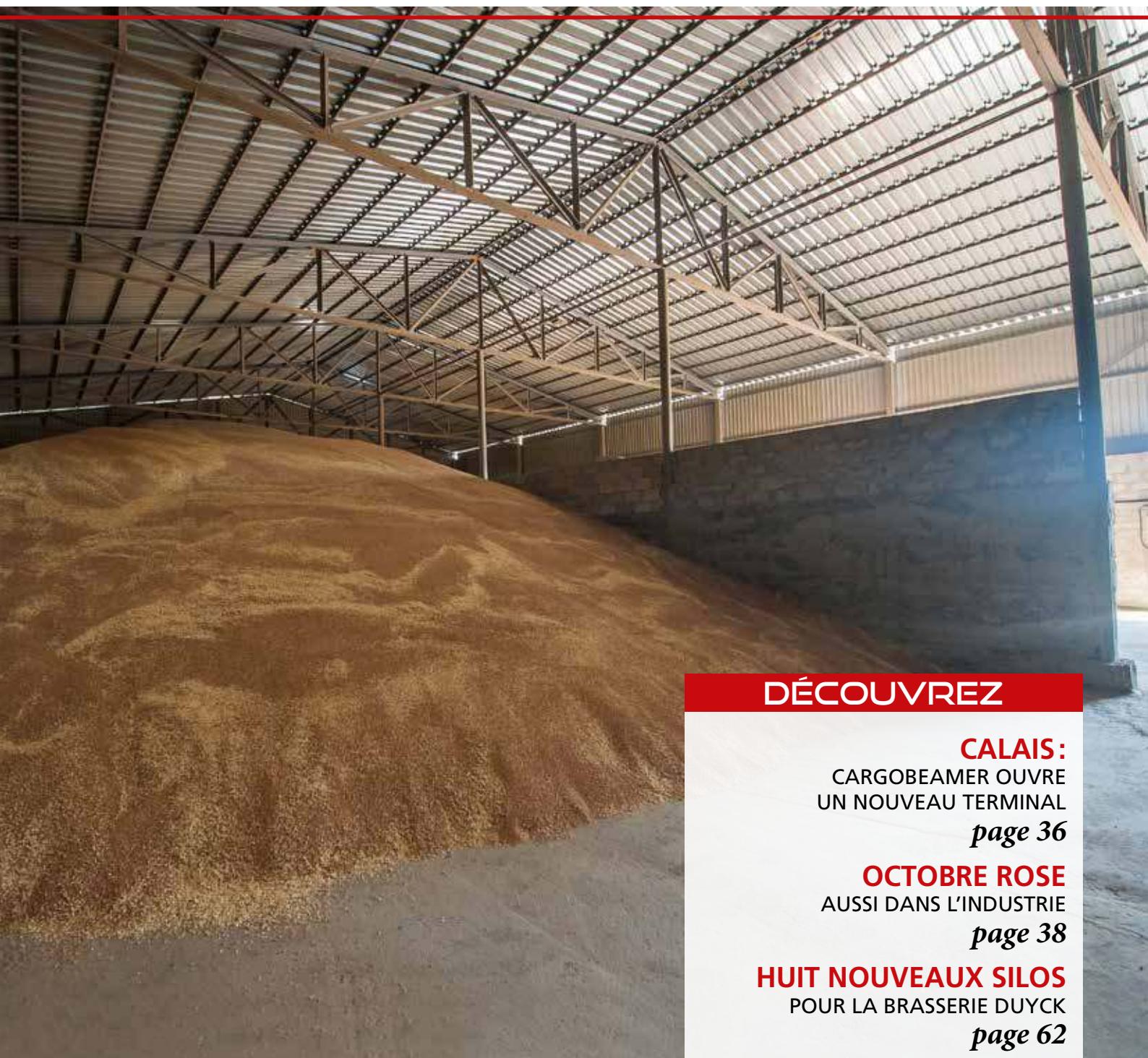


# INFOVRAC

REVUE DE MANUTENTION, STOCKAGE ET TRAITEMENT DES PRODUITS EN VRAC #236

Janvier 2022



## DÉCOUVREZ

### CALAIS :

CARGOBEEAMER OUVRE  
UN NOUVEAU TERMINAL

*page 36*

### OCTOBRE ROSE

AUSSI DANS L'INDUSTRIE

*page 38*

### HUIT NOUVEAUX SILOS

POUR LA BRASSERIE DUYCK

*page 62*

#### Technique

La seconde vie  
des matériaux

*page 50*

#### Transport & logistique

Le port de Sète-Frontignan  
dynamise son terminal vrac

*page 54*

#### Installations

Un nouveau silo de plus  
de 20 000 tonnes prend  
ses quartiers dans le Loiret

*page 64*

#### Matériels

Systèmes de stockage  
de vrac

*page 73*

# Technique



## Quelle est la particularité des échangeurs de chaleur à haute température ?



© Solex Energy Science

→ Neville Jordison, chef de la direction, Solex Energy Science.

La poursuite collective d'un avenir plus durable pour tous ouvre de nouvelles perspectives dans l'avancement de la technologie d'échange de chaleur.

Ce sprint vers la durabilité fait proliférer une application plus large des échangeurs de chaleur à solides en vrac plus spécialisés, également appelés échangeurs de chaleur à lit mobile ou à conduction, et a créé de nouveaux débouchés pour ce qu'on appelle les échangeurs de chaleur à solides en vrac à haute température.

