EXEMPLE D'APPLICATION PROSIMPLUS

SIMULATION D'UN ECHANGEUR A PLAQUES UTILISE POUR REFROIDIR UNE SOLUTION DE SUCROSE AVEC L'OPERATION UNITAIRE CAPE-OPEN CO-PROSIM PHE

INTERET DE L'EXEMPLE
Cet exemple présente le calcul d'un échangeur de chaleur à plaques à deux fluides utilisé pour refroidir une solution de sucrose (60° Brix) avec de l'eau. Cet échangeur de chaleur contre-courant a deux passes de chaque côté. Chaque passe est à contre-courant. Le corps pur sucrose est modifié pour représenter les propriétés physico-chimiques de la solution de sucrose (60° Brix). Cet échangeur de chaleur est modélisé en utilisant CO-ProSim PHE, l'opération unitaire CAPE-OPEN de Fives ProSim dédiée à la simulation des échangeurs à plaques. CO-ProSim PHE permet de prendre en compte l'effet de l'empilage et de la pression sur les courbes enthalpiques. Dans cet exemple, l'opération unitaire CO-ProSim PHE est exécutée dans le logiciel de simulation de procédés continus en régime permanent ProSimPlus, les données thermodynamiques et physico-chimiques étant automatiquement calculées en utilisant Simulis Thermodynamics, le serveur de calculs thermodynamiques de ProSimPlus.

DIFFUSION	☑ Libre Internet	☐ Réservée clients	☐ Restreinte	☐ Confidentielle

FICHIER PROSIMPLUS CORRESPONDANT	*COPROPHE_EX_FR-Refroidissement-de-sucrose.pmp3*

Il est rappelé au lecteur que ce cas d'utilisation est un exemple et ne doit pas être utilisé à d'autres fins. Bien que cet exemple soit basé sur un cas réel il ne doit pas être considéré comme un modèle de ce type de procédé et les données utilisées ne sont pas toujours les plus exactes disponibles. Fives ProSim ne pourra en aucun cas être tenu pour responsable de l'application qui pourra être faite des calculs basés sur cet exemple.

Fives ProSim
Siège social : Immeuble Stratège A - 51 rue Ampère - 31670 Labège - FRANCE
Tél. : +33 (0)5 62 88 24 30
S.A.S. au capital de 147 800 € - 350 476 487 R.C.S. Toulouse - Siret 350 476 487 00037 - APE 5829C - N° TVA FR 10 350 476 487
www.fivesgroup.com / www.fives-prosim.com

