EXEMPLE D'APPLICATION DE PROSIMPLUS

RECUPERATION DE GPL

AVEC BOUCLE DE REFRIGERATION AU PROPANE

INTERET DE L'EXEMPLE
Cet exemple présente un procédé de récupération de GPL dans un gaz avec une boucle de réfrigération au propane, un procédé particulièrement interconnecté et qui présente plusieurs recyclages. D'autre part, outre la colonne de séparation et la mise en œuvre de cette boucle de réfrigération, cet exemple exploite le module d'échangeur à plaques brasées de ProSimPlus. Ces échangeurs peuvent inclure plus de 10 courants différents ce qui rend leur modélisation et les calculs associés particulièrement complexes.

DIFFUSION	☑ Libre-Internet	☐ Réservée clients	☐ Restreinte	☐ Confidentielle

FICHIER PROSIMPLUS CORRESPONDANT	*PSPS_EX_FR-Recuperation-GPL.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.

TABLE DES MATIÈRES

1. MODELISATION DU PROCEDE 3

1.1. Présentation du procédé 3

1.2. Description de l'échangeur 3

1.3. Schéma du procédé 6

1.4. Spécification 6

1.5. Constituants 6

1.6. Modèle thermodynamique 7

1.7. Conditions opératoires 7

1.8. "Trucs et astuces" 10

2. RESULTATS 11

2.1. Commentaires sur les résultats 11

2.2. Bilans matière et énergie 11

2.4. Profil de température de la tôle de référence dans l'échangeur E101 12

2.5. Profils de compositions dans la colonne C101 13

3. BIBLIOGRAPHIE 15

Copyright © 2024 Fives ProSim, Labège, France – Tous droits réservés

1. MODELISATION DU PROCEDE

1.1. Présentation du procédé

L'objectif de ce procédé est de récupérer du GPL (gaz de pétrole liquéfié) avec une fraction massique en méthane fixée. Le GPL est un hydrocarbure composé majoritairement de coupes en C3 et C4, le propane et le butane étant les principaux composants.

L'alimentation en gaz est envoyée dans un séparateur diphasique (S101) afin d'éliminer les composés les plus lourds. Les autres composés sortent en tête et sont refroidis dans l'échangeur à plaques brasées (E101). Ils pénètrent ensuite dans un séparateur diphasique (S102) pour récupérer le méthane et l'éthane. Les deux courants de sortie (lourds et légers) sont renvoyés dans l'échangeur à plaques brasées en tant que courants froids.

Le gaz une fois traité est composé principalement de méthane et d'éthane et est évacué à la sortie de l'échangeur (courant C04out). Le gaz non liquéfié, est envoyé dans un dééthaniseur (C101), tout comme le courant de pied du premier séparateur diphasique. Cette colonne est dimensionnée pour récupérer en pied de colonne du gaz liquéfié ayant la fraction massique en méthane spécifiée.

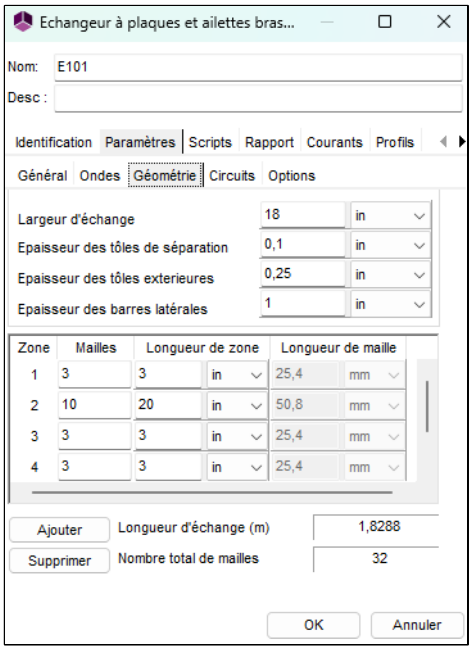
Les principaux courants froids de l'échangeur à plaques brasées (C05out et C06out) sont les deux courants de propane. A la sortie de l'échangeur à plaques, ils sont mélangés et envoyés dans un compresseur (K101) qui augmente leur pression et donc leur température. La chaleur ainsi emmagasinée est récupérée dans un échangeur (E102). Le propane passe ensuite dans une vanne de détente (V101) pour diminuer sa pression. Un mélange liquide-vapeur se forme et est envoyé dans un séparateur diphasique (S104). Le propane liquide est renvoyé dans l'échangeur à plaques (courant C05in et C06in). Le propane gazeux (courant C12) est mélangé avec les courants chauds de propane sortant de l'échangeur à plaque brasées (E101).

Le propane circule ainsi en circuit fermé dans le système où il joue le rôle de réfrigérant (boucle colorée en vert).

L'exemple est extrait de [1].