Les incitants industriels, économiques et sociétaux, tels que l'efficacité énergétique, les énergies renouvelables et la réduction des émissions de gaz à effet de serre, jettent un nouvel éclairage sur les applications non réalisées qui accompagnent l'utilisation d'un échangeur de chaleur indirect pour chauffer ou refroidir des matériaux en vrac.

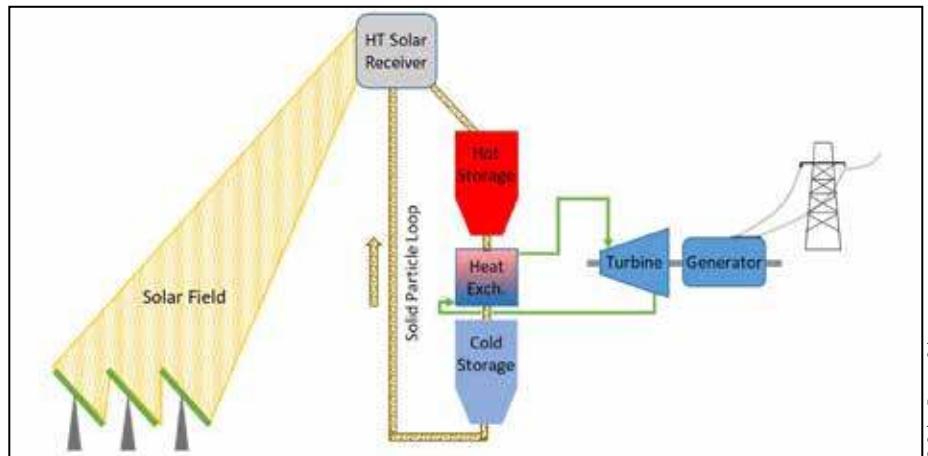
Par exemple, des innovations telles que les plaques gaufrées pour des applications à haute température, les échangeurs de chaleur par diffusion et la technologie des tubes verticaux ont permis aux industries d'améliorer l'efficacité de chauffage ou de refroidissement, de récupérer de l'énergie de manière économique et/ou de réduire leurs besoins actuels en matière de gestion de l'environnement et de l'hygiène des installations. Les échangeurs de chaleur à haute température pour solides en vrac ont également permis le stockage et la récupération de l'énergie solaire thermique et sa conversion ultime en énergie. Tout cela conduit aux questions suivantes: que sont les échangeurs de chaleur pour solides en vrac à haute température et qu'est-ce qui les rend si spéciaux ?