TABLE DES MATIERES

1. MODELISATION DU PROCEDE 3

1.1. Description du procédé 3

1.2. Schéma du procédé 4

1.3. Constituants 5

1.4. Modèle thermodynamique 6

1.5. Paramètres opératoires 6

1.5.1. Alimentations du procédé 6

1.5.2. Echangeur de chaleur à plaques 6

1.5.3. Opérations unitaires « Mesure » 12

1.6. Initialisations 12

2. RESULTATS 13

2.1. Bilans matière et énergie 13

2.2. Profil dans l'échangeur à plaques 14

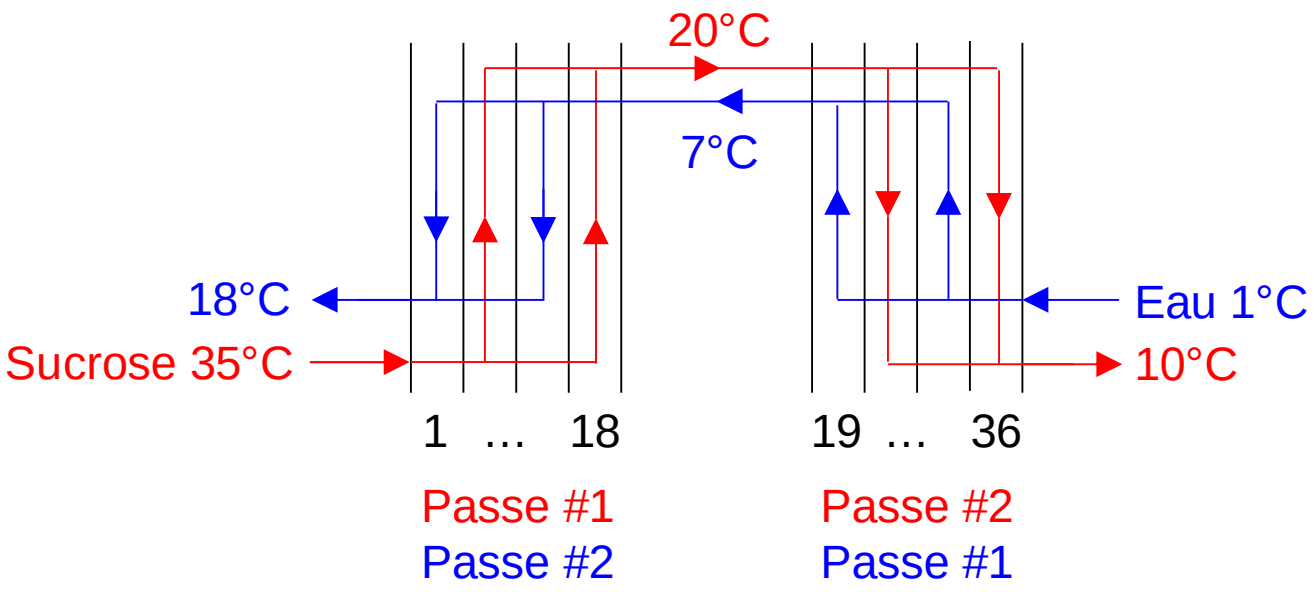
3. BIBLIOGRAPHIE 15

Copyright © 2025 Fives ProSim, Labège, France –Tous droits réservés

1. MODELISATION DU PROCEDE

1.1. Description du procédé

Dans cet exemple, un échangeur de chaleur à plaques est utilisé pour refroidir une solution de sucrose (60° Brix) avec de l'eau. Le courant chaud est la solution de sucrose et le courant froid est le courant d'eau. Cet échangeur est à contre-courant avec deux passes pour chaque côté. Chaque passe est à contre-courant et comporte 18 passages (9 pour chaque fluide). Son schéma est présenté sur la figure ci-dessous. Cet exemple est extrait de [GUT03].



Dans cet exemple, l'opération unitaire CAPE-OPEN CO-ProSim PHE est utilisée dans l'environnement de simulation ProSimPlus et Simulis Thermodynamics, le serveur de calcul des propriétés physico-chimiques et d'équilibres entre phases étant utilisé pour le calcul des grandeurs thermodynamiques.

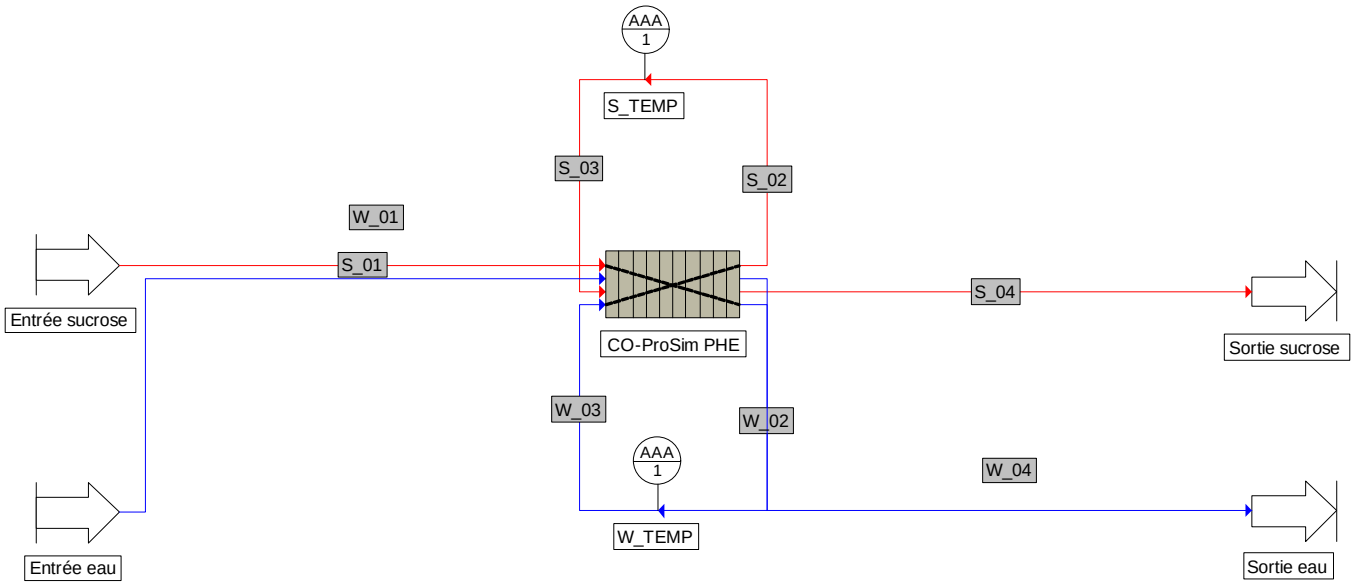
Copyright © 2025 Fives ProSim, Labège, France –Tous droits réservés

1.2. Schéma du procédé

Le schéma du procédé est représenté ci-dessous. Une seule opération unitaire CAPE-OPEN CO-ProSim PHE est utilisée pour modéliser dans le même module les deux passes de l'échangeur de chaleur.

