

Whitepaper

Mettre en température économiquement

La solution parfaite pour la mise en température d'un réacteur

La mise en température de réacteur dans les laboratoires et les unités pilotes de l'industrie pharmaceutique, chimique nécessite l'emploi de systèmes de mise en température à haute dynamique. Travailler avec un réacteur implique la compensation extrêmement rapide de réactions endo et/ou exothermiques dans le cœur même du réacteur. Il faut donc choisir avec beaucoup de soins, en tenant compte des différentes conditions, des paramètres influant externes, le système de mise en température adéquat. Cet article doit vous aider à trouver la solution optimale adaptée à votre application.



Sommaire

| | |
|---|---|
| Mise en température d'un réacteur | 1 |
| Sécurité du process | 2 |
| Sécurité de l'investissement | 3 |
| Sécurité d'utilisation | 4 |
| Listes de questions | |
| Liste 1: Sécurité du process | 6 |
| Liste 2: Sécurité de l'investissement | 7 |
| Liste 3: Sécurité d'utilisation | 8 |

La mise en température d'un réacteur

Les réacteurs les plus fréquemment utilisés sont en verre ou en inox. Les réacteurs en acier sont plus robustes et supportent des conditions plus extrêmes. Les réacteurs en verre permettent de voir ce qui se passe à l'intérieur du réacteur. Les réacteurs en verre nécessitent cependant nettement plus de mesures de sécurité lors de leur utilisation.

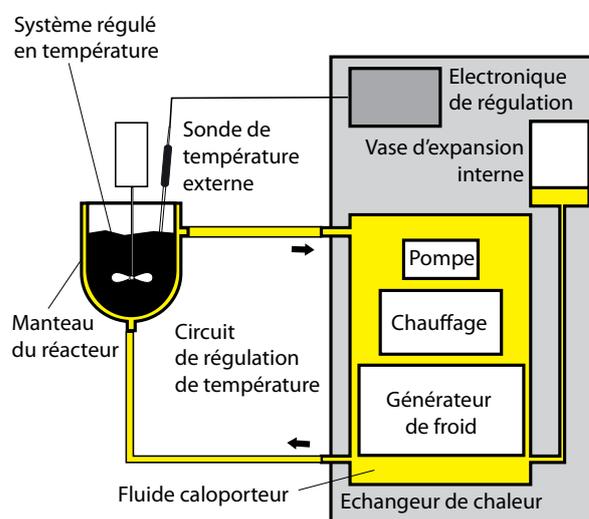
Les réacteurs se composent principalement d'une cuve interne pour la substance à mettre en température. Cette cuve est entourée d'un manteau dans lequel circule le liquide caloporteur. Le système de mise en température à haute dynamique est connecté au manteau du réacteur. Lors de la mise en température d'un réacteur, le système de mise en température pompe de manière permanente le liquide caloporteur dans le manteau du réacteur. Une variation de température soudaine dans le cœur du réacteur est compensée par un chauffage ou un refroidissement rapide du liquide caloporteur. Ce chauffage ou ce refroidissement est l'œuvre du système de mise en température. Le principe de base de la mise en température d'un réacteur est récapitulé dans l'illustration suivante.

Exemple d'utilisation de réacteurs

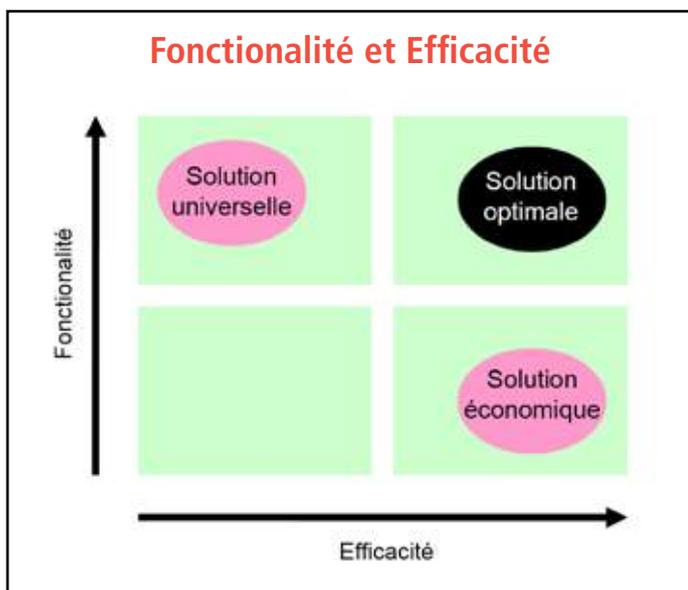
- Laboratoire pilote (ex.: industrie pharmaceutique ou chimique)
- Test de stabilité de matériau (ex.: industrie automobile, aéronautique, industrie spatiale)
- Simulation de température

