

EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE DANS LA PRODUCTION DE COSMÉTIQUES



Un guide comprenant:

5 concepts d'optimisation de l'efficacité énergétique

Les résultats de trois entreprises suisses de cosmétiques

Des instructions pratiques

Ludger J. Fischer et Petra Huber

Guide pour une production écoénergétique de cosmétiques

1ère édition (FR), sept. 2024

ISBN 978-3-9526243-2-6

Tous les droits, y compris ceux de la traduction, de la reproduction et de la duplication de ce document ou de parties de celui-ci, sont réservés aux auteurs. Des extraits ou toute autre utilisation dans le cadre de formations internes peuvent être réalisés après autorisation écrite des auteurs.

Les droits d'auteurs sont détenus par :

Ludger.Fischer@hslu.ch

Petra.Huber@zhaw.ch

Ce guide a été réalisé grâce au soutien financier, idéologique, collaboratif et matériel de

EnergieSuisse, www.suisseenergie.ch

Société Suisse des Chimistes Cosméticiens, SWISS SCC, www.swissccc.ch

Innovation Booster Energy Lab, www.energylab.site

Groupe La Prairie AG, www.laprairie.com

Steinfels Suisse, division de la coopérative COOP, www.steinfels-swiss.ch

Groupe Frike, www.frike-group.com

Kinematica SA, www.kinematica.ch

Haute École Spécialisée de Lucerne, HSLU, www.hslu.ch

Haute École Spécialisée de Zurich, ZHAW, www.zhaw.ch

Auteurs

Prof. Dr. Ludger J. Fischer, Petra Huber

Assistance éditoriale : Carla Marie Fischer, Arnaud Kindbeiter

Les auteurs remercient tous les partenaires du projet, les collaborateurs des entreprises et des universités pour leur soutien, en particulier Carla Marie Fischer et Arnaud Kindbeiter pour leur contribution rédactionnelle et leur relecture substantielle et inlassable.

Utilisation

Ce guide s'adresse aux responsables et aux exécutants dans le domaine du développement de produits, de la formulation et de la fabrication d'émulsions cosmétiques. Il se compose d'une partie principale, librement accessible à l'industrie cosmétique suisse, et d'une annexe détaillée (parties A et B) contenant des informations approfondies, qui peuvent être obtenues gratuitement auprès des auteurs sur demande.

Clause de non-responsabilité

Ce guide n'a pas de valeur juridique. Les auteurs déclinent toute responsabilité quant à l'exhaustivité et à l'exactitude des contenus, ainsi qu'aux risques découlant de la mise en œuvre des instructions relatives aux concepts d'efficacité énergétique. Ce guide a été rédigé en allemand, en français et en anglais et est disponible en téléchargement sur les sites d'EnergieSuisse et de la SWISS SCC.

ABSTRACT

Le premier pas vers la décarbonisation est l'augmentation de l'efficacité énergétique. À cette fin, trois entreprises cosmétiques suisses, la Haute École Spécialisée de Lucerne (HSLU), la Haute École Spécialisée de Zurich (ZHAW) et la société Kinematica AG, avec le soutien de la SWISS SCC et de EnergieSuisse, ont élaboré ce guide dans le cadre d'un projet de deux ans. Les produits cosmétiques et leurs processus de fabrication sont complexes. Les auteurs ont exploité les nombreuses années d'expérience des personnes impliquées et ont classé les approches d'optimisation de la consommation d'énergie et de l'utilisation des ressources dans la production cosmétique en cinq concepts d'efficacité (EC). Dans un premier temps, une procédure de mise à l'échelle industrielle sûre a été mise en place dans les entreprises de fabrication de cosmétiques participantes. Parallèlement, un contrôle de qualité en trois étapes a été utilisé pour accompagner ce processus. Dans les entreprises, des économies d'énergie d'environ 30% ont pu être réalisées immédiatement. Celles-ci ont été obtenues sans aucun investissement et ont été accompagnée d'une augmentation de la productivité ainsi que de réductions de coûts. Les entreprises impliquées ont jusqu'à présent considérablement développé leur communication interne entre la R&D et la production. Les SOP (procédures opérationnelles standardisées) prennent désormais en compte des paramètres de processus supplémentaires, tels que le taux de cisaillement et en générale. Dans le cadre de ce projet, les trois entreprises impliquées ont considérablement amélioré leur durabilité dans la production et sont en voie d'atteindre une production entièrement neutre en CO₂.

Ce document est divisé en deux parties. Dans la première partie, les concepts d'efficacité sont présentés, les résultats obtenus sont exposés et des instructions simples pour la mise en œuvre sont listées. De plus, des directives détaillées pour la mise à l'échelle et la détermination de la qualité sont fournies. L'annexe très complète (disponible uniquement en allemand ou en anglais) fournit aux utilisateurs intéressés toutes les informations de base nécessaires, la théorie et les suggestions d'évaluation. Ainsi, les concepts d'efficacité peuvent être mis en œuvre dans n'importe quelle entreprise.

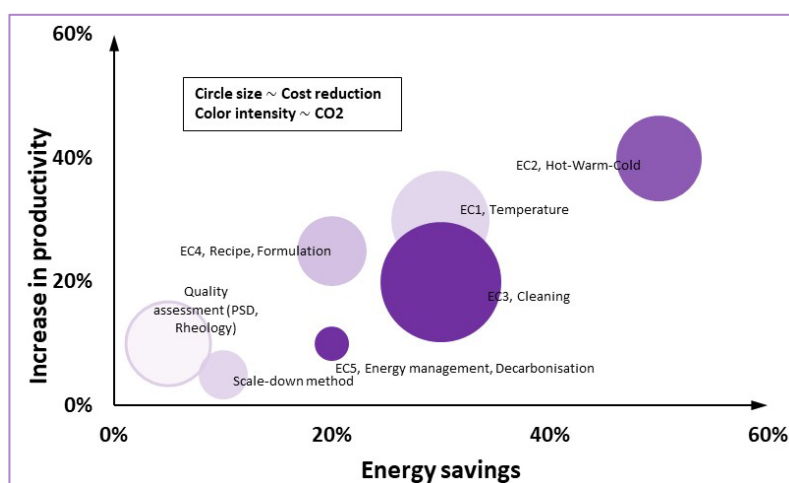


Figure 1 Aperçu des économies d'énergie et des gains de productivité possibles grâce aux concepts d'efficacité (EC) documentés dans ce guide. La taille des bulles symbolise le « montant » des économies de coûts possibles et l'intensité de la couleur reflète le potentiel d'économies de CO₂ ; plus elles sont foncées, plus le potentiel est important.

Le potentiel d'économie d'énergie a été déterminé pour un cas de référence avec un lot de 1000 kg, sans investissements supplémentaires et est illustré à la figure 2.

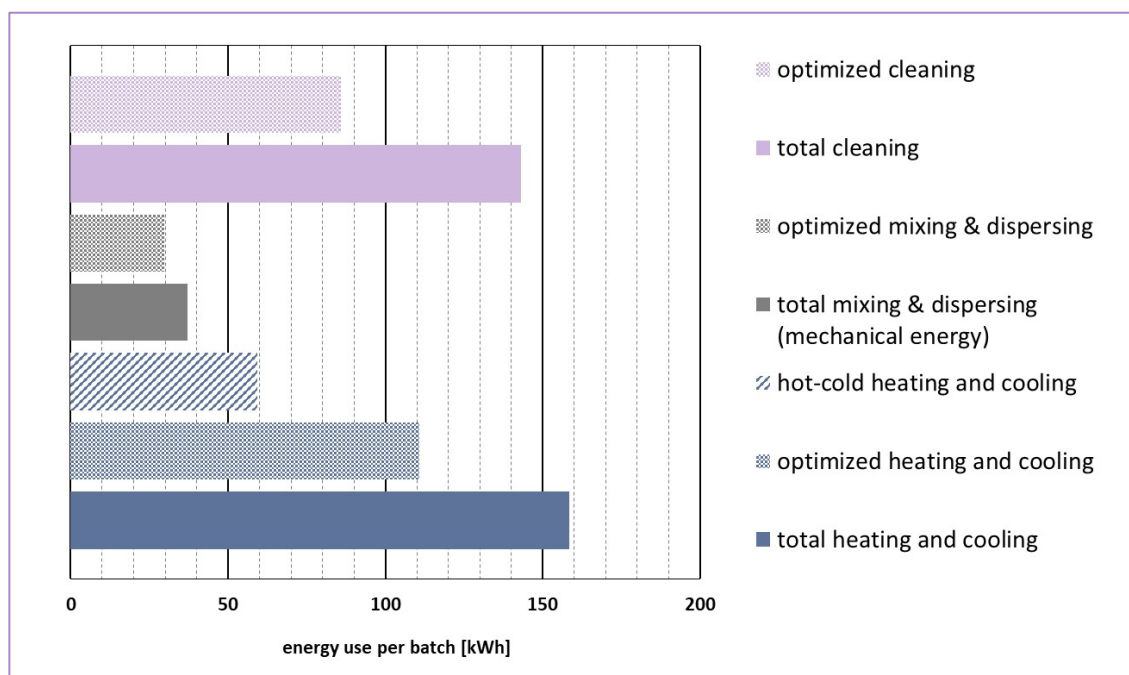


Figure 2 Potentiel d'économie d'énergie réalisable pour un lot de 1000 kg.

Pour les auteurs et les entreprises impliquées, il était étonnant de constater à quel point le potentiel d'économies, en particulier dans le domaine du nettoyage, est important (voir figure 3). Les coûts, en particulier ceux liés aux pertes de produits, sont élevés. Cependant, ils peuvent être facilement réduits de 50 CHF ou plus par lot, et ce, sans nécessiter d'investissements.