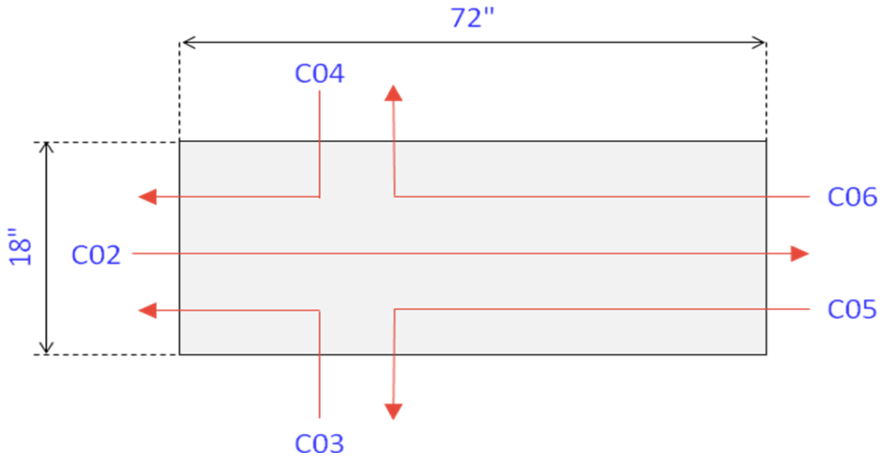
1.2. Description de l'échangeur

Ce procédé met en œuvre un échangeur de chaleur à plaques brasées (E101). Un seul de ces échangeurs peut contenir une dizaine de courants différents. Grâce à son faible coût de production et à ses hautes performances (ils sont généralement fait en aluminium), il est souvent utilisé notamment dans les procédés cryogéniques. Le modèle mis en œuvre au niveau de ProSimPlus est un modèle détaillé de ce type d'équipement qui tient compte notamment de toute la complexité de la géométrie de tels échangeurs. Cependant ce modèle fait l'hypothèse d'une température de paroi commune sur l'empilement (ou hypothèse TPC). Un autre logiciel commercialisé par ProSim (le logiciel ProSec) permet de s'affranchir de cette hypothèse pour des calculs encore plus fins.

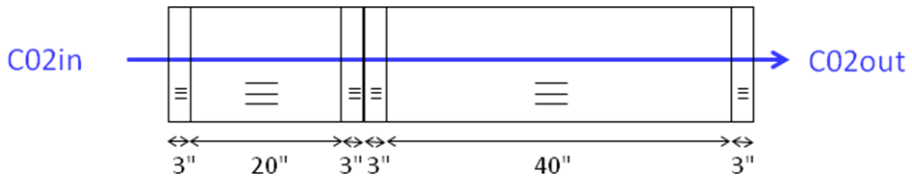


Copyright © 2024 Fives ProSim, Labège, France – Tous droits réservés

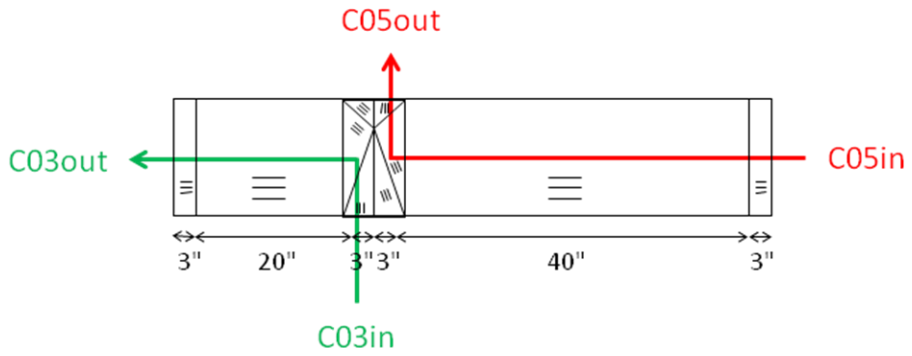
Le schéma de l'échangeur est présenté dans la figure ci-dessous :



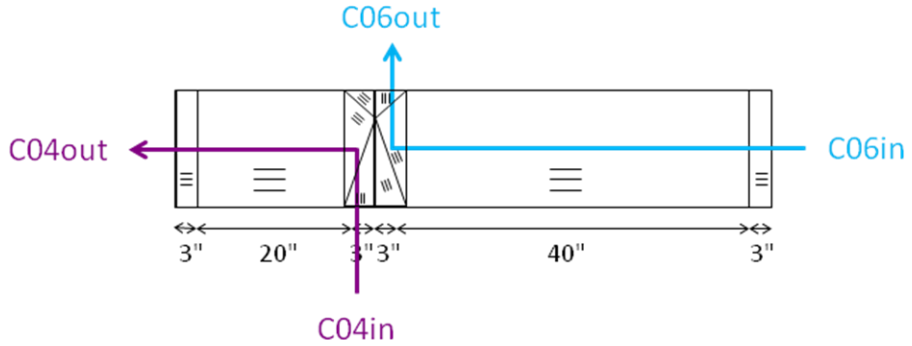
L'échangeur est constitué de trois passages de référence décrits ci-dessous partagés entre les différents courants. Le fluide principal (C02) traverse l'échangeur de part en part, les courants secondaires sont soit soutirés latéralement (C05, C06) soit alimenté latéralement (C03, C04).