Principe de base de la mise en température de réacteur

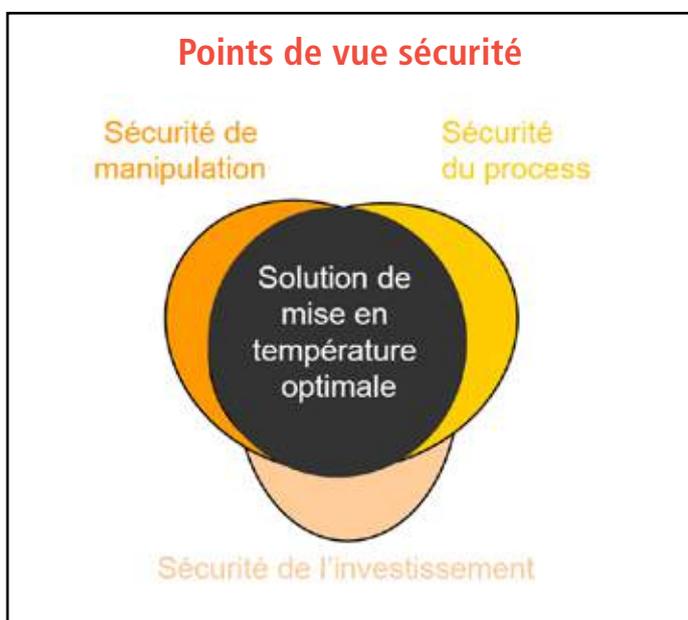
Réacteur Système de régulation de température



Pour bien choisir un système de mise en température dynamique, il faut tenir compte de beaucoup de paramètres et de facteurs influents. Le but est de déterminer une solution de mise en température fonctionnelle et efficace. Ce choix est représenté dans l'illustration ci-dessous.



Comment qualifier une solution optimale de mise en température? Pour qualifier un système, un facteur important et incontournable à prendre en compte: la sécurité. En fait le choix final doit, en fait, tenir compte de différents points de sécurité. La sécurité des utilisateurs est considéré dans l'étude qui suit comme la priorité principale. Pour le choix final, trois autres critères de sécurité importants doivent être pris en compte. En premier la sécurité du process : finalement l'installation doit fonctionner à 100%. En second, il faut également la sécurité de l'investissement. Pour ce seront pris en considération l'argent dépensé pour le système de mise en température et la sécurité de systèmes de réacteurs couteux. En troisième, la sécurité lors de la manipulation du système de mise en température jouera un rôle important. En résumé, la solution de mise en température optimale englobe trois points de sécurité: la sécurité de process, la sécurité de l'investissement et la sécurité de la manipulation. La figure suivante montre que les trois points de sécurité sont respectés dans la majorité des cas.



Dans la suite, les trois points de sécurité vont être détaillés et les critères de choix en découlant vont être déterminés.

La sécurité du process

Pour réguler en température un réacteur, la conception et les matériaux du réacteur jouent déjà un rôle prépondérant. Une paroi en verre a une toute autre conductivité thermique qu'une paroi d'acier.

La surface et l'épaisseur des parois ont également une énorme influence pour assurer une bonne précision de régulation de température du process. Un brassage efficace du milieu réactionnel assure une bonne homogénéité de température qui favorisera des échanges thermiques pour une bonne régulation de la température.

D'après les données des normes sur les appareils travaillant sous pression 97/23/EG et selon les fabricants de réacteurs, chaque type de réacteur est caractérisé par une pression maximale de travail. Le système de mise en température ne doit en aucun cas, lors de l'utilisation, dépasser cette valeur limite. Avant la mise en service d'un système de mise en température, il est impératif d'entrer ces valeurs limites dans l'appareil de mise en température.

