ,q_e la quantité de substance adsorbée par unité de masse de l'adsorption (mg/g) , q_m capacité maximale d'adsorption en (mg/g) , b constante de Langmuir correspondant a l'énergie d'adsorption(l/mg) , χ² Chi-square et RE est le taux d'élimination (removal efficiency) qui est égale à %RE=(C_o-C_{eq})/C_o.

IV.1.2.4.2 Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich

Tableau IV.1.2.4.3 Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich

Modèle Linéaire de Freundlich	Paramètres		P-value	Erreurs	
	ln q _e =3.337+0.469*ln C _e	ln K _F	3.337	1E-12	χ ²
1/n		0.469	2E-09		
K _F		28,146	R ²	APE	3.153
n		2,128	0.943	RMSE	0.197

Les figures Fig IV.1.2.4.1 et Fig IV.1.2.4.2 ci-dessous représentent les régressions linéaires et non linéaires de différents modèles d'isothermes linéaires de Langmuir et de Freundlich.

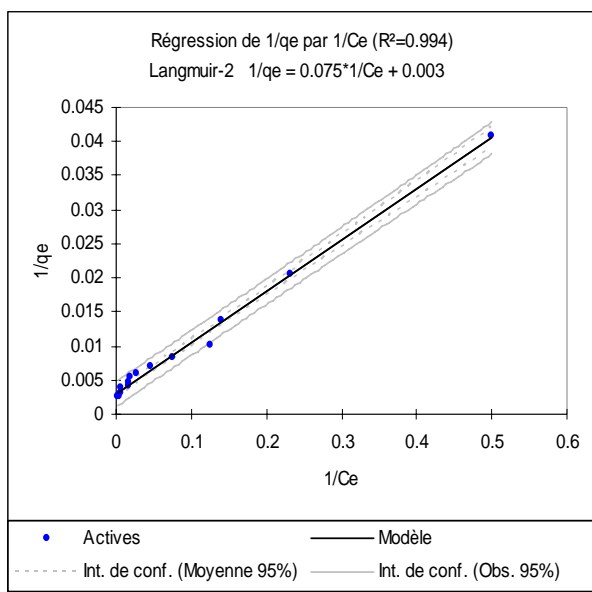


Fig IV.1.2.4.1

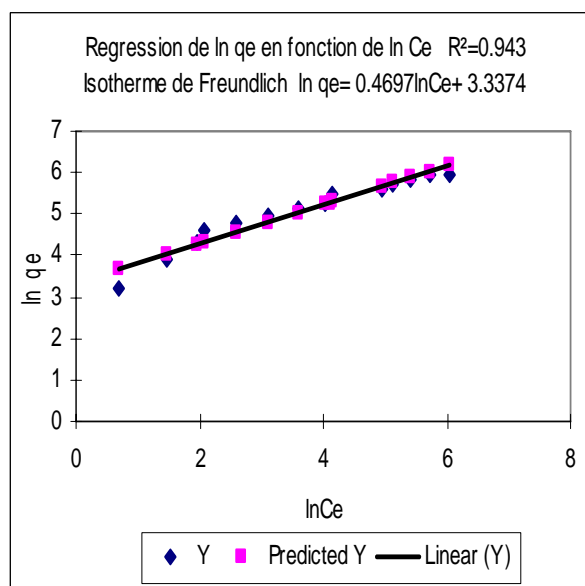


Fig IV.1.2.4.2

Il est apparent que plus la concentration initiale C₀ décroît, le taux d'élimination RE et le coefficient de distribution K_d augmentent, toutes les concentrations initiale moins de 1000 mg/l donnent un taux plus que 90%.donc C₀ est inversement proportionnelle a RE et K_d.

Le coefficient de détermination R^2 du modèle Type-II est presque égale à l'unité il est de 0.9938, la capacité maximale d'adsorption q_m trouver est égale à 336.95 mg/g Les valeurs du APE, le chi-square et RMSE sont très petites cela dit qu'il n y pas une grande différence entre les valeurs expérimentales et les valeurs calculées, donc le modèle est valide et décrit les données d'équilibre.

Le coefficient de détermination R^2 du modèle Type-I est aussi important il est égale à 0.983 avec une capacité maximale d'adsorption q_m égale à 419.13 mg/g qui est la plus grande , les modèles Type III et Type IV sont favorables mais d'une moindre importance car leur coefficient de détermination R^2 est de 0.85

L'équation du modèle significative très favori est : $1/q_e = 0.075 \cdot 1/C_e + 0.003$

L'ordre des isothermes est comme suit : Type-II, Type-I, Type IV et Type III

Selon la Fig IV.1.2.4.6 Les valeurs du facteur de séparation ou aussi appelé le paramètre d'équilibre sont tous entre $0 < R_L < 1$ indiquant que les processus sont favorables.

L'équation du modèle d'isotherme linéaire de Freundlich est : $\ln q_e = 3.337 + 0.469 \cdot \ln C_e$

Elle présente un Coefficient de détermination important égale à 0.943, l'intensité d'adsorption est égale à 2.128 indiquant que la capacité d'adsorption est bonne, les fonctions d'erreurs sont très faibles.

Le modèle de Freundlich est valide mais celui qui décrit parfaitement les données expérimentales et calculer et présente un coefficient de détermination presque parfait a voisinant l'unité ce modèle n'est que Type-II de Langmuir.

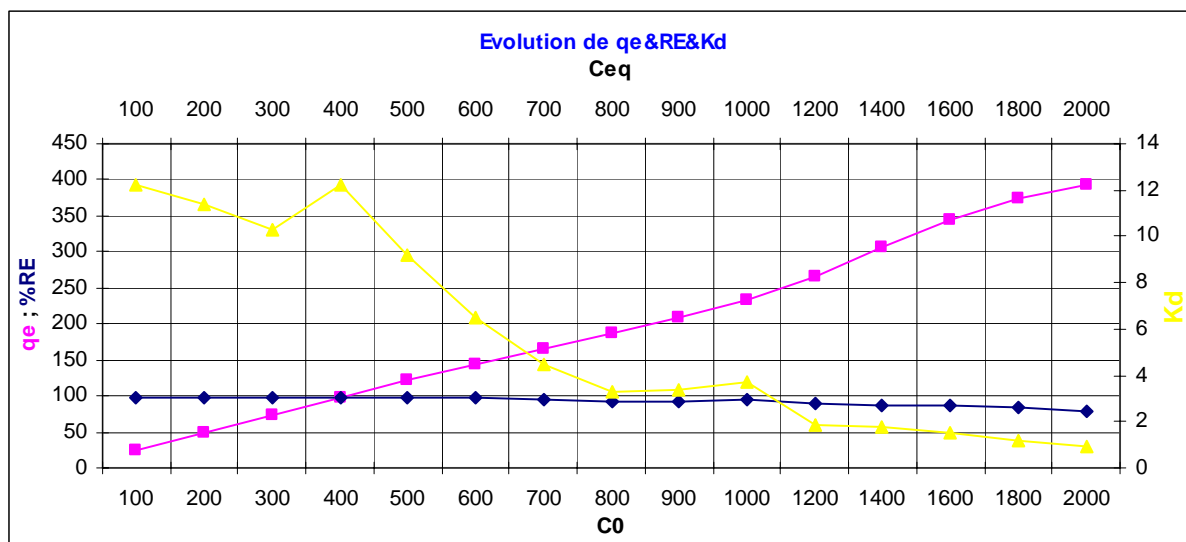


Fig IV.1.2.4.3 Evolution de q_e & RE & K_d

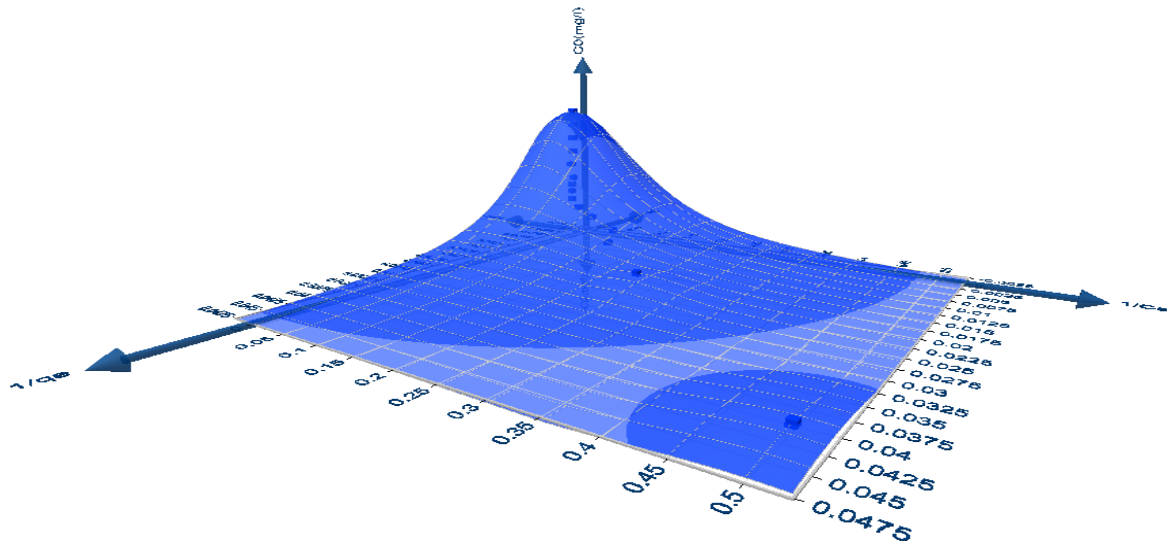


Fig IV.1.2.4.4 Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir Type-II en 3D

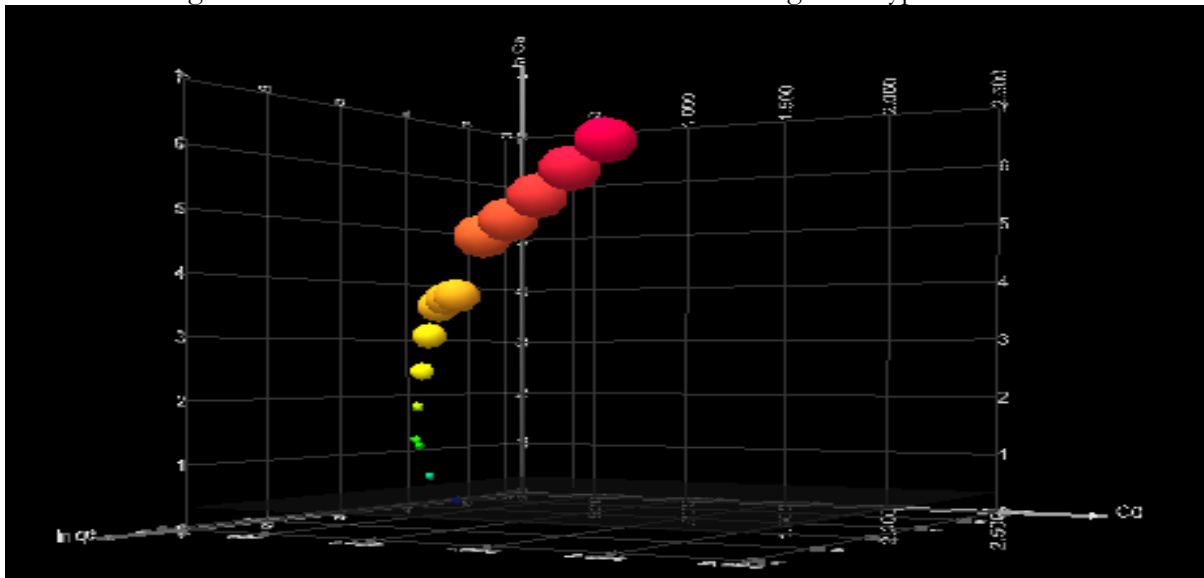


Fig IV.1.2.4.5 Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich en 3D

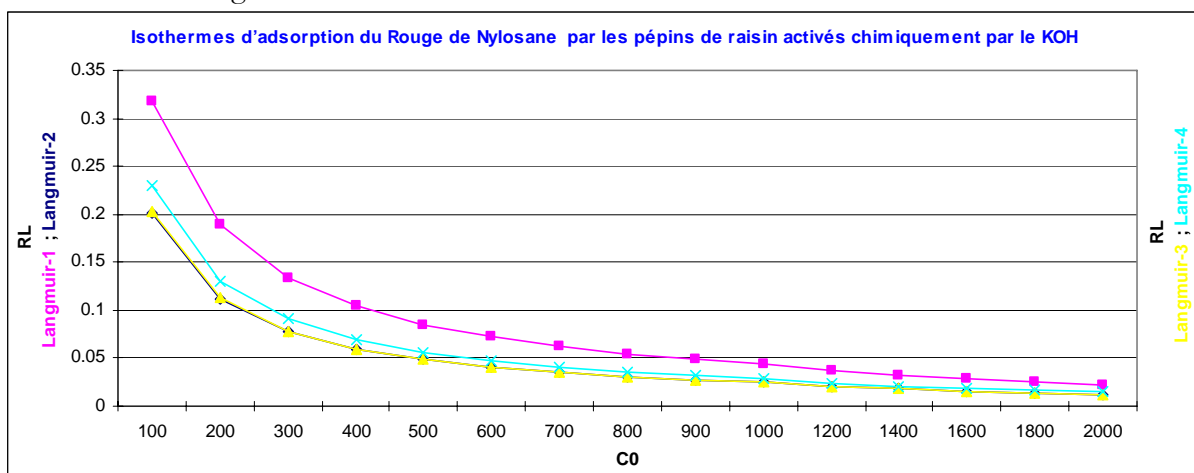


Fig IV.1.2.4.6 Facteur de Séparation

IV.1.2.5 Isothermes d'adsorption du Rouge de Nylosane par les pépins de raisin Activation mixte

L'activation mixte des pépins de raisins a été utilisé comme adsorbant afin d'éliminer le Rouge de Nylosane à partir des solutions aqueuses, Les modèles d'isothermes linéaires de Langmuir et de Freundlich ont été appliqués pour ce cas a différents concentrations initiales afin d'estimer les différents paramètres des modèles et établir une ou des équations modèles.

Tableau IV.1.2.5.1 Résultats des isothermes d'adsorption du Rouge de Nylosane par les pépins de raisin Activation mixte $m=0,1g$

C_0	C_{eq}	%RE	q_e	C_e/q_e	$1/q_e$	$1/C_e$	q_e/C_e	$\ln q_e$	$\ln C_e$
100	6.13	93.87	23.46	0.261	0.042	0.163	3.83	3.155	1.813
200	7	96.50	48.25	0.145	0.02	0.143	6.89	3.876	1.946
300	8	97.33	73	0.109	0.013	0.125	9.12	4.29	2.079
400	10.5	97.37	97.37	0.108	0.01	0.095	9.27	4.579	2.351
500	11.5	97.70	122.12	0.094	0.008	0.087	10.62	4.805	2.442
600	17.44	97.09	145.64	0.119	0.0068	0.057	8.35	4.981	2.859
700	34.06	95.13	166.48	0.204	0.006	0.029	4.88	5.115	3.528
800	58.25	92.72	185.43	0.314	0.0054	0.017	3.18	5.223	4.065
900	99.38	88.95	200.15	0.496	0.005	0.01	2.01	5.299	4.599
1000	120.6	87.93	219.84	0.548	0.0045	0.008	1.82	5.393	4.792
1200	161.3	86.56	259.68	0.621	0.0038	0.006	1.61	5.559	5.083
1400	249.4	82.18	287.65	0.867	0.0034	0.004	1.15	5.662	5.519
1600	325.6	79.65	318.59	1.022	0.0031	0.003	0.98	5.764	5.786
1800	430.6	76.07	342.34	1.258	0.0029	0.002	0.79	5.836	6.065

IV.1.2.5.1 Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir

Tableau IV.1.2.5.2 Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir

Modèle	R^2	b (l/mg)	q_m (mg/g)	χ^2	RMSE	APE
Etude du q_e en fonction du C_{eq} $q_e = 0.66598 * C_{eq} + 104.62$	0.8168	NA	NA	177.41	44.605	49.956
Etude du C_e/q_e en fonction du C_{eq} Isotherme Linéaire de Langmuir-1 $C_e/q_e = 0.0028 * C_{eq} + 0.1378$	0.9734	0.0199	363.1391	0.21	0.064	25.145
Etude $1/q_e$ en fonction de $1/C_e$ Isotherme Linéaire de Langmuir-2 $1/q_e = 0.1554 * 1/C_e + 0.0014$	0.7154	0.0092	700.4602	0.02	0.006	39.726
Etude q_e en fonction de q_e/C_e Isotherme Linéaire de Langmuir-3 $q_e = -21.006 * q_e/C_e + 274.69$	0.5532	0.0476	274.692	383.63	69.654	80.171
Etude q_e/C_e en fonction de q_e Isotherme Linéaire de Langmuir-4 $q_e/C_e = -0.0263 * q_e + 9.2939$	0.5532	0.0263	352.8936	12.77	2.466	48.010

Avec, V volume de l'adsorbant (ml), m masse de l'adsorbant (g), C_0 concentration initiale de l'adsorbant (mg/l), C_{eq} concentration à l'équilibre de l'adsorbant (mg/l), $1/n$ constante de Freundlich indiquant l'intensité de l'adsorption, K_F constante de Freundlich correspondante à l'énergie d'adsorption (mg/g), q_e la quantité de substance adsorbée par unité de masse de l'adsorbant (mg/g), q_m capacité maximale d'adsorption en (mg/g), b constante de Langmuir correspondant à l'énergie d'adsorption (l/mg), χ^2 Chi-square et RE est le taux d'élimination (removal efficiency) qui est égale à $\%RE = (C_0 - C_{eq}) / C_0$.

IV.1.2.5.2 Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich

Tableau IV.1.2.5.3 Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich

Modèle Linéaire de Freundlich	Paramètres		P-value	Erreurs	
	$\ln q_e = 3.265 + 0.45 \cdot \ln C_e$	$\ln K_F$	3.265	2.94E-08	χ^2
$1/n$		0.450	1.4E-05		
K_F		26,199	R^2	APE	5.472
n		2,222	0.804	RMSE	0.354

Les figures Fig IV.1.2.5.1 et Fig IV.1.2.5.2 ci-dessous représentent les régressions linéaires et non linéaires de différents modèles d'isothermes linéaires de Langmuir et de Freundlich.

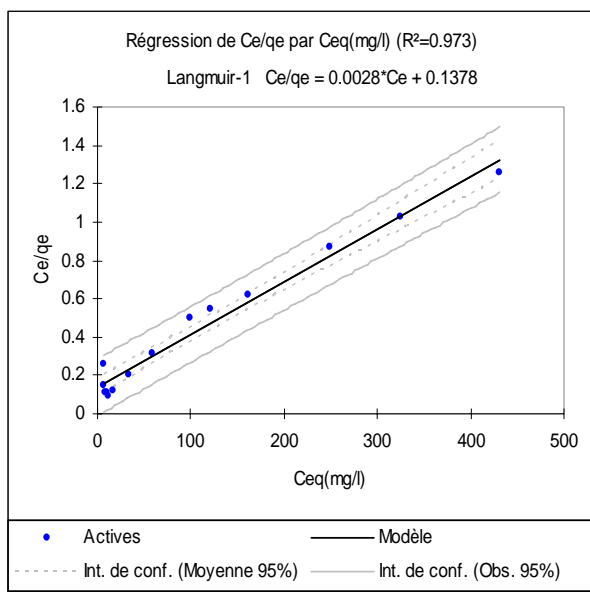


Fig IV.1.2.5.1

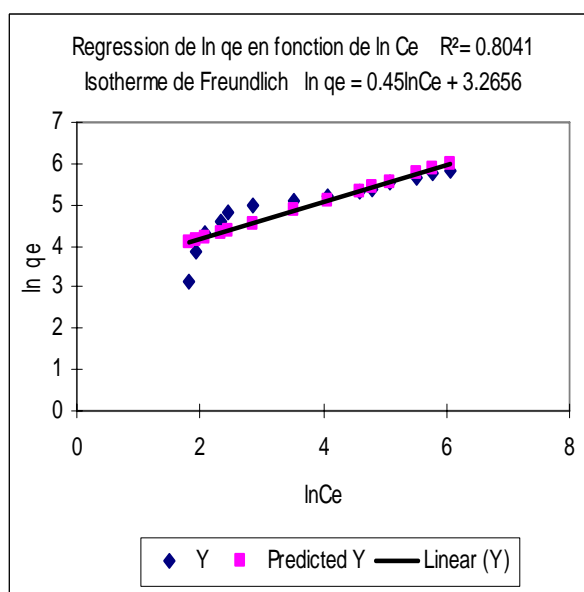


Fig IV.1.2.5.2

Le taux d'élimination RE de même le coefficient de distribution les plus élevés sont égales a 97.70% et 10.62 l/g respectivement obtenue à partir une Concentration initial C_0 de 500 mg/l. Les autres valeurs des pourcentages d'élimination sont aussi grandes signifiant une capacité de rétention du colorant par l'adsorbant.

Par comparaison des modèles d'isotherme de Langmuir, le Type-I présente un coefficient de détermination R^2 égale à 0.9734 qui est le plus élevé, la capacité maximale d'adsorption q_m est de 357.143 mg/g et la constante de l'isotherme est de 0.0203

L'équation du modèle est la suivante : $C_e/q_e = 0.0028 * C_e + 0.1378$

L'ordre des isothermes est comme suit: Type-I, Type-II, Type IV et Type III.

Selon la Fig IV.1.2.5.6 Les valeurs du facteur de séparation ou aussi appelé le paramètre d'équilibre sont tous entre $0 < R_L < 1$ indiquant que les processus sont favorables.

L'intensité d'adsorption du modèle d'isotherme linéaire de Freundlich est de 2.2221 cela signifie que la capacité d'adsorption est bonne, le coefficient de détermination est acceptable il est de 0.804 qui est inférieur a celui du modèle de Langmuir Type-I et supérieur aux autres modèles. L'équation de Freundlich est comme suit :

$$\ln q_e = 3.265 + 0.45 * \ln C_e$$

D'ou le modèle qui décrit bien données expérimentales et calculer est celui de Langmuir Type-I.

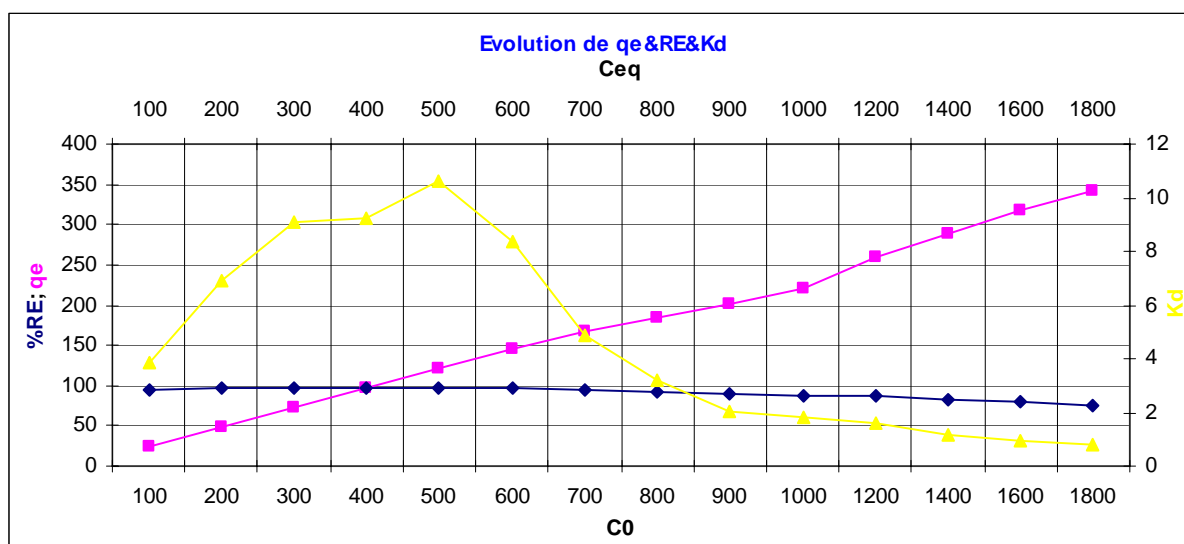


Fig IV.1.2.5.3 Evolution de q_e & RE & K_d

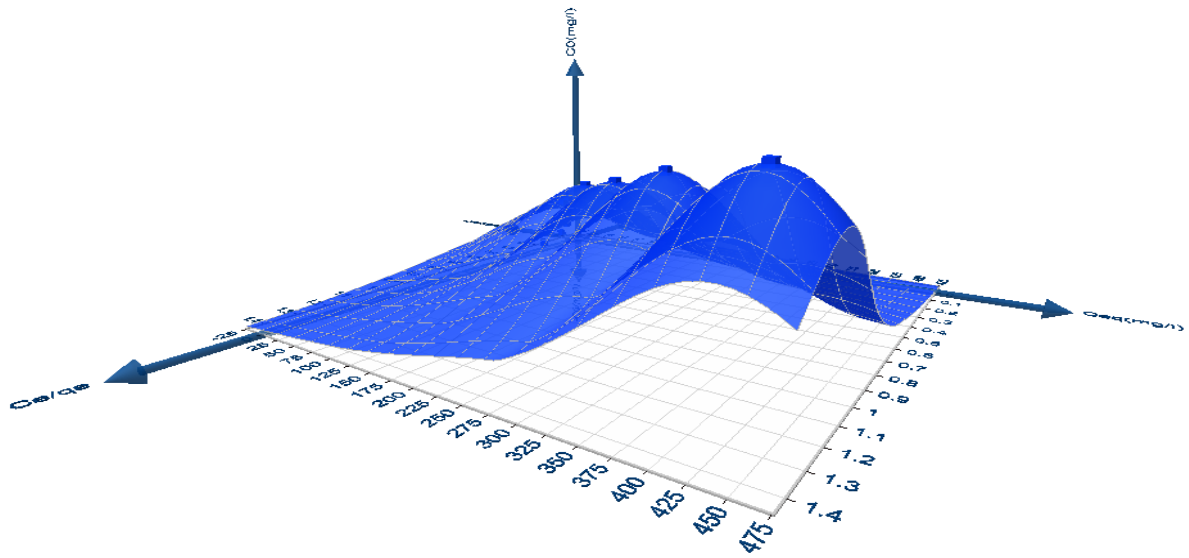


Fig IV.1.2.5.4 Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir Type-I en 3D

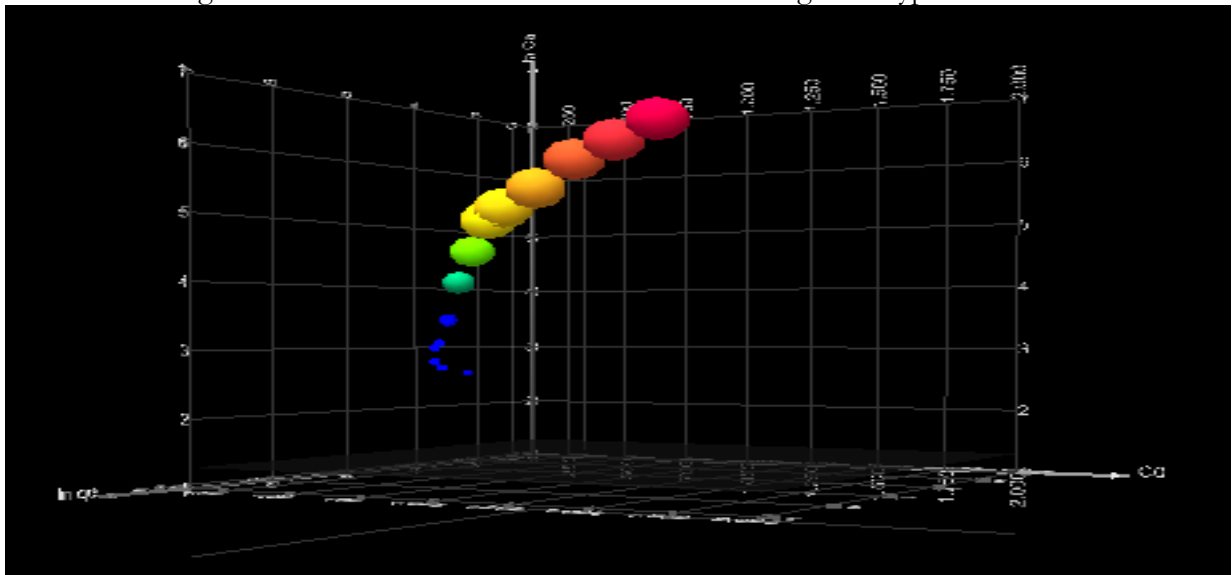


Fig IV.1.2.5.5 Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich en 3D

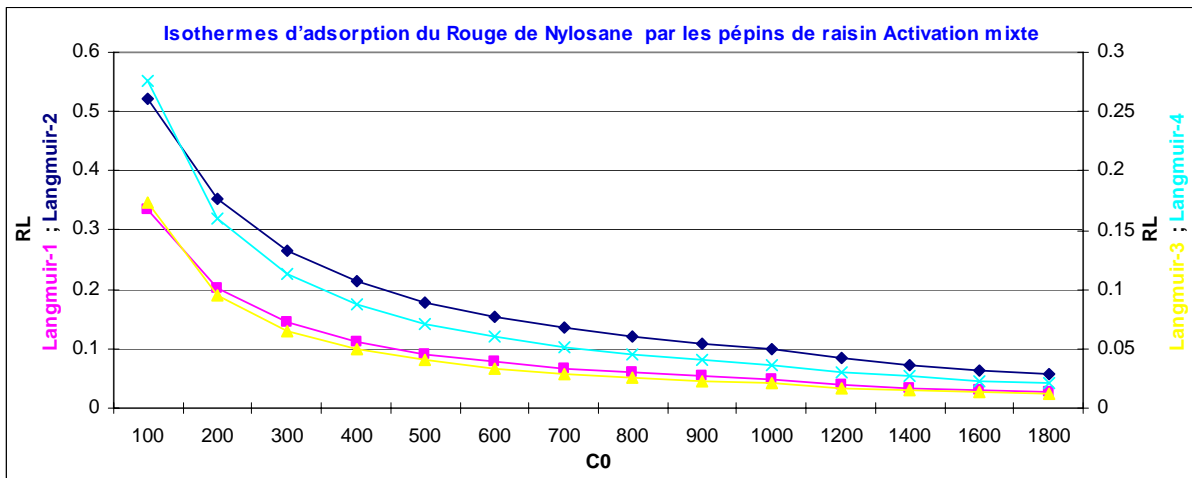


Fig IV.1.2.5.6 Facteur de Séparation

IV.1.2.6 Isothermes d'adsorption du Rouge de Nylosane par les pépins de raisin Activation physique

Afin d'éliminer le Rouge de Nylosane à partir des solutions aqueuses, les pépins de raisins étaient activés physiquement et utilisés comme adsorbant, ces capacités ont été vérifiées en faisant recours aux modèles d'isothermes linéaires de Langmuir et de Freundlich. Tous les paramètres sont présentés dans les tableaux au dessous.

Tableau IV.1.2.6.1 Résultats des isothermes d'adsorption du Rouge de Nylosane par les pépins de raisin Activation physique $m=0,2g$

C_0	C_{eq}	%RE	q_e	C_e/q_e	$1/q_e$	$1/C_e$	q_e/C_e	$\ln q_e$	$\ln C_e$
100	8	92	11.5	0.69	0.087	0.125	1.437	2.442	2.079
200	15.63	92.18	23.04	0.68	0.043	0.064	1.474	3.137	2.749
300	18.06	93.98	35.24	0.51	0.028	0.055	1.951	3.562	2.894
400	23	94.25	47.12	0.49	0.021	0.043	2.049	3.853	3.135
500	29.88	94.02	58.76	0.51	0.017	0.033	1.966	4.073	3.397
600	38.25	93.62	70.22	0.54	0.014	0.026	1.835	4.252	3.644
700	51.38	92.66	81.07	0.63	0.012	0.019	1.578	4.395	3.939
800	80	90	90	0.89	0.011	0.012	1.125	4.5	4.382
900	161.9	82.01	92.26	1.75	0.0108	0.006	0.57	4.525	5.087
1000	189.4	81.06	101.32	1.87	0.009	0.005	0.535	4.618	5.244
1200	229.4	80.88	121.32	1.89	0.008	0.004	0.529	4.798	5.435
1400	257.5	81.60	142.81	1.8	0.007	0.0039	0.554	4.962	5.551
1600	288.8	81.95	163.9	1.76	0.006	0.0034	0.567	5.099	5.666
1800	332.5	81.52	183.43	1.81	0.005	0.003	0.551	5.212	5.807
2000	361.9	81.90	204.76	1.76	0.0048	0.0027	0.566	5.322	5.891

IV.1.2.6.1 Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir

Tableau IV.1.2.6.2 Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir

Modèle	R^2	b (l/mg)	q_m (mg/g)	χ^2	RMSE	APE
Etude du q_e en fonction du C_{eq} $q_e = 0.441 * C_e + 33.813$	0.929	NA	NA	60.38	16.103	32.076
Etude du C_e/q_e en fonction du C_{eq} Isotherme Linéaire de Langmuir-1 $C_e/q_e = 0.0044 * C_e + 0.5563$	0.830	0.0079	225.1172	0.72	0.266	19.394
Etude $1/q_e$ en fonction de $1/C_e$ Isotherme Linéaire de Langmuir-2 $1/q_e = 0.6165 * 1/C_e + 0.0024$	0.952	0.0038	424.8751	0.02	0.004	26.164
Etude q_e en fonction de q_e/C_e Isotherme Linéaire de Langmuir-3 $q_e = -72.443 * q_e/C_e + 178.63$	0.598	0.0138	178.631	208.62	38.418	72.133
Etude q_e/C_e en fonction de q_e Isotherme Linéaire de Langmuir-4 $q_e/C_e = -0.0083 * q_e + 1.9388$	0.598	0.0082	234.6315	2.06	0.410	38.229

Avec, V volume de l'adsorbat (ml), m masse de l'adsorbat (g), C_0 concentration initiale de l'adsorbat (mg/l), C_{eq} concentration à l'équilibre de l'adsorbat (mg/l), $1/n$ constante de Freundlich indiquant l'intensité de l'adsorption, K_F constante de Freundlich correspondante à l'énergie d'adsorption (mg/g), q_e la quantité de substance adsorbée par unité de masse de l'adsorption (mg/g), q_m capacité maximale d'adsorption en (mg/g), b constante de Langmuir correspondant à l'énergie d'adsorption (l/mg), χ^2 Chi-square et RE est le taux d'élimination (removal efficiency) qui est égale à $\%RE = (C_0 - C_{eq}) / C_0$.

IV.1.2.6.2 Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich

Tableau IV.1.2.6.3 Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich

Modèle Linéaire de Freundlich	Paramètres		P-value	Erreurs	
	$\ln q_e = 1.755 + 0.592 * \ln C_e$	$\ln K_F$	1.755	8.3E-06	χ^2
$1/n$		0.5921	7.8E-08		
K_F		5,7841	R^2	APE	5.515
n		1,689	0.899	RMSE	0.264

Les figures Fig IV.1.2.6.1 et Fig IV.1.2.6.2 ci-dessous représentent les régressions linéaires et non linéaires de différents modèles d'isothermes linéaires de Langmuir et de Freundlich.

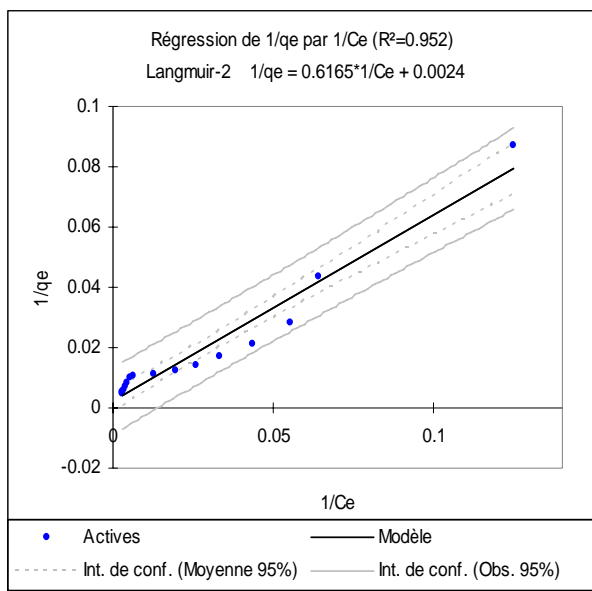


Fig IV.1.2.6.1

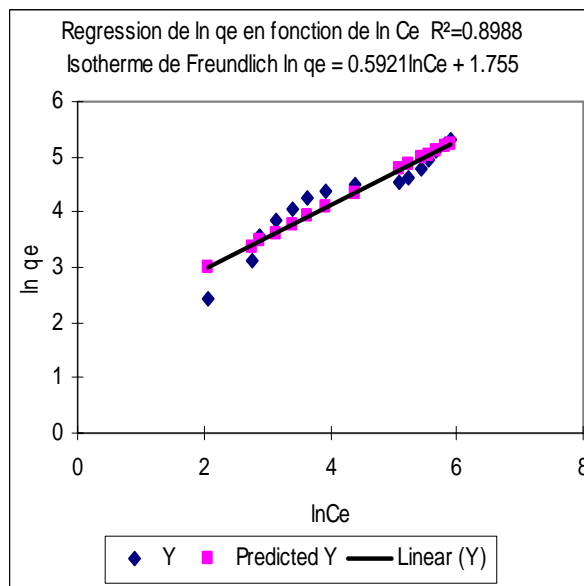


Fig IV.1.2.6.2

Le taux d'élimination et le coefficient de distribution les plus élevés sont égales a 94.25% et 2.049 l/g respectivement obtenus a une concentration initiale de 400 mg/l

La capacité maximale d'adsorption q_m la plus élevée est égale à 424.87 mg/g est obtenue par l'isotherme linéaire de Langmuir Type-II de même le coefficient de détermination R^2 de ce modèle est 0.952 Il est le plus important, le modèle décrit bien les données d'équilibre parce qu'il possède des fonctions d'erreurs tels que le RMSE ; APE et le Chi-square les plus petits, ce qui est un signe de la convergence des valeurs expérimentales et des valeurs calculées.

Les erreurs du modèle d'isotherme linéaire de Langmuir type I sont aussi petits mais il possède un coefficient de détermination R^2 égale à 0.83, ce modèle décrit mieux l'expérience par rapport a celui du Type IV et Type III qui possèdent un coefficient de détermination R^2 égale à 0.598 et des erreurs élevées.

En ce qui concerne l'équation du modèle Type-II qui est le plus favori elle est comme suit : $1/q_e = 0.6165 \cdot 1/C_e + 0.0024$

L'ordre des modèles : Type-II, Type-I, Type IV et Type III

Selon la Fig IV.1.2.6.6 Les valeurs du facteur de séparation ou aussi appelé le paramètre d'équilibre sont tous entre $0 < R_L < 1$ indiquant que les processus sont favorables.

L'équation du modèle d'isotherme linéaire de Freundlich est : $\ln q_e = 1.755 + 0.592 \cdot \ln C_e$
 Les P-value sont très faibles disant négligeable les erreurs de mêmes, l'intensité d'adsorption est aussi faible elle de 1.689 ce qui implique une capacité d'adsorption modérée, le coefficient de détermination obtenu est égale à 0.899 inférieure a celui de l'isotherme de Langmuir Type-II ce qui nous permet de conclure que ce dernier est valide pour cette expérience.

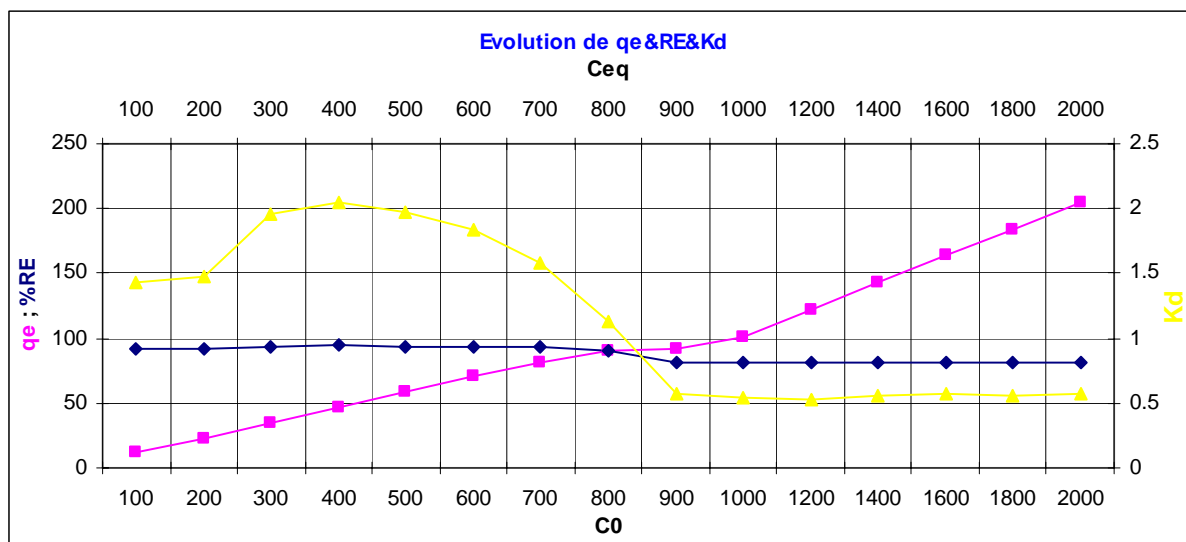


Fig IV.1.2.6.3 Evolution de q_e & RE & K_d

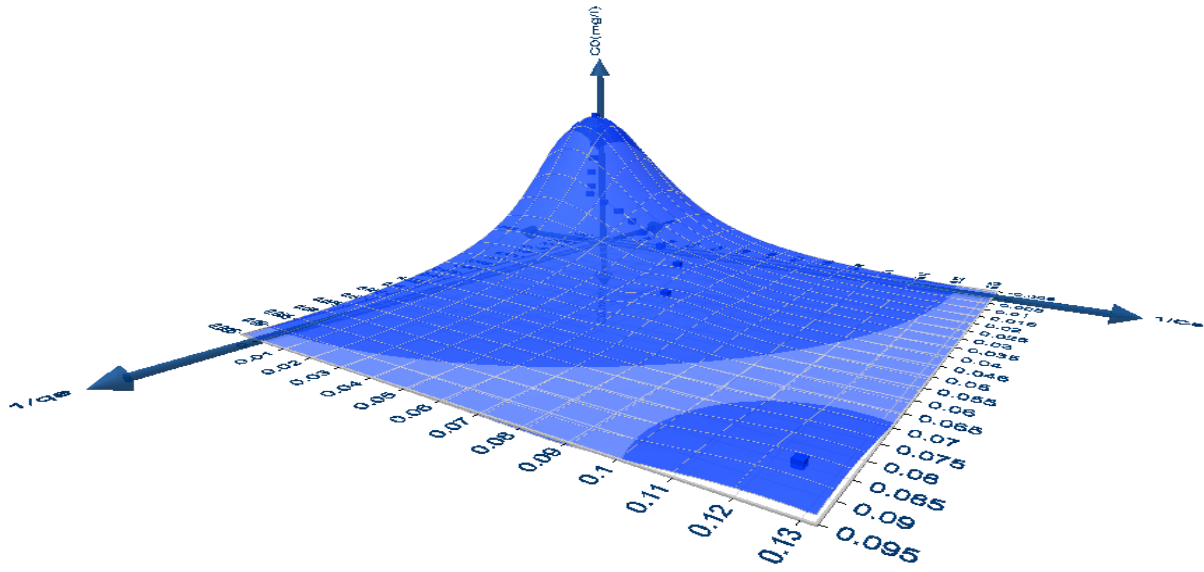


Fig IV.1.2.6.4 Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir Type-II en 3D

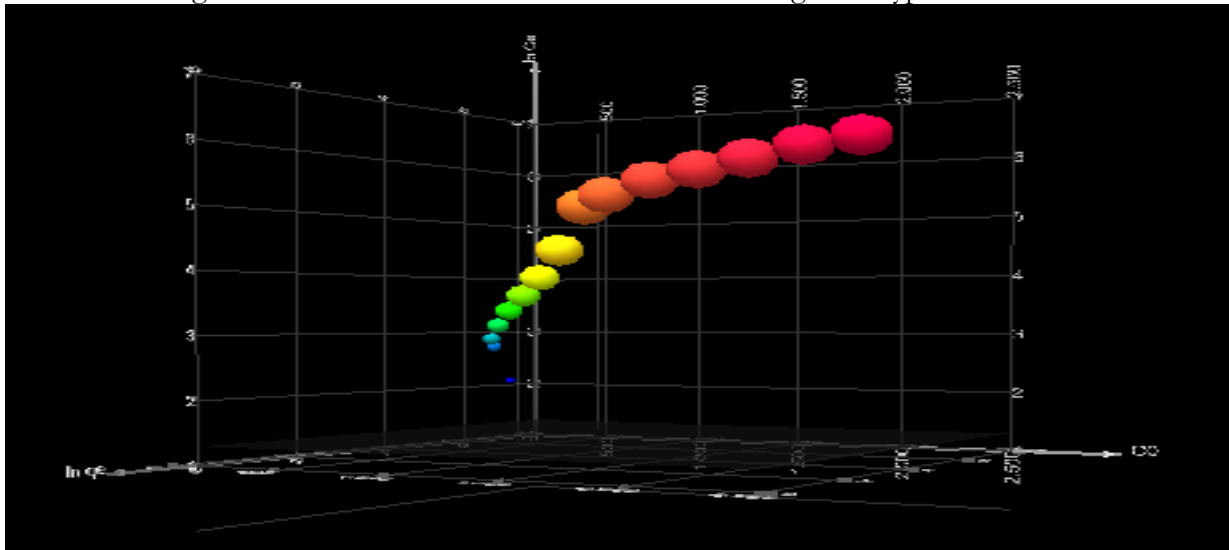


Fig IV.1.2.6.5 Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich en 3D

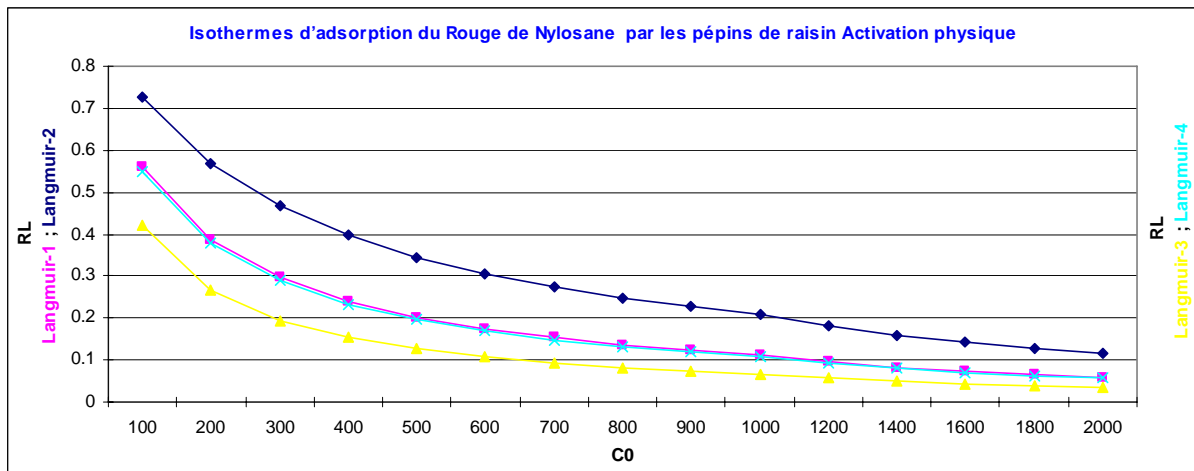


Fig IV.1.2.6.6 Facteur de Séparation

IV.1.2.7 Isothermes d'adsorption du Rouge de Nylosane par les pépins de raisin Charbon actif Aldrich

Le Charbon actif Aldrich est utiliser dans ce cas comme adsorbant afin d'éliminer le Rouge de Nylosane cela dépend de sa capacité maximale d'adsorption et de son taux d'élimination.

Les modèles d'isothermes linéaires de Langmuir et de Freundlich ont été appliqués pour la présente étude pour estimer les différents paramètres des modèles qui sont cité dans les tableaux au dessous.

Tableau IV.1.2.7.1 Résultats des isothermes d'adsorption du Rouge de Nylosane par les pépins de raisin Charbon actif Aldrich $m=0,1g$

C_0	C_{eq}	%RE	q_e	C_e/q_e	$1/q_e$	$1/C_e$	q_e/C_e	$\ln q_e$	$\ln C_e$
100	7.5	92.50	23.12	0.3243	0.0432	0.1333	3.0833	3.141	2.015
200	10.19	94.90	47.45	0.2147	0.021	0.0981	4.6567	3.86	2.321
300	12.69	95.77	71.82	0.1766	0.0139	0.0788	5.6601	4.274	2.541
400	19.56	95.11	95.11	0.2056	0.0105	0.0511	4.8624	4.555	2.973
500	19.75	96.05	120.06	0.1645	0.0083	0.0506	6.0791	4.788	2.983
600	27.25	95.46	143.18	0.1903	0.0069	0.0367	5.2546	4.964	3.305
700	29.94	95.72	167.51	0.1787	0.0059	0.0334	5.595	5.121	3.399
800	48.75	93.90	187.81	0.2595	0.0053	0.0205	3.8525	5.235	3.887
900	52.63	94.15	211.84	0.2484	0.0047	0.019	4.0251	5.356	3.963
1000	175.6	82.43	206.09	0.8522	0.0048	0.0057	1.1734	5.328	5.168
1200	246.9	79.42	238.28	1.0361	0.0042	0.004	0.9651	5.473	5.509
1400	330.6	76.38	267.34	1.2367	0.0037	0.003	0.8085	5.589	5.801
1600	437.5	72.65	290.62	1.5053	0.0034	0.0023	0.6643	5.672	6.081

IV.1.2.7.1 Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir

Tableau IV.1.2.7.2 Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir

Modèle	R^2	b (l/mg)	q_m (mg/g)	χ^2	RMSE	APE
Etude du q_e en fonction du C_{eq} $q_e = 0.4872 * C_e + 106.08$	0.680	NA	NA	224.99	49.847	55.786
Etude du C_e/q_e en fonction du C_{eq} Isotherme Linéaire de Langmuir-1 $C_e/q_e = 0.0033 * C_e + 0.1499$	0.974	0.0218	305.4893	0.23	0.079	18.835
Etude $1/q_e$ en fonction de $1/C_e$ Isotherme Linéaire de Langmuir-2 $1/q_e = 0.2497 * 1/C_e + 0.0002$	0.851	0.0007	5697.3222	0.04	0.004	40.977
Etude q_e en fonction de q_e/C_e Isotherme Linéaire de Langmuir-3 $q_e = -28.16 * q_e/C_e + 260.37$	0.459	0.0355	260.368	309.70	64.881	82.243
Etude q_e/C_e en fonction de q_e Isotherme Linéaire de Langmuir-4 $q_e/C_e = -0.0163 * q_e + 6.1873$	0.459	0.0163	379.4870	7.64	1.561	60.824

Avec, V volume de l'adsorbant (ml), m masse de l'adsorbant (g), C_0 concentration initiale de l'adsorbant (mg/l), C_{eq} concentration à l'équilibre de l'adsorbant (mg/l), $1/n$ constante de Freundlich indiquant l'intensité de l'adsorption, K_F constante de Freundlich correspondante à l'énergie d'adsorption (mg/g), q_e la quantité de substance adsorbée par unité de masse de l'adsorbant (mg/g), q_m capacité maximale d'adsorption en (mg/g), b constante de Langmuir correspondant à l'énergie d'adsorption (l/mg), χ^2 Chi-square et RE est le taux d'élimination (removal efficiency) qui est égale à $\%RE = (C_0 - C_{eq}) / C_0$.

IV.1.2.7.2 Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich

Tableau IV.1.2.7.3 Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich

Modèle Linéaire de Freundlich	Paramètres		P-value	Erreurs	
	$\ln q_e = 3.09 + 0.464 * \ln C_e$	$\ln K_F$	3.0906	1.92E-06	χ^2
$1/n$		0.4640	0.000175		
K_F		21,9938	R^2	APE	6.8248
n		2,1550	0.736	RMSE	0.3992

Les figures Fig IV.1.2.7.1 et Fig IV.1.2.7.2 ci-dessous représentent les régressions linéaires et non linéaires de différents modèles d'isothermes linéaires de Langmuir et de Freundlich.

