

EXEMPLE D'APPLICATION DE PROSIMPLUS

RECUPERATION DE GPL

AVEC BOUCLE DE REFRIGERATION AU PROPANE

SIMULATION DE L'EPAB AVEC L'OPERATION UNITAIRE

CAPE-OPEN ProSec

INTERET DE L'EXEMPLE

Cet exemple présente un procédé de récupération de GPL dans un gaz naturel 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 la boucle de réfrigération, ce procédé utilise un échangeur à plaques et ailettes brasées. Cet échangeur est modélisé en utilisant ProSec, l'opération unitaire CAPE-OPEN de ProSim dédiée à la simulation des échangeurs à plaques et ailettes brasées. ProSec permet de prendre en compte l'effet de l'empilage et de la pression sur les courbes enthalpiques.

DIFFUSION	<input checked="" type="checkbox"/> Libre-Internet	<input type="checkbox"/> Réservé aux clients ProSim	<input type="checkbox"/> Restreinte	<input type="checkbox"/> Confidentiel
------------------	---	--	--	--

FICHIER PROSIMPLUS CORRESPONDANT	<i>PSPS_EX_FR-Recuperation-GPL-avec-EPAB.pmp3</i>
---	---

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. ProSim ne pourra en aucun cas être tenu pour responsable de l'application qui pourra être faite des calculs basés sur cet exemple.

Energy

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	5
1.5. Paramètres opératoires	5
1.5.1. Alimentation du procédé	5
1.5.2. Echangeur à plaques et ailettes brasées E101	6
1.5.1. Echangeur de chaleur E102	11
1.5.2. Seraparateurs	11
1.5.3. Compresseur K101	12
1.5.4. Vanne de détente V101	12
1.5.5. Diviseur de courants V102	12
1.5.6. Mélangeur M101	12
1.5.7. Dééthaniseur C101	12
1.6. Initialisation	13
1.7. « Trucs et astuces »	13
2. RESULTATS	14
2.1. Bilans matière et enthalpique	14
2.2. Profils de l'échangeur à plaques et ailettes brasées E101	15
2.3. Profils du dééthaniseur C101	16
3. BIBLIOGRAPHIE	17

