

L'évolution du procédé de séchage par atomisation

par Michel SOUGNEZ

Le séchage par atomisation, parfois appelé séchage par pulvérisation, est une technique de séchage particulaire qui a beaucoup évolué depuis ses premières réalisations industrielles portant sur le sang, les produits laitiers et les détergents. Ce procédé consiste à pulvériser le produit à sécher (qui se présente sous forme liquide, solution ou suspension) dans un courant de gaz chaud, de manière à obtenir presque instantanément une poudre.

L'optimisation du procédé, avec les techniques de séchage deux temps et de séchage multiple effet, a permis d'améliorer considérablement les performances des installations et d'obtenir un produit de meilleure présentation, ce qui facilite son traitement ultérieur.

Le principe du séchage par atomisation

Le séchage est le phénomène d'évaporation d'une humidité superficielle entretenue par la montée capillaire de l'eau de l'intérieur de la matière vers la surface ; tant que l'humidité moyenne est suffisante pour alimenter régulièrement la surface, la vitesse d'évaporation est constante ; sinon elle diminue.

La vitesse de séchage est proportionnelle à la surface d'évaporation, à la différence entre les pressions partielles du liquide et à la vitesse de migration du liquide de l'intérieur de la particule vers sa surface.

L'atomisation permet d'accroître cette vitesse : en effet, la pulvérisation augmente la surface d'échange, puisqu'un litre de liquide pulvérisé en particules de 100 microns de diamètre développe une surface de 60 m², alors qu'elle n'est que de 5 dm² environ pour une sphère unitaire de même volume.

Le produit séché par atomisation est une poudre composée de céno-sphères, petites billes creuses, présentant souvent un orifice par lequel s'est échappée la vapeur d'eau. Pour peu qu'il existe au sein du produit certaines forces de liaison assurant la *cohésion de ces particules*, l'atomisation confère à la poudre obtenue des propriétés spécifiques très remarquables.

Le produit est nettement moins poussiéreux qu'une poudre habituelle de même granulométrie, sa courbe granulométrique est très resserrée et sa coulabilité exceptionnelle facilite la manutention et le dosage.

De plus, le contrôle des paramètres de séchage permet d'assurer la constance de caractéristiques spécifiques telles que la dispersibilité, la solubilité ou la densité par exemple.

Il s'ensuit que le séchage par atomisation, non seulement améliore sensiblement les conditions de séchage, mais encore contribue à une mise en forme du produit final.

Descriptif technique d'une installation-type de séchage par atomisation

Une installation de séchage par atomisation comprend plusieurs circuits : *le circuit du produit liquide, le circuit d'air chaud depuis son aspiration à l'atmosphère jusqu'à son arrivée en contact avec le produit, l'enceinte de séchage, où s'effectue l'opération de dessiccation, et la séparation de l'air de séchage et des fines entraînées.*

L'extrémité du circuit de produit liquide est constituée par l'organe de pulvérisation qui détermine le choix des autres composants.

Il existe trois types de pulvérisateurs. Dans une turbine centrifuge, le liquide est amené au centre de la turbine par l'intermédiaire d'engrenages et la force centrifuge l'éjecte et le disperse. La vitesse de rotation de cet appareil est de l'ordre de 40 000 tours par minute pour les unités de laboratoire et de 10 000 à 15 000 tours pour les installations industrielles. Les quanti-

... L'évolution du procédé de séchage par atomisation

tés de liquide injecté peuvent atteindre 75 t/h pour les plus gros ensembles actuellement en service. Dans le cas de traitement de produits abrasifs ou corrosifs, cette turbine est de conception spéciale.

Avec des buses sous pression, la pulvérisation est effectuée par le passage du liquide à travers un orifice calibré, l'énergie de dispersion étant apportée par le liquide lui-même, véhiculé sous pression. Celle-ci peut atteindre 20 à 40 bars, dans le cas de buses moyenne pression placées à la base de la chambre de séchage et dirigées de bas en haut, et 200 bars pour une installation à buses co-courant destinées notamment au traitement de différents produits alimentaires.

Dans certains cas, on préférera la buse deux fluides pour laquelle l'énergie de pulvérisation est apportée par de l'air comprimé ; ceci permet notamment d'obtenir de très hauts degrés de pulvérisation et, par conséquent, des poudres très fines. Toutefois, ce procédé présente l'inconvénient d'introduire dans l'installation de l'air parasite et de nécessiter l'emploi d'air comprimé, ce qui entraîne des frais supplémentaires d'énergie.

Le circuit de l'air chaud commence par l'aspiration de l'air atmosphérique au travers de filtres définis selon l'application. Le réchauffeur d'air peut être de type direct à fuel ou à gaz, indirect à fuel ou à gaz, échangeur à vapeur, etc.