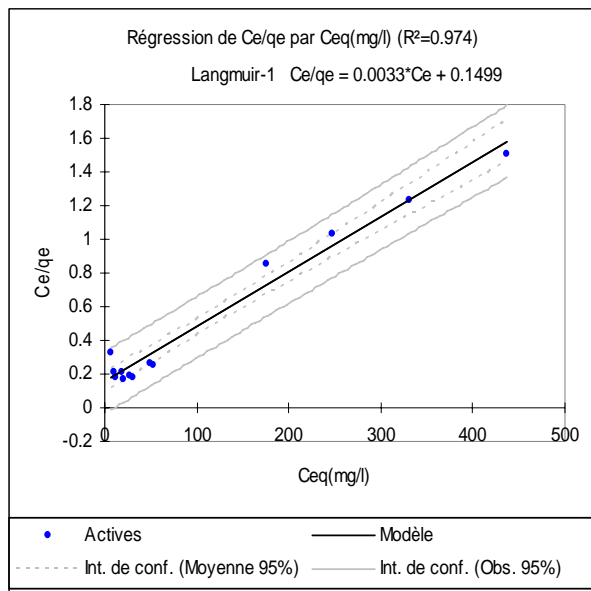


Fig IV.1.2.7.1

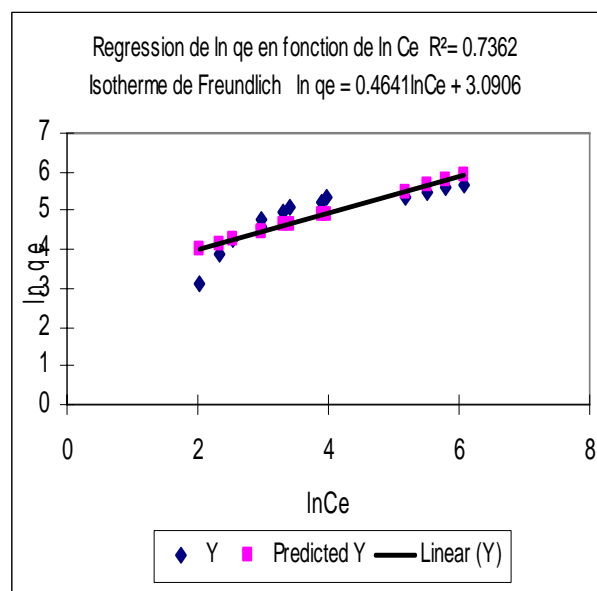


Fig IV.1.2.7.2

Une Concentration initial C_0 de 500 mg/l a donnée un taux d'élimination RE de 96.05% et un coefficient de distribution égale à 6.079 l/g, l'élimination dépasse les 70% pour différents concentrations initiales.

Le modèle Type-II donne une capacité maximale d'adsorption q_m importante égale à 5679.32 mg/g dix huit fois plus supérieurs a celle du Type-I qui est de 305.48 mg/g, l'APE de ce dernier est deux fois moins que du premier citer mais en se basant sur le coefficient de détermination R^2 celui du Type-I est largement supérieur a celui du Type-II : 0.974 Contre 0.851 Selon la Fig IV.1.2.7.6 Les valeurs du facteur de séparation ou aussi appelé le paramètre d'équilibre sont tous entre $0 < R_L < 1$ indiquant que les processus sont favorables et tous les modèles converges.

Donc en peut dire que le Modèle d'isotherme linéaire de Langmuir Type-I décrit mieux les données d'équilibre la constante de Langmuir est de 0.022 et l'équation du modèle :

$$C_e/q_e = 0.0033 * C_e + 0.1499$$

L'ordre des isothermes est : Type-I, Type-II, Type IV et Type III.

Le modèle de Freundlich est doté d'erreurs très faibles et de capacité d'adsorption bonne égale à 21.99 mg/g, l'intensité d'adsorption est égale à 2.1549 cela n'implique pas qu'il est favorable puisque son coefficient de détermination est faible il est de 0.736

$$\ln q_e = 3.09 + 0.464 * \ln C_e$$

Donc le modèle le plus approprié est celui de Langmuir Type-I.

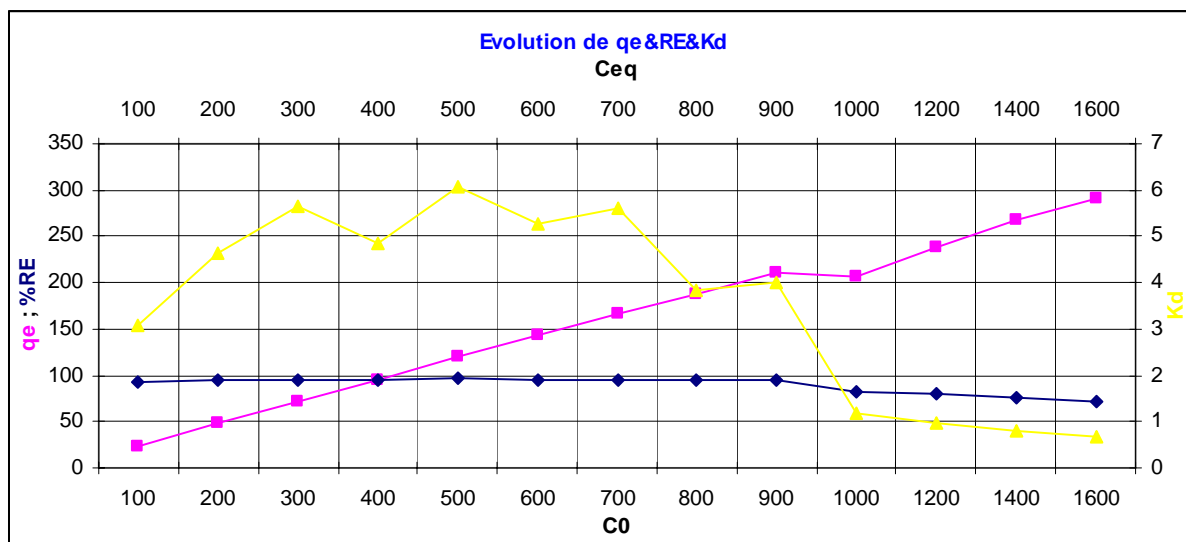


Fig IV.1.2.7.3 Evolution de q_e & RE & K_d

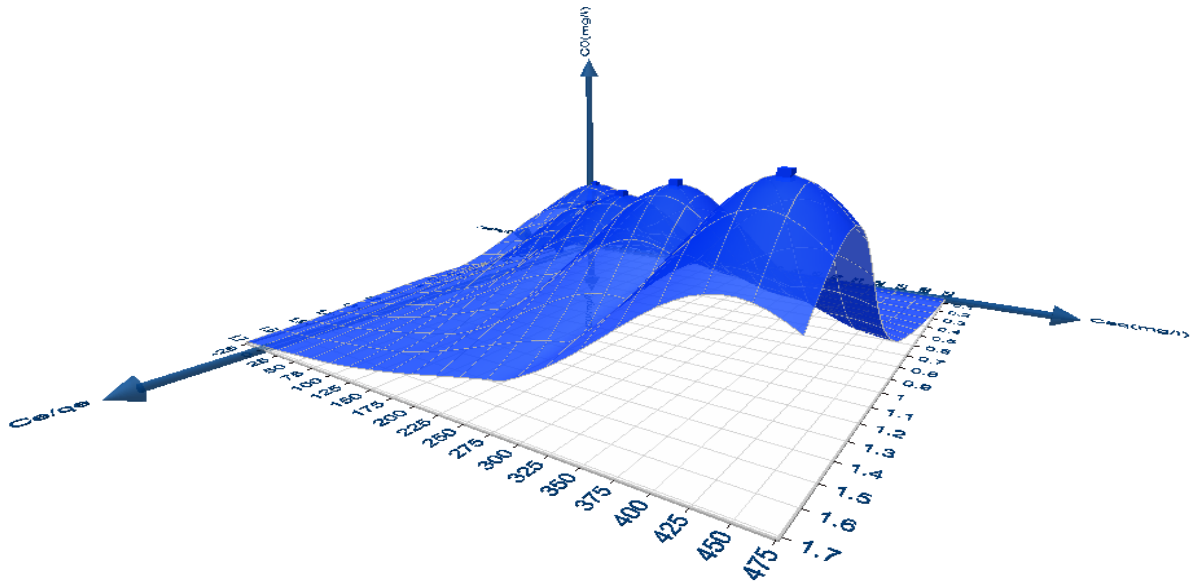


Fig IV.1.2.7.4 Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir Type-I en 3D

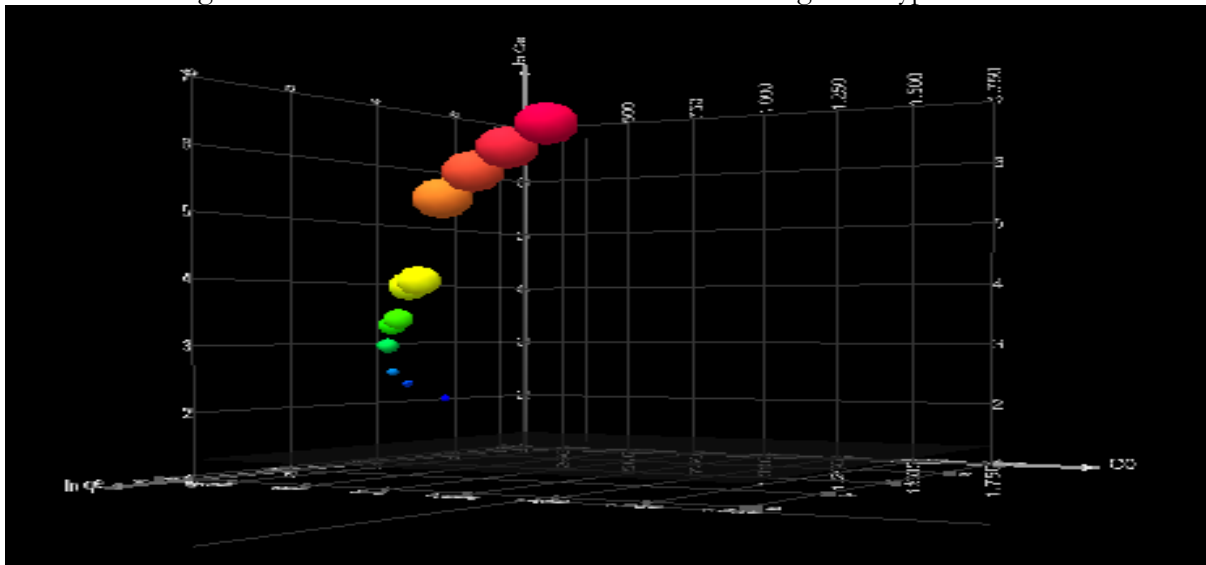


Fig IV.1.2.7.5 Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich en 3D

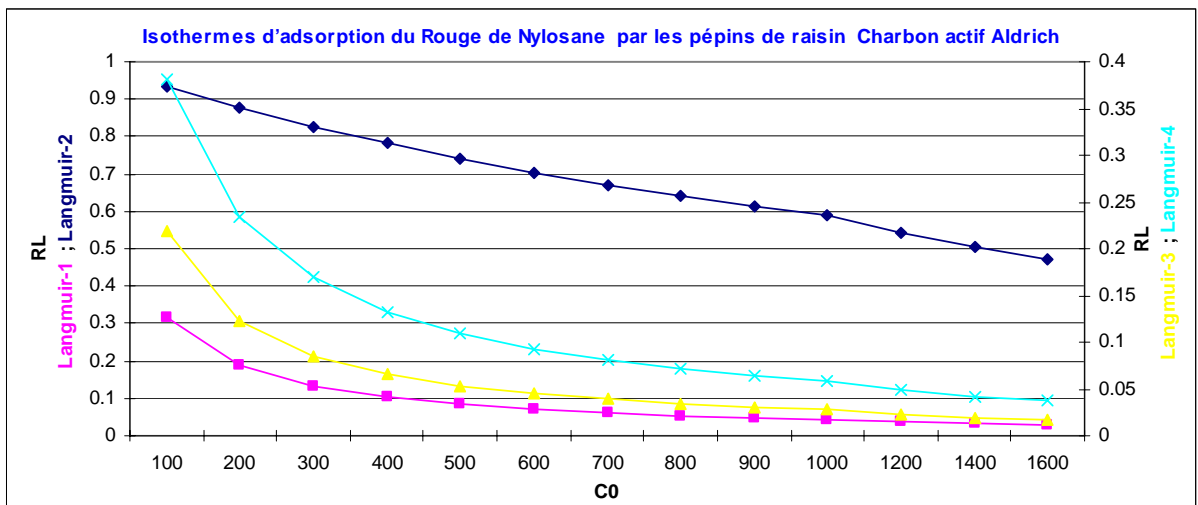


Fig IV.1.2.7.6 Facteur de Séparation

IV.1.3 ADSORPTION DU JAUNE DE SUPRANOL

IV.1.3.1 Isothermes d'adsorption du Jaune de Supranol par les pépins de raisin activés chimiquement par le CaCl_2

Les pépins de raisins traités en CaCl_2 ont été utilisé pour éliminer le Jaune de Supranol à partir des solutions aqueuses, l'adsorbant a été préparé par pyrolyse puis activée chimiquement par le CaCl_2 .

Les modèles d'isothermes linéaires de Langmuir et de Freundlich ont été appliqués pour la présente étude pour estimer les différents paramètres des modèles, ces derniers sont montrer dans les tableaux ci-dessous.

Tableau IV.1.3.1.1 Résultats des isothermes d'adsorption du Jaune de Supranol par les pépins de raisin activés chimiquement par le CaCl_2 $m=0,2\text{g}$

C_0	C_{eq}	%RE	q_e	C_e/q_e	$1/q_e$	$1/C_e$	q_e/C_e	$\ln q_e$	$\ln C_e$
100	8.81	91.19	11.39	0.77	0.0877	0.1135	1.29	2.432	2.175
200	16.6	91.68	22.92	0.72	0.0436	0.06	1.37	3.132	2.809
300	25.9	91.36	34.26	0.75	0.0291	0.0386	1.32	3.534	3.254
400	33.1	91.71	45.86	0.72	0.0218	0.0301	1.38	3.825	3.499
500	37.2	92.57	57.85	0.64	0.0172	0.0269	1.55	4.057	3.616
600	78.4	86.94	65.2	1.2	0.0153	0.0127	0.83	4.177	4.361
700	175	74.94	65.58	2.67	0.0152	0.0057	0.37	4.183	5.164
800	222	72.20	72.2	3.08	0.0138	0.0045	0.32	4.279	5.402
900	300	66.66	75	4	0.0133	0.0033	0.25	4.317	5.703
1000	388	61.19	76.49	5.07	0.013	0.0025	0.197	4.337	5.961
1200	466	61.13	91.69	5.08	0.0109	0.0021	0.196	4.518	6.144
1400	608	56.55	98.97	6.14	0.0101	0.0016	0.162	4.594	6.410

IV.1.3.1.1 Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir

Tableau IV.1.3.1.2 Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir

Modèle Linéaire de Langmuir	R^2	b (l/mg)	q_m (mg/g)	χ^2	RMSE	APE
Etude du q_e en fonction du C_{eq} $q_e = 0.114 * C_e + 37.354$	0.753	NA	NA	44.957	13.898	36.572
Etude du C_e/q_e en fonction du C_{eq} Isotherme Linéaire de Langmuir-1 $C_e/q_e = 0.01 * C_e + 0.6051$	0.974	0.0165	99.94	0.448	0.347	15.169
Etude $1/q_e$ en fonction de $1/C_e$ Isotherme Linéaire de Langmuir-2 $1/q_e = 0.6489 * 1/C_e + 0.008$	0.961	0.0122	125.616	0.009	0.004	18.942
Etude q_e en fonction de q_e/C_e Isotherme Linéaire de Langmuir-3 $q_e = -38.601 * q_e/C_e + 89.614$	0.685	0.0259	89.614	62.767	15.703	38.586
Etude q_e/C_e en fonction de q_e Isotherme Linéaire de Langmuir-4 $q_e/C_e = -0.0177 * q_e + 1.8338$	0.685	0.0177	103.324	1.552	0.336	48.308

Avec, V volume de l'adsorbant (ml), m masse de l'adsorbant (g), C_0 concentration initiale de l'adsorbant (mg/l), C_{eq} concentration à l'équilibre de l'adsorbant (mg/l), $1/n$ constante de Freundlich indiquant l'intensité de l'adsorption, K_F constante de Freundlich correspondante à l'énergie d'adsorption (mg/g), q_e la quantité de substance adsorbée par unité de masse de l'adsorbant (mg/g), q_m capacité maximale d'adsorption en (mg/g), b constante de Langmuir correspondant à l'énergie d'adsorption (l/mg), χ^2 Chi-square et RE est le taux d'élimination (removal efficiency) qui est égale à $\%RE = (C_0 - C_{eq}) / C_0$.

IV.1.3.1.2 Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich

Tableau IV.1.3.1.3 Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich

Modèle Linéaire de Freundlich	Paramètres		P-value	Erreurs	
	$\ln q_e = 2.1445 + 0.3973 \cdot \ln C_e$	$\ln K_F$	2.1445	1.92E-05	χ^2
$1/n$		0.3973	5.71E-05		
K_F		8,5378	R^2	APE	5.6208
n		2,5171	0.815	RMSE	0.2851

Les figures Fig IV.1.3.1.1 et Fig IV.1.3.1.2 ci-dessous représentent les régressions linéaires et non linéaires de différents modèles d'isothermes linéaires de Langmuir et de Freundlich.

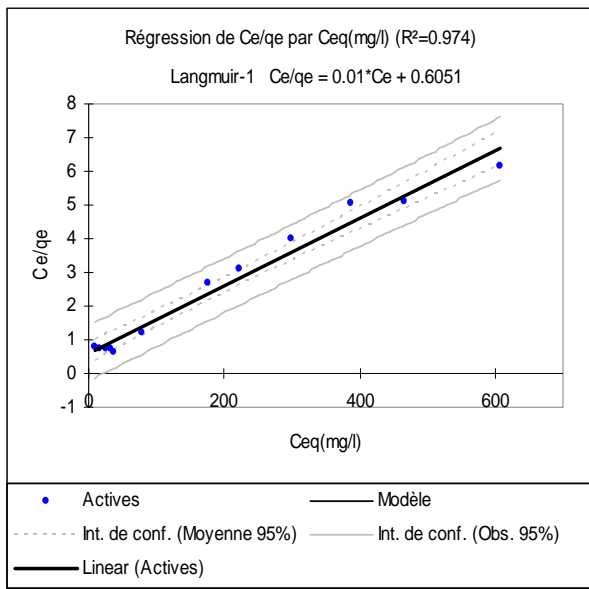


Fig IV.1.3.1.1

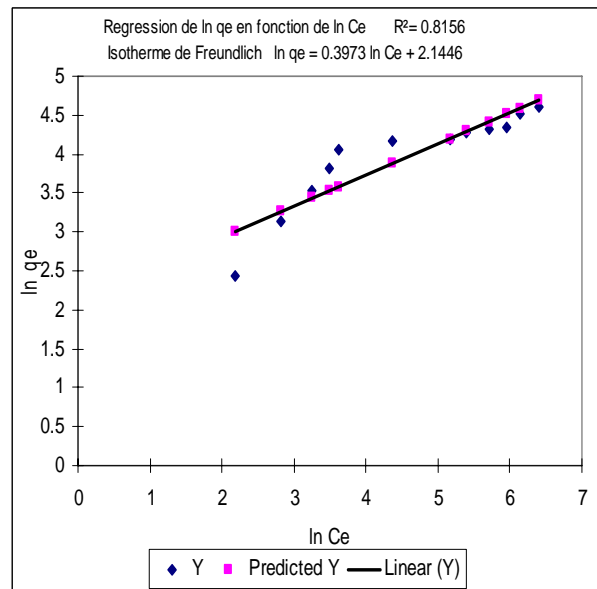


Fig IV.1.3.1.2

Le taux d'élimination RE et le coefficient de distribution K_d les plus élevés sont égales à 92.57% et 1.55 l/g respectivement et correspond à une concentration initiale C_0 de 500 mg/l

Par comparaison des quatre équations linéarisées de Langmuir, on l'observe que le Type-I de l'équation linéarisée de Langmuir a montré une valeur plus élevée de coefficient de détermination R^2 égale à 0.974 que celle des deux autres équations linéarisées Type III et IV, par contre celui du Type II est plus proche du Type I et qui est égale à 0.961 comme montré dans le tableau IV.1.3.1.2.

La capacité d'adsorption du Jaune de Supranol s'est avérée 99,94 mg/g pour le modèle linéarisé de Langmuir le Type-I et pour le type II ; III et IV sont 125,616 mg/g ; 89.614 mg/g et 103.604 mg/g, respectivement.

Ainsi, pendant la linéarisation, les erreurs dans le calcul des paramètres peuvent être responsable de la variation du q_m « de capacité d'adsorption » et la constante d'adsorption 'b' (de Type-I forme linéarisé d'isotherme au Type-IV).

Afin de vérifier la validité du modèle d'isotherme de Langmuir, il est essentiel de calculer le pourcentage moyen d'erreurs APE et la valeur du Chi-square aussi le RMSE. il est clair du tableau IV.3.1.2 que les modèles de Langmuir linéarisé (Type-I, Type-II, Type III et Type IV), le APE était plus de 10 %, la valeur de ce dernier la moins élevée ainsi que le chi-square et le RMSE les moins élevées correspondent au Coefficient de détermination R^2 élevé pour le modèle Type-I et Type- II donc ces deux modèles peuvent décrire des données d'équilibre avec une petite préférence pour le model Type I puisque il n'y a pas une grande différence entre les valeurs expérimentales et les valeurs calculées.

La constante de Langmuir b de cet isotherme Type-I est égale à 0.016 l/mg et l'équation du modèle très favori est : $C_e/q_e = 0.01 * C_e + 0.605$

Le RMSE ; le chi-square et le APE du modèle de Langmuir type III sont élevées et présente un faible coefficient de détermination R^2 .

Un faible coefficient de détermination R^2 pour l'isotherme Type IV avec une moyenne d'erreur APE égale à 48.308.

Donc pour ces deux isothermes type III et Type IV il y a une grande différence entre les valeurs expérimentales et les valeurs calculées, cela indique que les modèles ne peuvent pas décrire des données d'équilibre. L'ordre des isothermes des modèles de Langmuir tenons en compte la valeur du Coefficient de détermination R^2 les plus élevés et les erreurs les moins trouvées est comme suit : Type-I, Type-II, Type IV et Type III.

Selon la Fig IV.1.3.1.6 Les valeurs du facteur de séparation ou aussi appelé le paramètre d'équilibre sont tous entre $0 < R_L < 1$ indiquant que les processus sont favorables.

Par conséquent, il n'est pas approprié uniquement d'employer les valeurs du coefficient de détermination pour comparer les isothermes.

L'équation du modèle d'isotherme linéaire de Freundlich trouvée est :

$$\ln q_e = 2.1445 + 0.3973 \cdot \ln C_e$$

La valeur d'intensité d'adsorption $n = 2.5169$ indiquant une bonne capacité d'adsorption, la capacité d'adsorption K_F est de 8.5385 mg/g, les P-value sont négligeables indiquant un bon agrément entre les données expérimentales et calculer. Le coefficient de détermination trouvé est de 0.815 et en tenons compte du modèle de Langmuir qui est sélectionné auparavant et qui présente un coefficient de détermination R^2 égale 0.974 et des P-value et des erreurs très minimes on peut conclure que le modèle de Langmuir Type-I est très favorable et décrit très bien les données d'équilibre tout en excluant pas les autres modèles qui ont leurs domaines d'application.

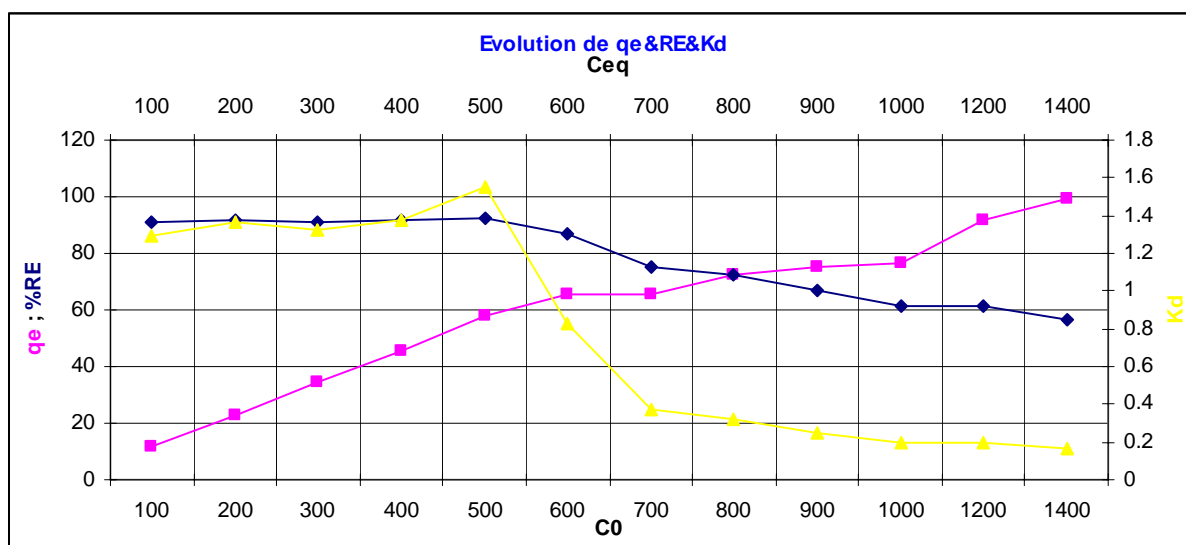


Fig IV.1.3.1.3 Evolution de qe & RE & Kd

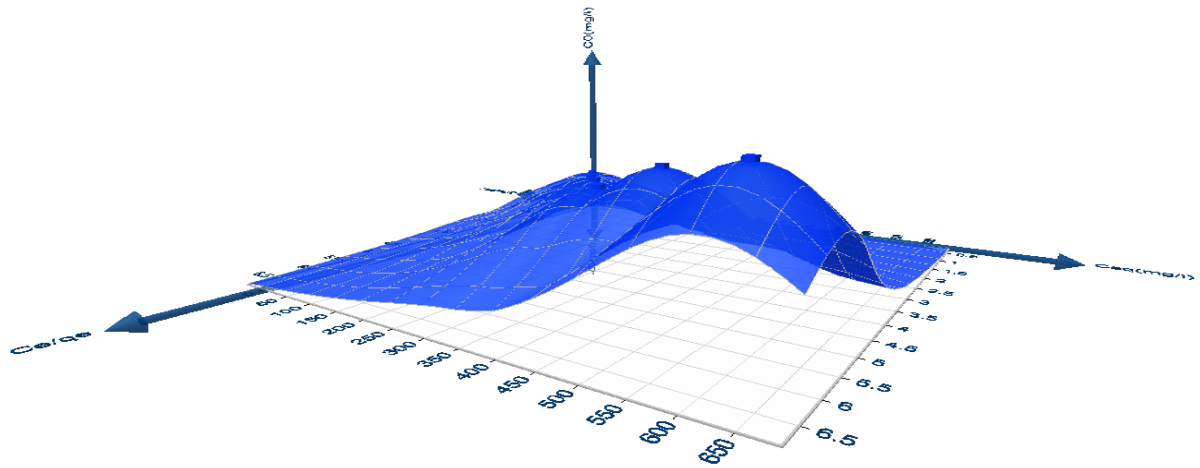


Fig IV.1.3.1.4 Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir Type-I en 3D

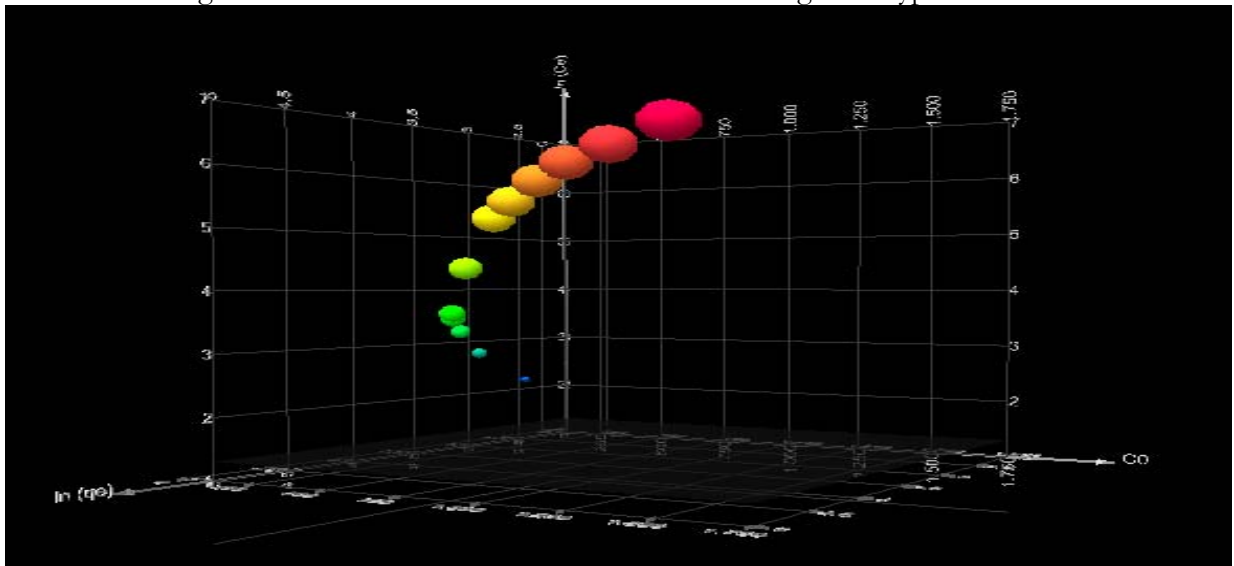


Fig IV.1.3.1.5 Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich en 3D

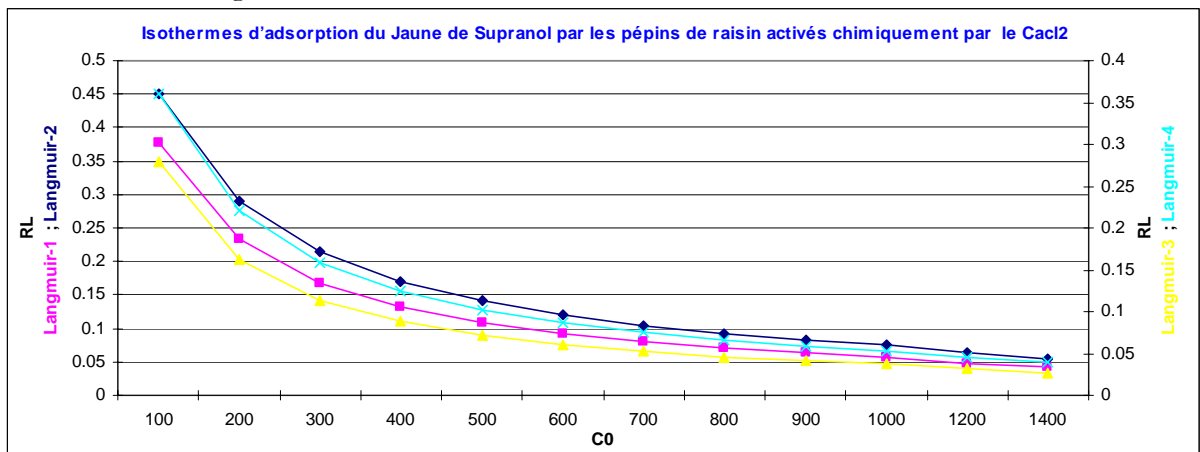


Fig IV.1.3.1.6 Facteur de Séparation

IV.1.3.2 Isothermes d'adsorption du Jaune de Supranol par les pépins de raisin à l'état naturel

L'utilisation des pépins de raisins à l'état naturel permettent aussi d'éliminer le Jaune de Supranol mais cela dépend de sa capacité maximale d'adsorption et du taux d'élimination du colorant.

Les modèles d'isothermes linéaires de Langmuir et de Freundlich ont été appliqués pour cette opération d'adsorption afin d'estimer les différents paramètres des modèles et chercher le modèle approprié qui converge le mieux.

Tableau IV.1.3.2.1 : Résultats des isothermes d'adsorption du Jaune de Supranol par les pépins de raisin à l'état naturel $m=0,2g$

C_0	C_{eq}	%RE	q_e	C_e/q_e	$1/q_e$	$1/C_e$	q_e/C_e	$\ln q_e$	$\ln C_e$
50	6.49	87.02	5.43	1.19	0.18	0.15	0.84	1.692	1.870
100	9.78	90.22	11.27	0.86	0.08	0.1	1.15	2.422	2.280
150	19.93	86.71	16.25	1.22	0.06	0.05	0.81	2.788	2.992
200	27.46	86.27	21.56	1.27	0.04	0.03	0.78	3.070	3.312
250	35.82	85.67	26.77	1.33	0.03	0.028	0.74	3.287	3.578
300	40.3	86.56	32.46	1.24	0.03	0.025	0.8	3.480	3.696
350	58.88	83.17	36.39	1.62	0.027	0.017	0.62	3.594	4.075
400	99.25	75.18	37.59	2.64	0.026	0.01	0.38	3.626	4.597
450	126.1	71.97	40.48	3.11	0.0247	0.008	0.32	3.701	4.837
500	166.4	66.71	41.69	3.99	0.024	0.006	0.25	3.730	5.114
550	212.7	61.33	42.16	5.04	0.0237	0.004	0.19	3.741	5.359
600	261.2	56.46	42.35	6.16	0.0236	0.0038	0.16	3.746	5.565

IV.1.3.2.1 Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir

Tableau IV.1.3.2.2 : Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir

Modèle	R^2	b (l/mg)	q_m (mg/g)	χ^2	RMSE	APE
Etude du q_e en fonction du C_{eq} $q_e = 0.1227 * C_e + 18.653$	0.64	NA	NA	27.48	8.16	41.79
Etude du C_e/q_e en fonction du C_{eq} Isotherme Linéaire de Langmuir-1 $C_e/q_e = 0.0204 * C_e + 0.6662$	0.99	0.0308	49.008	0.30	0.19	8.369
Etude $1/q_e$ en fonction de $1/C_e$ Isotherme Linéaire de Langmuir-2 $1/q_e = 0.983 * 1/C_e + 0.0134$	0.95	0.0136	74.508	0.01	0.011	15.479
Etude q_e en fonction de q_e/C_e Isotherme Linéaire de Langmuir-3 $q_e = -35.751 * q_e/C_e + 50.614$	0.75	0.0279	50.614	20.83	6.75	34.33
Etude q_e/C_e en fonction de q_e Isotherme Linéaire de Langmuir-4 $q_e/C_e = -0.0212 * q_e + 1.2144$	0.75	0.0211	57.405	0.48	0.16	28.86

IV.1.3.2.2 **Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich**

Tableau IV.1.3.2.3 Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich

Modèle Linéaire de Freundlich	Paramètres		P-value	Erreurs	
	$\ln q_e = 1.2849 + 0.4962 \cdot \ln C_e$	$\ln K_F$	1.2849	0.000834	χ^2
$1/n$		0.4962	2.17E-05		
K_F		3,6199	R²	APE	6.6324
n		2,016	0.847	RMSE	0.2645

Les figures Fig IV.1.3.2.1 et Fig IV.1.3.2.2 ci-dessous représentent les régressions linéaires et non linéaires de différents modèles d'isothermes linéaires de Langmuir et de Freundlich.

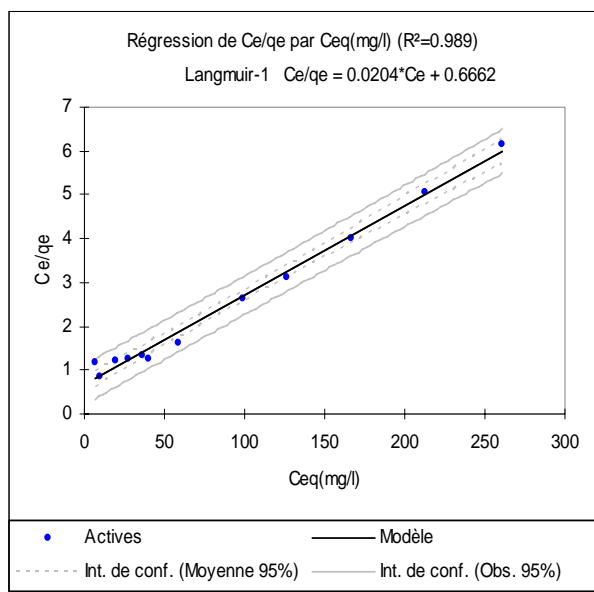


Fig IV.1.3.2.1

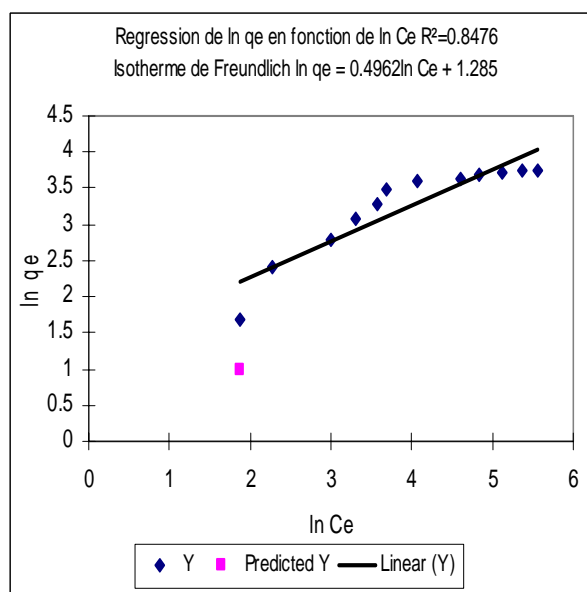


Fig IV.1.3.2.2

Le taux d'élimination RE% et le coefficient de distribution K_d les plus élevés sont égales à 90.22% et 1.15 l/g respectivement ils correspondent à une concentration initial C_0 égale à 100 mg/l et donne une quantité de substance adsorbée par unité de masse de l'adsorption q_e égale à 11.27 mg/g.

Le pourcentage d'élimination dépasse les 50% pour différents concentrations utilisés.

Le modèle d'isotherme linéaire de Langmuir Type-I donne un coefficient de détermination R^2 près de l'unité égale à 0.99 les erreurs sont négligeables, la capacité maximale d'adsorption q_m et la constante d'équilibre d'adsorption b trouvées sont respectivement 49.019 mg/g et 0.030 l/mg d'où l'équation du modèle est comme suit :

$$C_e/q_e = 0.0204 \cdot C_e + 0.6662$$

Donc ce modèle converge et peut décrire des données d'équilibre puisque il n'y a pas une grande différence entre les valeurs expérimentales et les valeurs calculées.

Le modèle Type-II présente un coefficient de détermination R^2 significative égale à 0.95 ; des erreurs aussi moindres et une capacité maximale d'adsorption la plus élevée comparativement aux autres modèles elle est de 74.58 mg/g, ce modèle est aussi favorable.

Le coefficient de détermination R^2 du modèle type III et Type IV est égale à 0.75 mais les erreurs du premier type sont supérieures par rapport au dernier.

Selon la Fig IV.1.3.2.6 Les valeurs du facteur de séparation ou aussi appelé le paramètre d'équilibre sont tous entre $0 < R_L < 1$ indiquant que les processus sont favorables.

L'ordre des isothermes des modèles de Langmuir tenons en compte la valeur du coefficient de détermination R^2 les plus élevés et les erreurs les moins trouvées est comme suit : Type-I, Type-II, Type IV et Type III.

L'équation du modèle d'isotherme linéarisé de Freundlich a la forme suivante :

$$\ln q_e = 1.2849 + 0.4962 \cdot \ln C_e$$

Les P-value tendent vers le zéro la valeur de l'intensité d'adsorption n est de 2.0153 indiquant que le processus d'adsorption est favorable, la capacité d'adsorption K_F est de 3.6145 mg/g.

Le coefficient de détermination R^2 de ce modèle est égal à 0.847 qui est inférieur par rapport a celui du modèle de Langmuir Type-I d'où ce dernier est favorable et capable d'expliquer très bien l'isotherme d'adsorption du Jaune de Supranol par les pépins de raisin à l'état naturel.

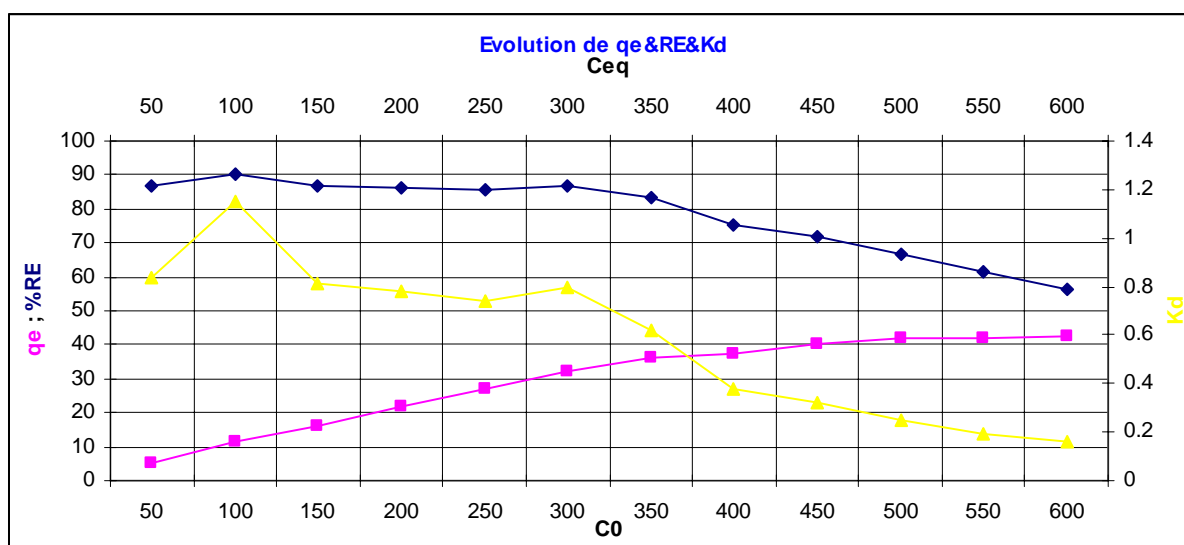


Fig IV.1.3.2.3 Evolution de q_e & RE & K_d

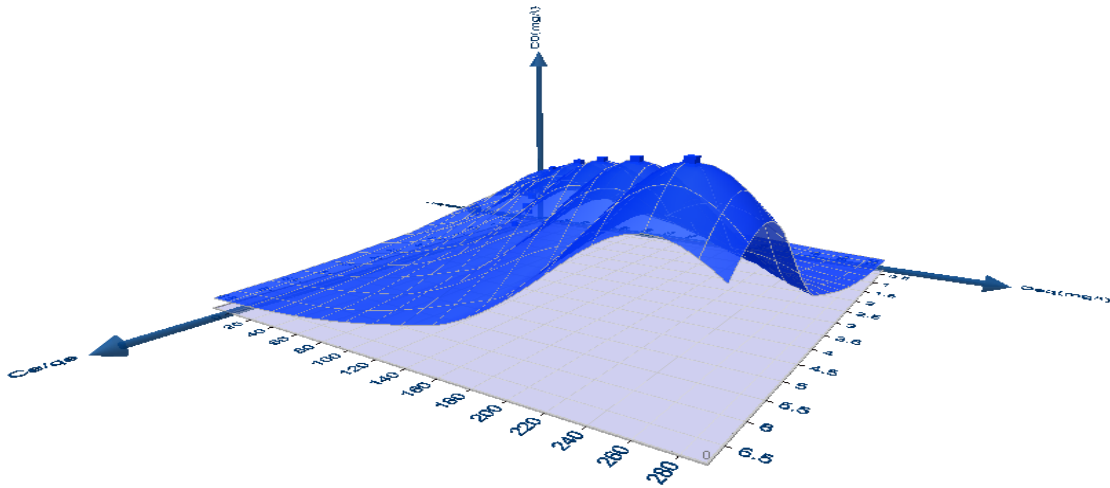


Fig IV.1.3.2.4 Modèle de Langmuir Type-I en 3D

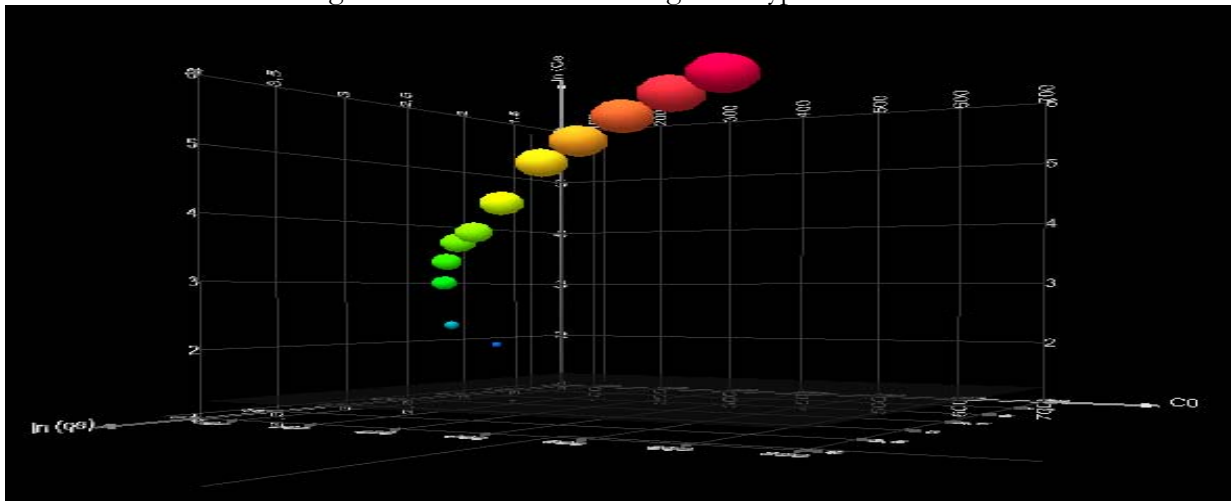


Fig IV.1.3.2.5 Modèle de Freundlich en 3D

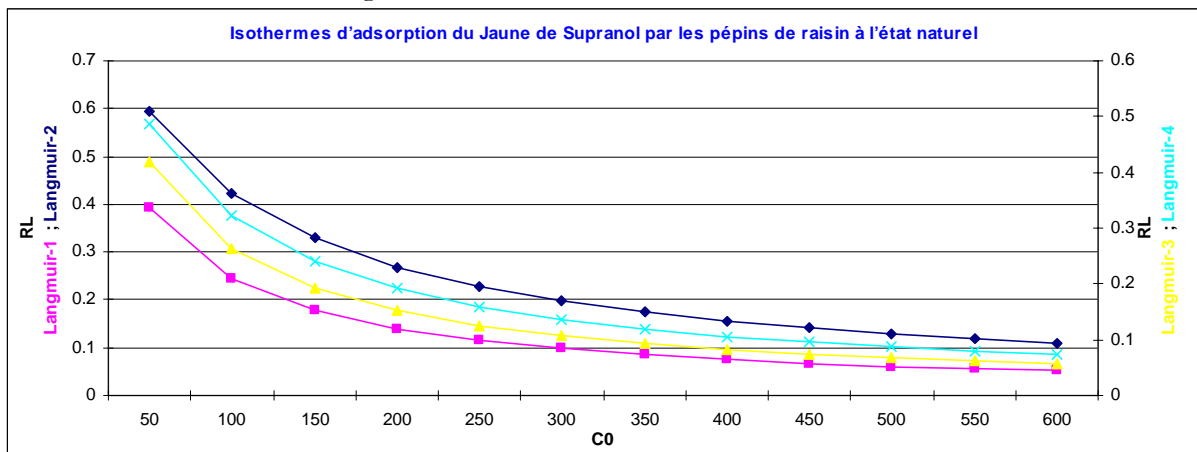


Fig IV.1.3.2.6 Facteur de Séparation

IV.1.3.3 Isothermes d'adsorption du Jaune de Supranol par les pépins de raisin activés chimiquement par le H_3PO_4

Les pépins de raisins traités en H_3PO_4 ont été utilisé pour éliminer le Jaune de Supranol à partir des solutions aqueuses, le matériau a été préparé par pyrolyse puis activée chimiquement. Les modèles d'isothermes linéaires de Langmuir et de Freundlich ont été appliqués pour la présente étude pour estimer les différents paramètres des modèles.

Tableau IV.1.3.3.1 Résultats des isothermes d'adsorption du Jaune de Supranol par les pépins de raisin activés chimiquement par le H_3PO_4 $m=0.1g$

C_0	C_{eq}	% RE	q_e	C_e/q_e	$1/q_e$	$1/C_e$	q_e/C_e	$\ln q_e$	$\ln C_e$
100	0.37	99.63	24.9	0.015	0.04	2.7	67.31	3.214	-0.994
200	0.97	99.51	49.75	0.019	0.02	1.03	51.29	3.907	-0.030
300	3.66	98.78	74.08	0.0494	0.013	0.27	20.24	4.305	1.297
400	4.93	98.76	98.76	0.0499	0.01	0.2	20.03	4.592	1.595
500	7.31	98.54	123.17	0.059	0.008	0.13	16.85	4.813	1.989
600	9.18	98.47	147.7	0.062	0.006	0.11	16.09	4.995	2.217
700	11.79	98.31	172.05	0.068	0.0058	0.08	14.59	5.147	2.467
800	19.25	97.59	195.18	0.098	0.0051	0.052	10.14	5.274	2.957
900	33.73	96.25	216.56	0.155	0.0046	0.029	6.42	5.377	3.518
1000	51.27	94.87	237.18	0.216	0.0042	0.019	4.62	5.468	3.937
1200	91.79	92.35	277.05	0.331	0.0036	0.011	3.02	5.624	4.519
1400	190.3	86.41	302.42	0.629	0.0033	0.005	1.59	5.711	5.248
1600	426.87	73.32	293.28	1.455	0.0034	0.002	0.68	5.681	6.056
1800	565.67	68.57	308.58	1.833	0.0032	0.0017	0.54	5.732	6.338
2000	670.15	66.49	332.46	2.015	0.003	0.0015	0.49	5.806	6.507

IV.1.3.3.1 Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir

Tableau IV.1.3.3.2 Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir

Modèle	R^2	b (1/mg)	q_m (mg/g)	χ^2	RMSE	APE
Etude du q_e en fonction du C_{eq} $q_e = 0.3336 * C_e + 143.79$	0.55	NA	NA	400.84	70.41	67.77
Etude du C_e/q_e en fonction du C_{eq} Isotherme Linéaire de Langmuir-1 $C_e/q_e = 0.0031 * C_e + 0.0399$	0.996	0.077	323.079	0.046	0.041	24.65
Etude $1/q_e$ en fonction de $1/C_e$ Isotherme Linéaire de Langmuir-2 $1/q_e = 0.0135 * 1/C_e + 0.0048$	0.962	0.354	208.575	0.007	0.002	24.95
Etude q_e en fonction de q_e/C_e Isotherme Linéaire de Langmuir-3 $q_e = -4.4704 * q_e/C_e + 259.93$	0.732	0.2237	259.934	74.71	54.32	46.07
Etude q_e/C_e en fonction de q_e Isotherme Linéaire de Langmuir-4 $q_e/C_e = -0.1639 * q_e + 46.769$	0.732	0.1638	285.380	17.55	10.40	238.25

IV.1.3.3.2 Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich

Tableau IV.1.3.3.3 Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich

Modèle Linéaire de Freundlich	Paramètres		P-value	Erreurs	
	$\ln q_e = 4.052 + 0.3122 * \ln C_e$	$\ln K_F$	4.052	6.02E-14	χ^2
$1/n$		0.312	2.09E-07		
K_F		57.523	R^2	APE	4.646
n		3.202	0.8823	RMSE	0.2698

Les figures Fig IV.1.3.3.1 et Fig IV.1.3.3.2 ci-dessous représentent les régressions linéaires et non linéaires de différents modèles d'isothermes linéaires de Langmuir et de Freundlich.

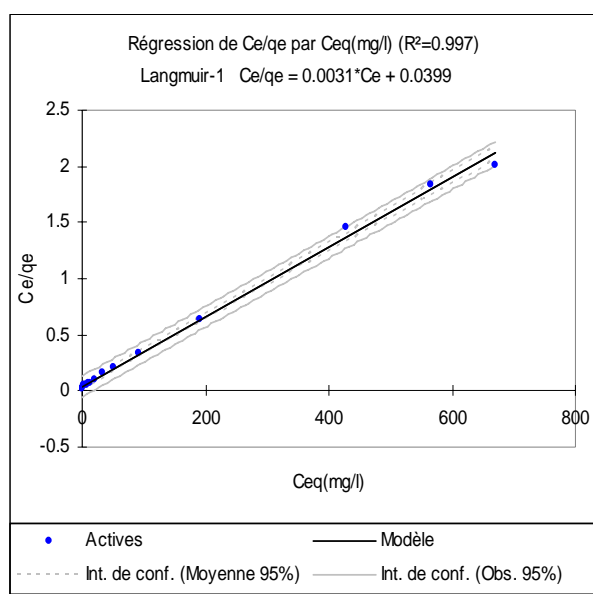


Fig IV.1.3.3.1

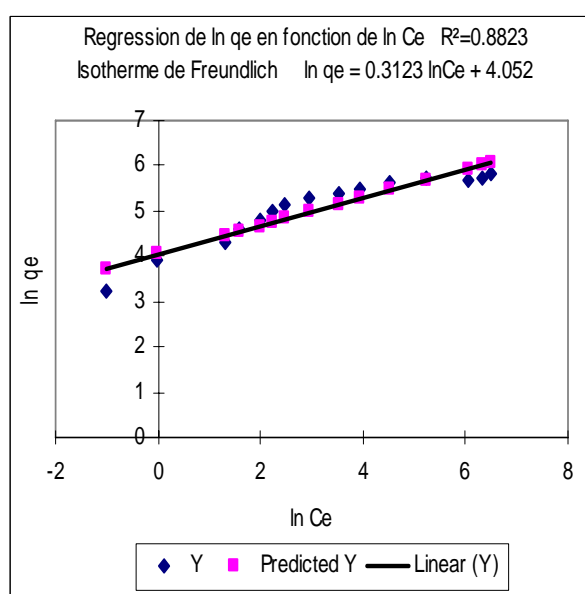


Fig IV.1.3.3.2

Des concentrations initiales de 100 mg/l allons jusqu'à 1200 mg/l donnent des taux d'élimination RE% dépassant le 90%. A une concentration initiale $C_0=100$ mg/l le pourcentage d'élimination est égale à 99.63% presque parfait et le coefficient de distribution est égale à 67.31 l/g, on remarque que C_0 est inversement proportionnelle a RE et K_d .