1. MODELISATION DU PROCEDE

1.1. Description du procédé

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

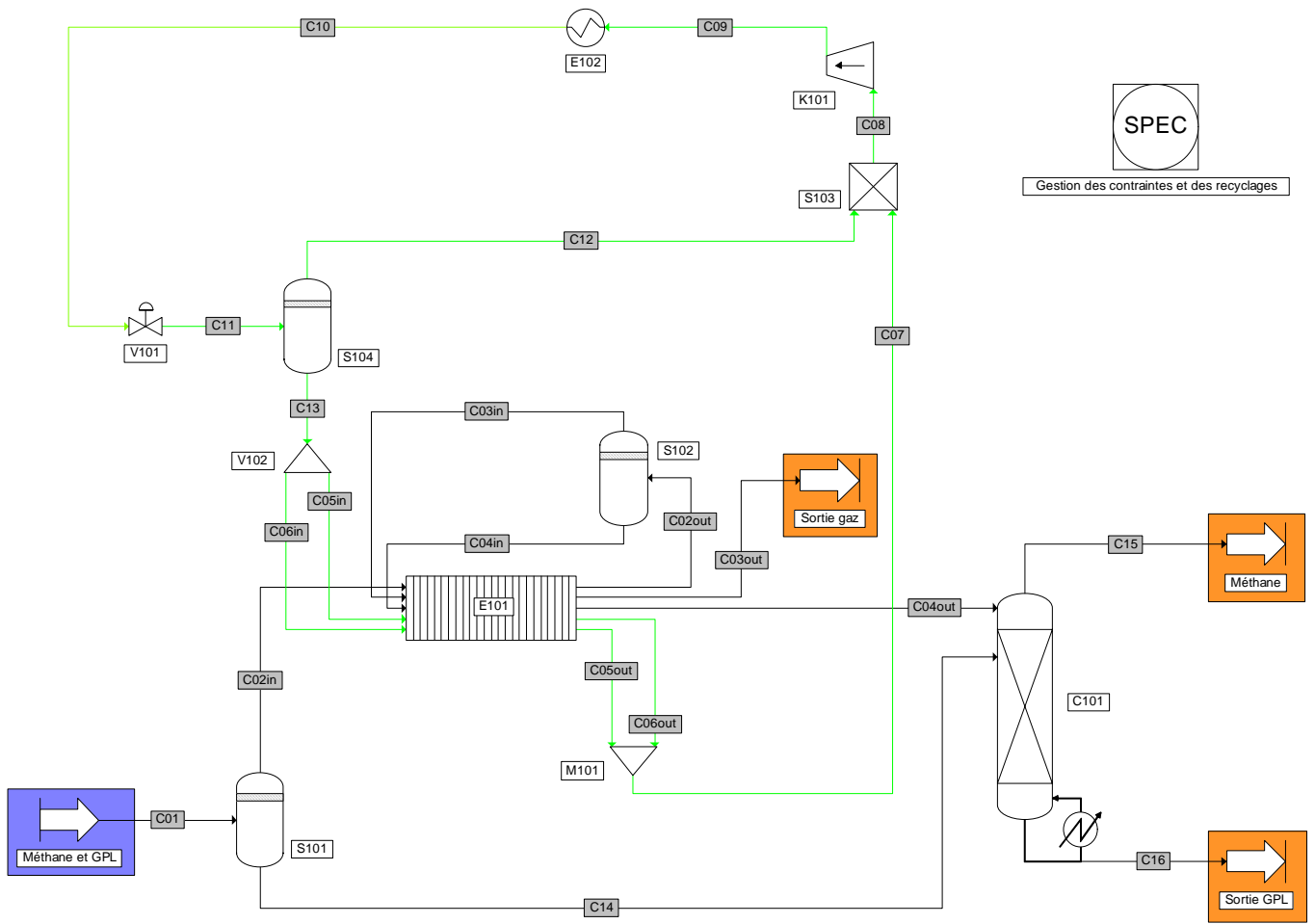
L'alimentation en gaz est envoyée dans un séparateur diphasique (S101) afin d'éliminer les composés les plus lourds qui sont envoyés dans la colonne de distillation (C101). Les autres composés sortent en tête du ballon et sont refroidis dans l'échangeur à plaques et ailettes brasées (E101). Ils pénètrent ensuite dans un autre 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 et ailettes 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 C03out). 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 et ailettes brasées (C05out et C06out) sont les deux courants de propane. A la sortie de l'échangeur à plaques et ailettes brasées, 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 et ailettes brasées (courants C05in et C06in). Le propane gazeux (courant C12) est mélangé avec les courants chauds de propane sortant de l'échangeur à plaques et ailettes brasées (E101). Le propane circule ainsi en circuit fermé dans le système où il joue le rôle de réfrigérant.

Cet exemple est extrait de [POL89].

Ce procédé met en œuvre un échangeur de chaleur à plaques et ailettes 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 dans l'opération unitaire CAPE-OPEN ProSec est un modèle détaillé qui tient compte notamment de toute la complexité de la géométrie de tels échangeurs. L'empilage est pris en compte. L'hypothèse de température de paroi commune (hypothèse TPC) est utilisée uniquement dans l'étape d'initialisation.

1.2. Schéma du procédé



1.3. Constituants

Les constituants pris en compte dans la simulation, leurs formules chimiques et numéros CAS sont présentés dans le tableau ci-après. Leurs propriétés de corps pur sont extraites de la base de données standard livrée avec ProSimPlus [ROW11].

Constituant	Formule chimique	Numéro CAS
Azote	N ₂	7727-37-9
Méthane	CH ₄	74-82-8
Ethane	C ₂ H ₆	74-84-0
Propane	C ₃ H ₈	74-98-6
Isobutane	C ₄ H ₁₀	75-28-5
n-butane	C ₄ H ₁₀	106-97-8
Isopentane	C ₅ H ₁₂	78-78-4
n-pentane	C ₅ H ₁₂	109-66-0
n-hexane	C ₆ H ₁₄	110-54-3
n-heptane	C ₇ H ₁₆	142-82-5

1.4. Modèle thermodynamique

Le modèle thermodynamique est basé sur une approche par équation d'état. L'équation d'état retenue est celle de Peng-Robinson (PR) [PEN76] avec les paramètres d'interaction binaire stockés dans la base de données de ProSimPlus.