40 passages



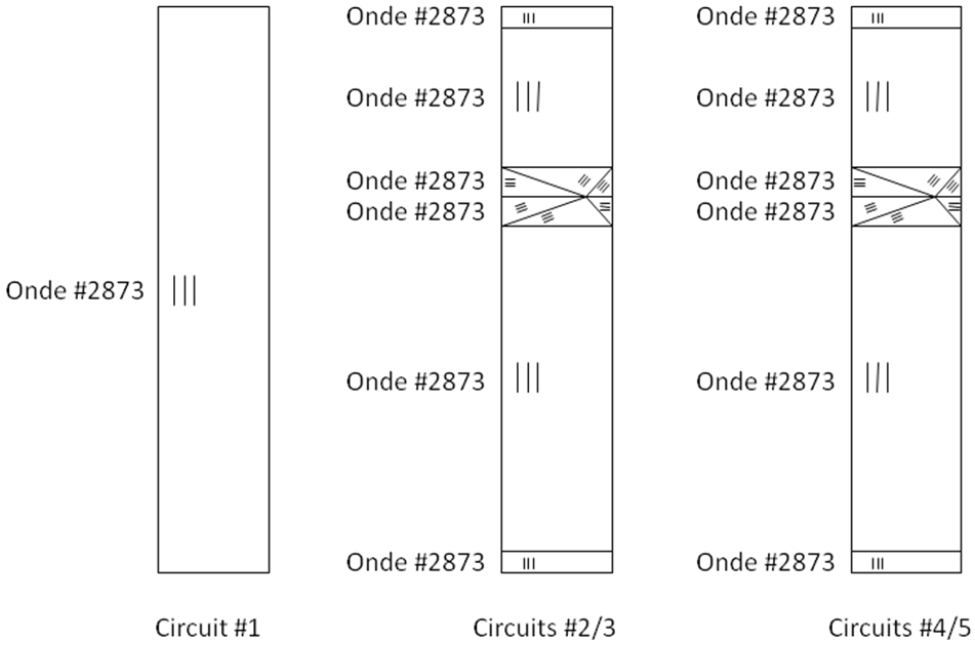
20 passages

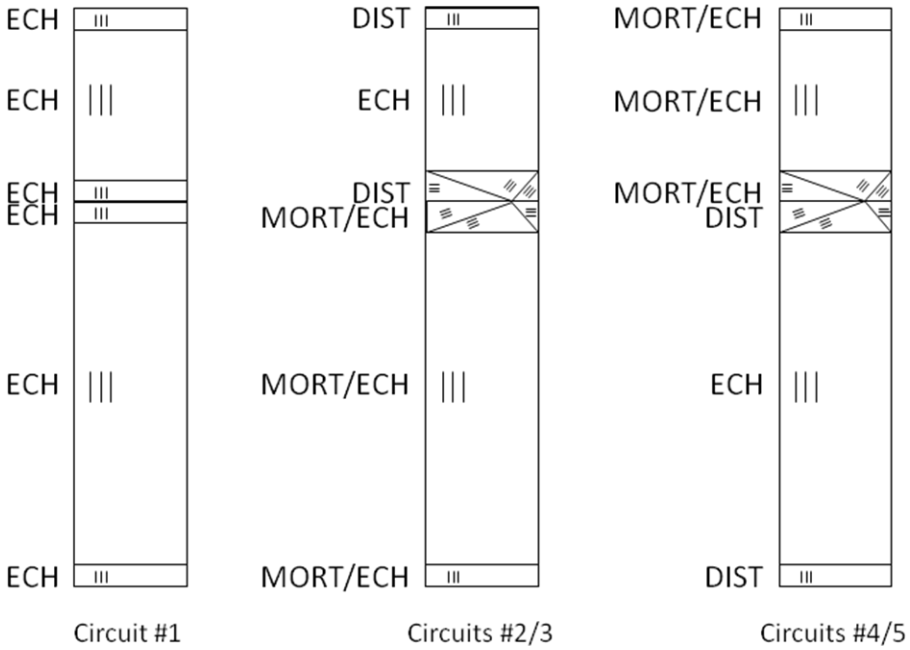


10 passages

Copyright © 2024 Fives ProSim, Labège, France – Tous droits réservés

Les figures ci-dessous présentent les ondes utilisées pour les différents circuits de l'échangeur ainsi que leur topologie (zones d'échange, de distribution et zones mortes). Une seule onde est utilisée ici (Onde #2873 Fives Cryo (anciennement Nordon Cryogénie)) :