Le coefficient de détermination R^2 du modèle d'isotherme linéaire de Langmuir Type III et Type IV sont égales à 0.732 mais les erreurs du premier type sont supérieures par rapport au dernier.

L'énergie d'adsorption et la capacité maximale d'adsorption du modèle Type II sont égale à 0.354 l/mg s et 208.575 mg/g respectivement le RMSE et le χ^2 sont négligeables son APE est voisin du modèle Type I et le coefficient de détermination est très significative égale à 0.962.

Selon la Fig IV.1.3.3.6 Les valeurs du facteur de séparation ou aussi appelé le paramètre d'équilibre sont tous entre $0 < R_L < 1$ indiquant que les processus sont favorables.

Le modèle qui peut décrire mieux les données d'équilibre c'est l'isotherme Type-I qui possède un coefficient de détermination R^2 près de l'unité égale à 0.996 ces erreurs sont négligeables en plus sa capacité maximale d'adsorption q_m est la plus élevée elle est égale à 322.580 mg/g et la constante de Langmuir b qui est relié à l'énergie d'adsorption égale à 0.077 l/mg.

D'où l'équation du modèle est comme suit : $C_e/q_e = 0.0031 * C_e + 0.0399$

L'ordre des isothermes des modèles de Langmuir tenons en compte la valeur du R^2 les plus élevés et les erreurs les moins trouvées est comme suit : Type-I. Type-II. Type IV et Type III.

La constante du modèle d'isotherme linéaire de Freundlich K_f qui mesure la capacité d'adsorption est égale à 57.5152 mg/g elle est largement supérieur aux deux constante précédentes. Il est claire aussi que l'intensité de l'adsorption est élevé indiquant une bonne capacité d'adsorption.les erreurs du modèle sont très négligeable cela dit qu'il y a un bon agrément entre les données expérimentales et calculer.

L'équation de Freundlich trouvé a la forme suivante : $\ln q_e = 4.052 + 0.3122 * \ln C_e$

Mais on tenons compte des coefficients de déterminations R^2 , On peut juger que le modèle isotherme linéaire de Langmuir Type-I valide pour ce cas.

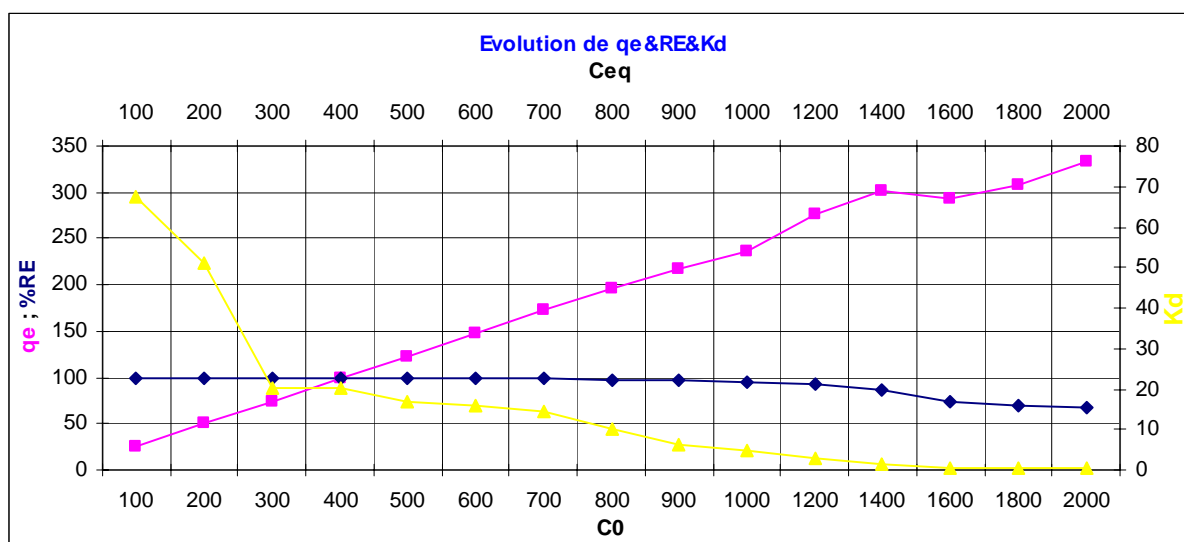


Fig IV.1.3.3.3 Evolution de qe, RE & Kd

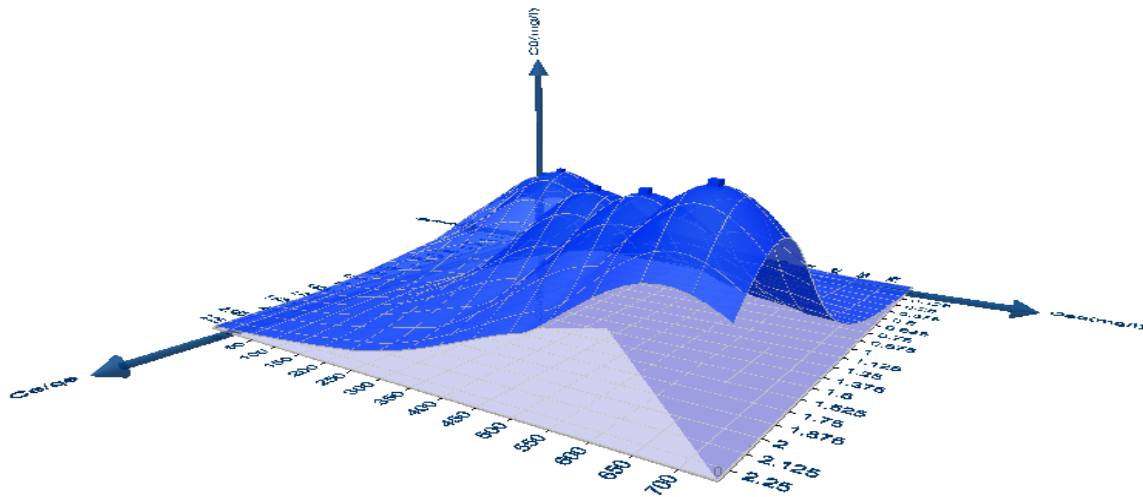


Fig IV.1.3.3.4 Modèle de Langmuir Type-I en 3D

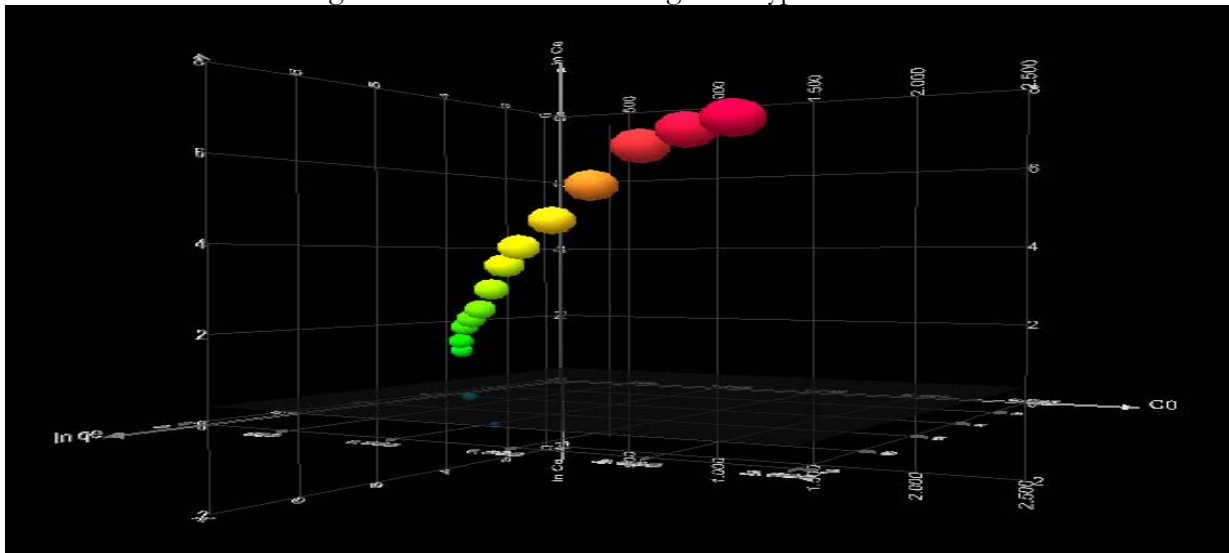


Fig IV.1.3.3.5 Modèle de Freundlich en 3D

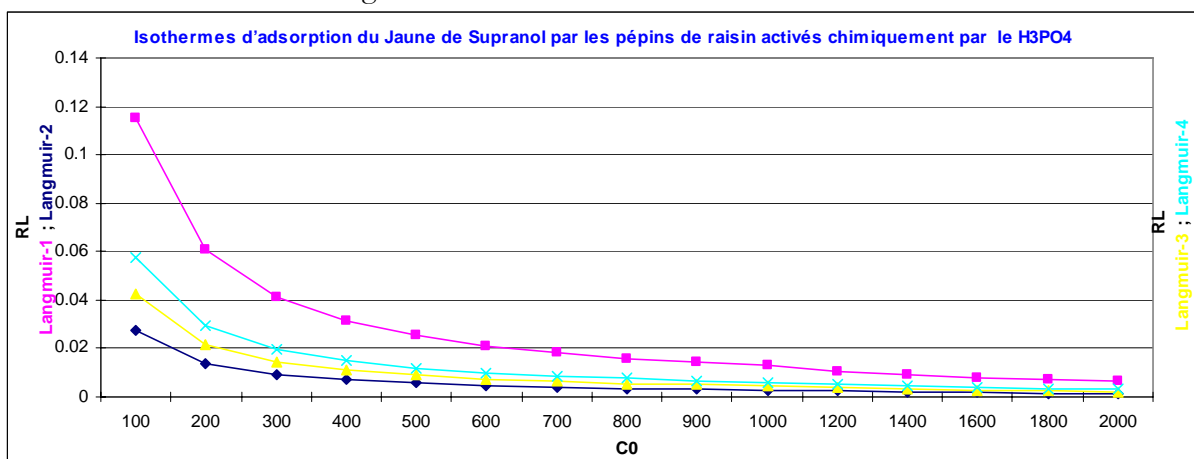


Fig IV.1.3.3.6 Facteur de Séparation

IV.1.3.4 Isothermes d'adsorption du Jaune de Supranol par les pépins de raisin activés chimiquement par le KOH

Après la pyrolyse des pépins de raisins étaient ensuite activée chimiquement par le KOH pour des fins de les utiliser comme adsorbant permettant ainsi l'élimination du Jaune de Supranol. Les modèles d'isothermes linéaires de Langmuir et de Freundlich ont été appliqués pour la présente étude pour estimer les différents paramètres des modèles.

Tableau IV.1.3.4.1 Résultats des isothermes d'adsorption du Jaune de Supranol par les pépins de raisin activés chimiquement par le KOH $m=0.1g$

C_0	C_{eq}	%RE	q_e	C_e/q_e	$1/q_e$	$1/C_e$	q_e/C_e	$\ln q_e$	$\ln C_e$
100	0.22	99.78	24.94	0.0088	0.04	4.54	113.38	3.21	-1.51
200	0.52	99.74	49.87	0.0104	0.02	1.92	95.9	3.90	-0.65
300	1.12	99.62	74.72	0.0149	0.013	0.89	66.71	4.31	0.11
400	1.57	99.60	99.6	0.0157	0.01	0.63	63.44	4.60	0.45
500	2.61	99.47	124.34	0.0209	0.008	0.38	47.64	4.82	0.96
600	3.51	99.41	149.12	0.0235	0.006	0.28	42.48	5.00	1.25
700	4.33	99.38	173.91	0.0249	0.0057	0.23	40.16	5.15	1.46
800	5.15	99.35	198.71	0.0259	0.005	0.19	38.58	5.29	1.64
900	7.61	99.15	223.09	0.0341	0.0044	0.13	29.31	5.40	2.03
1000	19.03	98.09	245.24	0.0776	0.004	0.05	12.88	5.50	2.94
1200	44.03	96.33	288.99	0.1523	0.0034	0.02	6.56	5.66	3.78
1400	75.37	94.61	331.15	0.2276	0.003	0.013	4.39	5.80	4.32
1600	91.04	94.31	377.24	0.2413	0.0026	0.011	4.14	5.93	4.51
1800	141	92.16	414.74	0.34	0.0024	0.007	2.94	6.02	4.95
2000	180.6	90.97	454.85	0.397	0.00219	0.005	2.51	6.12	5.19

IV.1.3.4.1 Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir

Tableau IV.1.3.4.2 Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir

Modèle	R^2	b (l/mg)	q_m (mg/g)	χ^2	RMSE	APE
Etude du q_e en fonction du C_{eq} $q_e = 2.0899 * C_{eq} + 134.87$	0.8	NA	NA	312.194	62.52	61.558
Etude du C_e/q_e en fonction du C_{eq} Isotherme Linéaire de Langmuir-1 $C_e/q_e = 0.0023 * C_e + 0.0206$	0.982	0.1095	442.4218	0.0456	0.0183	35.462
Etude $1/q_e$ en fonction de $1/C_e$ Isotherme Linéaire de Langmuir-2 $1/q_e = 0.0082 * 1/C_e + 0.0036$	0.9882	0.4403	275.5246	0.002	0.0011	17.934
Etude q_e en fonction de q_e/C_e Isotherme Linéaire de Langmuir-3 $q_e = -3.523 * q_e/C_e + 349.5$	0.832	0.2838	349.502	148.678	57.207	44.43
Etude q_e/C_e en fonction de q_e Isotherme Linéaire de Langmuir-4 $q_e/C_e = -0.2364 * q_e + 88.989$	0.832	0.2364	376.414	-88.785	14.819	133.84

IV.1.3.4.2 **Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich**

Tableau IV.1.3.4.3 Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich

Modèle Linéaire de Freundlich	Paramètres		P-value	Erreurs	
	$\ln q_e = 4.327 + 0.377 \cdot \ln C_e$	$\ln K_F$	4.327	6.2E-16	χ^2
$1/n$		0.377	2E-08		
K_F		75.724	R^2	APE	4.1239
n		2.649	0.9177	RMSE	0.2467

Les figures Fig IV.1.3.4.1 et Fig IV.1.3.4.2 ci-dessous représentent les régressions linéaires et non linéaires de différents modèles d'isothermes linéaires de Langmuir et de Freundlich.

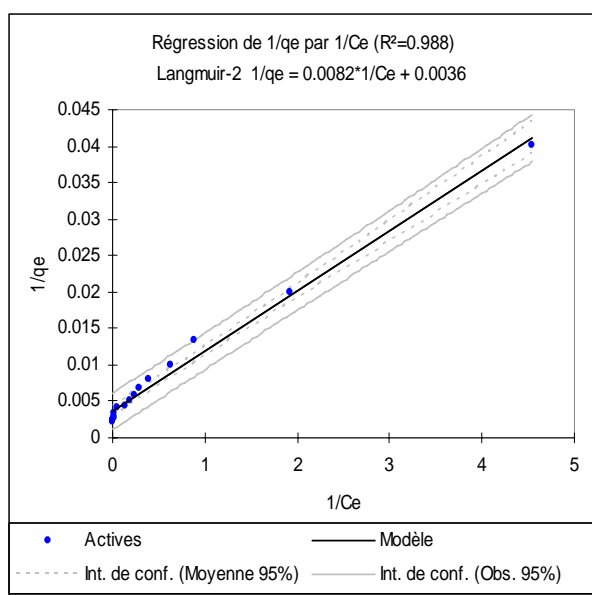


Fig IV.1.3.4.1

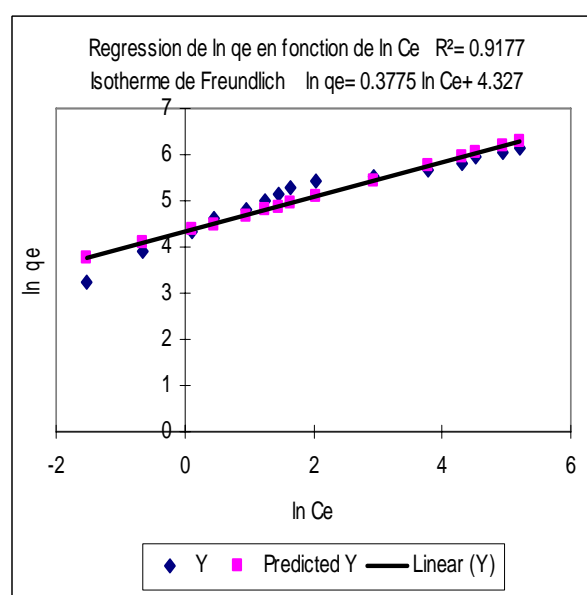


Fig IV.1.3.4.2

On remarque que des taux d'éliminations dépassant les 90% pour toutes la gamme de concentration initiale utiliser, cela veut dire que notre adsorbant possède un très grand pouvoir adsorbant, ce taux atteignait les 99.78 % a une concentration initiale C_0 égale à 100 mg/l de même le coefficient de distribution a cette valeur était très élevé égale à 113.38 l/g

Cette fois ci le coefficient de détermination R^2 du modèle Type-II est supérieur légèrement a celui du Type-I ces valeurs sont respectivement 0.988 et 0.982 par contre la capacité maximale d'adsorption q_m du Type-I est une fois et demi supérieur a celui du Type-II elle est égale à 442.42mg/g.

Les erreurs du Type-II par rapport au Type-I sont très basses ce qui donne une indication que les valeurs expérimentales et les valeurs calculées sont presque égales. Cela indique que le modèle Type-II peut mieux décrire des données d'équilibre, tout en excluant pas les autres modèles qui sont aussi favorable. la constante trouver pour le modèle d'isotherme linéaire de Langmuir Type II est égale à 0.4403 l/mg et l'équation est comme suit : $1/q_e = 0.0082 \cdot 1/C_e + 0.0036$

L'ordre des isothermes des modèles de Langmuir tenons en compte la valeur du R^2 les plus élevés et les erreurs les moins trouvées est comme suit : Type-II, Type-I, Type III et Type IV.

Selon la Fig IV.1.3.4.6 Les valeurs du facteur de séparation sont tous entre $0 < R_L < 1$ indiquant que les processus d'isotherme linéaire de Langmuir sont favorables.

L'énergie d'adsorption K_F du modèle d'isotherme linéaire de Freundlich devient de plus en plus importante elle est de 75.724 mg/g, le coefficient de détermination R^2 est élevé et égale à 0.9177 une valeur qui est très significative et qui est vérifié par les fonctions d'erreurs très négligeable. Le facteur d'hétérogénéité $1/n$ est inférieur à 1 donnant une intensité d'adsorption n égale à 2.6493 cela signifie qu'il y a une bonne capacité d'adsorption.

L'équation trouver est : $\ln q_e = 4.327 + 0.377 \cdot \ln C_e$

Le coefficient de détermination R^2 du modèle d'isotherme de Langmuir Type-II est égale à 0.988 qui est supérieure a celui de Freundlich ce qui nous laisse a opter pour le premier pour mieux décrire les données d'équilibre.

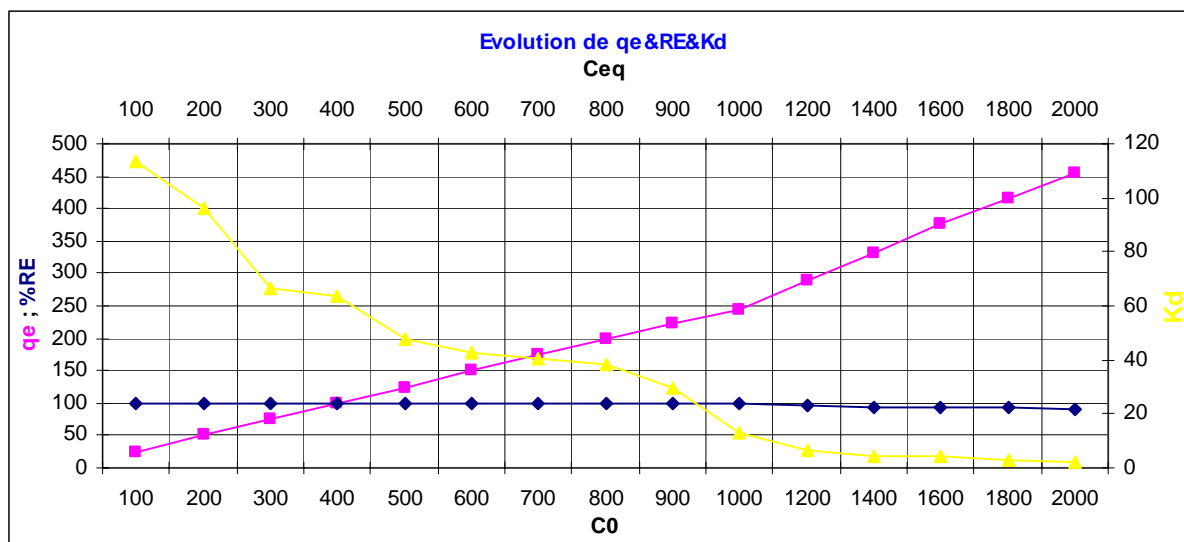


Fig IV.1.3.4.3 Evolution de qe & RE & Kd

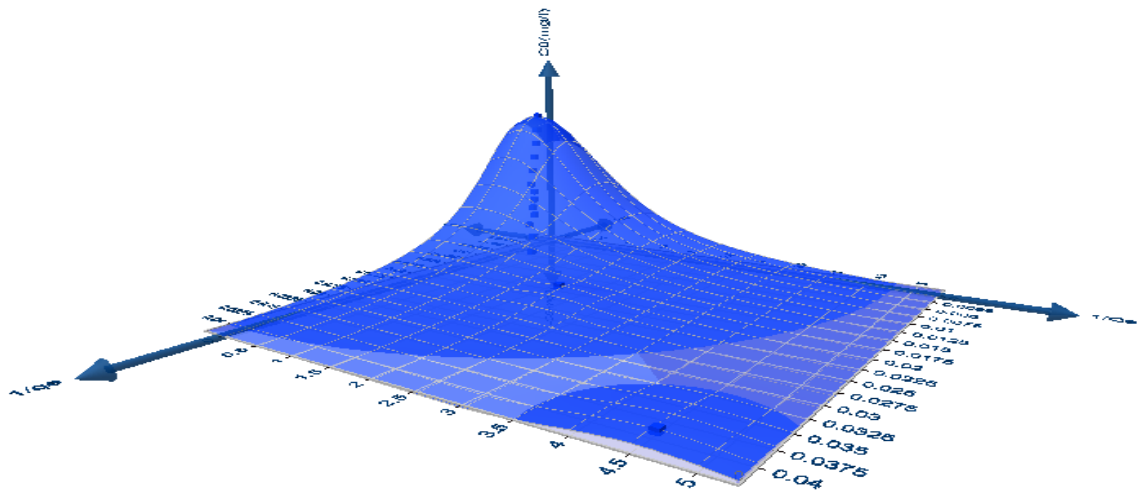


Fig IV.1.3.4.4 Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir Type-II en 3D

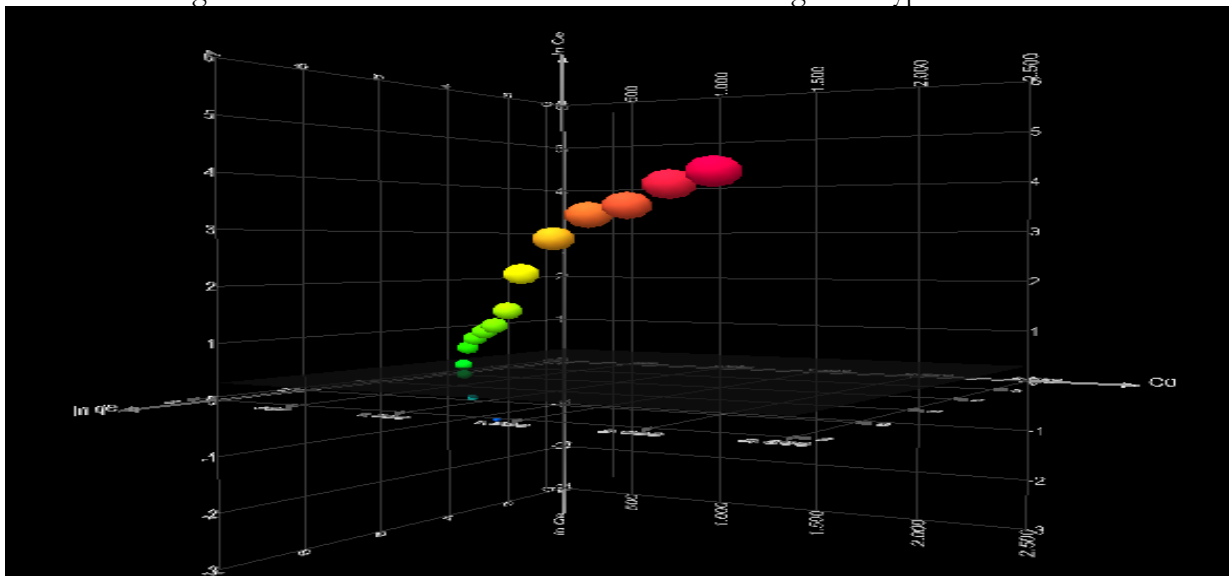


Fig IV.1.3.4.5 Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich en 3D

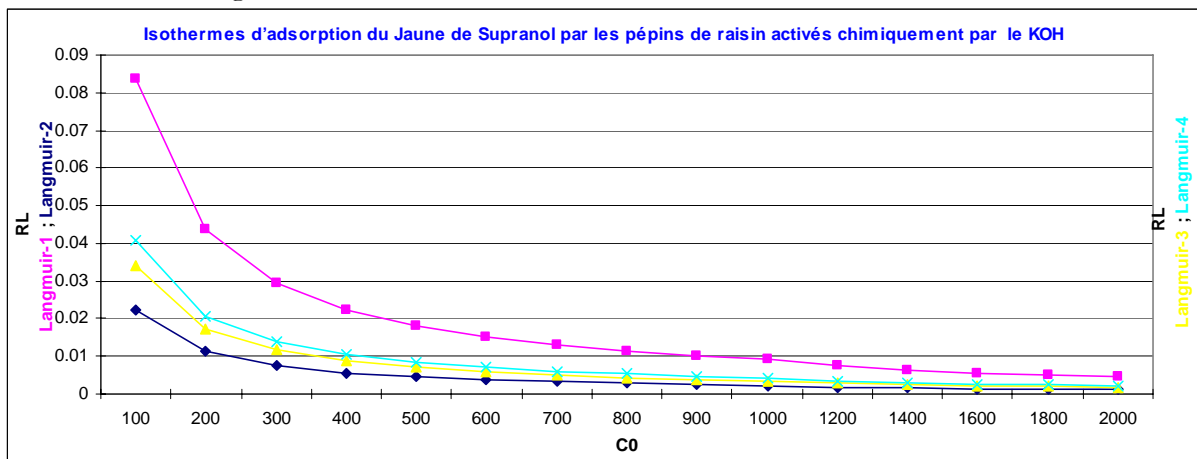


Fig IV.1.3.4.6 Facteur de Séparation

IV.1.3.5 Isothermes d'adsorption du Jaune de Supranol par les pépins de raisin activés physiquement

Les modèles d'isothermes linéaires de Langmuir et de Freundlich ont été appliqués pour l'adsorption du Jaune de Supranol par les pépins de raisins qui étaient actives physiquement. L'estimation des différents paramètres des modèles, fonctions d'erreurs et aussi courbes sont indiqués ci-dessous.

Tableau IV.1.3.5.1 Résultats des isothermes d'adsorption du Jaune de Supranol par les pépins de raisin activés physiquement $m=0,2g$

C_0	C_{eq}	%RE	q_e	C_e/q_e	$1/q_e$	$1/C_e$	q_e/C_e	$\ln q_e$	$\ln C_e$
100	14.7	85.30	10.662	1.378	0.093	0.068	0.72	2.366	2.687
200	19.33	90.33	22.583	0.856	0.044	0.051	1.17	3.117	2.961
300	31.72	89.42	33.535	0.946	0.029	0.031	1.05	3.512	3.457
400	40.6	89.85	44.925	0.903	0.022	0.024	1.1	3.805	3.703
500	133.6	73.28	45.802	2.916	0.022	0.007	0.34	3.824	4.894
600	180.6	69.90	52.425	3.445	0.019	0.005	0.29	3.959	5.196
700	212.7	69.61	60.913	3.491	0.016	0.0047	0.28	4.109	5.359
800	284.3	64.46	64.458	4.411	0.015	0.0035	0.22	4.166	5.650
900	382.1	57.54	64.738	5.902	0.015	0.0026	0.169	4.170	5.945
1000	417.2	58.28	72.855	5.726	0.013	0.0024	0.174	4.288	6.033
1200	449.3	62.56	93.843	4.787	0.01	0.0022	0.209	4.541	6.107

IV.1.3.5.1 Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir

Tableau IV.1.3.5.2 Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir

Modèle	R^2	b (l/mg)	q_m (mg/g)	χ^2	RMSE	APE
Etude du q_e en fonction du C_{eq} $q_e = 0.131 * C_e + 25.726$	0.845	NA	NA	22.93	9.791	26.296
Etude du C_e/q_e en fonction du C_{eq} Isotherme Linéaire de Langmuir-1 $C_e/q_e = 0.0111 * C_e + 0.9692$	0.919	0.0115	89.871	0.95	0.575	21.049
Etude $1/q_e$ en fonction de $1/C_e$ Isotherme Linéaire de Langmuir-2 $1/q_e = 0.959 * 1/C_e + 0.0097$	0.847	0.0101	103.0048	0.02	0.0098	23.208
Etude q_e en fonction de q_e/C_e Isotherme Linéaire de Langmuir-3 $q_e = -42.826 * q_e/C_e + 73.934$	0.544	0.0233	73.934	55.71	16.805	41.287
Etude q_e/C_e en fonction de q_e Isotherme Linéaire de Langmuir-4 $q_e/C_e = -0.0127 * q_e + 1.1787$	0.544	0.0127	92.6612	-2.21	0.289	59.276

Avec, V volume de l'adsorbant (ml), m masse de l'adsorbant (g), C_0 concentration initiale de l'adsorbant (mg/l), C_{eq} concentration à l'équilibre de l'adsorbant (mg/l), $1/n$ constante de Freundlich indiquant l'intensité de l'adsorption, K_F constante de Freundlich correspondante à l'énergie d'adsorption (mg/g), q_e la quantité de substance adsorbée par unité de masse de l'adsorbant (mg/g), q_m capacité maximale d'adsorption en (mg/g), b constante de Langmuir correspondant à l'énergie d'adsorption (l/mg), χ^2 Chi-square et RE est le taux d'élimination (removal efficiency) qui est égale à $\%RE = (C_0 - C_{eq}) / C_0$.

IV.1.3.5.2 Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich

Tableau IV.1.3.5.3 Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich

Modèle Linéaire de Freundlich	Paramètres		P-value	Erreurs	
	$\ln q_e = 1.743 + 0.4363 * \ln C_e$	$\ln K_F$	1.743	0.000402	χ^2
$1/n$		0.436	9.16E-05		
K_F		5,714	R^2	APE	5.305
n		2,291	0.8317	RMSE	0.2659

Les figures Fig IV.1.3.5.1 et Fig IV.1.3.5.2 ci-dessous représentent les régressions linéaires et non linéaires de différents modèles d'isothermes linéaires de Langmuir et de Freundlich.

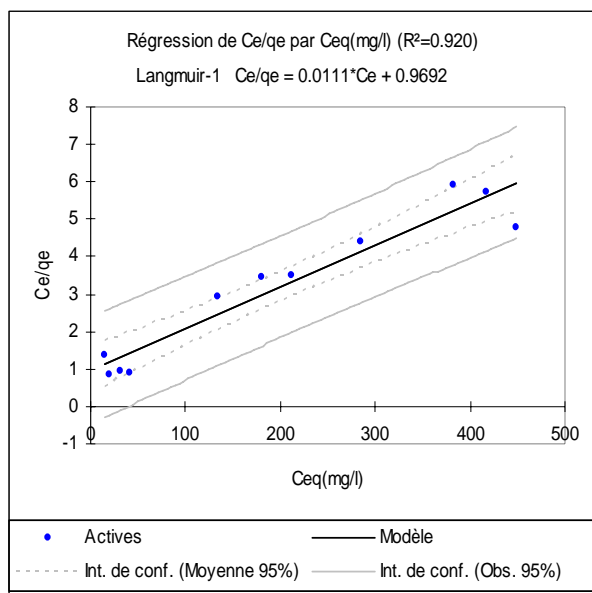


Fig IV.1.3.5.1

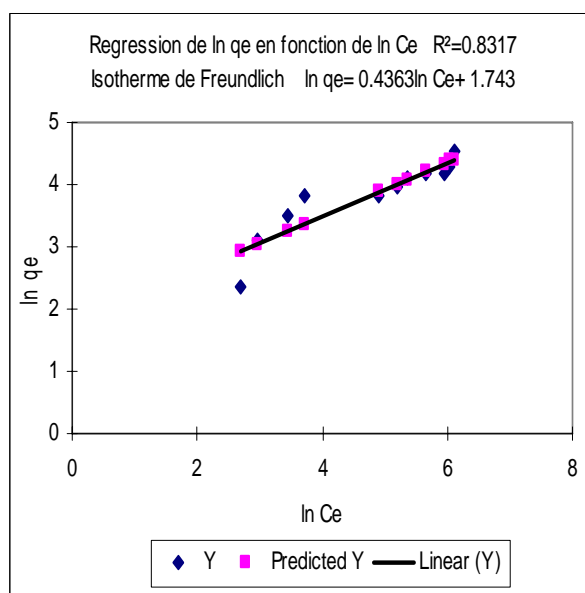


Fig IV.1.3.5.2

Le taux d'élimination ainsi que le coefficient de distribution les plus élevés sont obtenus a une concentration initial égale à 200 mg/l ils sont égales a 90.33% et 1.17 l/g respectivement. Selon la Fig IV.1.3.5.6 Les valeurs du facteur de séparation ou aussi appelé le paramètre d'équilibre sont tous entre $0 < R_L < 1$ indiquant que les processus d'isothermes linéaires de Langmuir sont favorables.

La capacité d'adsorption la plus élevée q_m est égale à 103.092 mg/g qui correspond au modèle d'isotherme linéaire Type-II mais le coefficient de détermination R^2 dans ce cas est inferieur par rapport a celui du modèle Type-I qui est égale à 0.919 ce dernier modèle présente un APE le plus minime par rapport aux autres aussi son chi-square et RMSE son moins que 1, la capacité maximale d'adsorption est de 90.090 mg/g et l'énergie d'adsorption b est égale à 0.011 l/mg

L'équation du modèle le plus approprié qui est le Type-I : $C_e/q_e = 0.0111 * C_e + 0.9692$

L'ordre ça sera comme suit : Type-I, Type-II, Type IV et Type III.

Le coefficient de détermination R^2 du modèle d'isotherme linéaire de Freundlich est égale à 0.8317 qui est inferieur par rapport a celui du modèle de Langmuir qui est sélectionné auparavant, l'intensité d'adsorption prévoie que le processus sera favorable car elle est égale à 2.291 par contre l'énergie d'adsorption est relativement faible elle est égales a 5.7147 mg/g

L'équation du modèle d'isotherme linéaire de Freundlich est comme suit :

$$\ln q_e = 1.743 + 0.4363 * \ln C_e$$

Donc le modèle qui décrit bien les données d'équilibre est celui d'isotherme linéaire de Langmuir Type-I.

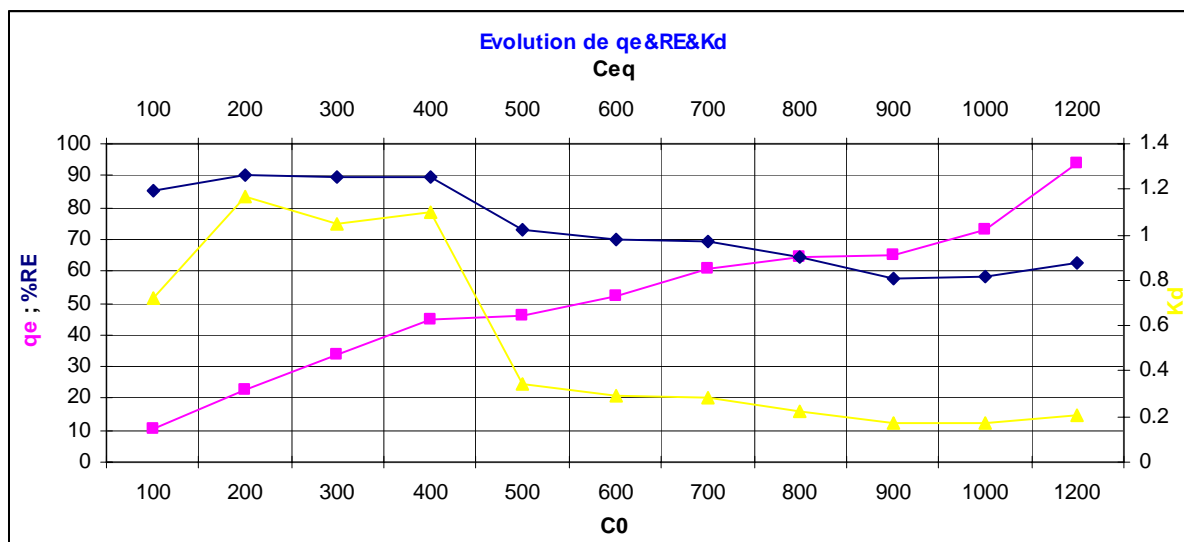


Fig IV.1.3.5.3 Evolution de qe & RE & Kd

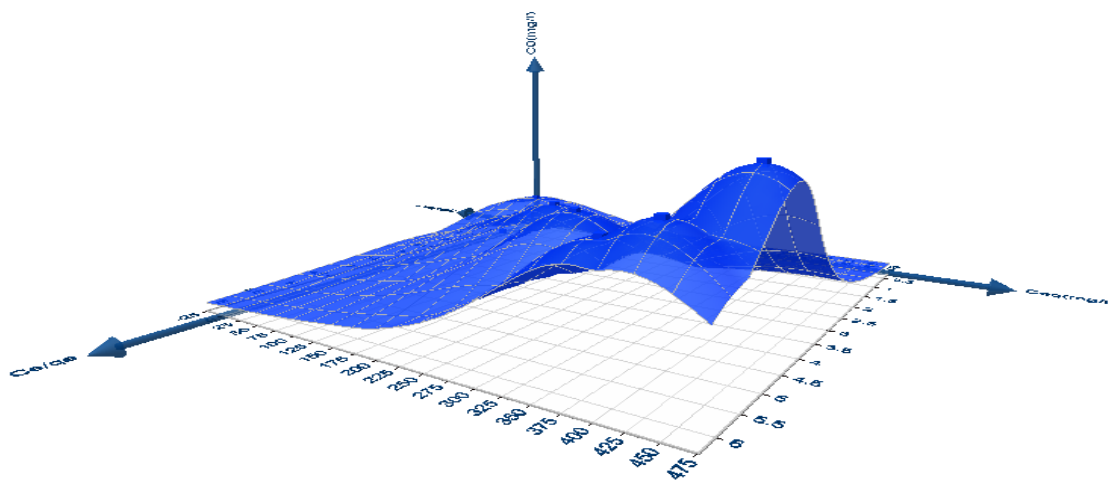


Fig IV.1.3.5.4 Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir Type-I en 3D

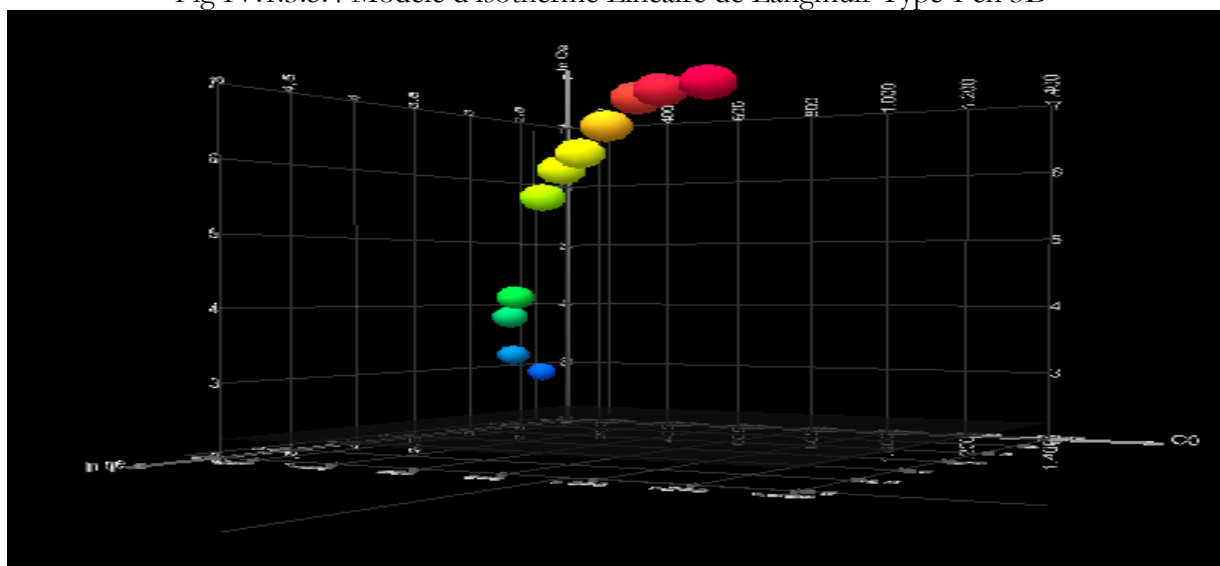


Fig IV.1.3.5.5 Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich en 3D

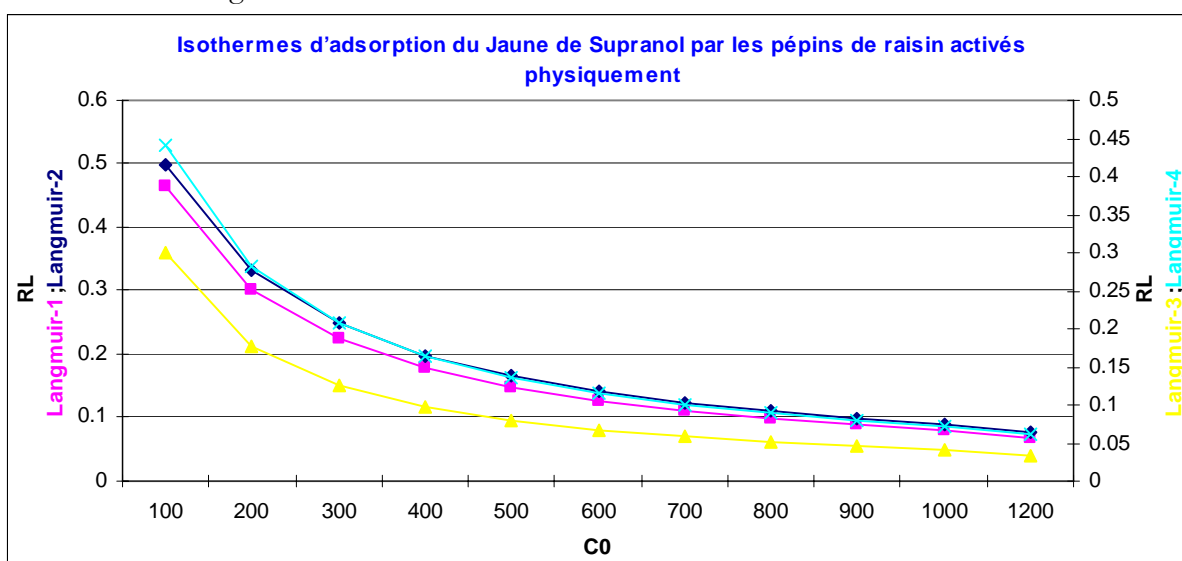


Fig IV.1.3.5.6 Facteur de Séparation

IV.1.3.6 Isothermes d'adsorption du Jaune de Supranol par les pépins de raisin activés par le charbon actif Aldrich

Le charbon actif Aldrich a été utilisé comme un agent éliminant du Jaune de Supranol, on a fait recours aux modèles d'isothermes linéaires de Langmuir et de Freundlich qui étaient appliqués pour la présente étude pour estimer les différents paramètres des modèles et valider le meilleur modèle qui peut bien décrire les données expérimentales et calculer, tout cela est mentionné dans la partie ci-dessous.

Tableau IV.1.3.6.1 Résultats des isothermes d'adsorption du Jaune de Supranol par les pépins de raisin activés par le charbon actif Aldrich $m=0,2g$

C_0	C_{eq}	%RE	q_e	C_e/q_e	$1/q_e$	$1/C_e$	q_e/C_e	$\ln q_e$	$\ln C_e$
100	0.97	99.03	12.378	0.078	0.08	1.031	12.761	2.515	-0.030
200	6.42	96.79	24.197	0.265	0.041	0.155	3.769	3.186	1.859
300	9.18	96.94	36.352	0.252	0.027	0.109	3.96	3.593	2.217
400	12.16	96.96	48.48	0.251	0.02	0.082	3.987	3.881	2.498
500	19.7	96.06	60.037	0.328	0.016	0.05	3.047	4.095	2.980
600	27.84	95.36	71.52	0.389	0.014	0.036	2.569	4.27	3.326
700	74.63	89.34	78.171	0.954	0.0128	0.0134	1.047	4.358	4.312
800	147.8	81.53	81.53	1.812	0.0122	0.006	0.551	4.401	4.995
900	191	78.77	88.62	2.155	0.0113	0.005	0.464	4.484	5.252
1000	248.5	75.15	93.936	2.645	0.01	0.004	0.378	4.542	5.515
1200	340.3	71.64	107.462	3.166	0.009	0.003	0.315	4.677	5.829

IV.1.3.6.1 Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir

Tableau IV.1.3.6.2 Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir

Modèle	R^2	b (l/mg)	q_m (mg/g)	χ^2	RMSE	APE
Etude du q_e en fonction du C_{eq} $q_e = 0.2194 * C_e + 42.368$	0.715	NA	NA	54.79	17.072	41.692
Etude du C_e/q_e en fonction du C_{eq} Isotherme Linéaire de Langmuir-1 $C_e/q_e = 0.0095 * C_e + 0.1856$	0.986	0.0512	105.1414	0.16	0.138	22.769
Etude $1/q_e$ en fonction de $1/C_e$ Isotherme Linéaire de Langmuir-2 $1/q_e = 0.0675 * 1/C_e + 0.0142$	0.913	0.2104	70.4375	0.01	0.006	22.871
Etude q_e en fonction de q_e/C_e Isotherme Linéaire de Langmuir-3 $q_e = -7.0783 * q_e/C_e + 85.02$	0.696	0.1412	85.020	-20.16	17.634	37.679
Etude q_e/C_e en fonction de q_e Isotherme Linéaire de Langmuir-4 $q_e/C_e = -0.0984 * q_e + 9.2736$	0.696	0.0984	94.2244	7.715	2.079	91.016

Avec ,V volume de l'adsorbat (ml) , m masse de l'adsorbat (g) ,C₀ concentration initiale de l'adsorbat (mg/l) , C_{eq} concentration a l'équilibre de l'adsorbat (mg/l) ,1/n constante de Freundlich indiquant l'intensité de l'adsorption , K_F constante de Freundlich correspondante a l'énergie d'adsorption (mg/g) ,q_e la quantité de substance adsorbée par unité de masse de l'adsorption (mg/g) , q_m capacité maximale d'adsorption en (mg/g) , b constante de Langmuir correspondant a l'énergie d'adsorption(l/mg) , χ² Chi-square et RE est le taux d'élimination (removal efficiency)qui est égale à %RE=(C_o-C_{eq})/C_o.

IV.1.3.6.2 Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich

Tableau IV.1.3.6.3 Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich

Modèle Linéaire de Freundlich	Paramètres		P-value	Erreurs	
	ln q _e =2.7898+0.3436*ln C _e	ln K _F	2.789	1.76E-08	
1/n		0.343	8.63E-06	χ ²	0.1211
K _F		16,279	R ²	APE	4.769
n		2,910	0.899	RMSE	0.221

Les figures Fig IV.1.3.6.1 et Fig IV.1.3.6.2 ci-dessous représentent les régressions linéaires et non linéaires de différents modèles d'isothermes linéaires de Langmuir et de Freundlich.

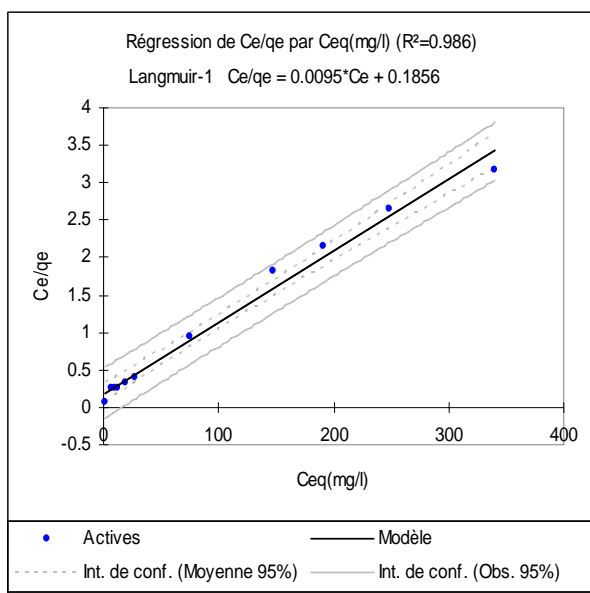


Fig IV.1.3.6.1

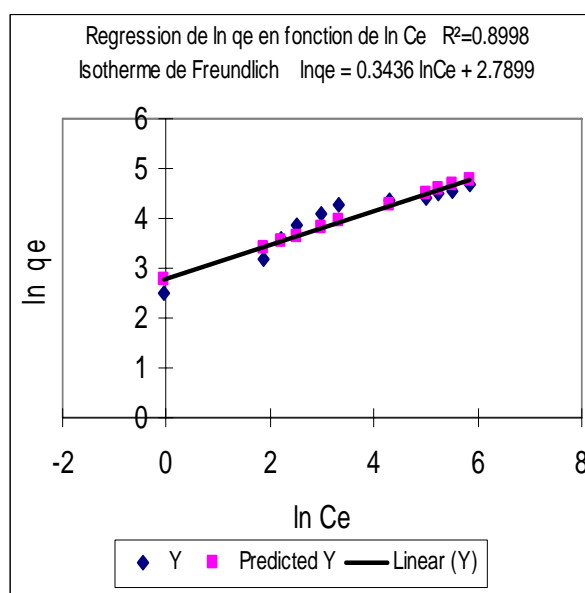


Fig IV.1.3.6.2

Le pouvoir d'élimination RE et le coefficient de distribution Kd sont inversement proportionnels à la concentration initiale, les valeurs obtenus du RE dépassent tous les 70% la plus élevée est égale à 99.03% lorsque on utiliser 100 mg/l comme concentration initial C₀.

Selon la Fig IV.1.3.6.6 Les valeurs du facteur de séparation ou aussi appelé le paramètre d'équilibre sont tous entre $0 < R_L < 1$ indiquant que les processus d'isothermes linéaires de Langmuir sont favorables. Le modèle type III et Type IV présente le même coefficient de détermination R^2 il est égal à 0.696

Le coefficient de détermination du modèle Type-II est 0.913 la capacité maximale d'adsorption est de 70.43 mg/g bien inférieur a celles des autres modèles.

Le modèle Type-I présente un coefficient de détermination R^2 et une capacité maximale d'adsorption q_m égale à 0.986 et 105.263 mg/g respectivement ces deux valeurs sont les plus élevées, la constante de Langmuir de ce modèle est de 0.051 l/mg Les erreurs du modèles sont minime cela dit qu'il est valide et il est le plus favori

L'équation est comme suit : $C_e/q_e = 0.0095 * C_e + 0.1856$

.Le classement des isothermes est comme suit : Type-I, Type-II, Type III et type IV.

L'équation du modèle d'isotherme linéaire de Freundlich trouvée est :

$$\ln q_e = 2.7898 + 0.3436 * \ln C_e$$

Les erreurs sont négligeables et le coefficient de détermination R^2 est important il est égale à 0.899 ce qui implique une bonne concordance entre les valeurs expérimentales et calculer il est clair que l'intensité d'adsorption est bonne elle est égale à 2.9103 avec une faible énergie égale à 16.278 mg/g mais en comparant avec le modèle d'isotherme linéaire de Langmuir Type-I qui présente un coefficient de détermination R^2 égale à 0.986 et une capacité maximale d'adsorption q_m importante on conclu que ce dernier est très valide et favorable pour cette expérience.

