

⑫

BREVET D'INVENTION

B1

⑤④ Procédé de gestion d'un système de déshydratation et système de déshydratation correspondant.

⑫② Date de dépôt : 13.07.22.

⑫③ Priorité :

⑥⑥ Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

○ Demande(s) d'extension : Polynésie-Fr

⑦① Demandeur(s) : *LGD Société par Actions Simplifiée*
— FR.

④③ Date de mise à la disposition du public
de la demande : 19.01.24 Bulletin 24/03.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 13.09.24 Bulletin 24/37.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑦② Inventeur(s) : DIJOU Jean-Gabriel.

⑦③ Titulaire(s) : *LGD Société par Actions Simplifiée*.

⑦④ Mandataire(s) : SANTARELLI.



Description

Titre de l'invention : Procédé de gestion d'un système de déshydratation et système de déshydratation correspondant

- [0001] La présente invention concerne le domaine de la déshydratation et en particulier celui des installations de déshydratation.
- [0002] La déshydratation correspond de manière générale au fait de retirer de l'eau présente dans un produit. Cette opération peut avoir divers objectifs, par exemple de permettre une longue conservation d'un produit, ou d'en concentrer certains éléments.
- [0003] La déshydratation comporte notamment les procédés de séchage ou dessiccation sous vide.
- [0004] Ces procédés comportent notamment les procédés de lyophilisation. La lyophilisation, consiste en la dessiccation d'un produit préalablement congelé, par sublimation. La lyophilisation est ainsi réalisée en maintenant le produit à une basse température sous vide. Dans les procédés de lyophilisation, l'eau extraite des produits est généralement condensée par un système de plaques froides puis évacuée de l'installation de lyophilisation. D'autres procédés de déshydratation sous vide sont connus.
- [0005] Déshydrater sous vide présente plusieurs avantages principaux. Le fait de baisser le point d'ébullition et donc de travailler à plus basse température permet de préserver les qualités du produit déshydraté. Le fait de déshydrater en absence d'oxygène ou en présence de peu d'oxygène évite l'oxydation de certaines molécules.
- [0006] Cependant, les faibles pressions impliquent des volumes très importants de vapeur d'eau, qui doit donc être "piégée". Il existe différentes façons de piéger l'eau: par physiosorption, chimiosorption, condensation.
- [0007] Les procédés de déshydratation sous vide comportent donc généralement l'utilisation d'un piège à eau contenant un matériau adsorbant. Une installation pour la mise en œuvre de tels procédés comporte généralement une enceinte qui reçoit des bacs de produits à déshydrater et des ensembles contenant le matériau adsorbant. Une mise sous vide de l'enceinte provoque une évaporation de l'eau initialement contenue dans les produits et la vapeur d'eau ainsi produite est adsorbée par le matériau adsorbant.
- [0008] Les principales applications des technologies de déshydratation visées dans la présente invention concernent notamment la déshydratation de produits alimentaires, de produits cosmétiques, et de produits pharmaceutiques, de produits bio-sourcés (par exemple le bois), ou de produits entrant dans la composition de tels produits alimentaires, cosmétiques ou pharmaceutiques, etc.

- [0009] Divers dispositifs de déshydratation, sont connus dans l'état de la technique, de longue date.
- [0010] Par exemple, le document US2374232 divulgue un dispositif de déshydratation sous vide (en l'occurrence de lyophilisation), utilisant un matériau dessiccateur tel qu'un gel de silice. Le produit à déshydrater est placé dans un contenant qui est en communication avec une chambre qui contient le matériau dessiccateur, ce qui permet les échanges gazeux et un équilibre de pression entre le contenant où est placé le produit et l'enceinte qui contient le matériau dessiccateur,
- [0011] Le document FR2805759 porte sur un procédé de déshydratation dans un système similaire comportant au moins un réacteur à adsorption réversible solide/gaz de type usuel qui contient, dans une enceinte, un adsorbant tel que de la zéolite, une cuve contenant un produit à adsorber (par exemple posé sur des plateaux); et une liaison fluide munie d'une vanne pour permettre la mise en communication de l'enceinte et de la cuve et un équilibre de pression entre l'enceinte et la cuve.
- [0012] Ce document rappelle notamment qu'un procédé pour mettre en œuvre un tel dispositif comporte classiquement les trois phases successives suivantes:
- une phase d'adsorption, pendant laquelle on met l'enceinte contenant l'adsorbant en communication avec une cuve contenant le produit à adsorber ;
 - une phase de régénération, pendant laquelle on met ladite enceinte contenant l'adsorbant en communication avec un système de condensation, on isole ladite enceinte par rapport à ladite cuve, et on réchauffe ledit adsorbant ; et
 - une phase de refroidissement, pendant laquelle on isole ladite enceinte et on refroidit ledit adsorbant.
- [0013] Le dispositif et le procédé présentés dans ce document concernent en particulier les conditions appliquées à l'adsorbant, qui peuvent néanmoins être encore optimisés.
- [0014] Les installations connues à ce jour ne sont ainsi pas optimisées dans une approche globale du processus de déshydratation, afin de conserver les propriétés du produit tout en permettant une mise en œuvre efficace du dispositif.
- [0015] En particulier, la problématique de l'énergie nécessaire à mener à bien le processus complet de déshydratation est importante. Ainsi, en plus de proposer un dispositif de déshydratation efficace pour conserver les propriétés du produit déshydraté, par exemple ses qualités gustatives, il convient de proposer un dispositif qui a une consommation énergétique compétitive vis-à-vis des solutions de déshydratation existantes.
- [0016] La présente invention vise à proposer un dispositif de déshydratation optimisé.
- [0017] Ainsi, l'invention porte sur un procédé de gestion d'un système de déshydratation adapté à déshydrater un produit, le système de déshydratation comportant un dispositif assécheur contenant un matériau adsorbant, le procédé comportant :

- des phases d'adsorption d'eau par le matériau adsorbant afin de diminuer la pression partielle de vapeur d'eau dans un fluide porteur circulant dans système de déshydratation pendant la déshydratation du produit, et

- des phases de régénération lors desquelles le matériau adsorbant recouvre des propriétés d'adsorption ;

le matériau adsorbant étant tel que l'adsorption d'eau est exothermique,

le procédé comportant des étapes de :

- récupération d'énergie thermique au niveau du dispositif assécheur pendant les phases d'adsorption d'eau, et

- utilisation de l'énergie thermique récupérée pour :

- + le chauffage du produit pendant sa déshydratation ; et/ou

- + le chauffage du matériau adsorbant en phase de régénération.

[0018] Il est ainsi proposé un procédé permettant de limiter fortement les apports en énergie nécessaires pour mener à bien la déshydratation de produits et plus généralement pour l'exploitation du système de déshydratation, qui comporte la déshydratation du produit en elle-même et des phases de régénération du matériau adsorbant utilisé dans le système. Le matériau adsorbant utilisé peut en particulier être ou comporter une zéolite. Par régénération, il est entendu le fait de rétablir l'activité, c'est-à-dire la capacité à adsorber l'eau, du matériau adsorbant. Pour une zéolite, il s'agit d'en extraire l'eau en la plaçant dans des conditions de température et de pression favorables. Une régénération sous vide permet une régénération énergétiquement plus efficace (d'autant qu'une part de l'énergie employée pour la régénération peut être récupérée).