Copyright © 2024 Fives ProSim, Labège, France – Tous droits réservés

1.3. Schéma du procédé

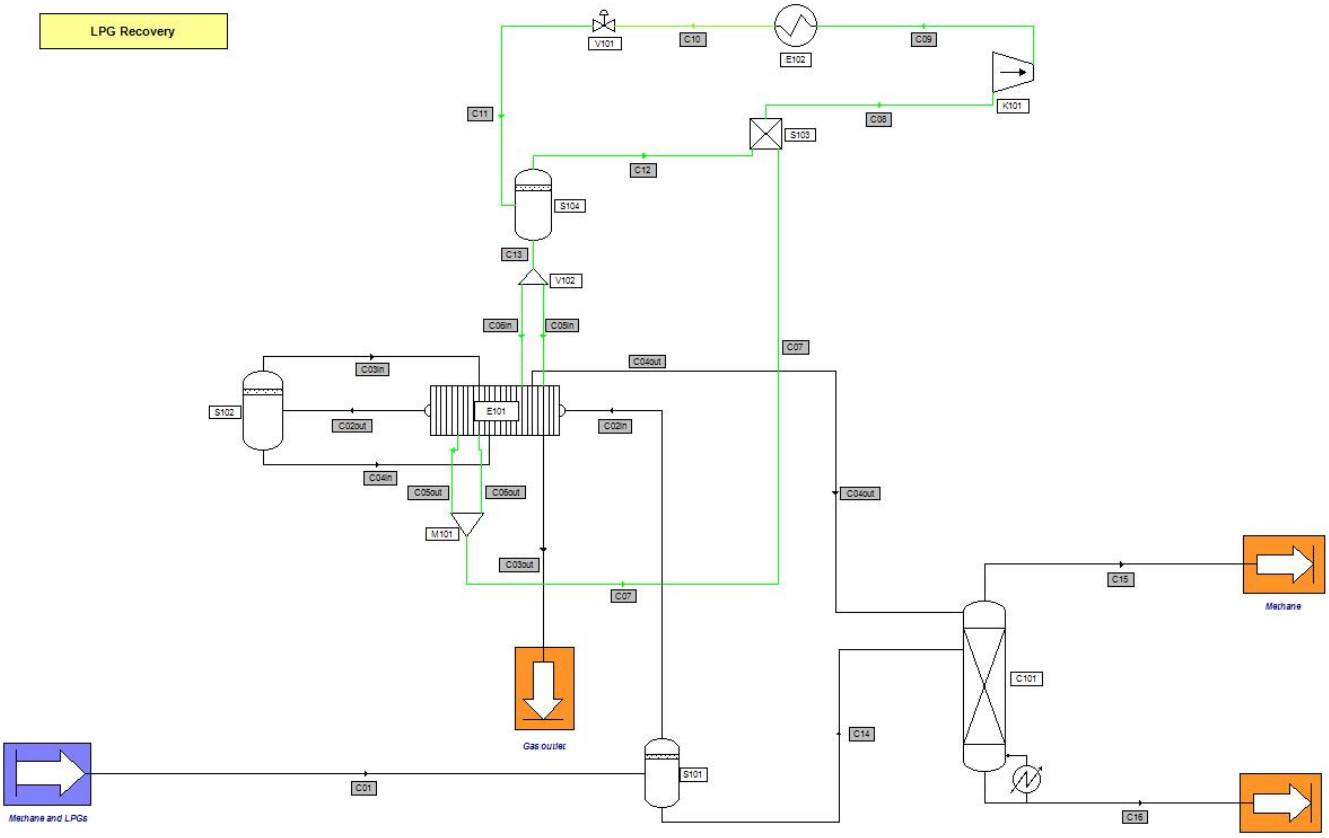


Schéma de l'unité de récupération de GPL

1.4. Spécification

La spécification de ce procédé est de récupérer du GPL avec une fraction massique en méthane égale à 0,05.

1.5. Constituants

Les constituants pris en considération dans la simulation sont extraits de la base de données standard livrée avec les logiciels ProSim. Ces constituants sont définis dans le tableau ci-après :

- Azote
- Méthane
- Ethane
- Propane
- Isobutane
- n-Butane
- Isopentane
- n-Pentane
- n-Hexane
- n-Heptane

Copyright © 2024 Fives ProSim, Labège, France – Tous droits réservés

1.6. Modèle thermodynamique

Le modèle thermodynamique est basé sur une approche par équation d'état. L'équation d'état retenue est celle de Peng Robinson [2] avec les paramètres d'interaction binaire stockés dans la base de données des logiciels ProSim.

