

N° d'ordre :

N° de série :

UNIVERSITÉ KASDI MERBAH OUARGLA

Faculté des Sciences Appliquées Département de Génie des Procédés



Mémoire

MASTER ACADÉMIQUE

Domaine : Sciences & Technologies

Filière : Génie des Procédés

Spécialité : Génie de l'environnement

Présenté par : BOUAFIA Sid Ali

Thème

Étude de l'effet du prétraitement sur le séchage statique des fraises

Soutenu publiquement

Le : 26/06/2018

Devant le jury :

M. LASSOUED	Ridha	Maître Assistant	A	Président
M. LATI	Moukhtar	Maître Assistant	A	Examineur
M. KHAMA	Réda	Maître de Conférences	A	Rapporteur

Année universitaire : 2017 / 2018

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à mes chers parents qui ont consacré leur vie à me faire atteindre ce poste.

Pour ma meilleure chère sœur, qui était aussi ma mère et ma meilleure amie.

*Dédicace spéciale au meilleur neveu du monde entier
Hicham.*

À mes frères et sœurs bien-aimés avec leurs fils et leurs filles.

Sid Ali

Remerciements

Mes remerciements spéciaux doivent être donnés d'abord à mon dieu Allah, puis à mon encadrant Réda KHAMA pour ses conseils honnêtes et ses encouragements et à tous les enseignants qui m'ont aidé.

Sid Ali

Sommaire

Dédicaces	I
Remerciements	II
Liste des figures.....	III
Liste des tableaux.....	IV
Introduction générale ...	1

Chapitre I : Généralités

I.1. Le séchage dans la littérature.....	3
I.2. Objectif du séchage des fruits	3
I.3. Principaux types de l'opération	4
I.4. Le séchage thermique	4
Séchage thermique naturel	4
Séchage thermique convectif	4
Séchage thermique solaire	4
I.5 Paramètres du processus	6
I.6 Phases du processus	6
Phase 0 : Phase de mise en température.....	7
Phase 1 : Phases à allure constante	7
Phase 2 : Phase de ralentissement.....	7
I.7. Le prétraitement	8
I.7.1. Généralités sur le prétraitement.....	8
I.7.2. Différents types de prétraitement.....	8
I.7.3. L'objectif des prétraitements.....	9

Chapitre II : Méthodologie

II.1. Introduction	11
II.2 Matériels.....	11
II.3 Prétraitement utilisés.....	12
II.4 Mesures et analyse.....	13
II.4.1 Mesure de la masse humide des échantillons	13
II.4.2. Mesure du rétrécissement des échantillons	14
II.4.3 Détermination de la masse sèche des échantillons.....	15
II.4.4 Détermination de la teneur en eau instantanée des échantillons.....	15
II.4.5 Détermination de la vitesse de séchage	15
II.4.6 Détermination du volume des échantillons	15

Chapitre III : Résultats et Discussion

III.1. Introduction.....	17
III.2. Étude de l'effet du prétraitement sur les dimensions des fraises.....	17
III.3 Étude de l'effet de la température sur les dimensions des fraises.....	25
III.4. Étude de l'effet du prétraitement sur la cinétique de séchage.....	35
III.5. Étude de l'effet de la température sur la cinétique de séchage.....	36
III.6. Étude de l'effet du prétraitement sur la vitesse de séchage.....	38
III.7. Étude de l'effet de la température sur la vitesse de séchage.....	41
Conclusion générale.....	47
Références	49

Listes des figures

La figure	Le titre	La page
Figure I.1	Séchoir solaire direct	5
Figure I.2	Séchoir solaire indirect	5
Figure I.3	Courbes d'évolution type au cours du temps de la teneur en eau du produit, de la vitesse de séchage et de la température du produit	6
Figure II.1	Échantillons des fraises utilisés.	10
Figure II.2	Étuve régulée utilisée.	10
Figure II.3	Dithionite de sodium ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$) utilisé	11
Figure II.4	Hydroxyde de sodium (NaOH) utilisé.	11
Figure II.5	Balance analytique utilisée.	12
Figure II.6	Pied à coulisse à cadran utilisé	12
Figure III.1	Variation du diamètre des fraises au cours du séchage statique à 70 °C	21
Figure III.2	Variation du diamètre des fraises au cours du séchage statique à 60 °C	21
Figure III.3	Variation du diamètre des fraises au cours du séchage statique à 50 °C	22

Figure III.4	Variation de l'épaisseur des fraises au cours du séchage statique à 70 °C	23
Figure III.5	Variation de l'épaisseur des fraises au cours du séchage statique à 60 °C	23
Figure III.6	Variation de l'épaisseur des fraises au cours du séchage statique à 50 °C	24
Figure III.7	Variation du volume des fraises au cours du séchage statique à 70 °C	25
Figure III.8	Variation du volume des fraises au cours du séchage statique à 60 °C	25
Figure III.9	Variation du volume des fraises au cours du séchage statique à 50 °C	26
Figure III.10	Variation du diamètre des fraises sans prétraitement au cours du séchage statique	27
Figure III.11	Variation de l'épaisseur des fraises sans prétraitement au cours du séchage statique	27
Figure III.12	Variation du volume des fraises sans prétraitement au cours du séchage statique	28
Figure III.13	Variation du diamètre des fraises prétraitées par blanchiment au cours du séchage statique	29
Figure III.14	Variation de l'épaisseur des fraises prétraitées par blanchiment au cours du séchage statique	29
Figure III.15	Variation du volume des fraises prétraitées par blanchiment au cours du séchage statique	30

Figure III.16	Variation du diamètre des fraises prétraitées par (NaCl) au cours du séchage statique	31
Figure III.17	Variation de l'épaisseur des fraises prétraitées par (NaCl) au cours du séchage statique	31
Figure III.18	Variation du volume des fraises prétraitées par (NaCl) au cours du séchage statique	32
Figure III.19	Variation du diamètre des fraises prétraitées par (NaOH) au cours du séchage statique	33
Figure III.20	Variation de l'épaisseur des fraises prétraitées par (NaOH) au cours du séchage statique	33
Figure III.21	Variation du volume des fraises prétraitées par (NaOH) au cours du séchage statique	34
Figure III.22	Variation du diamètre des fraises prétraitées par (Na ₂ S ₂ O ₄) au cours du séchage statique	35
Figure III.23	Variation de l'épaisseur des fraises prétraitées par (Na ₂ S ₂ O ₄) au cours du séchage statique	35
Figure III.24	Variation du volume des fraises prétraitées par (Na ₂ S ₂ O ₄) au cours du séchage statique	36
Figure III.25	Variation de la teneur en eau des fraises au cours du séchage statique à 70 °C	37
Figure III.26	Variation de la teneur en eau des fraises au cours du séchage statique à 60 °C	37

Figure III.27	Variation de la teneur en eau des fraises au cours du séchage statique à 50°C	38
Figure III.28	Variation de la teneur en eau de fraise sans prétraitement	38
Figure III.29	Variation de la teneur en eau des fraises prétraitées par blanchiment	39
Figure III.30	Variation de la teneur en eau des fraises prétraitées par le chlorure de sodium (NaCl)	39
Figure III.31	Variation de la teneur en eau des fraises prétraitées par l'hydroxyde de sodium (NaOH)	40
Figure III.32	Variation de la teneur en eau des fraises prétraitées par le dithionite de sodium (Na ₂ S ₂ O ₄)	40
Figure III.33	Variation de la vitesse de séchage statique des fraises à 70 °C	41
Figure III.34	Variation de la vitesse de séchage statique des fraises à 60 °C	42
Figure III.35	Variation de la vitesse de séchage statique des fraises à 50 °C	42
Figure III.36	Variation de la vitesse de séchage statique des fraises sans prétraitement	43
Figure III.37	Variation de la vitesse de séchage statique de fraises prétraitées par blanchiment	43

Figure III.38	Variation de la vitesse de séchage statique de fraises prétraitées par le chlorure de sodium	44
Figure III.39	Variation de la vitesse de séchage statique de fraises prétraitées par l'hydroxyde de sodium	44
Figure III.40	Variation de la vitesse de séchage statique de fraises prétraitées par le dithionite de sodium	45

Liste des tableaux

Le tableau	Le titre	La page
Tableau III.1	Résultats des dimensions des fraises sans prétraitement au cours du séchage statique	18
Tableau III.2	Résultats des dimensions des fraises prétraités par blanchiment au cours du séchage statique	19
Tableau III.3	Résultats des dimensions des fraises prétraitées par (NaCl) au cours du séchage statique	19
Tableau III.4	Résultats des dimensions des fraises prétraitées par (NaOH) au cours du séchage statique.	20
Tableau III.5	Résultats des dimensions des fraises prétraitées par (Na ₂ S ₂ O ₄) au cours du séchage statique	20

Résumé

Le but de ce travail est d'étudier expérimentalement comment les prétraitements thermique et alcalin affectent le séchage des fraises. Le type de séchage pour cette étude étant le séchage statique dans une étuve régulée.

Les résultats ont montré que l'effet du prétraitement est évident en termes de rétrécissement des dimensions du fruit (diamètre, épaisseur et volume) pendant l'opération en comparaison avec des échantillons non prétraités. Il a été noté, également, que la température joue un rôle important dans le processus de séchage lui-même mais avec une différence remarquable en allant d'un séchage sans prétraitement vers un séchage avec prétraitement, mais aussi d'un prétraitement à un autre. Au cours du séchage statique aux températures 70 et 50°C d'une tranche de fraise sans prétraitement, le volume a diminué de 85% et 81% respectivement alors que pour une tranche de fraise prétraitée avec de l'hydroxyde de sodium, le volume a diminué de 90% et 99% respectivement, confirmant ainsi l'effet du prétraitement sur le séchage des fraises.

Mots clés : Séchage - Étuve régulée - Fraises - Prétraitement - Température.

Summary

The purpose of this work is to study experimentally how thermal and alkaline pre-treatment affect the drying of strawberries. The type of drying for this study was static drying in a regulated oven.

The results showed that the effect of pre-treatment is evident in terms of narrowing of the fruit dimensions (diameter, thickness and volume) during the operation in comparison with untreated samples. It has also been noted that temperature is important in the drying process itself. During the static drying at 70 ° C and 50 ° C of a strawberry slice without pre-treatment, the volume decreased by 85% and 81% respectively whereas for a strawberry slice pre-treated with sodium hydroxide at During the same type of drying, the volume decreased by 90% and 99% respectively, thus confirming the presence of the effect of pre-treatment on fruit drying.

Key words: Drying - Regulated oven - Strawberries - Pre-treatment - Temperature.

ملخص

الغرض من هذا العمل هو دراسة تجريبية لكيفية تأثير المعالجة الحرارية والقلوية على تجفيف الفراولة. نوع التجفيف لهذه الدراسة هو التجفيف الساكن في فرن منظم.

أظهرت النتائج أن تأثير المعالجة السابقة واضح من حيث تضيق أبعاد الثمار (القطر، السمك والحجم) أثناء العملية مقارنة مع العينات غير المعالجة. وقد لوحظ أيضا أن درجة الحرارة تلعب دورا هاما في عملية التجفيف نفسها. خلال التجفيف الساكن عند 70 درجة مئوية و 50 درجة مئوية من شريحة الفراولة دون معالجة مسبقة ، انخفض الحجم بنسبة 85 % و 81 % على التوالي بينما بالنسبة لشريحة الفراولة المعالجة مسبقاً مع هيدروكسيد الصوديوم عند خلال نفس النوع من التجفيف ، انخفض الحجم بنسبة 90 % و 99 % على التوالي ، مما يؤكد وجود تأثير المعالجة المسبقة على تجفيف الفاكهة.

الكلمات المفتاحية: التجفيف - فرن منظم - الفراولة - المعالجة المسبقة - درجة الحرارة

Introduction

générale

Introduction générale

Le séchage permet de stocker et de conserver les fruits et légumes pour les utiliser ultérieurement au moment de leur non disponibilité.

Le séchage des fruits est en effet l'une des méthodes les plus anciennes de conservation, son objectif principal est d'éliminer l'eau présente dans le fruit pour réduire et éliminer l'activité enzymatique et l'oxydation. [1]

En contre partie, le séchage est une opération consommatrice d'énergie, donc c'est trop cher de sécher et pour y remédier, il faudrait mieux jouer sur la température et/ou sur la durée de séchage, par exemple. Pour ce faire, prétraiter les fruits avant leur séchage est l'une des solutions suggérées.

L'objectif principal de cette étude est d'étudier l'effet du prétraitement des fraises séchées à l'étuve tout en suivant les résultats de cet effet sur la masse, la teneur en eau voire la cinétique de séchage et enfin sur les dimensions du fruit.

Ce mémoire est divisé en trois chapitres :

Le chapitre I est une étude bibliographique consacrée à des généralités essentielles pour notre étude.

Le chapitre II présente la méthodologie suivie lors de l'élaboration du travail expérimental.

Le chapitre III est consacré à la présentation des résultats et à leur discussion.

Enfin, une conclusion générale clôture le manuscrit.

Chapitre I: Généralités

I. Généralités

I.1. Le séchage dans la littérature

Le séchage est un procédé qui sépare un liquide d'un solide, d'un semi-solide, voire d'un liquide par évaporation. Cette opération est endothermique et nécessite l'apport d'énergie thermique. [2]

Quant au séchage des fruits, les définitions suivantes sont envisageables :

- Le séchage est un procédé très ancien de conservation des produits agricoles et alimentaires. Il permet de convertir des denrées périssables en produits stabilisés, par abaissement de l'activité d'eau jusqu'à une valeur inférieure à 0.5. La plupart du temps, ces produits sont stockés à température ambiante, avant d'être réhydratés pour une utilisation dans un procédé industriel ou dans une préparation culinaire. [3]
- Le séchage, qu'il soit traditionnel ou moderne, est destiné à réduire considérablement les diverses réactions impliquées dans la décomposition normale du produit. Pour ce faire, il est nécessaire d'extraire une partie importante de l'eau contenue dans le produit. Cette eau est éliminée par évaporation dans l'air ambiant. Pour cela, vous avez besoin d'énergie thermique: le soleil, l'électricité et le gaz. Le but de cette opération est de stabiliser le degré hygrométrique du produit pour éviter toute détérioration lors du stockage. [4]
- Le séchage est une technique ancienne dans les pays méditerranéens où les gens faisaient sécher leurs aliments pour les conserver. Le séchage est la technique la meilleure et la plus pratique parmi toutes les méthodes de conservation et de traitement des aliments, car la teneur en humidité du produit est grandement réduite, ce qui aide à prévenir la dégradation microbienne. [5]

I.2. Objectif du séchage des fruits

Le séchage consiste à éliminer l'eau d'un aliment par évaporation dans l'air environnant ; la faible teneur en eau du produit sec empêche : [1]

Les attaques des micro-organismes qui ne peuvent se développer et se multiplier dans les aliments peu humides.

L'action des enzymes contenues naturellement dans les aliments. Les enzymes sont inactivées dès que la teneur en eau descend en dessous d'un certain seuil. Chaque aliment est caractérisé par

une teneur en humidité qui garantit sa bonne conservation. Il est donc essentiel que le séchage permette d'atteindre ce taux d'humidité spécifique. [1]

I.3. Principaux types de l'opération [6]

* **Type mécanique** : élimination du liquide par des forces purement mécaniques (pressage, centrifugation, compression, décantation et filtration).

* **Type chimique** : procédé basé sur l'utilisation de produits déshydratants (chlorure de calcium,...) pour extraire l'eau.

* **Type thermique** : essentiellement un transfert de masse nécessitant au préalable une activation de l'eau par une certaine quantité d'énergie apportée par un transfert de chaleur.

I.4. Le séchage thermique

Il s'agit du séchage utilisant l'énergie thermique c'est-à-dire la chaleur. Il existe sous trois principaux modes : le séchage thermique naturel, le séchage thermique convectif et le séchage thermique solaire.