[0019] L'efficacité énergétique du procédé peut encore améliorée selon les modalités suivantes.

[0020] Entre la phase de régénération et la phase d'adsorption, une phase de refroidissement du matériau adsorbant peut être prévue et l'étape de récupération d'énergie thermique comporte la récupération d'énergie thermique au niveau du dispositif assécheur pendant la phase de refroidissement du matériau adsorbant.

[0021] L'étape de récupération d'énergie thermique peut comporter la récupération de chaleur latente de condensation de la vapeur d'eau présente dans un flux gazeux expulsé du matériau adsorbant pendant la phase de régénération.

[0022] L'étape de récupération d'énergie thermique peut comporter la récupération d'énergie thermique au niveau d'un dispositif mécanique du système de déshydratation, par exemple une pompe, et l'énergie thermique récupérée peut être utilisée pour :

- + le chauffage du produit en cours de déshydratation ; et/ou

- + le chauffage du matériau adsorbant en phase de régénération ; et /ou

+ le maintien en température d'un fluide caloporteur.

[0023] Le système de déshydratation peut comporter un deuxième dispositif assécheur, dans lequel l'énergie thermique récupérée est employée au moins en partie pour le chauffage du deuxième dispositif assécheur en phase de régénération.

[0024] Le procédé proposé dans l'invention se révèle particulièrement pertinent et efficace dans une telle configuration. L'énergie thermique récupérée, en tout ou partie d'un dispositif assécheur dont le matériau asséchant est en phase d'adsorption, peut ainsi être directement utilisée pour la régénération du matériau asséchant d'un dispositif assécheur en phase de régénération. Le procédé est ainsi applicable à un système de déshydratation comportant plusieurs dispositifs assécheurs notamment deux, trois, quatre, cinq, voire plus, dispositifs assécheurs.

[0025] Le procédé peut comporter les étapes de :

- mise en place du produit dans une enceinte de déshydratation ;
- établissement dans l'enceinte de déshydratation d'une pression au moins 500 millibars inférieure à la pression atmosphérique ;
- établissement entre l'entrée de l'enceinte de déshydratation et une sortie de l'enceinte de déshydratation d'un flux de fluide porteur ; et
- adsorption d'eau contenue dans le fluide porteur sortant de l'enceinte de déshydratation par le matériau adsorbant contenu dans le dispositif assécheur.

[0026] La pression du fluide porteur peut être relevée d'au moins 300 millibars entre la sortie de l'enceinte de déshydratation et le dispositif assécheur.

[0027] Le produit peut être amené et maintenu à une température comprise entre 20°C et 70°C, de préférence entre 30°C et 40°C, pendant sa déshydratation.

[0028] Il est ainsi proposé de faire fonctionner le système de déshydratation dans des conditions optimales, notamment d'un point de vue énergétique, dans les différentes phases du procédé. La déshydratation est ainsi réalisée sous une faible pression, largement inférieure à la pression atmosphérique, par exemple inférieure de plus de 500 millibars à la pression atmosphérique (on parle de déshydratation « sous vide »). L'humidité relative du fluide porteur, à l'entrée de l'enceinte de déshydratation, est inférieure à 70% et sera généralement beaucoup plus faible. L'adsorption d'eau par le matériau adsorbant est réalisée à une pression supérieure à la pression à laquelle le produit est déshydraté. La régénération du matériau adsorbant, typiquement de la zéolite, est réalisée sous vide.

[0029] On notera que, sauf indication contraire, les expressions « environ » et « de l'ordre de » font référence à la valeur indiquée plus ou moins 20%.

[0030] Dans certains modes de réalisation du procédé, le chauffage du matériau adsorbant en phase de régénération et le chauffage du produit en cours de déshydratation nécessitant une quantité totale d'énergie thermique, la récupération d'énergie thermique dans le

système couvre au moins 20%, de préférence au moins 50%, et plus préférentiellement au moins 70% de ladite quantité totale d'énergie thermique.

[0031] Comme cela sera montré ci-après, il est possible, dans un procédé conforme à certains modes de réalisation de la présente invention, de limiter les apports d'énergie thermique nécessaires au fonctionnement du système de déshydratation à un très faible niveau, voire théoriquement possible de les annuler.

[0032] L'invention porte également sur un système de déshydratation comportant une enceinte de déshydratation dans laquelle est placée un produit à déshydrater, et au moins un dispositif de déshydratation comportant un dispositif assécheur comportant un matériaux adsorbant adapté à adsorber de l'eau contenue dans un fluide porteur qui traverse le dispositif assécheur, le matériau adsorbant étant tel que l'adsorption d'eau est exothermique, le dispositif de déshydratation comportant un module de gestion de flux adapté à générer et piloter un flux de fluide porteur dans le dispositif de déshydratation et dans l'enceinte de déshydratation, le système de déshydratation comportant :

- un dispositif de récupération d'énergie thermique au niveau du dispositif assécheur et
- un dispositif de distribution de l'énergie thermique à un moyen de chauffage du produit dans l'enceinte de déshydratation, et/ou
- un moyen de stockage de l'énergie thermique en vue de son emploi pour chauffer le matériau adsorbant du dispositif assécheur lorsque celui-ci est en phase de régénération.

[0033] L'ensemble des fonctions de récupération et de distribution de l'énergie thermique peut ainsi être vu comme un module de récupération, pouvant assurer la distribution ou le stockage de l'énergie thermique récupérée.

[0034] Le dispositif peut comporter un deuxième dispositif assécheur, et le système peut alors comporter en outre un moyen de distribution de l'énergie thermique récupérée adapté à distribuer au deuxième dispositif assécheur tout ou partie de l'énergie thermique récupérée afin de chauffer le matériau asséchant du deuxième dispositif assécheur lorsqu'il est en phase de régénération.

[0035] Le dispositif de récupération d'énergie thermique peut comporter un échangeur gaz/liquide.

[0036] L'énergie est ainsi récupérée dans un fluide caloporteur, par exemple de l'huile. Cela permet son stockage ou, si besoin, son transfert, directement ou via un échangeur liquide/liquide, vers un circuit thermique, comportant un fluide caloporteur, et qui permet par exemple de chauffer le produit qui est en cours de déshydratation.

[0037] Le dispositif de récupération d'énergie thermique peut comporter une pompe à chaleur.

