



Mélange statique
Technologie de mélange

En 1993, Fluitec a mis son premier mélangeur statique sur le marché. Aujourd'hui, l'entreprise Fluitec, partenaire de confiance, fournit des produits et un savoir-faire de haute qualité pour les tâches de mélange, d'échange de chaleur et de réaction les plus diverses dans les secteurs de l'industrie chimique, pétrochimique, pharmaceutique, environnementale et alimentaire.



Vue de l'atelier de fabrication – Les équipements pesant jusqu'à 3,5 tonnes sont fabriqués en interne.



Dirigeants de la société Fluitec : Daniel Altenburger (directeur), Silvano Andreoli (chef de production), Alain Georg (direction F&E), Tobias Vögeli (chef des ventes)



L'équipe Fluitec

Mélangeurs statiques Fluitec

page 4 à 6

Mélangeurs statiques pour écoulement laminaire

page 7 à 8

Applications de mélange laminaire

page 9 à 12

Mélangeurs statiques pour écoulement turbulent

page 13 à 15

Industries alimentaires et pharmaceutiques

page 16

Technologie de dosage

page 17

Fiche de renseignement

page 18

Autres produits Fluitec

page 19

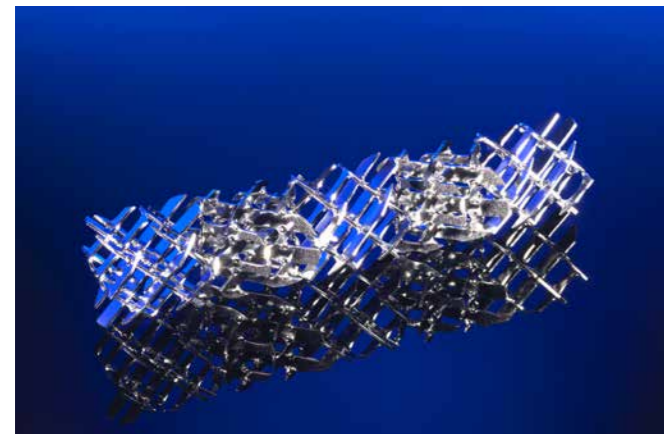
Les mélangeurs statiques sont des appareils avec des éléments internes fixes, qui mélangent le produit qui les traverse à l'aide uniquement de l'énergie cinétique. L'entretien et l'usure étant négligeables, leur installation ne nécessitant qu'un espace restreint et leur utilisation étant adaptée à une grande plage de viscosité, les mélangeurs statiques sont une alternative populaire pour les procédés continus et discontinus.

Les mélangeurs Fluitec sont particulièrement adaptés pour être utilisés dans les secteurs d'applications suivants

- Mélange de liquides pompables
- Dispersion et émulsification de composants insolubles entre eux
- Mélange de liquides réactifs
- Mélange et homogénéisation de matières plastiques fondues
- Mise en contact gaz-liquide
- Mélange des gaz
- Echange thermique de produits visqueux
- Ecoulement laminaire uniforme à travers les tubes tels que des réacteurs à temps de séjour par exemple

Les géométries les plus diverses sont utilisées pour obtenir un mélange homogène, en fonction de l'application et du régime d'écoulement. Le choix de la géométrie du mélangeur est déterminé par le nombre de Reynolds et les propriétés des fluides à mélanger.

Les processus de mélange qui ont lieu dans les mélangeurs Fluitec sont prévisibles, reproductibles et optimisés. Leur productivité élevée et leur faible consommation d'énergie ont un impact positif à la fois sur le coût d'investissement et sur les coûts d'exploitation. Les installations industrielles peuvent être conçues de manière fiable sur la base d'une longue expérience et des résultats d'essais pilotes. Ce qui permet une évolutivité avec un risque minimum.



CSE-XC/6

Mélanger avec des mélangeurs statiques

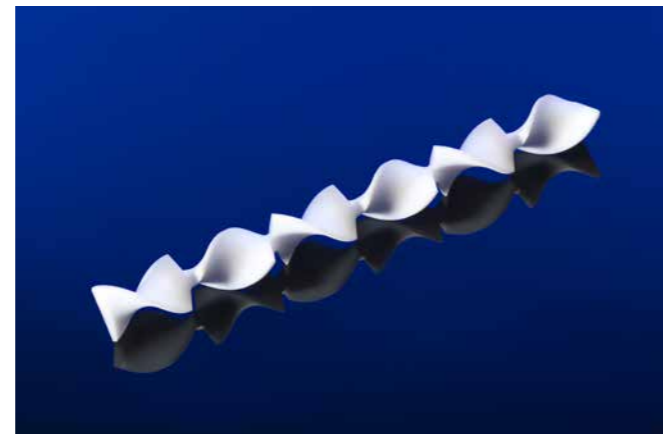
On différencie deux types d'écoulement principaux : l'**écoulement turbulent** et l'**écoulement laminaire**. En écoulement turbulent ($Re > 2400$), les particules du fluide se déplacent de façon aléatoire, elles vont dans toutes les directions, générant ainsi des tourbillons. En écoulement laminaire ($Re < 20$), les particules du fluide se déplacent en couches le long de trajectoires droites et parallèles. Le nombre de Reynolds est un nombre sans dimension définie comme le rapport des forces d'inertie aux forces visqueuses. C'est le paramètre décisif pour le régime d'écoulement. Le nombre de Reynolds est une équation à partir du diamètre D ou du diamètre hydraulique d_h qui se présente comme suit :

$$\text{Equation 1 } Re = \frac{\rho \cdot w \cdot D}{\eta} = \frac{\rho \cdot w \cdot d_h}{\varepsilon \cdot \eta}$$

Déterminer l'homogénéité

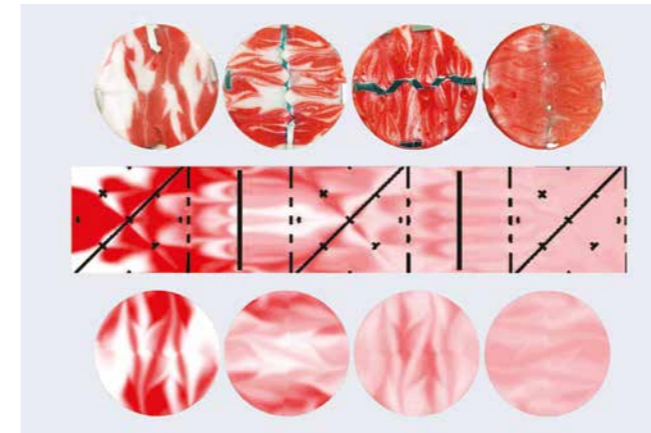
Pour analyser l'efficacité du mélange en écoulement laminaire dans des mélangeurs statiques, on introduisait auparavant des résines époxy de différentes couleurs préalablement mélangées avec des agents durcisseurs dans la section de mélange, puis on les durcissait. Pour étudier les procédés à l'intérieur du mélangeur, la carotte de mélange durci était découpée en tranches. Ces tranches révèlent une coupe transversale du mélange. On voit que le nombre de couches augmente rapidement avec la longueur du mélangeur ; l'épaisseur de la couche diminue simultanément tandis que l'homogénéité augmente. De nos jours, l'efficacité d'une géométrie de mélangeur peut être évaluée très précisément à l'aide de simulations CFD. Des expériences réelles avec de la résine époxy ne sont généralement effectuées que pour vérifier les résultats de la simulation.

Le succès d'un processus de mélange peut être quantifié s'il existe une mesure de l'état du mélange et cet état de référence peut être dérivé de quantités déterminées localement (par exemple, température, concentration, conductivité électrique, fluorescence induite par laser (LIF), analyse photométrique (FIP), un calcul CFD, etc.