1.5. Paramètres opératoires

1.5.1. Alimentation du procédé

	Méthane et GPL
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

1.5.2. Echangeur à plaques et ailettes brasées E101

✓ Paramètres globaux

Paramètres	Valeur
Type d'échangeur	ProSec
Nombre de corps	1
Inclinaison	Horizontal
Banque d'ondes	2011 -> 2015
Matériau	Aluminium TRANE
Largeur utile (in)	18
Epaisseur des barres latérales (in)	1
Epaisseur des barres d'extrémités (in)	0,25
Epaisseur des tôles de séparation (in)	0,1

✓ Paramètres des courants

Paramètre	Courants				
	C02	C03	C04	C05	C06
Sens d'écoulement	Du haut vers le bas		Du bas vers le haut		
Corrélation du coefficient d'échange	HTFS85				
Perte de charge	Prise en compte				
Perte de charge maximum (psi)	5	21	5	1	1

✓ Caractéristiques des ondes

Nom	Onde #1	Onde #2	Onde #3
Origine	Utilisateur		
Mode de calcul	A partir de la géométrie		
Référence	2848	2859	2923
Type	A serration		Perforée
Hauteur (in)	0,25		0,25
Epaisseur (in)	0,016		0,010
Nombre d'ailettes par mètre	669	748	551
Porosité (%)	-		5
Longueur de serration (in)	0,125		-

✓ Passages de référence

Les ondes utilisées pour chaque courant sont listées dans le tableau ci-après :

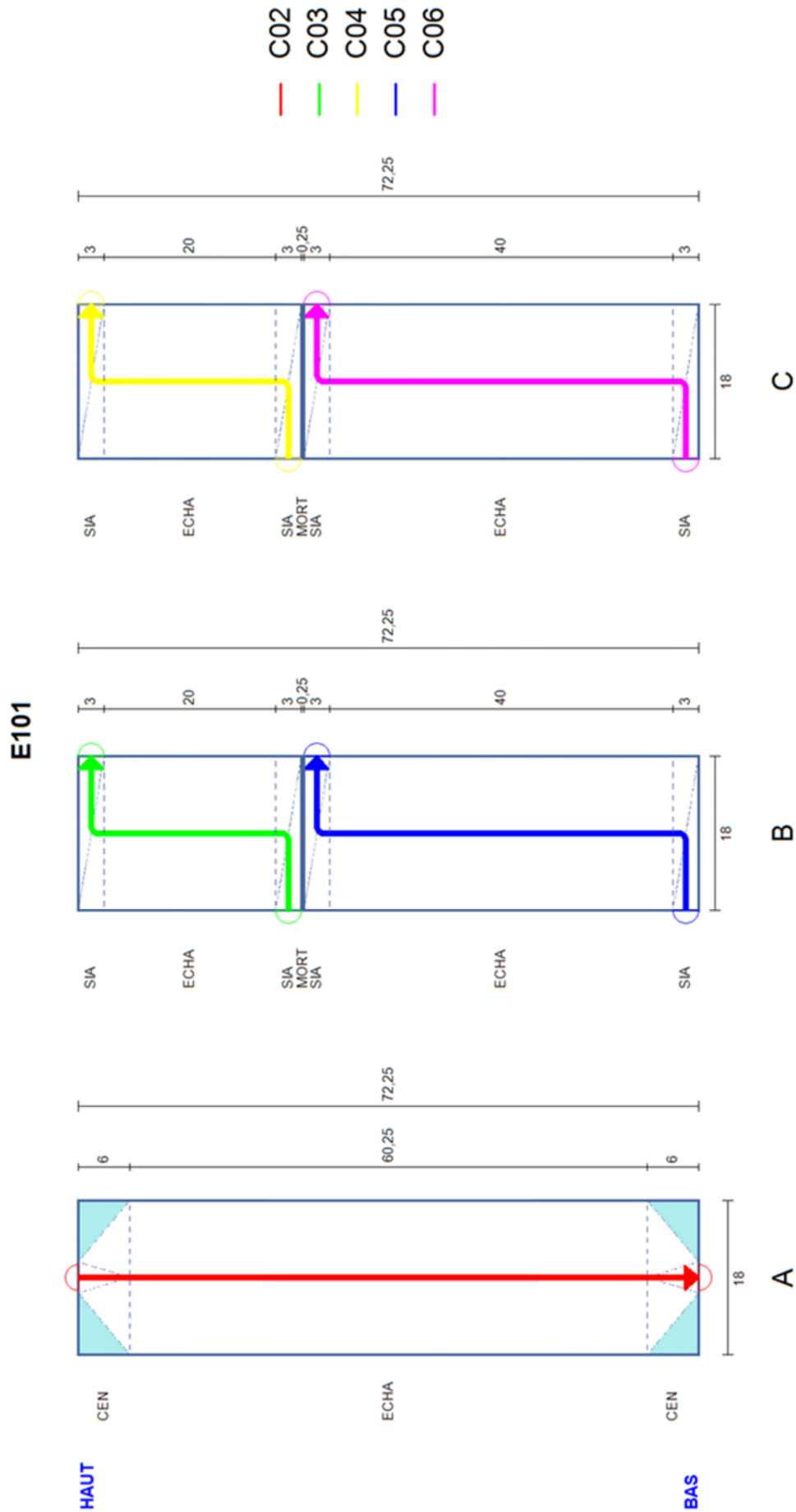
Courant	Onde
C02	Onde #1
C03	Onde #1
C04	Onde #2
C05	Onde #3
C06	Onde #3
Zone élémentaire "MORT"	Onde #3

