



**HAL**  
open science

# SECHAGE DE PRODUITS GRANULAIRES PAR DESHYDRATATION PAR DETENTES SUCCESSIVES (DDS)

Galal Abdulla, Hamid Mellouk, Abdelhamid Belghit, Karim Allaf

► **To cite this version:**

Galal Abdulla, Hamid Mellouk, Abdelhamid Belghit, Karim Allaf. SECHAGE DE PRODUITS GRANULAIRES PAR DESHYDRATATION PAR DETENTES SUCCESSIVES (DDS). IX ème colloque inter-universitaire franco-québécois sur la thermique des systèmes, May 2009, Lille, France. pp.CIFQ2009 / ART-109. hal-00429102

**HAL Id: hal-00429102**

**<https://hal.science/hal-00429102>**

Submitted on 31 Oct 2009

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## SECHAGE DE PRODUITS GRANULAIRES PAR DESHYDRATATION PAR DETENTES SUCCESSIVES (DDS)

Galal **Abdulla**, Hamid **Mellouk**, Abdelhamid **Belghit\***, Karim **Allaf**

LEPTIAB, Pôle Sciences et Technologie, Université de La Rochelle,  
Av Michel Crépeau, 17000 La Rochelle, France

---

### RÉSUMÉ

Dans cette étude, nous avons évalué les performances d'un nouveau procédé de séchage dans le cas du liège en granulés. Ce procédé (La déshydratation par détentes successives : DDS) consiste à soumettre le matériau liège dans une chambre hermétique aux variations cycliques de la pression. Chaque cycle est composé d'une compression et d'une décompression. La phase de compression est réalisée en injectant de l'air comprimé à température ambiante provenant d'un compresseur à 6 bars. Ceci permet d'une part d'évaporer l'eau du liège et d'autre part un refroidissement intense de celui-ci. Un des avantages du procédé proposé est le faible temps de séjour du produit à température élevée.

Parmi beaucoup de paramètres liés à ce procédé, nous avons choisi d'étudier l'effet de la pression de traitement ( $P^+$ ), la durée du palier haut ( $t^+$ ) et la durée du palier bas ( $t^-$ ) sur la cinétique du séchage globale ainsi que sur l'humidité finale du produit.

Les résultats démontrent que le liège en granulés peut être séché jusqu'à 5,5% d'humidité finale en seulement 10 minutes à 3 bars de pression d'air à température ambiante ; aussi nous pouvons réaliser un séchage poussé du liège jusqu'à 2% d'humidité en seulement 40 minutes ce qui est rarement atteint avec les procédés classiques de séchage.

Finalement, le séchage par DDS est une technique qui permet de préserver le liège de toute déformation physique ou de dégradation de sa couleur car elle opère à température ambiante sans aucun traitement préalable des grains du liège.

*Mots Clés : Séchage, DDS, liège.*

---

### 1. INTRODUCTION

L'équipe du laboratoire s'est depuis longtemps intéressée aux phénomènes de détente vers le vide et d'auto-vaporisation (procédé appelé DIC : Allaf, 1988; Kompany *et al.*, 1990), pour pouvoir améliorer l'expansion et le séchage de divers produits agro-alimentaires.

Le procédé de déshydratation par détentes successives (DDS), utilise principalement le phénomène d'auto-vaporisation déjà rencontré dans le procédé DIC. La DDS se distingue cependant de la DIC par le fait qu'il s'agit d'une méthode de séchage par elle-même. Au plan technique, le produit ne subit aucun traitement thermique notable; seuls de faibles échanges de chaleur avec de l'air lors du remplissage de la chambre de traitement peuvent avoir lieu. En effet, un avantage de la DDS est le travail à des températures modérées

(généralement voisines de l'ambiante), ce qui favorise son utilisation pour les produits thermosensibles.

En DDS, le produit subit une succession de cycles de mise sous pression (1 à 6 bar), suivis d'une détente rapide vers une pression réduite généralement inférieure à la pression atmosphérique (Figure 2). A chaque détente une partie de l'eau contenue dans le produit est éliminée par auto-vaporisation ; la quantité évaporée dépend à la fois du système, de la structure du produit, de l'état de l'eau et des conditions opératoires utilisées (pression, température, etc.). Le séchage par DDS fait appel à de l'air à température ambiante, comprimé en vue d'aboutir à la pression recherchée, il est tout autant envisageable d'utiliser d'autres gaz neutres.