CSE-W en PTFE

Si ces données sont disponibles pour la section transversale d'écoulement, le mélange peut être évalué selon des critères statistiques. Les valeurs mesurées et les erreurs de mesure obéissent généralement à une distribution gaussienne (normale)



Analyse de l'effet de mélange par essais avec résines époxy (en haut) et simulation CFD (en bas)

Ecart type σ

L'écart type est une référence utile pour la distribution symétrique des valeurs mesurées par rapport à la moyenne pondérée et est généralement formé à partir de la racine carrée de la variance

$$\text{Equation 2 } \sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \text{ avec } \bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

Si l'on tient compte des intervalles symétriques lors de l'intégration de la fonction de densité de distribution, la l'affirmation suivante peut être faite concernant la distribution dans un intervalle :

$\pm \Delta x = \pm \sigma$	68.3%
$\pm \Delta x = \pm 2 \cdot \sigma$	95.5 %
$\pm \Delta x = \pm 3 \cdot \sigma$	99.7 %

L'écart maximal admissible d'échantillons du mélange par rapport à la concentration moyenne est représenté comme suit :

$$\bar{x} \pm \Delta x$$

Si la moyenne pondérée se réfère à la concentration d'un processus de mélange soluble, la corrélation suivante existe avec la moyenne volumétrique :

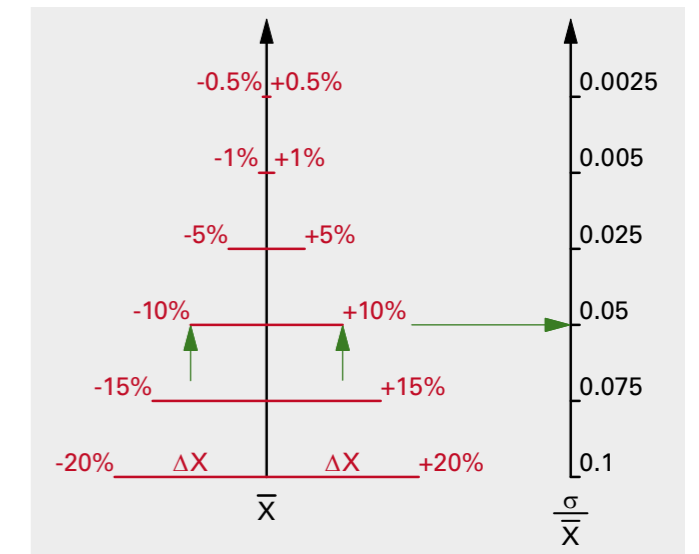
$$\text{Equation 3 } \bar{x} = \frac{\dot{V}_1}{\dot{V}_1 + \dot{V}_2}$$

Coefficient de variation $\frac{\sigma}{\bar{x}}$ (COV)

Dans le monde de la technologie de mélange statique, le coefficient de variation COV s'est imposé comme la référence en matière de qualité de mélange. Plus ce quotient est petit, plus le mélange est homogène. Les grandeurs suivantes ont une influence sur la qualité du mélange dans un mélange homogène :

$$\text{Equation 4 } \frac{\sigma}{\bar{x}} = f\left(Re, Fr, We, Sc, \frac{\eta_1}{\eta_2}, \dot{\gamma}, \bar{X}, \frac{L}{D}, \text{type}\right)$$

Le diagramme ci-dessous montre la relation entre le coefficient de variation et l'écart maximal admissible par rapport à la concentration moyenne. 95,5% de toutes les valeurs mesurées sont dans la tolérance définie par ce graphique ($\pm \Delta X = \pm 2 \cdot \sigma$).



Un mélange est qualifié d'homogène lorsqu'on atteint un coefficient de variation COV compris entre 1 et 5% ($\frac{\sigma}{\bar{x}} = 0.01$ to 0.05).

Si un mélange a une homogénéité de 5 %, cela correspond à un coefficient de variation de 0,05, ce qui signifie que 95,5 % de toutes les valeurs mesurées se situent dans une concentration de ± 10 % de la moyenne volumétrique.

Pertes de charge

Les pertes de charge doivent être surmontées au moyen de dispositifs de transport tels que des pompes, des extrudeuses ou des soufflantes. Avec les fluides newtoniens, elles peuvent être décrites à l'aide de l'équation suivante pour tous les régimes d'écoulement :

Equation 5

$$\Delta p = \frac{\xi}{2} \cdot \rho \cdot w^2 \cdot \frac{L_e \cdot Me}{D} = Ne \cdot \rho \cdot w^2 \cdot \frac{L_e \cdot Me}{D} \text{ avec } w = \frac{4 \cdot \dot{V}}{\pi \cdot D^2}$$

Le nombre de Newton Ne est un paramètre de détermination de la géométrie du mélangeur et dépend directement du nombre de Reynolds.

Le diagramme qui suit montre le nombre de Newton de différents mélangeurs statiques en fonction du nombre de Reynolds pour leurs plages d'utilisation.

Le diagramme montre clairement que, en écoulement laminaire, le nombre de Newton du nouveau mélangeur Fluitec CSE-XC/6 est nettement inférieur au nombre de Newton du mélangeur conventionnel CSE-X/8.

En régime d'écoulement laminaire, le nombre de Newton est inversement proportionnel au nombre de Reynolds, ce qui signifie $NeRe = \text{constant}$. L'équation de calcul pour la chute de pression en écoulement laminaire est alors la suivante

Equation 6

$$\Delta p_l = NeRe \cdot \eta \cdot w \cdot \frac{L_e \cdot Me}{D^2} = \frac{4}{\pi} \cdot NeRe \cdot \eta \cdot \frac{\dot{V} \cdot L_e \cdot Me}{D^4}$$

Par expérience, on sait que le besoin de puissance des mélangeurs statiques est d'un ordre de grandeur inférieur à celui des mélangeurs dynamiques. Le besoin de puissance est directement proportionnel aux pertes de charge et peut être déterminé comme suit :

Equation 7 $P = \Delta p \cdot \dot{V}$

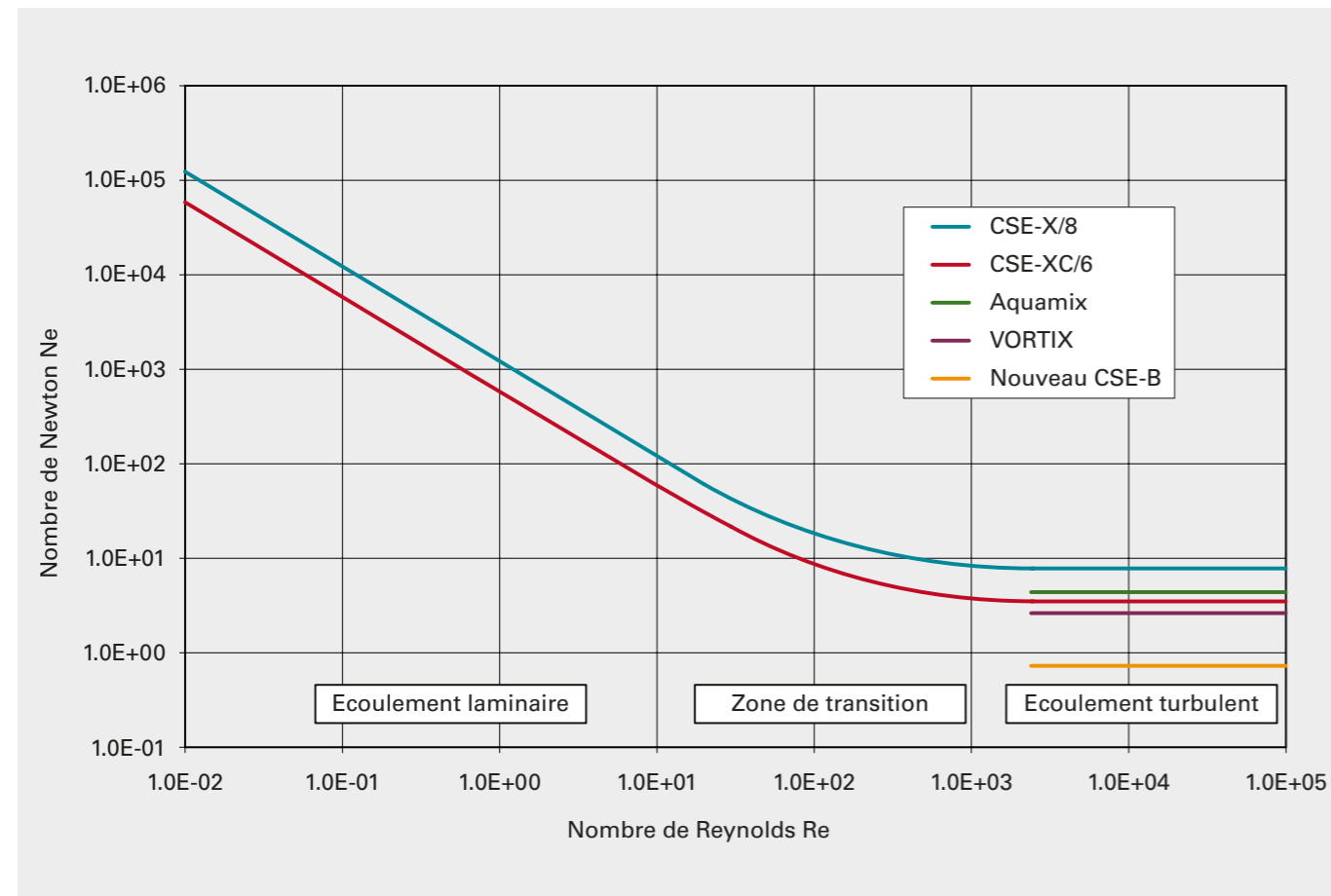


Diagramme de pertes de charge pour mélangeurs statiques connus

Mélangeurs statiques en régime d'écoulement laminaire $Re < 20$


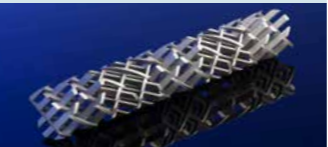
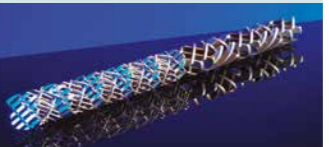

Les procédés de mélange laminaire sont basés sur la séparation répétée du flux en couches, suivie d'une redistribution et d'une recombinaison parallèles à la direction de l'écoulement. Le nombre de couches, et donc l'homogénéité, augmente avec chaque élément de mélange supplémentaire. Un mélange homogène est principalement obtenu par diffusion avec la croissance des couches. La conception et la longueur du mélangeur varient en fonction du procédé de mélange. La spécialité de Fluitec est de proposer un mélangeur efficace et économe en énergie pour chaque tâche de mélange spécifique.