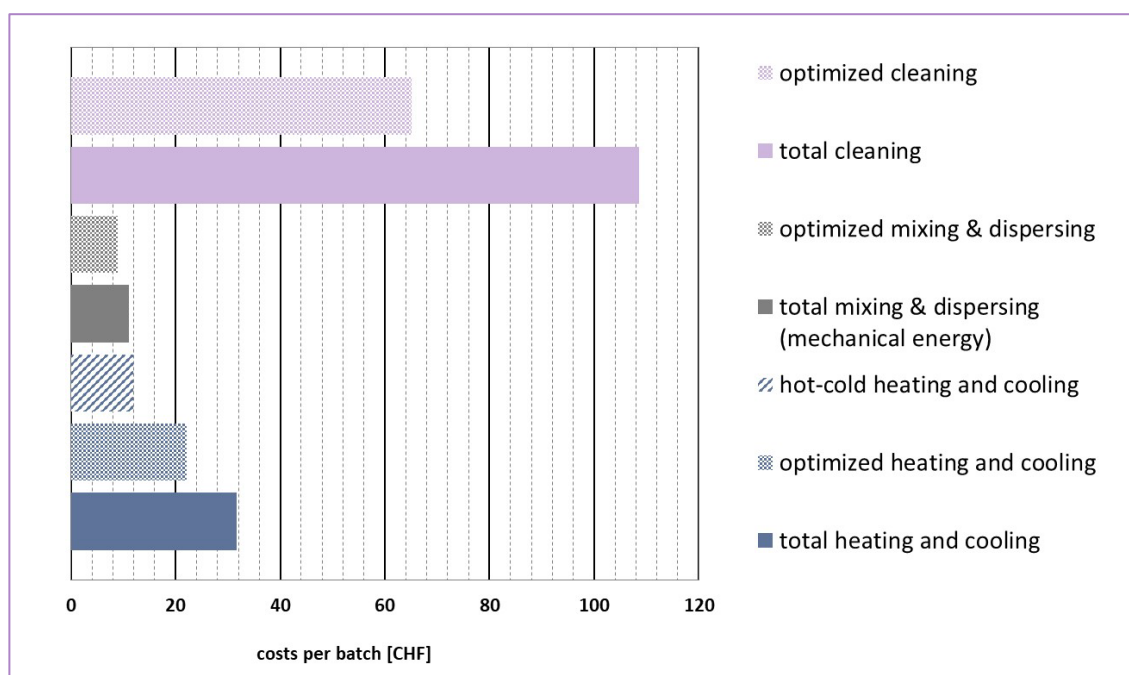


Figure 3 Potentiel d'économie pour un lot de 1000 kg notamment au niveau du nettoyage

TABLE DES MATIÈRES

ABSTRACT	3
INTRODUCTION	6
MÉTHODOLOGIE.....	7
CONCEPTS D'EFFICACITÉ.....	9
EC 1 GESTION DE LA TEMPÉRATURE	10
EC 2 HOT-WARM-COLD	12
EC 3 NETTOYAGE	14
EC 4 FORMULATION	16
EC 5 GESTION DE L'ÉNERGIE ET DÉCARBONISATION	18
QUALITÉ ET MISE À L'ÉCHELLE	19
0 INTRODUCTION QUALITÉ.....	19
1 SCALE-UP / SCALE-DOWN.....	21
2 TAILLE DES PARTICULES	22
3 RHÉOLOGIE	23
4 ANALYSE SENSORIELLE.....	24
MISE EN ŒUVRE.....	25
DISCUSSION	25
LES BASES POUR COMMENCER	27
PRÉSENTATION / DIFFUSION	27
REMERCIEMENTS.....	28
ANNEXE A, CONCEPTS D'EFFICACITÉ	
A1 CONTRÔLE DE LA TEMPÉRATURE	A1
A2 HOT-WARM-COLD	A2
A3 NETTOYAGE	A3
A4 RECETTE ET FORMULATION	A4
A5 GESTION DE L'ÉNERGIE ET DÉCARBONISATION	A5
ANNEXE B, QUALITÉ ET MISE À L'ÉCHELLE.....	
B0 INTRODUCTION QUALITÉ	B0
B1 AUGMENTATION/DIMINUTION DE L'ÉCHELLE	B1
B2 TAILLE DES PARTICULES	B2
B3 RHÉOLOGIE	B3
B4 ANALYSE SENSORIELLE	B4

INTRODUCTION

En 2015, les États membres des Nations Unies ont adopté l'Agenda 2030 qui comprend 17 Objectifs de Développement Durable (SDD). L'SDD 12 vise à garantir la gestion efficace de l'énergie et des modes de production durable. Les responsables politiques et les entreprises se sont fixés pour objectif de réduire les émissions de CO₂. EnergieSuisse estime le potentiel d'économie d'énergie dans les entreprises, selon le secteur, entre 20 et 40%.

Dans l'industrie cosmétique, le but de durabilité est suivi à différents niveaux. La demande du marché pour une «clean beauty» ou «beauté consciente» est en augmentation. Des publications intéressantes sur la durabilité, ainsi que des exemples de soutien apporté par l'industrie cosmétique ou les associations professionnelles à leurs membres, sont disponibles dans une édition spéciale du magazine IFSCC (Vol 25/3, 22/10, www.ifsc.org). De plus, il existe un potentiel considérable d'économie d'énergie dans l'industrie cosmétique, car de nombreux processus de fabrication, en particulier le procédé Hot/Hot, sont encore très énergivores.

Ce guide vise à optimiser et à réduire la consommation d'énergie liée aux processus d'industrialisation dans l'industrie cosmétique. Les concepts d'efficacité visés, décrits dans ce document, sont basés sur de nombreuses années de recherche et de développement de la part des auteurs.

Les connaissances acquises conduisent souvent à de nouvelles questions. Toutes les questions subséquentes qui ont émergé dans le cadre de ce projet de coopération industrielle n'ont pas pu trouver de réponse complète, notamment celles relatives à la chimie colloïdale. Les déclarations sur la stabilité à long terme n'étaient pas l'objectif principal de ce projet ; des évaluations à court terme ont plutôt été réalisées. Étant donné que les émulsions sont des systèmes thermodynamiquement instables et évoluant lentement, les mesures de qualité ne fournissent que des instantanés de leur état à un moment donné.

Le projet adopte une approche méthodique consistant à examiner les formulations existantes de produits commerciaux établis et à les transférer à l'échelle du laboratoire à l'aide d'une procédure de réduction d'échelle rigoureuse. Des optimisations sont ensuite réalisées à l'échelle du laboratoire. Par la suite, un passage sécurisé à l'échelle de production (jusqu'à un maximum de 2500 kg) est effectué. Les mesures de qualité valident les améliorations obtenues.

Il reste souvent peu de temps dans les activités quotidiennes pour mener des séries de tests visant à réduire la consommation d'énergie. Cependant, un effet secondaire significatif des concepts d'efficacité est le gain de temps en production ! L'un des objectifs de ce projet est donc de motiver et de permettre aux membres des équipes de développement et de production de mettre en œuvre des changements de processus avec un effort raisonnable. Grâce aux résultats de ce projet, les auteurs proposent une approche très pratique pour la mise en œuvre des économies d'énergie dans l'industrie cosmétique.

MÉTHODOLOGIE

Ce guide repose sur une initiative de la Haute École Spécialisée de Lucerne (HSLU), de la Haute École Spécialisée de Zurich (ZHAW) et de la Société Suisse des Chimistes Cosméticiens (SWISS SCC), avec le soutien de EnergieSuisse, de l'Energy Lab et des entreprises La Prairie AG, Frike Group, Steinfels Swiss et Kinematica AG, toutes basées en Suisse. L'objectif principal est de modifier le processus de fabrication des émulsions cosmétiques afin de réduire la consommation d'énergie et l'empreinte carbone. Grâce à une gestion de processus moderne et habile ainsi qu'à l'application de nouvelles méthodes et des formulations innovantes, il est possible de réaliser des économies de coûts, de ressources et d'énergie dans la fabrication de produits cosmétiques.

Sur la base de nombreuses années de recherche, les auteurs ont identifié, défini avec précision, et appliqué cinq concepts d'efficacité dans ce travail. Ces concepts incluent des approches visant à optimiser la consommation d'énergie dans la production cosmétique et sont les suivants : gestion de la température, processus « Hot-Warm-Cold », protocoles de nettoyage, formulation ainsi que la gestion de l'énergie et la décarbonisation.

Dans le cadre d'un projet axé sur l'application, ces méthodes ont été appliquées, enseignées et établies dans les entreprises de cosmétiques mentionnées ci-dessus. L'équipe de projet universitaire a formé les employés des entreprises de cosmétiques sur place en fonction des conditions spécifiques à chaque société et a accompagné la mise en œuvre. Chaque entreprise a fixé des priorités différentes. Ainsi parmi les cinq concepts d'efficacité, en moyenne, trois à quatre ont été poursuivis et mis en œuvre en interne. Toutes les mesures prévues ont été sélectionnées en fonction des économies potentielles d'énergie, d'OPEX (coûts d'exploitation) et de faibles voire même inexistantes CAPEX (coûts d'investissement). Des ateliers sur site ont permis aux employés de produire eux-mêmes des lots d'essai, qui ont ensuite été traités et analysés par les universités. La sensibilisation à l'optimisation énergétique doit être portée par toute l'équipe à l'avenir. Les connaissances générées doivent être utilisées pour le développement futur de formulations. C'est pourquoi, une grande attention a été accordée à une communication régulière et adéquate avec les employés sur site et à distance. En outre, en favorisant la communication interne, les connaissances déjà existantes de l'industrie et de l'entreprise (expériences personnelles) doivent être échangées et enregistrées, confirmées ou corrigées sur une base scientifique.

Après plusieurs entretiens préliminaires avec la direction et les responsables de projet désignés dans les entreprises, les ressources en temps nécessaires ont été estimées. Une ou deux formulations standard de type huile dans eau (H/E) ont été déterminées et sur la base de leur planification de production, un calendrier a été fixé.