### *Définition de la haute température*

Cela commence par comprendre le terme « haute température ». La température élevée est relative et sera considérablement différente pour différentes industries. Cependant, à titre indicatif pour les échangeurs de chaleur, la conception de l'équipement change lors de la manipulation de solides en vrac à des températures

supérieures à 400 °C. Au-dessus de cette température, les flux de chaleur sont élevés, nécessitant des conceptions spéciales et une analyse détaillée pour maintenir les contraintes des matériaux en dessous des limites admissibles.

Une autre considération est que, au-dessus de 400 °C, le rayonnement devient un élément important du mécanisme de transfert de chaleur qui doit également être pris en compte dans la conception de l'équipement.



→ Diagramme de processus d'une installation solaire concentrée avec stockage d'énergie de particules solides.

© Solex Energy Science

Le défi avec l'acier est que ses contraintes admissibles diminuent avec la température. Quand il fait plus chaud, le stress admissible qui peut être conçu diminue. Pour l'acier inoxydable austénitique ou 316, la température de fonctionnement maximale peut se situer dans la plage basse de 600 °C, mais ses contraintes admissibles ne représentent qu'une fraction de ce qu'elle est dans les conditions ambiantes. Une fois dans la plage de 500 °C à 600 °C, la contrainte admissible pour le matériau aura considérablement diminué.

La conception des échangeurs thermiques à températures élevées a également un impact sur le choix du matériau. Le point de départ est un acier inoxydable austénitique, tel que le 316 qui convient à la plupart des échangeurs de chaleur à haute température où le but est simplement de refroidir le produit en utilisant de l'eau comme fluide de refroidissement. Dans ce cas, la température moyenne des parois sera proche de la température de l'eau de refroidissement, donc bien dans la plage d'un acier inoxydable 316.

Cependant, cela change lorsqu'il s'agit de récupérer l'énergie, par exemple pour récupérer de la chaleur de haute qualité en tant que source d'énergie pour une turbine à gaz dans une application de récupération de chaleur. Pour obtenir un rendement élevé de la turbine, il doit y avoir des températures maximales côté fluide (air). En conséquence, la température de paroi moyenne sera beaucoup plus élevée et peut nécessiter l'utilisation d'un superalliage tel que l'Inconel 617 ou 625. Ces alliages à haute teneur en nickel peuvent être utilisés jusqu'à environ 900 °C.

## Comment gérer le stress thermique

La question suivante est, au-delà du choix du matériau de conception, comment atténuer davantage ces contraintes ?

La technologie conventionnelle de transfert de chaleur des solides en vrac utilise des plaques gaufrées traditionnelles avec des fluides tels que l'eau, l'huile thermique ou même la vapeur. Ces plaques ont typiquement plus de 1 m de largeur et 1 m de hauteur, avec, dans le cas de l'eau ou de l'huile thermique, le fluide de travail circulant à contre-courant des solides.

Cependant, comme indiqué précédemment, au-dessus de certaines températures de fonctionnement, les contraintes thermomécaniques localisées sur ces types de plaques peuvent devenir inacceptablement

élevées. Pour minimiser les contraintes, les échangeurs de chaleur à haute température utiliseront des plaques plus courtes.

Les plaques elles-mêmes comprennent également plusieurs caractéristiques brevetées qui garantissent une répartition uniforme du fluide de travail et des vitesses élevées à l'intérieur des plaques pour s'adapter aux taux élevés de transfert de chaleur. La conception de l'échangeur de chaleur doit également être conforme aux codes des appareils sous pression (par exemple, ASME en Amérique du Nord, PED en Europe).

