

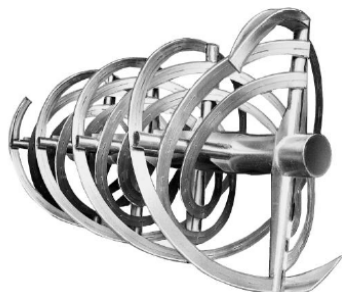
RAPPORT TECHNIQUE

Contribution à la réalisation d'un sécheur sous vide à corps fixe de nouvelle conception

Le présent document offre un aperçu des études menées par l'Ing. M. Garbero et le Prof. M. Vanni de l'Ecole Politecnico di Torino¹ sur la configuration et les solutions de construction retenues par la société Italtvacuum lors de la réalisation du nouveau sécheur sous vide à corps fixe Planex System[®] (Brevet N° US 5,857,264).

Typologies d'agitateurs

Dans la pratique industrielle, les agitateurs utilisés dans les sécheurs cylindriques horizontaux, afin de garantir un mélange correct du produit solide, sont du type *Ribbon* (ruban) ou *Paddle* (pales).



(1a) - Ribbon



(1b) - Paddle

Figure 1 -
Types
d'agitateurs

La typologie *Ribbon*, illustrée dans la figure 1a, assure un niveau élevé de mélange en direction aussi bien axiale que radiale, sans entraîner de phénomènes significatifs de réchauffement du produit. Le nettoyage de l'agitateur est cependant difficile, tout comme la dépose des lames en cas de maintenance.

La typologie *Paddle*, illustrée dans la figure 1b, est certes moins affectée par ce problème, mais elle atteint proportionnellement un moindre degré de *mixing*, en garantissant un bon mélange en sens radial, mais pas en sens axial.

Dans le processus de séchage sous vide de produits en poudre, plus encore qu'un niveau élevé de mélange, il est nécessaire d'amener les particules solides à la surface du lit granulaire, de façon à optimiser l'évaporation du solvant. Le recyclage continu de la surface est assuré par les deux agitateurs. Toutefois, le type *Paddle* semble mieux adapté, dans la mesure où les utilisations dans les secteurs pharmaceutique et chimio-pharmaceutique imposent des cycles fréquents de nettoyage de l'installation. La consommation d'énergie des deux agitateurs est comparable, même si elle dépend du nombre de lames et de pales utilisées.

Sur la base de ces considérations, en tenant compte aussi des avantages apportés par une installation facile à réaliser, à entretenir et à nettoyer, la société Italtvacuum a opté pour un agitateur du type *Paddle*.

Mélange du produit

En vue d'améliorer l'agitation et de permettre un recyclage efficace des particules solides à la surface du lit granulaire, la société Italtvacuum a choisi de développer non seulement un mouvement rotatif, mais aussi un *mouvement planétaire* à l'intérieur du sécheur. Le mouvement planétaire consiste en une lente rotation de l'agitateur, dont le diamètre est inférieur à celui de la chambre, autour de l'axe du sécheur qui, dans l'installation en question, ne coïncide pas avec l'axe de l'agitateur (voir figure 2).

Pour ce sécheur, il a été opté pour un rapport à peine supérieur à 0,5 entre le diamètre de l'agitateur et le diamètre intérieur de la chambre de séchage. A la base de ce choix, il y a une considération essentielle : le diamètre balayé par l'agitateur doit être tel à pouvoir efficacement mélanger le produit solide dans n'importe quelle partie du sécheur pendant le mouvement planétaire de l'agitateur. Or, pour ce faire, il doit être plus important de $D/2$.

RAPPORT TECHNIQUE

D'autre part, il est néanmoins utile de limiter les dimensions de l'agitateur, de manière à pouvoir atteindre des vitesses de rotation plus élevées. L'agitateur en question est constitué de quatre blocs facilement démontables, comportant chacun une seule pale pour mélanger le produit solide. La décision de limiter à quatre le nombre de pales est dictée par la nécessité de minimiser les contraintes qui s'exercent sur l'arbre de l'agitateur, provoquées par l'action des pales à l'intérieur de la masse solide.