1.7. Conditions opératoires

✓ Alimentation du procédé

Température (F)	115
Pression (psi)	833
Débit total (lb/h)	26297,8
Fractions massiques	
Azote	0,000228
Méthane	0,591275
Ethane	0,098868
Propane	0,141162
Isobutane	0,040548
n-Butane	0,044816
Isopentane	0,020351
n-Pentane	0,014024
n-Hexane	0,016791
n-Heptane	0,031937

✓ Echangeur E101

Paramètres de fonctionnement	*Valeur*
Type d'échangeur	Échangeur à plaques brasées
Nombre de corps d'échangeur	1
Nombre de circuits	5
Nombre total de passages	70
Matériau de construction	Aluminium
Position de l'échangeur	Horizontal
Ondes	Fives Cryo 2873
Porosité (%)	2,5
Coefficient de transfert de chaleur ($W/m^2/K$)	Constant = 1000

Copyright © 2024 Fives ProSim, Labège, France – Tous droits réservés

Coefficient d'encrassement (W/m^2/K)	0

Géométrie	
Largeur d'échange (in)	18
Épaisseur des tôles de séparation (in)	0,1
Épaisseur des tôles extérieures (in)	0,25
Épaisseur des barres latérales (in)	1
Description des circuits	voir §1.2

✓ Séparateur S101

Paramètres de fonctionnement	*Valeur*
Type de séparateur	Séparateur diphasique L-V
Température (F)	113
Pression (psi)	La plus faible des alimentations

✓ Séparateur S102

Paramètres de fonctionnement	*Valeur*
Type de séparateur	Séparateur diphasique L-V
Température (F)	-5
Pression (psi)	La plus faible des alimentations

✓ Séparateur S103

Paramètres de fonctionnement	*Valeur*
Type de séparateur	Séparateur diphasique L-V
Température (F)	Température du mélange adiabatique des alimentations
Pression (psi)	La plus faible des alimentations
Perte de charge (psi)	9

Copyright © 2024 Fives ProSim, Labège, France – Tous droits réservés

- ✓ Compresseur K101

Paramètres de fonctionnement	*Valeur*
Pression de refoulement (psi)	258
Efficacité isentropique	0,72
Efficacité mécanique	1
Efficacité électrique	1

- ✓ Échangeur E102

Paramètres de fonctionnement	*Valeur*
Type d'échangeur	Consignateur de température
Température de sortie (F)	-7

- ✓ Vanne V101

Paramètres de fonctionnement	*Valeur*
Type de vanne	Vanne de détente
Pression (psi)	31

- ✓ Vanne V102

Paramètres de fonctionnement	*Valeur*
Type de vanne	Diviseur de courant
Taux de partage	0,5

- ✓ Colonne C101

Paramètres de fonctionnement	*Valeur*
Type de colonne	Absorbeur rebouilleur à plateaux
Nombre d'étages théoriques	30
Plateau d'alimentation	10
Débit de vapeur en tête de colonne (lb/hr)	1200

Copyright © 2024 Fives ProSim, Labège, France – Tous droits réservés

Spécification complémentaire de la colonne

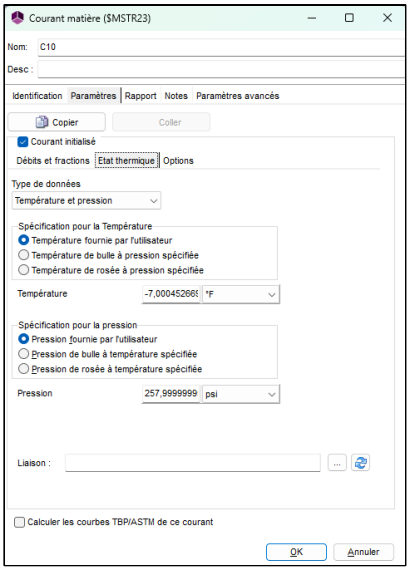
Spécification		*Type de produit*	*Constituant*	*Valeur*	*Phase*	*Type*	*Action*
1 :	Pureté	Résidu liquide	Méthane	0,05	Liq.	Mass.	Débit du distillat vapeur

1.8. "Trucs et astuces"

La boucle de réfrigération au propane peut fonctionner avec un débit quelconque de propane circulant. En effet, il s'agit d'une boucle "fermée" (le débit d'entrée C07 et le débit de sortie C13 sont égaux).

Afin de fixer le débit de circulation du propane dans la boucle il est nécessaire d'initialiser un des courants de la boucle, ici le courant C10 a été choisi.

Si l'on souhaite donc modifier la puissance de réfrigération il faudra donc modifier cette initialisation du débit de C10.



Copyright © 2024 Fives ProSim, Labège, France – Tous droits réservés

2. RESULTATS

2.1. Commentaires sur les résultats

La séquence de calcul (l'ordre de calcul des modules) est générée automatiquement. Les courants C10 (voir § 1.8) et C02out sont initialisés.