La figure de la page suivante montre les trois passages de référence de cet échangeur.

Les caractéristiques des distributeurs sont détaillées dans le tableau suivant :

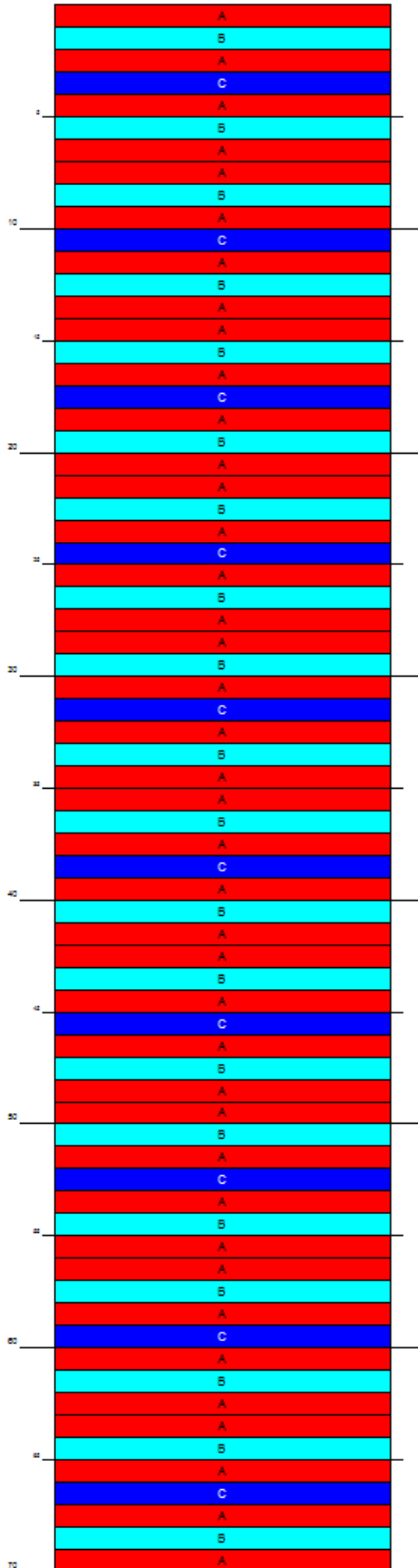
Paramètre	Type de distributeur	
	CEN	SIA
Ouverture (in)	3	3
Hauteur (in)	6	3
Hauteur de tête (in)	1,5	1,5

Les dimensions sont exprimées en inch.