Une analyse par éléments finis (FEA) d'une plaque avec un solide à l'extérieur et un fluide à l'intérieur illustrerait alors les endroits où des contraintes extrêmement élevées existent en divers points à ces températures élevées, et permettrait d'affiner davantage la conception si nécessaire.

## Évaluer la conception

Cependant, il existe des considérations supplémentaires lors de la conception de la trémie de décharge à débit massique, à savoir pour tenir compte des propriétés d'écoulement des matières solides qui peuvent changer à des températures élevées. Bien que les solides puissent encore être loin de leurs points de fusion respectifs, ils peuvent commencer à présenter des propriétés d'écoulement et des forces de traînée différentes à l'interface solide-paroi. Par conséquent, les conditions d'écoulement doivent être évaluées à ces températures, car les solides agiront différemment.

Pour s'adapter à un changement dans les propriétés d'écoulement des matériaux, l'espacement des plaques, les angles de paroi dans la trémie de débit massique et la sélection du dispositif de décharge (généralement une vanne rotative) seront adaptés aux conditions d'écoulement et répondront à l'exigence d'un débit massique uniforme dans l'échangeur de chaleur.

Enfin, alors que dans un échangeur de chaleur à solides en vrac typique, le produit entrera en contact avec la coque extérieure, ce n'est pas le cas avec une unité à haute température. Au lieu de cela, le produit est contenu dans une enveloppe refroidie à l'eau.

La raison est due à la dilatation thermique différentielle. Si les composants des enveloppes externes ne sont pas refroidis à l'eau, la différence de température entre le flux de solides en vrac à haute température et les surfaces froides de ces composants entraînera des fluctuations extrêmes dans les matériaux. En contenant tout dans ...

Cette technologie basée sur les échangeurs thermiques s'aligne sur les objectifs mondiaux croissants de durabilité

**ROTOLOK**  
CONSTRUCTEUR DE COMPOSANTS INDUSTRIELS

PLUS DE 45 ANS D'EXPÉRIENCE

ECLUSES DE DEPOUSSIERAGE

EN STOCK France



VANNES  
GUILLOTINES



VANNE À  
DIAPHRAGME



ROTOLOK FRANCE

Tél.: 04 42 95 44 00

E-mail: [contacts@rotolok.fr](mailto:contacts@rotolok.fr)

[www.rotolok.fr](http://www.rotolok.fr)

••• une enveloppe refroidie à l'eau, nous évitons ces différentiels de température. Un autre avantage d'une enveloppe refroidie à l'eau est qu'elle réduit le besoin d'isoler l'unité, et évite de par la même des dangers lors des déplacements autour des connexions de l'équipement.

## Il n'y en a pas deux pareils

Il n'y a pas deux échangeurs de chaleur pour solides en vrac à haute température similaires. Chacun doit être conçu pour des conditions spécifiques, qui sont dictées par des facteurs tels que le type de produit, la plage de température et le débit.

Dans certains cas, les matériaux en vrac à haute température devront être refroidis pour éviter une oxydation supplémentaire à des températures élevées. Dans ces cas, l'équipement fonctionnera sous azote ou sous une couverture de gaz inerte pour l'amener à ces basses températures où il ne s'oxydera pas. Lors de la prise en compte d'un gaz de purge comme celui-ci, les échangeurs de chaleur, à leur tour, doivent être conçus avec une faible pression positive pour éviter que l'air ne pénètre dans l'unité. Il y a aussi la modélisation thermique complexe qui doit avoir lieu – par exemple, la prise en compte de l'effet du rayonnement, qui, à haute température, devient une composante importante du transfert de chaleur.