Comme nous allons l'analyser plus loin, ces contraintes jouent un rôle très important en ce qui concerne la puissance dissipée par l'arbre moteur. En adoptant cette configuration, il est certes nécessaire d'augmenter les dimensions de l'arbre pour éviter de possibles phénomènes de *flagging* et des vibrations pendant le mouvement planétaire, mais cela permet de réaliser des économies d'énergie.

En effet, en doublant le nombre de pales (de 4 à 8), l'augmentation de la puissance dissipée est estimée à environ 30%.

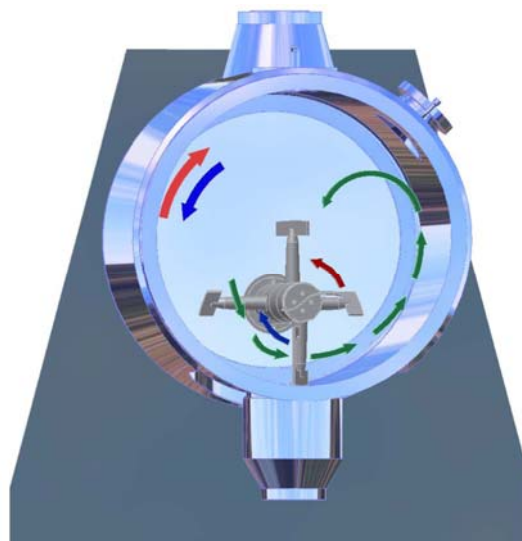


Figure 2 - Agitateur *paddle* à 4 pales

La forme des pales extérieures a été pensée de manière à minimiser l'espace entre le profil de l'agitateur et l'enveloppe du sécheur, afin de favoriser le décollement des grumeaux de produit. L'inclinaison des pales a été choisie de façon à compenser approximativement la poussée sur l'agitateur en direction axiale. Il n'est toutefois pas possible de calculer avec précision cette poussée, car elle dépend du frottement entre le produit solide granulaire et la pale, paramètre qui varie grandement en fonction des conditions de processus et qui n'est donc pas quantifiable a priori.

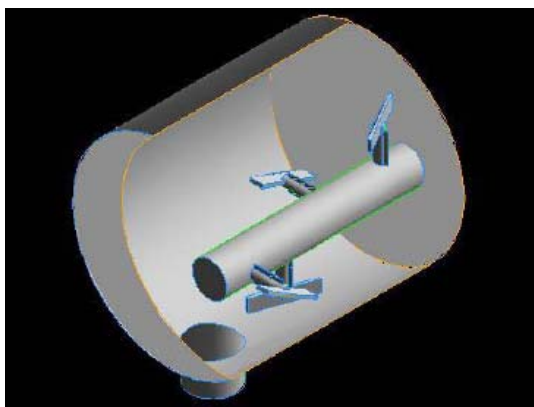


Figure 3 - Conduit de déchargement

La figure 3 illustre une configuration dans laquelle le conduit de déchargement se trouve en bas, sur la surface cylindrique du conteneur, entre la première et la deuxième pale. Grâce à cette architecture, le produit est déchargé chaque fois que l'agitateur atteint le fond du cylindre. Au travers d'un cycle spécifique de déchargement, comportant un mouvement pendulaire de l'agitateur, avec des sens de rotation alternatifs et une portée très réduite entre le profil de l'agitateur et la paroi de la chambre de séchage, il est possible d'obtenir l'évacuation totale du produit.

Consommation de puissance et surchauffe du produit

Avec l'installation en question, la consommation totale de puissance dépend de l'action combinée des mouvements rotatif et planétaire de l'arbre de l'agitateur à l'intérieur de la masse de produit solide.

La puissance dissipée au cours du processus pour le seul mouvement planétaire dépasse à peine celle qui serait nécessaire pour entraîner les parties mécaniques en l'absence de produit solide. Cela est dû au fait que le produit solide est essentiellement mu par le mouvement de l'agitateur autour de son propre axe et que la rotation planétaire s'effectue lentement. Il s'ensuit que la puissance dissipée par la rotation planétaire dépend essentiellement du poids des parties mécaniques et du frottement dû à leur mouvement.