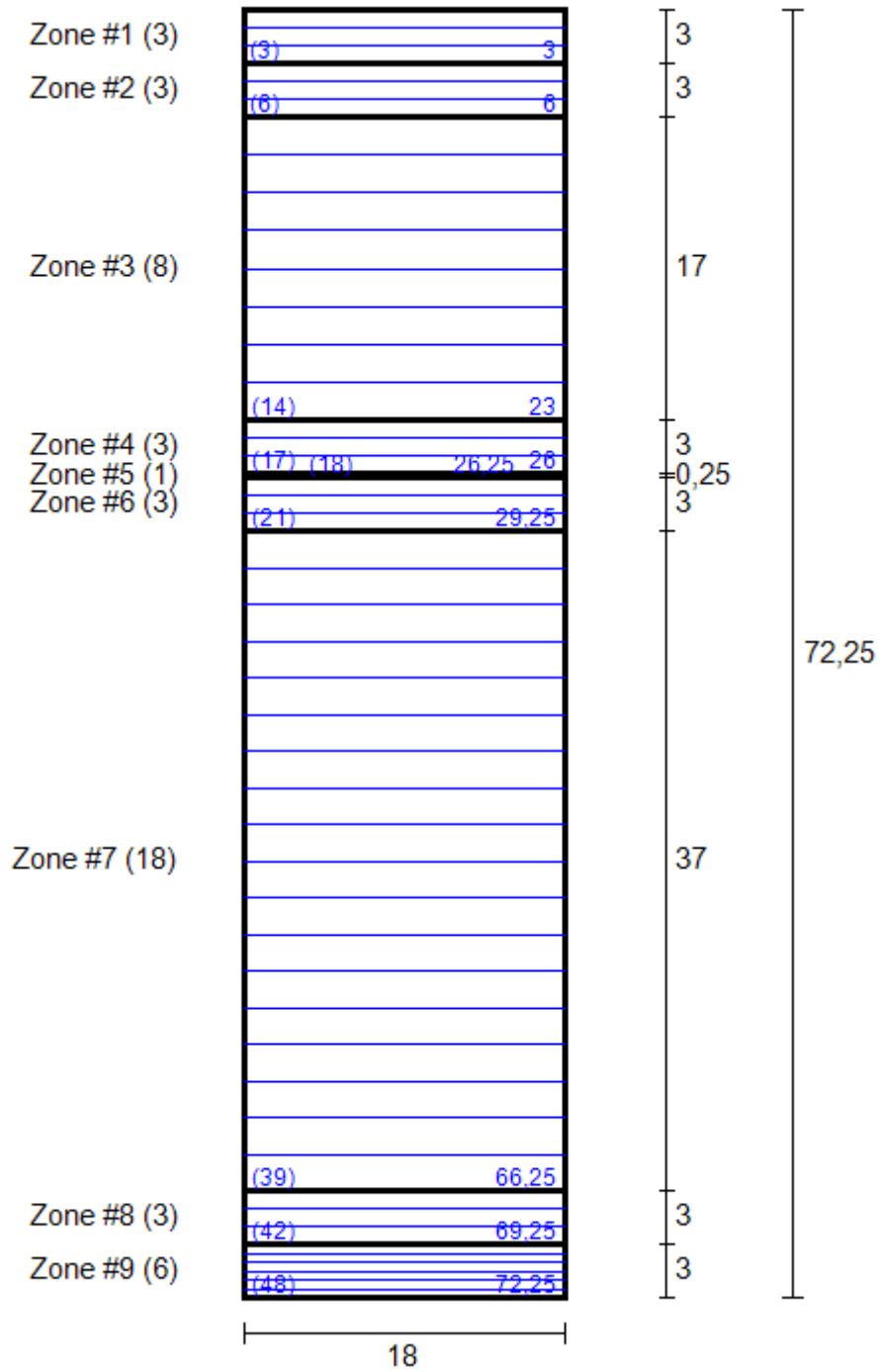


✓ Empilage

Paramètres	Valeur
Nombre de répétitions de la séquence	10
Séquence	A B A C A B A



✓ Nombre de mailles pour chaque zone élémentaire (les dimensions sont exprimées en inch)