## Applications

De nombreuses industries n'ont traditionnellement pas considéré les matériaux solides en vrac à haute température comme une source potentielle d'énergie thermique qui peut être soit réutilisée ailleurs dans l'usine, soit même convertie en énergie électrique. Au lieu de cela, ces solides

chauds ont souvent été laissés sur le sol pour refroidir à l'air ou être trempés à l'eau. Par exemple, les scories qui sortent d'un haut-fourneau sont trempées avec de l'eau pour les refroidir, ou parfois simplement renversées, encore à l'état fondu, et laissées à refroidir à l'air. Cela représente un nombre énorme de gigajoules d'énergie qui se disperse simplement sous forme de chaleur dans l'atmosphère ou est emporté par l'eau de trempe. Une grande partie de cette énergie peut être réutilisée si une solution technique et économique existait.

Les consommateurs et les investisseurs exigent aujourd'hui des normes de durabilité plus élevées de la part des entreprises. Une étude publiée par PwC l'été dernier a révélé que 65 % des investisseurs tenaient compte des problèmes ESG (environnement, social, gouvernance) lors de la gestion des risques d'investissement. Pendant ce temps, une enquête de la Bank of America a révélé que 92 % des consommateurs de la génération Z passeraient à une marque qui prend en charge les problèmes ESG par rapport à une autre qui ne le fait pas.

L'industrie des énergies renouvelables a inauguré des applications supplémentaires d'échangeurs de chaleur à haute température pour solides en vrac – par exemple, l'utilisation de la technologie d'échange de chaleur de particules solides à CO<sub>2</sub> super-critique pour alimenter des turbines sCO<sub>2</sub> à haut rendement.

En plus de l'industrie métallurgique – qui implique des scories, des minerais ou des poudres métalliques, telles que celles utilisées pour la production de batteries –, d'autres industries qui voient généralement ces températures élevées sont celles avec des produits à base de carbone ou des cendres, telles que le biochar, et les poudres minérales, telles que le ciment.

→ *Sur la photo, un modèle d'échangeur de chaleur par diffusion conçu pour un matériau sous forme de particule, du côté solide, et du CO<sub>2</sub>, du côté fluide.*



© Solex Energy Science

Fait intéressant, toutes les industries ne cherchent pas exclusivement à refroidir les solides en vrac, bien que la plupart le fassent. Certains cherchent à chauffer indirectement un solide – par exemple, une matière première destinée à un calcinateur.

Dans l'ensemble, il se passe beaucoup de choses dans ces situations à haute température qui doivent être comprises. La modélisation de l'échangeur de chaleur est plus compliquée. Il y a également des changements dans les caractéristiques thermiques de ces solides en vrac, ce qui signifie qu'il est important de comprendre les facteurs qui entrent en jeu lors de la conception pour le débit massique. Il faut tenir compte qu'il y a beaucoup d'ingénierie de pointe qui entre dans la construction de cette technologie, ce qui nécessite une solide compréhension de la façon d'évaluer et d'analyser les contraintes thermomécaniques, ainsi que certaines propriétés des matériaux de construction et les techniques de fabrication requises pour une conception réussie. Il n'y a pas de réponse toute faite pour ce type de défi, et une étude approfondie doit être réalisée pour chaque projet. ■

**Neville Jordison\***

Président-directeur général  
de Solex Energy Science

\*Neville Jordison est le président-directeur général de Solex Energy Science, une entreprise canadienne qui se concentre sur le développement et l'application de solutions d'échange thermique de solides en vrac à haute température aux solutions de technologies vertes, telles que l'énergie solaire, la récupération de la chaleur résiduelle et la capture du carbone.

**Solutions de stockage des pulvérulents pour l'industrie**

- Silos sur pieds
- Silos sur jupe
- Silos sur terrasse
- Silos sur portique

FABRIQUÉ EN FRANCE

Certification MASE jusqu'en 2024

- Prestation clé en main : étude, fabrication, transport, mise en place, service après-vente
- Compatibilités ATEX, alimentarité, sismicité..., selon votre cahier des charges

**www.rousseau.fr**

Silos et cuves ■ Tuyauterie ■ Créations composites | 79160 FENIOUX +33(0)5.49.75.22.06 contact@rousseau.fr