La solution de sucrose chaude entre dans l'échangeur de chaleur par le courant « S_01 ». Le courant « S_02 » quittant l'opération unitaire est la solution de sucrose sortant de la passe #1. Comme dans l'environnement de simulation ProSimPlus il n'est pas autorisé de connecter directement une sortie d'une opération unitaire à une entrée de la même opération unitaire, un module mesure, « S_TEMP », est utilisé pour permettre cette connexion. Ainsi les courants « S_02 » et « S_03 » font la connexion entre les passes #1 et #2 du côté sucrose, « S_03 » étant le courant entrant de la passe #2. Finalement, la solution de sucrose refroidie quitte l'échangeur de chaleur pour le courant « S_04 ».

L'eau suit un parcourt analogue.



Copyright © 2025 Fives ProSim, Labège, France –Tous droits réservés

1.3. Constituants

Les constituants de cette simulation, leurs formules chimiques et leurs numéros CAS sont montrés dans le tableau suivant. Les propriétés de corps purs de l'eau sont extraites de la base de données standard fournie avec ProSimPlus [ROW23].

Constituant	Formule chimique	Numéro CAS[1]
Eau	H_2O	7732-18-5
Sucrose 60° Brix	-	55000-01-6

La solution de sucrose (60° Brix) a été créée à partir du constituant sucrose (numéro CAS[1] : 57-50-1) disponible dans la base de données standard fournie avec ProSimPlus [ROW23]. Les propriétés modifiées pour modéliser les caractéristiques physico-chimiques d'une solution de sucrose (60° Brix) sont :

- ✓ Nom IUPAC : Sucrose 60° Brix
- ✓ Numéro CAS[1] : 55000-01-6
- ✓ Chaleur spécifique liquide [GUT03] :

$$Cp_L = 4{,}803T + 2696 \quad (J.kg^{-1}.K^{-1})$$

$$0 \leq T \leq 100°C$$

- ✓ Chaleur spécifique gaz parfait :

$$Cp_G = Cp_L$$

- ✓ Enthalpie de vaporisation :

$$\Delta H_{vap} = 0$$

- ✓ Masse volumique liquide [GUT03] :

$$\rho_L = -1{,}451.10^{-3}T^2 - 0{,}4281T + 1296 \quad (kg.m^{-3})$$

$$0 \leq T \leq 60°C$$

- ✓ Viscosité dynamique liquide [GUT03] :

$$log\mu_L = -4{,}513 + \frac{421{,}8}{T + 108{,}5} \quad (Pa.s)$$

$$0 \leq T \leq 80°C$$

- ✓ Conductivité thermique liquide [GUT03] :

$$\lambda_L = -3{,}696.10^{-6}T^2 + 1{,}201.10^{-3}T + 0{,}3825 \quad (W.m^{-1}.K^{-1})$$

$$0 \leq T \leq 80°C$$

[1] *CAS Registry Numbers® are the intellectual property of the American Chemical Society and are used by Fives ProSim SAS with the express permission of ACS. CAS Registry Numbers® have not been verified by ACS and may be inaccurate.*

Copyright © 2025 Fives ProSim, Labège, France –Tous droits réservés

1.4. Modèle thermodynamique

Comme les deux côtés de l'échangeur de chaleur sont des courants liquides modélisés par un corps pur (eau côté froid) et par un pseudo-constituant (sucrose côté chaud), le profil thermodynamique « Idéal » est sélectionné.

1.5. Paramètres opératoires

1.5.1. Alimentations du procédé

	Courant chaud	Courant froid
Température (°C)	35	1
Pression (bar)	2	1.2
Débit total (kg/s)	1,3	1,3
Fractions molaires		
Sucrose 60° Brix	1	0
Eau	0	1

1.5.2. Echangeur de chaleur à plaques

✓ Paramètres généraux

Paramètres	Valeur
Type d'échangeur	CO-ProSim PHE
Nombre de corps	1
Inclinaison	Vertical
Largeur utile (cm)	23,6
Epaisseur des plaques (mm)	0,7
Matériau Type Nom Conductivité thermique (W/m/K)	 Autre Acier inox 17