- [0038] La pompe à chaleur se révèle pertinente, notamment plus pertinente qu'un échangeur thermique de type gaz/liquide par exemple, lorsque les températures des gaz desquels de l'énergie thermique est à extraire sont relativement basse, par exemple en dessous de 120°C.
- [0039] Le système peut comporter en outre un moyen de de récupération d'énergie thermique émise par des dispositifs mécaniques du système.
- [0040] L'énergie ainsi récupérée, par exemple au moyen de pompes à chaleur, peut être utilisée notamment dans un système de traçage (c'est-à-dire de chauffage allongé) le long des canalisations du système, en complément d'un calorifugeage des canalisations.
- [0041] L'enceinte de déshydratation du système peut comporter un ensemble d'étagères de réception de bacs adaptés à contenir un produit à déshydrater et le moyen de chauffage du produit peut comporter un ensemble de conduits contenant un fluide caloporteur chauffé en tout ou partie via un ou plusieurs échangeurs connectés au dispositif de récupération d'énergie thermique. Cette configuration optimise le rapport entre la surface d'évaporation exposée par le produit et le volume de l'enceinte, ainsi que l'efficacité du chauffage du produit.
- [0042] D'autres particularités et avantages de l'invention apparaîtront encore dans la description ci-après.
- [0043] Aux dessins annexés, donnés à titre d'exemples non limitatifs :
la [Fig.1] représente, selon un schéma de principe, un système de déshydratation conforme à un mode de réalisation de l'invention ;
la [Fig.2] représente, selon un schéma de principe, un exemple de procédé de gestion d'un système de déshydratation conforme à l'invention, pouvant être appliqué notamment au système de déshydratation de la [Fig.1].
- [0044] La [Fig.1] représente, selon un schéma de principe, un système de déshydratation conforme à un mode de réalisation de la présente invention. Le système de déshydratation comporte un dispositif de déshydratation 1 et une enceinte de déshydratation 2 à laquelle le dispositif de déshydratation 1 est relié.
- [0045] Afin de déshydrater un produit contenu dans l'enceinte de déshydratation 2, un flux de fluide porteur, par exemple d'air ou avantageusement d'azote, à faible pression et ayant une faible pression partielle de vapeur d'eau, est généré dans l'enceinte de déshydratation 2 par un module de gestion de flux 3 du dispositif de déshydratation 1. L'utilisation d'air à faible pression en tant que fluide porteur évite l'oxydation du produit qui est déshydraté. L'utilisation d'azote en tant que fluide porteur est encore plus avantageuse sur cet aspect.
- [0046] L'enceinte de déshydratation 2 est adaptée à fonctionner à la pression visée lors de la déshydratation des produits.

- [0047] A titre d'exemple, elle peut avoir une forme généralement tubulaire est ainsi particulièrement bien adaptée aux systèmes fonctionnant à un niveau de vide important.
- [0048] Par « vide », il est entendu dans l'ensemble du présent document une pression inférieure d'au moins 500 millibars vis-à-vis de la pression atmosphérique, et préférentiellement inférieure de 700 millibars vis-à-vis de la pression atmosphérique.
- [0049] Cette enceinte de déshydratation 2 peut avoir des dimensions importantes pour permettre la déshydratation de produits à une échelle industrielle. Par exemple, une enceinte tubulaire d'un diamètre intérieur de 2,5 m environ et d'une longueur intérieure de 5m peut être employée. Ces dimensions sont données à simple titre d'exemple. Des systèmes dont l'enceinte de déshydratation 2 présente un volume bien plus important peuvent notamment être envisagés.
- [0050] L'enceinte de déshydratation 2 comporte une tubulure d'aspiration permettant l'évacuation du fluide porteur chargé d'air (typiquement de l'air et de la vapeur d'eau). La tubulure d'aspiration est reliée à l'entrée du dispositif de déshydratation.
- [0051] L'enceinte est dotée d'une porte permettant le chargement et le déchargement des produits à déshydrater.
- [0052] Les produits peuvent avantageusement être chargés sur des plateaux ou bacs, adaptés au contact alimentaire le cas échéant. Les produits traités peuvent être sous forme solide ou liquide (y compris pâteuse). La configuration de l'enceinte de déshydratation 2 tend à maximiser la surface d'échange des produits avec le fluide porteur, par exemple avec l'air.
- [0053] Afin de favoriser leur déshydratation, dans un fluide porteur sec, les produits à déshydrater peuvent être chauffés (néanmoins, sous vide, la déshydratation est réalisée à faible température, par exemple entre 30°C et 70°C, ce qui permet de ne pas altérer certaines qualités des produits traités).
- [0054] Le chauffage des produits dans l'enceinte peut notamment être réalisée à l'aide d'un fluide caloporteur chaud circulant dans des conduits 21 intégrés à des étagères de réception des plateaux ou bacs de produits ménagés dans l'enceinte 2.
- [0055] La température du fluide caloporteur peut être contrôlée par un dispositif thermorégulateur 4.
- [0056] En particulier, selon un aspect préférentiel de la présente invention, le fluide caloporteur peut être chauffé grâce à l'énergie thermique récupérée par ailleurs dans le système de déshydratation. Dans divers modes de réalisation de la présente invention, cette récupération d'énergie thermique peut être réalisée en diverses localisations, sur diverses sources de chaleur. A titre principal, de l'énergie thermique issue de l'adsorption exothermique d'eau par un dispositif assécheur 5 détaillé ci-après peut

être utilisée pour apporter l'énergie nécessaire pour chauffer le produit à déshydrater à la température souhaitée.

- [0057] Après avoir circulé dans l'enceinte de de déshydratation 2, autour et/ou au contact du produit à déshydrater, le fluide porteur en ressort en contenant de l'eau, c'est-à-dire plus d'eau que lors de son entrée. Le fluide porteur entre alors dans le dispositif de déshydratation 1.
- [0058] Le module de gestion de flux 3 a notamment pour fonction d'assurer la circulation du fluide porteur dans le système de déshydratation 1 et dans l'enceinte de déshydratation 2, et de piloter le taux d'humidité relative dans l'enceinte de déshydratation 2. Il peut permettre de contrôler la température du fluide porteur introduit dans l'enceinte de déshydratation 2. Le module de gestion de flux 3 permet ainsi un contrôle fin des conditions de déshydratation du produit. Le module de gestion de flux 3 est ainsi avantageusement configuré pour contrôler une déshydratation sous vide, une dépression étant appliquée au niveau de la sortie du dispositif de déshydratation. La déshydratation sous vide permet de la réaliser à basse température, ce qui préserve certaines qualités du produit qui est déshydraté.
- [0059] Le module de gestion de flux 3 permet également de contrôler les débits et la pression dans le dispositif assécheur (décrit ci-après).
- [0060] Le module de gestion de flux 3 peut comporter un équipement mécanique, de type pompe volumétrique, par exemple à rotors (pompe roots), ou tout autre équipement adapté à fonctionner sous forte dépression et à gérer le débit du fluide porteur en sortie de l'enceinte de déshydratation et corollairement en entrée du dispositif assécheur.
- [0061] Cet équipement forme également un dispositif de compression du fluide porteur. Le dispositif de compression permet d'élever la pression du fluide porteur entre l'interface d'entrée du dispositif de déshydratation et le dispositif assécheur.
- [0062] Dans l'ensemble du présent document, la notion d'amont et la notion d'aval s'entend selon la direction d'écoulement du fluide porteur.
- [0063] Optionnellement, un ballon tampon 6 peut être disposé entre l'équipement mécanique du module de circulation et le dispositif assécheur 5.
- [0064] Le ballon tampon 6 permet un meilleur contrôle et un lissage temporel des conditions de fonctionnement du dispositif assécheur 5 (pression et température).
- [0065] Dans l'exemple de mode de réalisation représenté à la [Fig.1], le système comporte trois dispositifs assécheurs 5, 5', 5''.
- [0066] En effet, dans le cas où le fluide porteur n'est pas recyclé en totalité, ou, de manière générale, s'il est nécessaire de réaliser un apport de fluide porteur dans le système de déshydratation, le fluide porteur introduit peut être de l'air ou un autre gaz asséché dans un deuxième dispositif assécheur 5' du dispositif de déshydratation.