Lors d'un atelier approfondi d'une journée, les équipes de développement et de production ont été préparées théoriquement à leurs tâches, puis ont suivi une formation pratique sur le terrain. Cela a souvent nécessité une visite de la production pour enregistrer les paramètres techniques des homogénéisateurs et de tous les équipements de production propres à

chaque société. Pour préparer les mesures de l'apport énergétique sur les mélangeurs de laboratoire et les machines de production, des « Hydro Test run » ont été réalisés. Cette approche se basant sur l'utilisation de l'eau comme médium permet de comprendre divers aspects tels que l'apport énergétique ainsi que d'autres caractéristiques de performance sans avoir à utiliser les matières premières réelles du produit. Les principales investigations dans les installations des entreprises ont été précédées de divers essais préliminaires et d'expériences radicales dans les laboratoires des universités. Par exemple, des réductions de température de 30°C de la phase aqueuse (réduite à seulement 50°C) tout en maintenant la température de la phase huileuse à 80°C, des inversions de la séquence de mélange (eau dans huile ou inversement) et des variations dans l'ordre d'ajout des émulsifiants (méthode continentale vs. méthode anglaise) ont fait partie des travaux semestriels et des projets de recherche.

Enfin, les principales recherches menées dans les entreprises partenaires ont porté sur l'analyse des formulations de production existantes type émulsions H/E et sur leur adaptation à l'installation de laboratoire grâce à une procédure de réduction d'échelle bien définie. À l'échelle du laboratoire, des optimisations ont ensuite été réalisées, conduisant à des économies d'énergie significatives. Par la suite, un passage sécurisé à l'échelle de production (jusqu'à un maximum de 2500 kg) a été effectué. Les mesures de qualité ont confirmé le succès des améliorations apportées.

Pour faciliter ces transitions, une méthodologie claire de réduction et d'augmentation d'échelle ainsi que des procédures de contrôle qualité complètes ont d'abord été définies et mises en œuvre dans les trois sites de production. Des documents explicatifs et des feuilles de calcul ont été élaborés pour les entreprises participantes, et la version finale de ces documents se trouve en annexe de ce guide.

Les émulsions H/E traitées ici présentaient des concentrations de phase huileuse comprises entre 10 et 30% avec différentes quantités d'alcool gras. Les composants de la phase huileuse ont été analysés par calorimétrie différentielle à balayage (DSC) afin de déterminer la température maximale requise pour le chauffage. Pour assurer la qualité dans le processus de réduction d'échelle, les distributions de tailles de particules ont été déterminées, et des tests rhéologiques et sensoriels (tests de différence) ont été effectués et comparés aux échantillons issus de la production conventionnelle pour identifier d'éventuelles déviations.

Pour garantir la confidentialité des données internes des entreprises, chaque entreprise a ouvert son propre SharePoint. Les données de mesure y ont été stockées, puis analysées, clarifiées, transférées et anonymisées par les partenaires universitaires avant de les intégrer dans leurs ensembles de données. Aucune des entreprises n'a eu accès aux données des autres entreprises. La collaboration a été préalablement conclue dans un accord de coopération entre les universités et les différentes entreprises. Étant donné que ce projet devait être mené en parallèle des activités quotidiennes des entreprises (planification des ressources humaines) et que les expériences de mise à l'échelle avec des paramètres de processus modifiés dépendaient des créneaux disponibles dans le planning des productions,

le temps moyen de traitement dans chaque entreprise a varié entre 6 et 18 mois. À la demande de certaines entreprises, des résultats intermédiaires ont été présentés et discutés. Une présentation finale avec documentation a été réalisée dans toutes les entreprises afin d'informer et de former à nouveau le plus grand nombre possible de collaborateurs.

Après la préparation de l'ensemble des données pour chaque entreprise, une révision du présent document a été effectuée. Ce document contient des informations détaillées ainsi que des exemples concrets du projet, notamment en annexe. L'objectif est que chaque lecteur soit en mesure de mettre en œuvre les concepts et d'améliorer l'efficacité énergétique dans sa propre entreprise.

Parallèlement, la diffusion des résultats a commencé afin d'atteindre le plus grand nombre possible de personnes dans le secteur. Les premiers résultats ont été présentés lors de l'évènement de formation continue de la Société Suisse des Chimistes Cosméticiens (SWISS SCC) le 14 septembre 2022 à Olten, sous le titre « L'économie du futur - Efficacité énergétique dans le développement et la production comme partie intégrante de la durabilité ». La mise en œuvre possible dans l'industrie a été discutée de manière critique : Quelle part de durabilité serait possible dans les différentes entreprises et quelle pourrait être la contribution de l'industrie à cet égard ? De nombreuses questions sur l'efficacité énergétique dans l'industrie cosmétique ont été posées. Lors d'une enquête ad hoc, les participants ont confirmé que, outre l'approvisionnement en matières premières, la durabilité (en deuxième position) et la sécurité énergétique (en troisième position) étaient leurs principales préoccupations. Environ la moitié des personnes interrogées avaient déjà mis en œuvre des optimisations énergétiques générales dans leur entreprise, la moitié dans la production et 15% dans le développement. L'autre moitié n'avait encore pris aucune mesure, mais prévoyait de le faire. Les auteurs interprètent cela comme un signe de changement.

L'acceptation des propositions montre que l'efficacité énergétique suscite de l'intérêt. Avant la publication de ce document, le « concept suisse » avait déjà été présenté lors de quatre conférences internationales. Le guide sera, après publication, mis à disposition des membres de la SWISS SCC sous forme numérique dans un premier temps.

CONCEPTS D'EFFICACITÉ

Le terme concept d'efficacité (EC) est utilisé comme synonyme d'une mesure appropriée pour augmenter l'efficacité. Les 5 chapitres suivants contiennent chacun :

- Des descriptions expliquant les concepts d'efficacité
- Des résultats
- Des instructions d'action

Les textes et les explications sont volontairement concis. Les détails, les contextes, la théorie et les études de cas (« Cases ») sont présentés dans l'annexe.

EC 1 GESTION DE LA TEMPÉRATURE

Pour la fabrication de produits cosmétiques, on utilise généralement une émulsification « à chaud ». Les phases aqueuse et huileuse sont chauffées séparément à des températures comprises entre 70 et 80°C, puis mélangées à cette température dans l'homogénéisateur. Une fois le processus terminé, le produit est refroidi. Souvent, une phase supplémentaire est ajoutée à une température d'environ 40 à 50°C. En règle générale, l'émulsion est retirée du mélangeur à une température d'environ 25 °C, couramment stockée temporairement, puis préparée pour le conditionnement. Des économies d'énergie significatives peuvent être réalisées en ajustant les températures. Pour plus de détails, voir l'annexe A1. Des économies allant jusqu'à 50% sur l'énergie de chauffage et de refroidissement sont possibles !

EC1.1 Température maximale

La température maximale doit être **aussi basse que possible**. Cette température maximale peut être mesurée de manière précise et spécifique à chaque produit à l'aide de la calorimétrie différentielle à balayage (DSC).

EC1.2 Température de sortie

La température de sortie devrait **être augmentée** des 25°C habituels à au moins 30°C.

EC1.3 Refroidissement accéléré

Le refroidissement après l'émulsification est un processus coûteux et chronophage. Une vérification peut être effectuée par un simple test et une évaluation selon la méthode NTU (voir annexe A1). La valeur caractéristique déterminée d'un coefficient de transfert thermique illustre la qualité du transfert thermique.

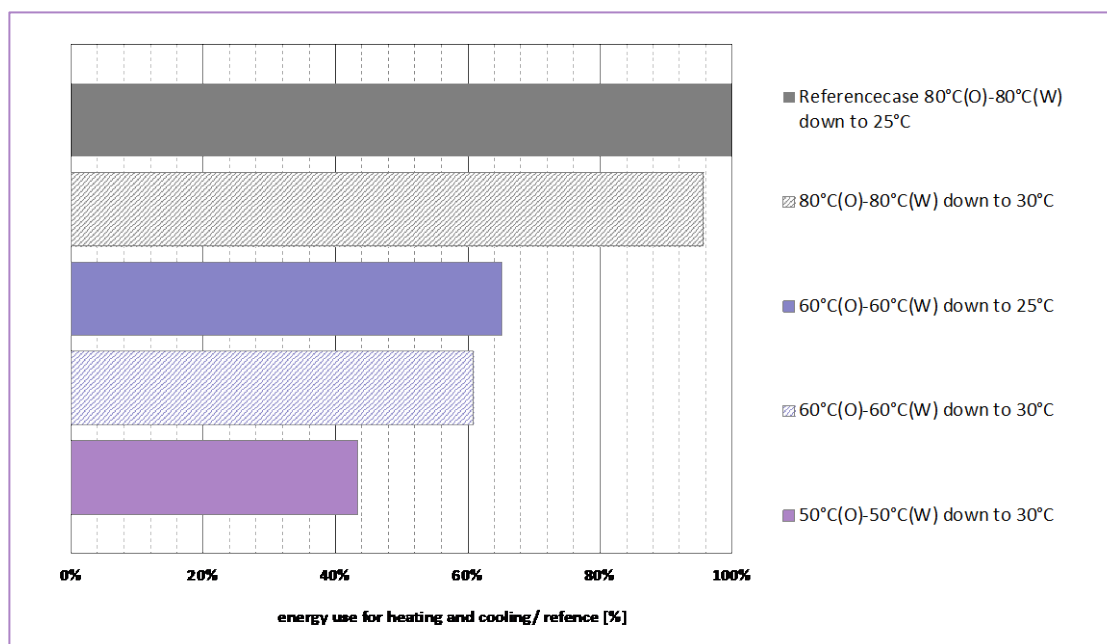


Figure 4 Potentiel concret d'économie d'énergie grâce à une modification du réglage de température. La température initiale de 80°C pour les phases huileuse et aqueuse pouvant être réduite jusqu'à 50°C, tandis que la température de sortie est augmentée de 25°C à 30°C.