La DDS est une méthode de séchage sous vide discontinu, où, contrairement à la méthode classique de séchage sous vide, les deux processus d'apport de

\* auteur correspondant

Adresse électronique : [courriel de l'auteur correspondant](mailto:courriel de l'auteur correspondant)

chaleur et d'élimination d'eau se produisent successivement et non simultanément.

L'objectif de ce travail (G. Abdulla, 2008), est de définir un procédé capable de sécher le liège sans altérer ses qualités élastiques et visuelles.

## 2. Protocole de séchage par Déshydratation successive :

La technologie DDS consiste à soumettre le matériau humide dans une chambre hermétique aux variations cycliques de la pression. Chaque cycle est composé d'une compression et d'une décompression. La phase de compression est réalisée en injectant de l'air comprimé provenant d'un compresseur à 6 bars. Pendant cette phase, l'augmentation de la pression au niveau désirable est contrôlée par une valve d'admission d'air (Figure 1). La phase de décompression est assurée par l'ouverture très rapide (moins de 2 secondes) d'une vanne pneumatique située entre la chambre de traitement et le réservoir à vide. La fermeture de cette vanne marque la fin du premier cycle et le début du cycle suivant. La pression oscille donc entre deux valeurs : le niveau de pression haute ( $P^+$ ) et le niveau du vide ou pression basse ( $P^-$ ). Le premier cycle commence avec une mise sous vide initiale, ensuite plusieurs étapes se suivent :

- La mise sous pression de la chambre de traitement. Une fois la pression haute atteinte, une phase appelée palier haut est maintenue pendant un temps ( $t^+$ ).
- Une détente instantanée est ensuite opérée, suivie d'un certain temps d'attente dans le vide ( $t^-$ ) avant de poursuivre le cycle. Ce séjour sous vide permet d'évacuer l'air et l'eau vaporisée. Cet ensemble dure un temps  $t$  représentant la durée totale du traitement.

Le produit étudié est du liège sous forme de granulés d'origine portugaise de diamètre 0.5-1mm.

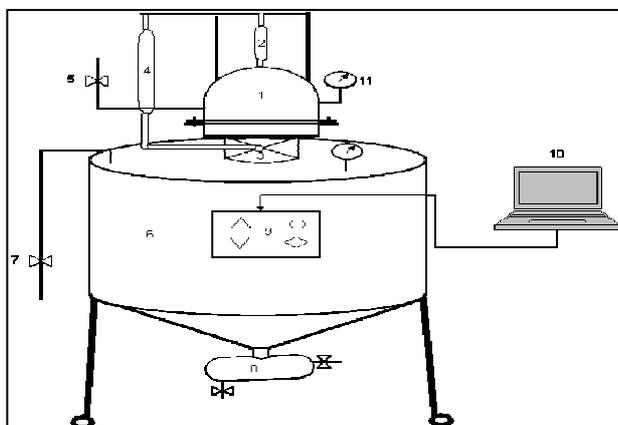


Figure 1 : Schéma du réacteur DDS (1- chambre de traitement ; 2- vérin d'ouverture de la cloche ; 3- vanne de détente; 4- vérin actionnant la vanne de détente ; 5- entrée de vapeur ou d'air comprimé ; 6- réservoir à vide ; 7- sortie vers la pompe à vide ; 8- réservoir ; 9- tableau de contrôle manuel ; 10-système de contrôle automatique ; 11- manomètre

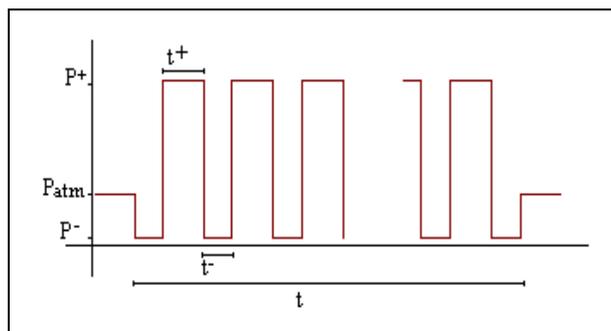


Figure 2 : Variation de la pression lors du traitement par DDS :  $P^+$  = consigne haute pression ;  $P^-$  = consigne basse pression ;  $t^+$  = durée du maintien sous haute pression ;  $t^-$  = durée du maintien sous basse pression ;  $t$  = durée totale du traitement.