RAPPORT TECHNIQUE

Inversement, la quantité d'énergie dissipée par la rotation de l'agitateur autour de son propre axe n'est pas facilement quantifiable. Elle dépend en effet non seulement de la géométrie des pales, mais aussi du type de produit solide, de sa granulométrie, de son degré d'humidité, du nombre de tours de l'agitateur et du degré de remplissage. D'où l'un des avantages du mouvement planétaire, à savoir la **possibilité d'adopter un agitateur ayant un diamètre considérablement inférieur à celui de l'installation**. Le mouvement planétaire garantit le déplacement du produit dans l'ensemble du volume, tandis que le **petit diamètre de l'agitateur permet de réduire l'énergie dissipée sous forme de frottement entre les particules solides**.

La valeur de la puissance à transmettre à l'arbre peut être calculée à partir de la formule suivante² :

$$P = L \times g \times \lambda \times \varphi \times \rho \times \frac{\pi \times D_g^2}{4} \times S \times N$$

Où :

P = puissance transmise à l'arbre, kW

g = accélération de gravité, 9,81 m/s²

λ = coefficient de résistance au déplacement du produit (3-4)

φ = degré de remplissage

ρ = densité apparente du produit, kg/m³

D_g = diamètre de l'agitateur, m

S = pas, m

L = longueur de l'agitateur, m

N = vitesse de rotation, tr/s

Il en résulte que la puissance à transmettre à l'arbre de l'agitateur du sécheur Planex et, par conséquent, l'énergie dissipée sous forme de frottement entre les particules solides dans ce type d'installations, sont environ trois fois inférieures par rapport à celles dont nécessitent les sécheurs traditionnels pourvus d'un agitateur concentrique.

Degré de remplissage

Comme cela a déjà été remarqué, la puissance dissipée par le mouvement rotatif de l'agitateur autour de son propre axe, dépend aussi du degré de remplissage. Sur des installations conventionnelles, équipées d'un agitateur concentrique, la quantité de produit solide mise en mouvement est liée au degré de remplissage, car le volume balayé par l'agitateur correspond au volume total. En revanche, sur l'installation en question, l'agitateur agit uniquement sur une partie du produit solide, qui varie pendant la rotation planétaire. Par conséquent, à remplissage égal, la consommation de puissance variera dans le temps en fonction du degré d'immersion de l'agitateur dans le produit solide.

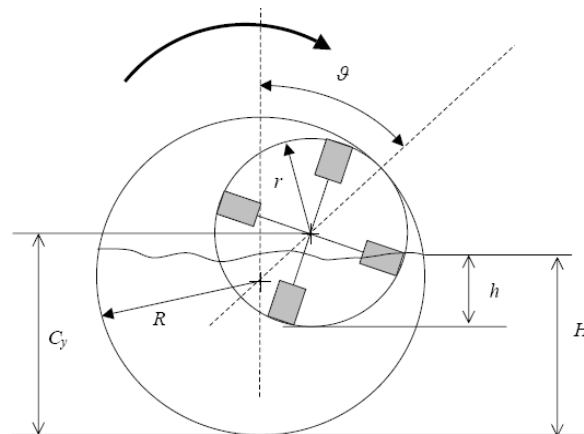


Figure 4 – Rotation planétaire de l'agitateur

RAPPORT TECHNIQUE

En exprimant la puissance dissipée en fonction du degré de remplissage φ et de la vitesse de rotation N (tr/mn) selon la relation de Masiuk³ :

$$P = k \cdot N \cdot \exp[1.28(\ln \varphi + \varphi)] \quad (1)$$

l'on obtient le graphique de la figure 5, illustrant l'évolution de la puissance dissipée en fonction de l'angle de rotation de l'agitateur autour de l'axe du sécheur à différents degrés de remplissage de la chambre.