2.2. Bilans matière et énergie

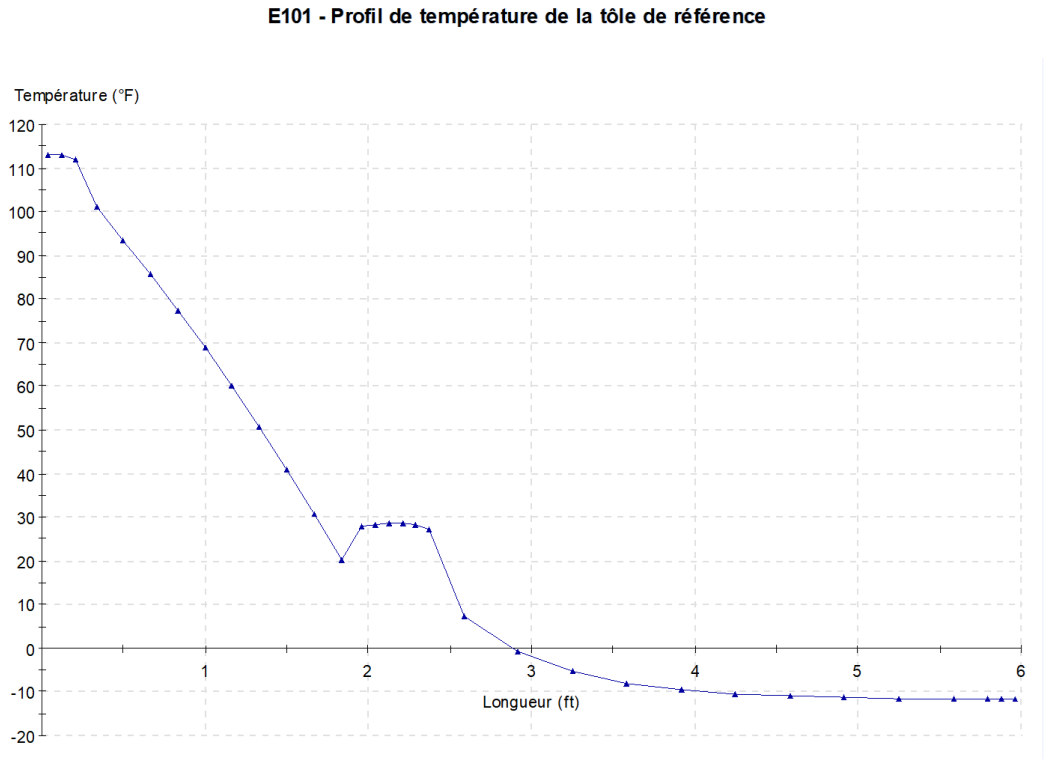
Ce document ne présente que les bilans matière énergie sur les courants les plus pertinents. ProSimPlus fournit cependant des résultats complets sur tous les courants et sur chaque opération unitaire.

Courants		C01	C02in	C03out	C04out	C07	C15	C16
De		Process feed	S101	E101	E101	M101	C101	C101
Vers		S101	E101	Gas Output	C101	S103	C1-C2 Output	LPG Output
Débit partiel		lb/h	lb/h	lb/h	lb/h	lb/h	lb/h	lb/h
NITROGEN		5,9959	5,9874	5,7972	0,1902	0,0000	0,1954	0,0033
METHANE		15549,2190	15497,6221	14212,0476	1285,5745	0,0000	1041,8992	295,2722
ETHANE		2600,0088	2570,5642	1796,6187	773,9455	39,6990	348,1002	455,2898
PROPANE		3712,2470	3615,8181	1587,4002	2028,4179	5828,7265	507,8560	1616,9908
ISOBUTANE		1066,3223	1014,8169	262,4924	752,3245	134,8500	112,7673	691,0626
n-BUTANE		1178,5612	1108,5416	232,8631	875,6785	27,3294	111,1722	834,5259
ISOPENTANE		535,1861	480,3405	53,4885	426,8520	0,0000	32,7388	448,9588
n-PENTANE		368,8000	326,4461	32,4969	293,9492	0,0000	20,6876	315,6155
n-HEXANE		441,5660	330,7326	10,3296	320,4030	0,0000	9,4490	421,7874
n-HEPTANE		839,8722	499,1964	6,3715	492,8249	0,0000	7,5636	825,9371
Débit total	lb/h	26297,7786	25450,0659	18199,9057	7250,1602	6030,6050	2192,4294	5905,4435
Fractions massiques								
NITROGEN		0,0002	0,0002	0,0003	0,0000	0,0000	0,0001	0,0000
METHANE		0,5913	0,6089	0,7809	0,1773	0,0000	0,4752	0,0500
ETHANE		0,0989	0,1010	0,0987	0,1067	0,0066	0,1588	0,0771
PROPANE		0,1412	0,1421	0,0872	0,2798	0,9665	0,2316	0,2738
ISOBUTANE		0,0405	0,0399	0,0144	0,1038	0,0224	0,0514	0,1170
n-BUTANE		0,0448	0,0436	0,0128	0,1208	0,0045	0,0507	0,1413
ISOPENTANE		0,0204	0,0189	0,0029	0,0589	0,0000	0,0149	0,0760
n-PENTANE		0,0140	0,0128	0,0018	0,0405	0,0000	0,0094	0,0534
n-HEXANE		0,0168	0,0130	0,0006	0,0442	0,0000	0,0043	0,0714
n-HEPTANE		0,0319	0,0196	0,0004	0,0680	0,0000	0,0034	0,1399
Etat physique		Liq./Vap.	Vapor	Vapor	Liq./Vap.	Liq./Vap.	Vapor	Liquid
Temperature	°F	114,9994	112,9994	94,6596	93,5467	-8,5950	93,5466	185,9031
Pression	psi	832,9998	832,9998	832,9998	832,9998	31,0000	832,9998	832,9998
Enthalpie	Btu/h	-449992,4455	-380826,1655	-383353,0502	-816587,9766	-281235,4795	-71422,6031	-448957,5698
Fraction vapeur		0,9893	1,0000	1,0000	0,3524	0,9335	1,0000	0,0000