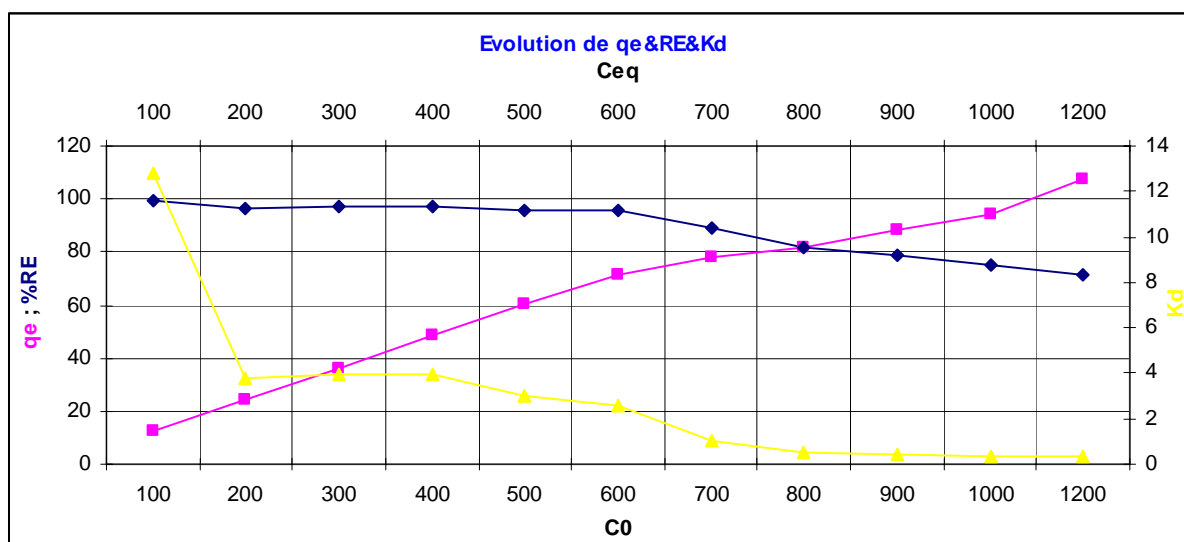


Fig IV.1.3.6.3 Evolution de qe & RE & Kd

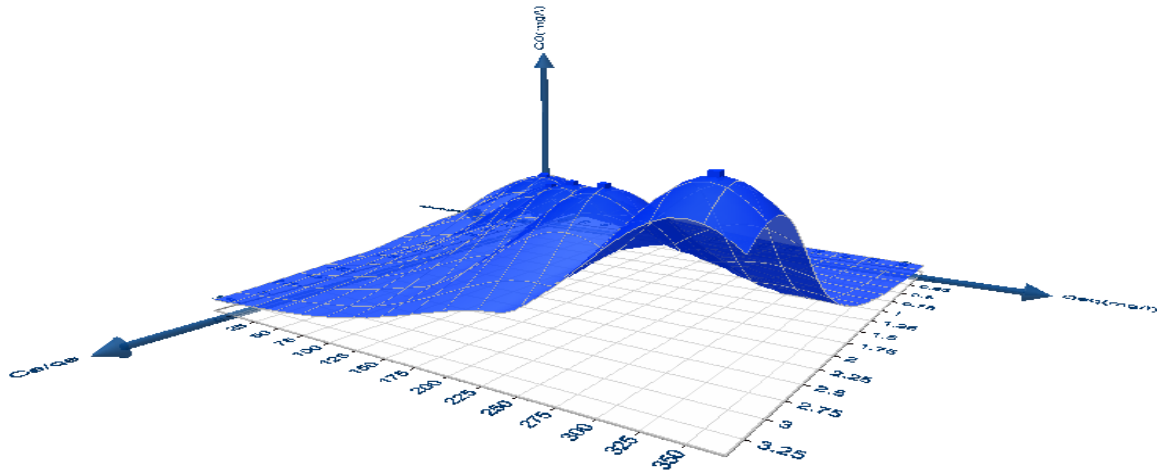


Fig IV.1.3.6.4 Modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir Type-I en 3D

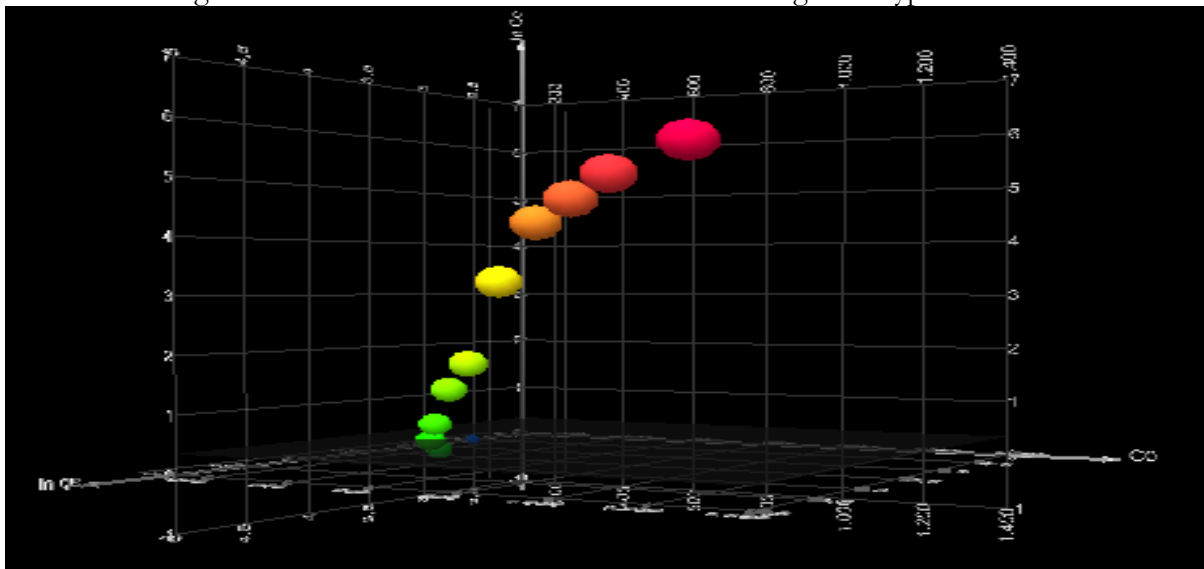


Fig IV.1.3.6.5 Modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich 3D

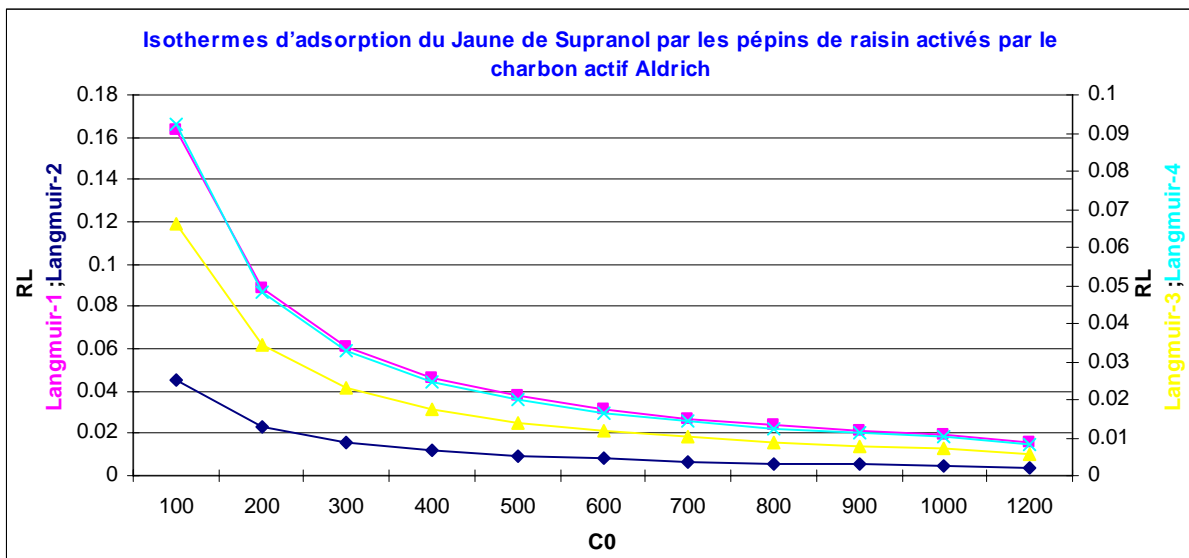


Fig IV.1.3.6.6 Facteur de Séparation

CHAPITRE IV

PARTIE 2

IV.2 EXPERIMENTATION ET MODELISATION NON LINEAIRE

IV.2.1 ADSORPTION DU VERT DE MALACHITE

IV.2.1.1 Isotherme d'adsorption du Vert de Malachite par la Sciure du Bois traitée en H_3PO_4

Les modèles d'isothermes non linéaires de Langmuir et de Freundlich ont été appliqués pour la présente étude pour estimer la capacité d'adsorption du Vert de Malachite et définir les équations ainsi que les différents paramètres des modèles ; ces derniers sont cités dans les tableaux et figures ci-dessous.

IV.2.1.1.1 Modèle d'isotherme non linéaire de Langmuir

Tableau IV.2.1.1.1 Modèle d'isotherme non linéaire de Langmuir

Modèle non linéaire de Langmuir	R ²	b	q _m	χ ²	RMSE	APE
Etude du q _e en fonction du C _{eq} q _e =3554.511*C _e /(1+6.902*C _e)	0.5064	6.962	515.2	88.33	53.163	9.429
	Std. Error	2.656	14.98			

IV.2.1.1.2 Modèle d'isotherme non linéaire de Freundlich

Tableau IV.2.1.1.2 Modèle d'isotherme non linéaire de Freundlich

Modèle non linéaire de Freundlich	R ²	K _F	n	χ ²	RMSE	APE
Etude du q _e en fonction du C _{eq} q _e =385.583*((C _e) ^{8.753E-02})	0.987	385.6	11.42	2.53	8.621	1.359
	Std. Error	3.835	0.378			

Le modèle de Langmuir présente une adsorption en monocouche et ne prévoit pas d'interaction entre les molécules adsorbées sa caractéristique essentielle est exprimée par une constante sans dimension appelée facteur de séparation ou aussi le paramètre d'équilibre R_L.

Selon la Fig V.2.1.1.3 Les valeurs de ce facteur sous différentes concentrations initiales sont entre 0 < R_L < 1 indiquant que les processus sont favorables.

Le modèle d'isotherme non linéaire de Langmuir est moins favorable par rapport à celui du modèle linéaire Type-I et cela malgré sa capacité maximale d'adsorption élevée qui est de 515.2 mg/g mais son coefficient de détermination est très faible car il est égal à 0.5064 on note que les erreurs de fonctions sont importantes.

L'équation du modèle est : $q_e = 3554.511 \cdot C_e / (1 + 6.902 \cdot C_e)$

Les paramètres obtenus du modèle d'isotherme non linéaire de Freundlich sont presque similaire a celui du modèle linéaire, il possède des erreurs moins importantes que celui du modèle non linéaire de Langmuir et un coefficient de détermination et une énergie d'adsorption très élevé qui sont de 0.987 et 385.6 mg/g respectivement.

Le modèle est géré par l'équation suivante :

$$q_e = 385.583 \cdot (C_e)^{8.753E-02}$$

Les figures Fig IV.2.1.1.1 ; Fig IV.2.1.1.2 et Fig IV.2.1.1.3 représentent les modèles d'isothermes non linéaires de Langmuir et de Freundlich respectivement et le facteur de séparation.

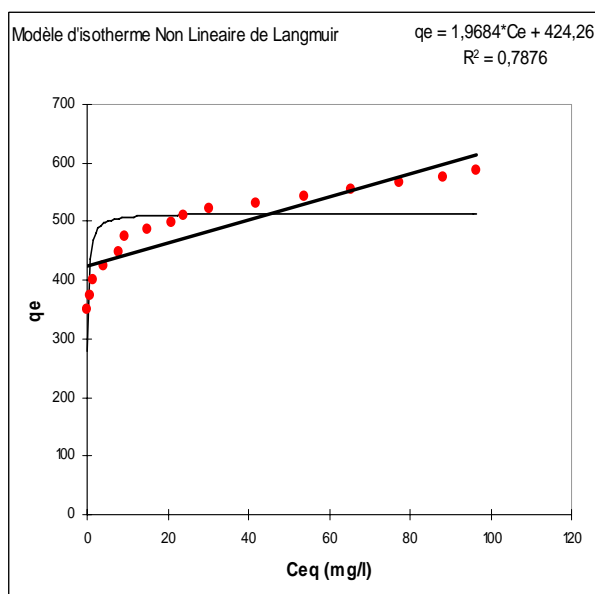


Fig IV.2.1.1.1

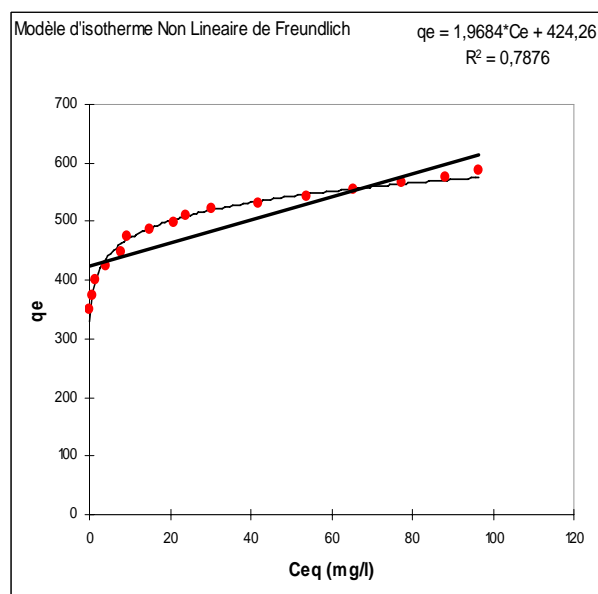


Fig IV.2.1.1.2

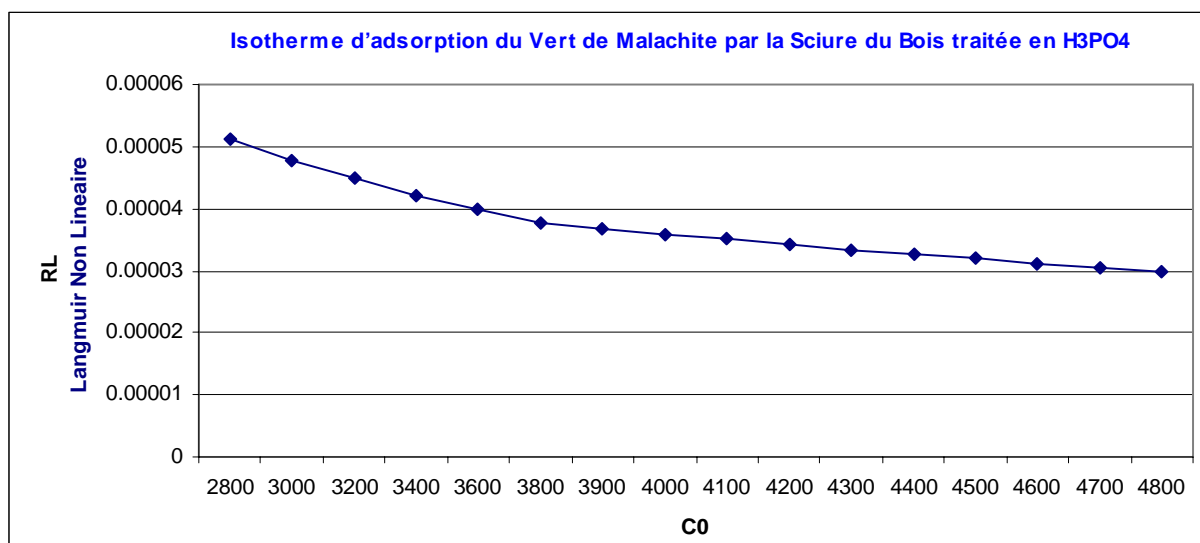


Fig IV.2.1.1.3 Facteur de Séparation

IV.2.1.2 Isotherme d'adsorption du Vert de Malachite par la Sciure du Bois traitée en KOH

La Sciure du Bois traitée en KOH après une opération de pyrolyse a été utilisée pour tester son adsorption du Vert de Malachite.

Les modèles d'isothermes non linéaires de Langmuir et de Freundlich ont été appliqués pour ce cas afin de déterminer les différents paramètres et valider les modèles favoris comme représenter dans les tableaux et figures ci-dessous.

IV.2.1.2.1 Modèle d'isotherme non linéaire de Langmuir

Tableau IV.2.1.2.1 Modèle d'isotherme non linéaire de Langmuir

Modèle non linéaire de Langmuir	R ²	b	q _m	χ ²	RMSE	APE
Etude du q _e en fonction du C _{eq} q _e =163.268*C _e /(1+0.374*C _e)	0.9647	0.3746	435.9	34.37	22.352	8.647
	Std. Error	0.04448	11.08			

IV.2.1.2.2 Modèle d'isotherme non linéaire de Freundlich

Tableau IV.2.1.2.2 Modèle d'isotherme non linéaire de Freundlich

Modèle non linéaire de Freundlich	R ²	K _F	n	χ ²	RMSE	APE
Etude du q _e en fonction du C _{eq} q _e =175.96*((C _e)^0.227)	0.8946	176	4.389	78.3	38.61	14.575
	Std. Error	15.52	0.508			

Sous différent concentration initiales, le facteur de séparation est entre 0<R_L<1 indiquant que le processus d'isotherme non linéaire de Langmuir est favorable.

La capacité maximale d'adsorption du modèle d'isotherme non linéaire de Langmuir est égale à 435.9 ± 11.08 mg/g elle est très importante, le coefficient de détermination est important aussi il est égales à 0.9647, l'énergie d'adsorption est de 0.3746 ± 0.04448 l/mg.

Ce modèle décrit lui aussi les données d'équilibres mais d'une intensité moindre par rapport au modèle linéaire de Langmuir Type I.

L'équation du modèle d'isotherme non linéaire de Langmuir qui décrit le processus d'adsorption du Vert de Malachite par la Sciure du Bois traitée en KOH est comme suit :

$$q_e=163.268*C_e/(1+0.374*C_e)$$

La capacité d'adsorption du modèle d'isotherme non linéaire de Freundlich est bonne elle est de 176 ± 15.52 mg/g en plus l'intensité de l'adsorption est égale à 4.389 ± 0.508 .

L'équation du modèle d'isotherme non linéaire de Freundlich est :

$$q_e = 175.96 * ((C_e)^{0.227})$$

Le coefficient de détermination est légèrement supérieur à celui du modèle de Freundlich et inférieur au modèle d'isotherme non linéaire de Langmuir il est égal à 0.8946

On peut conclure que les deux modèles non linéaires sont favorables avec un avantage pour le modèle non linéaire de Langmuir.

Les figures Fig IV.2.1.2.1 et Fig IV.2.1.2.2 Fig IV.2.1.2.3 et représentent les modèles d'isothermes non linéaires de Langmuir et de Freundlich et le facteur de séparation respectivement.

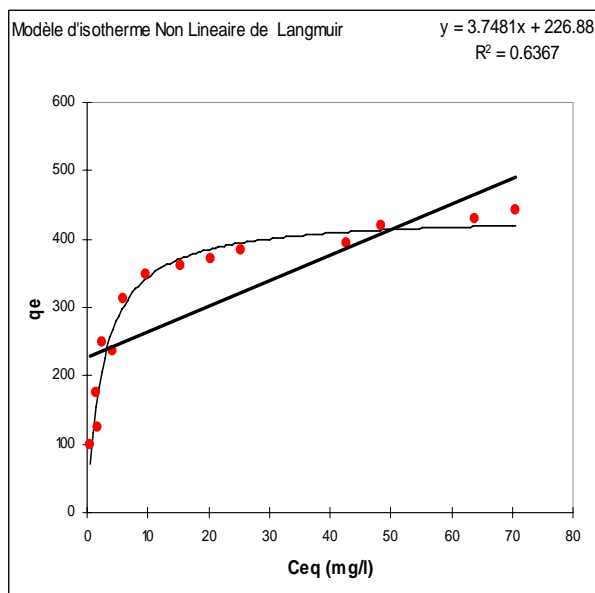


Fig IV.2.1.2.1

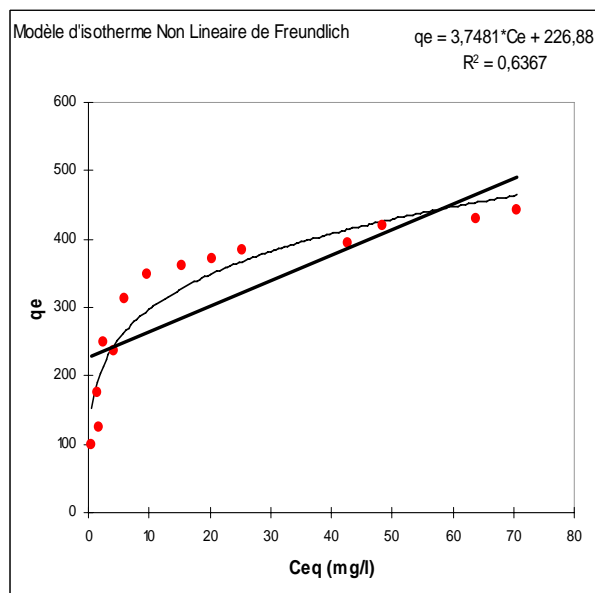


Fig IV.2.1.2.2

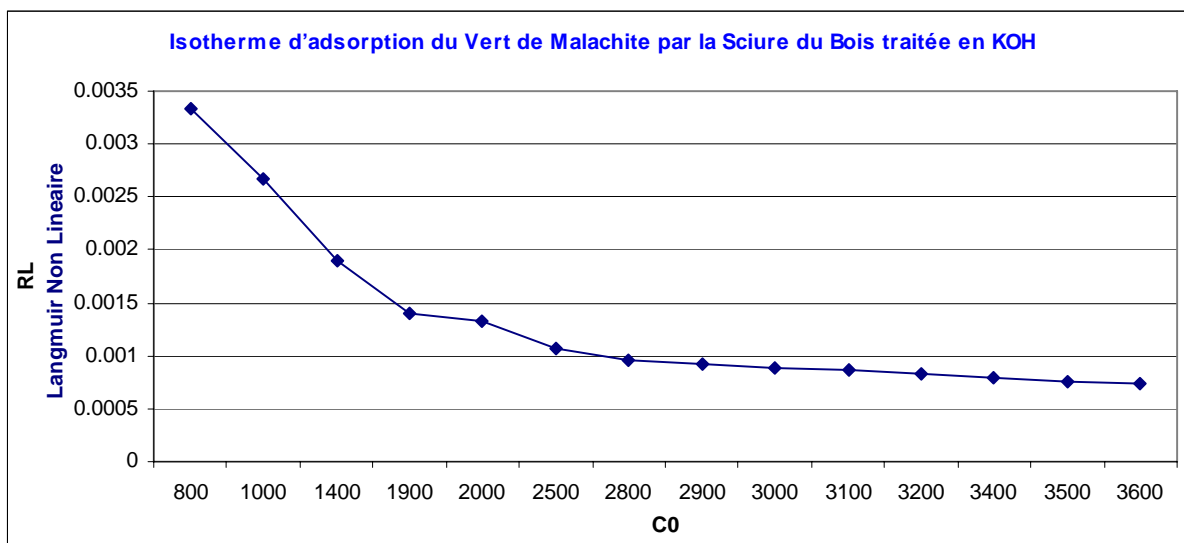


Fig IV.2.1.2.3 Facteur de Séparation

IV.2.1.3 Isotherme d'adsorption du Vert de Malachite par la Sciure du Bois traitée en $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$

La Sciure du Bois traitée en $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ a été utilisé pour éliminer le Vert de Malachite à partir des solutions aqueuses, le matériau a été préparé par pyrolyse puis activée chimiquement. Les modèles d'isothermes non linéaires de Langmuir et de Freundlich ont été appliqués pour la présente étude ; Les constantes des deux modèles étaient déterminer ainsi que les équations comme citez ci-dessous.

IV.2.1.3.1 Modèle d'isotherme non linéaire de Langmuir

Tableau IV.2.1.3.1 Modèle d'isotherme non linéaire de Langmuir

Modèle non linéaire de Langmuir	R ²	b	q _m	χ ²	RMSE	APE
Etude du q _e en fonction du C _{eq} q _e =2.2506*C _e /(1+8.154E-03*C _e)	0.8672	0.0081	276	767.37	25.209	18.205
	Std. Error	0.0024	22.15			

IV.2.1.3.2 Modèle d'isotherme non linéaire de Freundlich

Tableau IV.2.1.3.2 Modèle d'isotherme non linéaire de Freundlich

Modèle non linéaire de Freundlich	R ²	K _F	n	χ ²	RMSE	APE
Etude du q _e en fonction du C _{eq} q _e =34.803*((C _e)^0.292)	0.963	34.8	3.415	14.459	13.301	7.481
	Std. Error	4.761	0.262			

Selon la Fig IV.2.1.3.3 le domaine d'existence du facteur de separation est entre 0<R_l<1 indiquant que le processus d'isotherme non linéaire de Langmuir sous différentes concentrations initiales est favorable.

La capacité maximale d'adsorption du modèle d'isotherme non linéaire de Langmuir trouvé est égale à 276 mg/g avec une erreur standard de ± 22.15

La fonction d'erreur Chi-square est importante est de 767.37 le APE est de 18.205 et l'énergie d'adsorption est b est limiter a 0.0081±0.0024 l/mg.

L'équation du modèle est :

$$q_e = 2.2506 * C_e / (1 + 8.154E-03 * C_e)$$

Le modèle d'isotherme linéaire de Langmuir Type I décrit mieux les données d'équilibres par rapport au modèle non linéaire parce que ce dernier possède un coefficient de détermination égale à 0.8672 contre 0.976 du Type I.

Les paramètres obtenus du modèle d'isotherme non linéaire de Freundlich sont proches à celle du modèle linéaire son coefficient de détermination est de 0.963

Les erreurs trouver sont moindres d'où la capacité d'adsorption est bonne est égale à $34.8 \pm 4.761 \text{ mg/g}$.

La valeur du coefficient du modèle d'isotherme non linéaire de Freundlich n existe dans le domaine [2-10] avec une erreur de ± 0.262 indiquant que le modèle est Favorable.

L'équation du modèle est : $q_e = 34.803 * ((C_e)^{0.292})$.

Les figures Fig IV.2.1.3.1 et Fig IV.2.1.3.2 représentent les modèles d'isothermes non linéaires de Langmuir et de Freundlich respectivement.

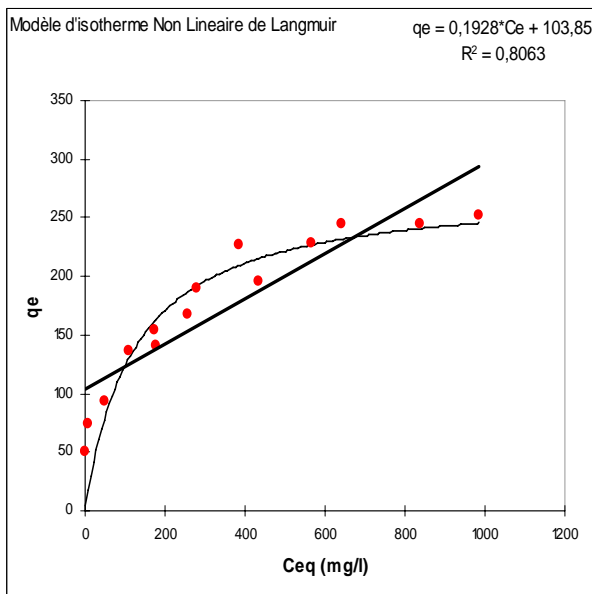


Fig IV.2.1.3.1

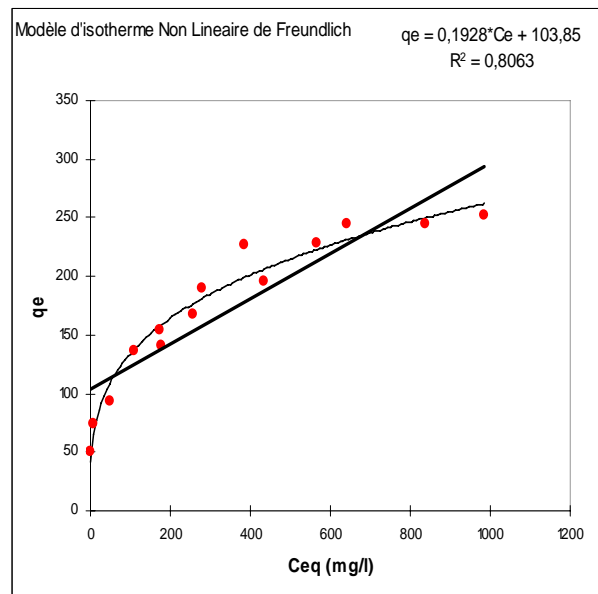


Fig IV.2.1.3.2

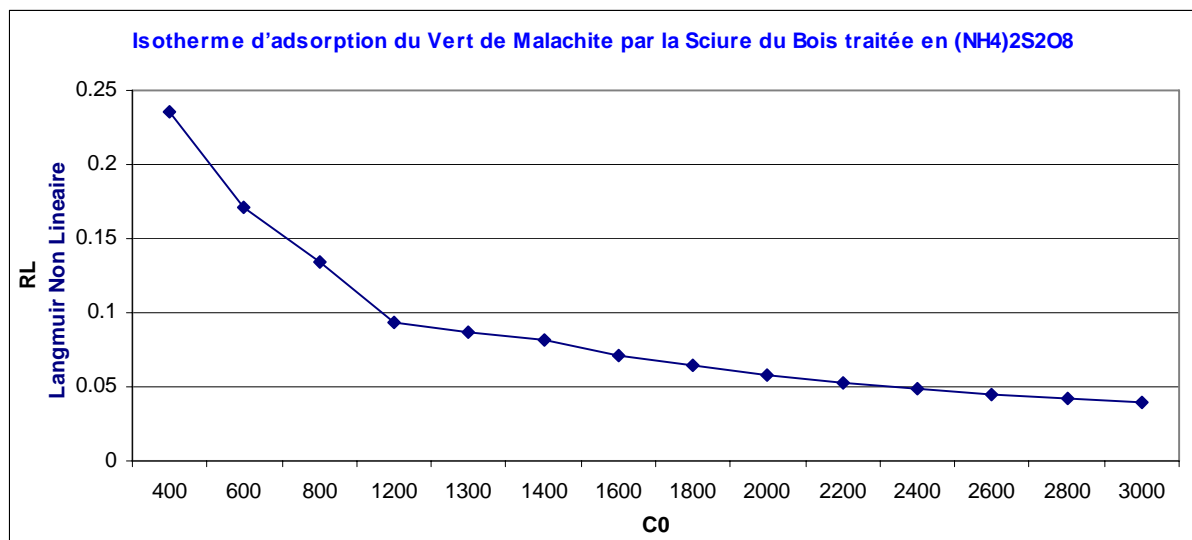


Fig IV.2.1.3.3 Facteur de Séparation

IV.2.1.4 Isotherme d'adsorption du Vert de Malachite activés par le Charbon actif de Merck

L'adsorption du Vert de Malachite a été faite par le Charbon actif de Merck. aucune activation physique ou chimique n'a pris lieu, ce cas a été utilisé comme référence et a titre de comparaison avec la Sciure du Bois activée.

Les modèles d'isothermes non linéaires de Langmuir et de Freundlich ont été appliqués pour la présente étude pour choisir le modèle le plus valide et établir ces différents paramètres.

IV.2.1.4.1 Modèle d'isotherme non linéaire de Langmuir

Tableau IV.2.1.4.1 Modèle d'isotherme non linéaire de Langmuir

Modèle non linéaire de Langmuir	R ²	b	q _m	χ ²	RMSE	APE
Etude du q _e en fonction du C _{eq} q _e =356.099*C _e /(1+1.811*C _e)	0.9375	1.812	196.6	8.514	12.126	6.848
	Std. Error	0.3255	5.892			

IV.2.1.4.2 Modèle d'isotherme non linéaire de Freundlich

Tableau IV.2.1.4.2 Modèle d'isotherme non linéaire de Freundlich

Modèle non linéaire de Freundlich	R ²	K _F	n	χ ²	RMSE	APE
Etude du q _e en fonction du C _{eq} q _e =128.423*((C _e) ^{7.064E-02})	0.7659	128.4	14.16	22.909	23.469	12.0006
	Std. Error	11.27	3.389			

Selon la Fig IV.2.1.4.3, le facteur de séparation 0<R_L<1 indique que le processus d'adsorption du Vert de Malachite activés par le Charbon actif de Merck qui est géré par le modèle d'isotherme non linéaire de Langmuir est favorable

Le coefficient de détermination R² du modèle d'isotherme non linéaire de Langmuir est de 0.9375 sa capacité maximale d'adsorption est 196.6 mg/g avec une erreur standard égale à 5.892 et les fonctions d'erreurs sont minimales, la constante du modèle est 1.812 ±0.3255 l/mg d'où ce modèle est valide et décrit lui aussi les données d'équilibres.

L'équation du modèle est : q_e=356.099*C_e/(1+1.811*C_e)

Les erreurs des modèles d'isotherme non linéaire de Freundlich sont supérieures par rapport à celles du modèle linéaire bien que les coefficients de déterminations sont proches ainsi que la constante K_F et le n, les valeurs de ces deux derniers pour le modèle non linéaire sont égales à 128.4 mg/g et 14.16 respectivement.

Le modèle d'isotherme non linéaire de Freundlich dans le cas d'adsorption du Vert de Malachite activés par le Charbon actif de Merck est selon l'équation suivante :

$$q_e = 128.423 * ((C_e)^{7.064E-02})$$

Les figures Fig IV.2.1.4.1 Fig IV.2.1.4.2 et Fig IV.2.1.4.3 représentent les modèles d'isothermes non linéaires de Langmuir ; de Freundlich et le facteur de séparation respectivement.

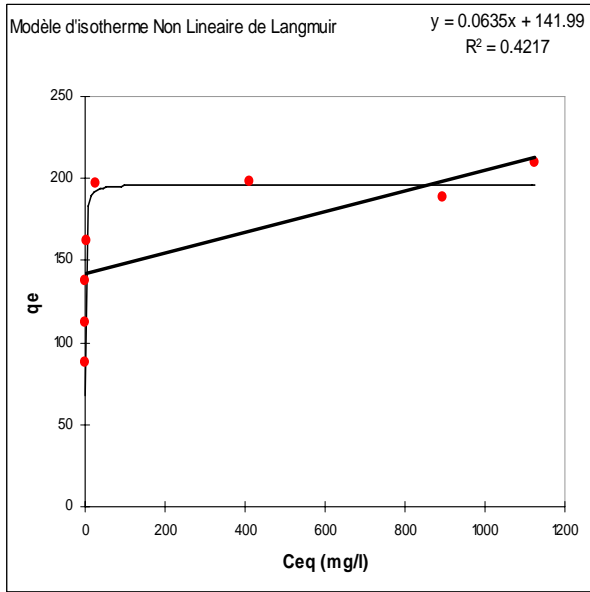


Fig IV.2.1.4.1

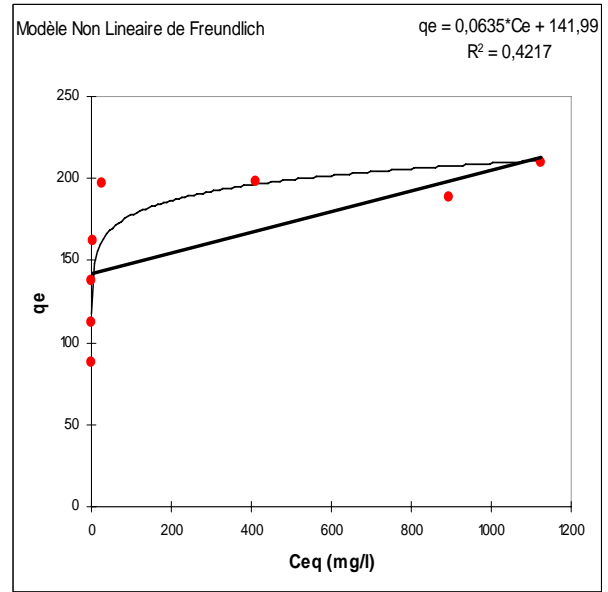


Fig IV.2.1.4.2

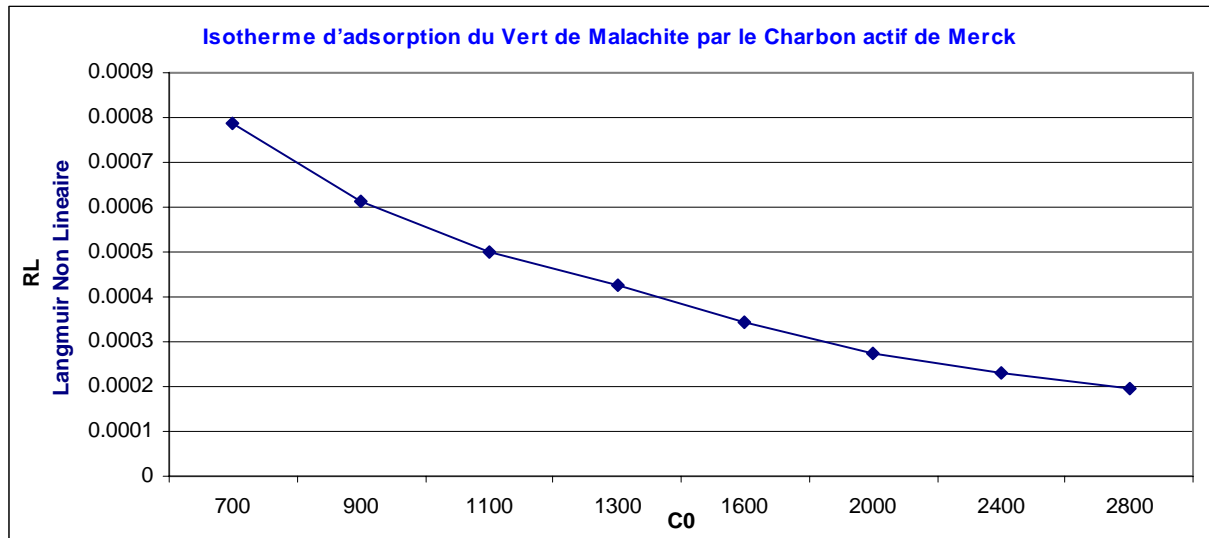


Fig IV.2.1.4.3 Facteur de Séparation

IV.2.2 ADSORPTION DU ROUGE DE NYLOSANE

IV.2.2.1 Isothermes d’adsorption du Rouge de Nylosane par les pépins de raisin activés chimiquement par le Cacl₂

Autres expériences ont été faites pour l’adsorption du Rouge de Nylosane mais cette fois ci en utilisant les pépins de raisin qui ont subits une pyrolyse et activées chimiquement dans ce cas par Cacl₂.

Les constantes des deux modèles d’isothermes non linéaires de Langmuir et de Freundlich étaient déterminer et le modèle le plus favoris était sélectionner comme montrer dans les tableaux et figures ci-dessous.

IV.2.2.1.1 Modèle d’isotherme non linéaire de Langmuir

Tableau IV.2.2.1.1 Modèle d’isotherme non linéaire de Langmuir

Modèle non linéaire de Langmuir	R ²	b	q _m	χ ²	RMSE	APE
Etude du q _e en fonction du C _{eq} q _e =-0.155*C _e / (1+-2.21E-02*C _e)	0.030	-0.0221	7.025	1811.507	67.49	96.719

IV.2.2.1.2 Modèle d’isotherme non linéaire de Freundlich

Tableau IV.2.2.1.2 Modèle d’isotherme non linéaire de Freundlich

Modèle non linéaire de Freundlich	R ²	K _F	n	χ ²	RMSE	APE
Etude du q _e en fonction du C _{eq} q _e =0.909*((C _e)^1.0105)	0.9766	0.9097	0.9896	10.154	5.4305	9.561
	Std. Error	0.3317	0.0797			

La caractéristique essentielle du modèle de Langmuir est exprimée par une constante sans dimension appelée facteur de séparation ou aussi le paramètre d’équilibre R_L, selon la Fig IV.2.2.1.3 les valeurs de ce paramètre sont inférieurs à zero.

Le coefficient de détermination du modèle d’isotherme non linéaire de Langmuir est très bas sa constante est négatif et les fonctions d’erreurs sont très élevées notamment le chi-square son APE est de 96.719% tous ces argument nous ramene a conclure que ce modèle est tres défavorable Donc le modèle d’isotherme linéaire de Langmuir Type II d’écrit mieux les données d’équilibre.

Malgré le coefficient de détermination du modèle d'isotherme non linéaire de Freundlich qui est de 0.9766 plus élevé que celui du modèle linéaire sauf que l'énergie d'adsorption est faible elle est égale à 0.9097 mg/g

L'intensité d'adsorption de Freundlich 'n' est égale à 0.9896 moins de 1 cela indique une capacité d'adsorption faible.

L'équation du modèle est : $q_e = 0.909 * (C_e)^{1.0105}$

Par contre dans l'isotherme linéaire de Freundlich le modèle elle est modérée.

Les figures Fig IV.2.2.1.1 et Fig IV.2.2.1.2 Fig IV.2.2.1.3 représentent les modèles d'isothermes non linéaires de Langmuir et de Freundlich et le facteur de séparation respectivement.

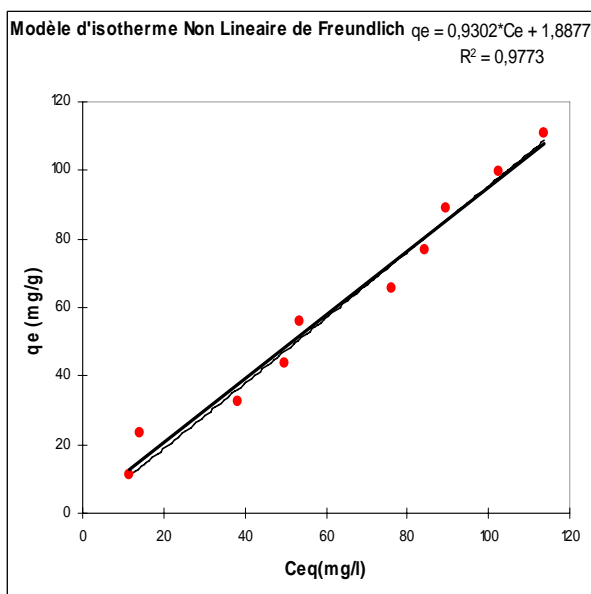


Fig IV.2.2.1.1

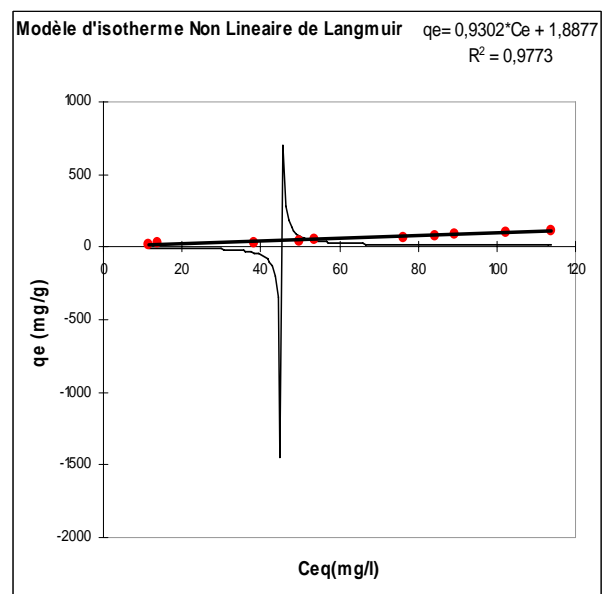


Fig IV.2.2.1.2

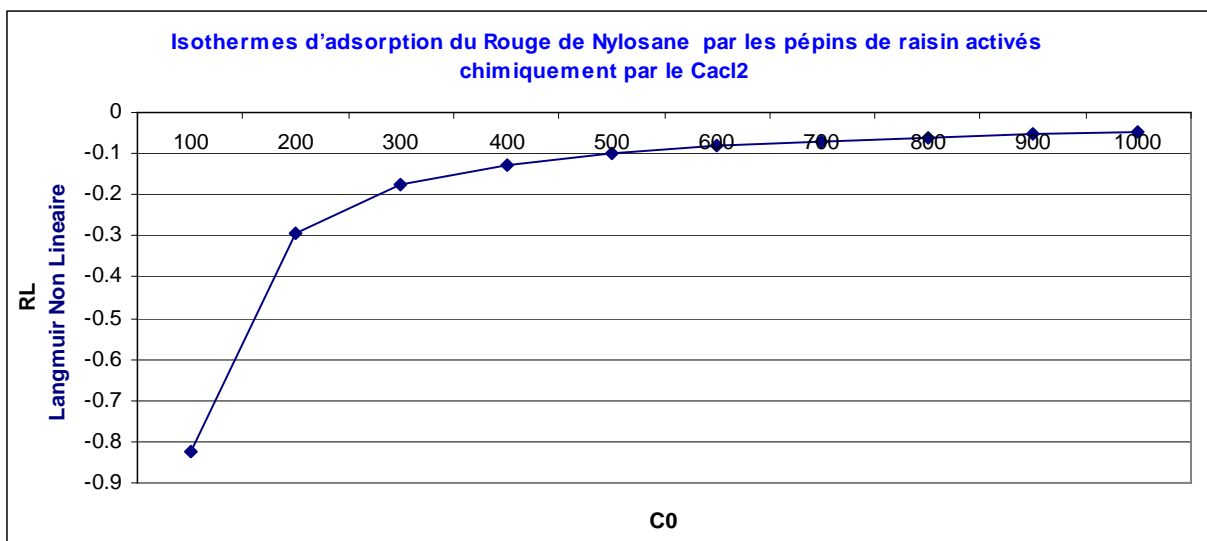


Fig IV.2.2.1.3 Facteur de Séparation

IV.2.2.2 Isothermes d’adsorption du Rouge de Nylosane par les pépins de raisin à l’Etat Naturel

Les pépins de raisin à l’etat naturel ont été utilisés pour éliminer le Rouge de Nylosane aucune activation n’a eu lieu.

Les modèles d’isothermes non linéaires de Langmuir et de Freundlich ont été appliqués pour la présente étude pour estimer les différents paramètres des modèles.

IV.2.2.2.1 Modèle d’isotherme non linéaire de Langmuir

Tableau IV.2.2.2.1 Modèle d’isotherme non linéaire de Langmuir

Modèle non linéaire de Langmuir	R ²	b	q _m	χ ²	RMSE	APE
Etude du q _e en fonction du C _{eq} q _e =4.628*C _e / (1+3.079E-02*C _e)	0.8287	0.0301	151	40.93	18.306	25.33
	Std. Error	0.0093	12.7			

IV.2.2.2.2 Modèle d’isotherme non linéaire de Freundlich

Tableau IV.2.2.2.2 Modèle d’isotherme non linéaire de Freundlich

Modèle non linéaire de Freundlich	R ²	K _F	n	χ ²	RMSE	APE
Etude du q _e en fonction du C _{eq} q _e =27.681*((C _e)^0.277)	0.7301	27.69	3.599	60.085	22.9699	32.7309
	Std. Error	9.76	0.872			

Selon la Fig IV.2.2.2.3 le paramètre d’équilibre 0<R_L<1 signifiant un modèle d’isotherme non linéaire de Langmuir favorable.

La capacité maximale d’adsorption trouvée dans le modèle d’isotherme non linéaire de Langmuir est presque égale à la moitié de celle du modèle linéaire qui a été sélectionné comme étant le plus favorable elle est égale à 151 mg/g avec une erreur standard de ±12.7

L’énergie d’adsorption b est de 0.0301±0.0093 l/mg et le coefficient de détermination atteint dans ce cas la valeur de 0.8287

L’équation du modèle est :

$$q_e = 4.628 * C_e / (1 + 3.079E-02 * C_e)$$

On remarque que les constantes du modèle d’isotherme non linéaire de Langmuir et celui du Type-II sont presque égales.

L'adsorption Rouge de Nylosane par les pépins de raisin à l'état naturel dans le cas du modèle non linéaire de Freundlich est favorable parce que la valeur de la constante n est de 3.599 par contre dans le cas linéaire elle est de 1.13 cela signifie qu'elle est modérée.

Le coefficient de détermination est relativement faible il est égale à 0.7301, l'énergie d'adsorption K_F est de 27.69 mg/g, la fonction d'erreur APE est égale à 32.7309%.

L'équation du modèle d'isotherme non linéaire de Freundlich est :

$$q_e = 27.681 * ((C_e)^{0.277})$$

Les figures Fig IV.2.2.2.1 ; Fig IV.2.2.2.2 et Fig IV.2.2.2.3 représentent les modèles d'isothermes non linéaires de Langmuir ; de Freundlich et le facteur de séparation respectivement.

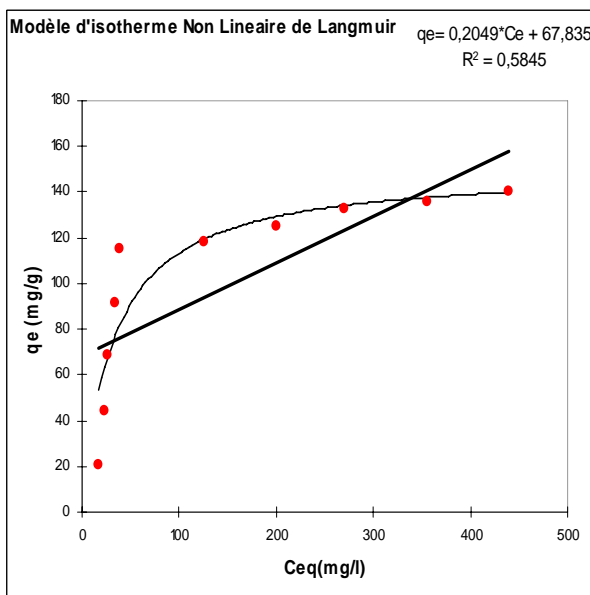


Fig IV.2.2.2.1

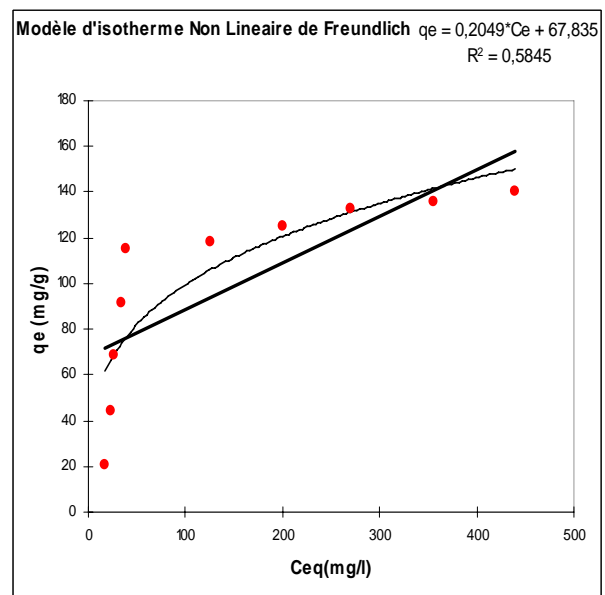


Fig IV.2.2.2.2

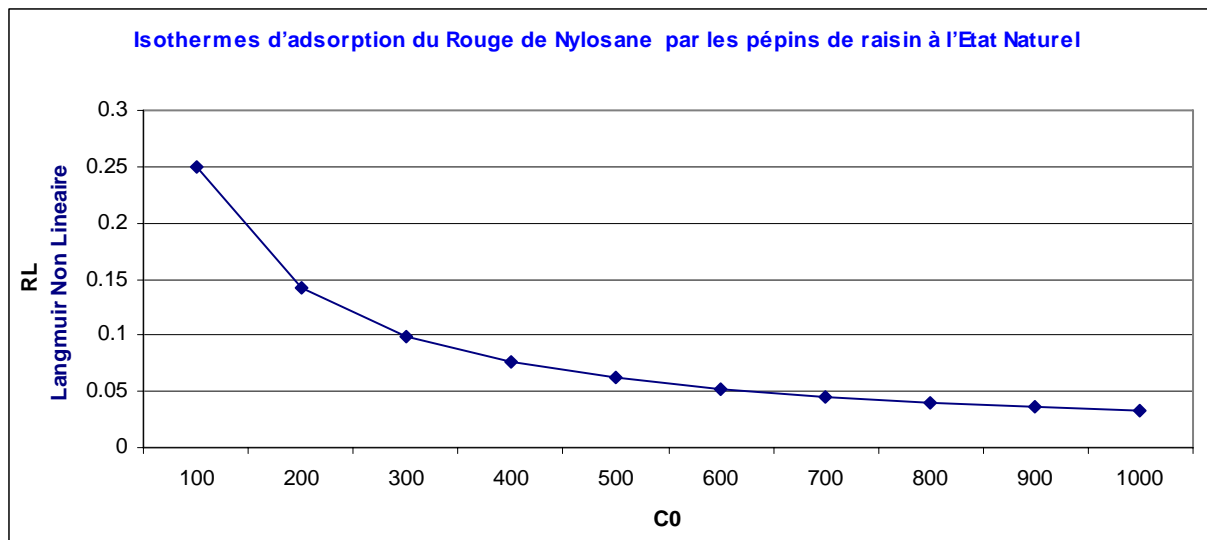


Fig IV.2.2.2.3 Facteur de Séparation

IV.2.2.3 Isothermes d’adsorption du Rouge de Nylosane par les pépins de raisin activés chimiquement par le H₃PO₄

Les pépins de raisin traité en H₃PO₄ ont été utilisés pour éliminer le Rouge de Nylosane à partir des solutions aqueuses, les pépins étaient préparé par pyrolyse puis activée chimiquement par H₃PO₄.