Copyright © 2025 Fives ProSim, Labège, France –Tous droits réservés

✓ Paramètres des courants

	Courant			
	Solution de sucrose Entrée passe #1	**Eau Entrée passe #1**	**Solution de sucrose Entrée passe #2**	**Eau Entrée passe #2**
Nom	Hot	Cold	Hot2	Cold2
Couleur				
Sens d'écoulement	Du bas vers le haut		Du haut vers le bas	
Coefficient d'encrassement (W/m²/K)	11 627,90698	58 823,52941	11 627,90698	58 823,52941
Corrélation de calcul du coefficient d'échange	GREThh plaques et joints			
Génération des propriétés physico-chimiques	Non tabulé (c'est-à-dire automatiquement calculé par le serveur de calculs thermodynamiques de l'environnement de simulation, Simulis Thermodynamics dans cet exemple)			
Effet de la pression sur les courbes enthalpiques	Non prise en compte			
Autres paramètres	Valeurs par défaut			

	Le nom et la couleur seront utilisés pour bien reconnaître chaque courant dans la suite (description des passages de référence et de l'empilage).

Copyright © 2025 Fives ProSim, Labège, France –Tous droits réservés

✓ Caractéristiques des plaques

La corrélation proposée par [WAN95] peut être utilisée dans CO-ProSim PHE pour calculer les facteurs de Colburn et de Fanning. Dans cet exemple, pour comparer les résultats de CO-ProSim PHE et ceux de [GUT03], les corrélations de [GUT03] seront utilisées sous la forme de données tabulées à la place de celle de [WAN95]. Du fait de la différence de nombre de Reynolds entre les deux côtés, deux plaques sont définies (une pour chaque côté).

Nom	Plaque chaude	Plaque froide
Référence	1001	1002
Mode de calcul	Données de performances fournies	
Type	Plaque à corrugation	
Hauteur des corrugations (mm)	2,7	
Angle des corrugations (°)	45	
Facteur d'agrandissement de la surface **Type** **Valeur**	 Fourni 1,17	
Autres paramètres	Valeurs par défaut	

Les données de performance des deux plaques sont listées dans le tableau suivant.

Plaque chaude		
Nombre de Reynolds	**Facteur de Fanning**	**Facteur de Colburn**
1	18,290000	0,400000
4	7,407482	0,229104
7	5,142920	0,182949
10	4,075808	0,158511
13	3,434968	0,142644
16	3,000043	0,131221
19	2,682047	0,122462
22	2,437553	0,115453
25	2,242626	0,109670
28	2,082892	0,104786
31	1,949153	0,100585
34	1,835226	0,096918
37	1,736785	0,093679
40	1,650709	0,090789
43	1,574680	0,088187
46	1,506939	0,085828
49	1,446125	0,083676
52	1,391168	0,081701
55	1,341211	0,079879

Plaque froide		
Nombre de Reynolds	**Facteur de Fanning**	**Facteur de Colburn**
100	0,558038	0,063551
200	0,483784	0,050312
300	0,445017	0,043887
400	0,419411	0,039832
500	0,400568	0,036946
600	0,385802	0,034744
700	0,373744	0,032986
800	0,363603	0,031534
900	0,354887	0,030307
1000	0,347267	0,029250
1100	0,340516	0,028325
1200	0,334467	0,027507
1300	0,328997	0,026775
1400	0,324012	0,026114
1500	0,319440	0,025514
1600	0,315221	0,024965
1700	0,311309	0,024460
1800	0,307665	0,023994
1900	0,304257	0,023560

Copyright © 2025 Fives ProSim, Labège, France –Tous droits réservés

✓ Passages de référence

Les caractéristiques des distributeurs sont décrites dans le tableau ci-dessous.

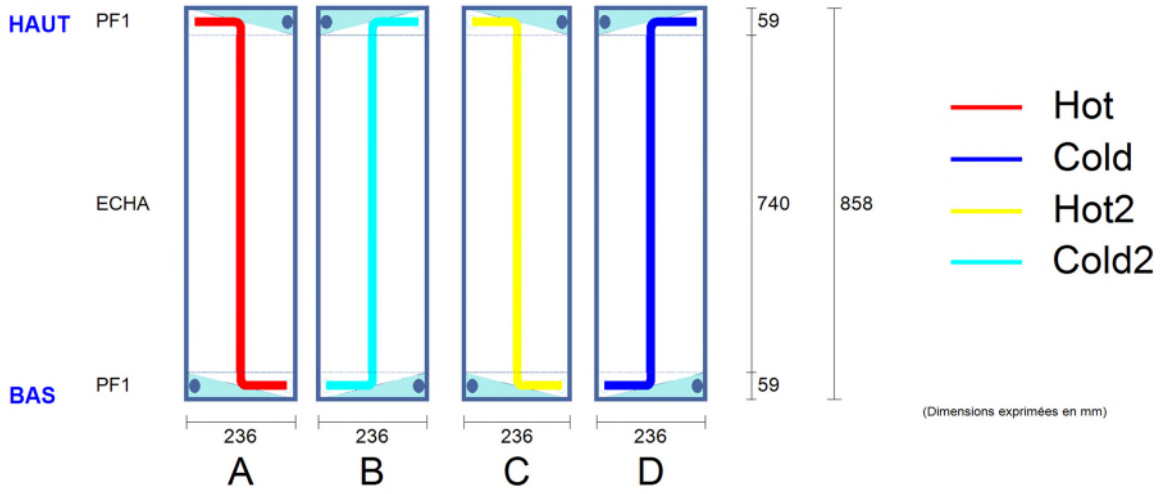
	Caractéristiques des distributeurs			
Passage de référence	A	B	C	D
Type de distributeur	PF1			
Hauteur du bloc (mm)	59			
Plaque	Plaque chaude	Plaque froide	Plaque chaude	Plaque froide
Rugosité **Type** **Valeur (mm)**	 Absolue 0			
Géométrie des tubulures	Circulaire			
Diamètre des tubulures (mm)	59			
Courant	Hot	Cold2	Hot2	Cold
Autres paramètres	Valeurs par défaut			