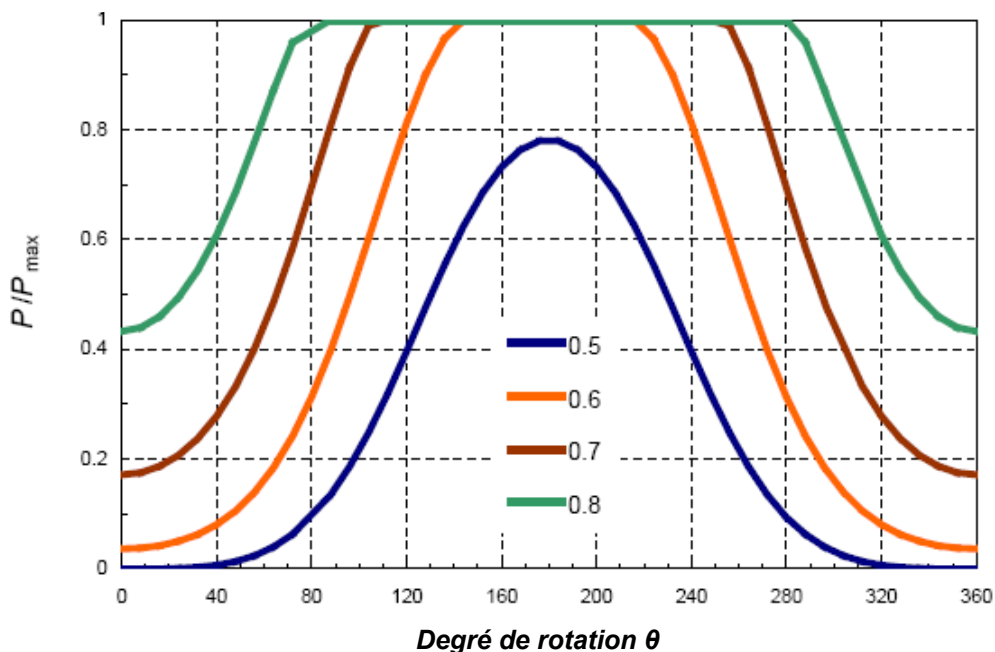


Figure 5 – Evolution de la puissance dissipée par l'agitateur selon l'équation (1) pendant le mouvement planétaire en fonction du degré de remplissage de la chambre de séchage

Pour choisir la configuration optimale, plus encore que la variation de puissance, il est nécessaire de prendre en compte le recyclage de la surface gaz-solide, paramètre fondamental pour une évaporation efficace, ainsi que le recyclage du contact particule-paroi, essentiel pour assurer un échange thermique élevé. Cela dépend de la combinaison des deux mouvements de l'agitateur (planétaire et rotatif). Le remplissage optimal dépend non seulement de l'installation, mais aussi des conditions de processus et des caractéristiques du produit. D'où l'intérêt de le vérifier par voie expérimentale, au travers d'essais pilotes. Il est évident que, en cas de remplissage excessif, le processus ne peut pas se dérouler dans des conditions efficaces, car l'agitateur est presque toujours immergé et n'est pas en mesure de recycler la surface. En revanche, en présence d'un faible degré de remplissage, les deux mouvements combinés (de rotation autour de l'axe et planétaire), convenablement alternés, s'avèrent extrêmement efficaces, y compris avec une petite quantité de produit.

La configuration optimale est donc intermédiaire et correspond à des valeurs théoriques de remplissage de la chambre comprises entre 0,5 et 0,8 du volume total. Avec ces valeurs, l'agitateur déplace toujours une certaine quantité de produit solide et n'est entièrement immergé que pendant un bref laps de temps.

En outre, grâce au mouvement pendulaire de l'agitateur, il est possible de descendre à des valeurs de remplissage de la chambre de l'ordre de 0,2, sans pour autant compromettre le rendement de l'installation.

¹ Garbero, M., Vanni, M., 2004, "Contributo alla realizzazione di un essiccatore prototipo per brevetto IT1273100".

² Dubbel, Beitz, Kuttner, "Dubbel's Handbook of mechanical engineering", CRC Press, (1994).

³ Masiuk S., "Power consumption, Mixing Time and Attrition Action for Solid Mixing in a Ribbon Mixer", Powder Technology, 217-229, 51, (1987).