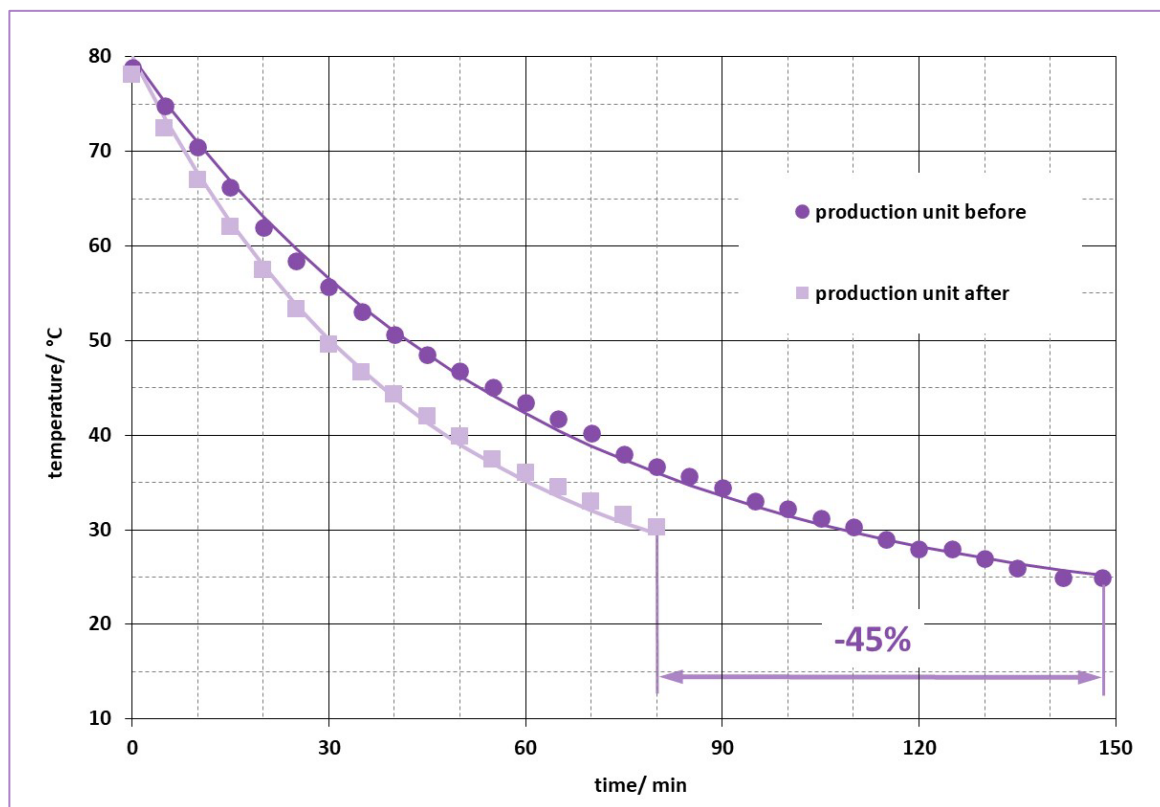


Figure 5 Gain de temps de 45% grâce à l'augmentation de la température de sortie de 25°C à 30°C ainsi qu'à un meilleur contrôle de la température. Points/carrés de données : températures du produit mesurées dans le récipient. Lignes : calcul du modèle (méthode NTU).

Instructions d'action

- ✓ Mesurer les points de fusion de tous les ingrédients à l'aide de la DSC.
- ✓ Mesurer le profil de température de fusion et l'enthalpie de fusion avec la DSC.
- ✓ Éliminer autant que possible les composants à point de fusion élevé.
- ✓ Réduire la température maximale.
- ✓ Augmenter la température de sortie.
- ✓ Améliorer la configuration du refroidisseur.

Des instructions détaillées, dont aussi la théorie, des études de cas et des modèles se trouvent dans l'annexe A1 (en anglais)

EC 2 HOT-WARM-COLD

Outre l'optimisation générale de la température selon le concept d'efficacité 1, il existe également la possibilité de chauffer plus modérément uniquement la phase aqueuse, ou des parties de celle-ci, puis d'émulsifier. Il s'agit d'une méthode bien connue, largement utilisée sous le nom de Hot-Cold, où la phase huileuse est maintenue à une température élevée constante (Hot) tandis que la phase aqueuse n'est pas chauffée et reste donc froide (Cold).

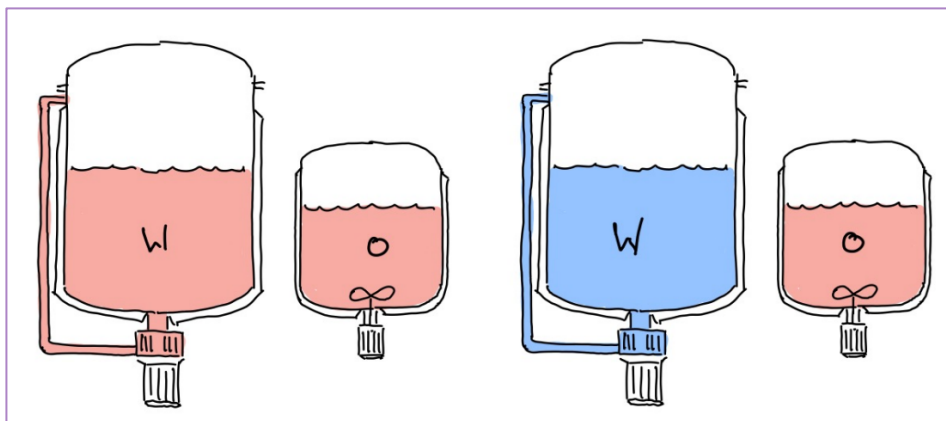


Figure 6 Représentation schématique du procédé Hot-Hot habituel (à gauche) comparé au procédé optimisé Hot-Cold (à droite). W représente la phase aqueuse, O représente la phase huileuse.

Lors de l'utilisation du procédé Hot-Cold, il est essentiel de veiller à ce que le point de fusion de la phase huileuse (contenant des cires) ne soit pas compromis au moment critique de l'émulsification, afin que la fragmentation des gouttelettes de la phase huileuse puisse se dérouler sans entrave. Pour cela, la phase aqueuse doit, soit avoir une température suffisamment élevée comme dans le procédé Hot-Hot, soit le rapport de phase eau/huile au moment de l'émulsification doit être choisi de manière qu'il y ait nettement moins d'eau. La température de mélange doit alors toujours rester supérieure au point de fusion du composant le plus critique. En principe, il devrait donc y avoir le moins de phase aqueuse possible au moment de l'émulsification. Dans le cas d'une émulsion H/E, il est cependant important de maintenir une teneur en huile inférieure à 70% (de préférence inférieure à 50%) au moment de l'émulsification, pour éviter un risque d'inversion de phase. Pour les émulsions E/H, cela est généralement moins problématique que pour les émulsions H/E.

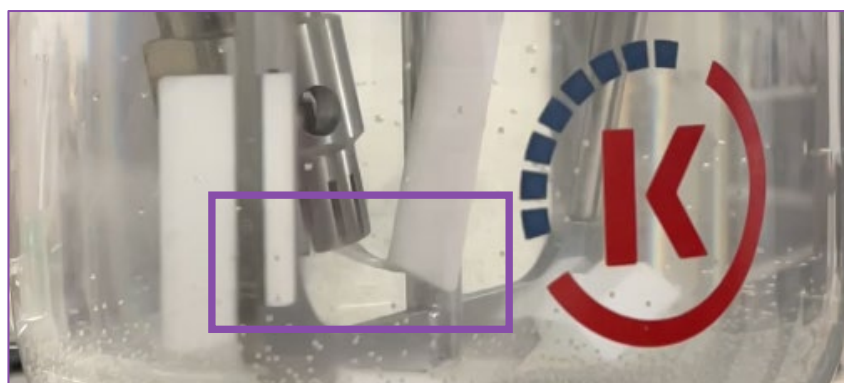


Figure 7 Appareil de laboratoire : La phase huileuse est introduite directement vers l'homogénéisateur via une entrée spécifique (tuyau blanc).

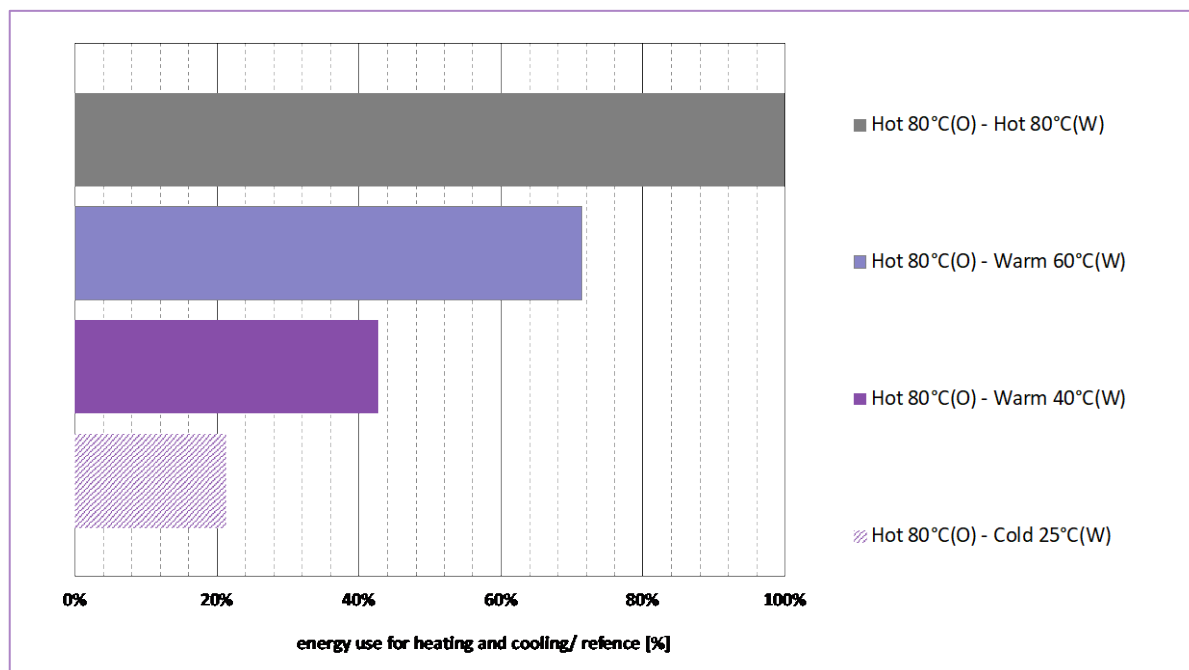


Figure 8 Potentiel concret d'économies pour le procédé Hot-Warm-Cold. La phase huileuse reste toujours à 80°C. La phase aqueuse est progressivement ajustée à 60°C, 40°C ou à la température ambiante de 25°C.