Séchage thermique naturel : C'est un séchage traditionnel qui consiste à exposer les produits humides à sécher au rayonnement solaire. Ce type de séchage convient aux zones arides et sèches où la méthode traditionnelle est déjà relativement performante. Il permet de sécher la majorité des fruits et légumes et convient pour de petites productions familiales destinées à l'autoconsommation où l'investissement en matériel est faible. [7]

Séchage thermique convectif : C'est un séchage mécanique qui utilise des appareils appropriés appelés : séchoirs ou sècheurs. Le processus se fait par l'air asséchant qui est chauffé à une température désirée et, même parfois, à une humidité relative voulue. Ce type de séchage est plus rapide mais plus coûteux. Le produit séché est également de qualité meilleure. [7]

Séchage thermique solaire : Il est effectué dans des séchoirs solaires qui utilisent l'énergie solaire convertie en chaleur pour sécher les produits humides dans des séchoirs solaires directs (voir figure I.1) ou indirects (voir figure I.2). [7]

Dans le type direct, le produit est placé dans l'appareil et exposé directement au rayonnement solaire. Parmi ses avantages, nous pouvons mentionner la meilleure protection contre la poussière, les insectes, les animaux et la pluie grâce au séchage traditionnel, et le besoin de main-d'œuvre qualifiée. D'autre part, la fragilité des matériaux en polyéthylène qui doivent être changés

régulièrement, la dégradation de la qualité par l'exposition directe au soleil et la destruction des vitamines A et C sont de réels inconvénients. [7]

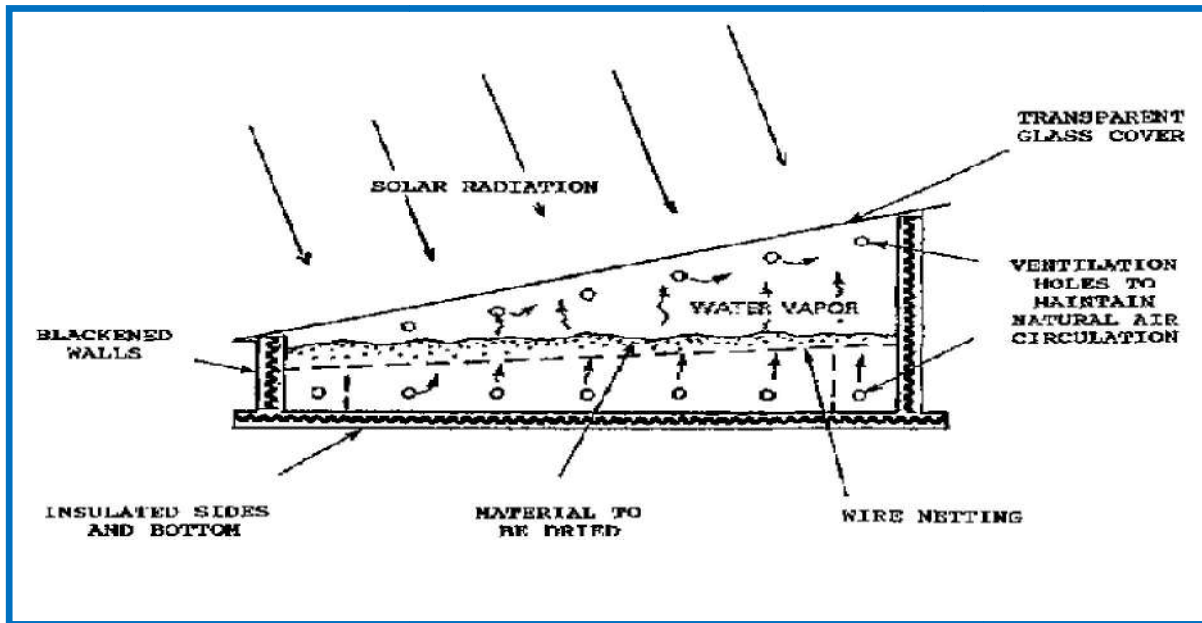


Figure I.1 : Séchoir solaire direct. [8]

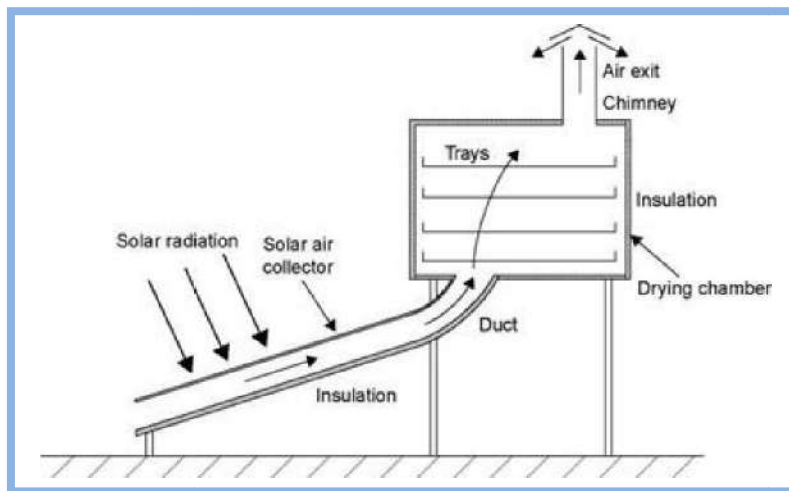


Figure I.2 : Séchoir solaire indirect. [9]

Les séchoirs solaires indirects sont des systèmes plus efficaces que les séchoirs directs, ils ont l'avantage de mieux préserver les caractéristiques de l'aliment: sa couleur, son aspect et sa valeur nutritionnelle. Ils sont donc particulièrement adaptés au séchage des produits alimentaires. Mais ils ont encore quelques inconvénients tels que: la vitesse de séchage qui est très variable selon les

conditions climatiques et la conception du séchoir et la fragilité des matériaux en polyéthylène qui doivent être changés régulièrement. [7]

I.5. Paramètres du processus

Les paramètres les plus importants à prendre en compte lors du processus de séchage thermique sont, d'après [7] :

- ❖ La température et l'humidité relative de l'air asséchant.
- ❖ La vitesse de séchage.
- ❖ La teneur en eau des produits humides à sécher.
- ❖ La teneur en eau finale des produits séchés.

I.6. Phases du processus

La vaporisation de l'eau s'effectue en surface du produit. Le transfert de l'eau de l'intérieur vers la surface du produit conditionne fortement la vitesse de séchage et explique la forme des courbes d'évolution en fonction du temps. Pour comprendre les phénomènes de migration de l'eau dans les produits humides, on doit considérer simultanément les transferts de masse et de chaleur dans toutes les phases (solides, vapeur et liquide), qui tiennent tour à tour un rôle prépondérant [10]. Dans la figure I.3, les trois courbes sont divisées en trois phases afin d'étudier le processus de séchage.

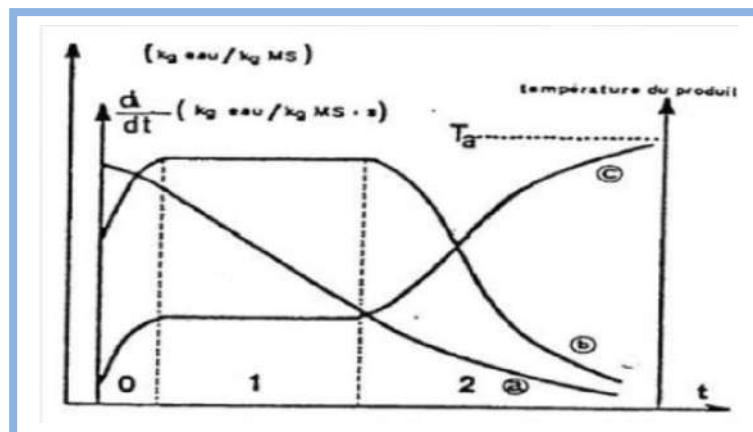


Figure I.3 : (a) Courbes d'évolution type au cours du temps de la teneur en eau du produit, (b) de la vitesse de séchage, (c) de la température du produit. [10]

La courbe (a) présente l'évolution de la teneur en eau (rapport de la masse d'eau contenue dans le produit et de la masse sec) d'un produit soumis à un séchage convectif. On y distingue trois phases, également visibles sur la courbe (b) donnant la vitesse de séchage en fonction du temps «t» et la courbe (c) illustrant l'évolution de la température du produit en fonction du temps. [10]

Phase 0 : Phase croissante Quand un produit à une température de surface est brassé par un courant d'air chaud, des échanges de chaleur et de matière ont lieu entre le produit et l'air asséchant. Pour être emportées sous forme de vapeur les quantités d'eau contenues dans le produit exigent un apport correspondant de l'énergie de vaporisation. [10]

Phase 1 : Phase constante Cette phase n'existe que si une pellicule d'eau libre existe en surface du produit. L'activité de l'eau à la surface du produit est alors égale à l'unité et le séchage consiste en une évaporation isenthalpique de l'eau. La température de surface du produit correspond à la température humide de l'air asséchant. C'est la température à laquelle le flux de chaleur amène par l'air est égal au flux thermique nécessaire à l'évaporation de l'eau. [10]

Phase 2 : Phase décroissante Cette période est caractérisée par une diminution de la vitesse de séchage. Le ralentissement de la vitesse de séchage est dû aux contraintes de la migration de l'eau de l'intérieur du produit humide vers sa surface. [10]

I.7. Le prétraitement

I.7.1. Généralités sur les prétraitements

Le prétraitement améliore généralement la qualité et rend la nourriture plus sûre à manger. Les recherches montrent que le traitement des fruits et légumes avant séchage avec une solution acide ou avec une solution de méta-bisulfite de sodium aide à détruire les bactéries nocives qui peuvent être présentes sur le produit pendant le processus de séchage. [11]

Les prétraitements empêchent les fruits de s'assombrir. De nombreux fruits de couleur claire, comme les pommes, s'assombrissent rapidement lorsqu'ils sont coupés et exposés à l'air. Si elles ne sont pas prétraitées, ces fruits continueront à noircir après séchage.

Pour le stockage à long terme des fruits séchés, la sulfuration ou l'utilisation d'un bain de sulfite sont les meilleurs prétraitements. Cependant, les sulfites trouvés dans l'aliment après l'un ou l'autre de ces traitements ont provoqué des réactions asthmatiques dans une petite partie de la population asthmatique. Ainsi, certaines personnes peuvent vouloir utiliser les prétraitements alternatifs à

court terme. Si les aliments séchés à la maison sont consommés en peu de temps, il peut y avoir peu de différence dans les prétraitements à court et à long terme. [11]

I.7.2. Différents types de prétraitement

Blanchiment

Le blanchiment est une étape importante dans le traitement des aliments en raison des nombreux avantages qui peuvent en découler, un effet majeur du blanchiment étant d'inactiver les enzymes. De plus, le blanchiment a également entraîné une augmentation du taux de séchage des produits tels que les pommes et les pêches, les poivrons rouges et les cubes de carottes. [12]

Les plus importants types de prétraitements sont : [13]

Sulfuring:

C'est une ancienne méthode de prétraitement des fruits. Le soufre sublimé est enflammé et brûlé dans une boîte fermée avec le fruit. Les fumées de soufre pénètrent dans le fruit et servent de prétraitement en retardant l'altération et l'assombrissement du fruit. Les fruits doivent être soufrés à l'extérieur lorsque la circulation d'air est suffisante. [13]

Sulfite Dip :

Peut atteindre le même effet anti-noircissement à long terme que la sulfuration, mais plus rapidement et plus facilement. On peut utiliser du bisulfite de sodium, du sulfite de sodium ou du méta-bisulfite de sodium qui sont de qualité USP (qualité alimentaire) ou Reagent (pur). Pour localiser ceux-ci, vérifiez auprès de vos pharmacies locales ou des magasins de passe-temps, où les fournitures de vinification sont vendues. [13]

I.7.3. Objectif du prétraitement des fruits [14]

Le prétraitement des produits à sécher présente un grand intérêt même pour les activités de séchage traditionnelles de taille modeste. Il permet de modifier la structure du produit afin de faciliter le séchage, d'éviter la contamination microbienne avant séchage et durant sa première phase et de limiter les réactions biochimiques externes.

Le type de prétraitement à utiliser dépendra du produit final que vous souhaitez obtenir: si, par exemple, nous voulons obtenir un produit biologique, nous n'utiliserons pas de conservateurs et nous nous en tiendrons à l'utilisation de produits naturels tels que le vinaigre, le jus de citron, le salage, le sucre. Ces produits sont généralement moins efficaces que les produits chimiques tels que le méta-bisulfite ou le soufre mais sont moins toxiques. [14]

Il est à noter que dans les deux entretiens consacrés à ce sujet, les prétraitements pour sécher les fruits et légumes et les prétraitements pour le séchage de la viande incluent les processus de préparation tels que lavage, triage, découpe, épluchage ou désossage et dégraissage (appelé parage) pour la viande. [14]

Chapitre II :

Méthodologie

II. Méthodologie

II.1. Introduction

Dans le but d'étudier l'effet de prétraitement des produits pendant le séchage, l'étude expérimentale a été menée avec un fruit : La fraise pour une méthode de séchage qui est le séchage statique dans une étuve régulée.

II.2. Matériels

Le fruit

Nous avons fait le travail sur les fraises. Donc nous avons acheté une quantité de fraises d'un marché local de la ville d'Ouargla au sud-est d'Alger (printemps 2018).

Pendant le séchage à l'étuve (séchage statique), des tranches de fraises ont été utilisées avec un diamètre moyen de 27.06 mm et une épaisseur moyenne de 4.21 mm.

Pour l'exactitude et afin de minimiser les erreurs, nous avons utilisé six échantillons de fraise (figure II.1) et nous avons répété chaque expérience trois fois.



Figure II.1 : Échantillons des fraises utilisés.

L'appareil

Afin d'étudier expérimentalement le rétrécissement des fraises au cours d'un séchage statique, l'étuve régulée montrée dans la figure II.2 a été utilisée au laboratoire pédagogique du département de Génie des Procédés à l'Université d'Ouargla. Le but est d'y sécher et de déterminer la masse sèche des échantillons de fruit. L'étuve fonctionne entre la température

ambiante et 350 °C. C'est une enceinte interne et un caisson extérieur réalisée en acier inoxydable ayant de très bonnes propriétés de transfert de la chaleur [7]. Le dispositif contient des étagères en fil d'acier inoxydable dont la conception permet à l'air chaud de circuler librement autour des produits à sécher. L'isolation est assurée par un matériau isolant adéquat. Le caisson extérieur est réalisé en acier laminé recouvert d'un film protecteur de peinture électrostatique. La chaleur est produite par une série de résistances électriques qui transfèrent de l'énergie thermique à la cuve. [7]

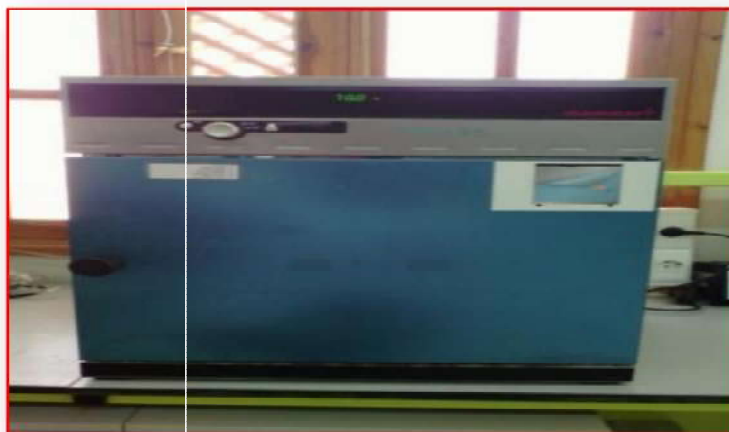


Figure II.2 : Étuve régulée utilisée.

II.3. Prétraitements utilisés

Dans notre étude, nous avons utilisé trois types de prétraitement :

Prétraitement thermique :

- ❖ Blanchiment à l'eau chaude (à 70 °C). [16] (Voir chapitre 1 également)
- ❖ Immersion dans une solution de chlorure de sodium (NaCl) (à 90 °C). [15]

Le blanchiment à l'eau est effectué dans de l'eau chaude à des températures allant typiquement de 70 °C à 100 °C. [15]

❖ **Sulfitation:**

Immersion dans une solution de l'hydrosulfite de sodium ou dithionite de sodium ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$).



Figure II.3: Dithionite de sodium ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$) utilisé.

Prétraitement Alkalin :

Immersion dans une solution d'hydroxyde de sodium (NaOH).



Figure II.4: Hydroxyde de sodium (NaOH) utilisé.

II.4. Mesures et analyse

II.4.1 Mesure de la masse humide des échantillons

Nous avons utilisé une balance électronique (à 4 chiffres de précision) pour mesurer la masse des échantillons de fraises après chaque heure de séchage statique. C'est une balance analytique

(souvent appelée balance de laboratoire) et est une classe d'équilibre conçue pour mesurer une petite masse dans la gamme des sous-milligrammes. (0.0001 mg).

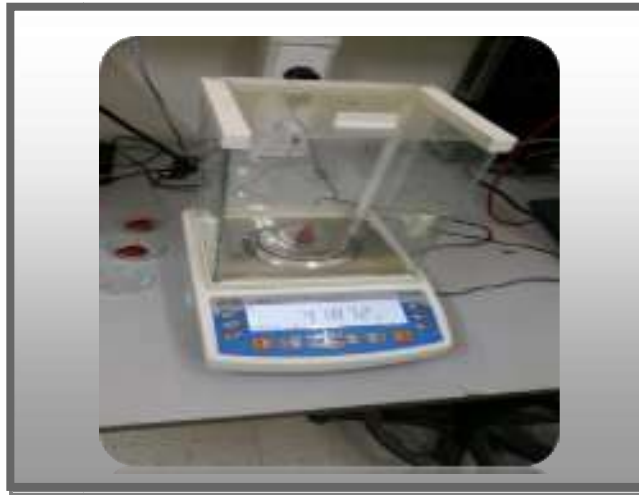


Figure II.5 : Balance analytique utilisée.