Les modèles d’isothermes non linéaires de Langmuir et de Freundlich ont été appliqués pour suivre cette adsorption, les différents paramètres des modèles ont été déterminés.

IV.2.2.3.1 Modèle d’isotherme non linéaire de Langmuir

Tableau IV.2.2.3.1 Modèle d’isotherme non linéaire de Langmuir

Modèle non linéaire de Langmuir	R ²	b	q _m	χ ²	RMSE	APE
Etude du q _e en fonction du C _{eq} q _e =4.723*C _e / (1+1.003E-02*C _e)	0.9553	0.01004	470.6	67.98	29.1	17.829
	Std. Error	0.00149	24.09			

IV.2.2.3.2 Modèle d’isotherme non linéaire de Freundlich

Tableau IV.2.2.3.2 Modèle d’isotherme non linéaire de Freundlich

Modèle non linéaire de Freundlich	R ²	K _F	n	χ ²	RMSE	APE
Etude du q _e en fonction du C _{eq} q _e =27.503*((C _e)^0.434)	0.9392	27.5	2.302	136.44	33.936	31.497
	Std. Error	5.49	0.185			

La Fig IV.2.2.3.3 montre que le processus d’adsorption du Rouge de Nylosane par les pépins de raisin activés chimiquement par le H₃PO₄ on utilisant le modèle d’isotherme non linéaire de Langmuir est favorable.

Le coefficient de détermination et la constante de ce modèle sont légèrement supérieur a celui du modèle linéaire Type-I sa valeur est 0.9553, la capacité maximale d’adsorption est de 470.6 mg/g avec une erreur standard de ±24.09, l’énergie d’adsorption est égale à 0.01004 ± 0.00149 l/mg et l’APE est 17.829%.

L’équation du modèle d’isotherme non linéaire de Langmuir est :

$$q_e = 4.723 * C_e / (1 + 1.003E-02 * C_e)$$

On peut dire que ce modèle est valide et décrit les données d’équilibre.

En ce qui concerne le modèle d'isotherme non linéaire de Freundlich il est favorable parce que l'intensité d'adsorption est égale à 2.302 et son coefficient de détermination est important égale à 0.9392 et l'énergie d'adsorption K_F est 27.5 mg/g avec une erreur standard de ± 5.49

L'équation du modèle est : $q_e = 27.503 * ((C_e)^{0.434})$

Les figures Fig IV.2.2.3.1 ; Fig IV.2.2.3.2 et Fig IV.2.2.3.3 représentent les modèles d'isothermes non linéaires de Langmuir ; de Freundlich et le facteur de séparation respectivement.

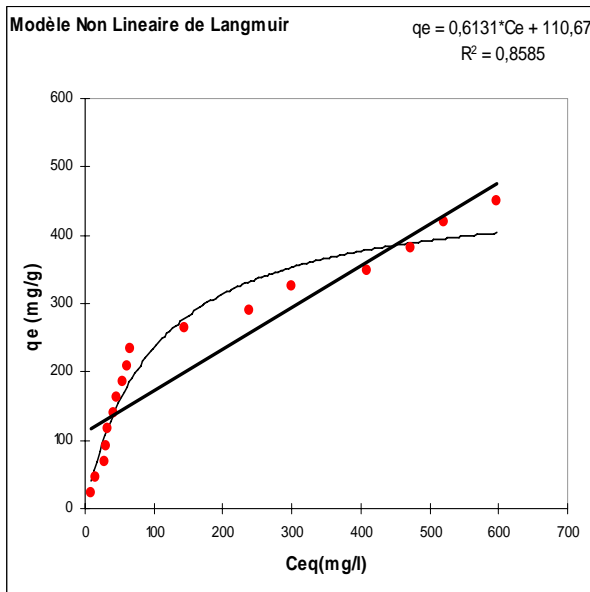


Fig IV.2.2.3.1

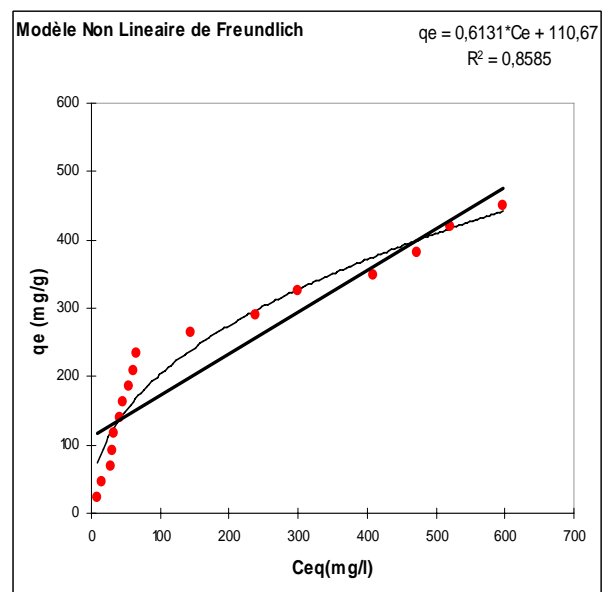


Fig IV.2.2.3.2

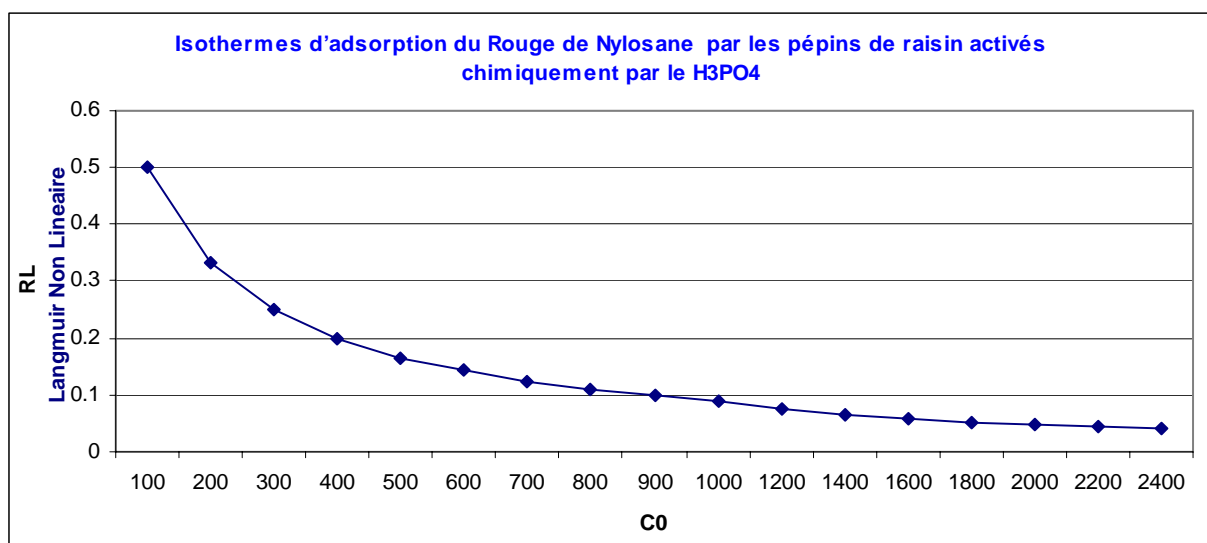


Fig IV.2.2.3.3 Facteur de Séparation

IV.2.2.4 Isothermes d’adsorption du Rouge de Nylosane par les pépins de raisin activés chimiquement par le KOH

Les modèles d’isothermes non linéaires de Langmuir et de Freundlich ont été appliqués pour la présente étude pour estimer les différents paramètres et choisir le modèle approprié. Les pépins de raisin subissaient une pyrolyse puis activée chimiquement par le KOH.

IV.2.2.4.1 Modèle d’isotherme non linéaire de Langmuir

Tableau IV.2.2.4.1 Modèle d’isotherme non linéaire de Langmuir

Modèle non linéaire de Langmuir	R ²	b	q _m	χ ²	RMSE	APE
Etude du q _e en fonction du C _{eq} q _e =8.3499*C _e / (1+2.034E-02*C _e)	0.9585	0.0203	410.4	80.78	24.994	16.197
	Std. Error	0.0034	21.6			

IV.2.2.4.2 Modèle d’isotherme non linéaire de Freundlich

Tableau IV.2.2.4.2 Modèle d’isotherme non linéaire de Freundlich

Modèle non linéaire de Freundlich	R ²	K _F	n	χ ²	RMSE	APE
Etude du q _e en fonction du C _{eq} q _e =42.573*((C _e)^0.377)	0.9787	42.57	2.65	38.17	17.907	17.128
	Std. Error	4.26	0.13			

Le modèle d’isotherme non linéaire de Langmuir est favorable parce que ces paramètres tels que, le Coefficient de détermination R² & constante de Langmuir b & capacité maximale d’adsorption q_m du modèle sont importants elles sont égales a 0.9585; 0.0203 l/mg et 0.0203 mg/g

Les fonctions d’erreurs telles que l’APE est égale à 16.197%, le Chi-square est 80.78 et le RMSE est de 24.994

La figure Fig IV.2.2.4.3 montre que le facteur de séparation est 0<R_L<1 d’où le processus d’adsorption est favorable

L’équation du modèle isotherme non linéaire de Langmuir est comme suit :

$$q_e = 8.3499 * C_e / (1 + 2.034E-02 * C_e)$$

L'équation du modèle trouvé du modèle d'isotherme non linéaire de Freundlich est comme suit :

$$q_e = 42.573 * ((C_e)^{0.377})$$

Le coefficient de détermination et l'intensité d'adsorption n de ce modèle sont supérieurs à celles du modèle linéaire égale à 0.9787 et 2.65 respectivement cela implique qu'il est le plus favorable et l'énergie d'adsorption est bonne d'une valeur de 42.57 ± 4.26 mg/g

Les figures Fig IV.2.2.4.1 ; Fig IV.2.2.4.2 et Fig IV.2.2.4.3 représentent les modèles d'isothermes non linéaires de Langmuir ; de Freundlich et le facteur de séparation respectivement.

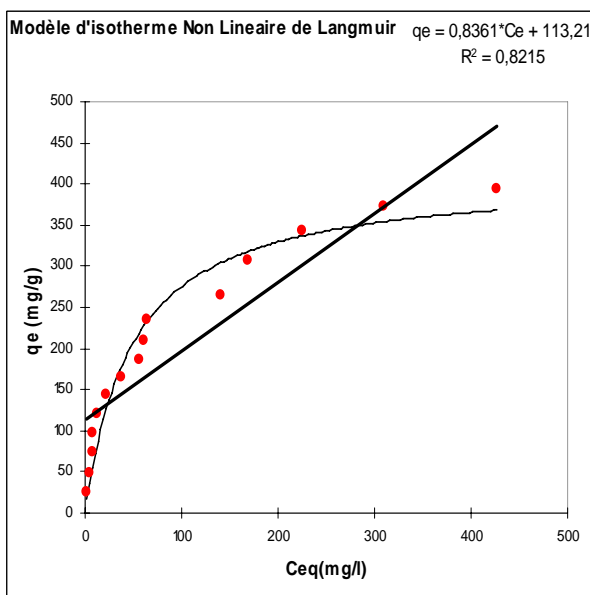


Fig IV.2.2.4.1

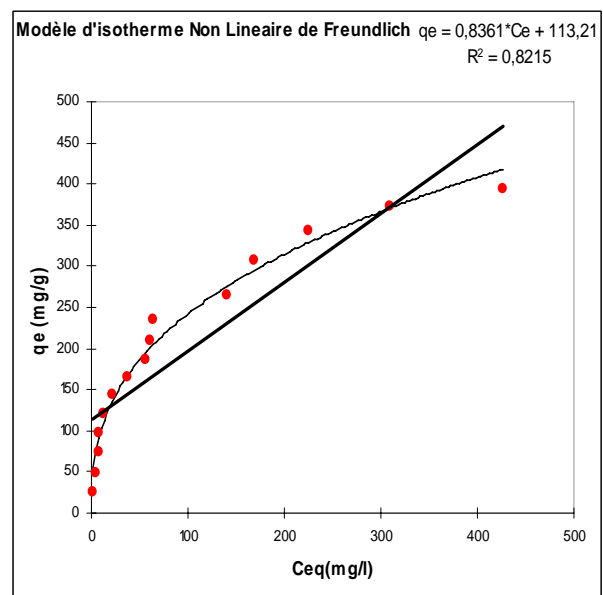


Fig IV.2.2.4.2

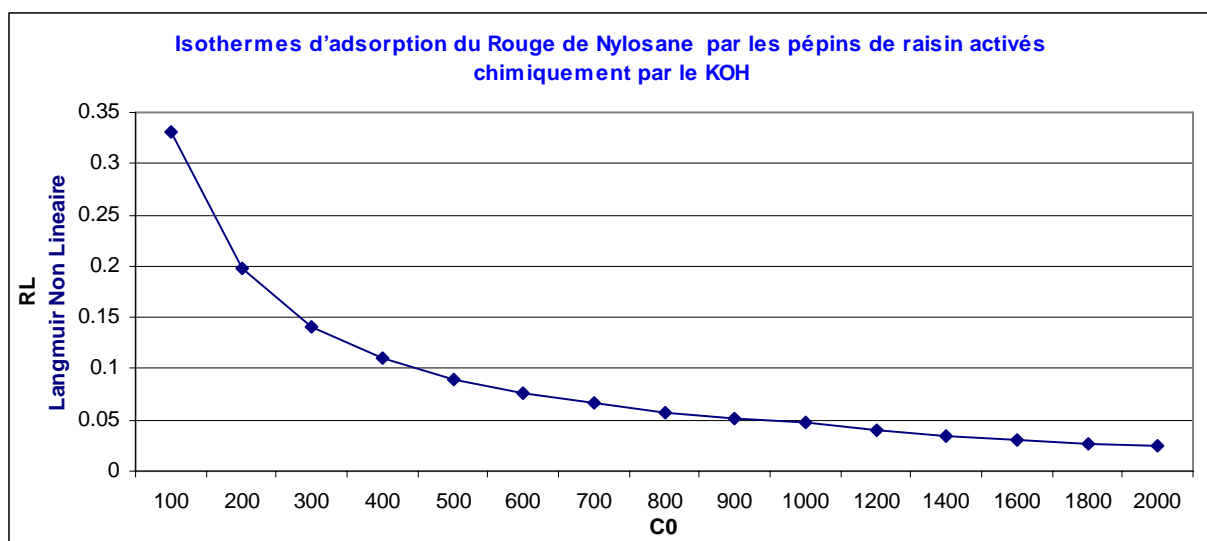


Fig IV.2.2.4.3 Facteur de Séparation

IV.2.2.5 Isothermes d’adsorption du Rouge de Nylosane par les pépins de raisin
Activation mixte

L’activation mixte des pépins de raisin a été faite afin d’étudier l’adsorption du Rouge de Nylosane en utilisant des différentes concentrations.

Les modèles d’isothermes non linéaires de Langmuir et de Freundlich ont été appliqués, ces constantes ont été déterminées et par la suite le meilleur modèle était sélectionné.

IV.2.2.5.1 Modèle d’isotherme non linéaire de Langmuir

Tableau IV.2.2.5.1 Modèle d’isotherme non linéaire de Langmuir

Modèle non linéaire de Langmuir	R ²	b	q _m	χ ²	RMSE	APE
Etude du q _e en fonction du C _{eq} q _e =9.751*C _e /(1+2.994E-02*C _e)	0.9249	0.0299	325.7	72.85	28.558	21.0468
	Std. Error	0.0065	19.69			

IV.2.2.5.2 Modèle d’isotherme non linéaire de Freundlich

Tableau IV.2.2.5.2 Modèle d’isotherme non linéaire de Freundlich

Modèle non linéaire de Freundlich	R ²	K _F	n	χ ²	RMSE	APE
Etude du q _e en fonction du C _{eq} q _e =40.794*((C _e)^0.355)	0.9466	40.79	2.814	75.43	24.077	28.472
	Std. Error	6.218	0.233			

La figure Fig IV.2.2.5.3 montre que les valeurs du facteur de séparation sont entre 0 et 1 indiquant que le processus d’isotherme non linéaire de Langmuir est favorable.

La capacité maximale d’adsorption q_m obtenue dans ce modèle est très importante elle est égale à 325.7 mg/g avec une standard erreur de 19.69, la fonction d’erreurs APE est de 21.0468% et l’énergie d’adsorption b est égale à 0.0299 l/mg

L’équation du modèle d’isotherme non linéaire de Langmuir est :

$$q_e = 9.751 * C_e / (1 + 2.994E-02 * C_e)$$

Le coefficient de détermination de ce modèle est élevé égale à 0.9249

Les paramètres obtenus à partir du modèle d’isotherme non linéaire de Langmuir sont acceptables mais le modèle linéaire Type I est plus favorable suite à son coefficient de détermination qui est important et les erreurs qui sont minime comparativement au modèle non linéaire.

Le modèle d'isotherme non linéaire de Freundlich décrit mieux les données d'équilibre par rapport au modèle linéaire il possède un coefficient de détermination élevé égale à 0.9466 il possède aussi une capacité d'adsorption égale à 40.79 mg/g et l'intensité de l'adsorption n est égale à 2.814 ± 0.233 signifiant que le modèle est favorable .Les erreurs du modèle non linéaire de Freundlich sont voisines a celles du modèle non linéaire de Langmuir.

L'équation du modèle est :

$$q_e = 40.794 * ((C_e)^{0.355})$$

Les figures Fig IV.2.2.5.1 ; Fig IV.2.2.5.2 et Fig IV.2.2.5.3 représentent les modèles d'isothermes non linéaires de Langmuir ; de Freundlich et le facteur de séparation respectivement.

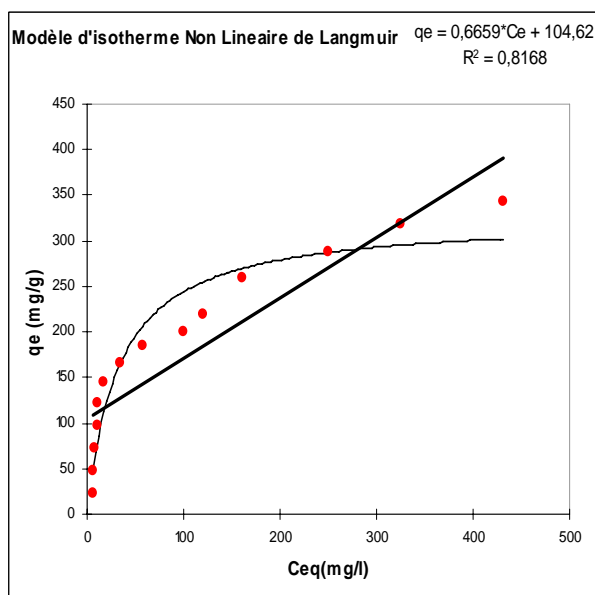


Fig IV.2.2.5.1

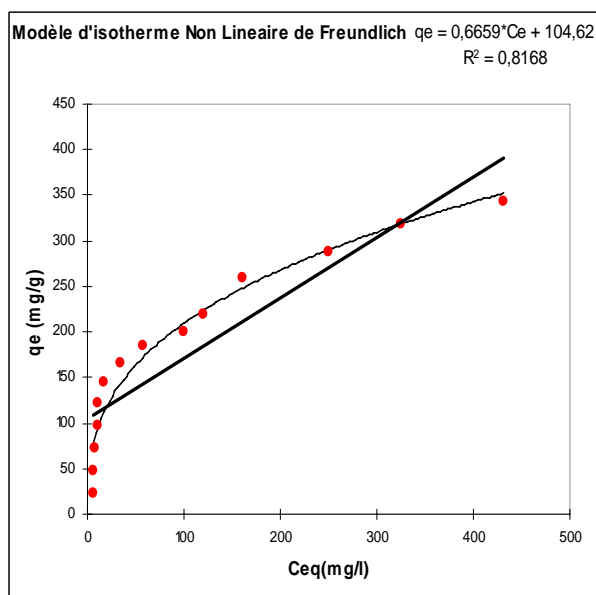


Fig IV.2.2.5.2

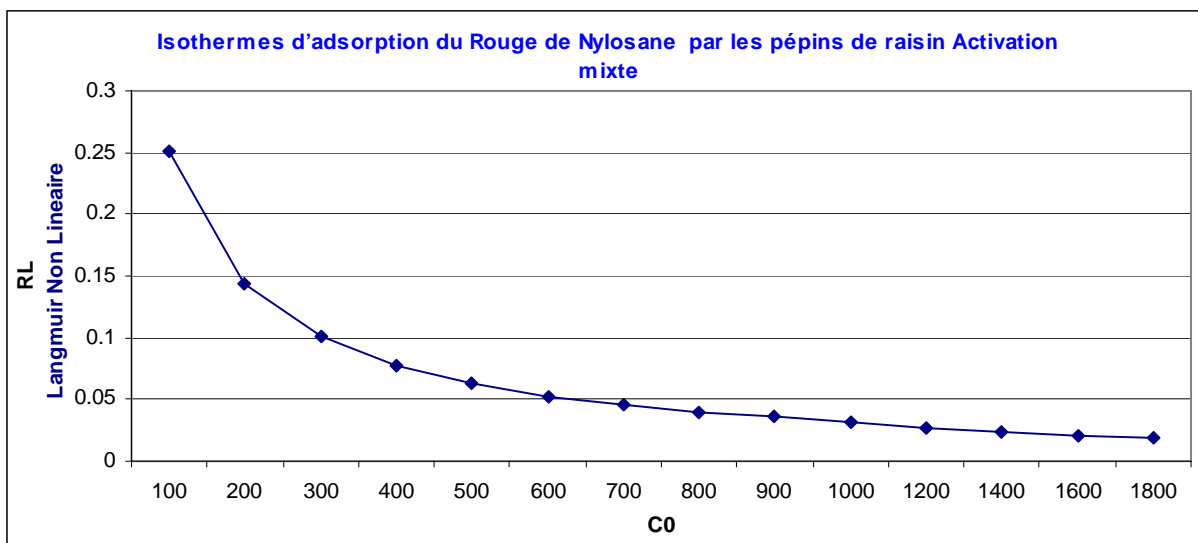


Fig IV.2.2.5.3 Facteur de Séparation

IV.2.2.6 Isothermes d'adsorption du Rouge de Nylosane par les pépins de raisin
Activation physique

Les pépins de raisin eatient activé physiquement, l'expérience de l'adsorption du Rouge de Nylosane a été étudié.

Les modèles d'isothermes non linéaires de Langmuir et de Freundlich ont été appliqués pour la présente étude pour estimer les différents paramètres des modèles.

IV.2.2.6.1 Modèle d'isotherme non linéaire de Langmuir

Tableau IV.2.2.6.1 Modèle d'isotherme non linéaire de Langmuir

Modèle non linéaire de Langmuir	R ²	b	q _m	χ ²	RMSE	APE
Etude du q _e en fonction du C _{eq} q _e =1.748*C _e /(1+7.634E-03*C _e)	0.877	0.0076	229	57.28	21.265	18.433
	Std. Error	0.0028	34.28			

IV.2.2.6.2 Modèle d'isotherme non linéaire de Freundlich

Tableau IV.2.2.6.2 Modèle d'isotherme non linéaire de Freundlich

Modèle non linéaire de Freundlich	R ²	K _F	n	χ ²	RMSE	APE
Etude du q _e en fonction du C _{eq} q _e =7.326*((C _e)^0.544)	0.9253	7.326	1.838	42.50	16.574	21.811
	Std. Error	2.355	0.199			

Comme indiquier dans la figure IV.2.2.6.3 le facteur de séparation existe dans un domaine 0<R_L<1 indiquant que le processus d'adsorption du Rouge de Nylosane par les pépins de raisin Activer physiquement est favorable, ce facteur est une caractéristique essentielle du modèle d'isotherme de Langmuir que dans notre cas il est non Linéaire.

Le modèle d'isotherme non linéaire de Langmuir présente des résultats positifs. La capacité maximale d'adsorption est presque la moitié de celle du modèle linéaire Type-II elle est égale à 229 mg/g avec une erreur standard de 34.28, le coefficient de détermination du modèle est de 0.877 et l'énergie d'adsorption est égale à 34.28.

L'équation du modèle est :

$$q_e = 1.748 * C_e / (1 + 7.634E-03 * C_e)$$

Ce modèle est valide et décrit les données expérimentales et calculer.

Le coefficient de détermination du modèle d'isotherme non linéaire de Freundlich est important il est égale à 0.9253 mais cela n'exclue pas que la capacité d'adsorption est modérée puisque l'intensité de l'adsorption n est égale à 1.838 et l'énergie d'adsorption est égale à 7.326 mg/g.

Les fonctions d'erreurs tels que le Chi-square ; RMSE et APE sont égales a 42.50 ; 16.574 et 21.811%.

L'équation du modèle d'isotherme non linéaire de Freundlich est:

$$q_e = 7.326 * ((C_e)^{0.544})$$

Les figures Fig IV.2.2.6.1 ; Fig IV.2.2.6.2 et Fig IV.2.2.6.3 représentent les modèles d'isothermes non linéaires de Langmuir ; de Freundlich et le facteur de séparation respectivement.

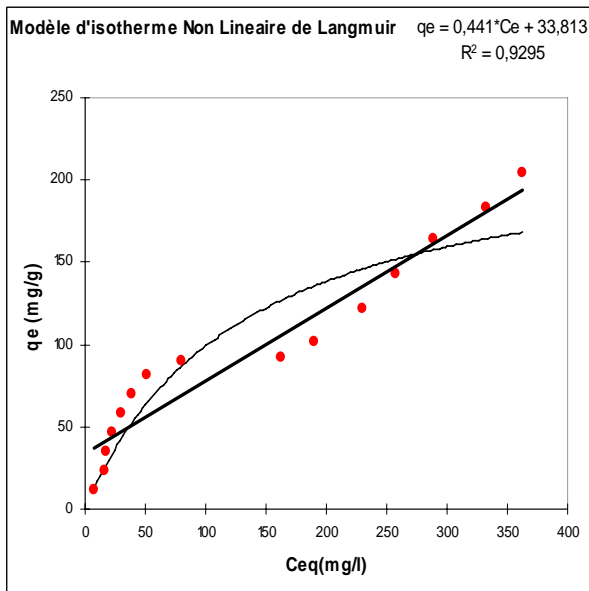


Fig IV.2.2.6.1

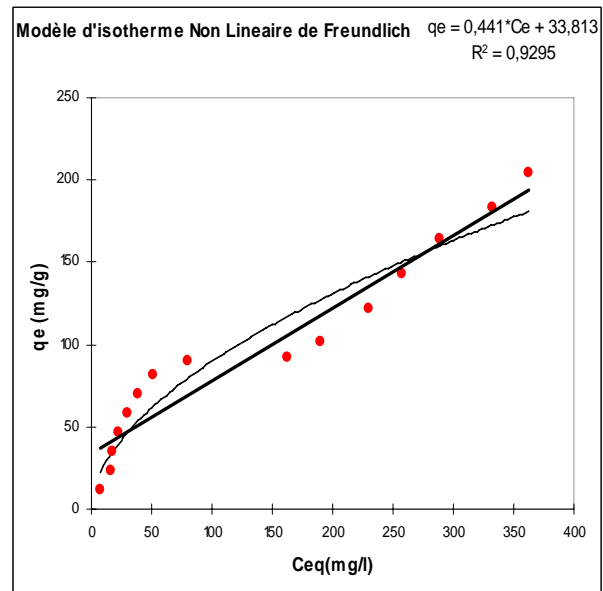


Fig IV.2.2.6.2

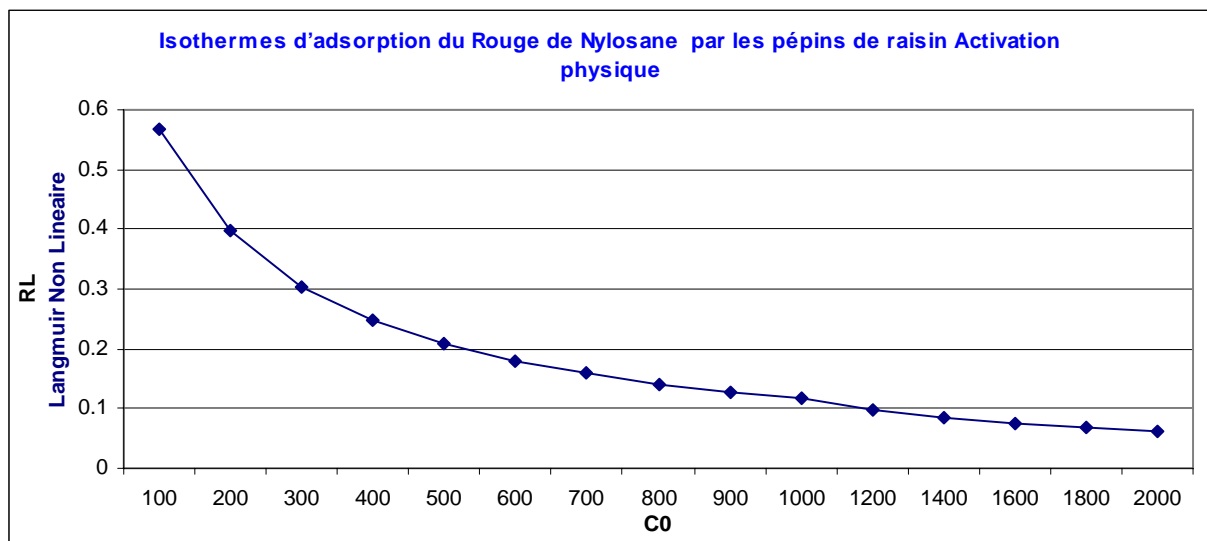


Fig IV.2.2.6.3 Facteur de Séparation

IV.2.2.7 Isothermes d’adsorption du Rouge de Nylosane par les pépins de raisin activés par le Charbon actif Aldrich

L’activation des pépins de raisin cette fois ci est faite par le Charbon actif Aldrich afin d’éliminer le Rouge de Nylosane.

Les constantes des deux modèles d’isothermes non linéaires de Langmuir et de Freundlich ont été déterminées ainsi que des différents paramètres et les équations qui gèrent ces expériences.

IV.2.2.7.1 Modèle d’isotherme non linéaire de Langmuir

Tableau IV.2.2.7.1 Modèle d’isotherme non linéaire de Langmuir

Modèle non linéaire de Langmuir	R ²	b	q _m	χ ²	RMSE	APE
Etude du q _e en fonction du C _{eq} q _e =9.2434*C _e /(1+3.205E-02*C _e)	0.9271	0.03205	288.4	52.19	23.816	23.762
	Std. Error	0.00585	16.55			

IV.2.2.7.2 Modèle d’isotherme non linéaire de Freundlich

Tableau IV.2.2.7.2 Modèle d’isotherme non linéaire de Freundlich

Modèle non linéaire de Freundlich	R ²	K _F	n	χ ²	RMSE	APE
Etude du q _e en fonction du C _{eq} q _e =43.728*((C _e)^0.315)	0.8382	43.73	3.17	123.75	35.490	39.329
	Std. Error	10.32	0.46			

La Figure IV.2.2.7.3 montre que le facteur de séparation est compris entre 0 < R_L < 1 indiquant que le processus d’adsorption est favorable cela est valable uniquement pour les modèles d’isothermes de Langmuir que ce soit linéaires ou non linéaires.

Le modèle d’isotherme non linéaire de Langmuir est favorable et décrit les données expérimentales et calculées suite à son coefficient de détermination très important qui est égale à 0.9271 et la capacité maximale d’adsorption qui est de 288.4 mg/g d’une erreur standard de ± 16.55.

L’énergie d’adsorption est égale à 0.03205±0.00585 l/mg

L’équation du modèle est : q_e=9.2434*C_e/(1+3.205E-02*C_e)

Donc l’adsorption du Rouge de Nylosane par les pépins de raisin activés par le Charbon actif Aldrich est possible.

La valeur de l'intensité d'adsorption n obtenue par le modèle d'isotherme non linéaire de Freundlich est égale à 3.17 signifiant que le modèle est favorable ce résultat est confirmer par le coefficient de détermination obtenu qui est égale à 0.8382 et supérieur par rapport a celui du modèle d'isotherme Linéaire de Freundlich, la constante de Freundlich K_F correspondante a l'énergie d'adsorption est de 43.73 ± 10.32 mg/g

L'équation du modèle est comme suit :

$$q_e = 43.728 * ((C_e)^{0.315})$$

Les figures Fig IV.2.2.7.1 ; Fig IV.2.2.7.2 et Fig IV.2.2.7.3 représentent les modèles d'isothermes non linéaires de Langmuir ; de Freundlich et le facteur de séparation respectivement.

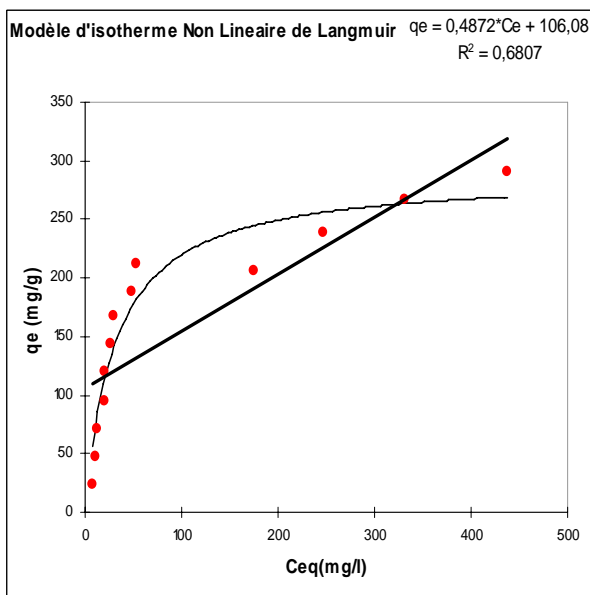


Fig IV.2.2.7.1

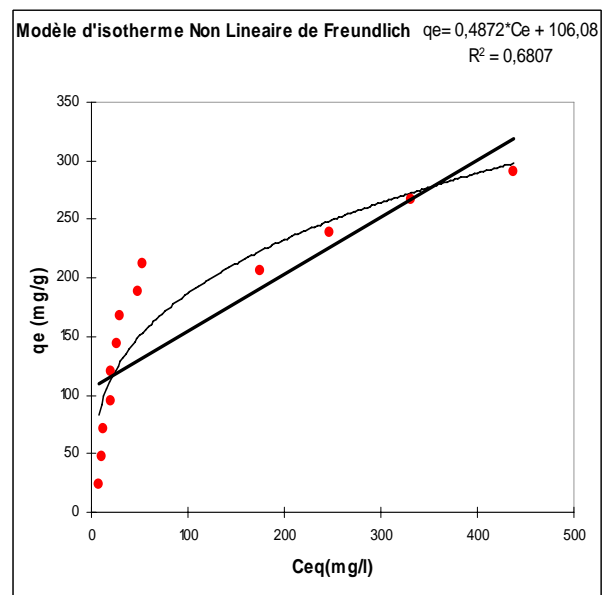


Fig IV.2.2.7.2

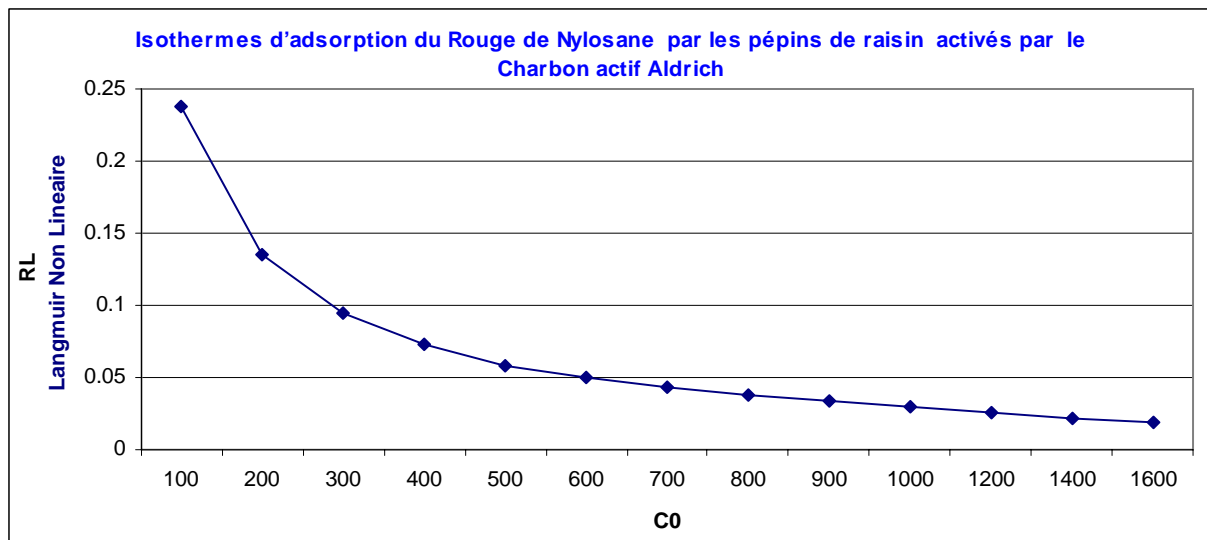


Fig IV.2.2.7.3 Facteur de Séparation

IV.2.3 ADSORPTION DU JAUNE DE SUPRANOL

IV.2.3.1 Isothermes d'adsorption du Jaune de Supranol par les pépins de raisin activés chimiquement par le CaCl₂

Le Jaune de Supranol est un colorant, dans ce qui suit on avait étudié son élimination par les pépins de raisin, ces derniers ont été pyrolysés puis activés chimiquement par le CaCl₂. Les modèles d'isothermes non linéaires de Langmuir et de Freundlich ont été appliqués pour la présente étude pour estimer les différents paramètres des modèles.

IV.2.3.1.1 Modèle d'isotherme non linéaire de Langmuir

Tableau IV.2.3.1.1 Modèle d'isotherme non linéaire de Langmuir

Modèle non linéaire de Langmuir	R ²	b	q _m	χ ²	RMSE	APE
Etude du q _e en fonction du C _{eq} q _e =2.4027*C _e / (1+2.623E-02*C _e)	0.9134	0.026	91.61	12.25	8.233	14.66
	Std. Error	0.005	5.008			

IV.2.3.1.2 Modèle d'isotherme non linéaire de Freundlich

Tableau IV.2.3.1.2 Modèle d'isotherme non linéaire de Freundlich

Modèle non linéaire de Freundlich	R ²	K _F	n	χ ²	RMSE	APE
Etude du q _e en fonction du C _{eq} q _e =14.0511*((C _e)^0.3017)	0.8854	14.05	3.31	23.46	9.474	22.642
	Std. Error	3.223	0.45			

En faisant référence à la Fig IV.2.3.1.3 le facteur de séparation est supérieur à 0 et inférieur à 1 cela dit que le processus du modèle d'isotherme non linéaire de Langmuir appliqué pour l'adsorption du Jaune de Supranol par les pépins de raisin activés chimiquement par le CaCl₂.

Le coefficient de détermination ainsi que la capacité maximale d'adsorption du modèle d'isotherme non linéaire de Langmuir qui sont respectivement 0.9134 et 91.61 mg/g sont importants mais ils sont inférieurs par rapport à celui du modèle d'isotherme linéaire de Langmuir bien que son APE est légèrement inférieur par contre le RMSE et le chi square sont élevés.

L'énergie d'adsorption b est égale à 0.026 l/mg avec une erreur standard égale à ± 0.005

L'équation du modèle est la suivante :

$$q_e = 2.4027 * C_e / (1 + 2.623E-02 * C_e)$$

Le coefficient de détermination R^2 et la valeur de la capacité d'adsorption K_F du modèle non linéaire de Freundlich sont égale à 0.8854 et 14.05 mg/g respectivement et La valeur de l'intensité d'adsorption n qui est de 3.314 indique une bonne capacité d'adsorption tous ces paramètres sont supérieurs a celle du modèle linéaire de Freundlich.

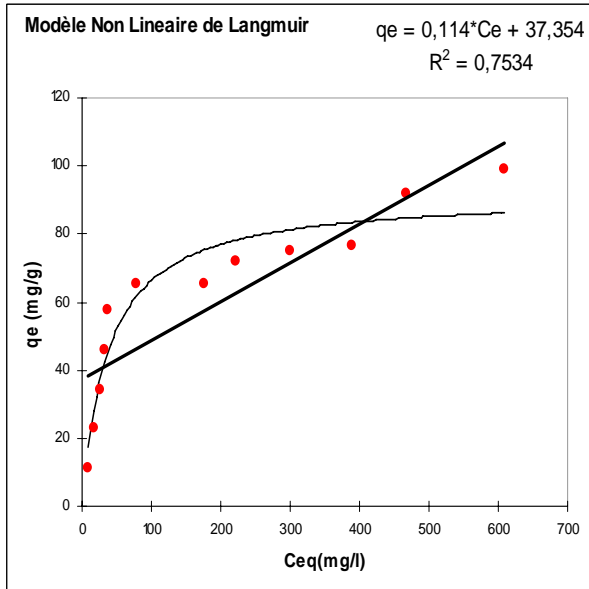


Fig IV.2.3.1.1

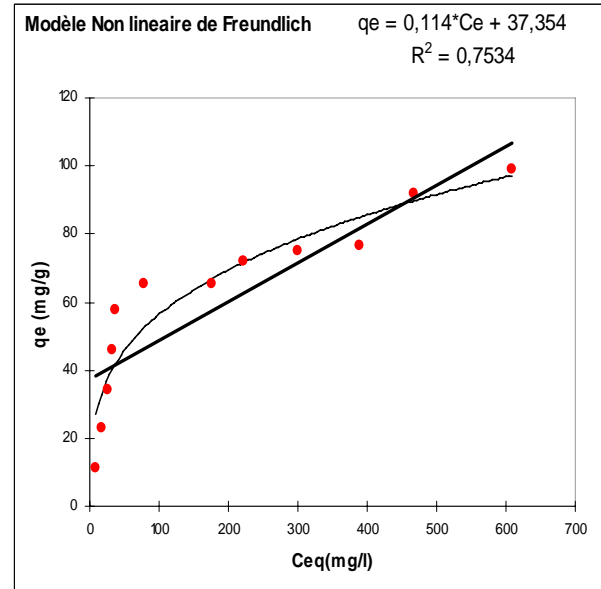


Fig IV.2.3.1.2

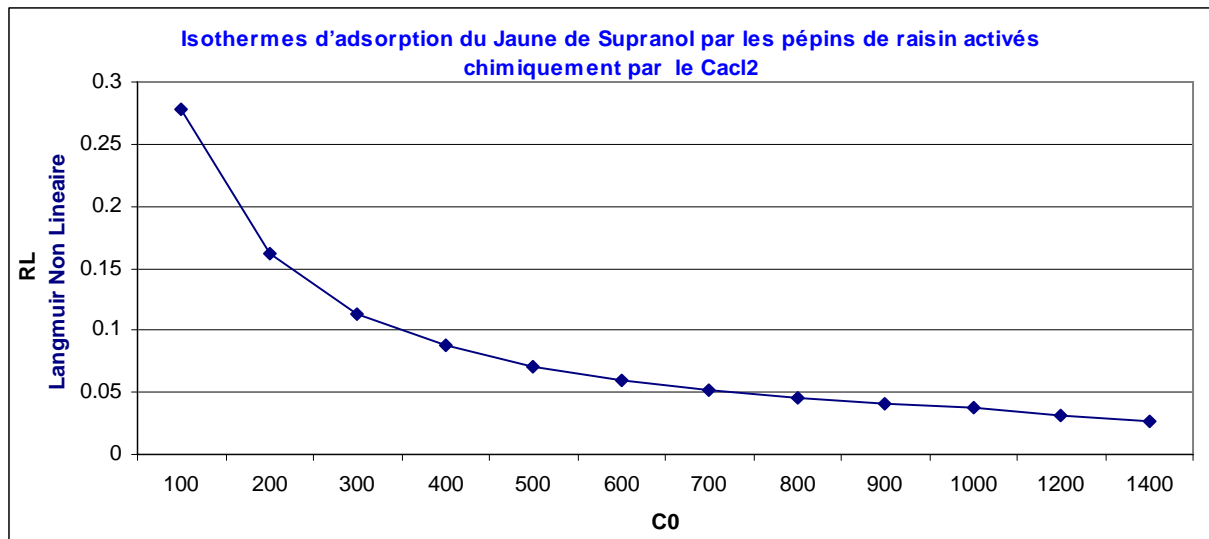


Fig IV.2.3.1.3 Facteur de Séparation

Les Figures IV.2.3.1.1 ; IV.2.3.1.2 et IV.2.3.1.3 ci-dessus représentent les modèles d'isothermes non linéaires de Langmuir ; de Freundlich et le facteur de séparation respectivement.

IV.2.3.2 Isothermes d’adsorption du Jaune de Supranol par les pépins de raisin à l’état naturel

Les pépins de raisin ont été utiliser à leur état naturel afin de suivre le processus d’elination du Jaune de Supranol.

Les modèles d’isothermes non linéaires de Langmuir et de Freundlich ont été appliqués pour la présente étude pour estimer les différents paramètres des modèles.

IV.2.3.2.1 Modèle d’isotherme non linéaire de Langmuir

Tableau IV.2.3.2.1 Modèle d’isotherme non linéaire de Langmuir

Modèle non linéaire de Langmuir	R ²	b	q _m	χ ²	RMSE	APE
Etude du q _e en fonction du C _{eq} q _e =1.5934*C _e /(1+3.215E-02*C _e)	0.966	0.032	49.55	3.111	2.5257	10.36
	Std. Error	0.004	2.115			

IV.2.3.2.2 Modèle d’isotherme non linéaire de Freundlich

Tableau IV.2.3.2.2 Modèle d’isotherme non linéaire de Freundlich

Modèle non linéaire de Freundlich	R ²	K _F	n	χ ²	RMSE	APE
Etude du q _e en fonction du C _{eq} q _e =7.367*((C _e)^0.336)	0.856	7.368	2.97	12.422	5.194	25.720
	Std. Error	1.837	0.46			

Le facteur de séparation existe dans un intervalle de 0.05 jusqu'à 0.4 a différents concentration initiales cela signifie que le processus d'adsorption du Jaune de Supranol par les pépins de raisin à l’état naturel est favorable pour le cas de l’isotherme non linéaire de Langmuir.

La capacité maximale d’adsorption ainsi que la constante du modèle d’isotherme non linéaire de Langmuir sont proche a celle du modèle linéaire elles sont égales a 49.55 mg/g et 0.032 l/mg respectivement, le coefficient de détermination lui aussi est très important il est de 0.966 les erreurs sont acceptables moins 4 pour la fonction Chi-square et RMSE et 10.36% pour l’APE.

Donc on peut dire que le modèle d’isotherme non linéaire de Langmuir est valide et décrit très bien les données d’équilibre.

L’équation du modèle est : q_e=1.5934*C_e/(1+3.215E-02*C_e)

L'équation du modèle d'isotherme non linéaire de Freundlich obtenu est comme suit :

$$q_e = 7.367 * ((C_e)^{0.336})$$

La régression donne un coefficient de détermination égale à 0.856, l'énergie d'adsorption est relativement faible elle est de 7.368 mg/g alors que l'intensité d'adsorption n est de 2.97 ± 0.46 cette valeur confirme que le processus est favorable

Les fonctions d'erreurs sont supérieures par rapport au modèle linéaire de Freundlich mais elles sont faibles.

L'équation du modèle d'isotherme non linéaire de Freundlich est : $q_e = 7.367 * ((C_e)^{0.336})$

Les figures Fig IV.2.3.2.1 ; Fig IV.2.3.2.2 et Fig IV.2.3.2.3 représentent les modèles d'isothermes non linéaires de Langmuir ; de Freundlich et le facteur de séparation respectivement.

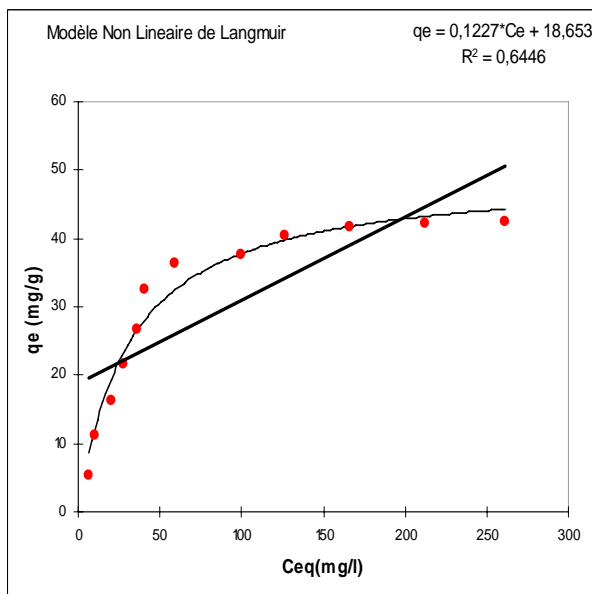


Fig IV.2.3.2.1

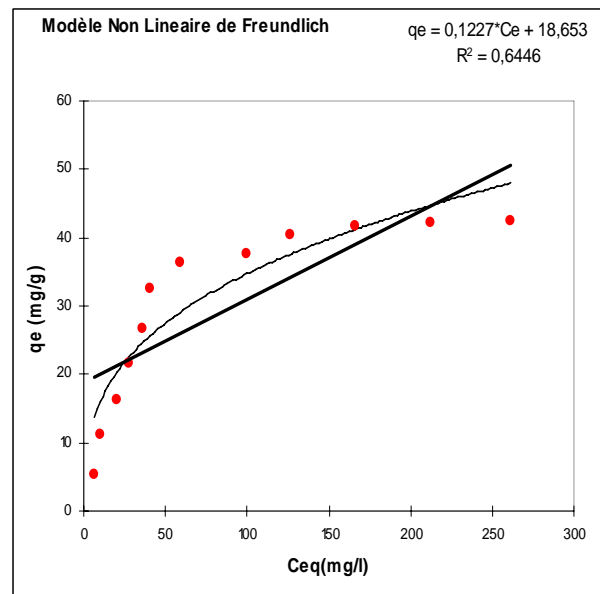


Fig IV.2.3.2.2

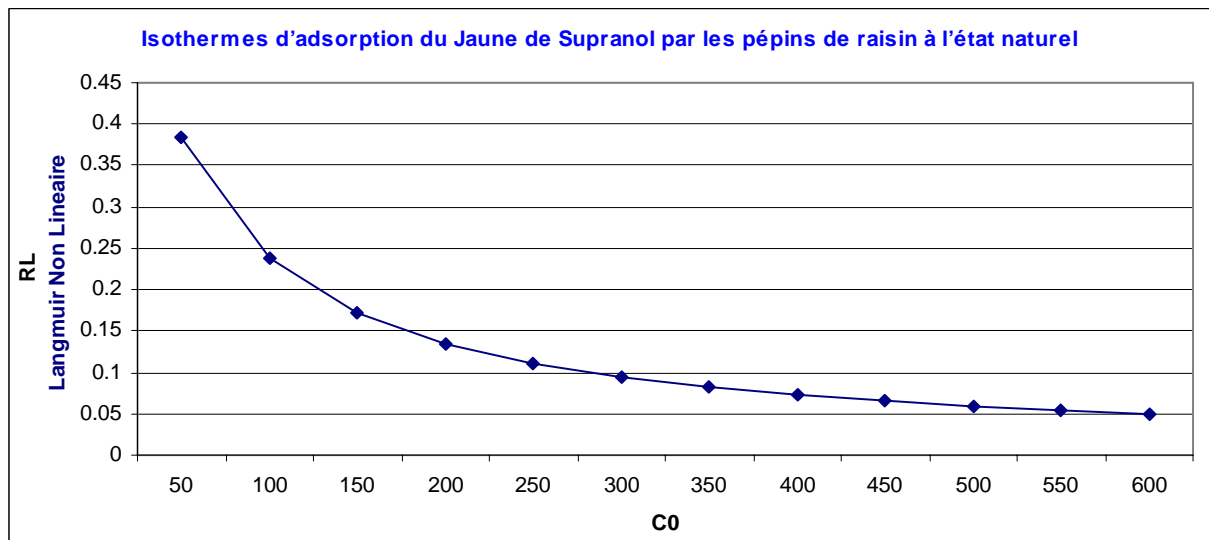


Fig IV.2.3.2.3 Facteur de Séparation

IV.2.3.3 Isothermes d’adsorption du Jaune de Supranol par les pépins de raisin activés chimiquement par le H₃PO₄

Les pépins de raisin chimiquement ont été utilisé pour éliminer le Jaune de Supranol à partir des solutions aqueuses, le matériau a été préparé par pyrolyse puis activée chimiquement par H₃PO₄.