	Pour comparer les résultats avec [GUT03], il est supposé que les hauteurs des blocs de distribution sont égales aux diamètres de leurs tubulures.

Les plaques utilisées pour les zones d'échange de chaleur sont montrées dans le tableau ci-après.

	Caractéristiques des zones d'échange de chaleur			
Passage de référence	A	B	C	D
Hauteur du bloc (mm)	740			
Plaque	Plaque chaude	Plaque froide	Plaque chaude	Plaque froide
Courant	Hot	Cold2	Hot2	Cold

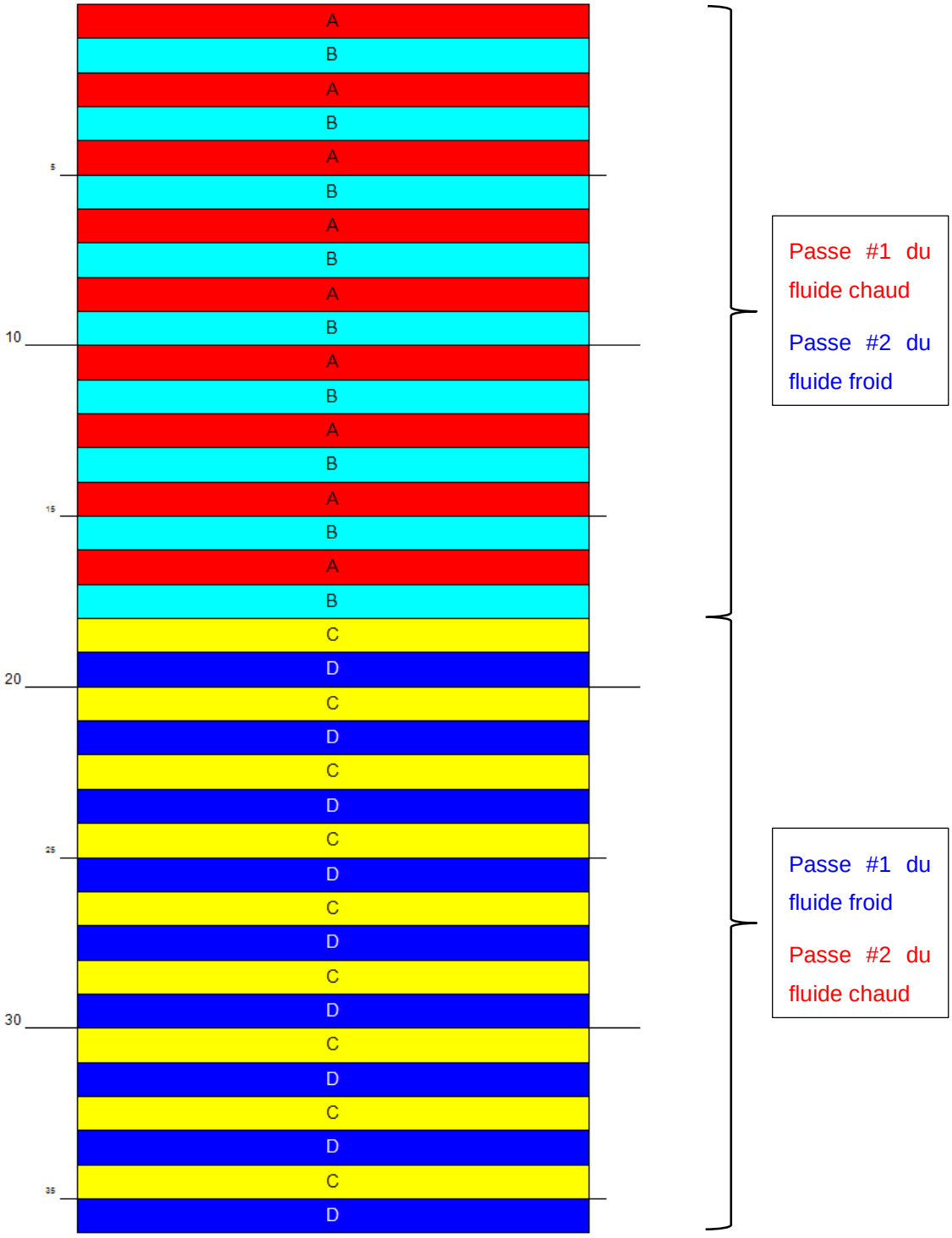
La figure suivante montre les quatre passages de référence de cet échangeur de chaleur.