- [0067] En outre, un troisième dispositif assécheur 5'', précédemment utilisé pour la déshydratation d'un produit, peut être prévu, et par exemple être en cours de régénération. Il sera ainsi disponible pour être utilisé pour adsorber de l'eau dès que le dispositif assécheur 5 ou le deuxième dispositif assécheur 5' devra être régénéré. Une production sans temps mort lié aux régénérations des dispositifs assécheurs peut ainsi être réalisée.
- [0068] Le dispositif de gestion de flux permet aussi de maintenir le niveau de vide souhaité par un appoint de vide réalisé avec une source de vide 7, par exemple une pompe à vide ou une centrale de vide (via un réseau de vide).
- [0069] Dans tous les modes de réalisation, le module de circulation peut comporter un dispositif de détermination de l'humidité relative du fluide porteur entrant dans le dispositif de déshydratation 1, par exemple un capteur d'humidité, et utiliser cette information pour le pilotage des débits dans le système de déshydratation.
- [0070] Le dispositif de déshydratation comporte, comme évoqué ci-dessus, un dispositif assécheur 5, destiné à capter l'eau présente dans le fluide porteur issu de l'enceinte de déshydratation 2.
- [0071] Le dispositif assécheur 5 permet de faire baisser la quantité d'eau présente dans le fluide porteur qui est présent autour du dispositif assécheur ou qui le traverse. Le dispositif assécheur 5 comporte un matériau adapté à adsorber une quantité importante d'eau, dit matériau adsorbant, dans des conditions de température et de pression appropriées. Ce type de dispositif assécheur 5 est ainsi communément appelé « piège à eau ».
- [0072] Les zéolites sont connues pour leur grande capacité à adsorber l'eau, sans prise de volume, et peuvent donc être utilisées comme matériau adsorbant du piège à eau.
- [0073] Le matériau adsorbant peut être par exemple installé dans un panier ou une cassette disposée dans le dispositif assécheur, de sorte à être mis au contact, voire à être traversé le cas échéant, par le fluide porteur chargé de vapeur qui pénètre dans le piège à eau.
- [0074] La réaction d'adsorption du matériau adsorbant utilisé dans le cadre de la présente invention étant exothermique (comme cela est notamment le cas avec les zéolites), l'énergie thermique produite par la réaction peut être récupérée et mise à profit.
- [0075] Cette récupération de chaleur, pendant la phase d'adsorption, peut être réalisée au niveau du dispositif assécheur 5, via un premier dispositif de récupération de chaleur RC1. Le premier dispositif de récupération de chaleur RC1 peut être un échangeur gaz/gaz ou un échangeur gaz/liquide. En particulier, un échangeur gaz/huile a été développé pour former le premier dispositif de récupération de chaleur RC1.
- [0076] L'énergie thermique ainsi récupérée peut être utilisée pour chauffer le produit en cours de déshydratation, et/ou pour aider à la régénération du matériau adsorbant.

- [0077] Il est en outre possible de réaliser la régénération du matériau adsorbant immédiatement après la phase d'adsorption, afin de profiter de la température acquise par le matériau adsorbant lors de l'adsorption et limiter l'apport d'énergie thermique nécessaire à la régénération.
- [0078] Pour ce qui concerne le chauffage du produit en cours de déshydratation, si le premier dispositif de récupération de chaleur RC1 est un échangeur gaz/liquide (par exemple gaz/huile), le liquide chauffé par la chaleur produite lors de l'adsorption d'eau par le matériau adsorbant peut être dirigé vers un échangeur liquide/liquide afin que l'énergie thermique récupérée soit transférée au fluide caloporteur circulant dans les conduits permettant le chauffage du produit à déshydrater.
- [0079] Pour ce qui concerne l'utilisation de l'énergie thermique récupérée afin de régénérer le matériau adsorbant, cette utilisation peut être réalisée, selon le système considéré et son utilisation courante, sans délai ou de manière différée. Dans un système ne comportant qu'un seul dispositif assécheur, ou dans un dispositif comportant plusieurs dispositifs assécheur mais aucun dispositif assécheur devant être régénéré au moment de l'adsorption d'eau par un autre dispositif assécheur, l'énergie thermique récupérée peut être stockée, par exemple par stockage de fluide chaud (par exemple dans un réservoir calorifugé). Dans un dispositif comportant plusieurs dispositifs assécheurs, l'énergie thermique récupérée au niveau d'un premier dispositif assécheur dont le matériau adsorbant est en phase d'adsorption d'eau peut avantageusement être utilisée immédiatement pour chauffer le matériau adsorbant d'un deuxième dispositif assécheur devant être régénéré.
- [0080] En effet, lorsque le matériau adsorbant a adsorbé une quantité importante d'eau il doit être régénéré en le faisant désorber l'eau qu'il contient, afin qu'il recouvre sa capacité d'adsorption.
- [0081] Le dispositif de déshydratation comporte pour cela un module de régénération 8.
- [0082] Le module de régénération permet de mettre le matériau adsorbant du piège à eau dans des conditions de température et de pression adaptées à sa régénération. Concernant la température, il est nécessaire de chauffer le matériau adsorbant pour sa régénération, tout ou partie de ce chauffage étant réalisé grâce à l'énergie thermique récupérée par ailleurs dans le système. Concernant la pression, le module de régénération peut en particulier être configuré pour réaliser la régénération sous vide.
- [0083] Le module de régénération 8 est sélectionné et configuré selon le mode de fonctionnement général du dispositif de déshydratation. Celui-ci peut avantageusement fonctionner en adsorption aidée par le vide, notamment en adsorption modulée sous vide (ou VSA selon l'acronyme anglophone de « Vacuum Swing Adsorption »), dans lequel une faible pression est imposée pendant la régénération et une pression relativement plus haute est imposée pendant l'adsorption.