L'air ainsi réchauffé est soufflé au moyen d'un ventilateur (placé avant le réchauffeur) jusqu'au disperseur d'air qui mélange intimement le gaz de séchage et les particules de brouillard d'atomisation. Depuis quelques années, il est fréquent d'utiliser un disperseur situé au plafond de la chambre de séchage, ce qui permet un traitement à co-courant et donc une dégradation thermique minimale des produits ; de plus, sa souplesse de réglage permet de traiter des produits plus difficiles à sécher. Cependant, avec le développement de l'atomisation dans certaines industries minières, on utilise à nouveau un disperseur central supportant des températures d'entrée pouvant atteindre 850°C en régime.

L'enceinte de séchage se présente sous la forme d'une chambre cylindro-conique dont les proportions dépendent du système de pulvérisation choisi.

La majeure partie du produit est recueillie en partie basse de la chambre de séchage. Un séparateur de fines vient compléter l'installation en assurant la récupération des fines entraînées par l'air.

De façon courante, les installations sont équipées de cyclones, suivis ou non d'un laveur humide. Pour certains produits fins, coûteux ou dangereux, on peut utiliser des filtres à toile. Enfin, dans le cas d'installations de très grosses capacités travaillant en particulier sur des produits minéraux, l'usage des filtres électrostatiques est possible.

L'air est évacué par un ventilateur implanté en aval du système de séparation.

L'emploi de deux ventilateurs placés aux extrémités du circuit d'air permet d'équilibrer les pressions dans les différents composants de l'installation, paramètre nécessaire à l'obtention de conditions optimales de fonctionnement et de rendement.

Le dimensionnement d'une unité de séchage

Le dimensionnement d'une unité de séchage par atomisation dépend de la capacité évaporatoire prévue et des températures d'entrée et de sortie de l'air de séchage.

Le principe du calcul consiste essentiellement à établir un bilan thermique total de l'unité.

L'énergie thermique nécessaire est fournie par l'air de séchage, selon la relation suivante :

$$\Delta H = L \times C_p \times (T_e - T_s)$$

où H est le besoin thermique de l'unité en kcal/h, L le débit d'air de séchage en kg/h, C_p la chaleur spécifique moyenne de l'air entre T_e et T_s , températures d'entrée et de sortie de l'air.

... L'évolution du procédé de séchage par atomisation

Pour une capacité évaporatoire donnée, le débit d'air de séchage, et donc le dimensionnement de l'unité, est proportionnel à l'écart entre les températures d'entrée et de sortie.

Le rendement thermique de l'unité peut s'exprimer, en première approche, par la relation :

$$r = \frac{T_e - T_s}{T_e}$$

En effet, l'énergie dépensée est celle utilisée pour porter l'air à la température d'entrée ; l'énergie effectivement utilisée correspond à la chute de température dans l'unité, soit :

$$\begin{aligned} E1 &= L \cdot C_p \cdot (T_e - T_a) \\ E2 &= L \cdot C_p \cdot (T_e - T_s) \end{aligned}$$

Le rendement est obtenu en négligeant T_a (température ambiante) et en supposant C_p constant.

Le principe du séchage deux temps

Le temps de séjour très court (20 à 60 secondes en moyenne) du produit dans l'unité ne permet pas l'obtention d'un équilibre entre l'humidité de l'air et celle du produit ; celle-ci impose donc une température de sortie de l'air de séchage plus élevée ce qui diminue le rendement thermique de l'unité.

Le séchage deux temps consiste à limiter le séchage par atomisation au profit d'un procédé à temps de séjour plus long, et donc plus proche de l'équilibre thermodynamique.

Le produit à la sortie de l'unité de séchage par atomisation a une humidité maximale compatible avec une évacuation continue et un maintien de conditions d'exploitation acceptables. Ceci entraîne une sensible diminution de la température de sortie et permet également une augmentation de la température d'entrée, le produit, plus humide, étant moins sensible au choc thermique.

Le séchage final, pour obtenir l'humidité résiduelle requise, a lieu dans un lit fluidisé dont les débits d'air et températures de traitement sont mieux adaptés.

Ce procédé, appliqué industriellement depuis de nombreuses années, a entraîné la modification d'un grand nombre d'unités, apportant dans la plupart des cas une augmentation de la capacité totale de l'unité. De plus, le contrôle plus strict des conditions du séchage améliore la qualité finale du produit.

Le séchage multiple effet

Le principe du séchage deux temps indiquait clairement la voie à suivre pour réduire le coût du séchage et améliorer les performances des unités : transférer la plus grande partie possible du séchage de la phase «atomisation» à la phase «fluidisation». La limite pratique était le contact du produit humide avec les parois de l'unité, contact inévitable compte tenu de la turbulence interne nécessaire à l'échange thermique.