Les modèles d’isothermes non linéaires de Langmuir et de Freundlich ont été appliqués pour ce processus d’adsorption, les équations ainsi que les différents paramètres des modèles ont étaient estimer comme montrer dans les tableaux et figures ci-dessous.

IV.2.3.3.1 Modèle d’isotherme non linéaire de Langmuir

Tableau IV.2.3.3.1 Modèle d’isotherme non linéaire de Langmuir

Modèle non linéaire de Langmuir	R ²	b	q _m	χ ²	RMSE	APE
Etude du q _e en fonction du C _{eq} q _e =28.049*C _e /(1+8.972E-02*C _e)	0.9821	0.089	312.6	53.37	14.043	10.757
	Std. Error	0.008	6.896			

IV.2.3.3.2 Modèle d’isotherme non linéaire de Freundlich

Tableau IV.2.3.3.2 Modèle d’isotherme non linéaire de Freundlich

Modèle non linéaire de Freundlich	R ²	K _F	n	χ ²	RMSE	APE
Etude du q _e en fonction du C _{eq} q _e =88.699*((C _e)^0.211)	0.8961	88.7	4.733	107.71	33.856	31.388
	Std. Error	10.93	0.5282			

La caractéristique essentielle du modèle d’isotherme de Langmuir que ce soit linéaire ou non linéaire est décrite par le paramètre d’équilibre qui est calculé et mis en histogramme comme indiquer dans la Fig IV.2.3.3.3 ce facteur est supérieur a 0 et inferieur a 1 cela signifie que le processus d’adsorption du Jaune de Supranol par les pépins de raisin activés chimiquement par le H₃PO₄ et modèle par est l’isotherme non linéaire de Langmuir est favorable.

La capacité maximale d’adsorption et le coefficient de détermination obtenus dans le modèle d’isotherme non linéaire de Langmuir sont très important et légèrement inférieurs a celle du modèle linéaire de Langmuir Type I elles sont égale à 312.6±6.896 mg/g et 0.9821

La fonction d’erreur l’APE est 10.757% une valeur qui est petite.

L’équation du modèle est :

$$q_e = 28.049 * C_e / (1 + 8.972E-02 * C_e)$$

On conclu que le modèle d’isotherme non linéaire de Langmuir est valide et favorable pour l’adsorption du Jaune de Supranol par les pépins de raisin activés chimiquement par le H₃PO₄.

Le modèle non linéaire de Freundlich a été étudié pour ces paramètres calculer. Le coefficient de détermination R^2 obtenu est 0.8961, la capacité d'adsorption K_F est égale à 88.7mg/g et l'intensité d'adsorption n sont supérieurs à celles du modèle linéaire de Freundlich et égale à 4.733 donc l'adsorption du Jaune de Supranol par les pépins de raisin activés chimiquement par le H_3PO_4 est favorable, l'équation du modèle est :

$$q_e = 88.699 * (C_e)^{0.211}$$

Les figures Fig IV.2.3.3.1 ; Fig IV.2.3.3.2 et Fig IV.2.3.3.3 représentent les modèles d'isothermes non linéaires de Langmuir ; de Freundlich et le facteur de séparation respectivement.

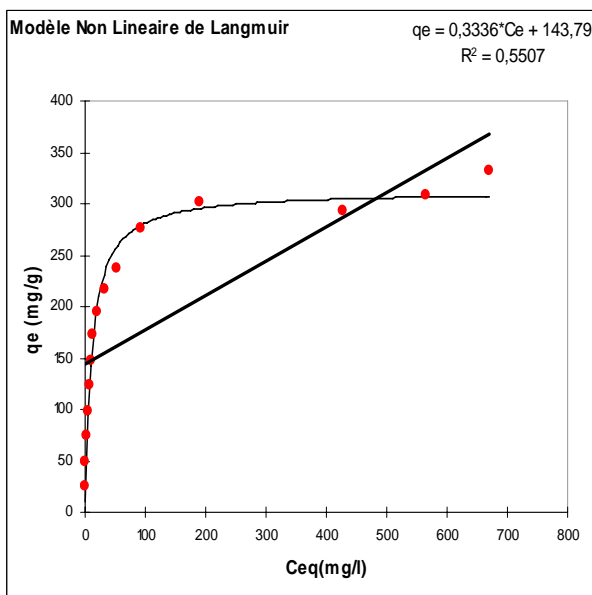


Fig IV.2.3.3.1

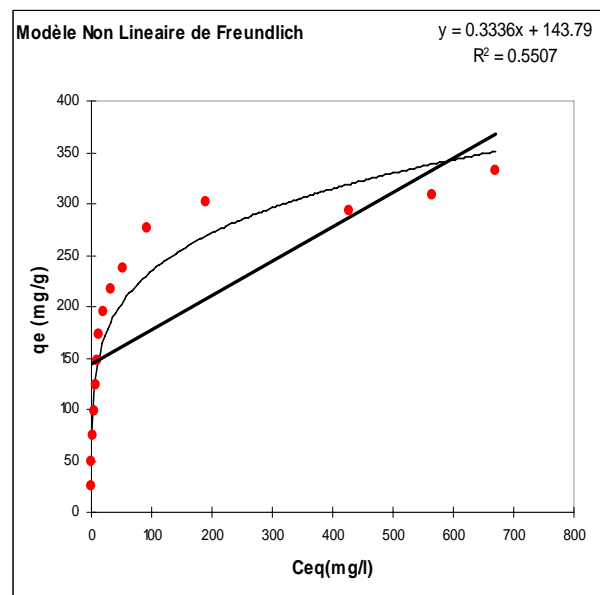


Fig IV.2.3.3.2

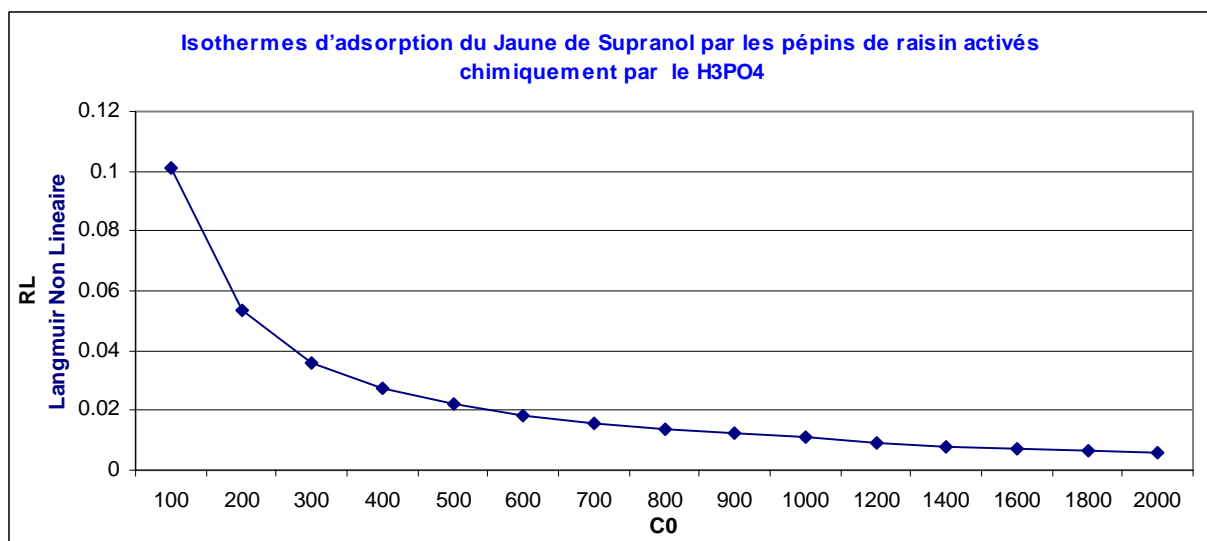


Fig IV.2.3.3.3 Facteur de Séparation

IV.2.3.4 Isothermes d'adsorption du Jaune de Supranol par les pépins de raisin activés chimiquement par le KOH

La détermination des modèles d'isothermes non linéaires de Langmuir et de Freundlich ont été appliqués pour l'étude de l'élimination du Jaune de Supranol par les pépins de raisin qui étaient pyrolyser et puis activés chimiquement par le KOH

IV.2.3.4.1 Modèle d'isotherme non linéaire de Langmuir

Tableau IV.2.3.4.1 Modèle d'isotherme non linéaire de Langmuir

Modèle non linéaire de Langmuir	R ²	b	q _m	χ ²	RMSE	APE
Etude du q _e en fonction du C _{eq} q _e =65.212*C _e /(1+0.164*C _e)	0.9389	0.164	397.3	69.448	34.589	14.559
	Std. Error	0.030	18.68			

IV.2.3.4.2 Modèle d'isotherme non linéaire de Freundlich

Tableau IV.2.3.4.2 Modèle d'isotherme non linéaire de Freundlich

Modèle non linéaire de Freundlich	R ²	K _F	n	χ ²	RMSE	APE
Etude du q _e en fonction du C _{eq} q _e =99.292*((C _e)^0.2929)	0.968	99.27	3.422	70.88	25.036	23.289
	Std. Error	7.694	0.2131			

La capacité maximale d'adsorption du modèle d'isotherme non linéaire de Langmuir est très importante elle est égale à 397.3 mg/g, le coefficient de détermination et l'énergie d'adsorption b sont égales respectivement a 0.9389 et 0.1641 l/mg.

La fonction d'erreur APE est inférieure à celle du modèle linéaire de Langmuir est égale à 14.559%.

Le facteur de séparation R_L est entre 0<R_L<1 indiquant que le processus d'adsorption du Jaune de Supranol par les pépins de raisin activés chimiquement par le KOH a différents concentration initiales est favorable selon la Fig IV.2.3.4.3

Donc on peut dire que ce modèle est valide et décrit lui aussi les données d'équilibres.

L'équation du modèle d'isotherme non linéaire de Langmuir est :

$$q_e = 65.212 * C_e / (1 + 0.164 * C_e)$$

D'après le modèle d'isotherme non linéaire de Freundlich on a trouvé que :
 Le coefficient de détermination qui est égale à 0.968 ; la constante de Freundlich K_F est de 99.27 mg/g ces paramètres sont supérieur a celle du modèle linéaire de Freundlich.
 La valeur de l'intensité d'adsorption n est supérieur est égale à 3.422 indiquant une capacité d'adsorption favorable. L'APE est égal à 23.289.
 Donc le modèle d'isotherme non linéaire de Freundlich est valide son équation est comme suit :
 $q_e = 99.292 * ((C_e)^{0.2929})$

Les figures Fig IV.2.3.4.1 ; Fig IV.2.3.4.2 et Fig IV.2.3.4.3 représentent les modèles d'isothermes non linéaires de Langmuir ; de Freundlich et le facteur de séparation respectivement.

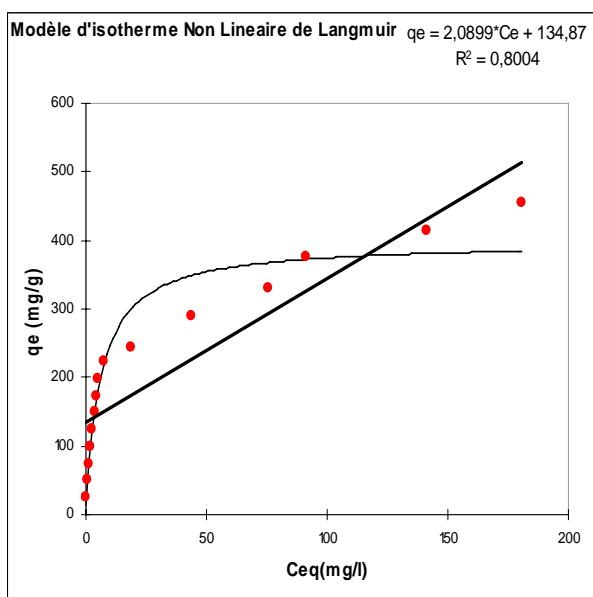


Fig IV.2.3.4.1

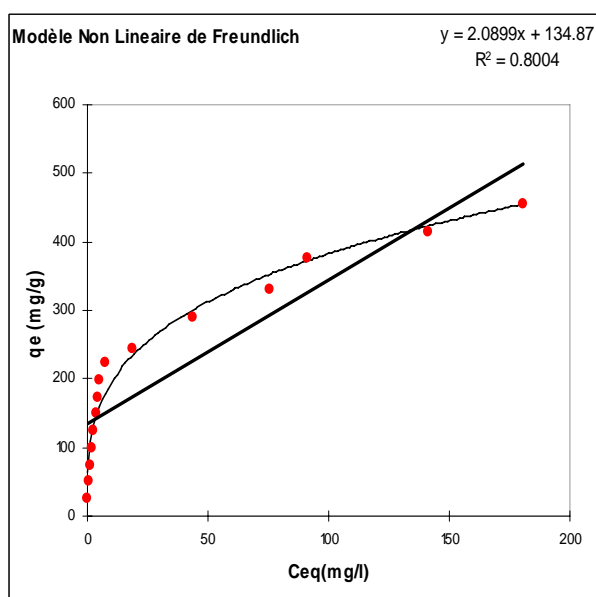


Fig IV.2.3.4.2

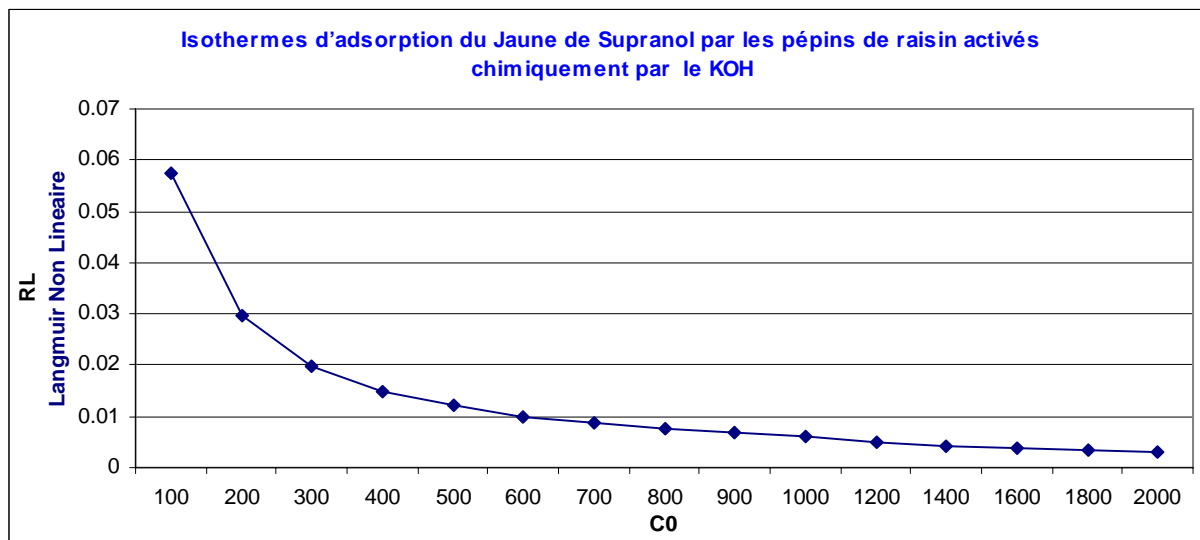


Fig IV.2.3.4.3 Facteur de Séparation

IV.2.3.5 Isothermes d’adsorption du Jaune de Supranol par les pépins de raisin activés physiquement

L’activation physique des pépins de raisin est étudiée pour suivre l’élimination Jaune de Supranol, cela via des modèles d’isothermes non linéaires de Langmuir et de Freundlich.

La validité de ces modèles est faite après estimations des différents paramètres et erreurs de fonction comme montrer dans les tableaux et figures ci-dessous.

IV.2.3.5.1 Modèle d’isotherme non linéaire de Langmuir

Tableau IV.2.3.5.1 Modèle d’isotherme non linéaire de Langmuir

Modèle non linéaire de Langmuir	R ²	b	q _m	χ ²	RMSE	APE
Etude du q _e en fonction du C _{eq} q _e =1.364*C _e /(1+1.655E-02*C _e)	0.8345	0.0165	82.41	17.979	10.131	17.335
	Std. Error	0.0064	8.263			

IV.2.3.5.2 Modèle d’isotherme non linéaire de Freundlich

Tableau IV.2.3.5.2 Modèle d’isotherme non linéaire de Freundlich

Modèle non linéaire de Freundlich	R ²	K _F	n	χ ²	RMSE	APE
Etude du q _e en fonction du C _{eq} q _e =7.567*((C _e)^0.384)	0.8786	7.567	2.6	16.769	8.678	18.7
	Std. Error	2.579	0.41			

Le paramètre d’équilibre est une caractéristique essentielle du modèle d’isotherme de Langmuir, pour que le processus d’adsorption du Jaune de Supranol par les pépins de raisin activés physiquement soit favorable il faut que la valeur de ce paramètre doive être comprise entre 0 et 1 et c’est notre cas comme montrer dans la figure Fig IV.2.3.5.3.

Après étude du modèle d’isotherme non linéaire de Langmuir on a obtenu un coefficient de détermination égale à 0.8345 et une capacité maximale d’adsorption q_m égale à 82.41mg/g quand à l’énergie d’adsorption du modèle elle a atteint une valeur de 0.0165±0.0064 l/mg

L’équation du modèle est :

$$q_e = 1.364 * C_e / (1 + 1.655E-02 * C_e)$$

L’APE du modèle d’isotherme non linéaire de Langmuir est inférieurs par rapport à celui du modèle linéaire Type-I bien aussi son coefficient de détermination et sa capacité maximale d’où le modèle Type-I est plus favorable.

Le modèle d'isotherme non linéaire de Freundlich est favorable car la valeur de l'intensité d'adsorption n est égale à 2.6 le coefficient de détermination est supérieur par rapport a celui du modèle d'isotherme linéaire de Freundlich il est de 0.8786, la constante de Freundlich correspondante a l'énergie d'adsorption K_F est égale à 7.567 mg/g.

Le modèle a comme équation la suivante :

$$q_e = 7.567 * ((C_e)^{0.384})$$

Les figures Fig IV.2.3.5.1 ; Fig IV.2.3.5.2 et Fig IV.2.3.5.3 représentent les modèles d'isothermes non linéaires de Langmuir ; de Freundlich et le facteur de séparation respectivement.

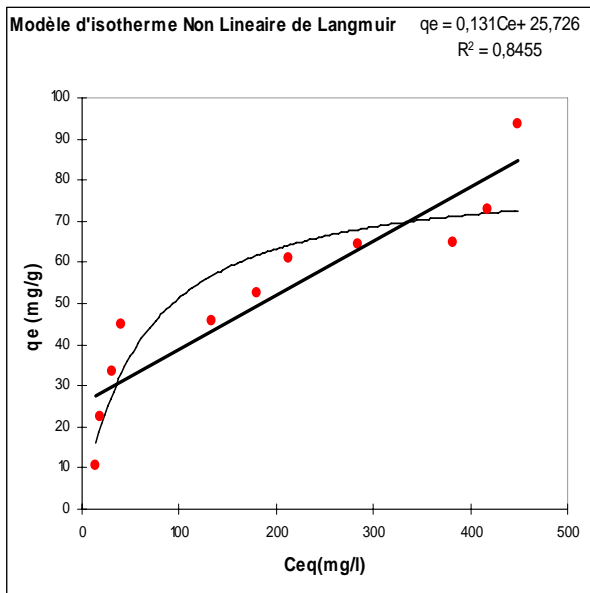


Fig IV.2.3.5.1

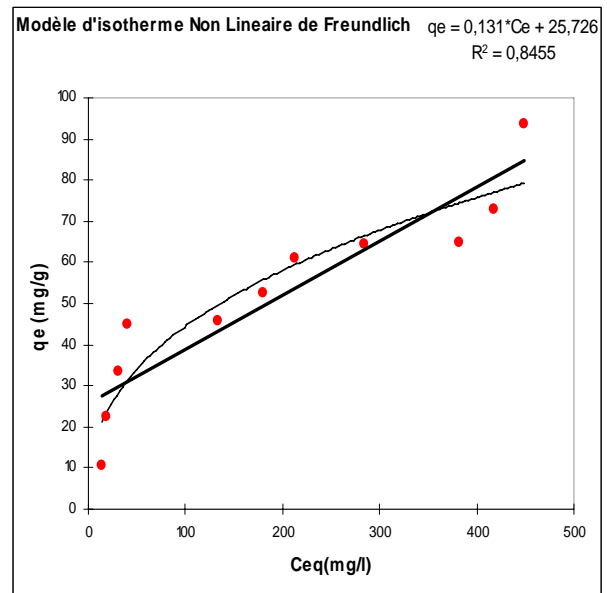


Fig IV.2.3.5.2

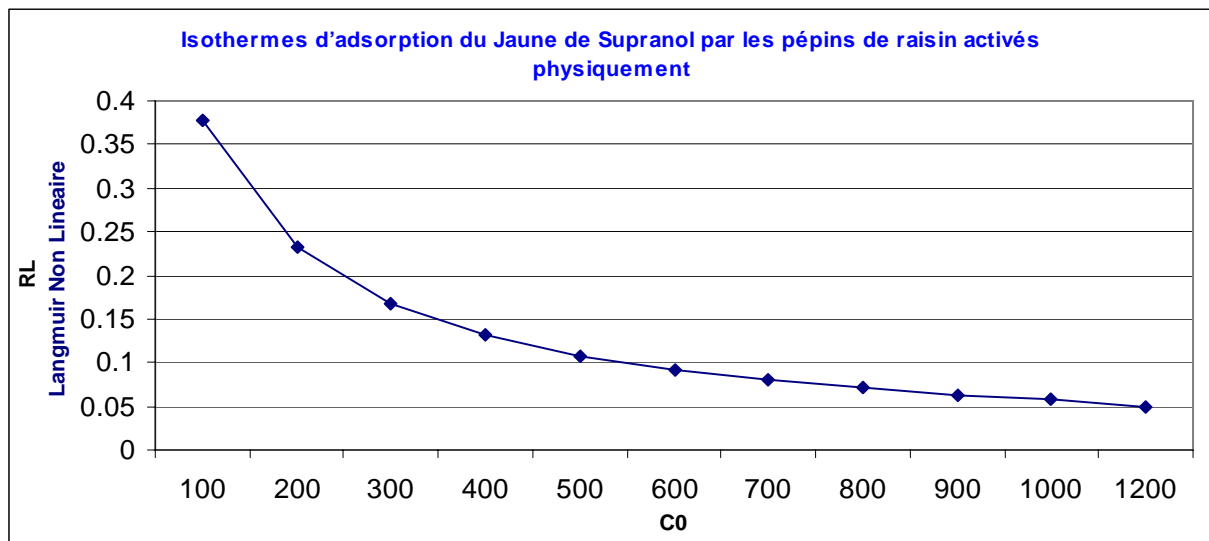


Fig IV.2.3.5.3 Facteur de Séparation

IV.2.3.6 Isothermes d'adsorption du Jaune de Supranol par les pépins de raisin activés par le charbon actif Aldrich

L'élimination du Jaune de Supranol dans ce cas est faite par l'activation des pépins de raisin par le Charbon actif d'Aldrich.

Les modèles d'isothermes NON linéaires de Langmuir et de Freundlich ont été appliqués pour la présente étude pour estimer les différents paramètres des modèles.

IV.2.3.6.1 Modèle d'isotherme non linéaire de Langmuir

Tableau IV.2.3.6.1 Modèle d'isotherme non linéaire de Langmuir

Modèle non linéaire de Langmuir	R ²	b	q _m	χ ²	RMSE	APE
Etude du q _e en fonction du C _{eq} q _e =6.911*C _e /(1+6.9719E-02*C _e)	0.9561	0.069	99.39	11.216	6.712	12.225
	Std. Error	0.011	3.986			

IV.2.3.6.2 Modèle d'isotherme non linéaire de Freundlich

Tableau IV.2.3.6.2 Modèle d'isotherme non linéaire de Freundlich

Modèle non linéaire de Freundlich	R ²	K _F	n	χ ²	RMSE	APE
Etude du q _e en fonction du C _{eq} q _e =23.21*((C _e)^0.2618)	0.9161	23.21	3.819	18.25	9.275	20.416
	Std. Error	3.679	0.472			

Le facteur d'équilibre comme montrer dans la Fig IV.2.3.6.3 est compris entre 0 < R_L < 1 indique que le processus d'adsorption du Jaune de Supranol par les pépins de raisin activés par le charbon actif Aldrich est favorable lorsqu'on a étudié comme modèle l'isotherme non linéaire de Langmuir. L'équation de ce dernier est comme suit :

$$q_e = 6.911 * C_e / (1 + 6.9719E-02 * C_e)$$

La régression à révéler un coefficient de détermination important égal a 0.9561, les fonctions d'erreurs tels que le Chi-square ; le RMSE et l'APE sont égales a 11.216 ; 6.712 et 12.225% respectivement des valeurs qui sont minimales.

L'énergie d'adsorption trouvée est de 0.069 ± 0.011 l/mg et la capacité d'adsorption est bonne elle est égale à 99.39 ± 3.986 mg/g

Donc le modèle d'isotherme non linéaire de Langmuir est valide et décrit l'expérience d'adsorption du Jaune de Supranol par les pépins de raisin activés par le charbon actif Aldrich.

A noter que les paramètres du modèle d'isotherme Linéaire de Langmuir Type- I à savoir le coefficient de détermination R² & capacité maximale d'adsorption q_m sont plus supérieur a celui du modèle non linéaire d'où le Type- I est plus favorable.

Le modèle d'isotherme non linéaire de Freundlich possède un coefficient de détermination significative égale à 0.9161 et une énergie d'adsorption K_F égale à 23.21 mg/g, l'intensité de l'adsorption n existe dans le domaine de favorabilité de l'isotherme elle est égale à 3.819 ± 0.472 . Les fonctions d'erreurs sont relativement faibles tous cela nous confirme la validité du modèle et la possibilité d'adsorption du Jaune de Supranol par les pépins de raisin activés par le charbon actif Aldrich. L'équation du modèle est : $q_e = 23.21 * ((C_e)^{0.2618})$

Les paramètres du modèle d'isotherme non linéaire de Freundlich tels que le R^2 & K_F & n sont importants d'où il décrit mieux les données d'équilibre par rapport à celui du modèle linéaire de Freundlich.

Les figures Fig IV.2.3.6.1 ; Fig IV.2.3.6.2 et Fig IV.2.3.6.3 représentent les modèles d'isothermes non linéaires de Langmuir ; de Freundlich et le facteur de séparation respectivement.

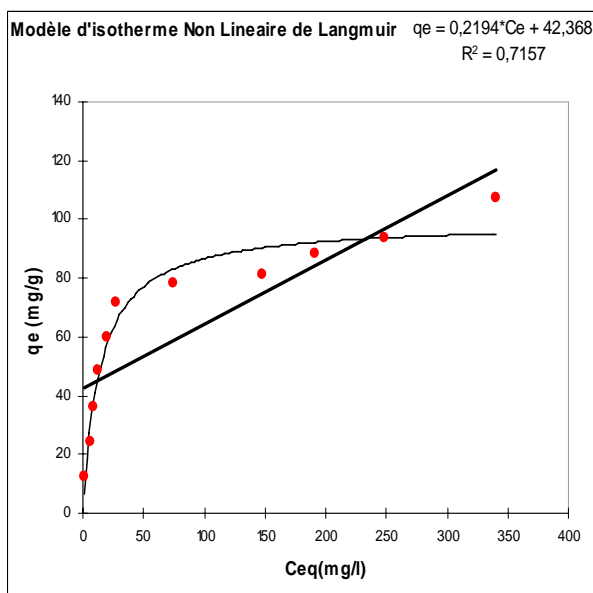


Fig IV.2.3.6.1

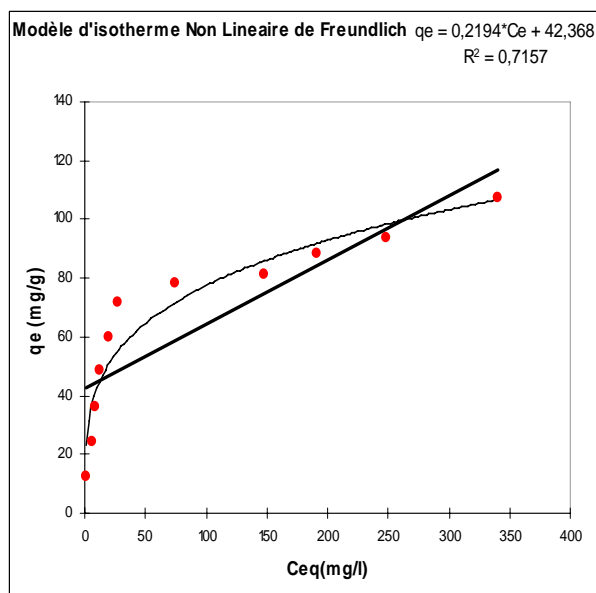


Fig IV.2.3.6.2

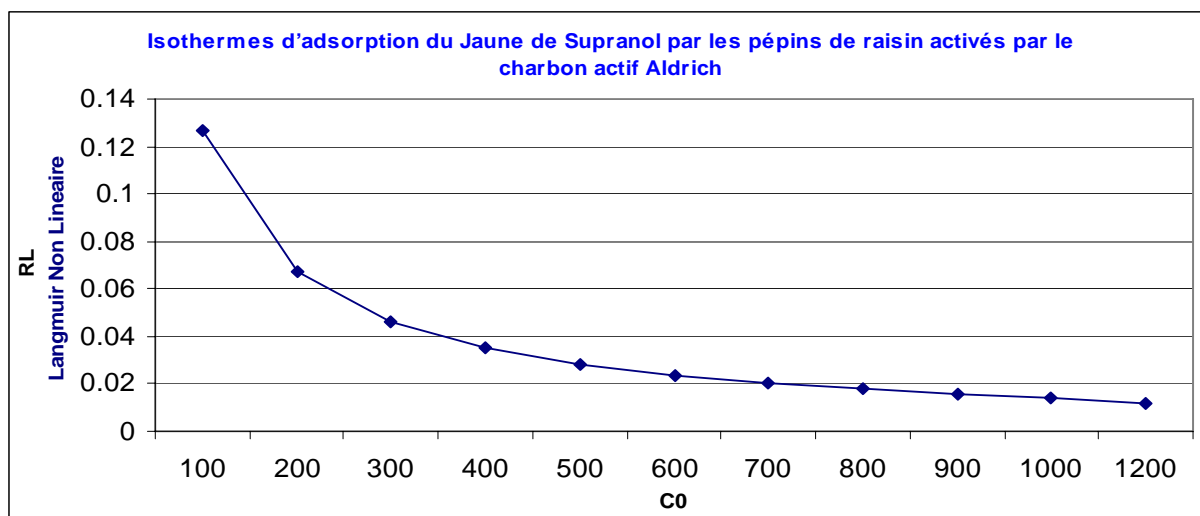


Fig IV.2.3.6.3 Facteur de Séparation

CHAPITRE IV

PARTIE 3

IV.3 COMPARAISON DES MODELES LINEAIRES

ET NON LINEAIRES

IV.3.1 ADSORPTION DU VERT DE MALACHITE

IV.3.1.1 Comparaison des modèles d'isothermes linéaires de Langmuir les plus favoris pour l'adsorption du Vert de Malachite :

-En faisant une comparaison sur les modèles les plus favoris on remarque que les modèles d'isothermes linéaires de Langmuir sont tous du Type I. les coefficients de déterminations d'adsorption du Vert de Malachite par la Sciure du Bois traitée en H_3PO_4 et ou traitée en KOH et ou activée par le $(NH_4)_2S_2O_8$ et aussi l'isotherme d'adsorption du Vert de Malachite par le Charbon actif de Merck sont tous proches à l'unité.

-la capacité maximale d'adsorption du Vert de Malachite par la Sciure du Bois traitée en H_3PO_4 est la plus importante elle est de 588.23 mg/g suivie par la Sciure du Bois activée par le KOH qui présente une valeur de 454.54 mg/g et la Sciure du Bois traitée par le $(NH_4)_2S_2O_8$ que sa valeur est égale à 270.27 mg/g et concernant la capacité maximale d'adsorption du Vert de Malachite par le Charbon actif de Merck elle se classe en dernier et possède une valeur de 200 mg/g.

-l'énergie d'adsorption du Vert de Malachite par la Sciure du Bois activée par le H_3PO_4 est la plus importante elle est de 0.447 l/mg suivie par celle de la Sciure du Bois activée par le KOH qui est de 0.305 l/mg et puis de l'adsorption du Vert de Malachite par le Charbon actif de Merck qui est de 0.297 l/mg.

L'énergie d'adsorption du Vert de Malachite par la Sciure du Bois traitée par le $(NH_4)_2S_2O_8$ est très faible et égale à 0.01 l/mg

IV.3.1.2 Comparaison des modèles d'isothermes non linéaires de Langmuir pour l'adsorption du Vert de Malachite :

-Le coefficient de détermination du modèle d'isotherme non linéaire de Langmuir qui est trouver pour l'adsorption du vert de Malachite par la Sciure du Bois activée par le KOH il est de 0.964 suivi par l'adsorption du Vert de Malachite par le Charbon Actif de Merck d'une valeur de 0.937 et puis par l'adsorption du Vert de Malachite par la Sciure du Bois traitée par le $(NH_4)_2S_2O_8$ qui est de 0.867 par contre le coefficient de détermination du modèle d'isotherme non linéaire de

Langmuir qui est appliqué pour l'adsorption du Vert de Malachite par la Sciure du Bois activée par le H_3PO_4 est le plus faible car il est égale à 0.506.

-la capacité maximale d'adsorption du Vert de Malachite par la Sciure du Bois activée par le H_3PO_4 est la plus importante elle est de 515.2 mg/g suivie par celle d'adsorption du Vert de Malachite par Sciure du Bois activée par le KOH qui est de 435.9 mg/g et d'adsorption du Vert de Malachite par la Sciure du Bois traitée par le $(NH_4)_2S_2O_8$ tandis que la capacité maximale d'adsorption du Vert de Malachite par le Charbon Actif de Merck est la moins importante elle est de 196.6 mg/g

-les énergies d'adsorption du Vert de Malachite sont classées selon l'ordre décroissant comme suit : Celle de la Sciure du Bois activée par le H_3PO_4 puis activée par le KOH puis le Charbon actif de Merck et celle traitée par le $(NH_4)_2S_2O_8$ elle est très faible est égale à 0.008 l/mg.

IV.3.1.3 Comparaison des modèles d'isothermes linéaires de Freundlich les plus favoris pour l'adsorption du Vert de Malachite :

-A l'exception de l'adsorption du Vert de Malachite par le Charbon Actif de Merck. tous les autres expériences présentes des coefficients de détermination significatives ce coefficient est égale à 0.984 pour le cas d'une adsorption par la Sciure du Bois activée par le H_3PO_4 suivie par l'activation par le $(NH_4)_2S_2O_8$ et la Sciure de bois traitée par le KOH présentant des valeurs 0.969 et 0.875 respectivement.

-les d'intensités d'adsorption du Vert de Malachite existent dans un intervalle de [3-12] signifiant que les modèles sont favorables.

- l'énergie d'adsorption la plus importante est celle de l'adsorption du Vert de Malachite par la Sciure du Bois activée par le H_3PO_4 elle est de 388.47 mg/g suivie par la Sciure du Bois traitée par le KOH d'une valeur de 148.92 mg/g puis l'adsorption du Vert de Malachite par le Charbon Actif de Merck qui est égale à 121.7 mg/g et de l'adsorption du Vert de Malachite par la Sciure du Bois activée par le $(NH_4)_2S_2O_8$ d'une valeur de 40.261 mg/g.

IV.3.1.4 Comparaison des modèles d'isothermes non linéaires de Freundlich pour l'adsorption du Vert de Malachite :

-Les coefficients de détermination des modèles d'isothermes non linéaires de Freundlich pour l'adsorption du Vert de Malachite sont très proches à ceux trouvé dans le modèle linéaire et l'ordre reste inchangeable.

-les d'intensités d'adsorption du Vert de Malachite existent dans un intervalle de [3-14] signifiant que les modèles sont favorables.

-une augmentation de l'énergie d'adsorption du modèle non linéaire par rapport au modèle linéaire est notée pour le cas où l'adsorption est faite par la Sciure du Bois traitée par le KOH et l'adsorption par le Charbon Actif de Merck elle est de 176 et 128.4 mg/g respectivement par contre une diminution est marquée pour le cas où l'adsorption est faite par la Sciure du Bois traitée par le H_3PO_4 et par le $(NH_4)_2S_2O_8$.

IV.3.1.5 Conclusion

-Les Modèles des isothermes d'adsorption ont été réalisées avec différentes concentrations initiales. les constantes caractérisant chacun des systèmes ont été déterminées et données. les tableaux ci-dessous récapitulent les meilleurs modèles d'isothermes linéaires et non linéaires de Langmuir et de Freundlich obtenus pour l'adsorption du Vert de Malachite. les meilleurs modèles ont été sélectionnés.

-Les deux modèles d'isothermes linéaires et non linéaires de Langmuir sont valides et décrivent bien les données d'équilibres d'élimination du Vert de Malachite par la Sciure du Bois activée et aussi par le Charbon Actif d'Aldrich. la moyenne des coefficients de déterminations des modèles d'isothermes linéaires de Langmuir est presque égale à l'unité il est de 0.99175 et celle de la capacité maximale et l'énergie d'adsorption sont de 378.26 mg/g et 0.264 l/mg respectivement. d'où les modèles d'isothermes linéaires de Langmuir Type I sont très valides pour cette étude par rapport aux modèles non linéaires de Langmuir.

-La moyenne des énergies d'adsorption du Vert de Malachite dans les modèles d'isothermes non linéaires de Freundlich est de 181.2 mg/g une valeur qui est supérieure à celle des modèles d'isothermes linéaires de Freundlich. la moyenne des coefficients de déterminations et des intensités d'adsorption sont de mêmes. les deux modèles sont favorables mais les modèles non linéaires de Freundlich donnent de très bons résultats par rapport aux modèles linéaires de Freundlich ce qui implique qu'ils sont valides.

Pour le modèle d'isotherme linéaire de Langmuir : la meilleure corrélation des résultats expérimentaux est obtenue pour l'adsorption du V/M par la S.B traitée en H_3PO_4 l'isotherme d'adsorption montre que la quantité adsorbée est largement supérieure aux autres isothermes avec un coefficient de détermination le plus important le modèle est du Type I.

Cela n'exclut pas les autres modèles qui sont aussi favorables d'après des coefficients de détermination ; des capacités maximales et d'intensités importantes. tous les modèles linéaires de Langmuir sont du Type I.

Pour le modèle linéaire de Freundlich : la capacité d'adsorption la plus importante obtenue est pour l'adsorption du V/M par la S.B traitée en H_3PO_4 elle est de 388.47 mg/g. la valeur du n indique une capacité d'adsorption très favorable le coefficient de détermination obtenu est de 0.984.

Le modèle d'isotherme non linéaire de Langmuir pour l'adsorption du Vert de Malachite par la Sciure du Bois traitée en KOH est le plus favorable son coefficient de détermination est plus élevé et sa capacité d'adsorption est de 435.9 mg/g.

Le modèle d'isotherme non linéaire de Freundlich pour l'adsorption du Vert de Malachite par la Sciure du Bois traitée en H₃PO₄ présente une capacité d'adsorption et un coefficient de détermination les plus importants.

La sciure du bois traitée en H₃PO₄ adsorbe bien le Vert du Malachite dans le cas du modèle d'isotherme linéaire de Langmuir et du modèle d'isotherme linéaire et non linéaire de Freundlich..La Sciure du Bois traitée en KOH adsorbe bien le Vert du Malachite dans le cas du modèle d'isotherme non linéaire de Langmuir.

Donc on peut conclure pour l'étude d'isothermes d'adsorption du Vert de malachite par la Sciure du Bois activée et par le Charbon Actif de Merck. que l'ordre décroissant de validité des modèles est comme suit :

Modèles Linéaires de Langmuir > Modèles Non Linéaires de Freundlich > Modèle Linéaire de Freundlich > Modèle Non Linéaire de Langmuir.

Tableau IV.3.1.1

Synthèse des résultats des modèles d'isothermes linéaires et non lineaires de Langmuir

Adsorption du Vert de Malachite	Modèle Linéaire de Langmuir				Modèle Non Linéaire de Langmuir		
	R ²	b	q _m	Type	R ²	b	q _m
VM/SB+H ₃ PO ₄	0.998	0.447	588.23	I	0.506	6.962	515.2
VM/SB+KOH	0.997	0.305	454.54	I	0.964	0.374	435.9
VM/ SB+(NH ₄) ₂ S ₂ O ₈	0.976	0.01	270.27	I	0.867	0.008	276
VM/Charbon actif de Merck	0.996	0.297	200	I	0.937	1.812	196.6
Moyenne	0.99175	0.264	378.26	I	0.818	2.289	355.92

Tableau IV.3.1.2

Synthèse des résultats des modèles d'isothermes linéaires et non lineaires de Freundlich

Adsorption du Vert de Malachite	Modèle Linéaire de Freundlich			Modèle Non Linéaire de Freundlich		
	R ²	n	K _F	R ²	K _F	n
VM/SB+H ₃ PO ₄	0.984	11.78	388.47	0.987	385.6	11.42
VM/SB+KOH	0.875	3.503	148.92	0.8946	176	4.389
VM/ SB+(NH ₄) ₂ S ₂ O ₈	0.969	3.752	40.261	0.963	34.8	3.415
VM/Charbon actif de Merck	0.767	12.025	121.7	0.7659	128.4	14.16
Moyenne	0.898	7.765	174.83	0.902	181.2	8.346

Tableau IV.3.1.3 Calcul des quantités de substance adsorbée q_e pour les Isothermes d'adsorptions du Vert de Malachite par la Sciure du Bois traitée en H_3PO_4

C_{eq}	" q_e " Expérimentale	" q_e " Freundlich		" q_e " Langmuir				
		Non linéaire	linéaire	I	II	III	IV	Non Linéaire
1.4	399.82	397.13	399.7	226.27	471.89	476.62	461.25	467.26
4.15	424.48	436.77	438.33	380.73	490.83	497.47	506.25	497.96
7.82	449.02	461.69	462.55	454.93	495.58	502.72	518.33	505.9
9.32	473.83	468.83	469.49	471.66	496.45	503.69	520.59	507.38
15.14	485.6	489.18	489.23	509.18	498.21	505.64	525.18	510.35
20.87	497.39	503.13	502.75	527.64	498.99	506.51	527.22	511.67
23.85	509.52	509.04	508.48	534.03	499.25	506.79	527.9	512.11
30.27	521.21	519.78	518.87	543.81	499.63	507.22	528.91	512.76
41.97	532.25	534.87	533.47	554.33	500.03	507.66	529.96	513.44
53.67	543.29	546.51	544.72	560.44	500.25	507.91	530.56	513.82
65.36	554.33	556.02	553.91	564.43	500.4	508.07	530.94	514.07
77.52	565.31	564.39	561.99	567.34	500.5	508.18	531.22	514.24
88.3	576.46	570.86	568.24	569.27	500.57	508.26	531.4	514.36
96.33	587.96	575.23	572.46	570.43	500.61	508.3	531.51	514.43
0.17	349.98	330.18	334.19	41.67	332.04	326.98	234.07	279.25
0.88	374.89	381.3	384.25	166.16	456.2	459.45	427.37	442.9

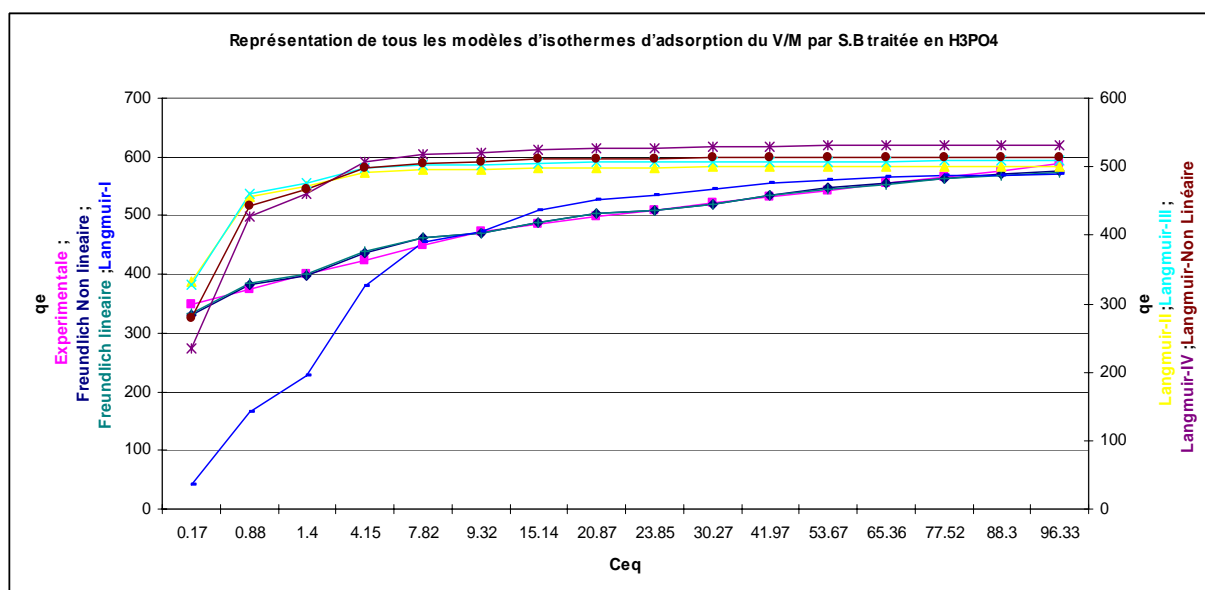


Fig IV.3.1.1 Représentation de tous les modèles d'isothermes d'adsorption du V/M par S.B traitée en H_3PO_4

Tableau IV.3.1.4 Calcul des quantités de substance adsorbée q_e pour les Isothermes d'adsorptions du Vert de Malachite par la Sciure du Bois traitée en KOH

$C_{\text{éq}}$	" q_e " Expérimentale	" q_e " Freundlich		" q_e " Langmuir				
		Non linéaire	linéaire	I	II	III	IV	Non Linéaire
1.63	124.79	196.72	171.09	150.42	188.4	186.41	175.07	165.25
1.59	174.8	195.61	169.88	147.95	186.05	183.89	172.49	162.71
4.12	236.98	243	222.98	251.46	270.29	277.75	273.06	264.51
2.59	249.67	218.61	195.29	199.61	231.4	233.5	224.47	214.65
5.91	311.76	263.82	247.19	290.09	295.79	307.63	307.15	300.26
9.63	348.79	294.86	284.18	335.99	322.86	340.18	345.49	341.29
15.36	360.58	327.96	324.73	370.75	341.39	362.93	373.1	371.35
20.41	372.45	349.9	352.2	387.42	349.73	373.32	385.92	385.48
25.46	384.31	367.98	375.16	398.22	354.96	379.87	394.09	394.53
42.66	394.66	413.9	434.76	417.17	363.83	391.07	408.18	410.22
48.39	418.95	425.96	450.7	420.68	365.43	393.1	410.75	413.11
63.76	429.53	453.59	487.65	427.13	368.34	396.8	415.45	418.38
70.64	441.17	464.3	502.14	429.15	369.24	397.94	416.91	420.02
0.52	99.93	151.63	123.45	62.18	91.004	86.241	77.208	71.06

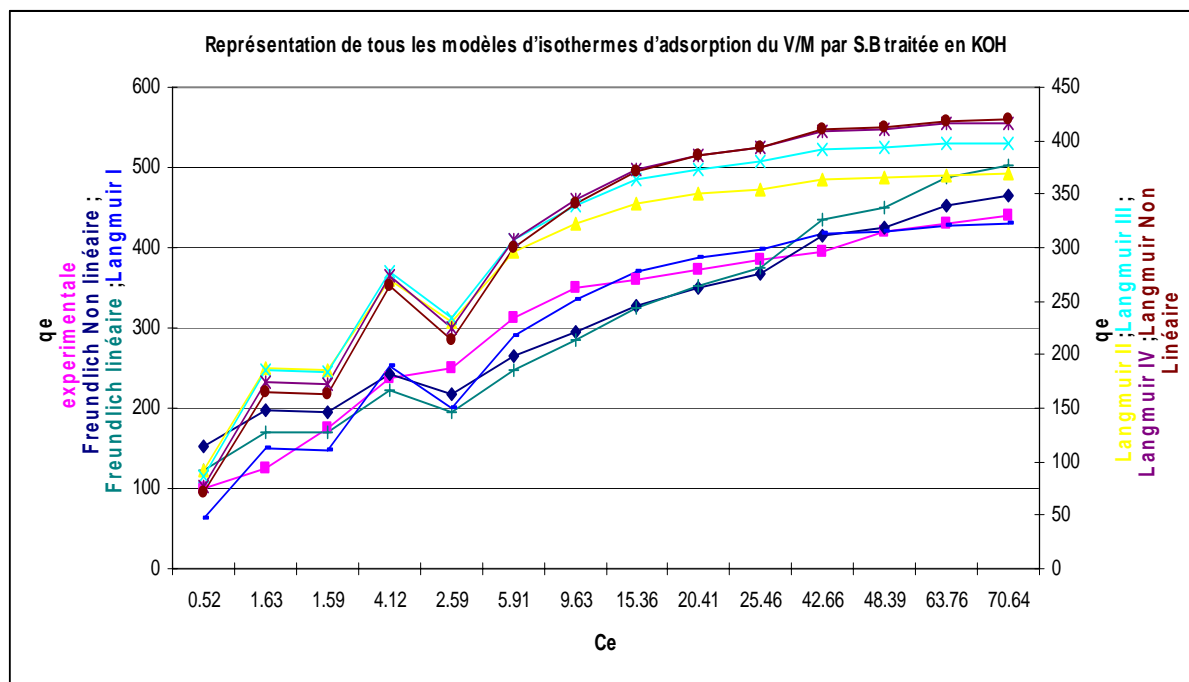


Fig IV.3.1.2 Représentation de tous les modèles d'isothermes d'adsorption du V/M par S.B traitée en KOH

Tableau IV.3.1.5 Calcul des quantités de substance adsorbée q_e pour les Isothermes d'adsorptions du Vert de Malachite par la Sciure du Bois traitée en $(NH_4)_2S_2O_8$

$C_{e,q}$	"q _e " Expérimentale	"q _e " Freundlich		"q _e " Langmuir				
		Non linéaire	linéaire	I	II	III	IV	Non Linéaire
1.72	49.78	40.78	46.5	4.8	47.09	43.43	25.53	3.79
7.76	74.03	63.4	69.48	20.4	107.84	108.95	81.19	16.32
47.59	94.05	107.84	112.68	90	155.7	170.12	168.92	76.79
108.94	136.38	137.44	140.51	143.85	163.67	181.28	191.64	129.37
176.6	140.42	158.32	159.83	174.96	166.19	184.89	199.62	162.44
172.01	153.49	157.11	158.71	173.35	166.08	184.73	199.27	160.67
258.03	167.74	176.92	176.83	196.56	167.51	186.78	203.94	186.68
280.96	189.88	181.38	180.88	200.95	167.74	187.12	204.72	191.74
433.94	195.75	206	203.11	220.49	168.68	188.47	207.89	214.86
384.17	226.98	198.78	196.62	215.5	168.46	188.15	207.13	208.87
567.66	229.04	222.86	218.18	230.17	169.09	189.06	209.29	226.69
642.2	244.72	231.06	225.48	234.04	169.25	189.29	209.82	231.49
837.15	245.35	249.71	241.99	241.23	169.52	189.68	210.77	240.52
986.24	251.72	261.99	252.79	244.98	169.66	189.88	211.25	245.29

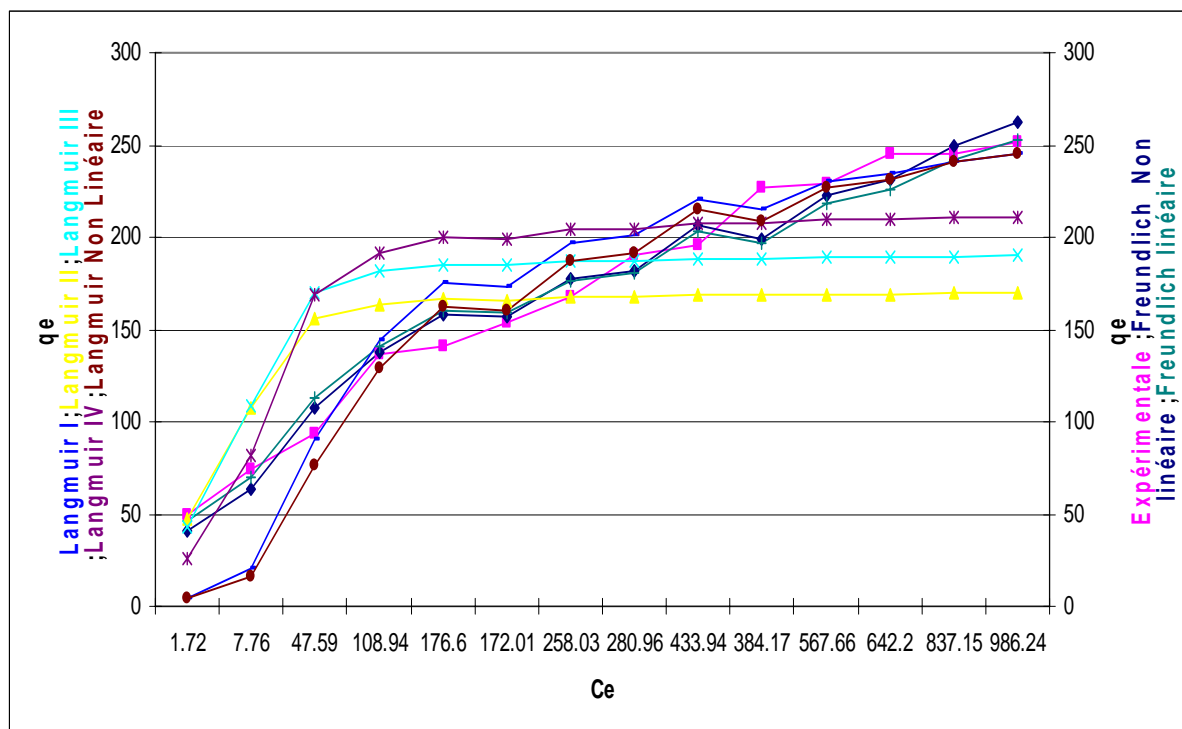


Fig IV.3.1.3 Représentation de tous les modèles d'isothermes d'adsorption du V/M par S.B traitée en $(NH_4)_2S_2O_8$

Tableau IV.3.1.6 Calcul des quantités de substance adsorbée q_e pour les Isothermes d'adsorptions du Vert de Malachite par le Charbon actif de Merck

$C_{\text{éq}}$	"q _e " Expérimentale	"q _e " Freundlich		"q _e " Langmuir				
		Non linéaire	linéaire	I	II	III	IV	Non Linéaire
0.29	87.46	117.652	109.74	15.925	82.78	79.5	74.22	67.72
0.95	112.38	127.93	121.13	44.208	134.11	133.45	130.27	124.35
1.36	137.33	131.21	124.8	57.807	146.11	146.62	144.75	139.85
3.83	162.02	141.17	136.03	106.99	168.66	172.01	173.58	171.83
24.54	196.93	160.96	158.77	176.93	181.7	187.05	191.29	192.27
412.38	198.45	196.45	200.79	199.63	184.17	189.94	194.74	196.33
894.49	188.19	207.49	214.15	200.5	184.26	190.04	194.86	196.47
1124	209.5	210.86	218.26	200.66	184.27	190.06	194.88	196.5

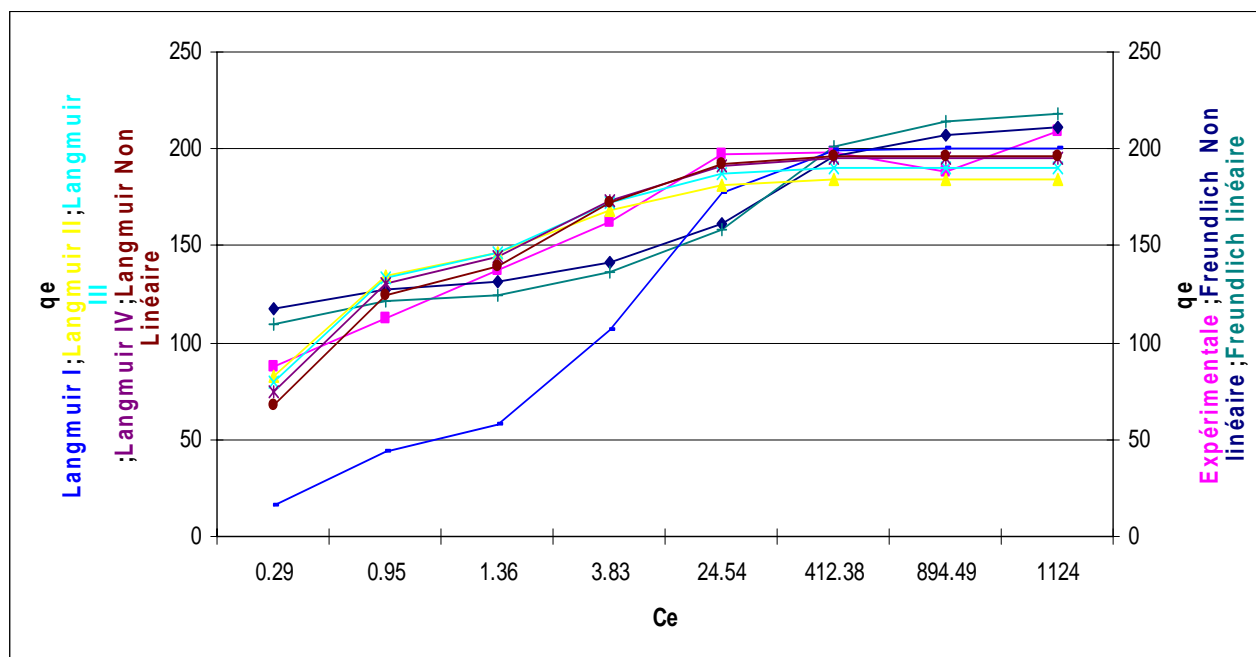


Fig IV.3.1.4 Représentation de tous les modèles d'isothermes d'adsorption du V/M par le Charbon actif de Merck

IV.3.2 ADSORPTION DU ROUGE DE NYLOSANE

IV.3.2.1 Comparaison des modèles d'isothermes linéaires de Langmuir les plus favoris pour l'adsorption du Rouge de Nylosane :

-à l'exception de l'adsorption du Rouge de Nylosane par les pépins de raisins activés par le CaCl_2 , tous les coefficients de déterminations sont très importants et convergent vers l'unité. On remarque que les modèles Type I et II sont les plus favoris pour les modèles d'isothermes linéaires de Langmuir pour d'adsorption du Rouge de Nylosane

-les capacités maximales d'adsorption sont très élevées et celle d'élimination du Rouge de Nylosane par les pépins de raisins activées par le H_3PO_4 est énorme elle est de 11111.1 mg/g.