La qualité d'un procédé de mélange soluble dépend en grande partie du débit volumique et des rapports de viscosité. La qualité de mélange peut également être influencée par la diffusion, le taux de cisaillement, le temps de séjour et le nombre de Froude.

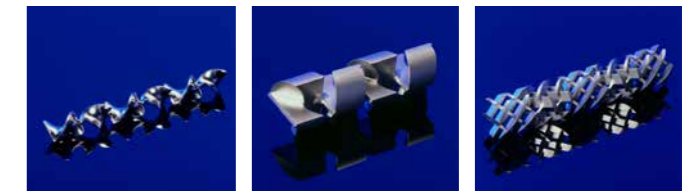
Les mélangeurs en X apparus au cours des dernières années se sont imposés comme les plus puissants et les plus populaires parmi les géométries standards connues, à savoir CSE-W, CSE et CSE-X. Grâce à la technique de soudage au laser, Fluitec peut aujourd'hui fabriquer des CSE-X de tous diamètres, à partir du très petit.

Fluitec ne cesse de développer et d'optimiser les géométries de mélangeurs. Le nouveau mélangeur «CSE-XC/6», qui combine une faible perte de charge avec une grande efficacité de mélange, la mélangeur de technologie «mikromakro®» et le mélangeur haute performance CSE-X-DS ne sont que quelques exemples récents.

Fluitec utilise différents types de mélangeurs inspirés de la géométrie de base du CSE-X

CSE-XC/6	CSE-X/8	mikromakro®	CSE-X-DS
			
Le nouveau CSE-XC/6 est un perfectionnement du CSE-X/8. Il réduit la chute de pression jusqu'à 50 % sans compromettre l'efficacité du mélange et peut également mélanger sans problème des fluides à haute ou basse viscosité. Ce nouveau modèle de mélangeur a une distribution de temps de séjour plus étroite que le CSE-X/8.	Le CSE-X/8 a été le mélangeur universel numéro un pendant de nombreuses années. Entre-temps, il a été largement remplacé par le nouveau CSE-X/6 en raison de sa consommation d'énergie relativement élevée. Cependant, sa géométrie présente des avantages et il reste donc le système de choix dans certaines applications.	Le mélange mikromakro® signifie l'utilisation ciblée de mélangeurs statiques avec différentes géométries et diamètres. Le mélangeur-macro sert normalement à obtenir une bonne pré-distribution du produit avant une distribution fine dans le mélangeur-micro.	Le mélangeur haute performance CSE-X-DS est un mélangeur X avec des barres supplémentaires. Ce qui améliore l'efficacité du mélange, la distribution des temps de séjour et la plage de concentration variable, mais aux dépens d'une consommation d'énergie plus élevée. Ce type de mélangeur n'est donc utilisé que pour répondre à des exigences particulières.

Du mélange et de la gazéification en passant par l'émulsification et l'homogénéisation jusqu'aux processus de mélange impliquant des rapports de viscosité extrêmes, les mélangeurs Fluitec CSE-X® sont la technologie de choix depuis plusieurs décennies maintenant.



Géométries de base mélangeur à ruban CSE-W, mélangeurs CSE et CSE-X

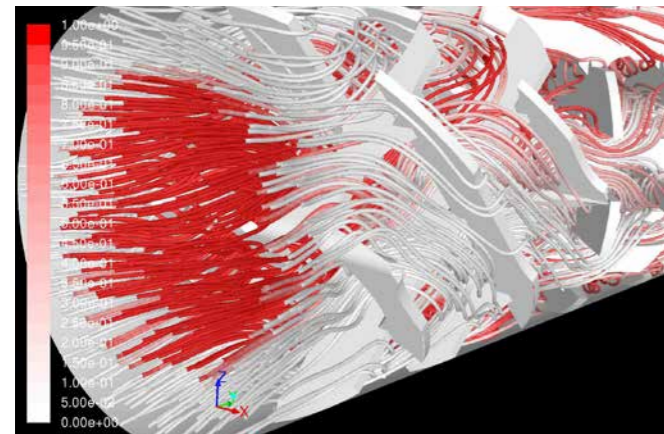
Le développement du nouveau CSE-XC/6

Sur une période de plusieurs années, diverses tentatives ont été faites pour améliorer l'intensité de mélange du mélangeur CSE-X. Les ingénieurs de Fluitec ont considéré les processus de mélange dans le mélangeur statique sous un angle différent à cette fin. La question qu'ils se sont posée était « La croissance des couches dans le mélangeur CSE-X est-elle déterminée par le nombre de barres ou est-ce les conduits ouverts entre les barres qui en sont responsables ? »

Si ce sont les canaux ouverts qui génèrent la formation de couches, on pourrait alors réduire le nombre de chicanes de 8 à 6 par exemple et ouvrir pour cela la zone périphérique sur le tube de mélange par exemple. Le nombre de canaux (ouvertures) dans l'élément de mélange reste ainsi le même, l'élément de mélange devient plus facile à fabriquer et le rendement de mélange devrait rester constant.

Etude

Les investigations systématiques menées dans la recherche de réponses à cette question ont abouti à plusieurs nouveaux types de mélangeurs. Les propriétés de mélange des différentes versions ont été étudiées à la fois lors de l'utilisation de polymères fondus et dans des processus de mélange avec des rapports de viscosité élevés.



Etude avec simulation CFD

L'efficacité de la nouvelle géométrie du mélangeur est comparable à celle du CSE-X/8. La suspension selon laquelle la croissance des couches n'est pas déterminée par le nombre de barres mais par le nombre de conduits ouverts a été confirmée entre-temps. L'ouverture de la paroi est propice à un mélange efficace et la plage de temps de séjour est relativement étroite. Aucun effet de paroi n'a été observé jusqu'à présent dans le mélangeur CSE-X/6.

Procédés de mélange haute et basse viscosité

Les essais de mélange avec un rapport de viscosité supérieur à 1:1000 peuvent généralement être qualifiés de problématiques. Dans le passé, seul le mélangeur CSE-X/8 était capable de maîtriser ce genre de défi. Les essais de mélange avec le nouveau CSE-XC/6 ont démontré de manière très impressionnante que le nouveau mélangeur excelle également dans les processus de mélange les plus complexes. En d'autres termes, le CSE-X/6 offre des performances nettement supérieures par rapport aux types de mélangeurs X conventionnels.

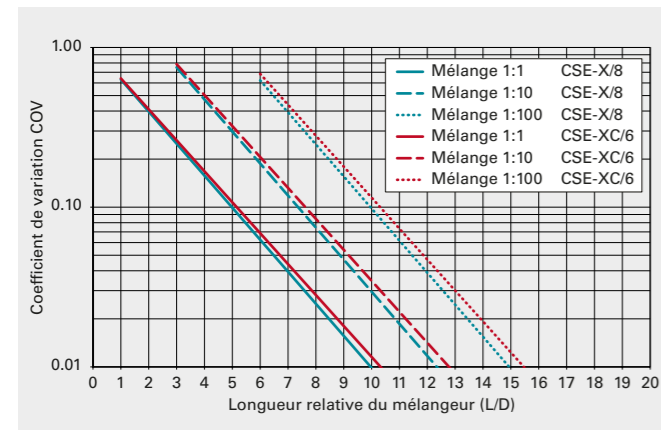
Les avantages du nouveau mélangeur CSE-X/6 peuvent être résumés ainsi :

Pour une efficacité de mélange identique :

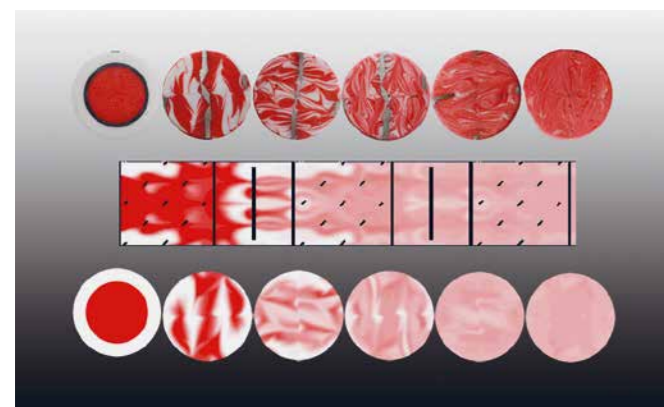
- Pertes de charges dans le mélangeur réduites de 50%.