- [0084] De l'énergie thermique qui est généralement perdue, rejetée à l'atmosphère, dans les systèmes connus peut également être récupérée lors des phases de régénération.
- [0085] A titre principal, il s'agit de récupérer de la chaleur latente de condensation du flux gazeux (typiquement du flux d'air) expulsé de la zéolite pendant la phase de régénération. Ce flux de gaz chaud présente un taux d'humidité relative important, et donc une enthalpie élevée.
- [0086] La récupération d'énergie se fait par exemple au moyen d'un deuxième dispositif de récupération de chaleur RC2, pouvant comporter un échangeur permettant également la récupération de l'eau condensée. L'eau condensée est elle-même chaude, et peut être utilisée directement en tant que fluide calorifique ou pour réchauffer un fluide calorifique du système.
- [0087] Plus particulièrement, dans le deuxième dispositif de récupération de chaleur RC2, la chaleur latente de condensation peut être récupérée à l'aide d'un échangeur tubulaire. La chaleur sensible du flux gazeux pendant la régénération peut être récupérée à l'aide d'un échangeur (gaz/gaz ou gaz/liquide) ou d'une pompe à chaleur. L'emploi d'un échangeur est privilégié au-dessus d'une certaine température, par exemple de l'ordre de 120°C tandis que l'emploi d'une pompe à chaleur est privilégié sous cette température (par exemple entre 70°C et 120°C).
- [0088] Ainsi, une récupération d'énergie peut être réalisée au niveau du dispositif assécheur non seulement pendant la phase d'adsorption, mais aussi, le cas échéant, lors de la phase de régénération pour récupérer une partie de l'énergie liée à la chauffe initiale de la zéolite – ou plus généralement du matériau adsorbant, et/ou une part des apports énergétiques lors de la régénération.
- [0089] Le dispositif de déshydratation représenté à la [Fig.1] comporte en outre un module de refroidissement 9.
- [0090] Le module de refroidissement 9 est un dispositif qui permet de refroidir la zéolite (ou autre matériau adsorbant dont l'adsorption d'eau est exothermique) à une température optimale après sa régénération (qui peut l'avoir amenée à très haute température, par exemple jusqu'à 280°C environ pour une zéolite).
- [0091] La chaleur prélevée lors du refroidissement peut être récupérée par un troisième dispositif de récupération de chaleur RC3.
- [0092] Plus particulièrement, dans le troisième dispositif de récupération de chaleur RC3, la chaleur sensible du flux gazeux pendant le refroidissement peut être récupérée à l'aide d'un échangeur (gaz/gaz ou gaz/liquide) et/ou d'une pompe à chaleur. L'emploi d'un échangeur est privilégié au-dessus d'une certaine température, par exemple de l'ordre de 120°C tandis que l'emploi d'une pompe à chaleur est privilégié sous cette température (par exemple entre 70°C et 120°C).

- [0093] Enfin, un quatrième dispositif de récupération de chaleur RC4 peut être prévu afin de récupérer de l'énergie thermique issue des dispositifs mécaniques du système, par exemple des pompes utilisées pour la circulation des fluides dans le système. Le dispositif de récupération de chaleur RC4 peut ainsi comporter une ou plusieurs pompes à chaleur.
- [0094] Sur la [Fig.1], les dispositifs de récupération de chaleur RC1, RC2, RC3 et RC4 sont représentés de manière fonctionnelle, globale. Bien évidemment, de nombreuses configurations sont possibles, mettant en œuvre des échangeurs communs ou distincts pour chaque dispositif assécheur, ou plus généralement pour chaque équipement du système auquel il est lié.
- [0095] De même, la récupération d'énergie thermique est représentée de manière générale, fonctionnelle, sous forme d'un module de récupération 10, pouvant assurer la distribution ou le stockage de l'énergie thermique récupérée. De nombreuses réalisations pratiques sont envisageables pour cette fonction.
- [0096] En outre, de manière générale, les pertes thermiques d'un système conforme à la présente invention peuvent être évitées par un calorifugeage des éléments constitutifs du système : enceinte de déshydratation, dispositif(s) assécheur(s), canalisations du système, etc.
- [0097] La [Fig.2] présente schématiquement un procédé de gestion pouvant être mis en œuvre notamment pour le système de déshydratation de la [Fig.2]. Les traits pleins représentent l'enchaînement des phases et étapes du procédé, les traits en pointillés les possibles flux d'énergie thermique.
- [0098] Un produit, par exemple un produit alimentaire est déshydraté dans une étape de déshydratation S1. Pour ce faire, le produit est mis sous vide, c'est-à-dire à une pression au moins 500 millibars inférieure à la pression atmosphérique. En outre le produit mis sous vide et chauffé à une température de l'ordre de 30°C à 70°C. Un flux de fluide porteur (air ou azote par exemple) à faible pression et faible pression partielle de vapeur d'eau est établi autour du produit et « balaie » ainsi le produit à déshydrater.
- [0099] L'étape de déshydratation S1 comprend donc des étapes de : chauffage du produit S11, mise sous vide du produit S12 et balayage S13, qui sont au moins en partie simultanées).
- [0100] En même temps que l'étape de déshydratation S1, une phase d'adsorption d'eau S2 par un matériau adsorbant est menée. Pendant cette phase, de l'eau présente dans le fluide porteur après qu'il a balayé le produit à déshydrater est adsorbée par un matériau adsorbant tel qu'une zéolite.
- [0101] Préférentiellement, l'adsorption est réalisée à une pression supérieure à la pression (« vide ») utilisée pour l'étape de déshydratation S1. L'adsorption est ainsi réalisée à une pression aussi proche que possible de la pression atmosphérique.

- [0102] Lorsque le matériau adsorbant a adsorbé une certaine quantité d'eau, il est nécessaire de le régénérer pour qu'il recouvre ses propriétés d'adsorption. Cette régénération peut être réalisée sous vide. Elle nécessite un apport d'énergie thermique afin de chauffer le matériau adsorbant à une température adaptée à la régénération.
- [0103] L'étape de régénération S3 comportant ainsi, simultanément, une étape de mise sous vide du matériau adsorbant S31 et une étape de chauffage du matériau adsorbant S32.
- [0104] Il est notable que, lorsque le système de déshydratation comporte plusieurs dispositifs assécheurs comportant un matériau adsorbant (ce qui constitue la configuration préférentielle de l'invention) l'étape de régénération du matériau adsorbant peut être menée parallèlement à l'étape d'adsorption d'eau, sur deux dispositifs assécheurs distincts. Lors de la régénération, du gaz chaud chargé en eau est extrait du dispositif assécheur.
- [0105] A la fin de la régénération S3, le matériau adsorbant est très chaud ; il peut par exemple être à une température de l'ordre de 280°C pour une zéolite. Le matériau adsorbant est alors refroidi dans une étape de refroidissement S4.
- [0106] Selon l'invention, une étape de récupération d'énergie thermique S5 est réalisée. A titre principal, l'étape de récupération d'énergie thermique S5 comporte la récupération de chaleur issue de l'étape d'adsorption d'eau S2, le matériau adsorbant étant tel que la réaction d'adsorption est exothermique.
- [0107] Néanmoins, la récupération d'énergie thermique S5 peut également comporter la récupération de chaleur pendant la régénération : chaleur latente de condensation de l'eau présente dans le gaz chaud (flux gazeux) extrait du dispositif assécheur, et chaleur sensible de ce gaz chaud. L'eau condensée récupérée peut également être une source de calories pour la récupération d'énergie thermique S5. De même, la chaleur sensible du gaz (typiquement de l'air) sortant du matériau adsorbant pendant son refroidissement S4 peut être récupérée.
- [0108] Enfin, la récupération d'énergie thermique S5 peut comporter la récupération de chaleur issue des dispositifs mécaniques du système (pompes et autres machines).
- [0109] L'énergie thermique récupérée est utilisée, dans une étape d'utilisation S6. L'utilisation S6 peut être concomitante avec la récupération d'énergie thermique S5, ou être réalisée plus tard, moyennant un moyen de stockage de l'énergie thermique (par exemple sous la forme d'un fluide chaud stocké dans un réservoir calorifugé).
- [0110] Les principales utilisations de l'énergie thermique récupérée concernent le chauffage du produit S11 qui est en cours de déshydratation S1, et le chauffage du matériau adsorbant S32 qui est en cours de régénération S3.
- [0111] L'énergie thermique récupérée peut également être utilisée pour chauffer un fluide de traçage des canalisations du système de déshydratation.