### 2.1. Mesure de la teneur initiale en eau

L'humidité initiale des produits est déterminée par mesure de la différence de masse avant et après 24h d'étuvage à 105°C. La masse finale permet de déterminer la quantité de matière sèche du produit et par conséquent sa teneur en eau. La teneur en eau est exprimée en g d'eau pour 100 g de matière sèche, que nous noterons % b.s.

### 2.2. Établissement des conditions expérimentales

Le principe des plans expérimentaux est l'établissement optimal des valeurs de paramètres d'expérimentation dans le but de décrire au mieux un domaine d'étude. L'utilisation de cette méthodologie permet d'obtenir le maximum de réponse à partir d'un nombre d'essais réduits. Pour étudier les effets des trois paramètres de la DDS : le niveau de pression  $P^+$ , la durée du palier haut  $t^+$  et la durée du palier bas  $t^-$ , un plan central composite à trois variables a été adopté.

#### Plan central composite

Les plans centraux composites se fondent sur un modèle quadratique. Ils testent les relations de premier ordre (linéaire) et de deuxième ordre (quadratique) entre les variables et les réponses. Les variables correspondent aux paramètres opératoires et les niveaux aux domaines de variation des paramètres choisis.

Un plan central composite est composé d'un plan factoriel complet, de points en étoile et de points centraux.

Paramètres \ Niveaux	+1	-1
P <sup>+</sup> (bar)	5	3
t <sup>+</sup> (min)	24	8
t <sup>-</sup> (min)	24	8

Le plan factoriel permet de retrouver comme points expérimentaux toutes les combinaisons possibles de deux niveaux choisis de k facteurs soit 2<sup>k</sup> points. Les niveaux sont codés +1 et -1. L'utilisation du plan factoriel complet se limite à l'étude de l'effet des paramètres selon un modèle linéaire.

Les points en étoiles axiaux sont des points supplémentaires, codés +α et -α par facteur. Ils sont au nombre de 2k. Ils complètent les points axiaux en permettant de définir les effets quadratiques des facteurs. Cette approche permet d'ajuster l'allure de variation de la variable réponse en fonction des paramètres opératoires à l'intérieur du domaine. La valeur de α est liée au nombre de facteurs k :

$$\alpha = \sqrt[4]{2^k}$$

#### Points centraux

Il s'agit de n répétitions au point au centre du domaine expérimental. La répétition de ce point est utilisée pour estimer la variance (reproductibilité, répétabilité) supposée constante pour l'ensemble des expériences.

Le nombre total de points du plan est donc: 2<sup>k</sup> + 2k + n (avec k le nombre de facteurs). Dans le cas de plan central composite à trois variables à deux niveaux, le nombre de points expérimentaux est: 2<sup>3</sup> + (2x2) + 8 = 22. Les points expérimentaux de ce plan sont représentés dans le tableau suivant.

**Tableau 1** : Le plan central composite à 3 facteurs et à 2 niveaux

Points	Pression (P <sup>+</sup> )	Durée du palier haut (t <sup>+</sup> )	Durée du palier bas (t <sup>-</sup> )
1	4	16	16
2	2,31	16	16
3	5	24	8
4	4	16	2,54
5	4	16	16
6	5	8	8
7	3	8	24
8	5	24	24
9	5	8	24
10	4	16	16
11	4	16	16
12	4	2,54	16
13	3	8	8
14	4	16	29,45
15	4	29,45	16
16	3	24	8
17	4	16	16
18	3	24	24
19	4	16	16
20	4	16	16
21	5,68	16	16
22	4	16	16

### 3. Résultats et discussion

#### 3.1. Analyse des cinétiques de séchage

Le suivi des cinétiques de séchage est réalisé grâce à la mesure de l'évolution de la masse des échantillons au cours du séchage.

L'évolution de la teneur en eau au cours du temps ou au cours des cycles DDS peut être représentée (W = f (temps) ou W = f (nombre de cycles).