Pour des pertes de charge identiques :

- Conception du mélangeur plus petit d'un diamètre.
- Temps de séjour plus court de 40%.



Comparatif du coefficient de variation pour CSE-XC/6 et CSE-X/8



Mélange de deux résines époxydes dans le nouveau CSE-X (en haut) et calcul CFD (en bas). Les images en coupe le long de la section de mélange montrent une rapide augmentation des couches.

mikromakro® pour mélanges problématiques

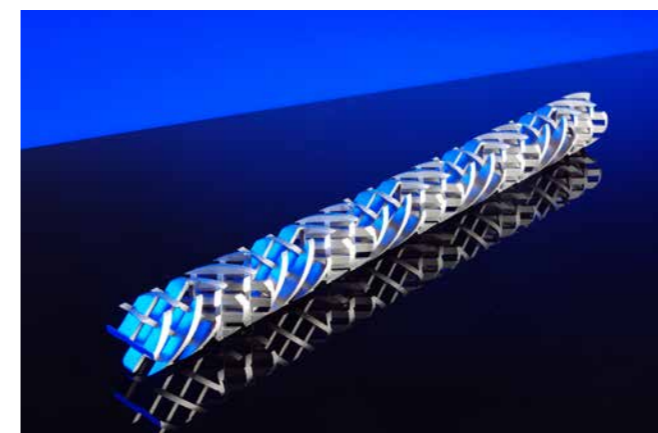
mikromakro technology

Mélange mikromakro® pourrait être décrit comme l'utilisation ciblée de mélangeurs statiques avec différentes géométries et diamètres. Le mélangeur-macro sert normalement à obtenir une bonne pré-distribution du produit avant une distribution fine dans le mélangeur-micro. Depuis des années, le mélangeur Fluitec CSE-X® est utilisé dans des applications aux exigences très élevées. La plupart des mélangeurs CSE-X® ont entre 4 et 12 barres. La conception du mélangeur et le nombre de barres dépendent du processus de mélange et du diamètre du mélangeur.

La technologie mikromakro® améliore la qualité de mélange même des processus de mélange les plus complexes. Par exemple, mélanger des éléments avec plus de barres à la fin d'un mélangeur augmente le potentiel de mélange diffusif, tandis que l'utilisation ciblée de différents diamètres permet une meilleure qualité de mélange en raison du taux de cisaillement plus élevé.



Mélangeur mikromakro® pour application haute pression (polymère)



CSE-X/4 et CSE-X/8 soudés ensemble pour réaliser un élément mélangeur mikromakro®

CSE-X pour petits débits

Éléments soudés au laser

Les éléments mélangeurs CSE-X de petits diamètres sont utilisés depuis de nombreuses années dans une large gamme d'applications, principalement dans les petites installations des industries chimiques, plastiques, alimentaires et pharmaceutiques. Aujourd'hui, Fluitec peut fournir des éléments de mélange d'un diamètre de seulement 4,6 mm et d'une qualité de surface Ra 0,4 grâce à des procédés de production laser et des techniques de finition spéciaux.



Éléments de mélange De= 4.6 à 10.0



Soudage au laser

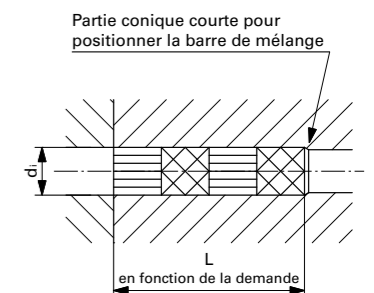
Éléments moulés

Les éléments mélangeurs moulés en dimensions standard sont disponibles sur stock à des prix attractifs car il est possible de les fabriquer en grande quantité. Fluitec propose une large gamme d'éléments de mélange moulés, de sorte que les moulés peuvent être expédiés sans délai pour de nombreuses applications. Une surface moulée non finie est suffisante pour la majorité des processus de mélange.

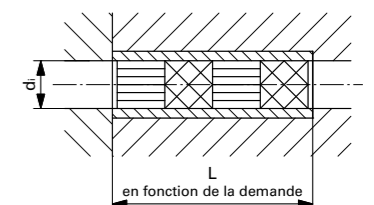
Installations type

Des barres de mélange peuvent être fournies pour différents types d'installation

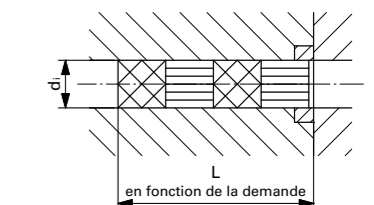
Inséré



Chemisé



Bague support

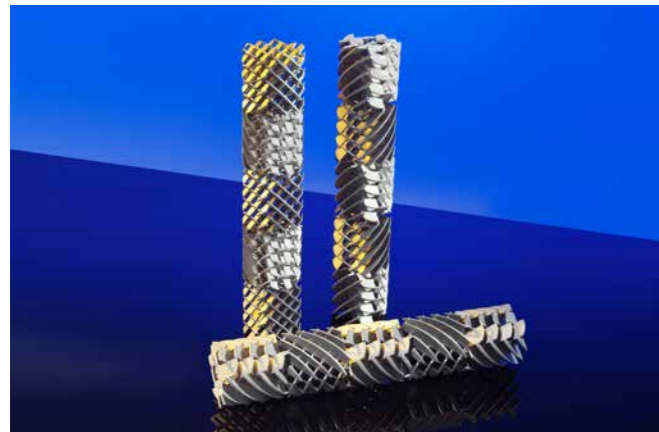


Mélangeurs haute performance CSE-X-DS

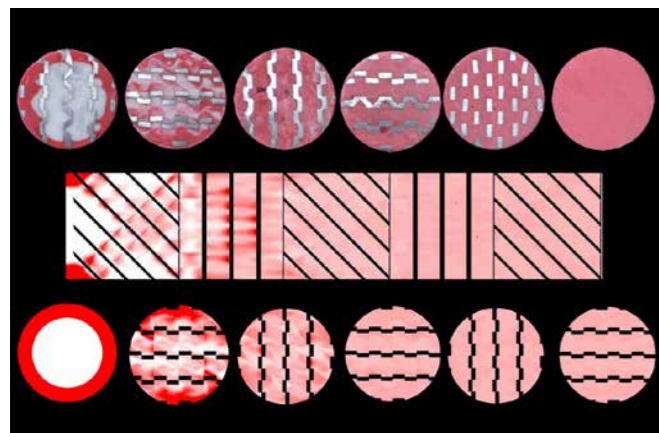
Un mélangeur haute performance est un mélangeur X avec des barres supplémentaires. Le mélangeur haute performance est idéal chaque fois que des efficacités de mélange très élevées ou de très bonnes propriétés de temps de séjour qui ne peuvent pas être réalisées avec des mélangeurs statiques conventionnels sont stipulées.

Les mélangeurs hautes performances CSE-X-DS sont utilisés dans les applications suivantes pour répondre à des exigences spécifiques :

- Sections de mélange courtes / place limitée
- Rapports de viscosité de 1 à 1 000 000 et concentrations jusqu'à 50%
- Distribution du temps de séjour étroite
- Vitesses d'écoulement très lentes dans des réacteurs à temps de séjour



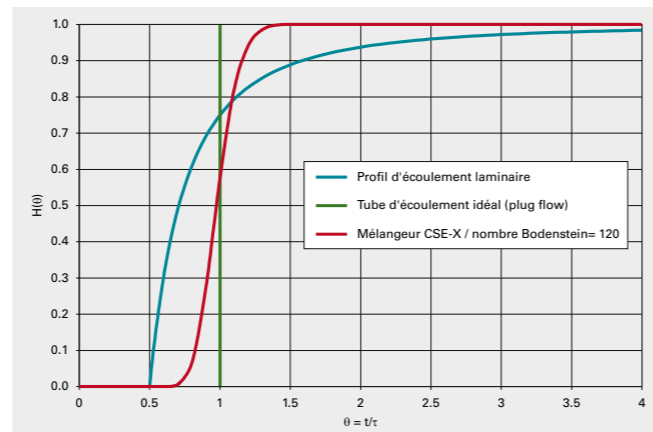
CSE-X/4-DS et CSE-X/8-DS



Effet de mélange du mélangeur haute performance (essais avec résine époxyde et simulation CFD). Le mélange est déjà très homogène après une très courte section de mélange.