Un autre paramètre caractéristique d'un réacteur est la valeur limite de différence de température. (Valeur limite de DeltaT). Cette valeur représente la valeur maximale entre la température du fluide caloporteur et la température du milieu réactionnel. Les réacteurs en verre sont nettement plus sensibles à cette valeur que les réacteurs en acier. Il est donc nécessaire d'utiliser un système de mise en température permettant d'entrer une valeur limite pour Delta T, selon le temps, et selon le type de réacteur.

Le système de mise en température se compose de trois éléments qui vont influencer la sécurité du process:

- L'échangeur de chaleur
- La pompe
- Le régulateur électronique

Le système de mise en température doit disposer de puissances de chauffage et de refroidissement nécessaires. Ces deux puissances sont primordiales pour atteindre la température de consigne. Pour déterminer les puissances nécessaires, il faut tenir compte de la masse du milieu réactionnel, des différences de température, des temps de chauffage ou de refroidissement souhaités, ainsi que de la capacité calorifique du fluide caloporteur.

Les systèmes de mise en température à haute dynamique sont disponibles avec un refroidissement par air ou par eau. Les appareils refroidis par air ne nécessitent pas d'eau et peuvent être mis en service sans restriction. Ces appareils utilisent l'air ambiant pour dégager la chaleur. Les appareils refroidis par eau nécessitent un branchement à l'eau courante, mais fonctionnent plus silencieusement. Selon la conception du

Détermination de la puissance calorifique ou frigorifique

$$Q = (m * c * dT) / t$$

Q = Puissance froid/chaud nécessaire en kW
m = Masse de matériaux en kg
c = Capacité calorifique spécifique
(Eau = 4,2 / Ethanol = 2,5 / Huile silicone = 1,8)
dT = Différence de température en °C
t = Temps de chauffage ou de refroidissement souhaité (en seconde)

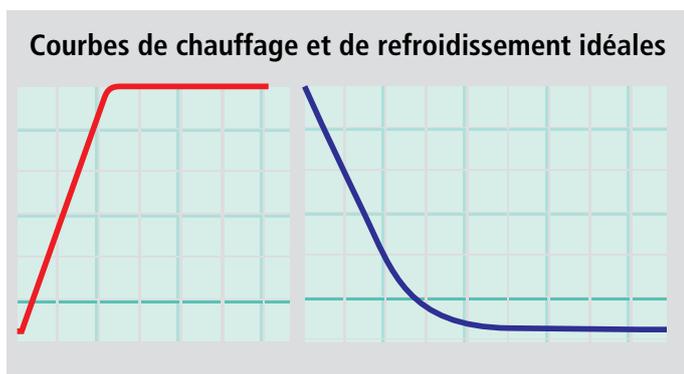
système à mettre en température, un appareil refroidi par eau peut être complètement intégré dans le montage.

La pompe équipant le système de mise en température doit être puissante pour atteindre des hauts débits avec des pressions constantes. La pompe doit atteindre la valeur de pression très rapidement, tout en contrôlant cette valeur continuellement pour ne pas dépasser les valeurs limites du réacteur évoquées précédemment. Le réglage de la puissance de pompe doit pouvoir se faire par niveaux ou par une valeur limite de pression. Certains systèmes de mise en température sont équipés de pompes qui compensent d'eux même les variations de viscosité du liquide caloporteur. Car la viscosité fait varier le débit et par conséquent le transfert d'énergie. Un avantage particulier pour les pompes à couplage magnétique: le circuit hydraulique est complètement étanche et ce type de pompe ne nécessite pas d'entretien : elle est autolubrifiante.

Le circuit à mettre en température doit être un circuit fermé: le liquide caloporteur ne doit pas entrer en contact avec l'air ambiant. Ceci évite des pollutions avec l'humidité de l'air, l'oxydation et le dégagement de vapeurs dans l'installation. Les variations de volume dues aux variations de température nécessitent l'utilisation permanente d'un vase d'expansion. Le vase d'expansion incorporé dans l'appareil doit donc être suffisamment volumineux. Un système de refroidissement additionnel et indépendant du vase d'expansion doit éviter un échauffement de l'appareil ainsi que les risques de blessure des utilisateurs.