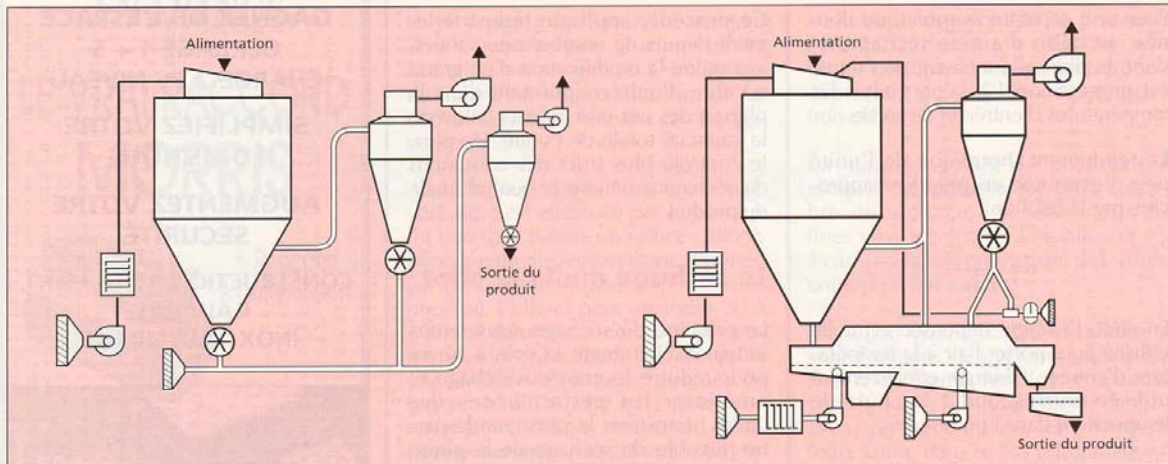
Pour l'éviter, il a fallu reprendre entièrement la conception de la phase «atomisation», ce qui a donné naissance au séchage multiple effet.

Faute de pouvoir éliminer les parois de l'unité, on a cherché à éviter tout contact entre celles-ci et le produit humide ; ce dernier est stabilisé et séché dans un lit fluidisé à l'intérieur même de l'enceinte de séchage ; ce lit, totalement mélangé, est constitué de particules de même humidité moyenne que celles du produit sec. Le traitement final, si nécessaire, s'effectue sur un lit fluidisé à l'extérieur de l'unité.

La conception de l'enceinte et de la pulvérisation du produit est très différente d'une unité classique ; la turbulence de l'air de séchage est limitée au profit d'une meilleure maîtrise de sa direction. Le produit est pulvérisé par buses haute pression directement sur le lit fluidisé.

La principale différence réside dans l'enceinte de séchage elle-même : de forme biconique, avec une partie cylindrique très faible, son volume est sensiblement réduit par rapport à une unité classique. Le flux d'air principal est vertical, descendant, puis remontant, la base de la tour étant composée d'une plaque de fluidisation alimentée elle-même en air de séchage.

... L'évolution du procédé de séchage par atomisation



A gauche, séchage à un étage avec transport pneumatique ; à droite, séchage deux temps avec lit fluidisé et système refroidisseur / Left, single stage drying system with pneumatic conveying ; right, two-stage drying system with fluid bed and cooling system (doc. NIRO France S.A.S.).

Le disperseur d'air, placé au sommet de la tour, est de conception simplifiée ; la composante rotationnelle, introduite dans une unité classique par un ensemble d'ailettes réglables, est supprimée au profit d'un contrôle de la vitesse verticale.

Les buses de pulvérisation sont situées au centre du disperseur d'air et alimentées par un système d'alimentation haute pression classique. L'évacuation de l'air de séchage s'effectue à la partie supérieure de l'enceinte, qui reste donc libre de toute gainerie interne. Le circuit de séparation des fines est similaire à celui d'une unité classique ; toutefois, leur majeure partie est réintroduite au sein même du lit fluidisé interne.

L'optimisation du procédé, libéré de ses contraintes initiales, a permis une remarquable amélioration des performances ; de plus, le produit obtenu

est généralement de meilleure qualité, ce qui facilite son traitement ultérieur. Le tableau permet de comparer les différentes conditions d'exploitation.

	Unité de séchage classique	Séchage deux temps	Séchage multiple effet
Phase atomisation			
Te (°C)	190	220	320
Ts (°C)	97	85	80
Phase fluidisation interne			de 15 % à 6 %
Phase fluidisation finale		de 6 % à 4 %	de 6 % à 4 %
Humidité finale (%)	4%	4 %	4 %
Consommation (kcal/kg d'eau)	1 175	975	825

Comparaison entre séchage classique, séchage deux temps et séchage multiple effet / Comparison between classical dryer, two stage drying and multiple-effect drying (doc. NIRO France S.A.S.).