II.4.2. Mesure du rétrécissement des échantillons

Nous avons mesuré le diamètre et l'épaisseur des fraises chaque 1 heure. Un pied à coulisse qui est un instrument de mesure de longueur composé essentiellement de deux parties coulissantes l'une par rapport à l'autre, a été utilisé (voir figure II.6).



Figure II.6 : Pied à coulisse à cadran utilisé.

II.4.3. Détermination de la masse sèche des échantillons

La masse sèche de chacun des échantillons de fruit a été déterminée en introduisant pendant 24 h à 105 °C la masse finale dans notre étuve. La mesure prend fin lorsque deux pesées successives effectuées à une heure d'intervalle sont sensiblement les mêmes. [7]

II.4.4. Détermination de la teneur en eau instantanée des échantillons

La teneur en eau instantanée du fruit est calculée par l'équation (II.1) : [7]

$$X(t) = \frac{M_h(t) - M_s}{M_s} \quad (\text{II.1})$$

II.4.5. Détermination de la vitesse de séchage

L'équation (II.2) permet de calculer la vitesse de séchage durant le processus : [7]

$$VS = \frac{X(t) - X(t+\Delta t)}{\Delta t} \quad (\text{II.2})$$

II.4.6. Détermination du volume des échantillons

Sur la base que les échantillons des fraises sont des disques et à l'aide de l'équation (II.3) suivante, le volume a été calculé comme suit : [17]

$$V = \pi \left(\frac{d^2}{4} \right) * e \quad (\text{II.3})$$

où :

M_s	Masse sèche d'un échantillon de fruit (en kg)
X	Teneur en eau d'un échantillon de fruit (en kg d'eau/kg de matière sèche)
$M_h(t)$	Masse humide instantanée d'un échantillon de fruit (en kg)
Δt	Pas de temps (en s)
d	Diamètre d'un échantillon de fruit (en m)
e	Épaisseur d'un échantillon de fruit (en m)
V	Volume d'un échantillon de fruit (en m ³)

Chapitre III :

Résultats et discussion

III. Résultats et Discussion

III.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons les résultats de l'expérimentation afin d'arriver à l'effet du prétraitement sur le séchage statique des fraises. Il s'agit de l'influence du prétraitement et de la température sur les dimensions des tranches de fruit ainsi séchées et sur la cinétique de leur à trois différentes températures (50°C, 60°C et 70°C) dans l'étuve régulée présentée dans le chapitre 2. Ces résultats concernent à la fois les échantillons qui n'ont pas été prétraités et les échantillons de fraises prétraités.

Pour plus de précision, les expériences ont été multipliées et plusieurs échantillons de fruits ont été utilisés et par conséquent les résultats ici sont des valeurs moyennes.

III.2. Étude de l'effet du prétraitement sur les dimensions des fraises

Les cinq tableaux ci-dessous (III.1, III.2, III.3, III.4 et III.5) résument les données/résultats concernant les dimensions pendant le séchage statique des fraises sans et avec prétraitement.

Tableau III.1 : Dimensions des fraises sans prétraitement au cours du séchage statique.

	Séchage statique des fraises (Sans prétraitement)								
Température (durée)	70 °C (7 h)			60 °C (9 h)			50 °C (12 h)		
Temps (h)	0	5	7	0	5	9	0	5	12
Diamètre moyen (mm)	28.65	21.00	20.99	27.78	18.14	16.71	30.57	19.33	18.87
Épaisseur moyenne (mm)	4.02	0.78	0.77	4.57	0.92	0.70	4.47	0.95	0.70

Tableau III.2 : Dimensions des fraises prétraitées par blanchiment au cours du séchage statique.

	Séchage statique des fraises (Blanchiment)								
Température (durée)	70 °C (7 h)			60 °C (9 h)			50 °C (12 h)		
Temps (h)	0	5	7	0	5	9	0	5	12
Diamètre moyen (mm)	25.35	21.85	21.34	38.2	17.49	17.32	35.51	24.76	19.65
Épaisseur moyenne (mm)	4.17	0.9	0.85	3.42	0.68	0.63	4.87	1.49	0.94

Tableau III.3 : Dimensions des fraises prétraitées par (NaCl) au cours du séchage statique.

	Séchage statique de la fraise (chlorure de sodium)								
Température (durée)	70 °C (7 h)			60 °C (9 h)			50 °C (12 h)		
Temps (h)	0	5	7	0	5	9	0	5	12
Diamètre moyen (mm)	27.80	20.72	20.33	34.80	16.75	15.94	36.00	24.70	19.95
Épaisseur moyenne (mm)	4.40	0.84	0.82	2.70	0.62	0.60	3.62	1.08	0.83

Tableau III.4 : Dimensions des fraises prétraitées par (NaOH) au cours du séchage statique.

	Séchage statique de la fraise (hydroxyde de sodium)								
Température (durée)	70 °C (7 h)			60 °C (9 h)			50 °C (12 h)		
Temps (h)	0	5	7	0	5	9	0	5	12
Diamètre moyen (mm)	28.23	15.28	14.92	27.52	13.69	12.54	22.40	12.89	10.85
Épaisseur moyenne (mm)	4.48	1.40	1.34	5.47	2.48	2.35	4.41	2.08	0.99

Tableau III.5 : Résultats des dimensions des fraises prétraitées par ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$) au cours du séchage statique.

Température (durée)	Séchage statique de la fraise (dithionite de sodium)								
	70 °C (7 h)			60 °C (9 h)			50 °C (12 h)		
Temps (h)	0	5	7	0	5	9	0	5	12
Diamètre moyen (mm)	26.87	17.16	17.10	27.02	18.14	16.24	25.52	13.43	11.26
Épaisseur moyenne (mm)	3.78	1.45	1.38	6.14	2.60	1.99	3.95	1.82	1.25

III.2.1. Effet du prétraitement sur le diamètre des fraises

Les trois figures III.1, III.2 et III.3. représentent la variation du diamètre des tranches de fraise sans prétraitement et les tranches de fraise prétraitées par (Blanchiment, Chlorure de sodium, Hydroxyde de sodium et Dithionite de sodium)) en fonction du temps pour trois températures d'air différentes à l'intérieur de l'étuve, à savoir: 50, 60 et 70 ° C.

On remarque il y a un effet d'hydroxyde de sodium (NaOH) sur le diamètre du fruit. Le diamètre de la tranche a diminué d'environ 50%.

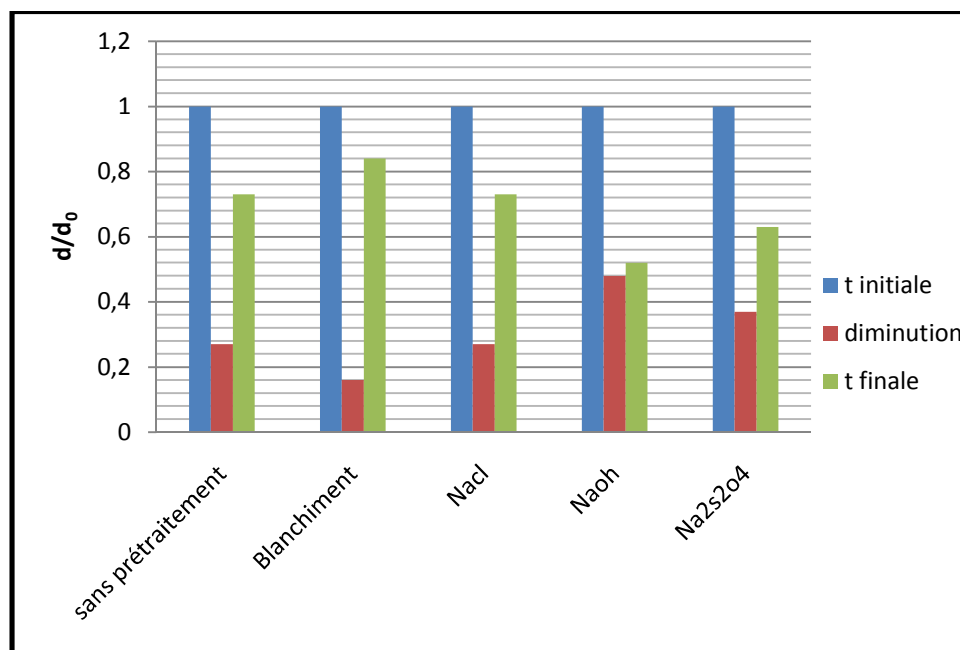


Figure III.1 : Variation du diamètre des fraises au cours du séchage statique à 70 °C.

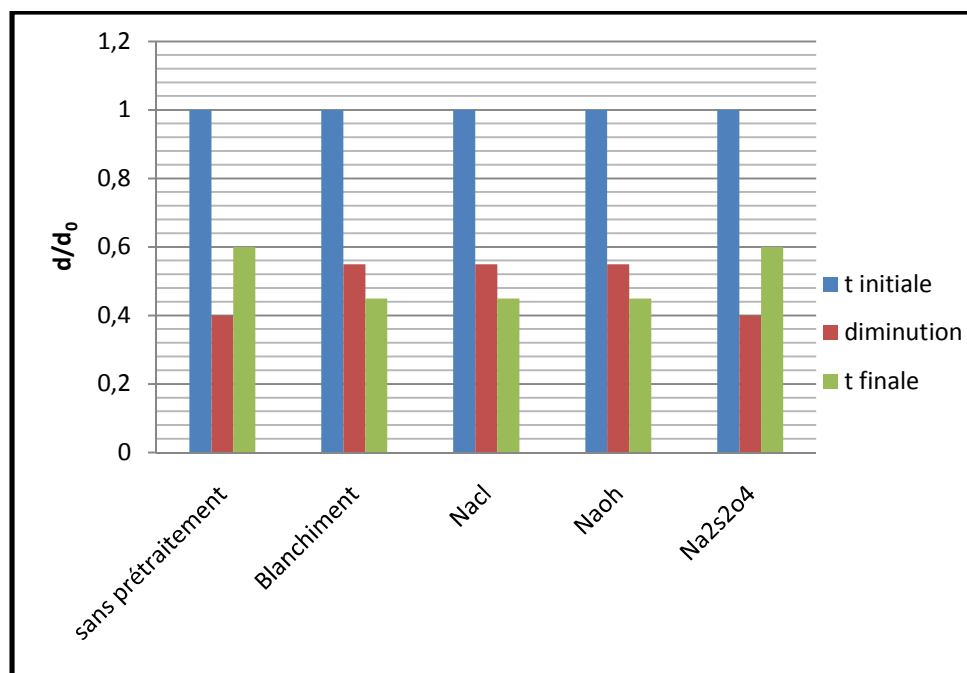


Figure III.2 : Variation du diamètre des fraises au cours du séchage statique à 60 °C.

L'effet du blanchiment est remarquable, ainsi que celui de l'hydroxyde de sodium (NaOH) et du chlorure de sodium (NaCl) sur le diamètre du fruit. Le diamètre de la tranche a diminué d'environ 59%.

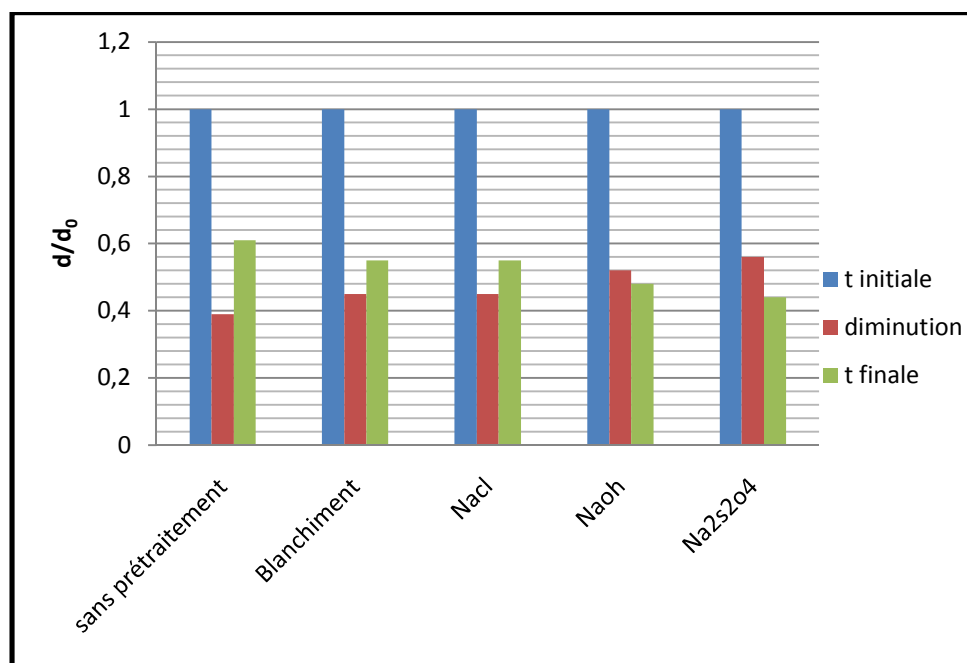


Figure III.3 : Variation du diamètre des fraises au cours du séchage statique à 50 °C.

On remarque il y a un effet du dithionite de sodium ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$) sur le diamètre des tranches de fraise parce que le diamètre de la tranche a diminué d'environ 59 %.

III.2.2. Effet du prétraitement sur l'épaisseur des fraises

Quant aux figures III.4, III.5 et III.6, elles représentent la variation temporelle de l'épaisseur des échantillons de fraise sans prétraitement et ceux prétraités par blanchiment, par chlorure de sodium, par hydroxyde de sodium et par dithionite de sodium à 50, 60 et 70 ° C.

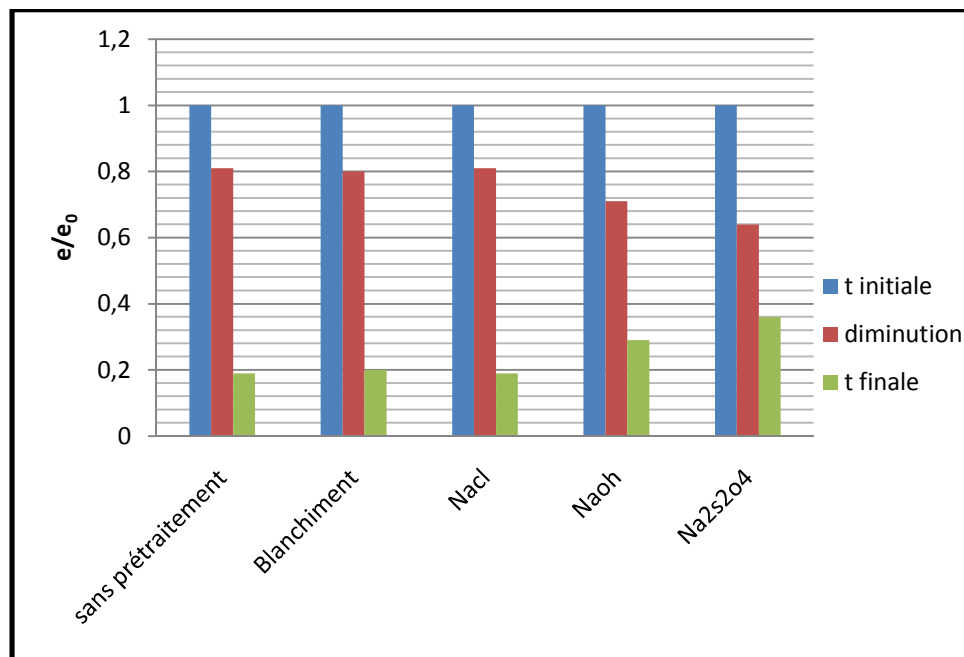


Figure III.4 : Variation de l'épaisseur des fraises au cours du séchage statique à 70 °C.

Il n'y a pas d'effet du prétraitement utilisé sur l'épaisseur du fruit, cependant celle-ci a diminué de 80% pour les échantillons séchés.