Le système de mise en température doit être conçu de manière robuste et doit pouvoir travailler de manière fiable à des températures élevées. Combien de fois le scénario idéal de la température ambiante de +20°C s'est révélé n'être que la théorie! Déjà l'utilisation de cet appareil dans une installation pilote nécessite un soin particulier. Même lors des périodes estivales, les systèmes de mise en température sont soumis à des conditions très éprouvantes. A cause des mesures d'économie d'énergie, il n'est pas rare de trouver des laboratoires avec des températures ambiantes nettement supérieures à 20°C. Les appareils pouvant travailler de manière fiable avec des températures ambiantes supérieures à 35°C sont donc nettement avantagés.

La mise en température dans le process nécessite une grande précision de régulation. Une régulation électronique adaptée doit continuellement surveiller et contrôler le process dans le réacteur et les paramètres du système. A la moindre variation du paramètre de régulation, il faut réagir et le ramener au plus vite et au plus proche de la valeur de consigne, en évitant au mieux les « overshoots ». Une régulation électronique précise est à la base d'une régulation de température constante. Le critère de qualification d'une électronique de régulation reste la facilité d'utilisation. Le système de mise en température optimal ne nécessite que l'entrée d'une valeur de consigne. Lors du process, le régulateur optimise de lui-même la régulation pour un résultat parfait.



En résumé, la sécurité du process lors de la mise en température d'un réacteur dépend du type et des caractéristiques du réacteur, de la qualité de l'échange de chaleur, et de la qualité des composants du régulateur.



Système de mise en température à haute dynamique

La sécurité de l'investissement

Un système de mise en température dynamique est un investissement. Les coûts du système de réacteurs et du milieu à mettre en température sont bien souvent encore plus élevés. Ainsi le choix ne se porte plus seulement sur un système qui permet un retour sur investissement aussi rapide que possible, mais également qui ne nuit pas à l'appareillage et aux matières premières. Pour le choix d'un appareil, il faut tenir compte des points suivants.

La pompe intégrée dans le système de mise en température aide à la sécurité de l'investissement quand elle régule une pression sous contrôle permanent et protège ainsi votre application. Si en plus elle est autolubrifiante, elle vous assure un fonctionnement sans usure, et en nécessitera que très peu d'entretien. Les frais de fonctionnement et d'entretien sont donc restreints, et les périodes d'arrêts techniques diminuées.

Un autre critère est le domaine de température: l'appareil doit permettre de le couvrir complètement. Plus le domaine de température sera large, plus l'appareil pourra être utilisé. Dans le cas idéal, par exemple dans le laboratoire où plusieurs séries de tests doivent être effectuées dans des temps très courts et à des températures différentes, un seul et même appareil pourra être utilisé pour la manipulation.

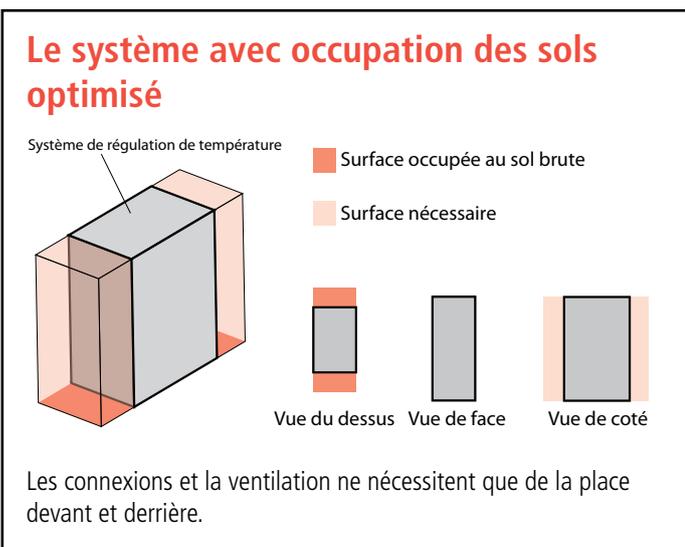
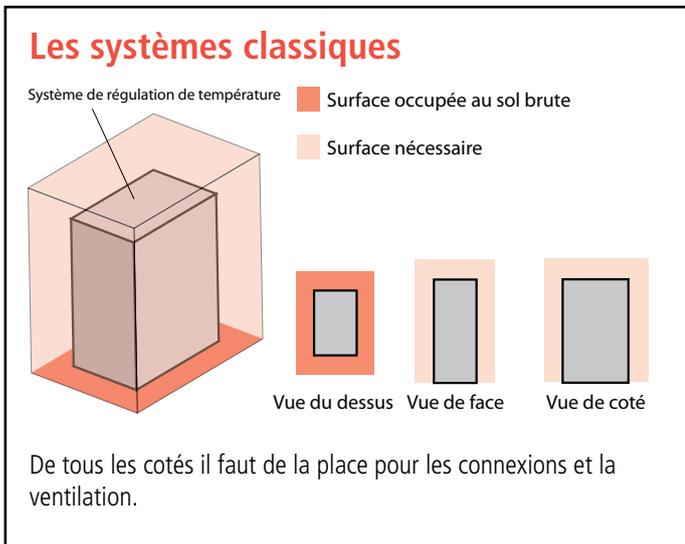
Si vous choisissez un appareil refroidi par eau, il sera important qu'il soit équipé d'un grand et robuste échangeur. Celui-ci vous assurera qu'il ne sera pas bouché par une eau de refroidissement chargée.