Copyright © 2025 Fives ProSim, Labège, France –Tous droits réservés

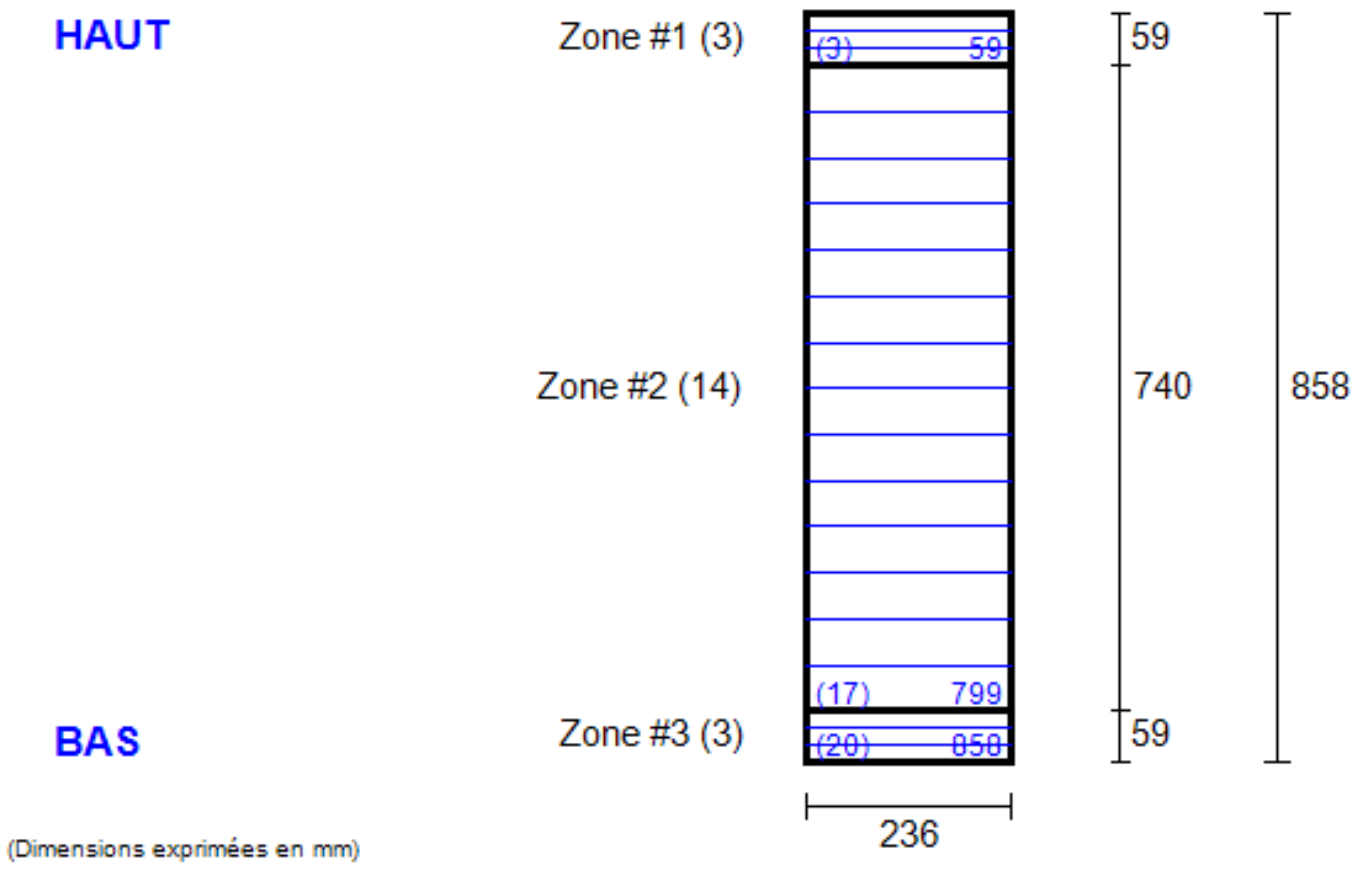
✓ Empilage

Paramètres	Valeur
Séquence 1	
Nombre de répétitions de la séquence	9
Séquence	A B
Séquence 2	
Nombre de répétitions de la séquence	9
Séquence	C D