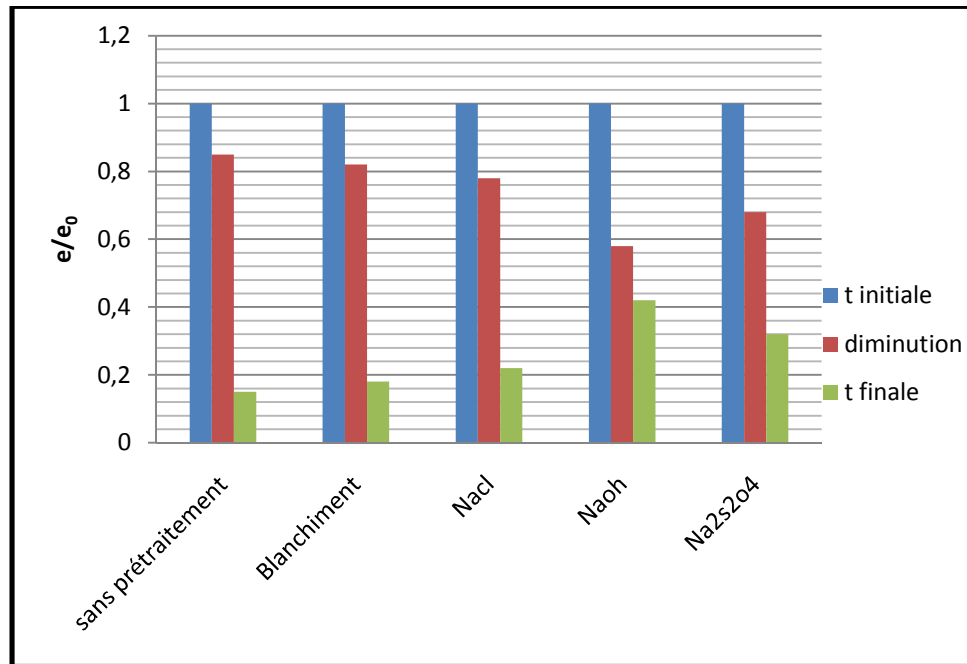


Figure III.5 : Variation de l'épaisseur des fraises au cours du séchage statique à 60 °C.

On note, toujours, qu'il n'y a pas un effet remarquable des prétraitements utilisés sur l'épaisseur du fruit. Cette épaisseur a diminué d'environ 85%.

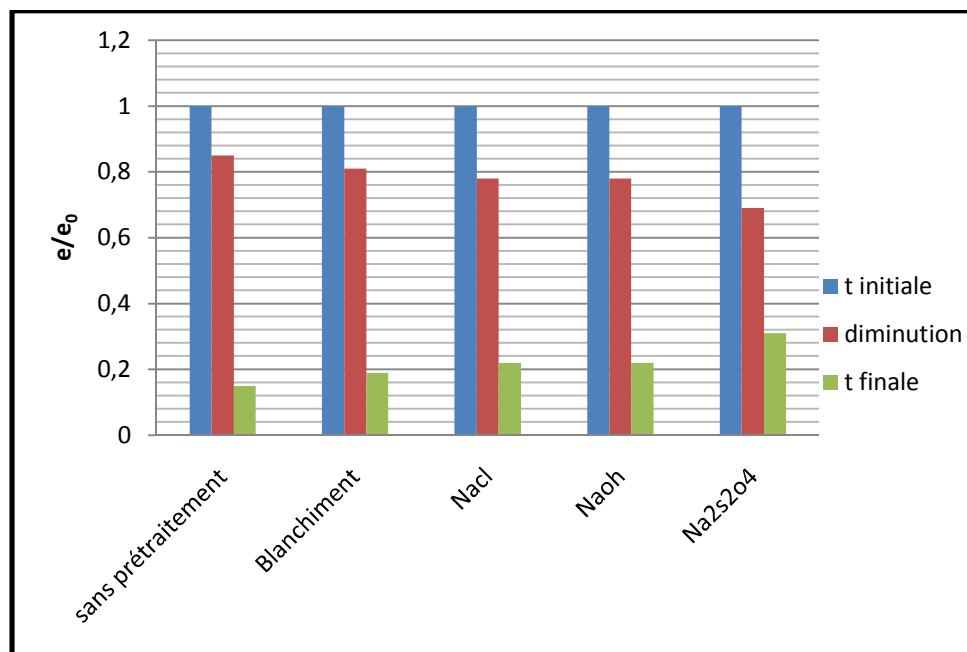


Figure III.6 : Variation de l'épaisseur des fraises au cours du séchage statique à 50 °C.

En outre, il n'y a pas d'effet du prétraitement sur l'épaisseur du fruit. L'épaisseur des tranches a diminué de 82%.

III.2.3. Effet du prétraitement sur le volume des fraises

Les figures III.7, III.8 et III.9 représentent la variation du volume du fruit non prétraité et prétraités par blanchiment, par chlorure de sodium, par hydroxyde de sodium et par dithionite de sodium en fonction du temps de séchage à trois températures, à savoir: 50, 60 et 70 ° C.

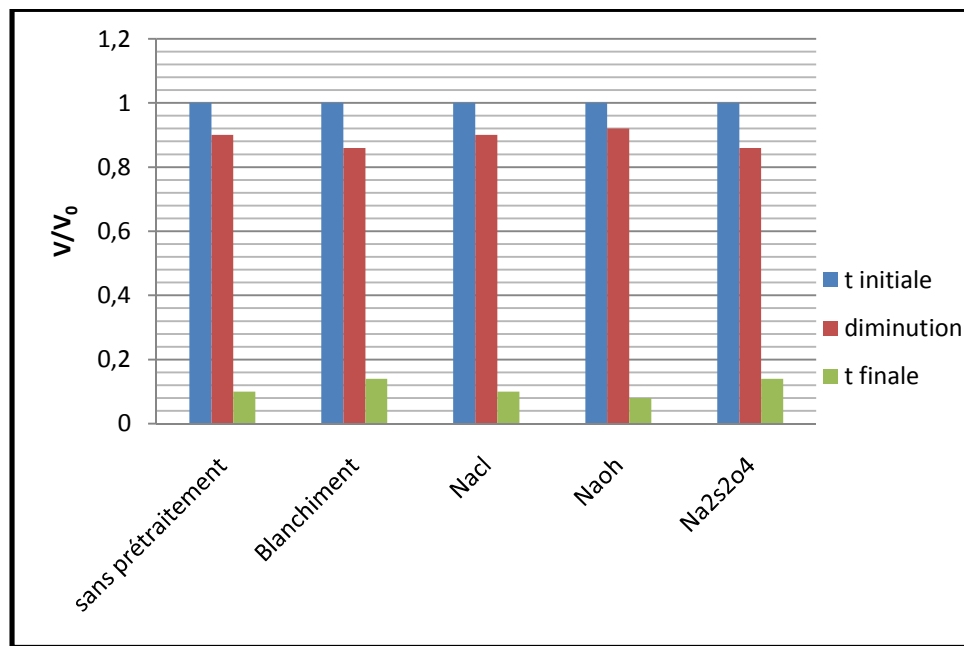


Figure III.7 : Variation du volume des fraises au cours du séchage statique à 70 °C.

On constate bien, cette fois-ci, l'effet d'hydroxyde de sodium (NaOH) comme prétraitement sur le volume du fruit. Le volume d'une tranche a diminué, en moyenne, de 90 %.

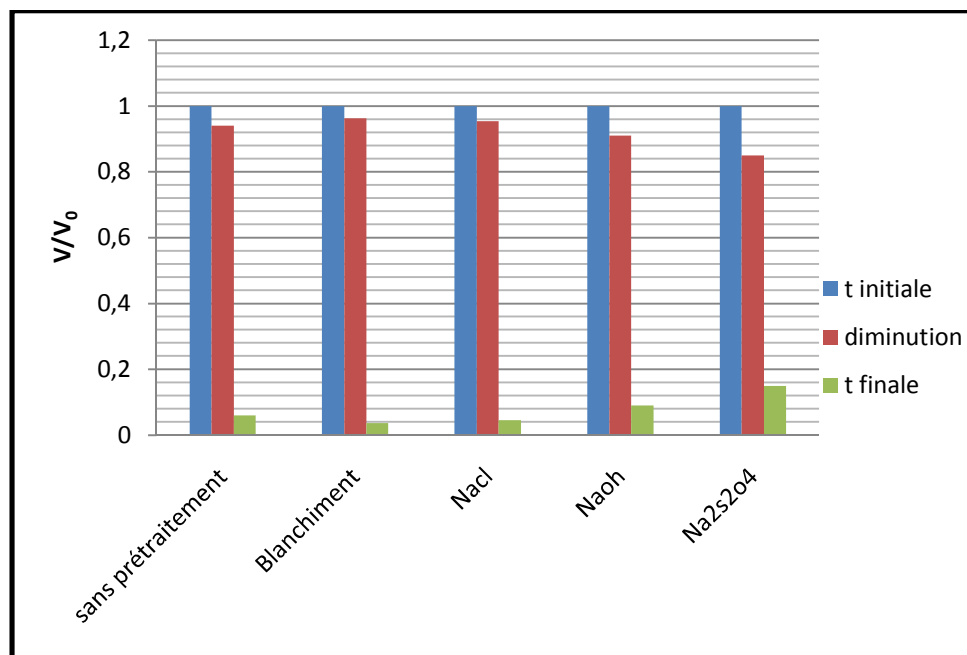


Figure III.8 : Variation du volume des fraises au cours du séchage statique à 60 °C.

On remarque qu'il y a toujours pas d'effet de blanchiment et de prétraitement avec du chlorure de sodium (NaCl). Le volume des tranches de fraise a diminué d'environ 99 %.

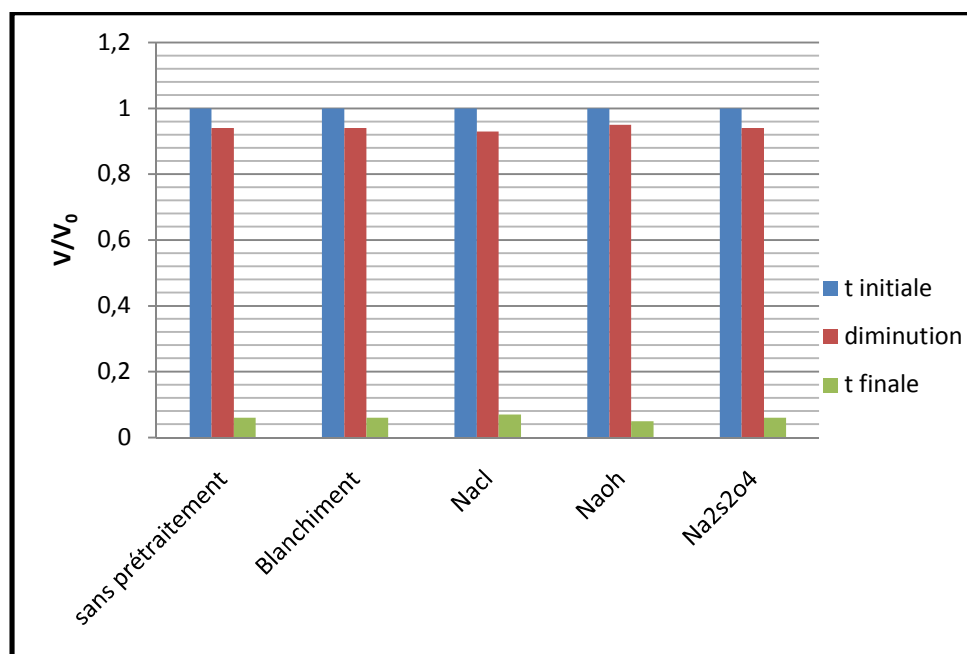


Figure III.9 : Variation du volume des fraises au cours du séchage statique à 50 °C.

On remarque qu'il y a bien un effet du blanchiment et celui des autres prétraitements utilisés dans cette recherche sur le volume du fruit séché car le volume des échantillons a diminué d'environ 99 %.

III.3 Étude de l'effet de la température sur les dimensions des fraises

III.3.1 Effet de la température sur les dimensions des fraises sans prétraitement

La figure III.10 montre la variation du diamètre du fruit (fraise) sans prétraitement en fonction du temps de séchage statique pour les trois températures d'air : 50, 60 et 70 ° C.

Toutes les courbes présentent la même allure et par conséquent l'influence de température est négligeable. On remarque, également, que le diamètre des tranches a diminué d'environ 40%.

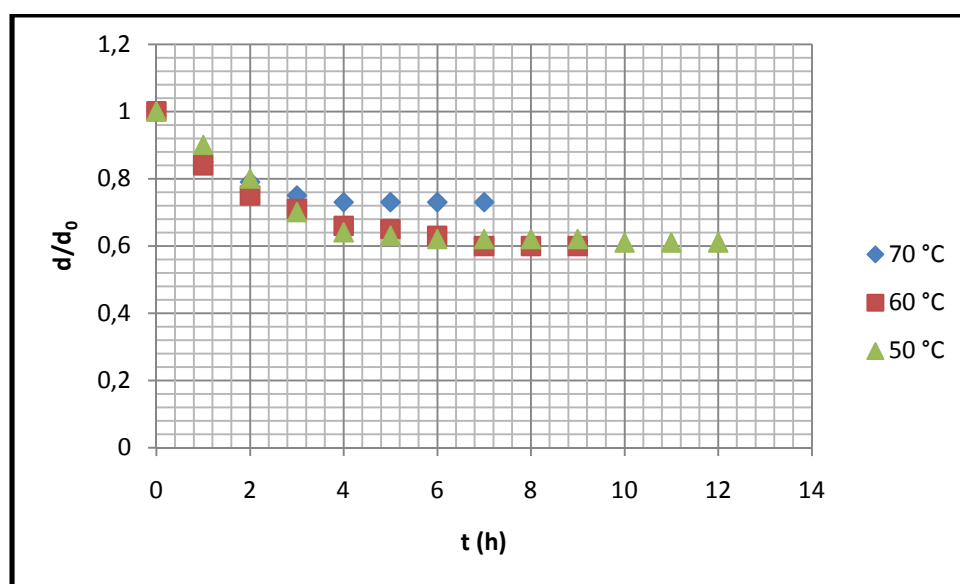


Figure III.10 : Variation du diamètre des fraises sans prétraitement au cours du séchage statique.

La figure III.11 montre la variation de l'épaisseur des tranches de fraise sans prétraitement en fonction du temps pour trois températures d'air différentes à savoir: 50, 60 et 70 ° C.

Les courbes, dans cette figure, présentent également la même forme et par conséquent pas d'influence de température sur l'épaisseur du fruit. On remarque, également, que cette épaisseur a diminué de 81%.

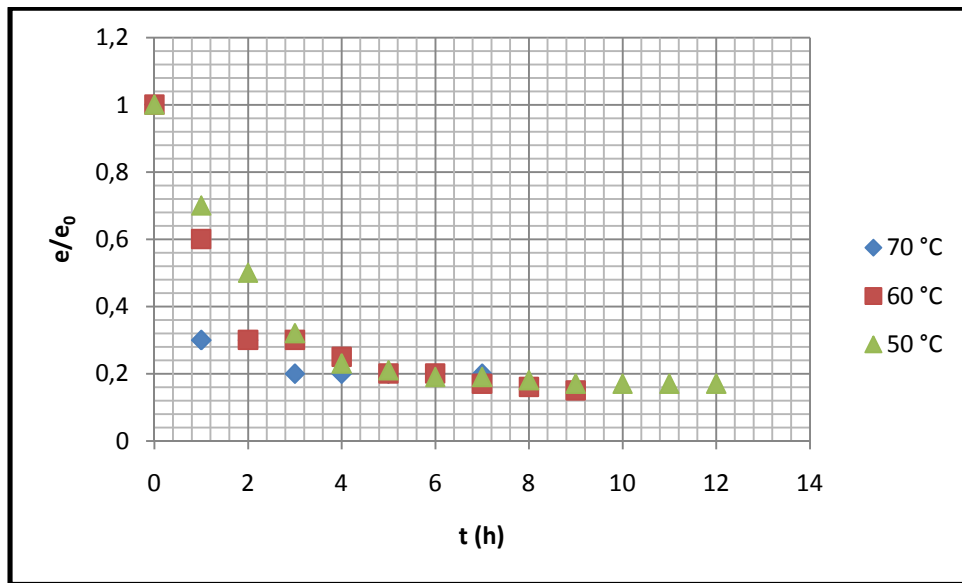


Figure III.11 : Variation de l'épaisseur des fraises sans prétraitement au cours du séchage statique.

La figure III.12 est la variation du volume des fraises non prétraitées durant l'opération pour les trois températures d'étude.

On lit les courbes présentent la même allure et par suite il n'y a pas vraiment d'influence du paramètre suivi et varié de 50 °C à 60 °C sur le volume du fruit séché. On lit, également, que le volume de la tranche a diminué d'environ 99 %.