Un appareil refroidi par air vous permet d'économiser de l'eau de refroidissement.

Il n'y a pas de petites économies! Un système fermé garantit une durée de vie prolongée du liquide caloporteur.

Toute économie ne se mesure pas en monnaie sonnante et trébuchante. Un autre paramètre important : l'espace nécessaire au bon fonctionnement du système de mise en température. Plus la place est petite, plus le gain de surface de laboratoire sera grand pour le laboratoire. Ceci n'est pas à négliger, surtout que la place dans les laboratoires devient

de plus en plus précieuse. Pour un système de mise en température, il ne faut pas seulement tenir compte de la surface occupée au sol, mais également les volumes nécessaires pour les différentes connexions, les volumes nécessaires à une bonne ventilation de l'appareil. Un système économe en espace n'aura de connexions ou de tirettes de ventilation que sur les faces avant et arrière. Dans ce cas vous gagnez de l'espace: d'autres appareils peuvent être placés juste à côté de votre système de mise en température. Dans le pire des cas, vous perdez de la place, en plus de ce qui vous a été annoncé, puisqu'il vous faut encore de la place pour les connexions ou pour la ventilation.



La sécurité de votre investissement est également liée à la durée de vie de votre appareil. Pour ce point, l'utilisateur doit également mettre la main à la pâte ; par exemple en accomplissant de l'entretien préventif de l'appareil tel le nettoyage du condenseur sur les appareils à refroidissement par air. Le service technique et la qualité du renseignement du fabricant de ce type de matériel devient également très important. En plus d'un conseil technique compétent, d'un suivi de clientèle proche et d'un support efficace lors de l'installation ou de la calibration, la mise à disposition pour l'utilisateur des documents nécessaires à une validation ou qualification d'un appareil doit être automatique. A la base toutes les conditions, comme l'alimentation électrique, doivent être remplies sur le lieu d'installation de l'appareil.

En résumé, la sécurité de votre investissement est assuré par l'emploi de composants de haute qualité lors de la construction du système de mise en température. L'appareil doit répondre à des critères de qualité exigeants. Les fabricants certifiés DIN ISO 9001 s'imposent, avec ce

certificat reconnu mondialement, une charte de haute qualité. Dans beaucoup de marchés, le tampon „Made in Germany“ certifie que l'appareil a subi avec succès à de nombreux tests et est conforme à ce que vous attendez de votre investissement.

Sécurité d'utilisation

La sécurité d'utilisation est à assurer par le responsable de l'installation dont fait parti le système de mise en température dynamique. Les textes régissant l'utilisation de machines 98/37/EG spécifie que le responsable de la machine doit s'assurer que l'utilisateur est formé à cette machine et la maîtrise. Cela ne suffit pas à des fabricants de systèmes de mise en température responsables. Ils cherchent constamment à intégrer dans leurs systèmes de mise en température des outils qui aideront efficacement l'utilisateur final lors de l'installation, la mise en service et le travail quotidien au laboratoire. Pour un système de mise en température, vous pourrez donc déjà être sensible aux mesures à prendre lors de l'installation ou de la mise en service. Plus ces mesures seront simples et peu nombreuses, plus rapide sera la mise en service du système.