- [0112] La [Fig.2] s'entend comme une représentation générale d'un procédé conforme à un mode de réalisation de l'invention. Bien évidemment, de nombreuses variantes peuvent être envisagées dans le cadre de la présente invention. En particulier, la récupération d'énergie thermique et son utilisation sont représentées respectivement comme des étapes uniques. Il est bien évident que la récupération d'énergie thermique S5 peut désigner collectivement plusieurs récupérations distinctes réalisées dans le cadre du procédé de gestion du système de déshydratation. De même, l'utilisation S6 de l'énergie thermique récupérée peut désigner plusieurs récupérations distinctes réalisées dans le cadre du procédé de gestion du système de déshydratation.
- [0113] Le procédé et le système développés dans l'invention permettent de limiter fortement les apports de chaleur nécessaires au fonctionnement du système. En pratique, le procédé et le système développés dans l'invention permettent de déshydrater un produit et de régénérer les dispositifs assécheurs utilisés en limitant les apports de chaleur à un faible apport énergétique pour la régénération. Les apports de chaleur nécessaires sont d'autant plus faibles que les conditions d'utilisation du système sont optimisées en termes énergétiques, notamment en opérant à faible pression. Aucun autre apport n'est nécessaire, dans certains modes de réalisation de l'invention.
- [0114] La Demanderesse présente ci-après une comparaison entre le bilan énergétique estimatif d'un procédé conforme à un mode de réalisation de l'invention et celui d'un procédé comparable de lyophilisation. Ce bilan porte sur l'énergie thermique à apporter dans le cadre de la déshydratation d'un produit et ne prend pas en considération la consommation énergétique liée au fonctionnement des systèmes mécaniques tels que les pompes utilisées pour la circulation des divers fluides dans le système.
- [0115] Pour réaliser cette estimation nous partons de l'hypothèse que le produit à déshydrater (1 kg de produit) est réceptionné à 20°C. Il est également supposé que ce produit a les mêmes propriétés que l'eau (par exemple la même capacité thermique massique).
- [0116] Le cycle mis en œuvre pour déshydrater le produit par lyophilisation met en œuvre les étapes de : refroidissement du produit à -40°C, déshydratation par sublimation, captation de l'eau par condensation, et régénération du dispositif de captation d'eau par dégivrage.
- [0117] Le cycle mis en œuvre pour déshydrater le produit par un procédé conforme à un mode de réalisation de l'invention (ci-après désigné « procédé selon l'invention ») met en œuvre les étapes de : refroidissement du produit à 4°C, déshydratation par évaporation, captation de l'eau par adsorption, et régénération du matériau adsorbant.

[0118] Pour le procédé selon l'invention, le refroidissement jusqu'à 4°C sert à conserver le produit entre sa réception et la déshydratation. La lyophilisation quant à elle nécessite une congélation du produit et une température de travail de l'ordre de -40°C.

[0119] Ainsi, l'énergie nécessaire pour refroidir le produit ($Q_{\text{refroidissement}}$) correspond à :

[0120] Pour la Lyophilisation :

$$[0121] \quad Q_{\text{refroidissement}} = Q_{20 \rightarrow 0^\circ\text{C}} + Q_{\text{congélation}} + Q_{0 \rightarrow -40^\circ\text{C}}$$

$$[0122] \quad Q_{\text{refroidissement}} = m C p_{\text{eau}} \Delta T + m \Delta H_{\text{congélation}} + m C p_{\text{glace}} \Delta T$$

$$[0123] \quad Q_{\text{refroidissement}} = 497,5 \text{ kJ}$$

[0124] Pour le procédé selon l'invention :

$$[0125] \quad Q_{\text{refroidissement}} = Q_{20 \rightarrow 4^\circ\text{C}}$$

$$[0126] \quad Q_{\text{refroidissement}} = m C p_{\text{eau}} \Delta T$$

$$[0127] \quad Q_{\text{refroidissement}} = 67 \text{ kJ}$$

[0128] Où ΔH désigne une variation d'enthalpie (ou chaleur latente) de l'élément en indice, ΔT désigne une variation de température, et Cp désigne une capacité thermique massique de l'élément en indice.

[0129] L'étape de séchage ou déshydratation consiste en un changement d'état de l'eau. Cela se fait par sublimation dans le cas de la lyophilisation et par évaporation dans le procédé selon l'invention. Pour ce dernier, il faut compter également l'énergie nécessaire à la mise en température du produit, qui doit passer de sa température de stockage (ici 4°C) à la température de travail pendant le séchage (par exemple 30°C). L'énergie nécessaire à la déshydratation ($Q_{\text{séchage}}$) est ainsi :

[0130] Pour la Lyophilisation:

$$[0131] \quad Q_{\text{séchage}} = Q_{\text{sublimation}}$$

$$[0132] \quad Q_{\text{séchage}} = m \Delta H_{\text{sublimation}}$$

$$[0133] \quad Q_{\text{séchage}} = 2809 \text{ kJ}$$

[0134] Pour le procédé selon l'invention:

$$[0135] \quad Q_{\text{séchage}} = Q_{4 \rightarrow 30^\circ\text{C}} + Q_{\text{évaporation}}$$

$$[0136] \quad Q_{\text{séchage}} = m C p_{\text{eau}} \Delta T + m \Delta H_{\text{évaporation}}$$

$$[0137] \quad Q_{\text{séchage}} = 2366 \text{ kJ}$$

[0138] Les deux procédés comparés travaillant à des pressions très basses, les volumes de vapeur à manipuler sont exorbitants. Il est donc nécessaire de capter l'eau extraite du produit. Dans le cas de la lyophilisation, cela se fait le plus souvent par condensation, à l'aide d'une plaque froide. Le procédé selon l'invention utilise le

principe d'adsorption, qui est un phénomène exothermique. L'énergie nécessaire à la captation de l'eau est donc :