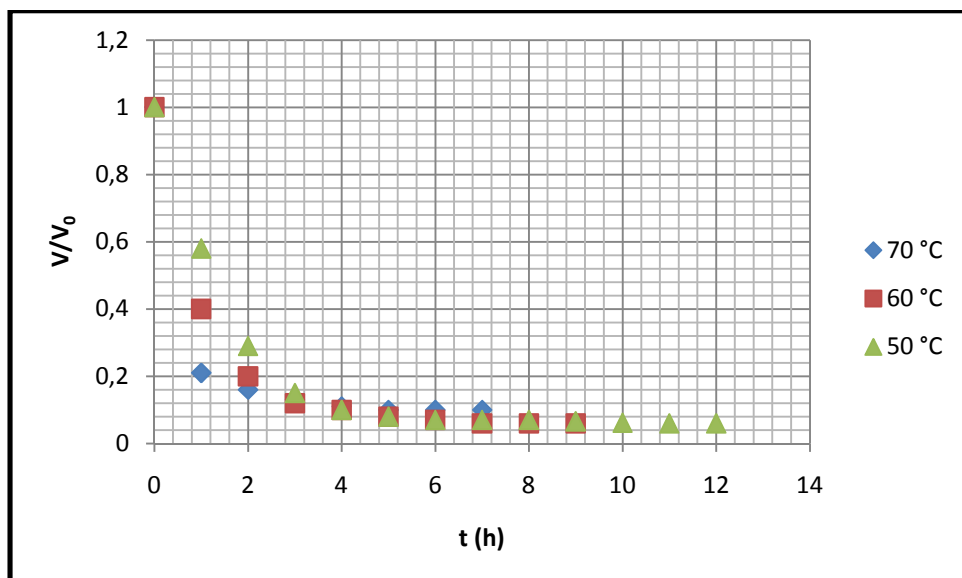


Figure III.12 : Variation du volume des fraises sans prétraitement au cours du séchage statique.

III.3.2. Effet de la température sur les dimensions des fraises prétraitées par blanchiment

La figure III.13 montre la variation du diamètre des fraises prétraitées par blanchiment en fonction du temps pour trois températures d'air différentes à savoir: 50, 60 et 70 ° C. On remarque une diminution de diamètre des tranches séchées d'environ 80%.

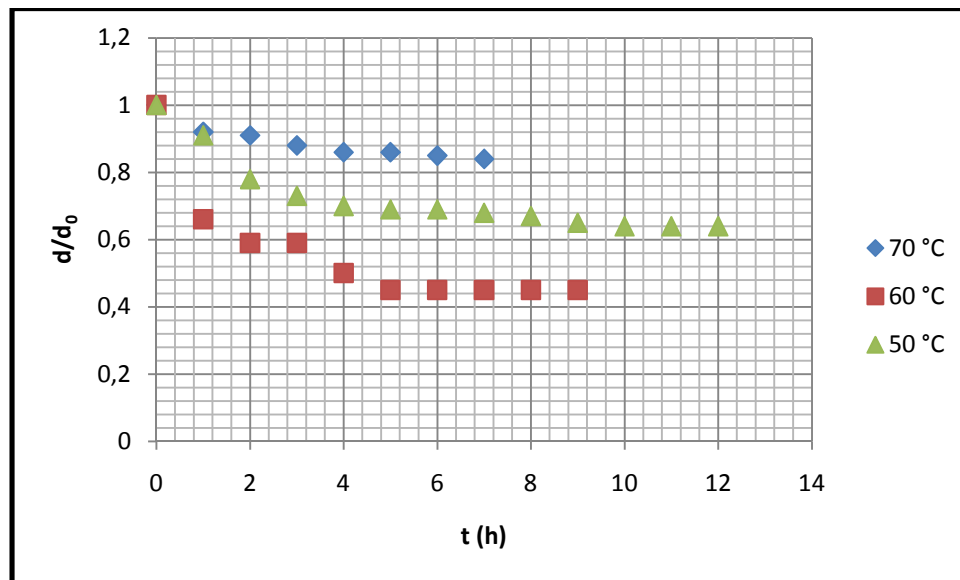


Figure III.13 : Variation du diamètre des fraises prétraitées par blanchiment au cours du séchage statique.

La figure III.14 montre la variation de l'épaisseur de la tranche de fraise prétraitée par blanchiment en fonction du temps pour trois températures d'air différentes à savoir: 50, 60 et 70 ° C. L'épaisseur de la tranche a diminué d'environ 82%.

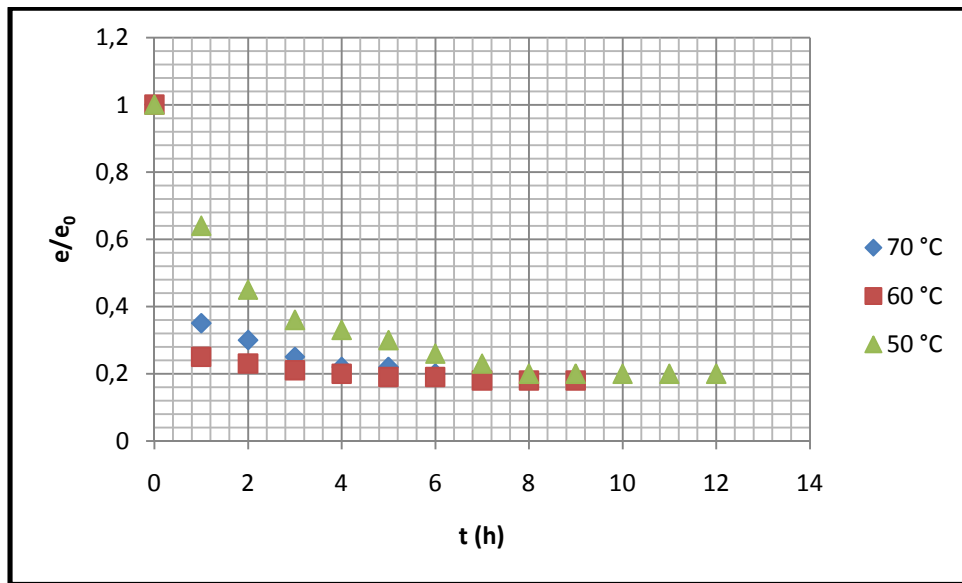


Figure III.14 : Variation de l'épaisseur des fraises prétraitées par blanchiment au cours du séchage statique.

La figure III.15 montre la variation du volume en fonction du temps pour trois températures d'air différentes. On remarque que toutes les courbes présentent la même allure et par conséquent il n'y a pas d'influence de la température à 60 °C sur le volume du fruit. On remarque, également, que le volume de la tranche a diminué d'environ 82%.

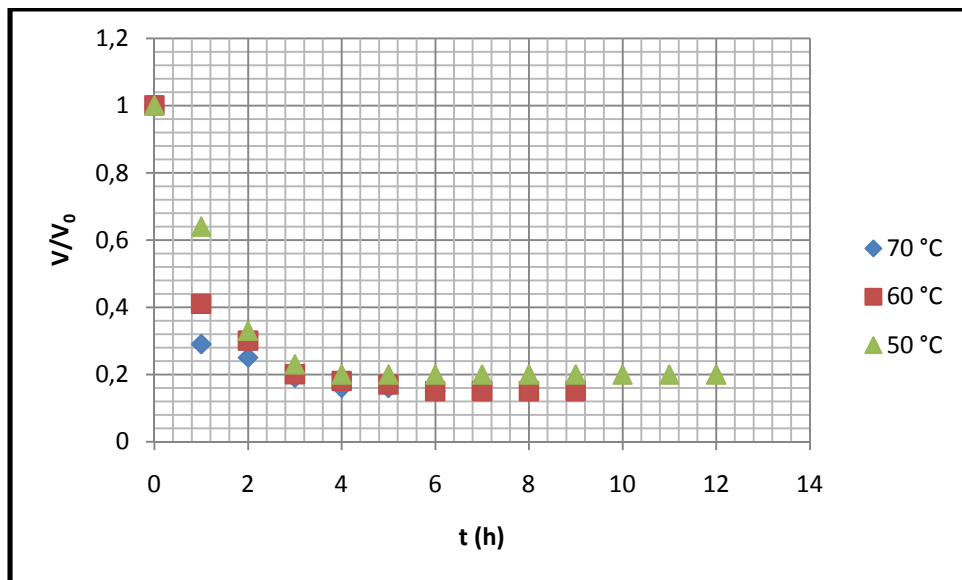


Figure III.15 : Variation du volume des fraises prétraitées par blanchiment au cours du séchage statique.

III.3.3. Effet de la température sur les dimensions des fraises prétraitées par le chlorure de sodium (NaCl)

La figure III.16 montre la variation du diamètre des fraises prétraitées par chlorure de sodium (NaCl) en fonction du temps pour trois températures d'air différentes à savoir: 50, 60 et 70 °C. Le diamètre de la tranche a diminué d'environ 59%.

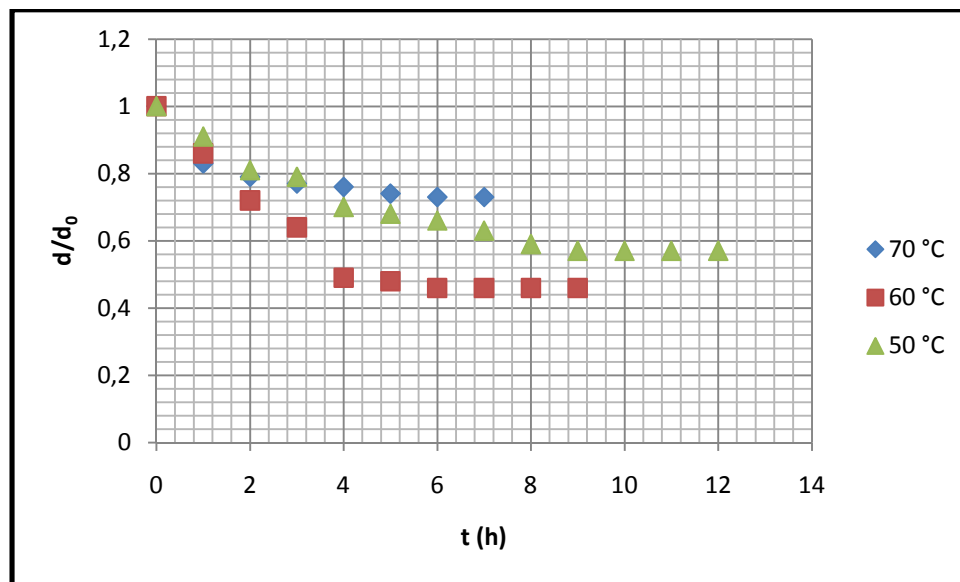


Figure III.16 : Variation du diamètre des fraises prétraitées par (NaCl) au cours du séchage statique.

La figure III.17 montre la variation de l'épaisseur des fraises prétraitées par chlorure de sodium (NaCl) au cours du séchage à l'étuve pour trois températures d'air différentes à savoir: 50, 60 et 70 °C. On remarque que le l'épaisseur de la tranche a diminué d'environ 80%.

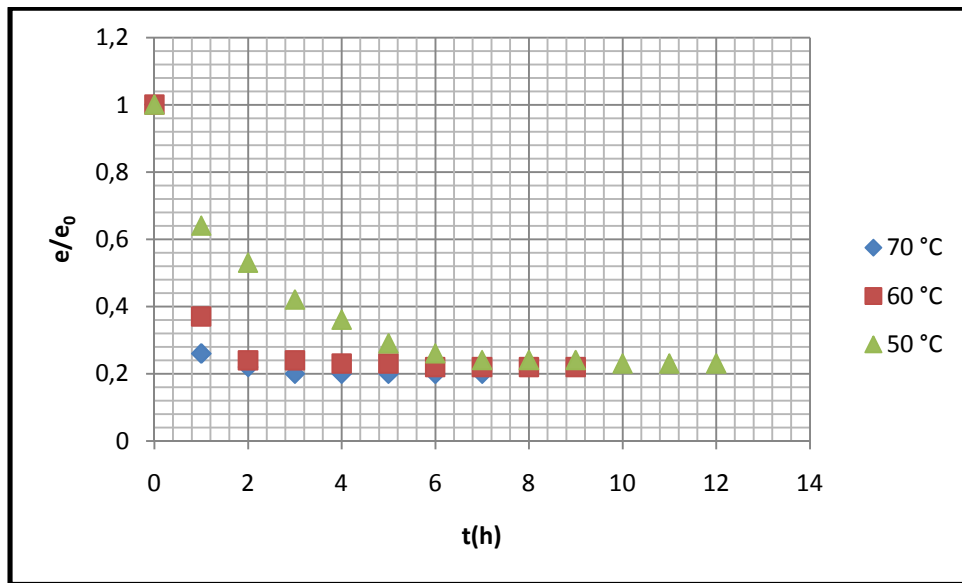


Figure III.17 : Variation de l'épaisseur des fraises prétraitées par (NaCl) au cours du séchage statique.

La figure III.18 montre la variation de volume (V) de la tranche de fraise prétraité par chlorure de sodium (NaCl) en fonction du temps pour trois températures d'air différentes à savoir: 50, 60 et 70 ° C. Le volume de la tranche a diminué d'environ 90%.

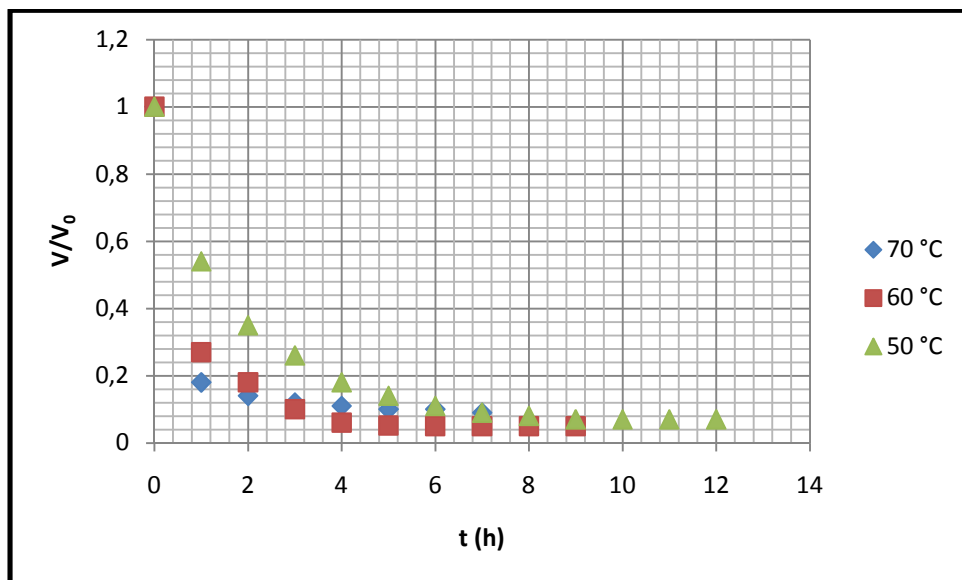


Figure III.18 : Variation du volume des fraises prétraitées par (NaCl) au cours du séchage statique.

III.3.4. Effet de la température sur les dimensions des fraises prétraitées par de l'hydroxyde de sodium (NaOH)

La figure III.19 montre le changement temporel du diamètre des fraises prétraitées par hydroxyde de sodium (NaOH) pour trois températures d'air différentes à savoir: 50, 60 et 70 ° C. Il y a influence de la température à 60 ° C sur le diamètre du fruit. Et, également, le diamètre de la tranche a diminué d'environ 59%.

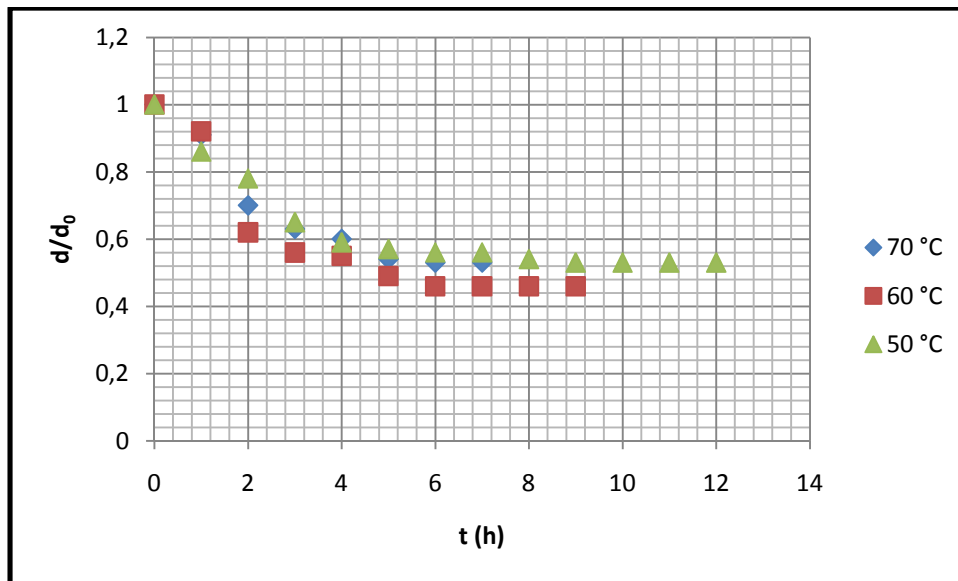


Figure III.19 : Variation du diamètre des fraises prétraitées par (NaOH) au cours du séchage statique.

La figure III.20 montre l'évolution temporelle de l'épaisseur des échantillons de fraise prétraités par hydroxyde de sodium (NaOH) pour trois températures d'air différentes à savoir: 50, 60 et 70 ° C. Il y a bien influence de la température 70 ° C sur l'épaisseur du fruit. Cette dernière a diminué de 70%.