Instructions d'action

- ✓ S'assurer que l'installation de production permet une alimentation directe de la phase huileuse dans l'homogénéisateur.
- ✓ Penser à la méthode Hot-Cold dès le développement de la formulation et développer en laboratoire en conséquence.
- ✓ Optimiser les équipements de laboratoire permettant une alimentation directe de la phase huileuse vers l'homogénéisateur.
- ✓ Le processus peut être effectué comme précédemment selon le procédé Hot-Hot.

Des instructions détaillées, de la théorie et des études de cas peuvent être trouvés dans l'annexe A2 (en anglais).

EC 3 NETTOYAGE

Après la fabrication d'un lot de produit, la cuve de mélange est vidée. Des résidus de produit restent sur les agitateurs, la paroi de la cuve et le cas échéant, dans la conduite de recirculation. Selon le type de machine et la viscosité du produit, il reste généralement entre 1 et 3% de produit dans la machine ; pour les produits très visqueux, cela peut aller jusqu'à 10%. En particulier, La conduite de recirculation contient souvent encore de grandes quantités de produit. Cela présente deux inconvénients : a) le produit serait prêt à être vendu et est tout simplement perdu, et b) le produit restant entraîne des efforts et des coûts supplémentaires pour le nettoyage et le traitement des eaux usées.

L'installation doit être nettoyée. Le processus de nettoyage est coûteux et les coûts sont souvent sous-estimés. Une analyse des coûts peut apporter à l'entreprise de grandes économies financières et des améliorations environnementales. Les coûts et les pertes d'énergie dans le processus de nettoyage comprennent :

- Temps : Plusieurs étapes de nettoyage avec remplissage et vidage.
- Perte de produit : la plus significative en termes de valeur.
- Coût de l'eau : L'eau osmosée coûte en moyenne environ 0,2 CHF/kg dans le secteur (2023) et doit être utilisée avec parcimonie.
- Énergie pour le chauffage de l'eau : Celle-ci peut parfois dépasser la consommation d'énergie nécessaire à la fabrication proprement dite.

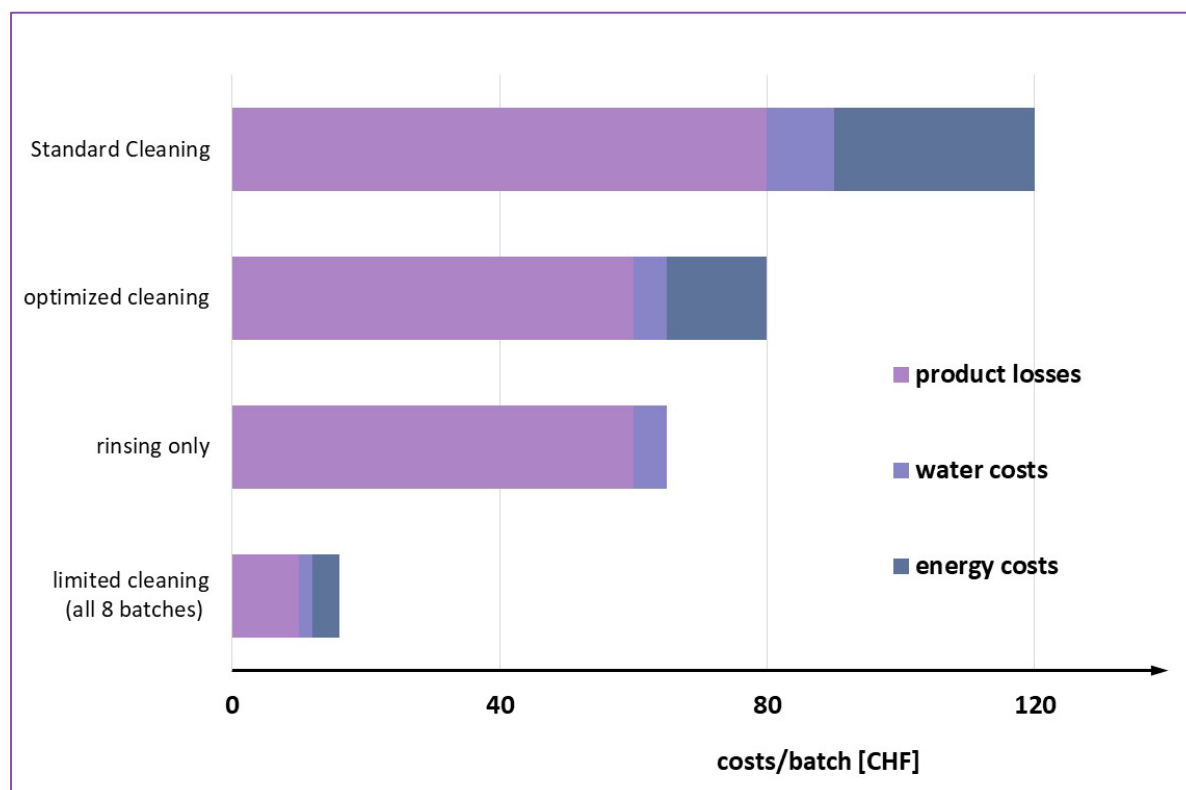


Figure 9 Exemple de coûts de nettoyage basés sur un lot de 1000 kg.



Figure 10 Photo d'un couvercle propre après un nettoyage en profondeur.

Instructions d'action

- ✓ Effectuer une analyse des coûts transparente et honnête !
- ✓ Optimiser la logistique et la planification de la production afin de réaliser davantage de campagnes ne nécessitant pas de nettoyage intermédiaire.
- ✓ Ajuster les volumes d'eau et les températures lors des procédures de nettoyage.
- ✓ Valider les processus de nettoyage selon la norme ISO 22716.
- ✓ Résoudre le problème d'hygiène du système sur la « machine » en remplaçant les composants critiques, plutôt que de tenter de les résoudre uniquement par des procédures de nettoyage.

Le thème de l'hygiène et du nettoyage est un sujet sensible et d'une grande importance. Un traitement détaillé mériterait à lui seul un livre. Des directives d'action testées, de la théorie, des études de cas et des références bibliographiques supplémentaires se trouvent dans l'annexe A3(en anglais).

Dans nos études de cas, les émulsions étaient physiquement stables ; les mesures rhéologiques après 8, 12 ou 18 mois n'ont montré aucune déviation marquante par rapport au modèle initial (lot de laboratoire ou de production).

Afin d'optimiser au mieux la qualité des formulations obtenues avant ou après une modification du processus (par exemple, la réduction de la température), différents aspects doivent être vérifiés au niveau du laboratoire, soit en amont, soit comme mesure corrective ultérieure. Il est important de veiller à une **standardisation et une reproductibilité des essais** aussi bonnes que possible lors des approches en laboratoire.

La synchronisation dans le temps de l'homogénéisation (durée de cisaillement), la gestion de la température (refroidissement rapide après l'union des phases) et l'influence de la température d'inversion de phase (PIT) constituent des paramètres importants pour un lot de laboratoire produit manuellement.

De plus, les points suivants a) à e) doivent être testés dans une expérience en laboratoire et leur degré d'influence sur l'émulsion en question doit être évalué :

Facteurs d'influence dépendant de la température :

- a. Maintien de la température des phases grasse et huileuse lors de leur incorporation dans la phase aqueuse
- b. Température de mélange après la combinaison des phases

Facteurs d'influence dépendant du temps :

- c. Cinétique de refroidissement (durée)
- d. Prise en compte de la température d'inversion de phase (PIT) (applicable uniquement aux émulsifiants non ioniques)
- e. Apport d'énergie par cisaillement lors du refroidissement (post-homogénéisation)

Instructions d'action

- ✓ Ajout des émulsifiants dans la phase huileuse (méthode continentale).
- ✓ Combinaison préalable de tous les composants de type huile, graisse et beurre (utilisation des effets « eutectiques »).
- ✓ Simplification des étapes du processus (par exemple, moment d'ajout des matières premières).
- ✓ Vérification de l'influence du taux et de la durée de cisaillement sur la distribution optimale de la taille des particules et la sensorialité.

Des instructions détaillées, de la théorie, des études de cas et le contexte de PIT se trouvent dans l'annexe A4 (en anglais).