Copyright © 2025 Fives ProSim, Labège, France –Tous droits réservés

✓ Nombre de mailles pour chaque zone élémentaire



✓ Paramètres numériques

Dans CO-ProSimPlus PHE, les coefficients de transfert de chaleur des distributeurs sont pris par défaut à 20% de ceux correspondant à la plaque d'échange de chaleur de même caractéristiques. Dans cet exemple, pour faire une comparaison avec les résultats de [GUT03], ce paramètre est mis à égal à zéro, c'est-à-dire que les performances thermiques des distributeurs ne sont pas prises en compte dans cet exemple.

Copyright © 2025 Fives ProSim, Labège, France –Tous droits réservés

1.5.3. Opérations unitaires « Mesure »

Dans l'environnement de simulation ProSimPlus il n'est pas autorisé de connecter directement une sortie d'une opération unitaire à une entrée de cette même opération unitaire. Pour contourner cela, des modules « Mesure » sont utilisés car alors deux courants sont créés. Ils sont configurés pour donner l'écart entre les températures calculées par la simulation et celles calculées par [GUT03].

	Paramètre	
Courant	Solution de sucrose	Eau
Mesure	Température	
Consigne (°C)	20	7

1.6. Initialisations

La séquence de calcul est automatiquement déterminée par ProSimPlus. Deux courants coupés sont détectés : « S_03 » et « W_03 », c'est-à-dire les courants reliant les deux passes de l'échangeur de chaleur. Les initialisations suivantes sont utilisées dans la simulation.

	S_03	**W_03**
Température (°C)	20	7
Pression (bar)	2	1.2
Débit total (kg/s)	1.3	1.3
Fractions molaires		
Sucrose 60° Brix	1	0
Eau	0	1

Copyright © 2025 Fives ProSim, Labège, France –Tous droits réservés

2. RESULTATS

2.1. Bilans matière et énergie

Ce paragraphe présente uniquement les principaux résultats des courants. Dans ProSimPlus, les bilans matière et énergie et les propriétés de transport sont fournis pour tous les courants. Les résultats des courants sont aussi disponibles au niveau de l'opération unitaire (onglet « Courants » dans la fenêtre de configuration).

Courants		S_01	S_03	S_04	W_01	W_03	W_04
Débit total (massique)	kg/h	4680	4680	4680	4680	4680	4680
Fractions massiques							
WATER		0	0	0	1	1	1
Sucrose 60° Brix		1	1	1	0	0	0
Etat physique		Liquide	Liquide	Liquide	Liquide	Liquide	Liquide
Température	°C	35	19.378	9.5832	1	7.2791	17.954
Pression	bar	2	1.5509	1.117	1.2	1.0431	1.0578
Flux enthalpique	kW	36.921	-20.481	-55.697	-3293.1	-3258.7	-3200.4
Fraction vaporisée molaire		0	0	0	0	0	0