-le domaine de variation de l'énergie d'adsorption est entre [0.0002-0.04] l/mg la plus élevée et celle de l'adsorption du Rouge de Nylosane par les pépins de raisins activées par le KOH qui présente aussi un coefficient de détermination le plus élevé qui est de 0.993.

IV.3.2.2 Comparaison des modèles d'isothermes non linéaires de Langmuir pour l'adsorption du Rouge de Nylosane :

-le modèle d'isotherme non linéaire de Langmuir pour l'élimination du Rouge de Nylosane par les pépins de raisins activés par le CaCl_2 possède un coefficient de détermination très faible égale à 0.03 ; les autres cas d'adsorption leurs coefficients sont importants et celui des pépins de raisins activés par le KOH est de 0.958

-l'énergie d'adsorption du Rouge de Nylosane par les pépins de raisins activés par le CaCl_2 est négatif cela peut être expliqué par un processus d'adsorption très faible. les autres cas possède des coefficients de Langmuir variant entre 0.007 et 0.03 l/mg.

-la capacité maximale d'adsorption du Rouge de Nylosane par les pépins de raisins activés par le H_3PO_4 a atteint 470.6 mg/g et celle des autres cas d'adsorption est acceptable a l'exception de des pépins de raisins activés par le CaCl_2 qui est très faible est égale à 7.025 mg/g

IV.3.2.3 Comparaison des modèles d'isothermes linéaires de Freundlich les plus favoris pour l'adsorption du Rouge de Nylosane :

-les coefficients de détermination qui sont égales ou supérieur à 0.9 sont ceux obtenus lors d'élimination du Rouge de Nylosane par les pépins de raisins activés par le KOH ou traitée par le CaCl_2 ou activée physiquement.

-les modèles d'isothermes qui sont favorables sont comme suit :

Isotherme d'élimination du Rouge de Nylosane par les pépins de raisins à l'état naturel

Isotherme d'élimination du Rouge de Nylosane par les pépins de raisins activés par le KOH

Isotherme d'élimination du Rouge de Nylosane par les pépins de raisins qui ont subies une activation mixte.

Isotherme d'élimination du Rouge de Nylosane par le Charbon Actif d'Aldrich

Les modèles modérés sont :

Isotherme d'élimination du Rouge de Nylosane par les pépins de raisins activés par CaCl_2

Isotherme d'élimination du Rouge de Nylosane par les pépins de raisins activés par H_3PO_4

Isotherme d'élimination du Rouge de Nylosane par les pépins de raisins activés physiquement.

-l'énergie d'adsorption la plus faible est celle obtenue dans l'isotherme d'élimination du Rouge de Nylosane par les pépins de raisins activés par le CaCl_2 et les pépins de raisins activés physiquement elle est égale à 1.57 et 5.78 mg/g respectivement pour les autres cas elle est acceptable.

IV.3.2.4 Comparaison des modèles d'isothermes non linéaires de Freundlich pour l'adsorption du Rouge de Nylosane :

-les coefficients de déterminations sont acceptables et le plus important qui tend vers l'unité est celui de l'isotherme d'élimination du Rouge de Nylosane par les pépins de raisins activés par le KOH.

-La valeur du ' n ' pour le modèle d'isotherme appliquer pour l'adsorption du Rouge de Nylosane par les pépins de raisins activés par le CaCl_2 est moins de 1 cela indique que la capacité d'adsorption est faible l'énergie d'adsorption est aussi faible. le seul modèle qui est modéré est celui de l'élimination du Rouge de Nylosane par les pépins de raisins activés physiquement son énergie d'adsorption est égale à 7.326 mg/g . les autres modèles sont favorables et leurs énergies d'adsorptions sont bonnes.

IV.3.2.5 Conclusion:

Les isothermes d'adsorption ont été réalisées avec différentes concentrations initiales. Les constantes caractérisant chacun des systèmes ont été déterminées et données. Les tableaux ci-dessous récapitulent les meilleurs modèles obtenus pour l'adsorption du Rouge de Nylosane par les pépins de raisins activés avec différents produits. La sélection des meilleurs modèles linéaires et non linéaires pour chaque cas a été établie et l'adsorbant le plus performant était déterminé.

-la moyenne des capacités maximales des isothermes linéaires de Langmuir pour l'adsorption du Rouge de Nylosane par les pépins de raisins activés et par le Charbon Actif est très importante elle est égale à 1860.334 mg/g et celle des coefficients de déterminations est 0.955 ces deux paramètres sont plus grand par rapport aux modèles non linéaires qui sont de 268.875 mg/g et 0.785 respectivement. Cela dit que les modèles des isothermes linéaires de Langmuir sont très favorables vis-à-vis des modèles non linéaires.

-la moyenne des intensités d'adsorption des modèles d'isothermes linéaires de Freundlich est de 1.936 cela implique qu'ils sont modérés par contre l'adsorption régie par les modèles d'isothermes non linéaires de Freundlich est bonne bien aussi la moyenne des coefficients de déterminations et des énergies d'adsorptions sont supérieurs par rapport aux modèles linéaires de Freundlich

Pour le modèle d'isotherme linéaire de Langmuir, la meilleure corrélation des résultats expérimentaux est obtenue pour l'adsorption du Rouge de Nylosane par les pépins de raisins activés chimiquement par le KOH. l'isotherme d'adsorption montre que la quantité adsorbée est importante qui est de 333.333 mg/g. il présente un coefficient de détermination égale à 0.9938 qui est le plus important et le modèle est du Type II.

Pour le modèle d'isotherme linéaire de Freundlich, l'énergie d'adsorption la plus importante obtenue correspond à l'adsorption du Rouge de Nylosane par les pépins de raisins activés chimiquement par le KOH également elle est égale à 28.146 mg/g. de même le coefficient de détermination qui est de 0.943 est le plus important et la valeur du 'n' indique une bonne capacité d'adsorption.

On n'a pas opté au modèle d'isotherme linéaire de Freundlich pour l'adsorption du Rouge de Nylosane par les pépins de raisins activés chimiquement par le CaCl_2 parce qu'il présente une capacité d'adsorption modérée et l'énergie d'adsorption est très faible malgré que son coefficient de détermination est le plus important.

Comme dans le cas du modelé d'isotherme linéaire de Langmuir. l'isotherme non linéaire de Langmuir pour l'adsorption du Rouge de Nylosane par les pépins de raisins activés chimiquement par le KOH présente lui aussi un coefficient de détermination le plus important égale à 0.9585 et une capacité maximale d'adsorption et une constante égale à 410.4 mg/g et 0.02034 respectivement.

Même remarque pour le modèle de Freundlich. l'isotherme d'adsorption du Rouge de Nylosane par les pépins de raisins activés chimiquement par le KOH est favorable et dominant dans le cas linéaire et non linéaire avec un coefficient de détermination égale à 0.9787 et une intensité d'adsorption de 2.65 et une énergie d'adsorption égale à 42.57 mg/g

Le modèle d'isotherme non linéaire de Langmuir pour l'adsorption du Rouge de Nylosane par les pépins de raisins activés chimiquement par le CaCl_2 présente une très faible capacité maximale d'adsorption et aussi un coefficient de détermination presque négligeable et une constante négative. par contre dans le cas du modèle d'isotherme non linéaire de Freundlich le coefficient de détermination est devenu très important mais la capacité d'adsorption reste toujours faible puisque l'intensité d'adsorption est moins de 1.

Les pépins de raisins activés chimiquement par le KOH adsorbent bien le Rouge de Nylosane dans le cas du modèle d'isotherme linéaire et non linéaire de Langmuir et de Freundlich mais cela n'exclue pas les autres résultats qui sont aussi favorables.

On peut conclure que les modèles d'isothermes d'adsorption du Rouge de Nylosane par les pépins de raisins et par le Charbon Actif de Merck peuvent prendre l'ordre de validité décroissant comme suit :

Modèles Linéaires de Langmuir > Modèles Non Linéaires de Freundlich > Modèle Linéaire de Freundlich > Modèle Non Linéaire de Langmuir.

Tableau IV.3.2.1

Synthèse des résultats des modèles d'isothermes linéaires et non linéaires de Langmuir

Adsorption du Rouge de Nylosane	Modèle Linéaire de Langmuir				Modèle Non Linéaire de Langmuir		
	R ²	b	q _m	Type	R ²	b	q _m
RN/pépins de raisins+ Cacl2	0.874	0.0034	344.82	II	0.03	-0.022	7.02
RN/pépins de raisins à l'Etat Naturel	0.969	0.0204	156.25	I	0.828	0.0301	151
RN/ pépins de raisins+ H3PO4	0.953	0.0002	11111.1	II	0.955	0.01004	470.6
RN/pépins de raisins+ KOH	0.993	0.04	333.33	II	0.958	0.02034	410.4
RN/pépins de raisins+ Activ.mixte	0.973	0.0203	357.14	I	0.925	0.0299	325.7
RN/pépins de raisins+ Activ.Physique	0.952	0.0039	416.66	II	0.877	0.0076	229
RN/Charbon actif Aldrich	0.974	0.022	303.03	I	0.927	0.032	288.4
Moyenne	0.955	0.0157	1860.33	NA	0.785	0.0154	268.87

Tableau IV.3.2.2

Synthèse des résultats des modèles d'isothermes linéaires et non linéaires de Freundlich

Adsorption du Rouge de Nylosane	Modèle Linéaire de Freundlich			Modèle Non Linéaire de Freundlich		
	R ²	n	K _F	R ²	K _F	n
RN/pépins de raisins+Cacl2	0.945	1.133	1.57	0.976	0.909	0.989
RN/pépins de raisins à l'Etat Naturel	0.619	2.535	15.22	0.73	27.69	3.599
RN/ pépins de raisins+H3PO4	0.859	1.696	12.3	0.939	27.5	2.302
RN/pépins de raisins+KOH	0.943	2.128	28.14	0.978	42.57	2.65
RN/pépins de raisins+ Activ.mixte	0.804	2.222	26.19	0.946	40.79	2.814
RN/pépins de raisins+ Activ.Physique	0.899	1.689	5.78	0.925	7.326	1.838
RN/Charbon actif Aldrich	0.736	2.155	21.99	0.838	43.73	3.17
Moyenne	0.829	1.936	15.88	0.904	27.21	2.479

Tableau IV.3.2.3 Calcul des quantités de substance adsorbée q_e pour les Isothermes d'adsorptions du Rouge de Nylosane par les pépins de raisins activés chimiquement par le $CaCl_2$

$C_{éq}$	" q_e " Expérimentale	" q_e " Freundlich		" q_e " Langmuir				
		Non linéaire	linéaire	I	II	III	IV	Non Linéaire
11.69	11.038	10.91	13.75	12.52	13.35	22.74	13.08	-2.44
13.94	23.257	13.03	16.06	14.87	15.81	26	15.53	-3.12
38.38	32.702	36.27	39.27	39.35	40.23	49.45	40.72	-39.25
49.75	43.781	47.15	49.37	50.09	50.39	56.04	51.64	77.64
53.63	55.796	50.87	52.76	53.67	53.69	57.92	55.26	44.95
76.25	65.468	72.59	71.97	73.72	71.57	66.42	75.35	17.27
84.38	76.952	80.42	78.71	80.59	77.46	68.72	82.18	15.14
89.38	88.827	85.24	82.81	84.73	80.96	69.99	86.28	14.22
102.5	99.687	97.89	93.45	95.33	89.7	72.91	96.7	12.57
113.8	110.781	108.8	102.49	104.1	96.78	75.02	105.3	11.66

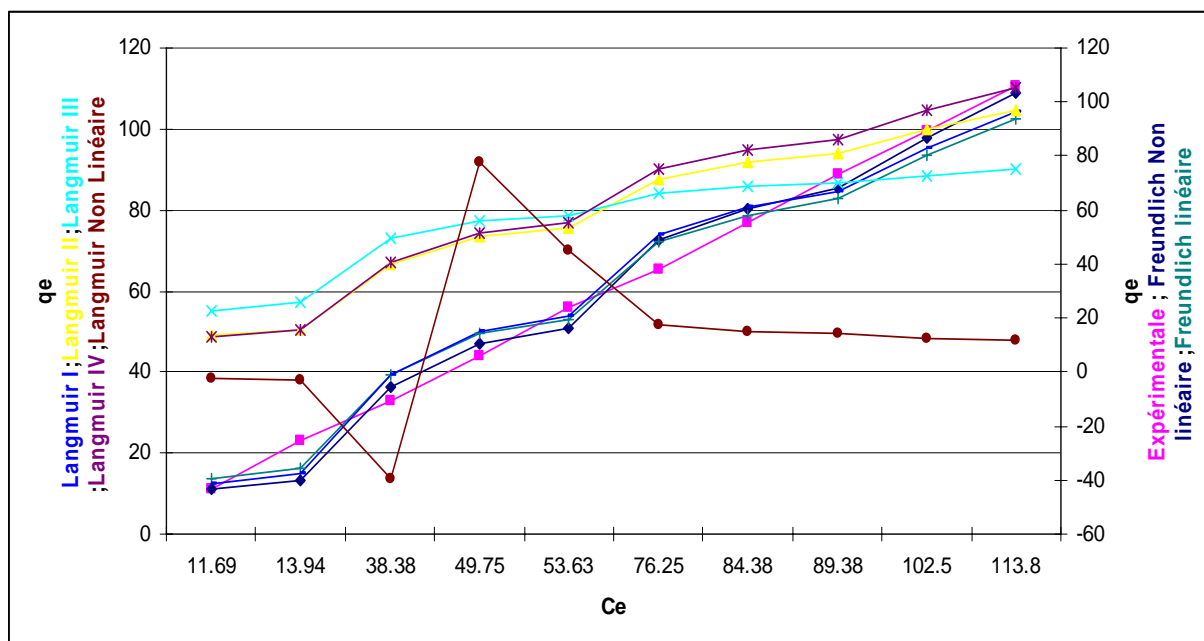


Fig IV.3.2.1 Représentation de tous les modèles d'isothermes d'adsorption du Rouge de Nylosane par les pépins de raisins activés chimiquement par le $CaCl_2$

Tableau IV.3.2.4 Calcul des quantités de substance adsorbée q_e pour les Isothermes d'adsorptions du Rouge de Nylosane par les pépins de raisins à l'Etat Naturel

$C_{éq}$	" q_e " Expérimentale	" q_e " Freundlich		" q_e " Langmuir				
		Non linéaire	linéaire	I	II	III	IV	Non Linéaire
17.81	20.54	61.63	47.41	41.69	30.17	61.81	37.34	52.70
22.81	44.29	66.02	52.27	49.68	37.71	69.5	45.69	61.48
25.75	68.56	68.28	54.83	53.87	41.98	73.2	50.27	65.94
34.31	91.42	73.95	61.40	64.41	53.75	81.62	62.34	76.72
39.5	115.12	76.90	64.90	69.8	60.46	85.5	68.87	82.02
126.25	118.43	106.20	102.64	112.7	139.4	109.1	131.5	119.55
200.63	124.84	120.79	123.21	125.7	178.8	114.4	155.4	129.55
270	132.5	131.18	138.52	132.4	204	116.9	168.8	134.46
355.63	136.09	141.62	154.41	137.5	226.1	118.7	179.5	138.10
438.75	140.31	150.13	167.75	140.7	241.8	119.8	186.6	140.37

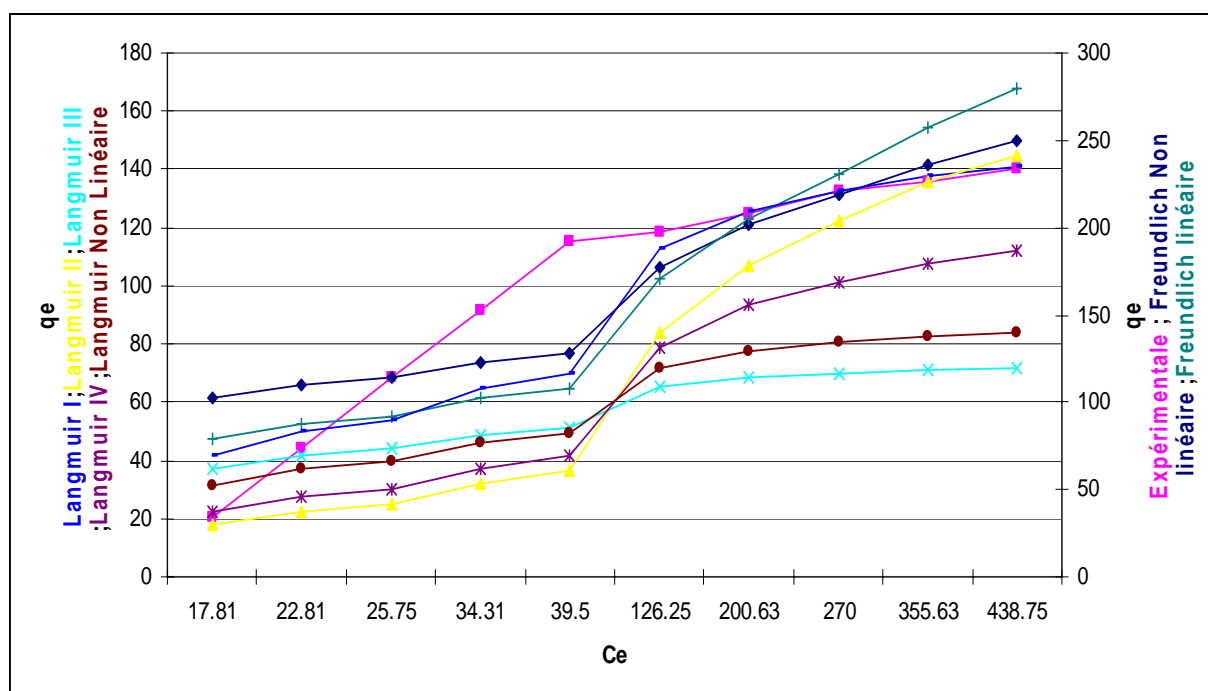


Fig IV.3.2.2 Représentation de tous les modèles d'isothermes d'adsorption du Rouge de Nylosane par les pépins de raisins à l'Etat Naturel

Tableau IV.3.2.5 Calcul des quantités de substance adsorbée pour les Isothermes d'adsorptions du Rouge de Nylosane par les pépins de raisins activés chimiquement par le H₃PO₄

C _{éq}	"q _e " Expérimentale	"q _e " Freundlich		"q _e " Langmuir				
		Non linéaire	linéaire	I	II	III	IV	Non Linéaire
9.5	22.62	73.12	46.4	33.44	24.63	41.44	33.62	40.97
15.25	46.18	89.81	61.34	51.63	39.48	62.793	52.11	62.48
29.31	67.67	119.29	90.167	90.75	75.64	106.12	92.37	106.99
29.81	92.54	120.17	91.07	92.02	76.93	107.47	93.69	108.4
32.38	116.9	124.56	95.62	98.42	83.51	114.23	100.3	115.45
41.81	139.54	139.19	111.18	120.3	107.6	136.71	123.2	139.13
45.75	163.56	144.74	117.24	128.8	117.6	145.16	132.2	148.12
54.13	186.46	155.72	129.46	145.6	138.9	161.56	150	165.7
61.44	209.64	164.52	139.5	159.1	157.4	174.36	164.4	179.54
65.63	233.59	169.31	145.03	166.4	168	181.14	172.2	186.92
143.8	264.06	238.05	230.32	262.5	361.7	262.58	277.5	278.02
237.5	290.62	296.02	309.61	324.5	585.2	308.52	347.9	331.55
298.8	325.31	327.07	354.49	350.6	726.5	326.51	378.1	352.94
410	347.5	375.26	427.19	383	973.5	347.82	416.1	378.62
471.9	382.03	398.9	464.12	395.8	1106	356.01	431.4	388.58
520	420	416.08	491.45	404.1	1207	361.22	441.3	394.95

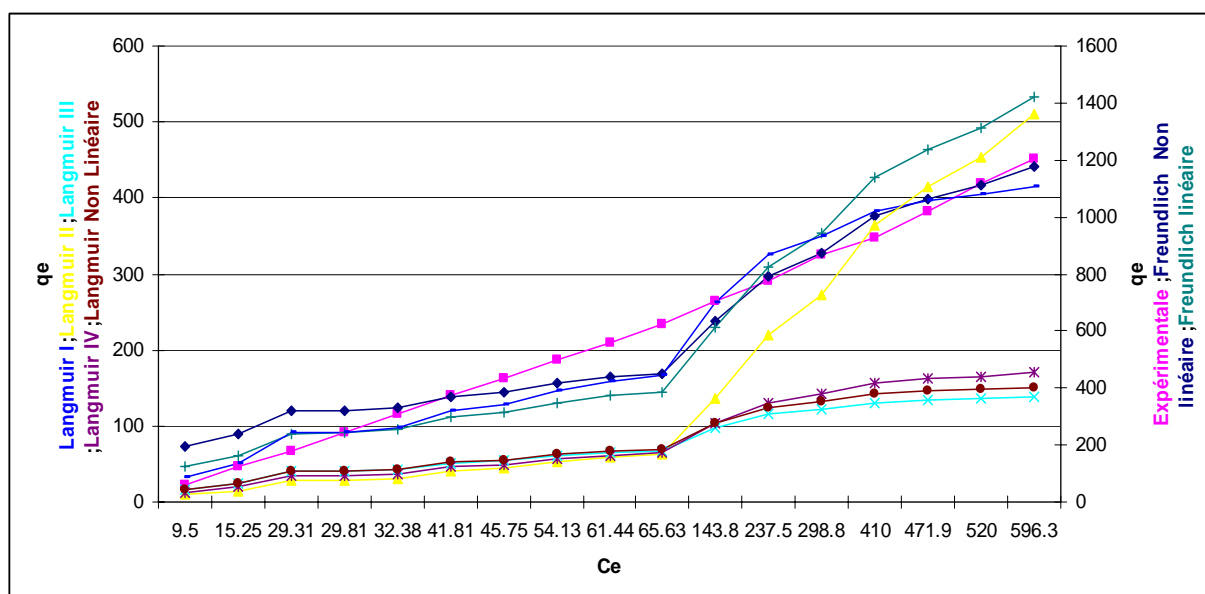


Fig IV.3.2.3 Représentation de tous les modèles d'isothermes d'adsorption du Rouge de Nylosane par les pépins de raisins activés chimiquement par le H₃PO₄

Tableau IV.3.2.6 Calcul des quantités de substance adsorbée q_e pour les Isothermes d'adsorptions du Rouge de Nylosane par les pépins de raisins activés chimiquement par le KOH

$C_{\text{éq}}$	"q _e " Expérimentale	"q _e " Freundlich		"q _e " Langmuir				
		Non linéaire	linéaire	I	II	III	IV	Non Linéaire
2	24.5	55.29	38.97	17.28	24.67	24.90	23.03	16.04
4.31	48.92	73.88	55.9	35.55	49.02	49.50	46.27	33.07
7.13	73.21	89.33	70.82	55.71	74.04	74.80	70.71	51.97
8	98	93.3	74.75	61.51	80.91	81.75	77.52	57.43
13.19	121.7	112.67	94.54	92.6	115.4	116.69	112.4	86.81
22.19	144.45	137.11	120.72	135.4	157.4	159.22	156.4	127.62
36.88	165.78	166.09	153.26	185.4	199.8	202.25	202.7	175.9
55.88	186.03	194.28	186.29	228.7	231.9	234.85	239.1	218.31
61.56	209.61	201.51	194.96	238.7	238.8	241.83	247	228.17
63.44	234.14	203.81	197.73	241.8	240.8	243.94	249.4	231.21
140.6	264.84	275.2	287.37	314.9	285.5	289.41	302.5	304.07
169.4	307.65	295.25	313.66	328.8	293.1	297.15	311.8	318.08
224.4	343.9	328.3	357.94	347.2	302.8	306.98	323.7	336.64
308.8	372.81	370.34	415.86	364.3	311.4	315.77	334.4	354.03
426.3	393.43	418.26	483.87	377.9	318.1	322.54	342.8	367.96

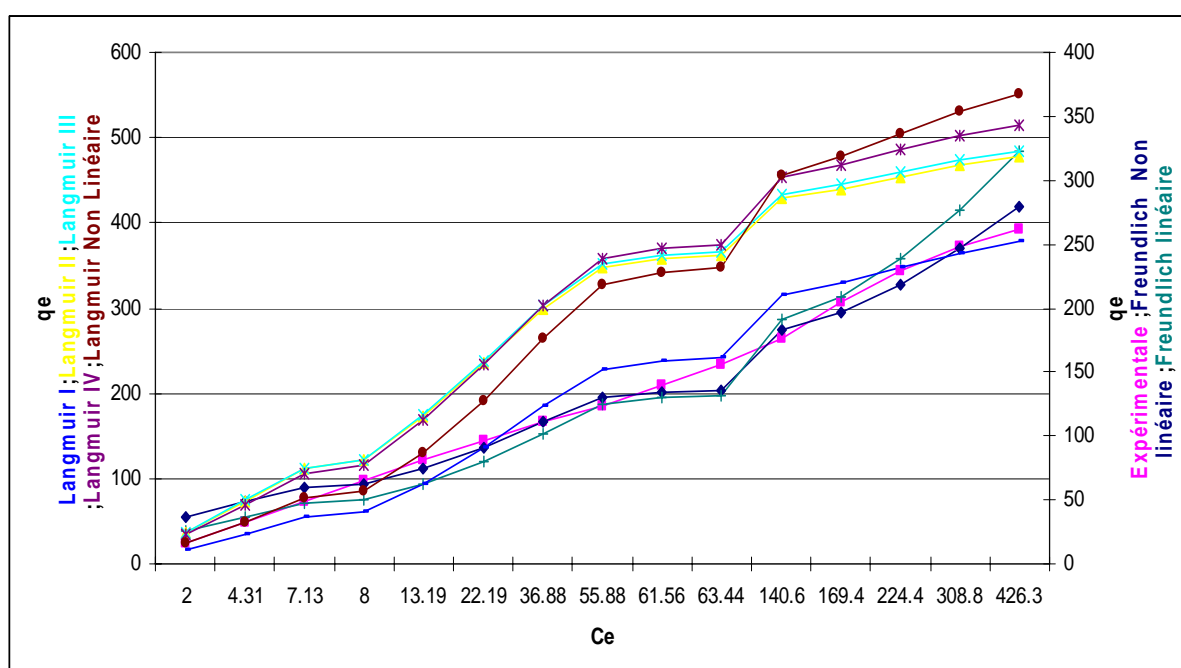


Fig IV.3.2.4 Représentation de tous les modèles d'isothermes d'adsorption du Rouge de Nylosane par les pépins de raisins activés chimiquement par le KOH

Tableau IV.3.2.7 Calcul des quantités de substance adsorbée q_e pour les Isothermes d'adsorptions du Rouge de Nylosane par les pépins de raisins Activation mixte

$C_{\text{éq}}$	"q _e " Expérimentale	"q _e " Freundlich		"q _e " Langmuir				
		Non linéaire	linéaire	I	II	III	IV	Non Linéaire
6.13	23.46	77.69	59.245	39.48	37.39	62.047	48.99	50.52
7	48.25	81.44	62.89	44.4	42.38	68.65	54.87	56.44
8	73	85.4	66.78	49.87	48.02	75.75	61.34	62.95
10.5	97.37	94.06	75.48	62.76	61.7	91.54	76.36	77.92
11.5	122.12	97.16	78.63	67.63	67.02	97.174	81.95	83.44
17.44	145.64	112.65	94.84	93.56	96.85	124.6	111	111.75
34.06	166.48	142.9	128.18	146.7	167.1	169.9	166.7	164.47
58.25	185.43	172.93	163.19	195	244.4	201.88	213.5	207.03
99.38	200.15	209.08	207.53	241.2	334.6	226.76	255.2	243.79
120.6	219.84	223.97	226.42	256.3	368.4	233.94	268.3	255.07
161.3	259.68	248.35	258.07	276.9	418.5	243.04	285.6	269.84
249.4	287.65	289.95	313.98	302.2	487.8	253.35	306.2	287.24
325.6	318.59	318.76	354	314.6	525.1	258.04	316	295.4
430.6	342.34	352.05	401.45	325.2	559.3	261.91	324.3	302.26

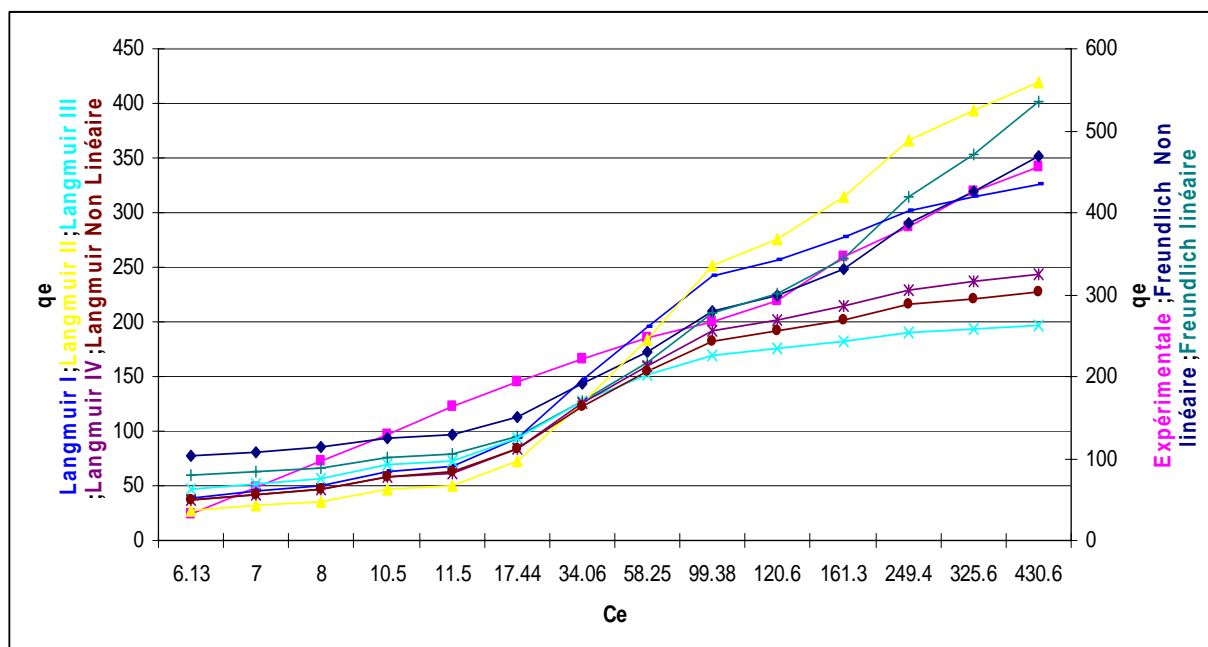


Fig IV.3.2.5 Représentation de tous les modèles d'isothermes d'adsorption du Rouge de Nylosane par les pépins de raisins Activation mixte

Tableau IV.3.2.8 Calcul des quantités de substance adsorbée q_e pour les Isothermes d'adsorptions du Rouge de Nylosane par les pépins de raisins Activation physique

$C_{\text{éq}}$	"q _e " Expérimentale	"q _e " Freundlich		"q _e " Langmuir				
		Non linéaire	linéaire	I	II	III	IV	Non Linéaire
8	11.5	22.7	19.81	13.38	12.54	17.76	14.44	13.18
15.63	23.04	32.69	29.45	24.74	23.82	31.69	26.66	24.41
18.06	35.24	35.36	32.08	28.11	27.29	35.63	30.27	27.74
23	47.12	40.34	37.02	34.61	34.15	43.03	37.23	34.2
29.88	58.76	46.51	43.23	42.99	43.32	52.15	46.17	42.53
38.25	70.22	53.2	50.03	52.24	53.92	61.71	56.02	51.75
51.38	81.07	62.46	59.59	64.99	69.4	74.11	69.55	64.51
80	90	79.48	77.44	87.18	99.05	93.73	92.95	86.82
161.9	92.26	116.64	117.6	126.3	161.8	123.4	133.8	126.58
189.4	101.32	127.03	129	134.9	177.8	129.2	142.7	135.37
229.4	121.32	140.99	144.5	145.1	197.9	135.75	153.2	145.76
257.5	142.81	150.14	154.7	150.9	210.1	139.4	159.2	151.78
288.8	163.9	159.81	165.6	156.5	222.3	142.8	165	157.54
332.5	183.43	172.54	180	163	237.2	146.67	171.7	164.27
361.9	204.76	180.68	189.3	166.8	246	148.83	175.5	168.14

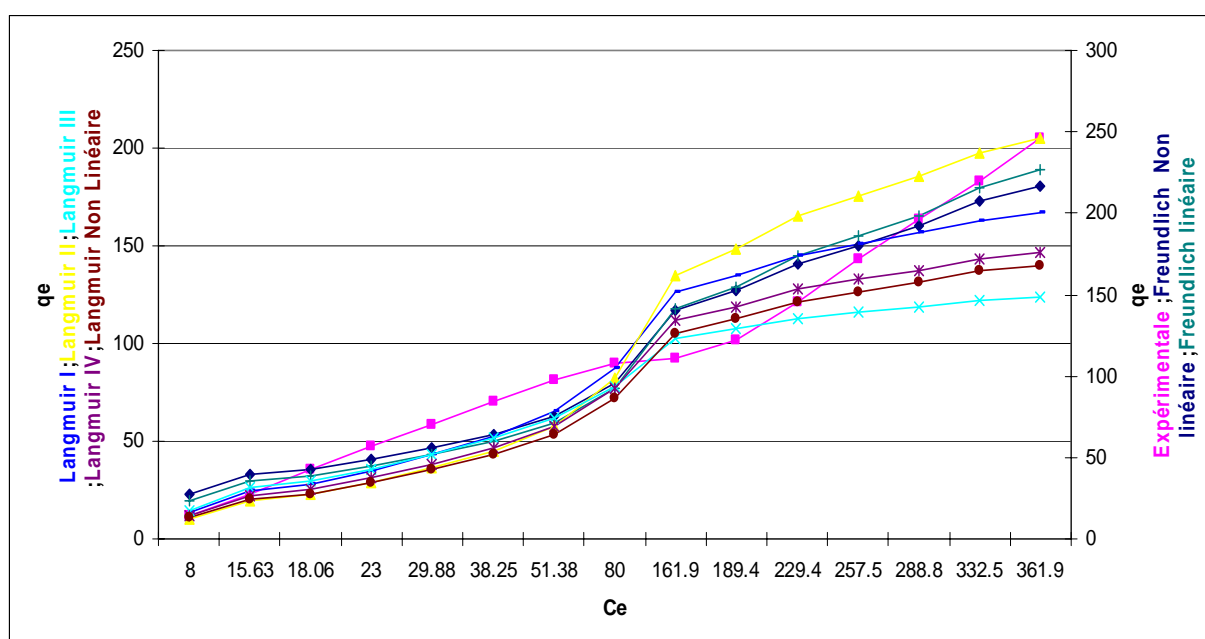


Fig IV.3.2.6 Représentation de tous les modèles d'isothermes d'adsorption du Rouge de Nylosane par les pépins de raisins Activation physique

Tableau IV.3.2.9 Calcul des quantités de substance adsorbée q_e pour les Isothermes d'adsorptions du Rouge de Nylosane par les pépins de raisins Charbon actif Aldrich

C_{eq}	"q _e " Expérimentale	"q _e " Freundlich		"q _e " Langmuir				
		Non linéaire	linéaire	I	II	III	IV	Non Linéaire
7.5	23.12	82.57	56.02	42.93	29.75	54.74	41.34	55.88
10.19	47.45	90.95	64.58	55.53	40.35	69.16	54.05	71
12.69	71.82	97.47	71.51	66.2	50.16	80.86	65.04	83.38
19.56	95.11	111.72	87.41	91.32	76.95	106.7	91.74	111.13
19.75	120.06	112.06	87.8	91.94	77.69	107.31	92.42	111.79
27.25	143.18	124.04	101.9	113.8	106.6	128.03	116.7	134.45
29.94	167.51	127.78	106.5	120.6	117	134.15	124.5	141.22
48.75	187.81	149.02	133.5	157.4	188	165.02	168	175.85
52.63	211.84	152.67	138.4	163.2	202.4	169.6	175.2	181.06
175.6	206.09	223.27	242	242.2	623.7	224.37	281.2	244.88
246.9	238.28	248.61	283.5	257.6	839.6	233.7	304	256.04
330.6	267.34	272.59	324.6	268.3	1071	239.93	320.1	263.52
437.5	290.62	297.78	369.7	276.5	1336	244.62	332.8	269.2

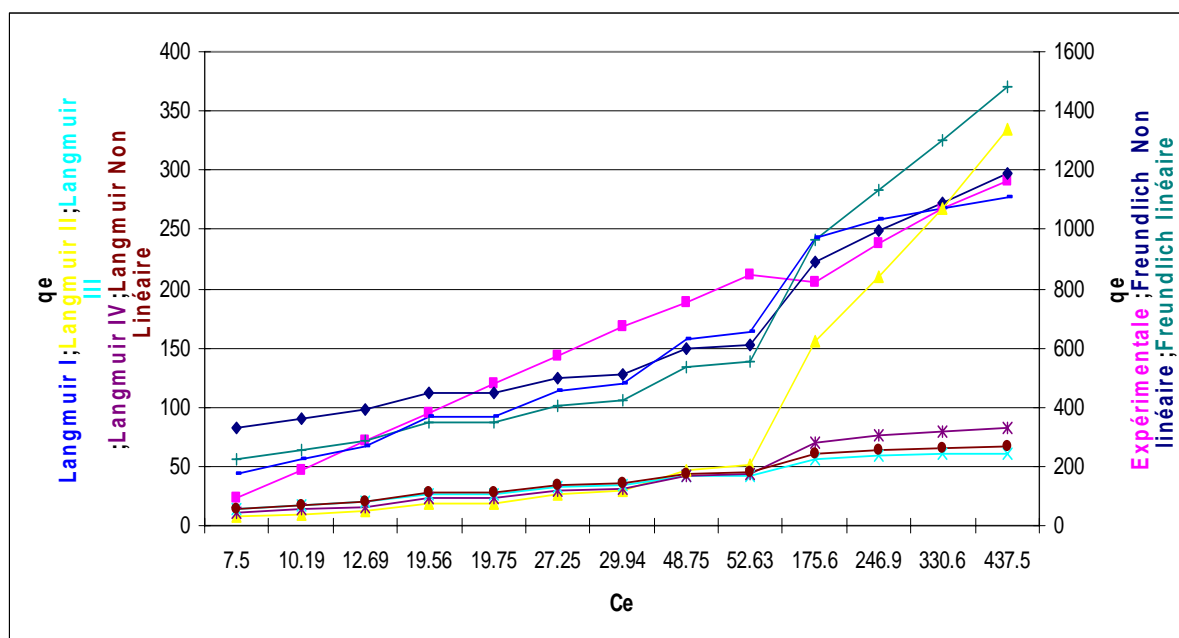


Fig IV.3.2.7 Représentation de tous les modèles d'isothermes d'adsorption du Rouge de Nylosane par les pépins de raisins Charbon actif Aldrich

IV.3.3 ADSORPTION DU JAUNE DE SUPRANOL

IV.3.3.1 Comparaison des modèles d'isothermes linéaires de Langmuir les plus favoris pour l'adsorption du Jaune de Supranol :

Tous les modèles présentes des coefficients de déterminations très important parfois ils tendent vers l'unité sauf le modèle d'isotherme d'adsorption du Jaune de Supranol par les pépins de raisins qui ont subis une activation mixte.

Tous les modèles sont du Type I à l'exception du modèle d'isotherme d'adsorption du Jaune de Supranol par les pépins de raisins traitées par le KOH qui est de Type II.

La capacité maximale d'adsorption du Jaune de Supranol par les pépins de raisins traitées par le H_3PO_4 est la plus élevées elle est égale à 322.58 mg/g. les autres modèles prévoit des capacités d'adsorption bonnes.

La constante de Langmuir qui est relatif à l'énergie d'adsorption varie entre 0.006 et 0.439 l/mg

IV.3.3.2 Comparaison des modèles d'isothermes non linéaires de Langmuir pour l'adsorption du Jaune de Supranol :

Les coefficients de déterminations de tous les modèles sont significatifs et acceptables.

La capacité maximale d'adsorption du Jaune de Supranol par les pépins de raisins traités par le KOH est la plus élevée elle est égale à 397.3 mg/g. pour les autres modèles elle est bonne.

Le domaine de variation de l'énergie d'adsorption est [0.011-0.1641].

IV.3.3.3 Comparaison des modèles d'isothermes linéaires de Freundlich les plus favoris pour l'adsorption du Jaune de Supranol :

Le seul modèle que son coefficient de détermination est supérieur à 0.9 est celui de l'élimination du Jaune de Supranol par les pépins de raisins traités par le KOH pour les autres il est au delà de 0.83

L'isotherme d'adsorption du Jaune de Supranol par les pépins de raisins qui ont subies une activation mixte est modéré pour les autres l'adsorption est bonne.

Les pépins de raisins traités par le KOH présente une bonne capacité maximale d'adsorption qui est de 75.72 mg/g suivie par l'adsorbant activés par le H_3PO_4 .

IV.3.3.4 Comparaison des modèles d'isothermes non linéaires de Freundlich pour l'adsorption du Jaune de Supranol :

Les coefficients de déterminations sont très importants et dépassant les 0.85 celui de l'isotherme d'adsorption du Jaune de Supranol par les pépins de raisins traités par le KOH est le plus élevé d'une valeur de 0.968.

L'intensité d'adsorption du Jaune de Supranol par les pépins de raisins qui ont subies une activation mixte est égale à 1.7731 signifiant que le modèle d'isotherme est modéré par contre pour tous les autres modèles l'adsorption est favorable et l'intensité est comprise entre [2.6-4.73]

L'énergie d'adsorption la plus remarquable est égale à 99.27 mg/g obtenue pour l'élimination du Jaune de Supranol par les pépins de raisins activés par le KOH.

IV.3.3.5 Conclusion:

Les isothermes d'adsorption ont été réalisées avec différentes concentrations initiales. les constantes caractérisant chacun des systèmes ont été déterminées et données. Les tableaux ci-dessous récapitulent les meilleurs modèles linéaires et non linéaires obtenus pour l'adsorption du Jaune de Supranol par les pépins de raisins activés avec différents produits. l'adsorbant le plus performant a été établi.

-La moyenne des coefficients de déterminations et les capacités maximales des modèles d'isothermes non linéaires de Langmuir appliquer pour les adsorptions du Jaune de Supranol par les pépins de raisins activées et celui de Charbon Actif Aldrich sont égales a 0.935 et 179.855 mg/g respectivement . ces valeurs sont supérieurs par rapport a ceux obtenus par les modèles des isothermes linéaires de Langmuir bien que les deux modèles sont favorables sauf que les modèles d' isothermes non linéaires de Langmuir sont très valides.

-selon la valeur moyenne des intensités des modèles d'isothermes linéaires et non linéaires de Freundlich appliquer pour l'adsorption du Jaune de Supranol qui est égale à 2.384 et 3.233 respectivement. les modèles sont favorables.

La moyenne des coefficients de déterminations et des capacités maximales des isothermes non linéaires de Freundlich afin d'éliminer le Jaune de Supranol sont égales a 0.8998 et 35.521 mg/g respectivement ces valeurs sont supérieurs a ceux des modèles linéaires de Freundlich favorisant ainsi les modèles non linéaires.

Pour le modèle d'isotherme linéaire de Langmuir. la meilleure corrélation des résultats expérimentaux est obtenue pour l'adsorption du Jaune de Supranol par les pépins de raisins activés chimiquement par le H_3PO_4 . L'isotherme d'adsorption montre que la quantité adsorbée est largement supérieur aux autres isothermes avec un coefficient de determination qui est le plus important le modèle est du Type I.

En ce qui concerne le modèle de Freundlich. la capacité d'adsorption la plus importante obtenue est pour l'adsorption du Jaune de Supranol par les pépins de raisins activés chimiquement par le KOH de même l'énergie d'adsorption et le coefficient de détermination obtenus sont les plus importants.

Comme dans le cas du modèle d'isotherme linéaire de Langmuir.. l'isotherme non linéaire de Langmuir pour l'adsorption du Jaune de Supranol par les pépins de raisins activés chimiquement par le H_3PO_4 présente lui aussi un coefficient de détermination le plus important égale à 0.9821 et une capacité maximale d'adsorption et une constante égale à 312.6 mg/g et 0.08973 respectivement.

Même remarque pour le modèle de Freundlich. l'isotherme d'adsorption du Jaune de Supranol par les pépins de raisins activés chimiquement par le KOH est favorable et dominant dans le cas linéaire et non linéaire avec un coefficient de détermination égale à 0.968 et une intensité d'adsorption de 3.422 et une énergie d'adsorption égale à 99.27mg/g.

Donc les pépins de raisins activés chimiquement par le H_3PO_4 adsorbent bien le Jaune de Supranol dans le cas du modèle d'isotherme linéaire et non linéaire de Langmuir et pour le KOH il adsorbent bien le Jaune de Supranol dans le cas du modèle d'isotherme linéaire et non linéaire de Freundlich mais cela n'exclue pas les autres résultats qui sont aussi favorable.