EC 5 GESTION DE L'ÉNERGIE ET DÉCARBONISATION

La durabilité et les produits neutres en CO₂ sont des impératifs dans le monde d'aujourd'hui. Avec une transparence et une comparabilité croissante sur le marché, la pression des consommateurs pour mettre en œuvre ces critères dans l'industrie cosmétique va augmenter. Les besoins énergétiques doivent être réduits à un niveau techniquement raisonnable. L'énergie restante doit être fournie de manière neutre en CO₂. Quelques mesures permettent de réduire considérablement la consommation d'énergie et l'empreinte carbone :

« Les pompes à chaleur devraient être utilisées pour éliminer les combustibles fossiles. Le meilleur moyen d'y parvenir est de récupérer la chaleur à l'aide du stockage thermique. »

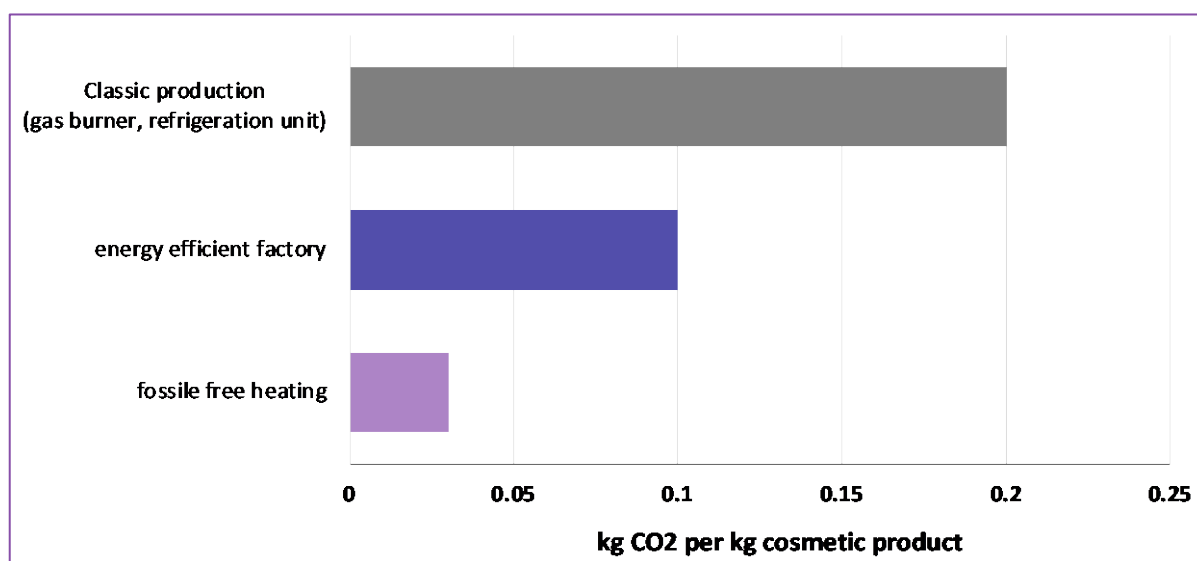


Figure 12 L'empreinte CO₂ calculée pour produire un produit cosmétique. Valeurs approximatives issues de diverses enquêtes réalisées par les auteurs.

Instructions d'action

- ✓ Effectuer une analyse des besoins en chauffage et en refroidissement.
- ✓ Réduire les besoins pour les processus de refroidissement et de chauffage en mettant en œuvre des concepts d'efficacité.
- ✓ Installer des systèmes de stockage thermique.
- ✓ Éliminer immédiatement l'utilisation d'eau fraîche comme source de refroidissement.
- ✓ Prévoir des pompes à chaleur pour combiner l'approvisionnement en chauffage et en refroidissement.
- ✓ Éliminer les combustibles fossiles.
- ✓ Installer des panneaux photovoltaïques (PV).

Des instructions détaillées, de la théorie et des études de cas peuvent être trouvés dans l'annexe A5 (en anglais).

QUALITÉ ET MISE À L'ÉCHELLE

0 INTRODUCTION QUALITÉ

Dans le domaine des émulsions cosmétiques, on distingue deux niveaux pour définir le terme qualité :

- Une **qualité optimale**. Cela inclut de nombreux paramètres, y compris ceux que nous mesurons.
- Une fois qu'un produit est approuvé et mis sur le marché, nous veillons à ce que sa **qualité reste constante**.

Il arrive parfois qu'une amélioration du processus permette d'obtenir une « meilleure qualité », par exemple une distribution de la taille des gouttelettes plus étroite et plus fine. Cela signifie toutefois également une variation d'autres propriétés (par exemple, la viscosité) et donc une qualité modifiée.

Pour un produit sur le marché, une « qualité modifiée » est généralement perçue comme une qualité inférieure. De plus, avec les émulsions, nous avons affaire à des systèmes thermodynamiquement instables. Les produits ont une durée de vie, la viscosité change de manière significative entre la production et le remplissage, et continue de d'évoluer au cours du stockage, bien que plus lentement. Dans le cadre de ce projet, nous avons développé un concept de qualité en trois étapes afin de garantir « la même qualité » pour les deux produits, le standard et le nouvel échantillon nouveau procédé.

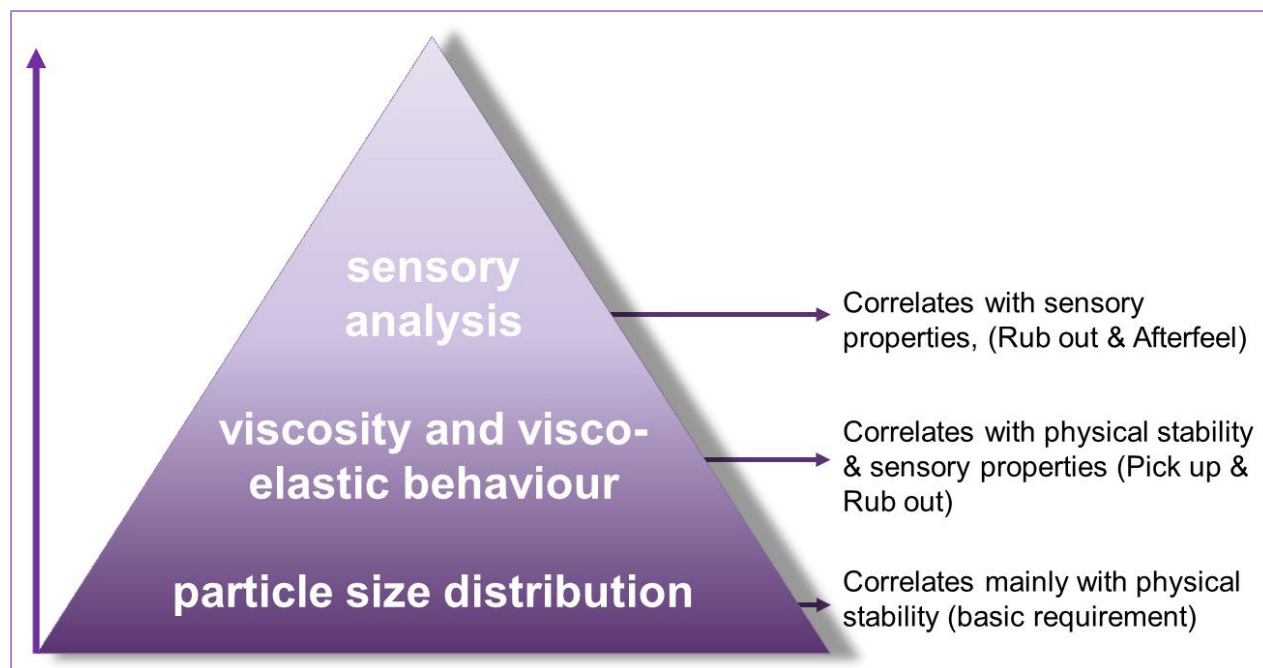


Figure 13 « Pyramide de la matrice de qualité » ; hiérarchie des méthodes de mesure utilisées et de leurs paramètres de qualité.

Instructions d'action

- ✓ La distribution de la taille des particules doit être la même pour que les échantillons puissent être comparés.
- ✓ La viscosité doit être vérifiée en fonction du taux de cisaillement et être identique.
- ✓ La viscoélasticité doit être mesurée par analyse mécanique dynamique (DMA) et tests d'oscillation ; le module de stockage et le module de perte ou leur rapport doivent être égaux.
- ✓ L'égalité de la qualité sensorielle du point de vue de l'utilisateur doit être confirmée au moyen d'un test triangulaire.

Chaque entreprise est libre de fixer les valeurs de tolérance pour les paramètres mentionnés ci-dessus. En fin de compte, c'est aussi une question de coût.

Des instructions détaillées et la théorie peuvent être trouvées dans l'annexe B0 (en anglais).

1 SCALE-UP / SCALE-DOWN

Le terme de « montée en échelle » (**scale-up**) désigne le processus de développement de produits qui consiste à déterminer comment un produit initialement développé en laboratoire doit être transféré à l'échelle de production. Le transfert des paramètres de processus actuels de l'équipement de production aux dimensions de l'équipement de laboratoire est connu sous le nom de « réduction d'échelle » (**scale-down**).

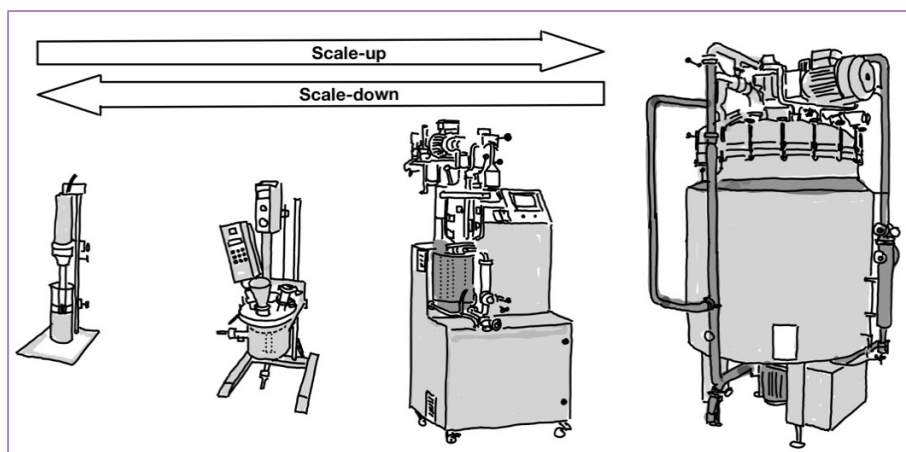


Figure 14 Scale-up : de l'échelle laboratoire à l'échelle industrielle. Scale-down : de l'échelle industrielle à l'échelle laboratoire.