CSE-X comme mélangeur à temps de séjour

Les mélangeurs Fluitec CSE-X® se distinguent par leur grande efficacité de mélange et leur faible longueur d'installation. De nombreuses études ont confirmé l'excellente répartition du temps de séjour du mélangeur CSE-X®.



Courbe des temps de séjour

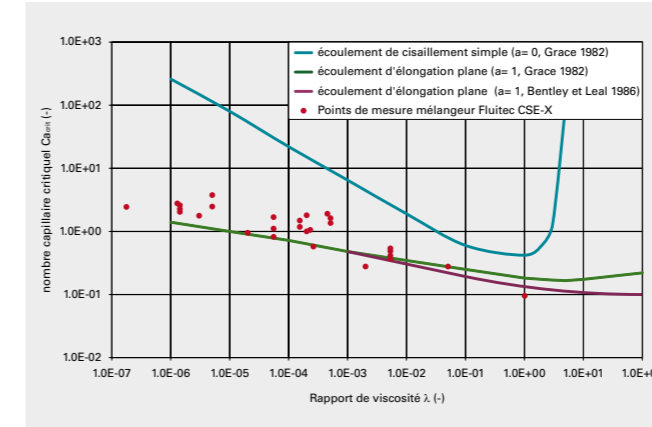
On peut voir sur le diagramme que les mélangeurs CSE-X® sont très proches d'un régime d'écoulement piston idéal. Ceci est une indication d'une bonne capacité d'auto-nettoyage, ce qui est particulièrement important dans les réactions ou les applications hygiéniques. Les études ont été réalisées en utilisant du sirop de glucose avec différentes viscosités de 1 à 500 Pa.s. Alors que dans le tube vide, les additifs colorants adhéraient encore à la paroi, ils n'étaient plus visibles dans les mélangeurs CSE-X®.

Dispersion en écoulement laminaire

Lorsqu'un mélange dispersif se produit dans le régime d'écoulement laminaire, la taille de gouttelette résultante dT est déterminée par les composantes de cisaillement et d'allongement dans l'écoulement. Des gouttelettes plus fines peuvent être obtenues si des composants d'écoulement élongationnels sont introduits dans le champ d'écoulement par rapport aux seuls composants de cisaillement. A condition qu'une géométrie de mélangeur appropriée soit choisie, la quantité d'énergie qui est nécessaire pour le processus de rupture des gouttelettes peut être réduite. Le rapport force de viscosité de surface-force de tension interfaciale est déterminant pour le procédé de rupture des gouttelettes :

$$\text{Equation 8 } Ca = \frac{G \cdot d_T \cdot \eta_c}{2 \cdot \sigma} = \frac{\text{Ténacité}}{\text{Force de tension interfaciale}}$$

La rupture des gouttelettes ne se produit qu'après un temps défini t_z que si $Ca \geq Ca_{crit}$, où η_c correspond à la viscosité continue et G au taux de déformation.



Nombre capillaire critique Ca_{crit}

Le graphique montre l'influence du rapport de viscosité sur le nombre capillaire critique Ca pour une rupture des gouttelettes en écoulement de cisaillement simple ($a = 0$) et en écoulement d'élongation plane ($a = 1$).

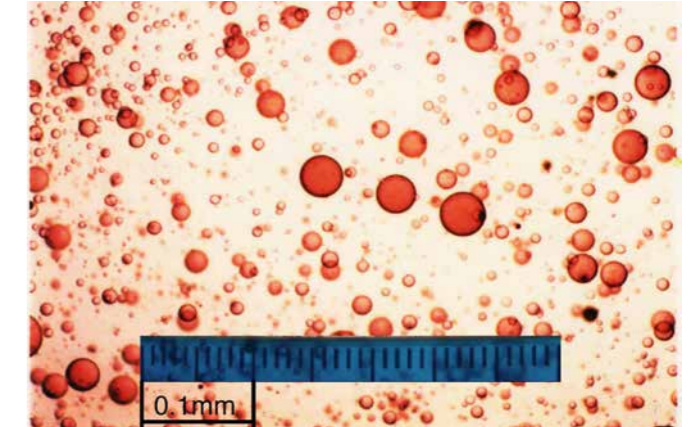
Le paramètre d'écoulement a qui décrit la composante élongationnelle du taux de déformation total, peut être représentée comme suit.

$$\text{Equation 9 } a = \frac{\dot{\epsilon}}{|\dot{\epsilon}| + |\dot{\gamma}|}$$

Il ressort clairement des valeurs mesurées que les mélangeurs statiques CSE-X ont une composante d'allongement élevée. Une consommation d'énergie proportionnellement plus faible est donc nécessaire pour atteindre la taille de gouttelette dT . Les mélangeurs statiques ont une valeur a de 0,2 à 0,7 selon la géométrie du mélangeur.

Temps de rupture des gouttelettes t_z

Avec les mélangeurs statiques, le temps de rupture des gouttelettes dans les procédés de dispersion dépend principalement de la nature de la rupture. Le temps de rupture t_z est influencé par le rapport de viscosité et la technologie de dosage. Une grande taille de gouttelettes initiale peut avoir des impacts négatifs sur le spectre des gouttelettes, en particulier en conjonction avec un rapport de viscosité γ très élevé, conduisant à un temps de rupture des gouttelettes plus long et/ou à un mélangeur plus long. Pour cette raison, des modules de dosage spéciaux avec une fonction de mesure du débit, une pompe et une buse d'injection spéciale ont été développés pour les mélangeurs CSE-X.



Echantillon de dispersion au glucose avec 5% d'additifs (rapport de viscosité $\gamma = 5 \times 10^{-4}$)

Exemples d'applications

Les mélangeurs statiques pour dispersion et émulsification sont utilisés dans des limites pratiques pour les applications suivantes :

- Mélange de fluides partiellement solubles (écart de miscibilité)
- Pour mise en contact et réchauffement de polymères avant une évaporation flash (eau, etc...)
- Incorporation et émulsification d'additifs insolubles avant pastillage (huile minérale, lubrifiants, etc.)
- Dispersion de gaz ou de liquides en amont d'un atomiseur
- Élimination des arômes ou additifs indésirables des liquides visqueux
- Dispersion et refroidissement pour les processus de transfert de masse avec réaction
- Incorporation et émulsification d'agents gonflants et nucléants pour mousses (ex. pentane, air, azote, etc...)
- Établissement de structures cellulaires uniformes dans les mousses (redispersion et homogénéisation)
- Fabrication de mousses
- Fabrication de crèmes
- Dispersion pendant procédés d'extraction

Mélangeurs pour masse fondue Fluitec

Depuis de nombreuses années, des mélangeurs statiques sont utilisés pour homogénéiser les polymères fondus, idéalement en combinaison avec des pompes de melt. La réduction des pulsations et l'amélioration de l'homogénéité thermique conduisent à une qualité nettement supérieure de la masse fondue et à une précision de contournage beaucoup plus élevée des produits finaux.

Les nouveaux mélangeurs de produit fondus Fluitec CSE-XB/4 et CSE-XC/6 sont courts, avec une longueur de seulement 2D à 4D, et ont une perte de charge beaucoup plus faible que les mélangeurs conventionnels malgré leur efficacité de mélange très élevée. La conception extra-rigide permet de traiter les polymères à haute viscosité à des débits élevés. La construction compacte et robuste permet des pressions de fonctionnement jusqu'à 500 bar et des pertes de charge de 100 bar.

La température de fusion homogène, le volume de décharge constant et la répartition homogène de la viscosité qui peuvent être obtenus à l'aide d'un mélangeur de produits fondus Fluitec sont évidents. La qualité de la coloration est simultanément améliorée, de sorte que les coûts de teinture sont réduits jusqu'à 25%. Grâce à la masse fondue homogène, il est possible de réduire la température de fusion, ce qui conduit à d'autres améliorations de la qualité du produit extrudé.



Mélangeurs de masse fondue, modèles en forme de douille



Pompe de melt avec le nouveau mélangeur CSE-XC/6

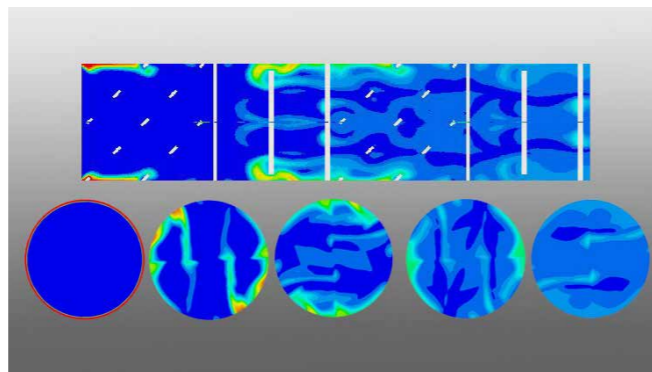
Modules Fluitec pour fibres synthétiques

CSE-XC/4 pour la fabrication de fibres synthétiques

Une masse fondue homogène en amont des filières est l'une des principales exigences pour la production de fibres synthétiques de haute qualité. Les nouveaux modules CSE-XC/4 développés pour résoudre ce problème établissent de nouvelles références dans l'industrie. Les nouveaux modules combinent une grande efficacité de mélange avec de très faible perte de charge.