Les systèmes de mise en température les plus modernes sont équipés de systèmes d'affichage clairs et lisibles des informations les plus importantes sous forme de valeurs, de graphes ou de remarques en texte clair. Lors de l'utilisation il est extrêmement important de bénéficier de valeurs très rapidement et qui n'aient pas besoin d'être encore déchiffrées. L'affichage doit donc se faire sur un grand écran. Un écran tactile permet de rendre l'utilisation encore plus conviviale. Les appareils les plus modernes permettent déjà des niveaux d'utilisation différents, protégés par des mots de passe. L'administrateur peut paramétrer en avance les tâches quotidiennes. Les collaborateurs n'auront qu'un accès limité et ne peuvent qu'appeler les différents programmes. Ceci simplifie le travail dans le laboratoire et évite les changements de paramètres accidentels ou erreurs de manipulation.



Affichage et pilotage par un écran tactile couleur

Un autre critère reste le nombre élevé de possibilités de connexion pour piloter à distance ou tout simplement brancher le système de mise en température sur un réseau. Il n'est pas toujours souhaitable de piloter le système de mise en température directement sur son propre clavier ; dans certains cas c'est même impossible. Les prises standards telles les connexions ethernet ou USB, permettent de piloter à distance l'appareil. Il est particulièrement intéressant pour l'utilisateur d'avoir un écran de

pilotage à distance avec exactement les mêmes fonctions que sur l'écran de l'appareil. Ceci évite une nouvelle formation et d'éventuelles erreurs de manipulation.

Les séries d'essais à conditions identiques font parties du quotidien du laboratoire. Il est également utile de refaire des manipulations exactement avec les mêmes paramètres lors de recherche d'erreurs. Afin de pouvoir reproduire exactement la même chose, le système de mise en température doit bénéficier des fonctions adéquates. Ceci permet de réduire considérablement les rapports d'essai

Même si les systèmes de mise en température sont de plus en plus souvent équipés de fonctions et d'écran de plus en plus intuitifs, il est cependant conseillé de faire former les utilisateurs. Les systèmes et les montages de plus en plus complexes, ainsi que les attentes de plus en plus hautes nécessitent des utilisateurs de mieux en mieux formés..

La grande sécurité d'utilisation est également présente sous de nombreuses facettes qui paraissent d'ordre secondaire, par exemple vérifier quelle fluide caloporteur peut couvrir quel domaine de température de travail. Certains systèmes de mise en température peuvent couvrir tout leur domaine de température de travail avec un seul et même liquide caloporteur. L'utilisateur n'a plus besoin de vidanger le liquide caloporteur. Ceci permet aussi de se faire succéder des tests à haute et basse température, sans la nécessité d'une pause pour la vidange, le nettoyage et le nouveau remplissage du système. Le système peut être utilisé à des températures très variées et sans pertes de temps.

Si le système de mise en température est localisé dans la même salle que vos collaborateurs, le bruit dégagé par l'appareil devient un critère. Il existe des appareils qui travaillent très silencieusement. Un autre critère : l'accès à l'orifice de remplissage. Cette ouverture doit être placée de manière à faciliter le remplissage de l'appareil et le permettre aussi propre que possible.



Transfert de données par prise USB

Si l'appareil doit être fréquemment transporté, il faut vérifier la facilité du transport. A-t-on besoin de plusieurs personnes pour transporter l'appareil ou une seule personne suffit-elle amplement ?

La sécurité d'utilisation doit comporter l'ensemble des critères qui, lors d'une utilisation quotidienne, entrent en jeu. L'installation et la mise en service du système de mise en température idéal sont très courtes. L'apprentissage du fonctionnement de l'appareil et sa manipulation seront extrêmement simples. L'appareil doit être équipé de détails qui rendent son utilisation très facile.

Pilotage d'un système de régulation de température à haute dynamique par ethernet avec affichage de l'écran sur un PC



Listes de questions

Les listes de questions servent à résumer les différents critères détaillés dans le texte.

Liste 1: sécurité de process

Conseils :

- Déterminer la besoin en puissance de chauffage et de refroidissement
→ Conseil: Laisser déterminer le besoin en puissances de froid et de chaud par le fabricant!
- Vérifier la compatibilité entre le domaine de température de travail et le domaine de température du liquide caloporteur.
→ Conseil: Suivre les conseils du fabricant!
- Contrôler les valeurs de pression et les conditions d'utilisation du réacteur.
- Assurer un bon brassage dans le réacteur.