Lors de la réduction d'échelle, la performance des installations de production est prise comme référence. Ces performances sont mesurées afin d'assurer un transfert vers les équipements de laboratoire. En respectant les paramètres de fonctionnement ainsi déterminés (vitesse et temps de cisaillement) lors du développement de la formulation, une qualité de produit constante peut être garantie dans le système de production. Le phase du pilotage est moins chronophage et le risque de lots défectueux est considérablement réduit. Le transfert de n'importe quel équipement de laboratoire vers n'importe quel système de production (production interne ou externe) est possible.

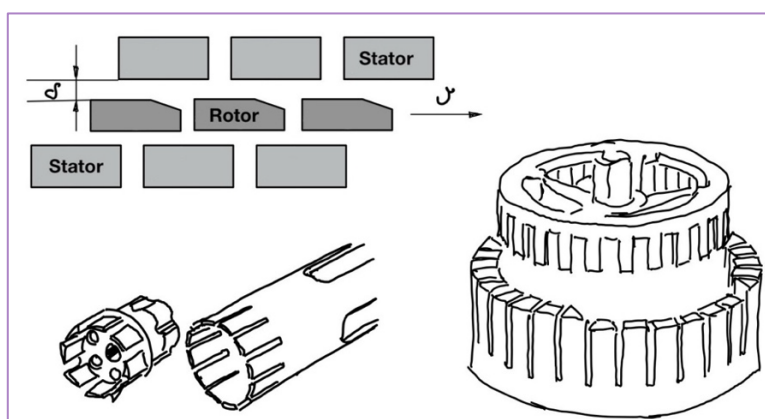


Figure 15 Le taux de cisaillement calculé et l'énergie de cisaillement appliquée d'un homogénéisateur rotor-stator doivent être maintenus identiques pour l'équipement de laboratoire et l'installation de production !

Des instructions détaillées, de la théorie et des modèles peuvent être trouvés dans l'annexe B1 (en anglais).

2 TAILLE DES PARTICULES

Dans la pratique, il est courant d'évaluer la taille des particules à l'aide de la microscopie. Cela est utile en termes d'assurance qualité. Dans le cadre du projet actuel, la distribution exacte a également été mesurée par diffraction laser et différents échantillons ont été comparés.

- ✓ La distribution de la taille des particules (PSD, Particle Size Distribution) doit être déterminée par des méthodes analytiques.
- ✓ La forme de la distribution de la taille des particules peut fournir des indications sur des problèmes potentiels. La répartition des particules doit être égale.
- ✓ Il est avantageux d'avoir un standard représentatif normalisée de la distribution de la densité volumique q_3 .



Figure 16 Mesure d'une PSD à l'HSLU : à gauche diffraction laser, à droite centrifugeuse optique.

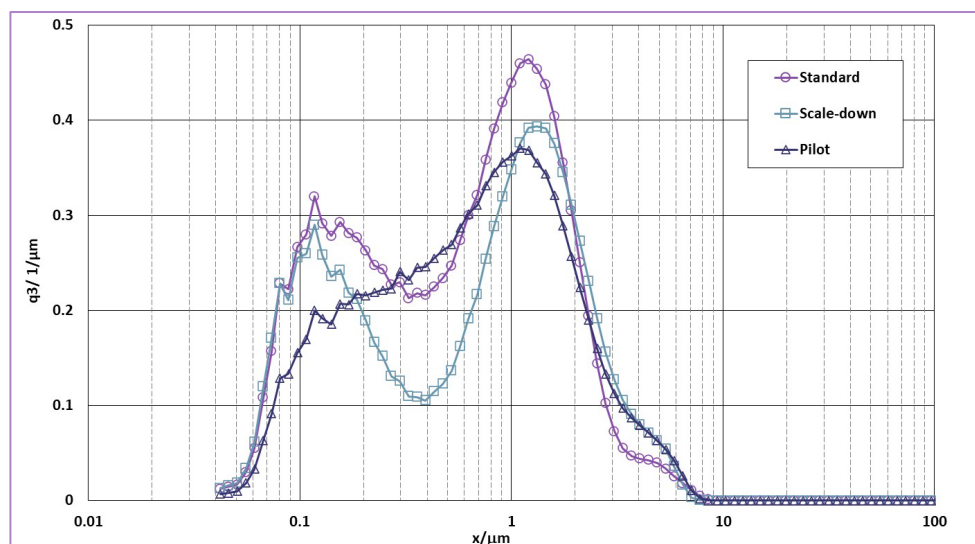


Figure 17 Distribution de la taille des particules d'un produit standard comparée à un lot de laboratoire et à un lot pilote après une modification de température. (Exemple de l'annexe A1)

Des instructions détaillées, de la théorie et des études de cas peuvent être trouvés dans l'annexe B2 de 8 pages.

3 RHÉOLOGIE

Les méthodes de mesure rhéologiques sont utilisées pour caractériser la qualité des émulsions. Dans certaines conditions, elles peuvent également fournir des informations sur la stabilité à long terme ou le comportement sensoriel. Les mesures rhéologiques présentées ici ont été réalisées à l'aide d'un rhéomètre Anton Paar MCR 302. Il s'agit de mesures avec géométrie de mesure plan-plan (PP) qui ont été réalisées en mode rotation ou oscillation.

3.1 Viscosité

La viscosité est un paramètre de qualité important et facile à déterminer. Les émulsions cosmétiques sont fluidifiantes aux cisaillements. Plus la granulométrie de la phase dispersée est fine, plus le produit devient visqueux en raison des interactions à une densité de conditionnement élevée. La viscosité d'un produit est fortement influencée par le type et la quantité de la phase cristalline liquide formée, qui résulte de l'ajout de l'émulsifiant et d'autres composants lipidiques structurants. La disposition des cristaux lipidiques dans l'émulsion joue un rôle décisif.

3.2 Propriétés viscoélastiques (élasticité et contrainte d'écoulement)

Contrairement à la mesure de la viscosité, les propriétés viscoélastiques sont mesurées dans une zone non destructrice de la texture située en dessous du seuil d'écoulement. Le module de stockage G' indique la part élastique, le module de perte G'' indique la part visqueuse ou fluide. La plage viscoélastique linéaire (LVE) définit une valeur plateau. La plage de mesure est limitée par le seuil d'écoulement.

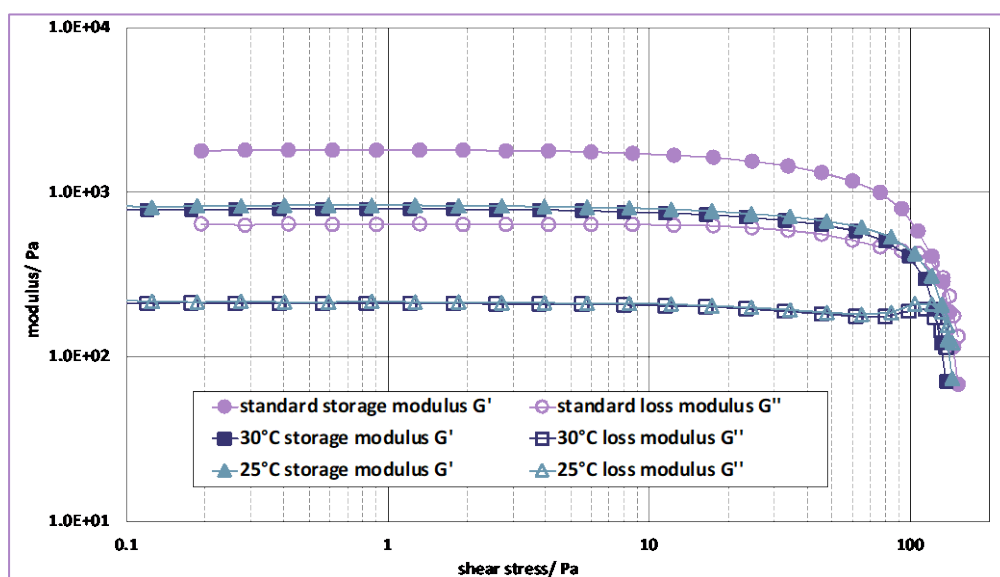


Figure 18 Représentation des propriétés viscoélastiques de 3 échantillons avec une température de sortie de 30°C (nouveau), de 25° (traditionnel) par rapport à l'ancien standard.

Des instructions détaillées, de la théorie et des études de cas peuvent être trouvées dans l'annexe B3 (en anglais).

4 ANALYSE SENSORIELLE

L'analyse sensorielle rend tangibles les propriétés macro- ou microscopiques des produits. Lorsque cela se produit dans un cadre scientifique, on parle de la discipline scientifique de la « science sensorielle ». Alors que les utilisateurs non formés sont plus susceptibles de fournir des informations sur l'acceptation ou la préférence d'un produit, dans les méthodes de test descriptives, des experts formés utilisent un protocole de test pour évaluer les intensités ou les différences des propriétés individuelles du produit (attributs). Les personnes formées et non formées peuvent participer à un test de discrimination sensorielle comme décrit ci-dessous.



Figure 19 Vue d'une cabine d'analyse sensorielle aménagée pour une analyse descriptive de produits cosmétiques (ZHAW Wädenswil).

Le test de différence est utilisé spécifiquement pour les produits très similaires. Le **test triangulaire** utilisé ici détermine s'il existe une différence ou une similitude sensorielle perceptible entre les échantillons.