[0139] Pour la Lyophilisation :

$$[0140] \quad Q_{\text{captation}} = Q_{\text{condensation}} + Q_{\text{solidification}}$$

$$[0141] \quad Q_{\text{captation}} = m \Delta H_{\text{condensation}} + m \Delta H_{\text{solidification}}$$

$$[0142] \quad Q_{\text{captation}} = 2591 \text{ kJ}$$

[0143] Pour le procédé selon l'invention :

$$[0144] \quad Q_{\text{captation}} = Q_{\text{adsorption}}$$

$$[0145] \quad Q_{\text{captation}} = - m \Delta H_{\text{adsorption}}$$

$$[0146] \quad Q_{\text{captation}} = - 4187 \text{ kJ}$$

[0147] Le taux d'adsorption de la zéolite est d'au moins 12%, dans l'hypothèse détaillée ci-dessus celui-ci est de 18%. Théoriquement, une zéolite en condition optimale et pure peut atteindre 27% de taux d'adsorption. Ainsi, il est pris pour hypothèse que la zéolite est employée dans le procédé selon l'invention dans des conditions optimisées permettant un taux d'adsorption de l'ordre de 18%

[0148] La régénération du système de captation d'eau nécessite :

[0149] Pour la Lyophilisation :

$$[0150] \quad Q_{\text{régénération}} = Q_{\text{fusion}}$$

$$[0151] \quad Q_{\text{régénération}} = m \Delta H_{\text{fusion}}$$

$$[0152] \quad Q_{\text{régénération}} = 334 \text{ kJ}$$

[0153] Pour le procédé selon l'invention :

$$[0154] \quad Q_{\text{régénération}} = Q_{\text{désorption}} + Q_{\text{refroidissement}}$$

$$[0155] \quad Q_{\text{régénération}} = m \Delta H_{\text{désorption}} + m_{\text{adsorbant}} C_{p_{\text{adsorbant}}} \Delta T$$

$$[0156] \quad Q_{\text{régénération}} = 5262 \text{ kJ}$$

[0157] Dans un procédé selon l'invention, pour la désorption (régénération), un flux gazeux, typiquement de l'air, passe par le lit de matériau adsorbant et sert de fluide porteur pour la vapeur d'eau. En sortie de désorption, cet air est donc chaud et humide, et présente donc un important potentiel de récupération énergétique pour une utilisation dans d'autres étapes du procédé.

[0158] De même, le refroidissement subséquent de la zéolite se fait par un flux d'air qui se réchauffe au contact de l'adsorbant et duquel on peut récupérer la chaleur.

[0159] Dans un cas théorique idéal, toute l'énergie nécessaire à la régénération peut être récupérée.

[0160] Le tableau ci-dessous résume les différents besoins et gains potentiels (par récupération) en énergie thermique évoqués précédemment pour les deux procédés (lyophilisation et selon la présente invention).

	Lyophilisation	Procédé selon l'invention (cas idéal)
<i>Besoins</i>		
Refroidissement	497,5 kJ	67 kJ
Séchage	2809 kJ	2366 kJ
Captation	2591 kJ	0 kJ
Régénération	334 kJ	5262 kJ
<i>Gains (théoriques/idéaux)</i>		
Captation		-4187 kJ
Régénération		-5262 kJ
<i>Bilan</i>		
Consommation énergétique totale (kJ/kg eau)	6232	-1754
Consommation énergétique totale (kWh/kg eau)	1,73	-0,49

[0161] La consommation énergétique évaluée par la méthode décrite ci-dessus pour la lyophilisation (1,73 kWh/kg d'eau) est en accord avec les données bibliographiques, notamment celles publiées par l'Ademe (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie) et par le CETIAT (Centre technique des industries aéronautiques et thermiques), qui l'estiment à 1,8 kWh/kg d'eau, ce qui corrobore le calcul présenté ci-dessus (« Les procédés de séchage dans l'industrie », sous la coordination de Aude-Claire HOUDON et al. ; ADEME Éditions, février 2017, ISBN : 9791029707919).

[0162] Concernant le procédé selon l'invention, une récupération énergétique de 100% n'est bien évidemment que théorique.

[0163] En pratique, une récupération de 40% (voire plus) de l'énergie thermique générée pendant l'adsorption et une récupération de 50% (voire plus) de l'énergie disponible dans le gaz riche en vapeur d'eau sortant du dispositif assécheur en phase de régénération ont été réalisées par la Demanderesse. Ces taux de récupération d'énergie peuvent être encore améliorés, notamment en améliorant les échangeurs ou pompes à chaleur utilisés et leurs conditions de fonctionnement.

- [0164] Le procédé de gestion d'un système de déshydratation selon l'invention permet donc, avec ces taux de récupération, une consommation énergétique d'environ 0,94 kWh/kg d'eau, pouvant encore être optimisée. Cela est nettement moins qu'un procédé de lyophilisation et cela place le procédé proposé dans l'invention au niveau des meilleurs procédés de séchage par air chaud (qui nécessitent entre 0,9 et 1,3 kWh/kg d'eau), tout en assurant une dégradation, en particulier thermique, minimale du produit qui est déshydraté. Un procédé neutre en énergie ou presque, hormis pour le fonctionnement des machines telles que les pompes et les groupes de froid, semble atteignable par un procédé conforme à l'invention
- [0165] Ainsi un système de déshydratation conforme à la présente invention peut ne nécessiter qu'un faible apport de chaleur unique au niveau du piège à eau en régénération. A terme, cet apport pourra être encore réduit, voire annulé.
- [0166] L'ensemble des autres besoins en chaleurs peuvent être couverts par la récupération d'énergie thermique.
- [0167] Enfin, afin de limiter les besoins en énergie globaux de l'atelier de déshydratation, des excédents d'énergie dans certaines conditions de fonctionnement du système peuvent être utilisés par d'autre éléments de l'atelier (chauffage d'eau sanitaire, chauffage des locaux...)

Revendications

[Revendication 1]

Procédé de gestion d'un système de déshydratation adapté à déshydrater un produit, le système de déshydratation comportant un dispositif assécheur (5) contenant un matériau adsorbant, le procédé comportant :

- des phases d'adsorption d'eau (S2) par le matériau adsorbant afin de diminuer la pression partielle de vapeur d'eau dans un fluide porteur circulant dans système de déshydratation pendant la déshydratation du produit, et
- des phases de régénération (S3) sous vide, à une pression inférieure d'au moins 500 millibars vis-à-vis de la pression atmosphérique, lors desquelles le matériau adsorbant recouvre des propriétés d'adsorption ;

le matériau adsorbant étant tel que l'adsorption d'eau est exothermique,

caractérisé en ce que le procédé comporte des étapes de :

- récupération d'énergie thermique (S5) au niveau du dispositif assécheur (5) pendant les phases d'adsorption d'eau (S2), et
 - utilisation (S6) de l'énergie thermique récupérée pour :
 - + le chauffage du produit (S11) pendant sa déshydratation ; et
 - + le chauffage du matériau adsorbant (S32) en phase de régénération,
- le procédé comportant en outre, entre la phase de régénération (S3) et la phase d'adsorption (S2), une phase de refroidissement (S4) du matériau adsorbant, et l'étape de récupération d'énergie thermique (S5) comporte la récupération d'énergie thermique au niveau du dispositif assécheur (5) pendant la phase de refroidissement (S4) du matériau adsorbant.