Critères pour la sélection du système optimal de mise en température.

| Importance | | | | Critères | Ok ? |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|---|--------------------------|
| -- | - | + | ++ | | |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Possibilité d'entrer des valeurs de pressions maximales | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Possibilité de donner une valeur maximale de différence de température entre le liquide caloporteur et le réacteur. | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Possibilité de donner une valeur maximale pour la différence entre la température du manteau et du réacteur. | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Haute puissance de chauffage et de refroidissement | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Domaine de température très large | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Refroidissement par air → Mise en service en tout endroit → Economie d'eau de refroidissement | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Refroidissement par eau → Intégration complète dans un montage → Nécessité d'eau de refroidissement | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Puissance de pompe | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Réglage de la puissance de pompe par niveau ou par entrée de valeur de consigne de pression. | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Pompe avec ajustage à la viscosité dynamique. | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Pompe à couplage magnétique pour un circuit de refroidissement clos. | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Pompe autolubrifiante. | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | → Vase d'expansion interne refroidi Evite à l'appareil de chauffer et un risque de blessure de l'utilisateur. | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Système de mise en température robuste et encore fiable même à des température environnantes dépassant +35 °C | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Régulateur électronique extrêmement précis, d'utilisation très simple et intuitive. | <input type="checkbox"/> |

Liste 2: sécurité d'investissement

Conseils :

- Entretien et vérification réguliers
- Nettoyage régulier
→ Conseil: vérifier l'efficacité du service et du support du fabricant!
- Tenir compte des paramètres et exigences du lieu d'installation : ex. alimentation électrique.

Critères pour la sélection du système optimal de mise en température

| Importance | | | | Critères | Ok ? |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--|--------------------------|
| -- | - | + | ++ | | |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Protection de l'appareillage grâce à une montée rapide mais contrôlée de la pression. | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Pompe nécessitant peu d'entretien (autolubrifiante) → Evite les surcoups et les temps d'immobilisation. | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Domaine de température très large. → Optimal pour une série d'essais successifs à des températures différentes. | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Echangeur de chaleur robuste (pour les appareils refroidis par eau) → Permet d'éviter les pollutions de l'eau de refroidissement et des bouchons dans le système. | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Système refroidi par air → économie non négligeable d'eau de refroidissement | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Circuit fermé → Longue durée de vie du liquide caloporteur. | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Volume occupé par le système de mise en température. → Espace occupé au sol <u>PLUS</u> le volume nécessaire pour les connexions et les courants de ventilation. | <input type="checkbox"/> |

Liste 3: Sécurité d'utilisation

Conseils

- L'utilisateur doit suivre les consignes de sécurité
- L'utilisateur doit être formé et connaître la machine.
→ Conseil: Demander une formation au fabricant!

Critères pour la sélection d'un système optimal de mise en température.

| Importance | | | | Critères | Ok ? |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|---|--------------------------|
| -- | - | + | ++ | | |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Installation et mise en service simples et rapides. → aide du fabricant | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Affichage clair et détaillé de toutes les informations à l'écran | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Représentation des valeurs et des graphes. | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Textes clairs et précis pour les remarques et messages d'erreur. | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Touches tactiles → Comfort d'utilisation. | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Différents niveaux d'utilisation (mots de passe) → L'administrateur peut paramétrer → Les autres utilisateurs utilisent les paramètres installés. → Limitations des changements aléatoires et erreurs de manipulation. | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Diversité des prises de connexion → Connexions classiques telles que Ethernet et USB | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Possibilité d'intégration dans un réseau | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Pilotage à distance sur un réseau → Accès à toutes les fonctions → Interface de pilotage identique sur le PC comme sur l'appareil | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Enregistrement de données pour illustration de rapport de manipulation. | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Reproductibilité rapide et fiable de série d'essais. | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Le liquide caloporteur couvre tout le domaine de température de l'appareil. → Plus besoin de changer de liquide. → Simplifie le conseil → Pas perte de temps lors du passage d'essai à de hautes températures et d'essai à de basses températures. | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Bruit → Appareils très silencieux | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Orifice de remplissage facilement accessible. | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Facilité de transport → Idéalement une personne devrait suffire. | <input type="checkbox"/> |