En outre, une différence peut être déterminée en fonction d'une ou plusieurs propriétés sensorielles (attributs). Toutes les informations complémentaires peuvent être trouvées dans la norme ISO 4120:2021, Analyse sensorielle - Méthodologie - Essai triangulaire.

L'objectif de l'essai permet de définir le nombre de personnes testées ainsi que la séquence de test. Le test de différence peut être effectué avec 24 à 30 personnes testées. Avec un niveau de signification de $\alpha=5\%$, cela équivaut à une procédure de sélection « stricte ».

Des instructions détaillées, de la théorie et des études de cas peuvent être trouvées dans l'annexe B4 (en anglais).

MISE EN ŒUVRE

DISCUSSION

Par le passé, de nombreuses entreprises et auteurs (y compris les auteurs de ce guide) se sont penchés sur les aspects économiques de la fabrication des émulsions. Les principaux points d'intérêt étaient la réduction du temps de fabrication, la diminution des quantités résiduelles lors de la vidange, l'amélioration de l'effet de mélange et l'augmentation de la flexibilité.

Dans le cadre de ce projet, nous avons réussi à obtenir des économies financières et à améliorer la durabilité de la production pour les produits étudiés, tout en maintenant une qualité pratiquement constante. Ce succès n'est durable que s'il est effectivement mis en œuvre pour tous les nouveaux produits et **poursuivi activement pour de futurs développements**. C'est pourquoi, outre les aspects techniques et économiques, le renforcement des compétences des employés est particulièrement important !



Figure 20 Un échange constant est essentiel pour la mise en œuvre avec succès d'une adaptation de produit ou de processus.

Les objectifs atteints (et à atteindre) peuvent être évalués dans deux catégories :

Effets sur la durabilité et l'économie : Dans toutes les entreprises, des économies d'énergie de 20 à 30% ont été réalisées, ce qui a permis de réduire leur empreinte carbone. De plus, une augmentation de la productivité de 20 à 30% a également été atteinte. Cela a été rendu possible grâce à une plus grande flexibilité dans la production, des temps de production réduits et des économies de coûts de matériaux grâce à l'optimisation du processus de nettoyage. À noter, les concepts d'efficacité mis en œuvre n'ont nécessité aucun investissement supplémentaire !

Renforcement des compétences : Grâce aux ateliers organisés au début du projet, la direction, le développement et la production ont été **sensibilisés** ensemble au sujet et ont

ensuite été encouragés à mettre en pratique ce qu'ils avaient appris grâce à un coaching adéquat tout au long de la mise en œuvre. La communication entre les différents services et les échanges réguliers ont été encouragés. Les connaissances implicites issues de l'expérience ont été recueillies de manière valorisante auprès des employés, dont certains travaillaient dans l'entreprise depuis de nombreuses années. La communication entre les départements sur les produits et les défis se fait désormais sur la base de faits et d'indicateurs clés de performance (KPI). La compréhension de l'apport énergétique, du taux de cisaillement et des temps d'homogénéisation enrichit la discussion qui portait auparavant sur le « le temps et la vitesse de rotation ». La détermination métrologique des paramètres de qualité élargit l'approche précédente (go/no-go) pour la validation des produits.

Rétrospectivement, on a pu constater à quel point les habitudes et les connaissances traditionnelles peuvent être tenaces. Des habitudes telles que « les températures de processus dans le processus Hot-Hot doivent être au moins de 15 à 20 °C au-dessus du point de fusion le plus élevé des ingrédients », ou « pour des raisons microbiologiques, les températures de sortie doivent être maintenues aussi basses que possible », ou encore « lors du refroidissement du produit dans le mélangeur, l'agitateur doit être réglé sur une vitesse lente » et bien d'autres ont dû être révisées. Ce travail de persuasion a pu être réalisé grâce à des connaissances basées sur des faits.

Dans ce projet, nous avons pu démontrer que malgré des températures de traitement plus basses, des produits physiquement stables aux propriétés sensorielles fines peuvent être fabriqués. Les partenaires du projet n'ont reçu aucun retour négatif concernant la contamination microbienne (détermination du nombre total de germes) aux températures de sortie plus élevées.

Au cours du projet, certaines formulations (systèmes multimodaux) se sont distinguées en termes de distribution de la taille des particules, ne correspondant pas nécessairement à la distribution idéale pour une émulsion cosmétique. Cependant, malgré ou peut-être à cause de ces anomalies, il s'agissait de produits appréciés et uniques sur le marché qui représentaient néanmoins des systèmes physiquement stables. Ces émulsions ont également pu être optimisées grâce aux processus ajustés.

Alors que la méthodologie de réduction des volumes et de contrôle qualité est désormais standardisée, les informations sur les formulations sont très individuelles et basées sur les gammes de produits de chaque entreprise. Cela s'applique également aux thèmes de la décarbonisation et de l'efficacité énergétique, ainsi qu'à la description des systèmes de production. Tout cela dépend de l'équipement spécifique de chaque entreprise et de l'intégration énergétique sur place.

Les auteurs ne prétendent donc pas à l'exhaustivité de ce guide. Toutefois, les études de cas et les bases théoriques décrites ici ont été préparés avec le plus grand soin, au mieux de nos connaissances et sur la base de résultats scientifiques.

LES BASES POUR COMMENCER

Pour l'introduction et la mise en œuvre dans votre propre entreprise, les auteurs recommandent les étapes suivantes :

Liste de contrôle de préparation :

- ✓ Choisissez un produit sur lequel s'exercer sans trop de risques. Idéalement, une émulsion H/E avec une teneur en huile supérieure à 20% et des viscosités comprises entre 10 Pas et 100 Pas à un taux de cisaillement de 5/s.
- ✓ Mettez en place des formations et ateliers avec les employés du laboratoire et de la production. Créer une expérience et un langage communs.
- ✓ Commencez par une réduction d'échelle (scale-down) d'une installation de production à une installation de laboratoire pour apprendre et vérifier les pratiques actuelles et la conformité au concept de réduction d'échelle de ce guide.
- ✓ Vérifiez les exigences techniques, telles que l'incorporation directe de la phase huileuse dans le rotor-stator en production et en laboratoire.
- ✓ Vérifiez l'accès aux analyses DSC, rhéomètre, diffraction laser et analyse sensorielle
- ✓ Sécurisez des quantités suffisantes de matières premières pour la production d'échantillons (au moins 10 lots à l'échelle du laboratoire, au moins 2 à 3 lots à l'échelle industrielle).
- ✓ Veillez à vérifier que les ressources nécessaires à la réalisation du projet sont disponibles. Il faut compter jusqu'à 6 mois pour la durée du projet et il est important que la direction soutienne le projet. Des objectifs doivent être fixés et les succès doivent être communiqués !

Les auteurs se tiennent à disposition pour un soutien individuel sur place.

PRÉSENTATION / DIFFUSION

Le projet a déjà été présenté lors des événements suivants :

Olten, 15. September 2023, Weiterbildungs-event der Schweizerische Gesellschaft der Kosmetik-Chemiker SWISS SCC, https://www.swissccc.ch/wp-content/uploads/2022/05/Programm_SWISSCCC_Weiterbildung_Sept_2022.pdf, Titel: Erste Erkenntnisse - Projekt Energieeffizienz in der Kosmetikbranche; Testimonials der Projektpartner - Umsetzung in der Industrie; Erste Schritte hin zu mehr Energieeffizienz Ihres Betriebes

Cambridge, UK, -July 5, 2023, SCS UK-Society of Cosmetic Chemists Annual Conference, L. Fischer, Petra Huber, title: Energy Efficient Production of Cosmetics.

Barcelona, Spain, September 4th to 7th, 2023, International Conference of the IFSCC: Petra Huber, L. Fischer, title: The path to zero CO₂, using formulation and process expertise – a time and energy saving journey.

Berlin-, [Germany](#) October 26, 2023, SEPAWA Congress, [L. Fischer](#), [Petra Huber](#) Title: Reduce to the max - making emulsion with reduced energy, process time and costs.

Paris-, [France](#), April 18, 2024, Incosmetics, [L. Fischer](#), [Petra Huber](#), title: Energy Efficient Cosmetic Production.

REMERCIEMENTS

Cette recherche en milieu industriel a été soutenue par les plateformes SWISS SCC, EnergieSuisse et Energy Lab.

En tant que sponsor principal, EnergieSuisse est soumise au droit public. Nous répondons ainsi à leurs exigences en matière de communication transparente et de transfert de connaissances. Les auteurs n'ont aucun lien économique avec les entreprises impliquées et n'ont aucun conflit d'intérêts. Ce document est mis gratuitement à la disposition des entreprises suisses du secteur cosmétique. Il est prévu de poursuivre le projet avec d'autres entreprises.

Nous tenons à remercier les membres du comité de direction et les responsables, ainsi que nos partenaires industriels La Prairie AG, Frike Group, Steinfels Swiss et Kinematica AG pour leur soutien et le dialogue ouvert et stimulant qui a eu lieu tout au long de nos travaux de recherche. Nous tenons également à remercier les collaborateurs et les étudiants de la HSLU et de la ZHAW pour leur soutien dans le cadre des analyses et la création des graphiques.

Initier un changement de paradigme nécessite du temps et des incitations continues, mais surtout des collaborateurs et des managers motivés et visionnaires, prêts à remettre en question et à essayer sans cesse de nouvelles choses, de manière proactive et sans pression réglementaire extérieure. C'est ça, l'entrepreneuriat innovant ! Nos générations futures vous en seront reconnaissantes.

Dans cet esprit, nous vous souhaitons beaucoup de succès !

Pour toute demande de renseignements ou coaching en interne veuillez-vous adresser à :
Prof. Dr. Ludger J. Fischer ludger.fischer@hslu.ch ou Petra Huber, petra.huber@zhaw.ch .