Copyright © 2024 Fives ProSim, Labège, France – Tous droits réservés

2.4. Profil de température de la tôle de référence dans l'échangeur E101

Les profils de l'échangeur sont obtenus après la simulation dans la fenêtre de configuration de l'échangeur, sous l'onglet « Profils ». Un double-clic sur le profil souhaité, génère le graphique.

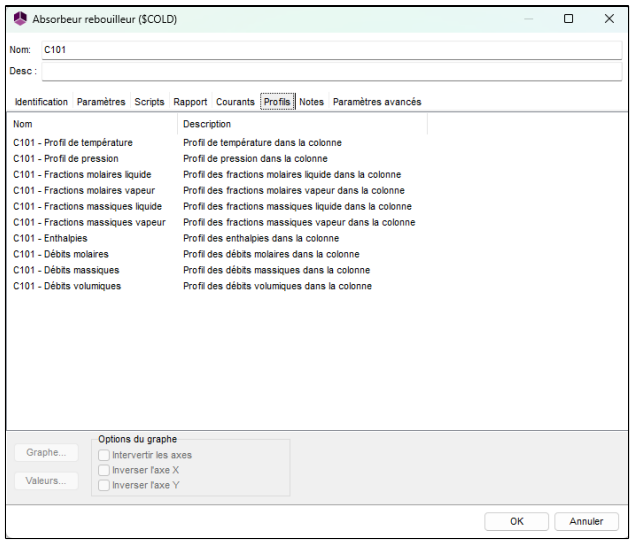


Profil de température de la tôle de référence

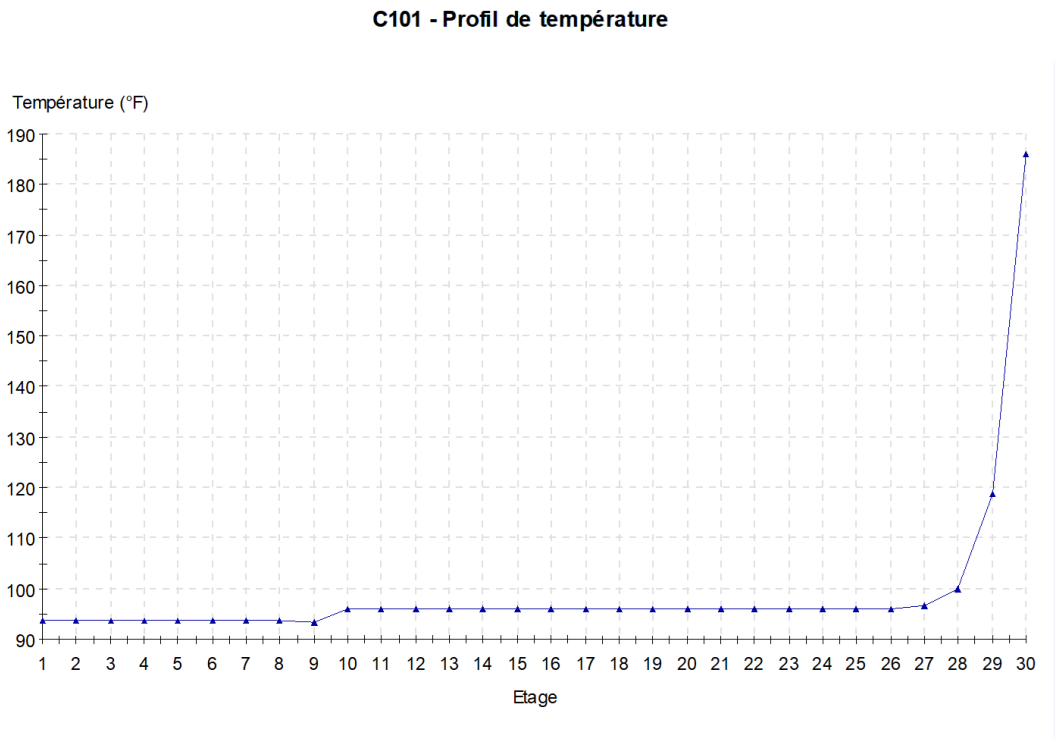
2.5. Profils de compositions dans la colonne C101

Les profils de colonne sont obtenus après la simulation dans la fenêtre de configuration de la colonne, sous l'onglet « Profils ». Un double-clic sur le profil souhaité, génère le graphique.