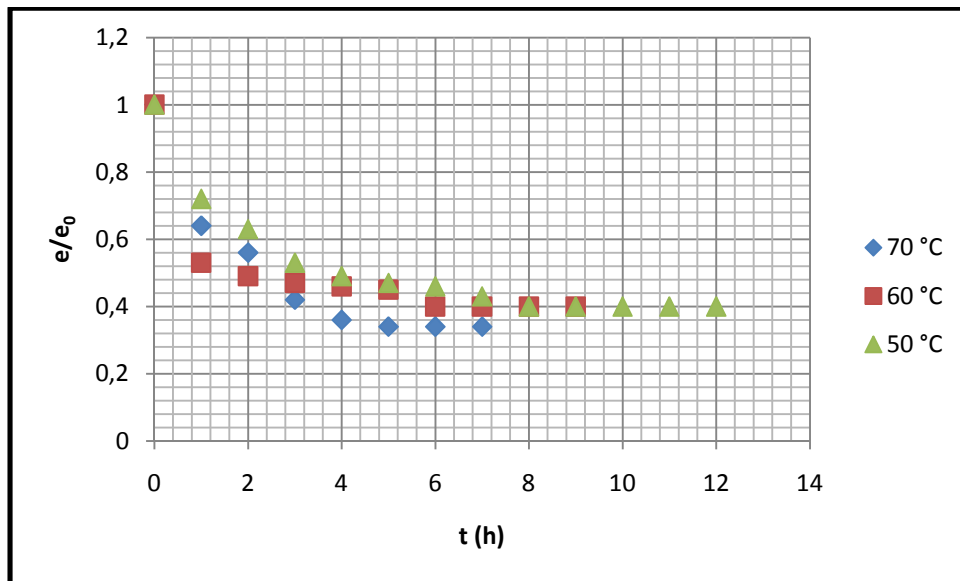


Figure III.20 : Variation de l'épaisseur des fraises prétraitées par (NaOH) au cours du séchage statique.

La figure III.21 montre la variation de volume (V) de la tranche de fraise prétraité par hydroxyde de sodium (NaOH) en fonction du temps pour trois températures d'air différentes à savoir: 50, 60 et 70 ° C. Le volume des tranches a diminué d'environ 95%.

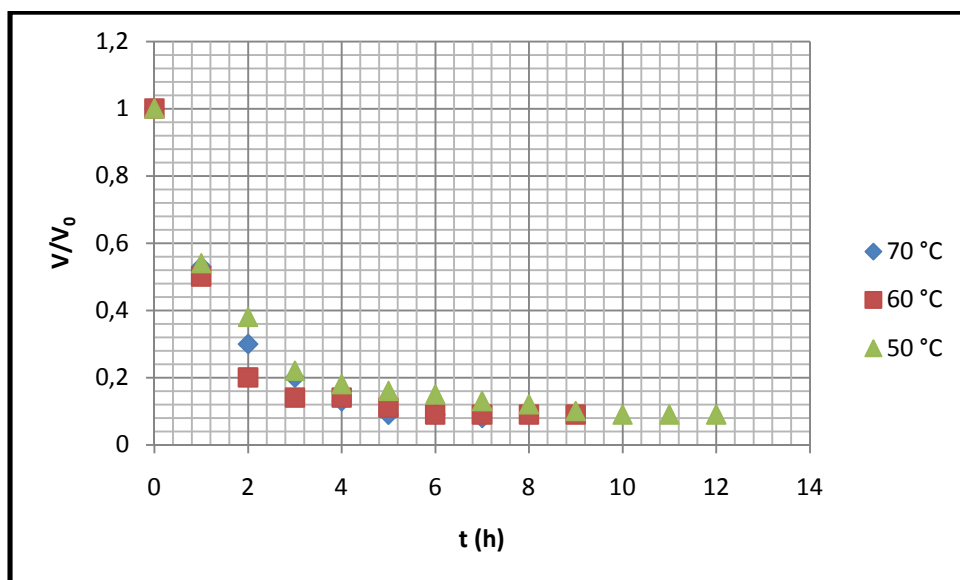


Figure III.21 : Variation du volume des fraises prétraitées par (NaOH) au cours du séchage statique.

III.3.5. Effet de la température sur les dimensions des fraises prétraitées par le dithionite de sodium ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$)

La figure III.22 montre la variation du diamètre des tranches de fraise prétraitées par dithionite de sodium ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$) en fonction du temps de séchage statique pour trois températures d'air différentes à savoir: 50, 60 et 70 ° C. On remarque que toutes les courbes sont des droites et par conséquent il y a d'influence de la température à 50 °C sur le diamètre du fruit. On remarque, également, que le diamètre de la tranche a diminué d'environ 55%.

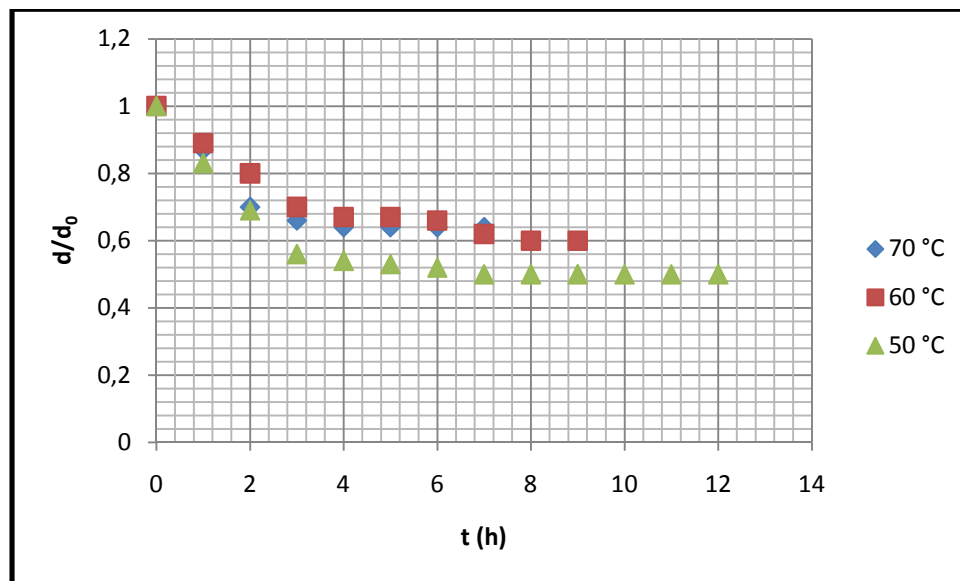


Figure III.22 : Variation du diamètre des fraises prétraitées par ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$) au cours du séchage statique.

La figure III.23 montre la variation de l'épaisseur du fruit prétraité par dithionite de sodium ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$) en fonction du temps de séchage pour trois températures d'air différentes à savoir: 50, 60 et 70 ° C. Par conséquent il n'y a pas d'influence de la température sur l'épaisseur du fruit. On remarque, également, que l'épaisseur de la tranche a diminué d'environ 62%.

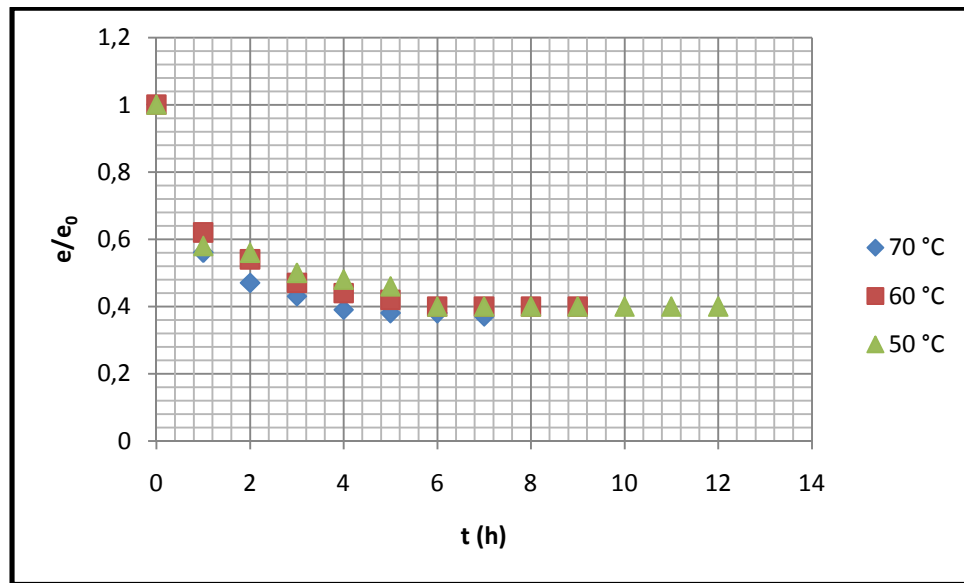


Figure III.23 : Variation de l'épaisseur des fraises prétraitées par ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$) au cours du séchage statique.

La figure III.24 montre la variation de volume (V) de la tranche de fraise prétraité par dithionite de sodium ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$) en fonction du temps pour trois températures d'air différentes à savoir: 50, 60 et 70 ° C. Il y a influence de la température à 50 ° C sur le volume du fruit. On remarque que le volume des tranches a diminué d'environ 91%.

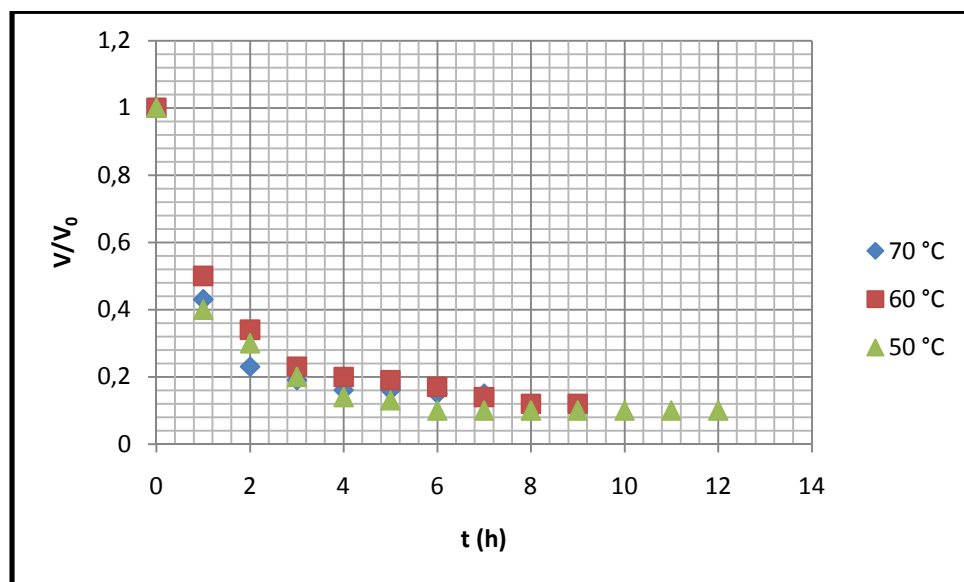


Figure III.24 : Variation du volume des fraises prétraitées par ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$) au cours du séchage statique.

III.4. Étude de l'effet du prétraitement sur la cinétique de séchage

Les courbes obtenues expérimentalement (Figures III.25, III.26 et III.27) expriment l'évolution de la teneur en eau des tranches de fraise sans prétraitement et les tranches de fraise prétraitées en fonction du temps de séchage et ce pour les trois températures 50, 60 et 70 °C. Sur chacune de ces figures, on peut remarquer le phénomène du séchage. La teneur en eau du fruit diminue continuellement au cours du temps pour atteindre une valeur finale.

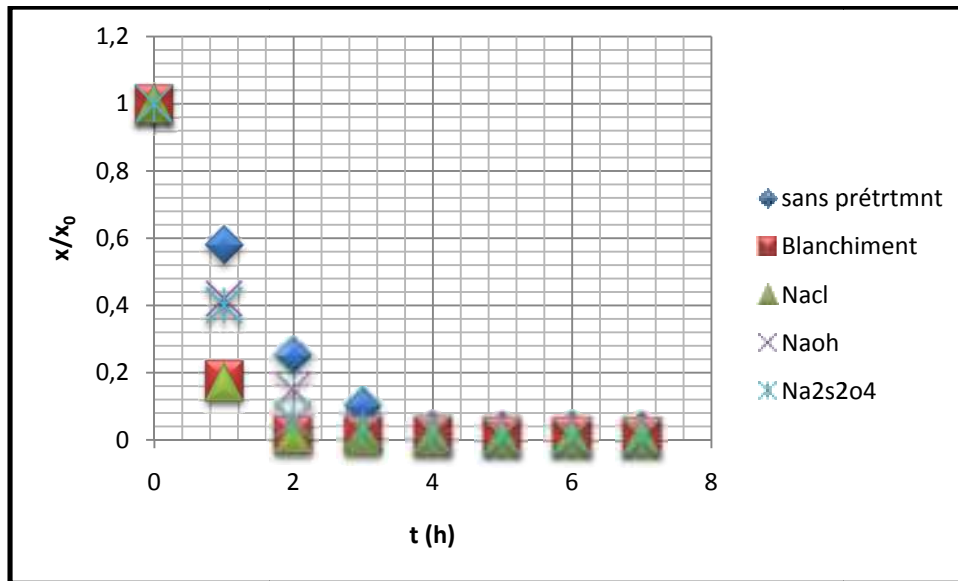


Figure III.25 : Variation de la teneur en eau des fraises au cours du séchage statique à 70 °C.

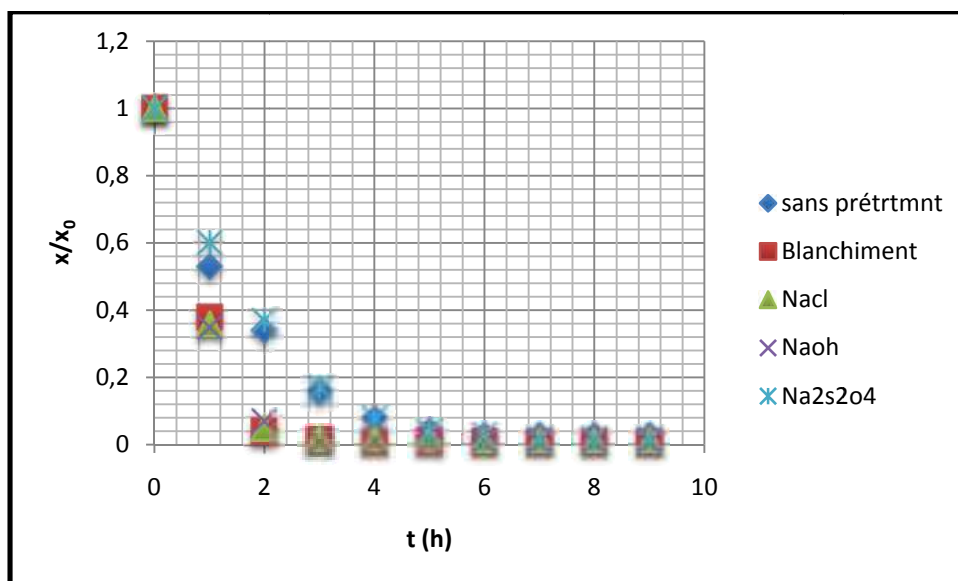


Figure III.26 : Variation de la teneur en eau des fraises au cours du séchage statique à 60 °C.

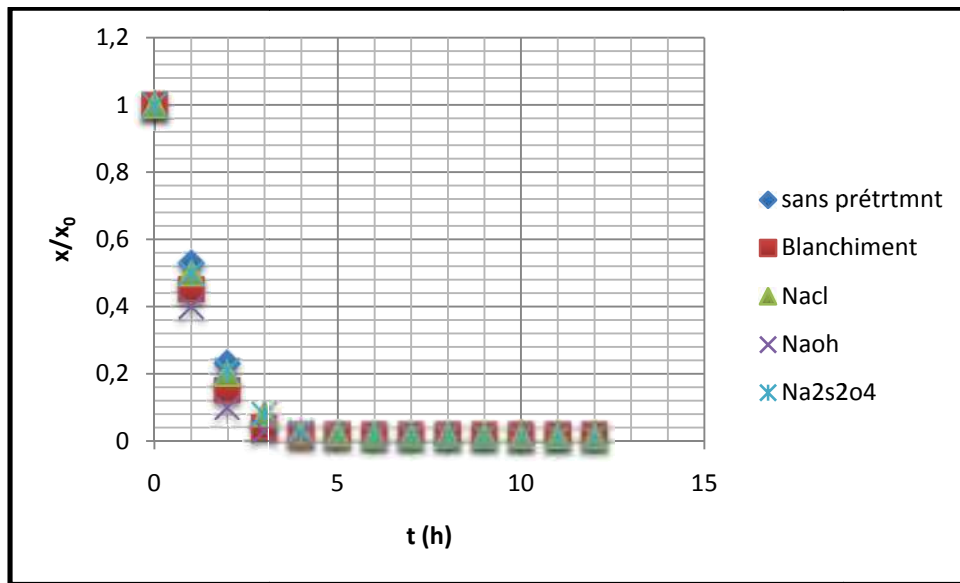


Figure III.27 : Variation de la teneur en eau des fraises au cours du séchage statique à 50°C.