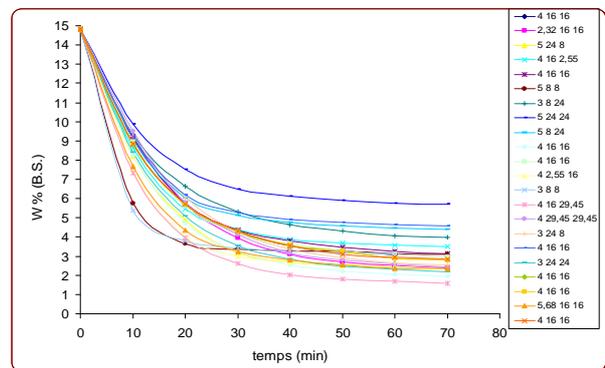


Figure 3 : l'évolution de l'humidité base sèche du liège en fonction du temps de séchage par DDS

L'analyse des cinétiques de séchage par DDS (Figure 3), démontre que les points 6 ( $P^+=5$  ;  $t^+=8$  ;  $t^-=8$ ) et 13 ( $P^+=3$  ;  $t^+=8$  ;  $t^-=8$ ) permettent d'atteindre une humidité de 5,5% en seulement 10 minutes de traitement. Cela s'explique par un nombre plus important de détente vers le vide dans un temps de traitement très court car les durées des paliers bas et haut sont très courtes. Par la suite la cinétique de séchage devient très lente et se stabilise à environ 4%.

Alors qu'avec les paramètres du point 14 ( $P^+=4$  ;  $t^+=16$  ;  $t^-=29,45$ ), on n'atteint une humidité de 5,5% qu'à partir de 16 min de séchage mais par la suite l'humidité continue à évoluer pour atteindre 2% en 40 minutes ce qui est souvent impossible à réaliser avec les procédés de séchage classiques.

### 3.2. Influence des paramètres opératoires

L'analyse statistique par plans d'expériences, montrée sur la Figure 4, démontre que l'augmentation de la durée du palier haut agit négativement sur l'opération de séchage alors que les deux autres paramètres à savoir la durée du palier bas et le niveau de pression agissent positivement sur l'opération du séchage.

En résumé, pour effectuer une opération de séchage par DDS efficace, il est indispensable d'opérer avec la pression ( $P^+$ ) la plus élevée possible pour avoir un effet mécanique (lors de la détente) le plus important possible ; une durée du palier haut ( $t^+$ ) le plus court possible car la mise sous pression déplace l'équilibre à des températures d'évaporation plus élevées et, une durée du palier bas ( $t^-$ ) le plus long possible car c'est au cours de cette étape que l'évaporation s'opère même à basse température.

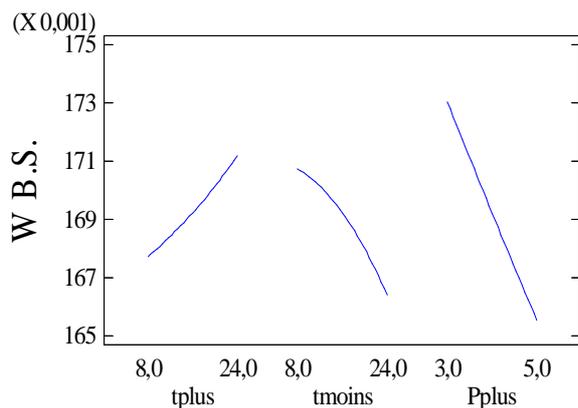


Figure 4 : Analyse séparée des effets des paramètres opératoires sur l'évolution de l'humidité du liège par DDS

## 4. CONCLUSION

Cette étude a permis de démontrer la faisabilité de la déshydratation par détente successive (DDS) pour le séchage du liège en granulés.

Nous pouvons sécher du liège en granulés jusqu'à 5,5% d'humidité finale en seulement 10 minutes à 3 bars de pression d'air à température ambiante (point 13).

Nous pouvons réaliser un séchage poussé du liège jusqu'à 2% d'humidité en seulement 40 minutes ce qui est rarement atteint avec les procédés classiques de séchage.

Le séchage par DDS est une technologie de séchage qui permet de préserver le liège de toute déformation physique ou de dégradation de sa couleur car elle opère à température ambiante sans aucun traitement préalable des grains du liège.

## RÉFÉRENCES

- G. Abdulla, 2008, Thèse de Doctorat, Université de La Rochelle.
- Allaf K., 1988. Approche à l'analyse fondamentale de l'expansion par alvéolation selon différents procédés (*puffing, cuisson-extrusion...*) Rapport interne, DTAI, Université de Technologie de Compiègne.
- E. Kompany *et al.*, 1990. Nouveau procédé de déshydratation des fruits et légumes à réhydratation rapide. IAA, décembre, pp.1243-1248.