Il est à noter que dans ProSimPlus, Le premier étage de la colonne correspond au condenseur et le dernier étage au rebouilleur. Les étages sont numérotés de haut en bas.



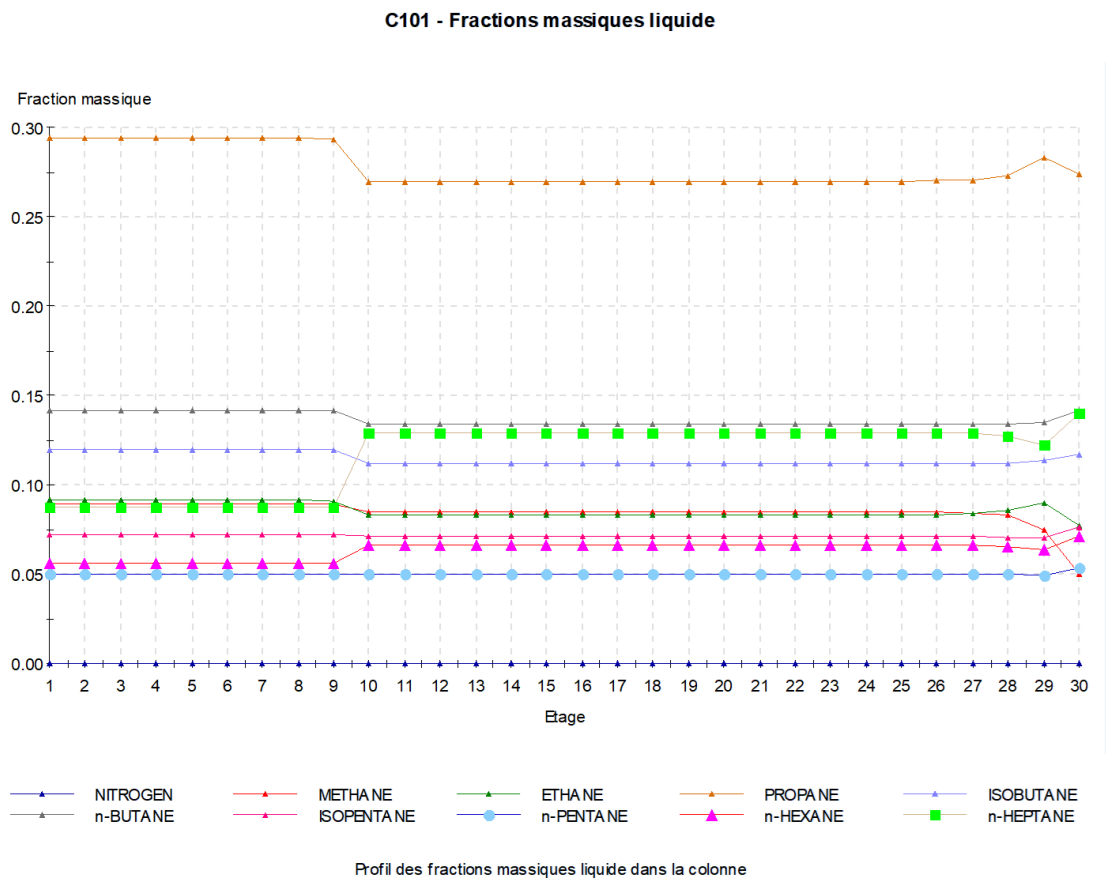
C101, Profil de température



Profil de température dans la colonne

Copyright © 2024 Fives ProSim, Labège, France – Tous droits réservés

C101, Fractions massiques liquides



Copyright © 2024 Fives ProSim, Labège, France – Tous droits réservés

3. BIBLIOGRAPHIE

[1] Polasek J.C., Donnelly S.T., Bullin J.A.
"Process Simulation and Optimization of Cryogenic Operations Using Multi-Stream Brazed Aluminium Exchangers"
Proceedings of the Sixty-Eighth GPA Annual Convention
Tulsa, OK : Gas Processors Association, 1989 : 100-106

[2] Peng Y.D., Robinson D.B.
"A new two constant equation of state"
I.E.C. Fundam., 15, 1, 59-64 (1976)

Copyright © 2024 Fives ProSim, Labège, France – Tous droits réservés