III.5. Étude de l'effet de la température sur la cinétique de séchage

Les figures (III.28, III.29, III.30, III.31 et III.32) expriment l'effet de la température sur l'évolution de la teneur en eau relative de les tranches de fraise sans prétraitement et les tranches de fraise prétraitées par (Blanchiment, chlorure de sodium, hydroxyde de sodium et dithionite de sodium) en fonction du temps de séchage et ce pour trois températures 50, 60 et 70 °C.

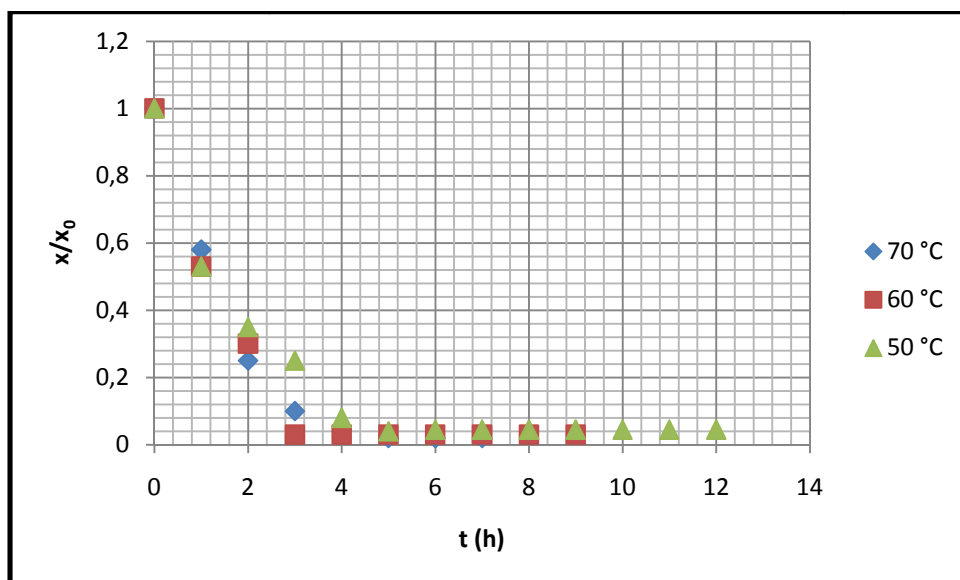


Figure III.28 : Variation de la teneur en eau des fraises sans prétraitement.

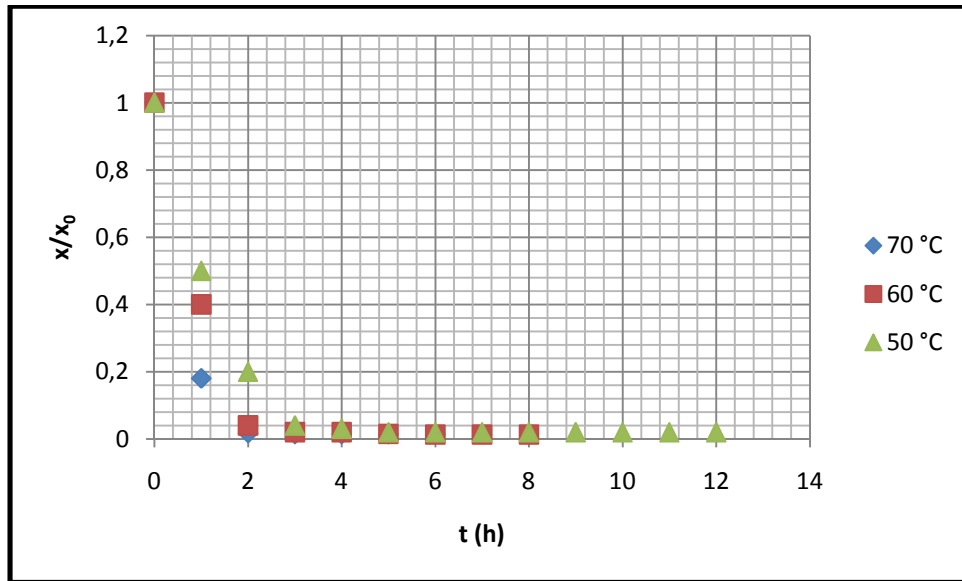


Figure III.29 : Variation de la teneur en eau des fraises prétraitées par blanchiment.

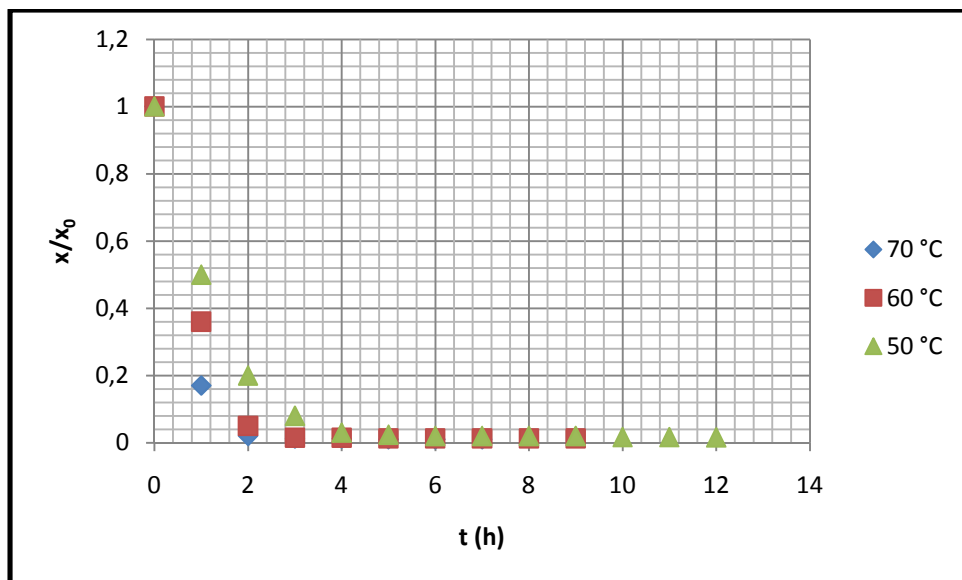


Figure III.30 : Variation de la teneur en eau des fraises prétraitées par le chlorure de sodium (NaCl).

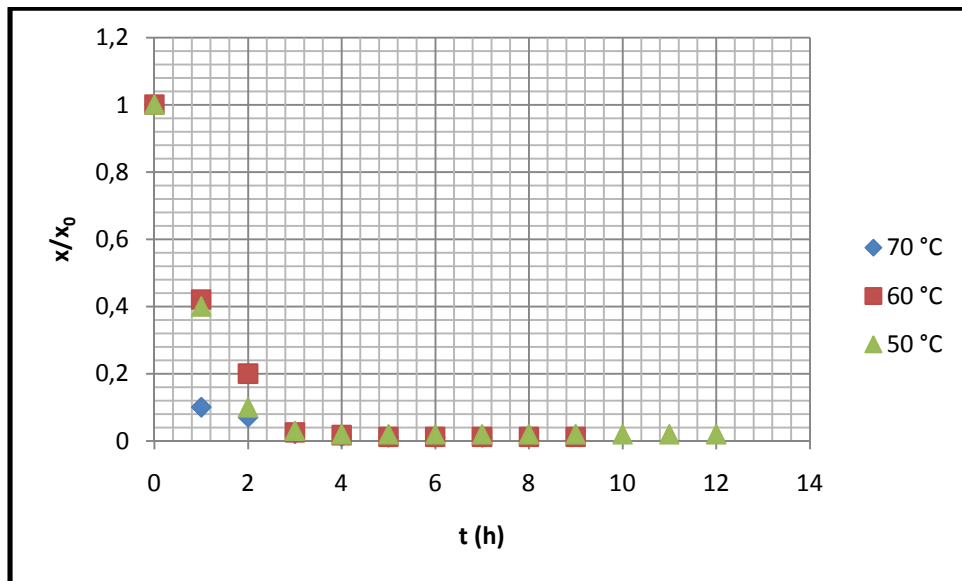


Figure III.31 : Variation de la teneur en eau des fraises prétraitées par l'hydroxyde de sodium (NaOH).

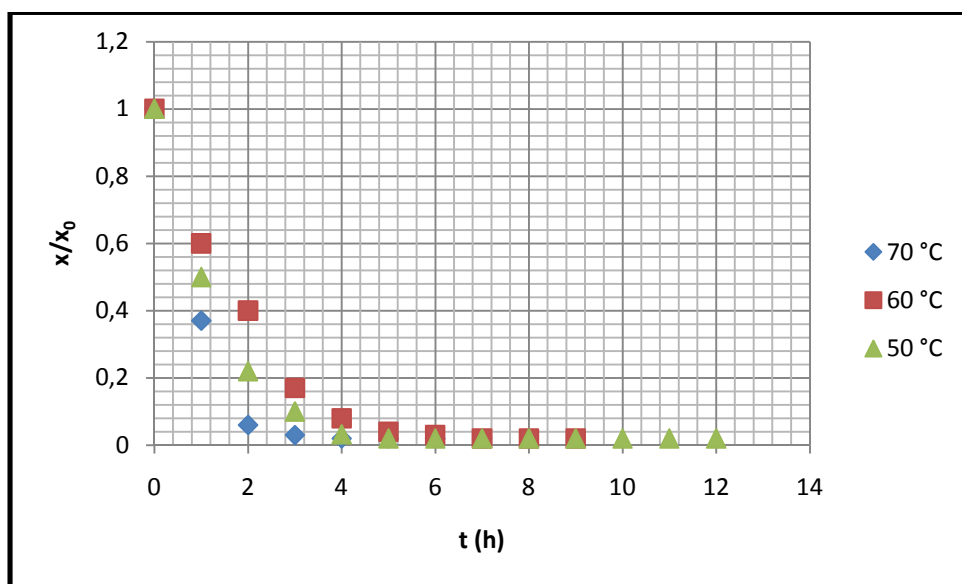


Figure III.32 : Variation de la teneur en eau des fraises prétraitées par le dithionite de sodium ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$).

III.6. Étude de l'effet du prétraitement sur la vitesse de séchage

Les courbes - $dX/dt = f(t)$ des figures III.33, III.34 et III.35 représentent la variation temporelle de la vitesse de séchage pour les tranches de fraise sans prétraitement et les tranches de fraise prétraitées par (Blanchiment, chlorure de sodium, hydroxyde de sodium et dithionite de sodium). La présence de la phase de séchage à vitesse décroissante précédée d'une courte phase de mise en température, les deux phases de séchage sont présentes.

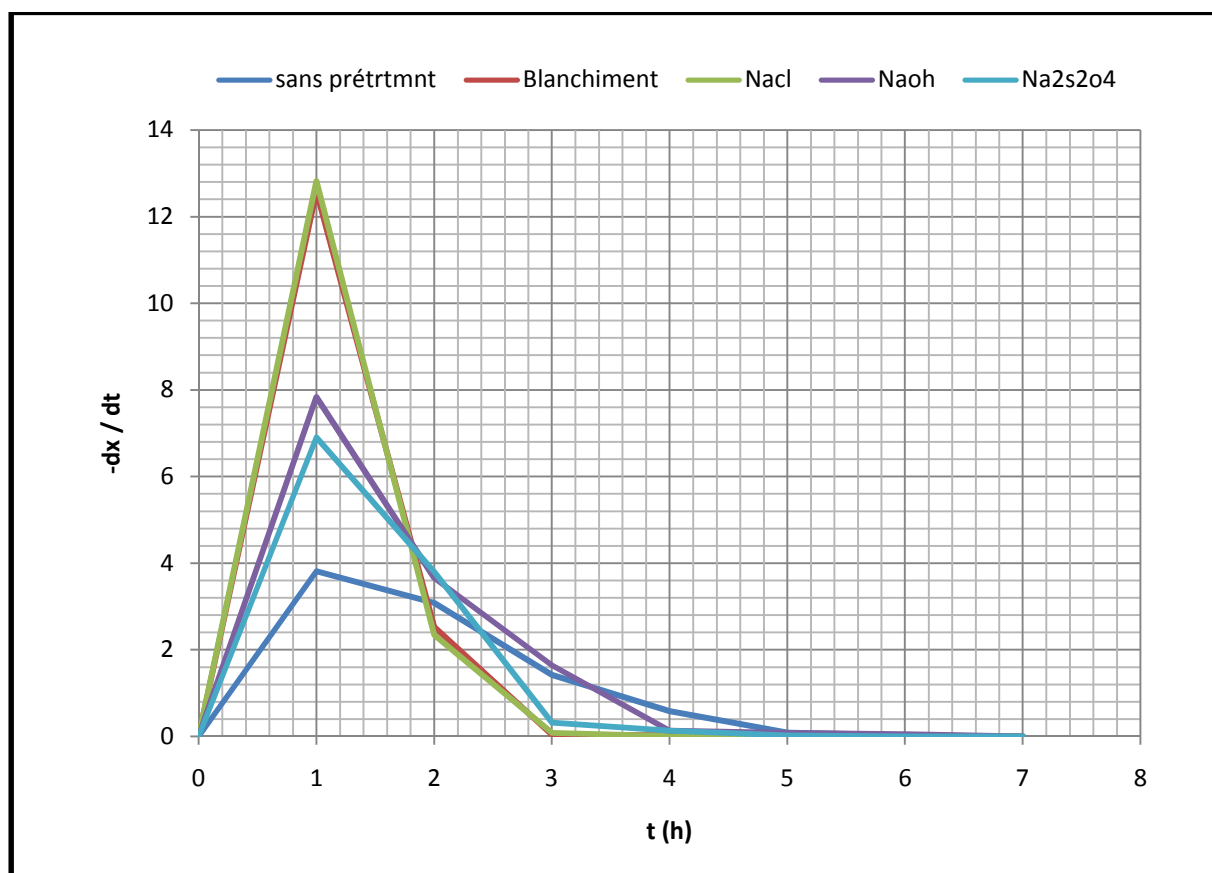


Figure III.33 : Variation de la vitesse de séchage statique des fraises à 70 °C.

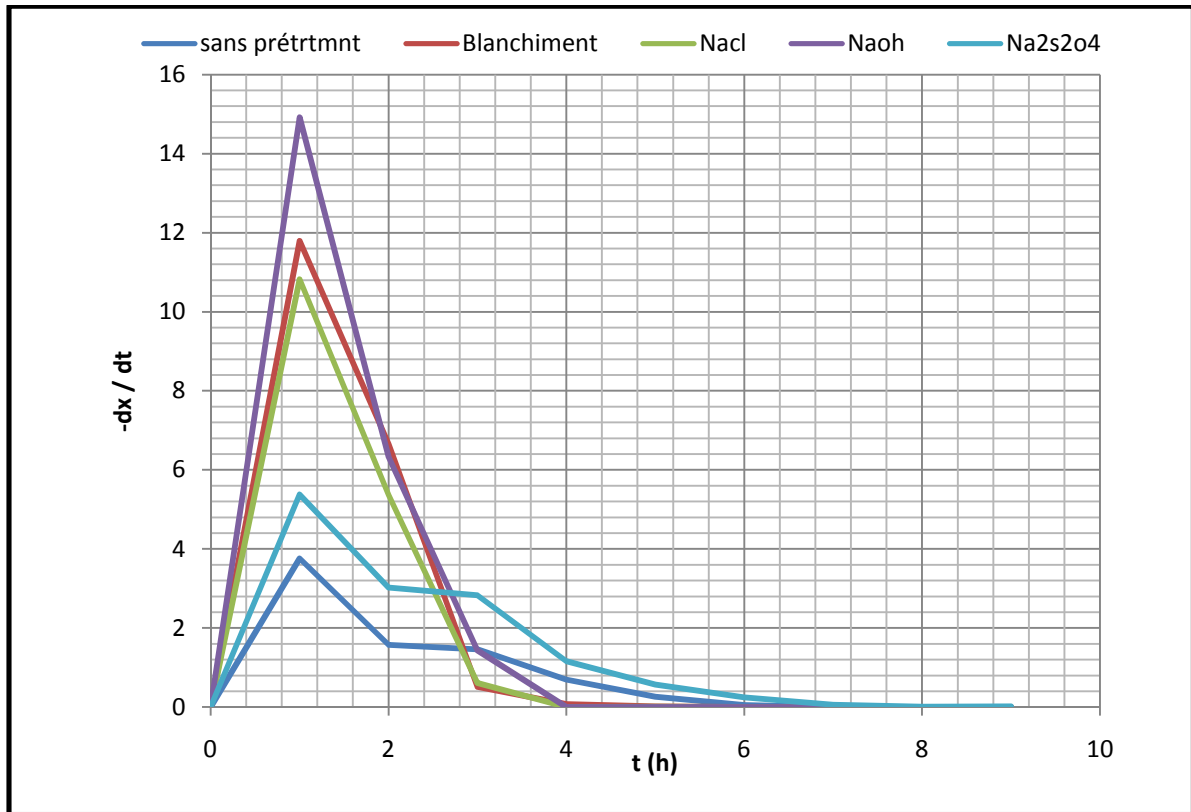


Figure III.34 : Variation de la vitesse de séchage statique des fraises à 60 °C.