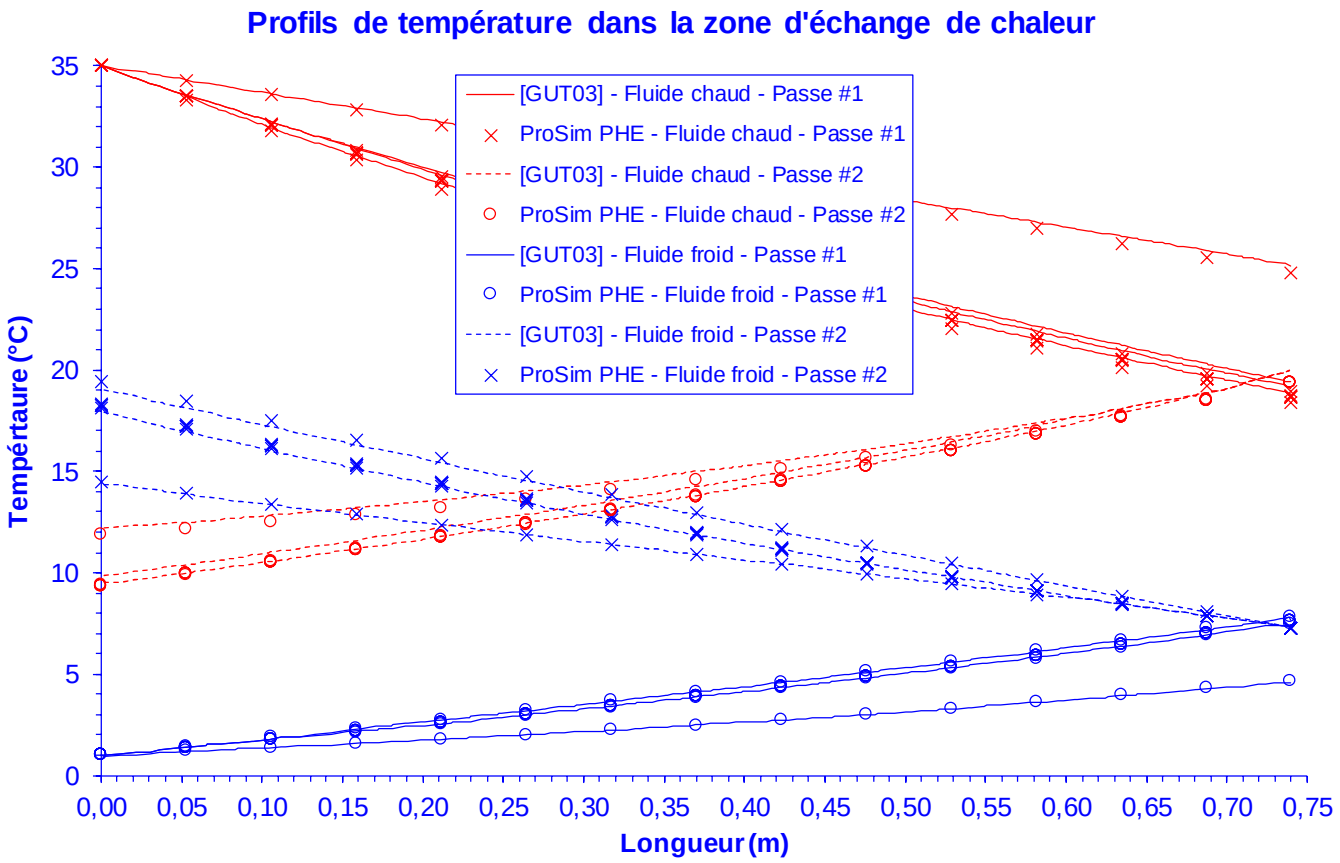
Le tableau suivant montre que C-ProSim PHE donne des résultats similaires à ceux de [GUT03].

	[GUT03]	CO-ProSim PHE
Température de sortie (°C)		
Fluide chaud (sucrose 60° Brix)	10,0	9,6
Fluide froid (eau)	17,7	18,0
Température entre les passes (°C)		
Fluide chaud (sucrose 60° Brix)	20,0	19,4
Fluide froid (water)	7,6	7,3
Pertes de charge (bar)		
Fluide chaud (sucrose 60° Brix)	0,814	0,883
Fluide froid (water)	0,211	0,142

Copyright © 2025 Fives ProSim, Labège, France –Tous droits réservés

2.2. Profil dans l'échangeur à plaques

Différents profils (température de plaque, température de fluide, pression, coefficient de transfert de chaleur, taux de vaporisation…) dans l'échangeur de chaleur sont disponibles à la fin de la simulation depuis la fenêtre d'édition de CO-ProSim PHE (onglet « Résultats »). La figure suivante montre que ProSim PHE donne des profils de température dans la zone d'échange de chaleur (les distributeurs non représentés dans cette figure) similaires à ceux de [GUT03] pour chaque passage de chaque passe des deux côtés.



Copyright © 2025 Fives ProSim, Labège, France –Tous droits réservés

3. BIBLIOGRAPHIE

[GUT03] GUT J.A.W., PINTO J.M., "Modeling of Plate Heat Exchangers with Generalized Configurations", Int. J. Heat Mass Trans., 46, 2571-2585 (2003)

[ROW23] ROWLEY R.L., WILDING W.V., OSCARSON J.L., GILES N.F., "DIPPR® Data Compilation of Pure Chemical Properties", Design Institute for Physical Properties, AIChE (2023)

[WAN95] WANNIARACHCHI A.S., RATNAM U., TILTON B.E., DUTTA-ROY K., "Approximate Correlations for Chevron-Type Plate Heat Exchangers", 30th National Heat Transfer Conference, Vol. 12, HTD Vol. 314, ASME, 145-151 (1995)

Copyright © 2025 Fives ProSim, Labège, France –Tous droits réservés