Par rapport aux mélangeurs hélicoïdaux traditionnellement utilisés dans la fabrication des fibres synthétiques, le nouvel élément mélangeur CSE-X/4 réduit la perte de charge d'environ 30 à 40 % pour une même performance de mélange.

Même avec des performances nettement meilleures, la perte de charge est encore de 15 à 20 % plus faible. De plus, ce mélangeur réduit au minimum les éventuels dépôts sur les parois, de sorte qu'il n'y a plus besoin de soudures complexes. Le mélangeur CSE-X/4 allie une plage de temps de séjour très étroite à une excellente capacité d'auto-nettoyage.



Visualisation de la simulation « incorporation de la couche de surface » avec un mélangeur CSEXC/4 sur 4 éléments. Le schéma montre clairement que la majeure partie de la couche superficielle (rouge à l'entrée du mélangeur) a été renouvelée après 3D ; il a été complètement supprimé après 4D. La zone au niveau de la paroi est rincée beaucoup plus efficacement avec le CSE-XC/4 qu'avec les mélangeurs statiques conventionnels car les barres sur la paroi du tube sont ouvertes.



Vues en coupe de mélanges de résine époxy produits dans des conditions comparables. La section de gauche est celle d'un mélange CSE-X/8 après L/D = 3. La section du milieu a été obtenue à l'aide d'un mélangeur hélicoïdal après six éléments de mélange (L/D = 9,6). La section de gauche montre un mélange CSE-XC/4 après L/D = 4

Haute technologie, économe en énergie et abordable

Les mélangeurs Fluitec type «Aquamix» et «VORTIX» sont aujourd'hui des solutions standard pour une utilisation en régime d'écoulement turbulent.

Les mélangeurs statiques peuvent réduire considérablement le temps requis pour les processus de mélange lorsque l'écoulement à travers le tube est turbulent. Des éléments de mélange spéciaux sont utilisés ici pour former le vortex. Le mélange et l'homogénéisation ont lieu dans le tube mélangeur en aval. Deux modèles de mélangeurs se sont imposés ces dernières années : Le mélangeur encastrable type Aquamix pour insertion dans des tubes existants et le mélangeur à brides type VORTIX, qui peut être fourni en plusieurs versions et matériaux différents (métal ou plastique)



5% d'additif bleu injecté en amont d'un Aquamix (Re = 18000)

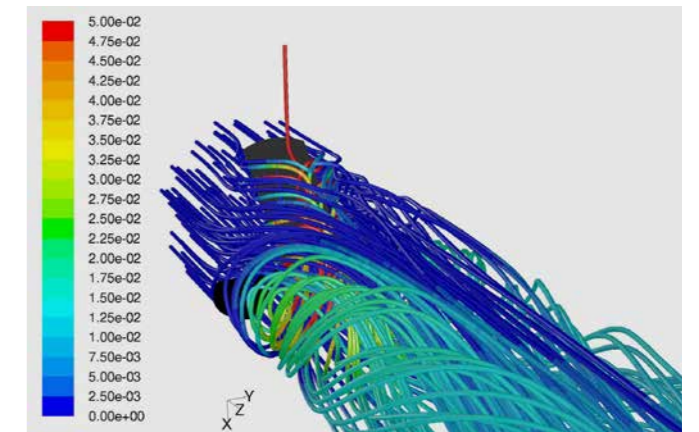
Mélangeur encastrable Aquamix

L'Aquamix est le dernier né de la famille des mélangeurs encastrables (montage clamp entre brides). Les mélangeurs CSE-F® et CSE-B®, les prédécesseurs de l'Aquamix développés par Fluitec en 1997 en étroite collaboration avec l'Université des sciences appliquées de Zurich, ont été parmi les premiers mélangeurs statiques disponibles dans le commerce à être montés entre deux brides de cette manière. Les CSE-F et CSE-B ne sont cependant que rarement utilisés aujourd'hui, car l'Aquamix est plus compact, plus efficace et surtout moins cher. L'Aquamix produit plusieurs vortex définis et se mélange donc rapidement avec seulement une faible perte de charge. Le mélangeur peut être monté très facilement entre deux brides. Avec sa conception compacte, l'Aquamix peut être utilisé dans presque tous les systèmes de tuyauterie.

Mélangeur en ligne VORTIX

Le désir d'un mélangeur statique avec une faible consommation d'énergie et de bonnes performances de mélange constantes a conduit au développement du mélangeur en ligne VORTIX. Deux versions standard du VORTIX sont disponibles : le VORTIX compact avec une très faible perte de charge et le VORTIX-T légèrement plus long pour les processus de mélange plus complexes.

Les mélangeurs en tube VORTIX et VORTIX-T sont disponibles en construction métallique ou plastique (PP, PE, PVDF et PVC).



Calcul CFD Mélangeur VORTIX pour écoulement turbulent



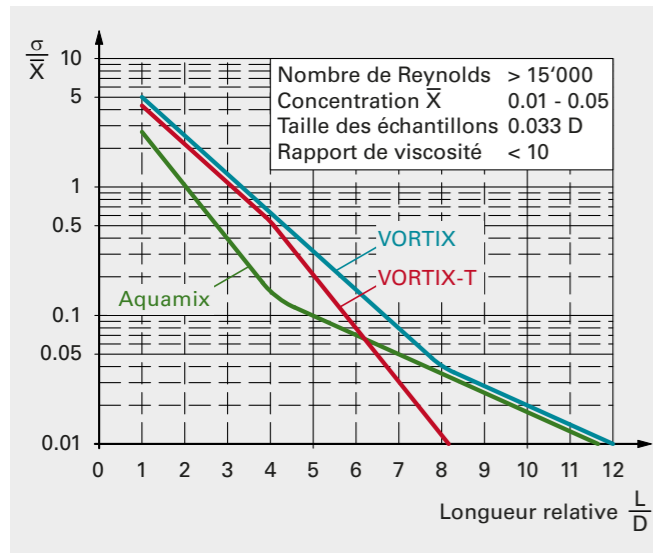
VORTIX-T en PP

Performance de mélange et perte de charge

La haute performance de mélange de l'Aquamix et du VORTIX repose sur deux vortex à rotation inverse. Ces tourbillons s'étendent sur toute la section transversale et assurent une excellente efficacité de mélange. L'homogénéité est exprimée par le coefficient de variation (voir page 5 pour explication). Un coefficient de variation < 0,05 est admis comme homogène. La pleine performance du mélangeur est atteinte à des vitesses d'écoulement > 0,3 m s⁻¹.

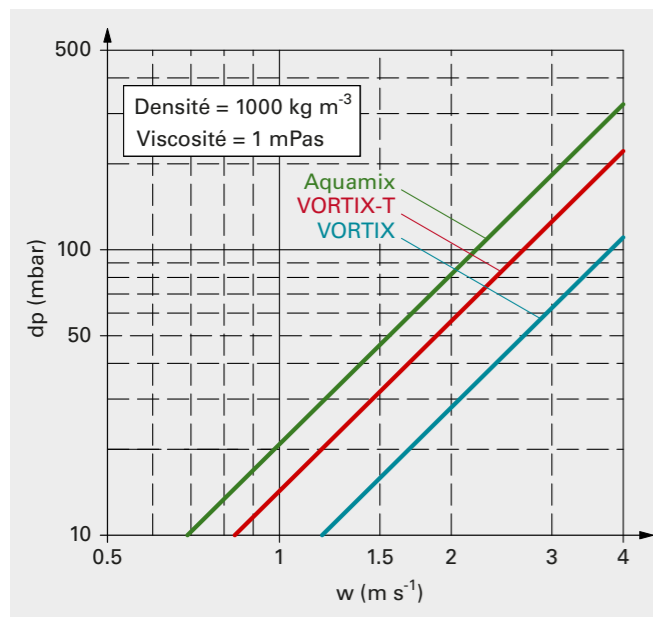
Pour l'Aquamix, l'additif est dosé avant le raccordement à bride. Pour les faibles concentrations d'additif < 5 %, la buse d'injection doit être montée concentriquement. Sinon, un té normal peut être monté à une distance de 2 à 5D (diamètres du tube) en amont du mélangeur.