On peut conclure pour l'élimination du Jaune de Supranol par les pépins de raisins activées et par le Charbon Actif d'Aldrich que tous les modèles des isothermes sont favorables et ceux non linéaires de Langmuir sont les plus valides. l'ordre décroissant de validités est comme suit :

Modèle Non Linéaire de Langmuir > Modèles Linéaires de Langmuir > Modèles Non Linéaires de Freundlich > Modèle Linéaire de Freundlich

Tableau IV.3.3.1

Synthèse des résultats des modèles d'isothermes linéaires et non linéaires de Langmuir

Adsorption du Jaune de Supranol	Modèle Linéaire de Langmuir				Modèle Non Linéaire de Langmuir		
	R ²	b	q _m	Type	R ²	b	q _m
JS/pépins de raisins+ Cacl2	0.974	0.016	100	I	0.913	0.0262	91.61
JS/pépins de raisins à l'Etat Naturel	0.99	0.03	49.02	I	0.966	0.0323	49.55
JS/ pépins de raisins+ H3PO4	0.996	0.077	322.58	I	0.982	0.0897	312.6
JS/pépins de raisins+ KOH	0.988	0.439	277.77	II	0.939	0.1641	397.3
JS/pépins de raisins+ Activ.mixte	0.603	0.006	294.11	I	0.957	0.0114	226.12
JS/pépins de raisins+ Activ.Physique	0.919	0.011	90.09	I	0.834	0.0165	82.41
JS/Charbon actif Aldrich	0.986	0.051	105.26	I	0.956	0.0693	99.39
Moyenne	0.922	0.09	176.97	I	0.935	0.0585	179.85

Tableau IV.3.3.2

Synthèse des résultats des modèles d'isothermes linéaires et non linéaires de Freundlich

Adsorption du Jaune de Supranol	Modèle Linéaire de Freundlich			Modèle Non Linéaire de Freundlich		
	R ²	n	K _F	R ²	K _F	n
JS/pépins de raisins+Cacl2	0.815	2.516	8.54	0.89	14.05	3.314
JS/pépins de raisins à l'Etat Naturel	0.847	2.015	3.61	0.86	7.368	2.97
JS/ pépins de raisins+H3PO4	0.882	3.202	57.51	0.9	88.7	4.733
JS/pépins de raisins+KOH	0.917	2.649	75.72	0.97	99.27	3.422
JS/pépins de raisins+Activ.mixte	0.885	1.176	2.56	0.899	8.485	1.773
JS/pépins de raisins+Activ.Physique	0.831	2.292	5.71	0.88	7.567	2.6
JS/Charbon actif Aldrich	0.899	2.91	16.27	0.92	23.21	3.819
Moyenne	0.868	2.394	24.27	0.899	35.52	3.23

Tableau IV.3.3.3 Calcul des quantités de substance adsorbée q_e pour les Isothermes d'adsorptions du Jaune de Supranol par les pépins de raisins activés chimiquement par le $CaCl_2$

C_{eq}	"q _e " Expérimentale	"q _e " Freundlich		"q _e " Langmuir				
		Non linéaire	linéaire	I	II	III	IV	Non Linéaire
8.81	11.39	27.09	20.26	12.68	12.19	16.65	13.94	17.19
16.6	22.92	32.79	26.06	21.49	21.16	26.94	23.46	27.78
25.9	34.26	37.51	31.1	29.92	30.16	35.98	32.48	37.06
33.1	45.86	40.39	34.28	35.3	36.13	41.36	38.17	42.57
37.2	57.85	41.84	35.91	38.01	39.21	43.97	41.02	45.24
78.4	65.2	52.39	48.29	56.37	61.41	60.04	60.05	61.63
175	65.58	66.76	66.44	74.23	85.55	73.42	78.11	75.22
222	72.2	71.72	73.03	78.51	91.74	76.34	82.36	78.18
300	75	78.55	82.31	83.14	98.66	79.4	86.95	81.28
388	76.49	84.89	91.16	86.44	103.7	81.5	90.19	83.41
466	91.69	89.71	98.05	88.44	106.8	82.76	92.15	84.68
608	98.97	97.21	108.98	90.88	110.7	84.26	94.54	86.2

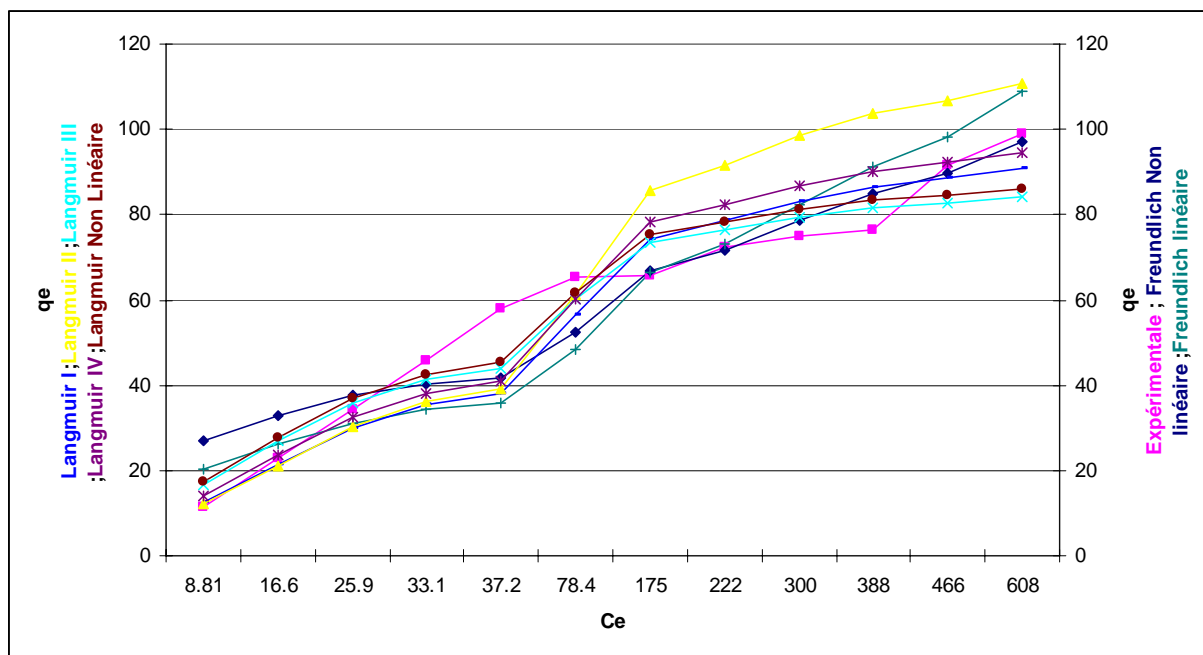


Fig IV.3.3.1 Représentation de tous les modèles d'isothermes d'adsorption du Jaune de Supranol par les pépins de raisins activés chimiquement par le $CaCl_2$

Tableau IV.3.3.4 Calcul des quantités de substance adsorbée q_e pour les Isothermes d'adsorptions du Jaune de Supranol par les pépins de raisins à l'état naturel

$C_{\text{éq}}$	" q_e " Expérimentale	" q_e " Freundlich		" q_e " Langmuir				
		Non linéaire	linéaire	I	II	III	IV	Non Linéaire
6.49	5.43	13.83	9.15	8.16	6.04	7.76	6.914	8.6
9.78	11.27	15.87	11.22	11.34	8.74	10.85	9.82	11.91
19.93	16.25	20.178	15.97	18.64	15.89	18.09	16.99	19.43
27.46	21.56	22.47	18.72	22.46	20.26	21.96	21.06	23.31
35.82	26.77	24.58	21.36	25.71	24.41	25.3	24.71	26.6
40.3	32.46	25.57	22.64	27.14	26.38	26.79	26.38	28.04
58.88	36.39	29.06	27.33	31.59	33.13	31.46	31.8	32.49
99.25	37.59	34.64	35.41	36.93	42.8	37.19	38.85	37.78
126.1	40.48	37.55	39.87	38.97	47.06	39.41	41.72	39.79
166.4	41.69	41.23	45.75	41.01	51.67	41.64	44.68	41.79
212.7	42.16	44.78	51.68	42.52	55.37	43.31	46.94	43.26
261.2	42.35	47.99	57.22	43.59	58.14	44.51	48.59	44.31

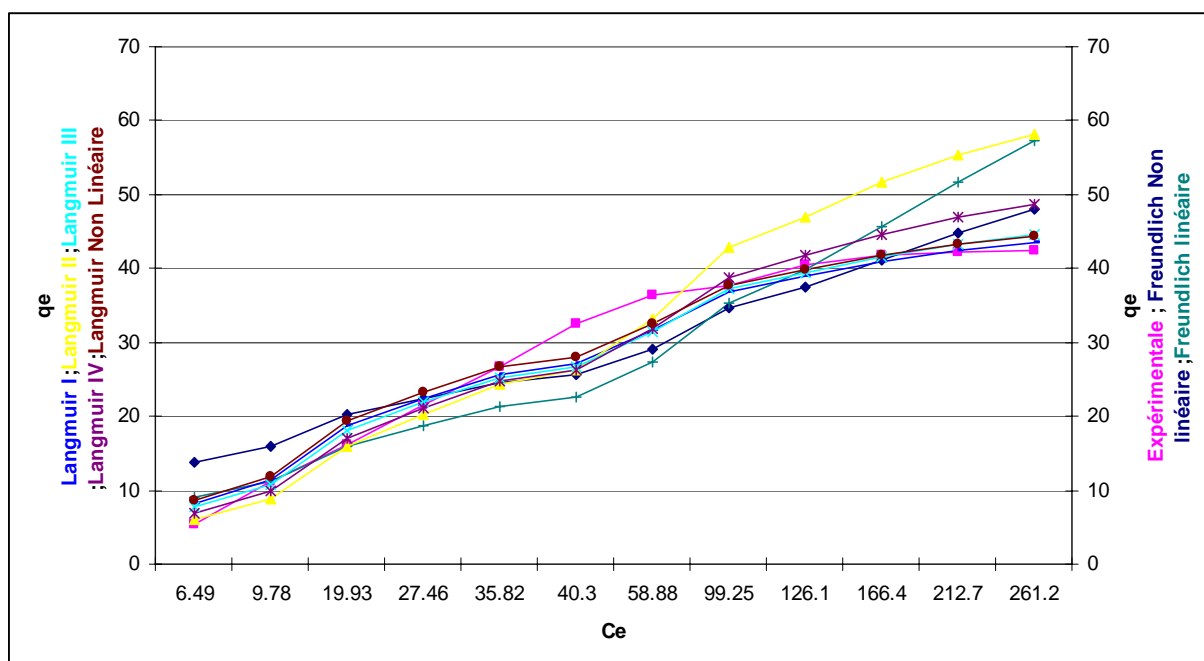


Fig IV.3.3.2 Représentation de tous les modèles d'isothermes d'adsorption du Jaune de Supranol par les pépins de raisins à l'état naturel

Tableau IV.3.3.5 Calcul des quantités de substance adsorbée q_e pour les Isothermes d'adsorptions du Jaune de Supranol par les pépins de raisins activés chimiquement par le H_3PO_4

$C_{\text{éq}}$	"q _e " Expérimentale	"q _e " Freundlich		"q _e " Langmuir				
		Non linéaire	linéaire	I	II	III	IV	Non Linéaire
0.37	24.9	71.89	42.17	8.95	24.16	19.87	16.31	10.04
0.97	49.75	88.13	56.97	22.45	53.31	46.35	39.13	25.02
3.66	74.08	116.67	86.25	71.03	117.7	117	107	77.28
4.93	98.76	124.25	94.66	88.9	132.6	136.3	127.5	95.87
7.31	123.17	135.03	107.05	116.4	150.4	161.3	155.5	123.82
9.18	147.7	141.69	114.94	133.8	159.5	174.8	171.4	141.19
11.79	172.05	149.38	124.28	153.7	168.3	188.5	188	160.69
19.25	195.18	165.69	144.84	192.9	181.9	210.9	216.7	197.98
33.73	216.56	186.53	172.57	233.3	192.5	229.5	241.6	234.96
51.27	237.18	203.79	196.67	257.8	197.7	239.1	255	256.78
91.79	277.05	230.47	235.89	283	202.3	247.9	267.6	278.75
190.3	302.42	268.86	296.2	302.4	205.5	254	276.5	295.3
426.87	293.28	318.9	381.19	313.5	207.2	257.2	281.4	304.64
565.67	308.58	338.44	416.22	315.8	207.5	257.9	282.3	306.56
670.15	332.46	350.78	438.84	316.9	207.7	258.2	282.8	307.48

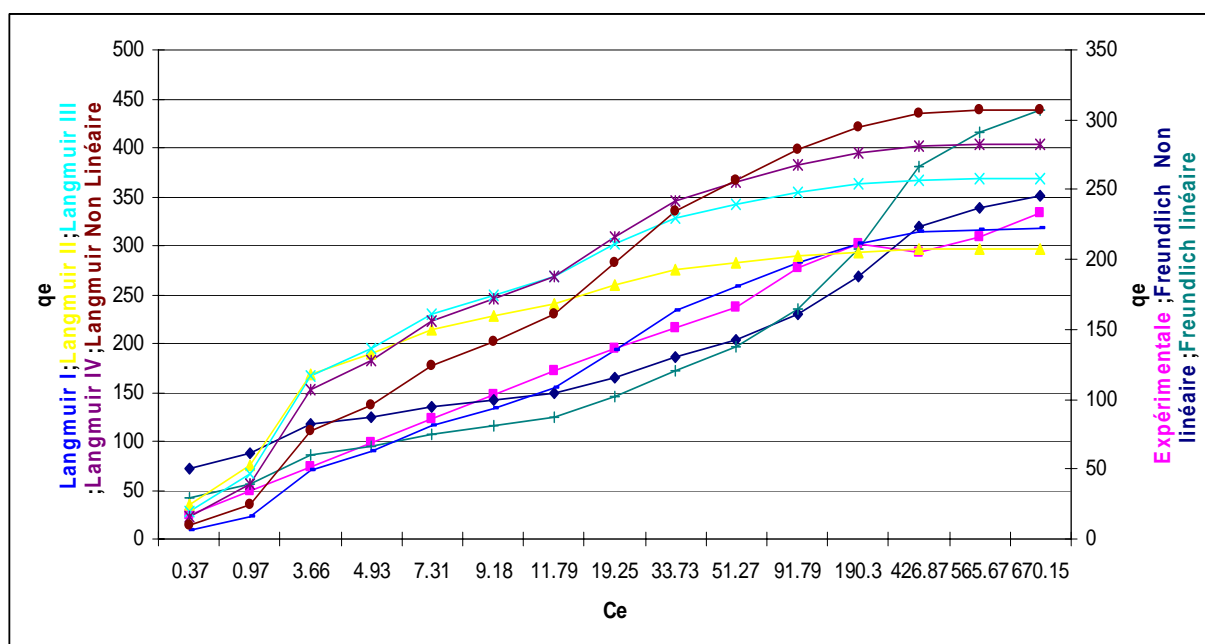


Fig IV.3.3.3 Représentation de tous les modèles d'isothermes d'adsorption du Jaune de Supranol par les pépins de raisins activés chimiquement par le H_3PO_4

Tableau IV.3.3.6 Calcul des quantités de substance adsorbée q_e pour les Isothermes d'adsorptions du Jaune de Supranol par les pépins de raisins activés chimiquement par le KOH

$C_{\text{éq}}$	"q _e " Expérimentale	"q _e " Freundlich		"q _e " Langmuir				
		Non linéaire	linéaire	I	II	III	IV	Non Linéaire
0.22	24.94	63.77	42.76	10.41	24.33	20.54	18.61	13.84
0.52	49.87	82	59.16	23.83	51.33	44.95	41.21	31.23
1.12	74.72	102.61	79.03	48.33	91	84.3	78.8	61.68
1.57	99.6	113.25	89.77	64.9	112.6	107.7	101.9	81.39
2.61	124.34	131.39	108.77	98.34	147.3	148.7	143.6	119.13
3.51	149.12	143.27	121.63	122.8	167.3	174.4	170.7	145.2
4.33	173.91	152.34	131.67	142.3	180.7	192.7	190.4	165.03
5.15	198.71	160.26	140.57	159.5	191.2	207.5	206.7	181.97
7.61	223.09	179.63	162.89	201.1	212.2	238.9	241.9	220.62
19.03	245.24	234.8	230.22	299	246.1	294.9	308	300.93
44.03	288.99	300.03	315.98	366.4	262	323.6	343.4	348.99
75.37	331.15	351.06	387.05	394.6	267.5	333.9	356.4	367.58
91.04	377.24	370.98	415.66	402.1	268.8	336.5	359.7	372.37
141	414.74	421.57	490.28	415.5	271.2	341	365.5	380.84
180.6	454.85	453.2	538.29	421.1	272.1	342.8	367.8	384.33

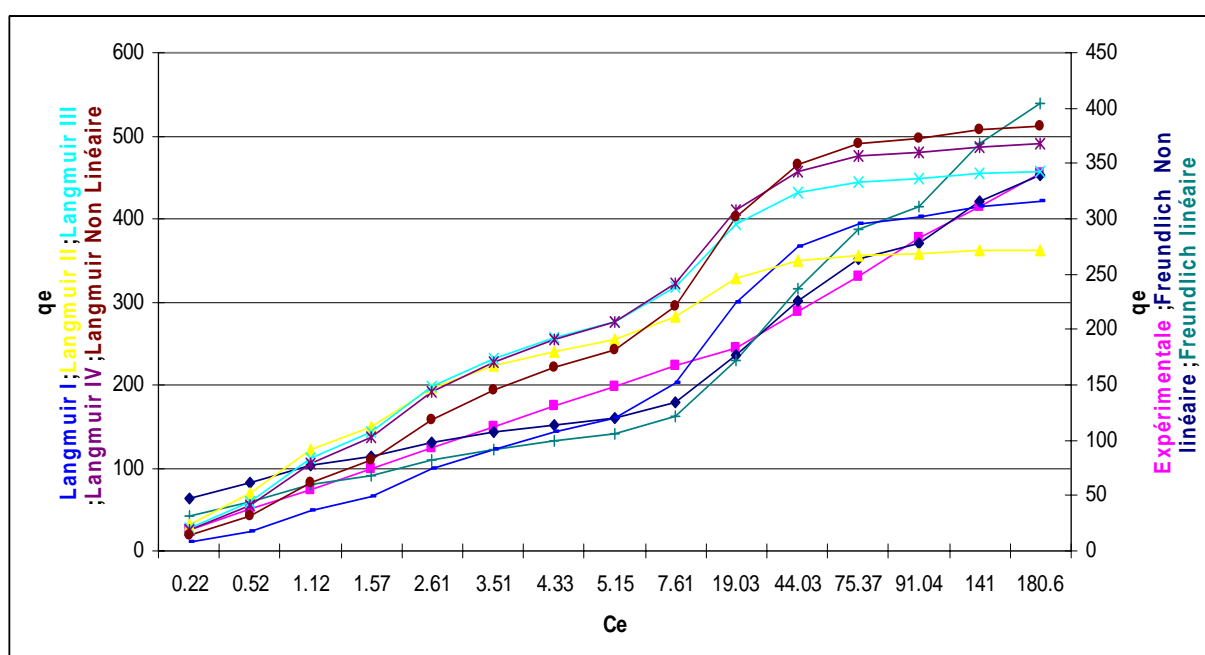


Fig IV.3.3.4 Représentation de tous les modèles d'isothermes d'adsorption du Jaune de Supranol par les pépins de raisins activés chimiquement par le KOH

Tableau IV.3.3.7 Calcul des quantités de substance adsorbée q_e pour les Isothermes d'adsorptions du Jaune de Supranol par les pépins de raisins activés physiquement

C_{eq}	" q_e " Expérimentale	" q_e " Freundlich		" q_e " Langmuir				
		Non linéaire	linéaire	I	II	III	IV	Non Linéaire
14.7	10.662	21.27	18.46	13	13.32	18.86	14.58	16.13
19.33	22.583	23.63	20.8	16.34	16.83	22.96	18.26	19.98
31.72	33.535	28.59	25.82	24.02	24.99	31.42	26.61	28.38
40.6	44.925	31.44	28.76	28.61	29.95	35.94	31.52	33.13
133.6	45.802	49.72	48.36	54.44	59.16	55.96	58.3	56.75
180.6	52.425	55.83	55.16	60.66	66.53	59.74	64.53	61.75
212.7	60.913	59.45	59.24	63.79	70.29	61.52	67.63	64.18
284.3	64.458	66.47	67.24	68.82	76.4	64.24	72.56	67.97
382.1	64.738	74.48	76.49	73.21	81.81	66.47	76.83	71.16
417.2	72.855	77.04	79.48	74.37	83.25	67.04	77.95	71.99
449.3	93.843	79.27	82.1	75.3	84.4	67.49	78.84	72.64

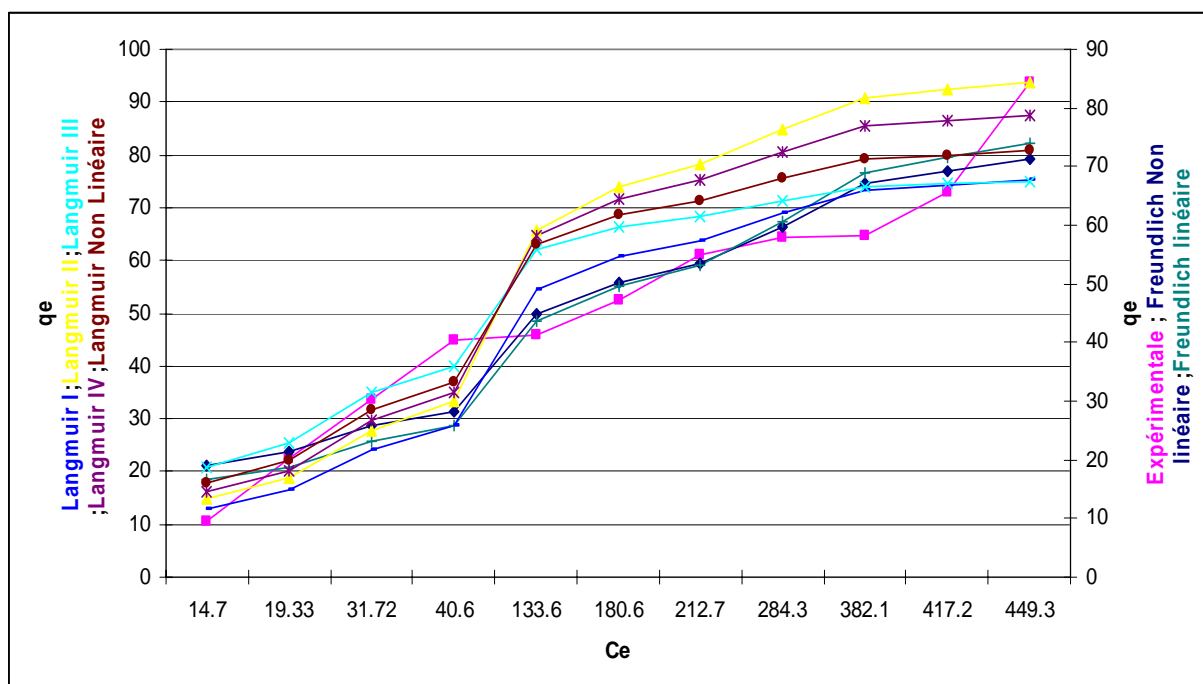


Fig IV.3.3.5 Représentation de tous les modèles d'isothermes d'adsorption du Jaune de Supranol par les pépins de raisins activés physiquement

Tableau IV.3.3.8 Calcul des quantités de substance adsorbée q_e pour les Isothermes d'adsorptions du Jaune de Supranol par les pépins de raisins activés par le charbon actif Aldrich

$C_{éq}$	"q _e " Expérimentale	"q _e " Freundlich		"q _e " Langmuir				
		Non linéaire	linéaire	I	II	III	IV	Non Linéaire
0.97	12.378	23.02	16.11	4.97	11.94	10.24	8.21	6.26
6.42	24.197	37.76	30.839	26.01	40.47	40.43	36.48	30.61
9.18	36.352	41.47	34.871	33.62	46.41	47.99	44.72	38.66
12.16	48.48	44.64	38.407	40.34	50.64	53.73	51.33	45.47
19.7	60.037	50.65	45.332	52.8	56.75	62.54	62.16	57.38
27.84	71.52	55.45	51.052	61.79	60.17	67.78	69.03	65.47
74.63	78.171	71.79	71.64	83.33	66.22	77.65	82.93	83.29
147.8	81.53	85.86	90.599	92.87	68.24	81.13	88.16	90.55
191	88.62	91.82	98.943	95.39	68.73	81.98	89.46	92.41
248.5	93.936	98.37	108.31	97.48	69.12	82.66	90.52	93.93
340.3	107.462	106.81	120.66	99.43	69.47	83.29	91.49	95.34

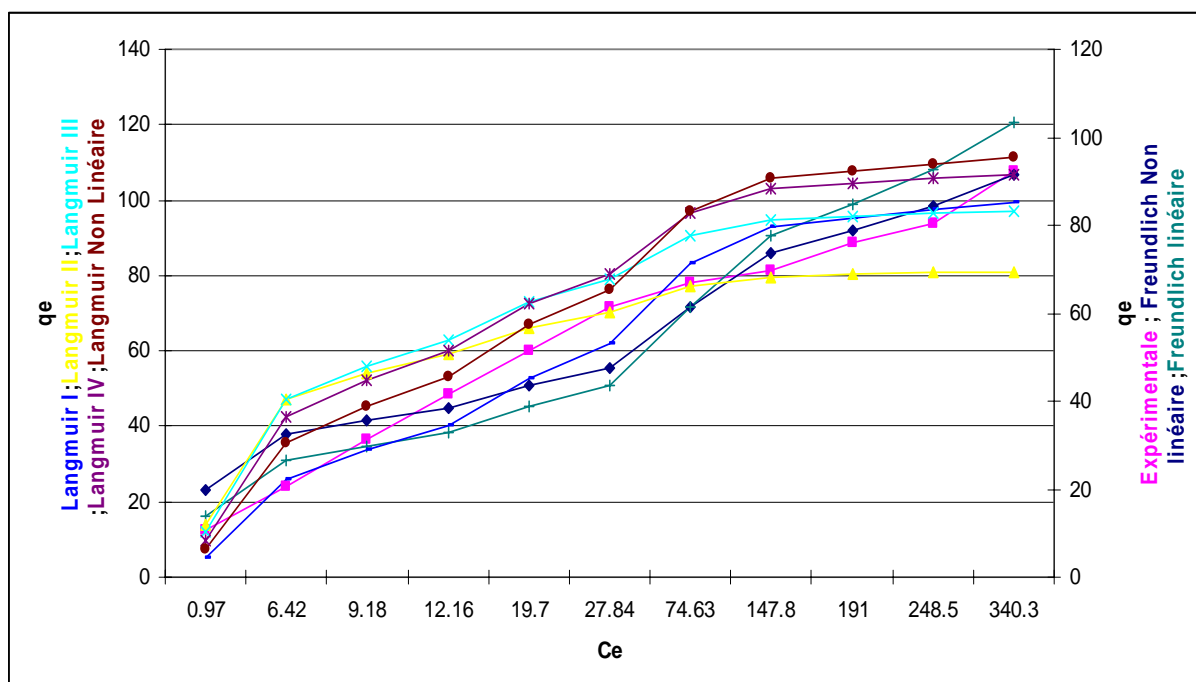


Fig IV.3.3.6 Représentation de tous les modèles d'isothermes d'adsorption du Jaune de Supranol par les pépins de raisins activés par le charbon actif Aldrich

IV.3.4 Comparaison des modèles des isothermes d'adsorption des trois colorants :

N.B Ce commentaire ne concerne que les modèles les plus favoris sélectionner dans ce chapitre.

-Tous les modèles des isothermes d'adsorption du Vert de Malachite et de Rouge de Nylosane et du Jaune de Supranol sont favorables.

-la moyenne des coefficients de déterminations des modèles d'isothermes linéaires de Langmuir pour le cas d'adsorption du vert de Malachite est presque parfaite est égale à 0.991 et la valeur de la capacité maximale moyenne est très importante pour le cas du Rouge de Nylosane.

-les modèles des isothermes non linéaires de Langmuir peuvent être mieux appliqués pour le cas d'élimination du Jaune de Supranol.

-les modèles des isothermes linéaires de Freundlich peuvent être mieux appliqués pour le cas d'adsorption du Vert Malachite parceque ces paramètres moyens sont supérieurs a ceux d'élimination du Rouge de Nylosane et de Jaune de Supranol.

-les modèles des isothermes non linéaires de Freundlich peuvent mieux régir l'adsorption du vert de Malachite.

CONCLUSION GENERALE

Les isothermes d'adsorption décrivent l'information qualitative sur la nature de l'interaction de corps soluté-surface aussi bien que la relation spécifique entre la concentration de l'adsorbant et son degré d'accumulation sur la surface d'adsorbant à une température constante. L'utilisation des adsorbants et l'analyse des données pour différents modèles d'isotherme est une étape importante pour trouver le modèle approprié qui peut être employé pour la conception ou le design, pour cela l'optimisation des isothermes d'adsorption est critiques.

L'adsorption est habituellement décrite par un isotherme ce dernier indique comment les molécules s'adsorbent et se distribuent entre la phase liquide et la phase solide où le processus d'adsorption atteint l'état d'équilibre.

Afin de comparer l'adsorption des colorants et d'avoir une bonne compréhension du processus d'adsorption, quatre modèles d'isothermes linéaires d'adsorption de Langmuir ; un modèle d'isotherme linéaire de Freundlich ; un modèle d'isotherme non linéaire d'adsorption de Langmuir et un modèle d'isotherme non linéaire de Freundlich ont été utilisés pour comparer les données expérimentales et calculer.

L'application des constantes dans l'évaluation et la comparaison de qualité et la capacité d'adsorption a été également démontrée. Les données expérimentales dans les études d'adsorption des colorants par différents adsorbants ont été adaptées aux équations de Langmuir et de Freundlich linéaires et/ou non linéaires de manière satisfaisante.

Les différents paramètres d'isothermes ; les équations numériques des modèles ; les coefficients de détermination correspondant ainsi les erreurs ont été déterminé on utilisant des méthodes de régression linéaire et non linéaires ainsi que dans le but de vérifier la validité du modèle d'isotherme, trois méthodes d'analyse des fonctions d'erreurs ont été utilisé : le Chi-square statistic & RMSE & APE afin d'évaluer les données. On note qu'on a obtenu les mêmes paramètres lors des régressions linéaires et non linéaires pour les modèles linéaires de Langmuir et de Freundlich.

Pour la régression linéaire on a utilisé la méthode des moindres carrées et l'Excel et pour la régression non linéaire on a utilisé le XLSTAT bien qu'ils existent différent autres software, notons qu'ils existent aussi une méthode de moindres carrées pour résoudre les équations non linéaires.

CONCLUSION GENERALE

La résolution des modèles d'isothermes non linéaires de Langmuir et de Freundlich a été faite on utilisant Graphpad prism V5 et XLSTAT.

L'étude des équilibres d'adsorption a été conduite à diverses concentrations initiales, les résultats obtenus pour l'adsorption des trois colorants ; Le Jaune de Supranol & Le Rouge de Nylosane et le Vert de Malachite dans différents adsorbants on comparant les modèles d'isotherme de Langmuir montre que :

On tenons compte des coefficients de détermination, la capacité maximale d'adsorption du Vert de Malachite par la sciure du bois traitée en H_3PO_4 est de 588.23mg/g qui est la plus maximum comparativement aux autres, ce cas d'isotherme de Langmuir est régi par le Type I. à noter qu'une adsorption maximale de 11111.11mg/g du Rouge de Nylosane par les pépins de raisins activés chimiquement par le H_3PO_4 et qui présente un coefficient de détermination de 0.9539 le modèle est du Type II mais l'adsorption du premier colorant présente un coefficient de détermination qui est près de l'unité 0.998 et une constante de Langmuir très significative.

L'adsorption du Vert de Malachite présente des résultats mieux que le Rouge du Nylosane qui est mieux du Jaune de Supranol.

La comparaison des modèles d'isotherme de Freundlich montre que :

La capacité d'adsorption du Vert de Malachite par la sciure du bois activée par le H_3PO_4 est la plus maximum elle est de 388.47 mg/g et présente une intensité d'adsorption importante la valeur de l'intensité d'adsorption 'n' est de 11.7807 confirme que l'adsorption est très favorable aussi le coefficient de détermination est le plus élevé il est de 0.984.

Donc on peut dire que l'adsorption du Vert de Malachite par la sciure du bois traitée en H_3PO_4 obéit au modèle de Langmuir Type I et de Freundlich.

On remarque que le Vert de Malachite s'adsorbe plus facilement que le Rouge du Nylosane et du Jaune de Supranol.

Aucun modèle de Langmuir Type III et/ou IV ne valide les données d'équilibres et le modèle d'isotherme du Type I est dominant.

Par conséquent, la concentration initiale du colorant a un effet significatif sur le temps d'équilibre. En fait, à des concentrations inférieures les sites d'adsorption valables sont relativement grands et par conséquent l'espèce de colorant peut trouver facilement des sites accessibles pour l'adsorption.

CONCLUSION GENERALE

Lorsque la concentration initiale du colorant augmente, la concentration à l'équilibre augmente, le taux d'élimination diminue et la quantité d'adsorption à l'équilibre augmente.

Nous avons aussi remarqué que l'adsorption a été améliorée en augmentant la concentration initiale du Vert de Malachite.

L'activation chimique des adsorbants spécialement par le H_3PO_4 améliore la capacité d'adsorption car dans les conditions de pH acide il y a un effet de synergie par les modifications des propriétés acido-basiques des adsorbants et des colorants, induisant une augmentation de la capacité d'adsorption. En particulier autour d'un pH acide des charges positives se créent par protonation d'un groupement amine du colorant et sur les sites de bord des adsorbants, ces modifications de charges de surface créent des sites d'adsorption supplémentaires.

En effet, Il apparaît qu'un milieu acide modifie quelque peu la structure de ces adsorbants initialement hydrophobes. Ceci peut s'expliquer grâce à la création de nouveaux sites supplémentaires qui augmenteraient d'avantage les capacités d'adsorption des colorants. D'ou la solubilité a une influence directe sur son adsorbabilité : plus le caractère hydrophobe du soluté est important et plus l'adsorbabilité risque d'être élevée.

Un effet de synergie peut s'ajouter lorsque la force ionique augmente avec agrégation des particules, formation d'une porosité ouverte et ainsi une meilleure capture des molécules. L'augmentation de l'acidité du milieu ne suffit pas à améliorer la capacité d'adsorption. Les valeurs des paramètres indiquent une adsorption de Type physique mais pour laquelle la taille des molécules de colorants et la nature des groupes fonctionnels jouent un rôle non négligeable.

Dans le cas général, une petite valeur d'énergie d'adsorption ' b' indique que l'adsorbant a une affinité élevée pour l'adsorbat. Les grandes valeurs de b ; q_e et q_m indique qu'il y aura une bonne capacité d'adsorption.

L'isotherme de Langmuir décrit bien les données expérimentales due a une distribution homogène des sites active puisque l'équation du modèle assume que la surface de l'adsorbant est énergétiquement homogène, il est apparent aussi que la valeur du constante de Freundlich ' n' indique une adsorption favorable.

Les pentes des sections linéaires indiquant les taux d'adsorption, une pente plus peu profonde correspondant à un processus d'adsorption plus lent.

La valeur observée des coefficients de déterminations, pour les deux isothermes prouve que les données expérimentales se sont mieux adaptées dans le cas du modèle de Langmuir que le modèle de Freundlich. L'adsorption se fait en mono-couche dans le cas d'isotherme de Langmuir et en multi-couche dans le cas d'isotherme de Freundlich.

L'emploi des équations théoriques ou empiriques est essentiel pour l'interprétation d'isotherme et la prévision de l'intensité de l'adsorption. Les valeurs de coefficient de détermination de Langmuir sont plus près à l'unité par rapport à l'isotherme de Freundlich, ainsi l'isotherme de Langmuir est plus significative que l'isotherme de Freundlich, suggérant ainsi une adsorption en monocouche.

Nous remarquons également que les paramètres caractérisant chaque modèle d'adsorption varient d'un support à l'autre. Ces différences de capacité d'adsorption sont expliquées par une différence au niveau de l'aire spécifique et de la porosité qui interviennent au niveau du nombre de sites d'adsorption disponible ainsi qu'au niveau de l'accessibilité aux sites.

On n'a pas trouvés les mêmes valeurs du coefficient de détermination pour les modèles d'isothermes linéarisé et non-linéarisé aussi bien tous les autres paramètres. En d'autres termes, la transformation du modèle d'isotherme non linéaire aux modèles d'isothermes linéaires semble changer un petit peu les fonctions d'erreur dans les cas étudié.

Une grande valeur du coefficient de détermination pour n'importe quel Type du modèle de Langmuir ou de Freundlich ne peut pas décrire les données d'équilibre si les valeurs de l'APE&RMSE et de Chi-square sont élevées.

Par conséquent, il n'est pas approprié d'employer uniquement les valeurs du coefficient de détermination pour comparer les isothermes.

Le modèle de Langmuir a montré qu'il y a un bon agrément entre les données expérimentales et calculer et décrit bien les données d'équilibres. L'adsorption peut être modélisée de manière satisfaisante par le modèle de Langmuir.

Il convient cependant de noter qu'une représentation précise par l'équation de l'isotherme des données est cruciale pour une bonne conception et modélisation du procédé d'adsorption.

Également l'isotherme d'adsorption est très utile pour le choix du meilleur adsorbant.

Pour chaque colorants on a remarqué que :

Les pépins de raisins activés chimiquement par le H_3PO_4 adsorbent bien le jaune de Supranol dans le cas du modèle d'isotherme linéaire et non linéaire de Langmuir et pour le KOH il adsorbent bien le jaune de Supranol dans le cas du modèle d'isotherme linéaire et non linéaire de Freundlich mais cela n'exclue pas les autres résultats qui sont aussi favorable.

Les pépins de raisins activés chimiquement par le KOH adsorbent bien le rouge de Nylosane dans le cas du modèle d'isotherme linéaire et non linéaire de Langmuir et de Freundlich mais cela n'exclue pas les autres résultats qui sont aussi favorable.

La sciure du bois traitée en H_3PO_4 adsorbe bien le Vert du Malachite dans le cas du modèle d'isotherme linéaire de Langmuir et du modèle d'isotherme linéaire et non linéaire de Freundlich.

La Sciure du Bois traitée en KOH adsorbe bien le Vert du Malachite dans le cas du modèle d'isotherme non linéaire de Langmuir.

Donc on peut conclure pour l'étude d'isothermes d'adsorption du Vert de malachite par la Sciure du Bois activée et par le Charbon Actif de Merck, que l'ordre décroissant de validité des modèles est comme suit :

Modèles Linéaires de Langmuir > Modèles Non Linéaires de Freundlich > Modèle Linéaire de Freundlich > Modèle Non Linéaire de Langmuir.

On peut conclure que les modèles d'isothermes d'adsorption du Rouge de Nylosane par les pépins de raisins et par le Charbon Actif de Merck peuvent prendre l'ordre de validité décroissant comme suit :

Modèles Linéaires de Langmuir > Modèles Non Linéaires de Freundlich > Modèle Linéaire de Freundlich > Modèle Non Linéaire de Langmuir.

On peut conclure pour l'élimination du Jaune de Supranol par les pépins de raisins activées et par le Charbon Actif d'Aldrich que tous les modèles des isothermes sont favorables et

ceux non linéaires de Langmuir sont les plus valides, l'ordre décroissant de validités est comme suit :

Modèle Non Linéaire de Langmuir > Modèles Linéaires de Langmuir > Modèles Non Linéaires de Freundlich > Modèle Linéaire de Freundlich

Il est important de se souvenir que la régression linéaire, le coefficient de corrélation et le coefficient de détermination sont tous des mesures linéaires. Ces mesures sont inefficaces quand les variables dépendante et indépendante ne sont pas liées linéairement entre elles.

L'analyse de régression non linéaire nous donne des valeurs valides pour des intervalles ou des observations manquantes et nous offre une représentation graphique facile à comprendre mais il faut justifier notre modèle comme pour les modèles linéaires. Évidemment, il faut aussi vérifier l'aspect statistique avec les coefficients de corrélation ou de détermination.

Si les données contiennent des valeurs extrêmes, les paramètres peuvent être faussés.

Souvent, la linéarisation est employée pour estimer les caractéristiques d'adsorption de certains systèmes d'adsorption, le présent travail prend en compte l'estimation de la variation des paramètres, aussi bien que les coefficients de détermination (entre l'expérimentales et les valeurs Modélées) sont garantis contre une linéarisation étendue, ce qui peut mener aux résultats incorrects (une fois comparé aux solutions optimisées non linéaires).

En outre, les divers modèles de la linéarisation s'ajoutent à un détail aux déviations en valeurs estimées. Ainsi, il est préférable de trouver les coefficients d'isotherme par la méthode non linéaire et linéaire et les comparer, les résultats obtenus seront acceptés comme approximatifs, non exact.

REFERENCE

- [1]- BELAYACHI Hanane. Mémoire de Magister. Soutenu en 2009. Université de Mostaganem
Préparation et caractérisation d'un support adsorbant à partir des pépins de raisin pour
l'adsorption de substances organiques dans les solutions simples et binaires.
- [2]- DJOURDEM Abderrahmane. Mémoire de Magister en Génie des procédés. Soutenu en
2009. Université de Mostaganem
Elimination du phénol et du vert de malachite par la sciure de bois activée.
- [3]- B. SUBRAMANYAM; A. Das. School of Civil Engineering, SASTRA University, Thanjavur,
India. Int.
Linearized and non-linearized isotherm models comparative study on adsorption of aqueous
phenol solution in soil.
J. Environ. Sci. Tech., 6 (4), 633-640, Autumn 2009. IRSEN, CEERS, IAU.
- [4]- JOHN U. Kennedy Oubagaranadin, Z.V.P. Murthy and P.S. Rao.
Applicability of Three-parameter Isotherm Models for the Adsorption of Mercury on Fuller's
Earth and Activated Carbon.
INDIAN CHEMICAL ENGINEER, Indian Institute of Chemical Engineers. Vol. 49 No. 3 July-
September 2007, pp. 196-204
- [5]-Corresponding author-Email: sreedharreddysajjala@gmail.com.
Comparative evaluation of commercial and sewage sludge based activated carbons for the
removal of textile dyes from aqueous solution.
Iran. J. Environ. Health. Sci. Eng., 2006, Vol. 3, No. 4, pp. 239-246
- [6]- ITODO, A U; ITODO, H U; GAFAR, M K.
Estimation of Specific Surface Area using Langmuir Isotherm Method.
Appl. Sci. Environ. Manage. December, 2010 Vol. 14 (4) 141 - 145
- [7]- Lev D. Gelb and K. E. Gubbins.
Characterization of Porous Glasses: Simulation Models, Adsorption Isotherms, and the
Brunauer-Emmett-Teller Analysis Method.
1998 American Chemical Society. Received September 15, 1997. In Final Form: December 10,
1999. Langmuir 1998, 14, 2097-2111
- [8]- Nouredine BARKA. Thèse de doctorat
L'élimination des colorants de synthèse par adsorption sur un phosphate naturel et par
dégradation photocatalytique sur TiO₂ supporté
- [9]- M. R. Samarghandi, M. Hadi, S. Moayedi, F. Barjasteh Askari .
Two-parameter isotherms of methyl orange sorption by pinecone derived activated carbon.
Iran. J. Environ. Health. Sci. Eng., 2009, Vol. 6, No. 4, pp. 285-294.

REFERENCE

[10]-F. ABDELMALEK; S. GHARBI; A. ADDOU; J.L BRISSET.

Dégradation de colorants et de rejets industriels par plasma non thermique de type Glidarc (Degradation of industrial wastewater by Glidarc non- thermal plasma treatment).

Proceedings of International Symposium on Environmental Pollution Control and Waste Management 7-10 January 2002, Tunis (EPCOWM'2002), p.660-671.

[11]- Lang, Weeranuch; Dejma, Chomawan; Sirisansaneeyakul, Sarote; Sakairi, Nobuo.

Biosorption of nonylphenol on dead biomass of *Rhizopus arrhizus* encapsulated in chitosan beads.

Bioresource Technology, 100(23): 5616-5623. Issue Date: 2009-12. Doc URL: <http://hdl.handle.net/2115/39539>. Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

[12]- Harrison, Ferrin; Katti, S.K.

Optimal Design in and Hazards of linearization of Langmuir's Nonlinear Model.

PUB Date: jun 90. US Department of education. Office of Educational Research and Improvement. Educational resources information center (ERIC)

[13]- S. Kacha, M. S. Ouali et S. Elmaleh.

Article: Élimination des colorants des eaux résiduaires de l'industrie textile par la bentonite et des sels d'aluminium.

Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science, vol. 10, n° 2, 1997, p. 233-248.

[14]- K. H. Chong and B. Volesky.

Description of Two-Metal Biosorption Equilibria by Langmuir-Type Models

Biotechnology and Bioengineering, Vol.47, Pp.451-460(1995). 1995 John Wiley&Sons, Inc

[15]-Seungman Sohn a, Dongsu Kim b.

Short Communication: Modification of Langmuir isotherm in solution systems—definition and utilization of concentration dependent factor

Chemosphere 58 (2005) 115–123.

[16]-Xue-Fei Sun a, Shu-Guang Wang a, Xian-Wei Liu a, Wen-Xin Gong a, Nan Bao a,

Bao-Yu Gao a, Hua-Yong Zhang b.

Biosorption of Malachite Green from aqueous solutions onto aerobic granules: Kinetic and equilibrium studies

Bioresource Technology 99 (2008) 3475–3483.

[17]-Yuh-Shan Ho .

Selection of optimum sorption isotherm

2004 Elsevier Ltd. Letters to the Editor / Carbon 42 (2004) 2113–2130

REFERENCE

[18]-B Barkhordar , M Ghiasseddin .

Comparison of Langmuir and Freundlich Equilibriums in Cr, Cu and Ni Adsorption by Sargassum

Iranian J Env Health Sci Eng, 2004, Vol.1, No.2, B and Ghiasseddin

[19]- S. E Abechi, C. E. Gimba, A. Uziaru & I. G. Ndukwe.

Short communication report : Comparative studies on adsorption of methylene blue (MB) by sawdust and walnut shells carbon coated with ZnO

Science world journal vol 1(N1)2006 .www.sciecnceworldjournal.com

[20]-R. Rajeshkannan;M. Rajasimman;N. Rajamohan .

Decolourization of Malachite Green using tamarind seed: optimization, isotherm and kinetic studies.

Association of the Chemical Engineers AChE www.ache.org.rs/CICEQ

Chemical Industry & Chemical Engineering Quarterly 17 (1) 67–79 (2011) CI&CEQ

[21]- A. Bennani Karim, B. Mounir, M. Hachkar, M. Bakasse, A.Yaacoubi.

Adsorption of Malachite Green dye onto raw Moroccan clay in batch and dynamic system

Canadian Journal on Environmental, Construction and Civil Engineering Vol. 2, No. 2, February 2011

[22]- Alok Mittal , Lisha Kurup, Jyoti Mittal.

Freundlich and Langmuir adsorption isotherms and kinetics for the removal of Tartrazine from aqueous solutions using hen feathers

Journal of Hazardous Materials 146 (2007) 243–248.

[23]- Okeola F.O. And Odebunmi E.O.

Advances in Natural and Applied Sciences, 4(3): 281-288, 2010

Original article: Freundlich and Langmuir Isotherms Parameters for Adsorption of Methylene Blue by Activated Carbon Derived from Agrowastes

[24]- B.V. Babu and V.

Novel adsorbents for solid-liquid separations

Associate Professor, Chemical Engineering Group; Group Leader, Engineering Technology

[25]- A. M. Ben Hamissa; M. C. Ncibi; B. Mahjoub; M. Seffen.

Biosorption of metal dye from aqueous solution onto *Agave americana* (L.) fibres

Int. J. Environ. Sci. Tech., 5 (4), 501-508, Autumn 2008

[26]- R. Rajeshkannan, M. Rajasimman, N. Rajamohan

Removal of Malachite Green from Aqueous Solution using *Hydrilla verticillata* - Optimization, Equilibrium and Kinetic Studies

REFERENCE

International Journal of Civil and Environmental Engineering 2:4 2010

[27]- Jean CHARPIN.

Mesure des surfaces spécifiques

Techniques de l'Ingénieur, traité Analyse et Caractérisation

[28]- Françoise ROUQUEROL ; Laurent LUCIANI ; Philip LLEWELLYN ;Renaud DENOYEL et Jean ROUQUEROL

Texture des matériaux pulvérulents ou poreux

[29]- Mme Amirouche Leila épouse Outiou. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou. Département de Chimie. Mémoire de Magister Option :Chimie de l'Environnement. Soutenu :2011

Etude du pouvoir de sorption du Cuivre(2),du Zinc(2) et des polyphenols par les bentonites sous l'effet des irradiations micro-ondes.

[30]- Hoda Roushdy Guendy. National Institute of Oceanography and Fisheries,anfoushy,egypt
Treatment and Reuse of Wastewater in the Textile Industry by Means of Coagulation and Adsorption Techniques

Journal of Applied Sciences Research, 6(8): 964-972, 2010.INSInet Publication

[31]- Himanshu Patel and R.T. Vashi .

Treatment of Textile Wastewater by Adsorption and Coagulation

E-Journal of Chemistry. <http://www.e-journals.net> 2010, 7(4), 1468-1476

[32]- M. A. Mumin; M. M. R. Khan; K. F. Akhter; M. J. Uddin

Potentiality of open burnt clay as an adsorbent for the removal of Congo red from aqueous solution

Int. J. Environ. Sci. Tech., 4 (4): 525-532, Autumn 2007.IRSEN, CEERS, IAU

[33]- Ratna Shelke ;Jagdish Bharada ;Balaji Madjea ;Milind Ubalea .

Adsorption of Nickel (II), Copper (II) and Iron (III) On Raatrani Leaf Powder:Kinetics and Equilibrium Studies

Milind Ubale et al./ J.Adv.Sci.Res.,2010, 1(1);20-27 Journal of Advanced Scientific Research

J. Adv. Sci. Res, 2010, 1(1); 20-27 .

[34]- Siew-Teng Ong, Chnoong-Kheng Lee and Zulkarnain Zainal.

A Comparison of Sorption and Photodegradation Study in the Removal of Basic and Reactive Dyes

Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 3(4): 3408-3416, 2009

[35]- C. M. Zvinowanda; 1J. O. Okonkwo; 2P. N. Shabalala; 3N. M.

A novel adsorbent for heavy metal remediation in aqueous environments

REFERENCE

- Int. J. Environ. Sci. Tech., 6 (3), 425-434, Summer 2009. IRSEN, CEERS, IAU
- [36]- Rajeshwari Sivaraj. R. Venkatesh. Gowri. G. Sangeetha
Activated carbon prepared from eichornia crassipes as an adsorbent for the removal of dyes from aqueous solution
Rajeshwari Sivaraj et. al. / International Journal of Engineering Science and Technology. Vol. 2(6), 2010, 2418-2427
- [37]- A. K. Patil and V. S. Shrivastava
Adsorbent for Removal of Congo red from Aqueous Solution
International Journal of ChemTech Research. CODEN(USA): IJCRGG ISSN : 0974-4290
Vol.2, No.2, pp 842-850, April-June 2010
- [38]- handbook of applied surface and colloid chemistry - volume 2.pdf
- [39]- Investigations on the removal of chromium (VI) from wastewater by sugarcane bagasse
Water & Wastewater Asia • January/February 2007
- [40]- Yuh-Shan Ho a,_, Wen-Ta Chiu b, Chung-Chi Wang
Regression analysis for the sorption isotherms of basic dyes on sugarcane dust
Bioresource Technology 96 (2005) 1285–1291
- [41]- M. Urík; P. Littera; J. Ševc; 1M. Kolenčík; 2S. Čerňanský
Removal of arsenic (V) from aqueous solutions using chemically modified sawdust of spruce (Picea abies): Kinetics and isotherm studies
Int. J. Environ. Sci. Tech., 6 (3), 451-456, Summer 2009. IRSEN, CEERS, IAU
- [42]- Rathinam Aravindhan, Jonnalagadda Raghava Rao, Balachandran Unni Nair
Removal of basic yellow dye from aqueous solution by sorption on green alga *Caulerpa scalpelliformis*
- [43]- Mas Rosemal Hakim Mas Haris, and Kathiresan Sathasivam
The Removal of Methyl Red from Aqueous Solutions Using Banana Pseudostem Fibers
American Journal of Applied Sciences 6 (9): 1690-1700, 2009 Science Publications
- [44]- Vijaya Kumar G1, Renjith Thomas, Dharmendra Kumar M
Equilibrium and kinetics modeling on the removal of malachite green from aqueous solution using barites.
- [45]- Reza Shokoohi, Vahid Vatanpoor, Mansuour Zarrabi and Akram Vatani
Adsorption of Acid red 18 (AR18) by activated carbon from poplar wood - a kinetic and Equilibrium Study
E-Journal of Chemistry <http://www.e-journals.net> 2010, 7(1), 65-72
- [46]- V.O. Ojijo, M.S. Onyango, Aoyi Ochieng, F.A.O. Otieno

REFERENCE

A comparative study of the performance of south African coal fly ash and carbonaceous adsorbents in the removal of melanoidin from wastewater

[47]- Sung Wook Won, Yeoung-Sang Yun.

Biosorptive removal of Reactive Yellow 2 using waste biomass from lysine fermentation process
Dyes and Pigments 76 (2008) 502e507.Science direct

[48]- N. KANNAN. S. MURUGAVEL. Department of Chemistry (PG), Ayya Nadar Janaki
Comparative study on the removal of acid violet by adsorption on various low cost adsorbents
Global NEST Journal, Vol 10, No 3, pp 395-403, 2008

[49]- N. BARKA, A. NOUNAH, A. ASSABBANE, Y. AÏT ICHOU.

Evaluation du pouvoir adsorbant du phosphate naturel dans le traitement des rejets textiles:
comparaison avec le charbon actif
COVAPHOS II Volume 4 (2006)

[50]-Shih-Chin Tsai,Kai-Wei Juang.

Comparison of linear and non linear forms of isotherm models for strontium sorption on a
sodium bentoniteclear Chemistry,Vol 243,N0 3(2000) 741-746

Journal of Radioanalytical and Nu

[51]-Hemsas Sabrina. Université M'Hamed Bougera Boumerdes. Faculté des sciences de
L'ingénieur.Dept.Genie de l'environnement. Laboratoire de Technologie Alimentaire. Mémoire
de Magister. Option traitement des effluents Industriels. Année universitaire 2007/2008

Contribution à l'étude de la décoloration des eaux sur grignons d'olives valorisés étude
dynamique.

[52]-Emrah Bulut , Mahmut O' zacar , I. Ayhan S engil

Adsorption of malachite green onto bentonite: Equilibrium and kinetic studies and process
design

Science direct.Microporous and Mesoporous Materials 115 (2008) 234–246.

[53]- FOUZIA BELAIB Epouse NEKAA. Thèse de doctorat en sciences en Génie des
procédés..Université Mentouri de Constantine. Faculté des Sciences de l'ingénieur.Département
de Chimie Industrille .Soutenu le 17/07/2006

Etude expérimentale de l'effet de l'enrobage de supports solides par des polymères conducteurs
sur leur capacité de rétention des cations métalliques en solution aqueuse
par adsorption. Application à la silice et à certains matériaux naturels

[54]- François Perche.THÈSE NO 3041 (2004).École polytechnique fédérale de Lausanne.
Faculté Sciences et techniques de l'ingénieur.Institut des matériaux. Section des Matériaux
Adsorption de polycarboxylates et de lignosulfonates sur poudre modèle et ciments