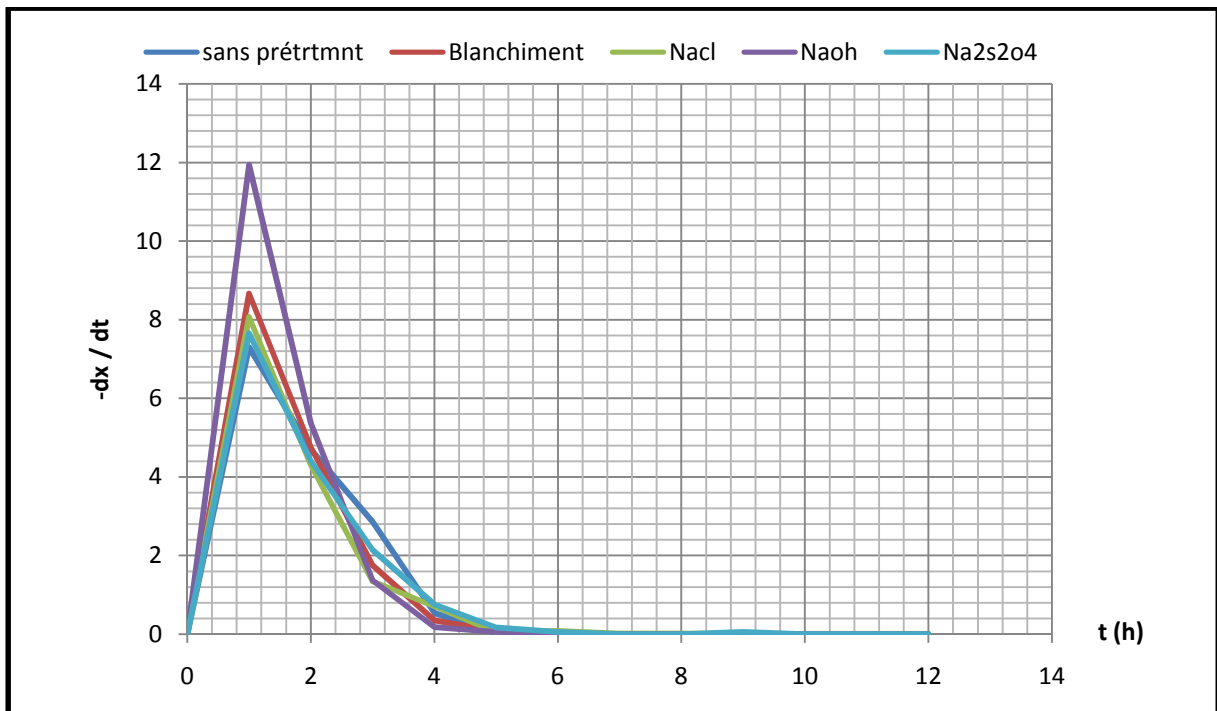


Figure III.35 : Variation de la vitesse de séchage statique des fraises à 50 °C.

III.7. Étude de l'effet de la température sur la vitesse de séchage

III.7.1. Effet de la température sur la vitesse de séchage des fraises sans prétraitement

On remarque que les températures 60 et 70 °C ont un effet sur la vitesse de séchage pour les fraises non prétraitées.

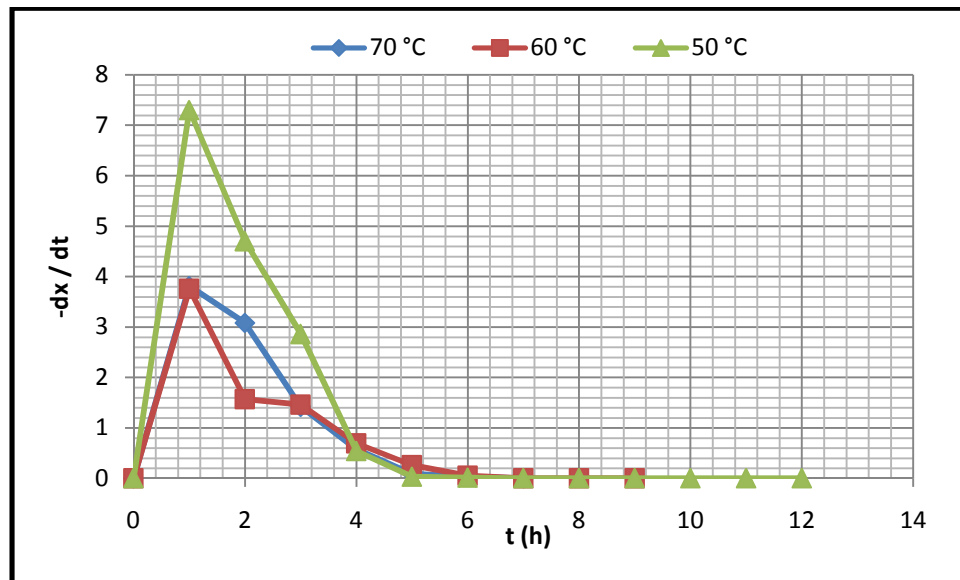


Figure III.36 : Variation de la vitesse de séchage statique des fraises sans prétraitement.

III.7.2. Effet de la température sur la vitesse de séchage des fraises prétraitées par blanchiment

On remarque que la température à 50 °C a un effet sur la vitesse de séchage pour les fraises prétraitées par le blanchiment.

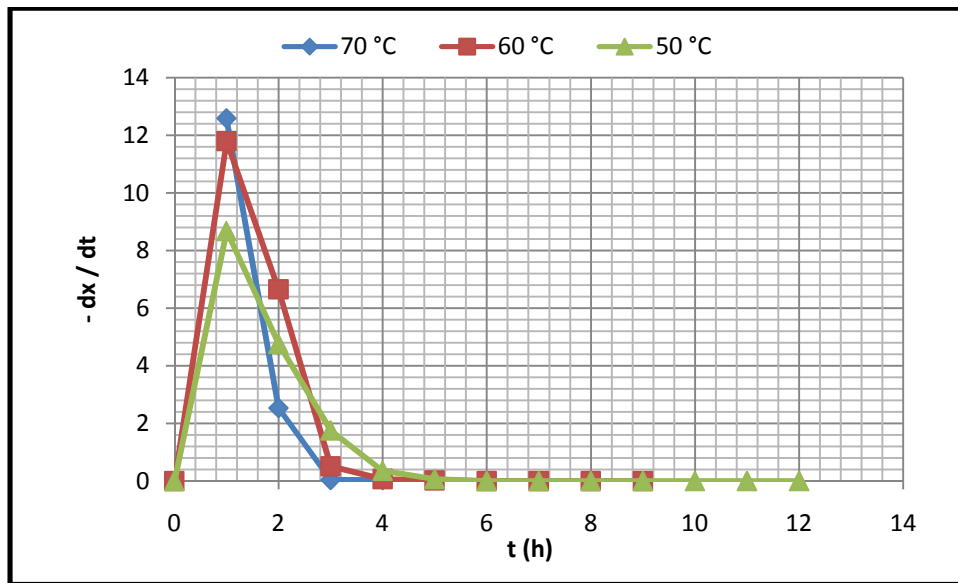


Figure III.37 : Variation de la vitesse de séchage statique des fraises prétraitées par blanchiment.

III.7.3. Effet de la température sur la vitesse de séchage des fraises prétraitées par le chlorure de sodium (NaCl)

On remarque que la température a 50 °C à un effet sur la vitesse de séchage pour les fraises prétraitées par le chlorure de sodium (NaCl).

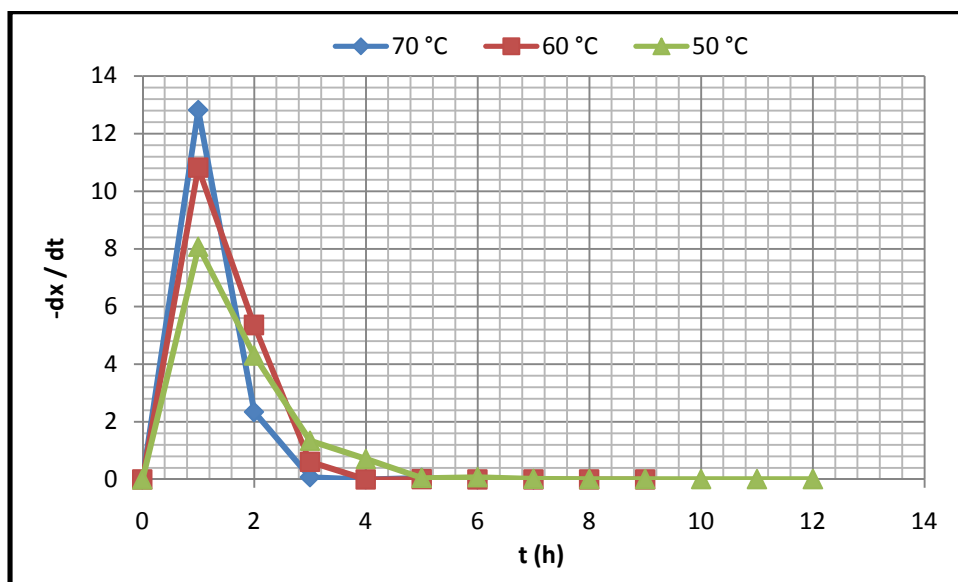


Figure III.38 : Variation de la vitesse de séchage statique de fraises prétraitées par le chlorure de sodium.

III.7.4. Effet de la température sur la vitesse de séchage des fraises prétraitées par l'hydroxyde de sodium (NaOH)

On remarque que la température à 70 °C a un effet sur la vitesse de séchage pour les fraises prétraitées par l'hydroxyde de sodium (NaOH).

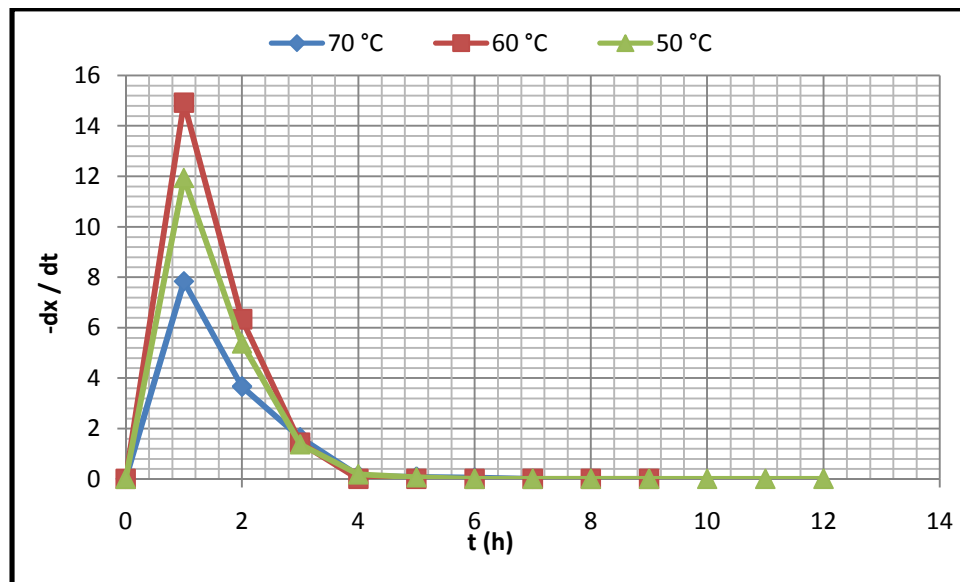


Figure III.39 : Variation de la vitesse de séchage statique des fraises prétraitées par l'hydroxyde de sodium.

III.7.5. Effet de la température sur la vitesse de séchage des fraises prétraitées par le dithionite de sodium ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$)

On remarque que la température à 50 °C a un effet sur la vitesse de séchage pour les fraises prétraitées par le dithionite de sodium ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$).

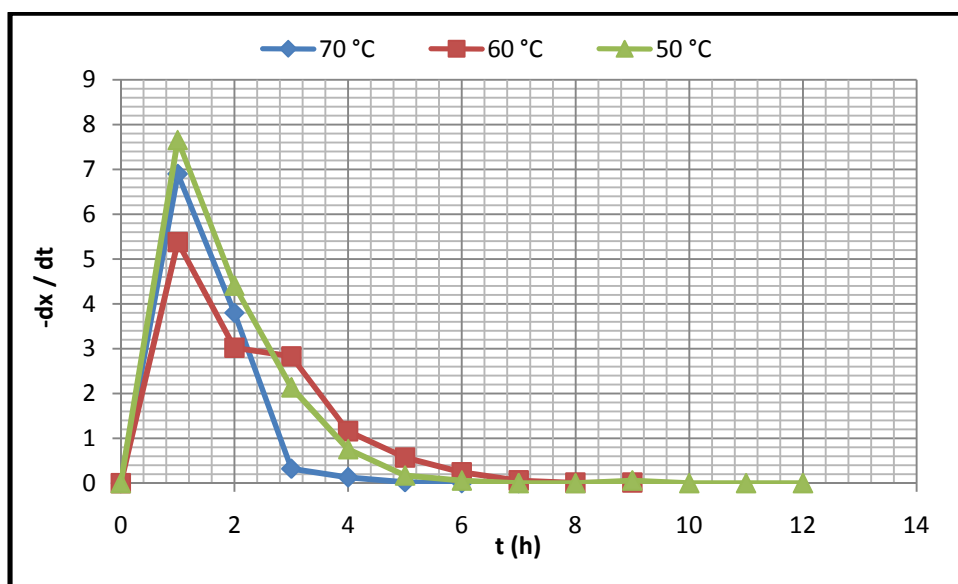


Figure III.40 : Variation de la vitesse de séchage statique des fraises prétraitées par le dithionite de sodium.

Références

bibliographiques

Références

- [1]. Philippe Dudez avec la collaboration de André Thémelin et Max Reynes. Le séchage solaire à petite échelle des fruits et légumes.
- [2]. <https://fr.wikipedia.org/wiki/S%C3%A9chage>
- [3]. Thu Ha Nguyen. Étude expérimentale et modélisation du procédé de séchage des végétaux. Université de Bretagne Sud.
- [4]. Programme de radio rurale. Le séchage des produits agricoles <https://ruralradio.cta.int/>. 27-12-17 /16:00h
- [5]. Mawardii YUSUFE, Ali MOHAMMED, Neela SATHEESH, Research paper. Effect of duration and drying temperature on characteristics of dried tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) Cochoro Variety.
- [6]. <https://fr.wikipedia.org/wiki/S%C3%A9chage> 27-12-18,45:00h
- [7]. Amar SEGHIER & Sliman ROUAS. Mémoire de Master 2016 « Étude du retrait au cours du séchage des fruits» Université de Ouargla, Algérie.
- [8]. Training Programme for Women Entrepreneurs in the Food-processing Industry - Volume II.
- [9]. David Roberts article sure website, everything about solar energy. <http://energyprofessionalsymposium.com/>. 03-02-18/ 19:30 h.
- [10]. Boumediene Touati, "Modélisation numérique des transferts couplés de chaleur et de masse lors du séchage des feuilles de menthe verte". Thèse pour obtenir le grade de docteur de L'I.N.S.A. de Lyon et docteur de l'université de Tlemcen.
- [11]. Marilyn A, Swanson. Article "Drying fruits and vegetables 3rd edition". Oregon state and Washington state.
- [12]. Jose ´ I. Reyes De Corcuera, Ralph P. Cavalieri and Joseph R. Powers. Blanching of Foods. Washington State University, Pullman, Washington, U.S.A.
- [13]. Judy A. Harrison, and Elizabeth L. Article " Preserving food: Drying fruits and vegetables" The University of Georgia and Ft. Valley State University https://nchfp.uga.edu/publications/uga/uga_dry_fruit. 25-01-18/ 18:45 h.
- [14]. S.E Agarry, A.O Durojaiye and T.J Afolabi. Effects of pretreatment on the drying rates and drying time of potato. Departement of general engineering, Ladoke Akintola university of Technology, Ogbomoso, Nigeria.
- [15]. Lee, J. S. and Lim, L. S. Osmo-dehydration pretreatment for drying of pumpkin slice. School of Food Science and Nutrition, Universiti Malaysia Sabah.

[16]. <http://genie-alimentaire.com/> 22-02-18/ 8:10 h.

[17]. Khama, R.; Aissani, F.; Alkama, R., Bennamoun, L.; Fraikin, L.; Salmon, T.; Plougonven, E.; and Léonard, A. (2016). Convective drying of cherry tomato: study of skin effect. *Journal of Engineering Science & Technology*.