L'additif est introduit dans le mélangeur VORTIX via le port latéral. Cet orifice est agencé de manière que l'additif soit incorporé de manière optimale dans tout le mélangeur. La buse d'injection doit être ajustée avec précision à la quantité d'additif afin d'obtenir des résultats de mélange optimaux.



Coefficient de variation pour un mélange à écoulement turbulent typique

La représentation du coefficient de variation en fonction de la longueur relative de mélange montre que les points de mesure tels que les capteurs de température ou les sondes de pH doivent être installés à une distance minimale de 10D de l'élément de mélange.



Perte de pression

L'Aquamix et le VORTIX ont été développés en tant que mélangeurs statiques avec de faibles pertes de charges, de sorte que la tuyauterie peut désormais être conçue pour des vitesses allant jusqu'à 4 m s⁻¹.

Gazéification de liquides à l'aide de mélangeurs statiques

Transfert de masse

Dans les procédés de gazéification liquide, le transfert de masse est influencé d'une part par le comportement de coalescence du système et d'autre part par la loi de Henry. Avec les mélangeurs statiques, des taux de transfert de gaz élevés sont obtenus non seulement par le gradient de concentration, qui est normalement fixe, et par un contact intensif des deux phases, mais aussi par la formation de petites bulles de gaz avec une grande surface interfaciale spécifique.

$$\text{Equation 10 } \dot{n} = k_L a \cdot (c^* - c)$$

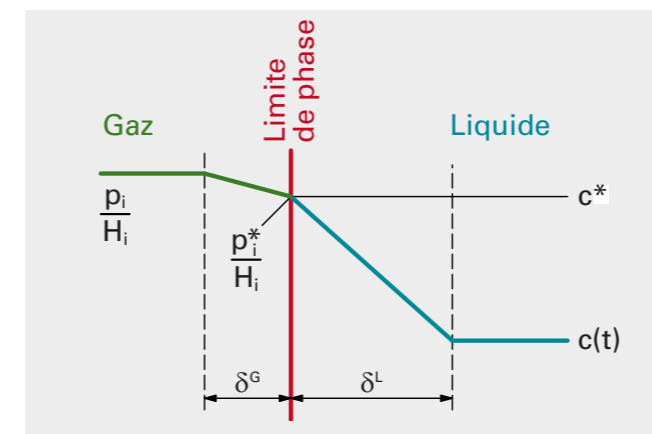
L'expression $k_L a$ est la combinaison de deux facteurs :

- k_L résistance limite au transfert de masse due au film liquide
- a la surface interfaciale spécifique (A/V) du gaz introduit.

Le modèle à double film

Selon le modèle à double films, la résistance au transfert de masse beaucoup plus faible dans le film de gaz k_G est négligeable (voir le schéma ci-dessous). La loi de Henry stipule que la concentration c_i d'un gaz dissous est proportionnelle à sa pression partielle p_i dans la phase gazeuse [équation 13]. Cette relation est décrite à l'aide de la constante H_i , de la loi de Henry, qui est spécifique à la substance :

$$\text{Equation 11 } p_i = H_i \cdot c_i$$

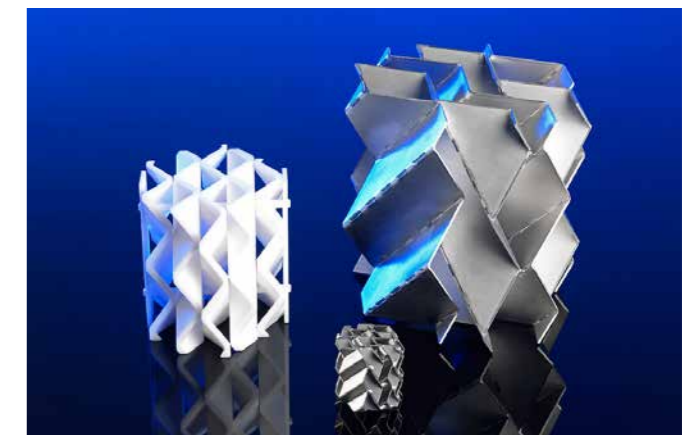


Représentation du gradient de concentration dans le système gaz/liquide d'après la théorie du double film compte tenu de la loi de Henry

Le taux de transfert de gaz est directement proportionnel au coefficient de transfert de masse dû au film liquide k_L , à la surface interfaciale spécifique a et à la différence de concentration $\Delta c = c^* - c_L$. Alors que Δc peut être influencé par des paramètres physiques tels que la pression, la température

et la concentration, le terme $k_L a$ est le résultat de l'hydrodynamique provoquée par le réacteur utilisé. Le terme a est généralement inconnu ici et, comme k_L est lui-même fonction des paramètres spécifiques au matériau et au processus. Ces deux paramètres sont difficiles à quantifier en pratique, c'est pourquoi, comme le produit, ils représentent généralement la variable cible lors du transfert de masse.

Aujourd'hui, ce sont surtout les géométries CSE-X et CSE-V qui sont utilisées pour les procédés de dispersion et donc pour la gazéification liquide.



Éléments de mélange type CSE-V

La longueur idéale du mélangeur statique dépend de la pression de fonctionnement, de la température, de la position d'installation, du composant de phase du gaz à dissoudre et de la concentration souhaitée.

Il est déterminé au moyen de la fonction suivante :

$$\text{Equation 10 } L = \frac{w}{k_L a} \cdot \ln \frac{C^* - C_{\text{entrée}}}{C^* - C_{\text{sortie}}}$$

Les mélangeurs Fluitec en acier inoxydable ou en Hastelloy sont utilisés depuis de nombreuses années dans l'industrie des procédés. Fluitec est spécialisé dans les éléments de mélange de haute qualité, c'est pourquoi nous sommes en mesure de répondre sans problème aux exigences de qualité très élevées - et très spécifiques - pour les mélangeurs statiques dans les processus stériles ou les applications de l'industrie alimentaire.

Haut niveau d'hygiène, faible niveau d'entretien

Les mélangeurs Fluitec CSE-W, CSE-X et Aquamix destinés aux industries alimentaires et pharmaceutiques peuvent être fabriqués avec des surfaces électropolies et les raccords de tuyauterie requis, de sorte qu'ils conviennent à une utilisation dans des environnements stériles. Cependant, les exigences relatives à la qualité du mélangeur ont tendance à varier d'une application à l'autre et sont influencées par des facteurs tels que la sécurité des procédés, l'assurance qualité, les BPF, le CIP/SIP, l'efficacité économique, etc.

Étant donné que les mélangeurs CSE-W et CSE-X offrent une excellente capacité d'auto-nettoyage, une stérilité absolue sans points morts est garantie à condition que l'appareil puisse être vidangé et que les soudures soient réalisées de manière experte.



Aquamix pour les applications alimentaires



Mélangeurs CSE-X/4 pour application stérile

Les raccords de tubes suivants peuvent être utilisés avec les mélangeurs Fluitec :

- Raccords laitiers selon DIN 11851
- Raccords clamp (Tri-Clamp)
- Raccords BioConnect (Neumo)
- Raccords BBS
- Raccords aseptiques (Sudmo)
- Petits Raccords de connection selon DIN11850
- Autres raccords sur demande

Exigences de qualité accrues

Après avoir sélectionné le type de connexion, l'étape suivante consiste à définir la méthode de soudage et le traitement de surface. Un grand nombre d'exigences doivent être satisfaites ici. Cependant, la réglementation générale est la directive sur les équipements sous pression (DESP) 2014/68/UE

Les enveloppes sous pression peuvent être soudés orbitalement ou manuellement. Grâce à notre propre ligne de soudage laser, nous sommes en mesure de souder des éléments mélangeurs d'un diamètre de seulement 4,6 mm.

Les éléments de mélange et les enveloppes peuvent être fournis avec des surfaces polies mécaniquement ou électropolies. Ra < 0,8 mm est la norme pour les rugosités de surface ; des surfaces plus fines peuvent être obtenues en utilisant des procédés de fabrication spéciaux.

Nous utilisons les matériaux 1.4571, 1.4404, 1.4435, 1.4435 BN2 ou d'autres matériaux hautement alliés. La teneur en ferrite, la rugosité de surface et divers autres paramètres peuvent être mesurés et documentés à des fins d'assurance qualité.