[Revendication 2]

Procédé selon la revendication 1, dans lequel l'étape de récupération d'énergie thermique (S5) comporte la récupération de chaleur latente de condensation de la vapeur d'eau présente dans un flux gazeux expulsé du matériau adsorbant pendant la phase de régénération (S3).

[Revendication 3]

Procédé selon la revendication 1 ou la revendication 2, dans lequel l'étape de récupération d'énergie thermique (S5) comporte la récupération d'énergie thermique au niveau d'un dispositif mécanique du système de déshydratation, par exemple une pompe, et dans lequel, l'énergie thermique récupérée est utilisée pour :

- + le chauffage du produit (S11) en cours de déshydratation ; et/ou

+ le chauffage du matériau adsorbant (S32) en phase de régénération ; et /ou
 + le maintien en température d'un fluide caloporteur.

[Revendication 4] Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, le système de déshydratation comportant un deuxième dispositif assécheur (5'), dans lequel l'énergie thermique récupérée est employée au moins en partie pour le chauffage du deuxième dispositif assécheur (5') en phase de régénération.

[Revendication 5] Procédé selon l'une des revendications précédentes, comportant les étapes de :

- mise en place du produit dans une enceinte de déshydratation (2) ;
- établissement dans l'enceinte de déshydratation (2) d'une pression au moins 500 millibars inférieure à la pression atmosphérique ;
- établissement entre l'entrée de l'enceinte de déshydratation et une sortie de l'enceinte de déshydratation d'un flux de fluide porteur ; et
- adsorption d'eau contenue dans le fluide porteur sortant de l'enceinte de déshydratation (2) par le matériau adsorbant contenu dans le dispositif assécheur (5).

[Revendication 6] Procédé selon la revendication 5, dans lequel la pression du fluide porteur est relevée d'au moins 300 millibars entre la sortie de l'enceinte de déshydratation (2) et le dispositif assécheur (5).

[Revendication 7] Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le produit est amené et maintenu à une température comprise entre 20°C et 70°C, de préférence entre 30°C et 40°C, pendant sa déshydratation.

[Revendication 8] Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le chauffage du matériau adsorbant en phase de régénération et le chauffage du produit en cours de déshydratation nécessitent une quantité totale d'énergie thermique et dans lequel la récupération d'énergie thermique dans le système couvre au moins 20%, de préférence au moins 50%, et plus préférentiellement au moins 70% de ladite quantité totale d'énergie thermique.

[Revendication 9] Système de déshydratation comportant une enceinte de déshydratation (2) dans laquelle est placée un produit à déshydrater, et au moins un dispositif de déshydratation (1) comportant un dispositif assécheur (5) comportant un matériaux adsorbant adapté

à adsorber de l'eau contenue dans un fluide porteur qui traverse le dispositif assécheur (5), le matériau adsorbant étant tel que l'adsorption d'eau est exothermique,

le dispositif de déshydratation (1) comportant un module de gestion de flux (3) adapté à générer et piloter un flux de fluide porteur dans le dispositif de déshydratation (1) et dans l'enceinte de déshydratation,

caractérisé en ce que le système de déshydratation comporte :

- un dispositif de récupération d'énergie thermique au niveau du dispositif assécheur (5) et
- un dispositif de distribution de l'énergie thermique à un moyen de chauffage du produit dans l'enceinte de déshydratation (2), et/ou
- un moyen de stockage de l'énergie thermique en vue de son emploi pour chauffer le matériau adsorbant du dispositif assécheur (5) lorsque celui-ci est en phase de régénération,

et en ce que le système comporte une source de vide configurée pour mettre le matériau adsorbant à une pression inférieure d'au moins 500 millibars vis-à-vis de la pression atmosphérique lors de sa régénération.

- [Revendication 10] Système selon la revendication 9, dans lequel le dispositif comporte un deuxième dispositif assécheur (5'), et dans lequel système comporte en outre un moyen de distribution de l'énergie thermique récupérée adapté à distribuer au deuxième dispositif assécheur (5') tout ou partie de l'énergie thermique récupérée afin de chauffer le matériau asséchant du deuxième dispositif assécheur (5') lorsqu'il est en phase de régénération.
- [Revendication 11] Système selon la revendication 9 ou la revendication 10 dans lequel le dispositif de récupération d'énergie thermique comporte un échangeur gaz/liquide.
- [Revendication 12] Système selon l'une des revendications 9 à 11, lequel le dispositif de récupération d'énergie thermique comporte une pompe à chaleur.
- [Revendication 13] Système selon l'une des revendications 9 à 12, comportant en outre un moyen de de récupération d'énergie thermique émise par des dispositifs mécaniques du système.
- [Revendication 14] Système selon l'une quelconque des revendications 9 à 13, dans lequel l'enceinte de déshydratation (2) comporte un ensemble d'étagères de réception de bacs adaptés à contenir un produit à déshydrater et dans lequel le moyen de chauffage du produit

comporte un ensemble de conduits contenant un fluide caloporteur chauffé en tout ou partie via un ou plusieurs échangeurs connectés au dispositif de récupération d'énergie thermique.

RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveau) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.

Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

☒ Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.

☐ Le demandeur a maintenu les revendications.

☒ Le demandeur a modifié les revendications.

☐ Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.

☐ Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.

☐ Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

☒ Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.

☐ Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.

☐ Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.

☐ Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION

FR 1 009 340 A (ATELIERS ET CHANTIERS
LOIRE SA) 28 mai 1952 (1952-05-28)

ROUSTEL ET AL: "F 3010 Zéodratation",
TECHNIQUES DE L'INGÉNIEUR. TI700 -
AGROALIMENTAIRE, TECHNIQUES DE L'INGENIEUR
L'EXPERTISE TECHNIQUE ET SCIENTIFIQUE DE
RÉFÉRENCE, FR

,
vol. F3010 V1
10 février 2011 (2011-02-10), pages 1-6,
XP009512264,
ISSN: 1963-0840
Extrait de l'Internet:
URL: [https://www.techniques-ingenieur.fr/ba
se-documentaire/procedes-chimie-bio-agro-t
h2/operations-unitaires-du-genie-industrie
l-alimentaire-42430210/zeodratation-f3010/](https://www.techniques-ingenieur.fr/bases-documentaire/procedes-chimie-bio-agro-t/h2/operations-unitaires-du-genie-industrie/l-alimentaire-42430210/zeodratation-f3010/)

DE 32 26 502 A1 (MUNTERS AB CARL [SE])
3 février 1983 (1983-02-03)

DE 37 13 346 A1 (SEUS HERBERT [DE]; HAAS
FRIEDRICH [DE])
3 novembre 1988 (1988-11-03)

2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT L'ARRIERE-PLAN TECHNOLOGIQUE GENERAL

NEANT

3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE DEPEND DE LA VALIDITE DES PRIORITES

NEANT