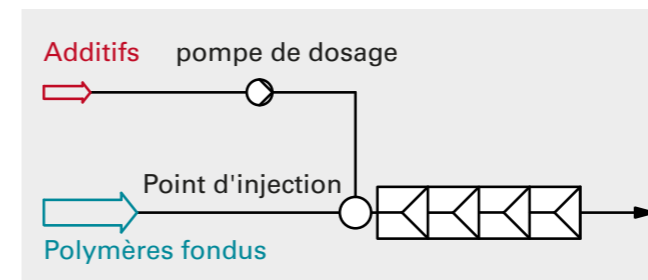
Mélangeurs CSE-W (DN10) aux surfaces électro-polies avec raccords Clamp et teneur de ferrite dans les cordons de soudure < 0,5%

Technique de dosage pour mélangeurs statiques

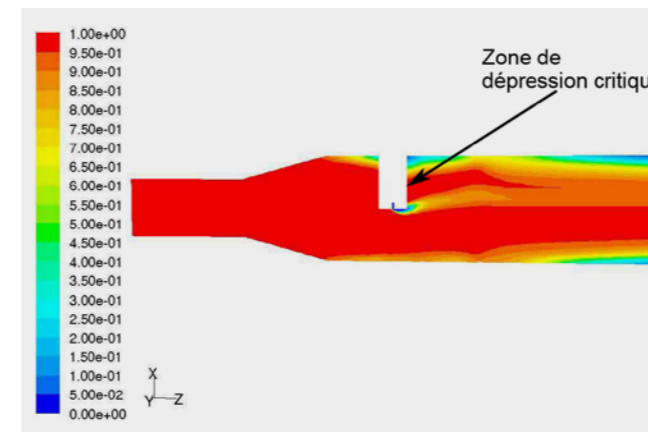
La technologie de dosage pour mélangeurs statiques assure l'incorporation contrôlée et simultanée des flux d'additif et principal dans un mélangeur statique. Étant donné que les mélangeurs statiques sont généralement conçus avec un faible rétro-mélange, les composants doivent être dosés en permanence dans le temps.

Lors de la planification d'un système de mélange statique, les aspects suivants doivent être pris en compte :

- Il doit être possible de contrôler les flux d'additif et principal.
- La qualité du mélange est influencée par la position et la géométrie de la buse d'injection.
- Les pulsations influencent la qualité de mélange et des mesures adaptées doivent être mise en place pour les contrôler.
- Le concept de nettoyage des installations de mélange statiques est particulièrement important. Les propriétés des fluides à mélanger doivent être prises en compte ainsi que la position d'installation du mélangeur.



Dosage Fluitec LV pour polymères



Calcul transitoire d'un point d'injection

Buse d'injection optimisée


La qualité du mélange est déterminée par la position et la géométrie de la buse d'injection quel que soit le régime d'écoulement. Il est généralement préférable de doser l'additif de manière concentrique, directement en amont du mélangeur statique. Si cela n'est pas possible, l'efficacité de mélange de n'importe quoi entre deux et quatre éléments de mélange est gaspillée. Des zones de vide critiques, qui d'une part entraînent des points morts et d'autre part influencent le flux d'additif, peuvent se créer en fonction du débit. Fluitec utilise des calculs CFD transitoires pour étudier les buses d'injection des mélangeurs statiques depuis 2001.

Les buses d'injection ont été optimisées de plusieurs manières durant cette période :

- Dosage concentrique du flux d'additif
- Moins de points morts
- Utilisation de la zone de vide pour une prédistribution contrôlée des flux d'additifs
- Utilisation de plaques supplémentaires comme protection mécanique du mélangeur statique



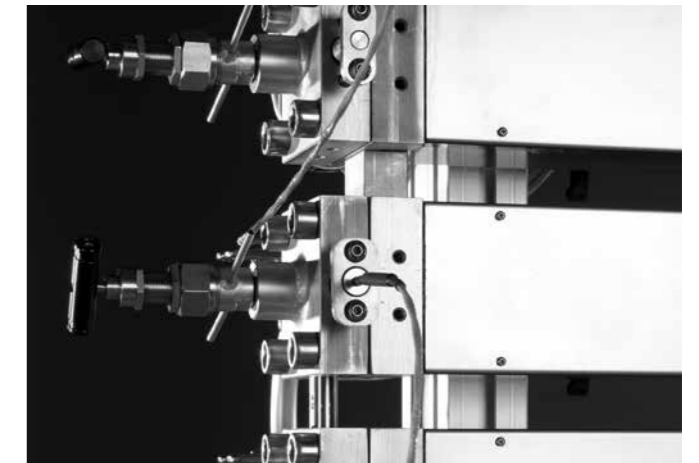
Buse d'injection pour mélangeurs de polymères avec protection mécanique contre le colmatage des polymères

Fiche de renseignement pour Mélangeur statique Fluitec					
Contact:		Demande:			
Entreprise:	Téléphone:	Projet / Demande N:			
Nom:	Fax:	Offre demandée pour le:			
Rue:	E-mail:	Offre Budget suffisante: <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non			
CP / Ville:	Pays:				
Données de fonctionnement:					
	Unité:	Flux principal	Flux d'additif 1	Flux d'additif 2	Flux d'additif 3
Désignation fluide:	[-]				
Débit minimum:	[m³ h⁻¹]				
Débit normal:	[m³ h⁻¹]				
Débit maximum:	[m³ h⁻¹]				
Densité:	[kg m⁻³]				
Viscosité:	[mPas]				
Température:	[°C]				
Classification fluide:	1: gaz 2: liquide	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2
(acc. 2014/68/EU)	d: dangereux n: pas dangereux	<input type="checkbox"/> d <input type="checkbox"/> n	<input type="checkbox"/> d <input type="checkbox"/> n	<input type="checkbox"/> d <input type="checkbox"/> n	<input type="checkbox"/> d <input type="checkbox"/> n
Les fluides sont-ils miscible? <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non		Tension interfaciale: mN m⁻¹		Taille maximale des gouttelettes: mm	
Homogénéité comme écart type par rapport à la valeur moyenne [σ/X]:		<input type="checkbox"/> < % <input type="checkbox"/>			
Perte de charge maximale admissible: bar		(Description du mélange)			
Données mécaniques:					Remarque:
Diamètre nominal de tuyauterie DN		Autres possibles: <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non		<input type="checkbox"/> Modèle standard	
Code de construction: <input type="checkbox"/> AD2000 <input type="checkbox"/> ASME <input type="checkbox"/>					
Raccordements: <input type="checkbox"/> Bride EN1092 <input type="checkbox"/> Bride ANSI		<input type="checkbox"/> Raccord vissé <input type="checkbox"/> Extrémité de tube libre		<input type="checkbox"/>	
Injection: <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> Oui		<input type="checkbox"/> Bride <input type="checkbox"/> Raccord vissé <input type="checkbox"/> Extrémité de tube libre		<input type="checkbox"/>	
Éléments de mélange: <input type="checkbox"/> Non démontables <input type="checkbox"/> Démontables <input type="checkbox"/> Éléments seul					
Matériau: <input type="checkbox"/> 1.4571 / 1.4404 <input type="checkbox"/> 1.4301 / 1.4307 <input type="checkbox"/> 1.4435 <input type="checkbox"/> Hastelloy C22 <input type="checkbox"/>					
<input type="checkbox"/> 1.4462 <input type="checkbox"/> 1.4539 <input type="checkbox"/> PE / PP <input type="checkbox"/> Acier C / PTFE <input type="checkbox"/>					
Enveloppe du mélangeur: Pression max. admissible: bar		Température max. admissible: °C			
Double enveloppe: <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Oui		Pression max. admissible: bar		Température max. admissible: °C	
Exigences additionnelles: (par ex. Pour l'industrie alimentaire et pharmaceutique)					
Surfaces: <input type="checkbox"/> Pas de données <input type="checkbox"/> Ra<1.6 µm <input type="checkbox"/> Ra< µm <input type="checkbox"/> Electro-poli <input type="checkbox"/>					
Éléments de mélange: <input type="checkbox"/> Pas de données <input type="checkbox"/> Jeu réduit autant que possible <input type="checkbox"/> Bords arrondis <input type="checkbox"/>					
Remarques:			Documentation: (si nécessaire)		
			<input type="checkbox"/> Plan/Nomenclature <input type="checkbox"/> Certificats matière		
			<input type="checkbox"/> Specifications de soudage <input type="checkbox"/> Plan d'inspection et de control		
			<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		



Mélange-transfert de chaleur

Combinaisons uniques de mélangeurs/ échangeurs chaleur



Technologie de réaction en-ligne

Systèmes de réaction modulaires de Milli à Maxi



Systèmes

Systèmes DeNOx, installations de mélange et de dosage



www.fluitec.ch

Plus d'informations sur notre site internet



Suisse

Fluitec
mixing + reaction solutions AG
Seuzachstrasse 40
CH-8413 Neftenbach
Suisse

T + 41 52 305 00 40
F + 41 52 305 00 44

Deutschland

Fluitec Deutschland GmbH
Auf der Heide 41
DE - 58313 Herdecke

T + 49-2330-916 76 76

info@fluitec.ch
www.fluitec.ch