1.5.1. Echangeur de chaleur E102

Paramètre opératoire	Valeur
Type d'échangeur	Consignateur de température
Température de sortie (°F)	-7

1.5.2. Sereparateurs

✓ Separateur S101

Paramètre opératoire	Valeur
Type de séparateur	Séparateur diphasique liquide-vapeur
Type de flash	A température et pression données
Température (°F)	113
Pression	Pression la plus faible des alimentations

✓ Separateur S102

Paramètre opératoire	Valeur
Type de séparateur	Séparateur diphasique liquide-vapeur
Type de flash	A température et pression données
Température (°F)	-5
Pression	Pression la plus faible des alimentations

✓ Separateur S103

Paramètre opératoire	Valeur
Type de séparateur	Séparateur diphasique à une sortie
Type de flash	A température et pression données
Température (°F)	Température du mélange adiabatique des alimentations
Pression	Pression la plus faible des alimentations
Perte de charge (psi)	9

✓ Separateur S104

Paramètre opératoire	Value
Type de séparateur	Séparateur diphasique liquide-vapeur
Type de flash	A pression et quantité de chaleur échangée données
Pression	Pression la plus faible des alimentations
Quantité de chaleur	Adiabatique

1.5.3. Compresseur K101

Paramètre opératoire	Valeur
Pression de refoulement (psi)	258
Efficacité isentropique	0,72
Efficacité mécanique	1

1.5.4. Vanne de détente V101

Paramètre opératoire	Valeur
Pression (psi)	31

1.5.5. Diviseur de courants V102

Paramètre opératoire	Valeur
Type de diviseur	Diviseur de courants
Taux de partage du courant C06in	0,50
Pression de sortie	Egale à la pression d'entrée

1.5.6. Mélangeur M101

Paramètre opératoire	Valeur
Type of mélangeur	Autre mélangeur
Pression de sortie	Egale à la plus faible des alimentations

1.5.7. Dééthaniseur C101

✓ Paramètres opératoires

Paramètre opératoire	Valeur
Type de colonne	Absorbeur rebouilleur
Nombre d'étages théoriques	30
Etage d'alimentation	10
Débit de vapeur de tête de colonne (lbmol/h)	70 (initialisation)

✓ Objectifs / Contraintes

Spécification	Valeur
Pureté massique en méthane au résidu liquide	0,05
Variable ajustée	Valeur
Débit de distillat vapeur	

1.6. Initialisation

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 modifier la puissance de réfrigération il faudra donc modifier cette initialisation du débit de C10.

Le courant C02out étant recyclé en entrée de l'échangeur à plaques et ailettes brasées via les courants C03in et C04in, le courant C02out a été initialisé afin d'éviter des difficultés de convergence.

	C10	C02out Initialisation
Température (°F)	-7	-5
Pression (psi)	258	833
Débit total (lb/h)	6253,52	25450
	Fractions molaires	Fractions massiques
Azote	0	0,000246
Méthane	0	0,608940
Ethane	0,0104	0,101000
Propane	0,9694	0,142070
Isobutane	0,0168	0,039875
n-butane	0,0034	0,043558
Isopentane	0	0,018874
n-pentane	0	0,012827
n-hexane	0	0,012995
n-heptane	0	0,019615

1.7. « Trucs et astuces »

Un recyclage étant présent dans ce procédé (courant C02out), il est possible d'accroître la précision du bilan enthalpique en choisissant les enthalpies comme variables itératives des courants contrôlés à la place des températures (option par défaut). Pour cela, un module « Gestion des contraintes et des recyclages » est ajouté dans la simulation. Il permet d'accéder aux paramètres du solveur et ainsi de modifier le paramètre en question.

2. RESULTATS

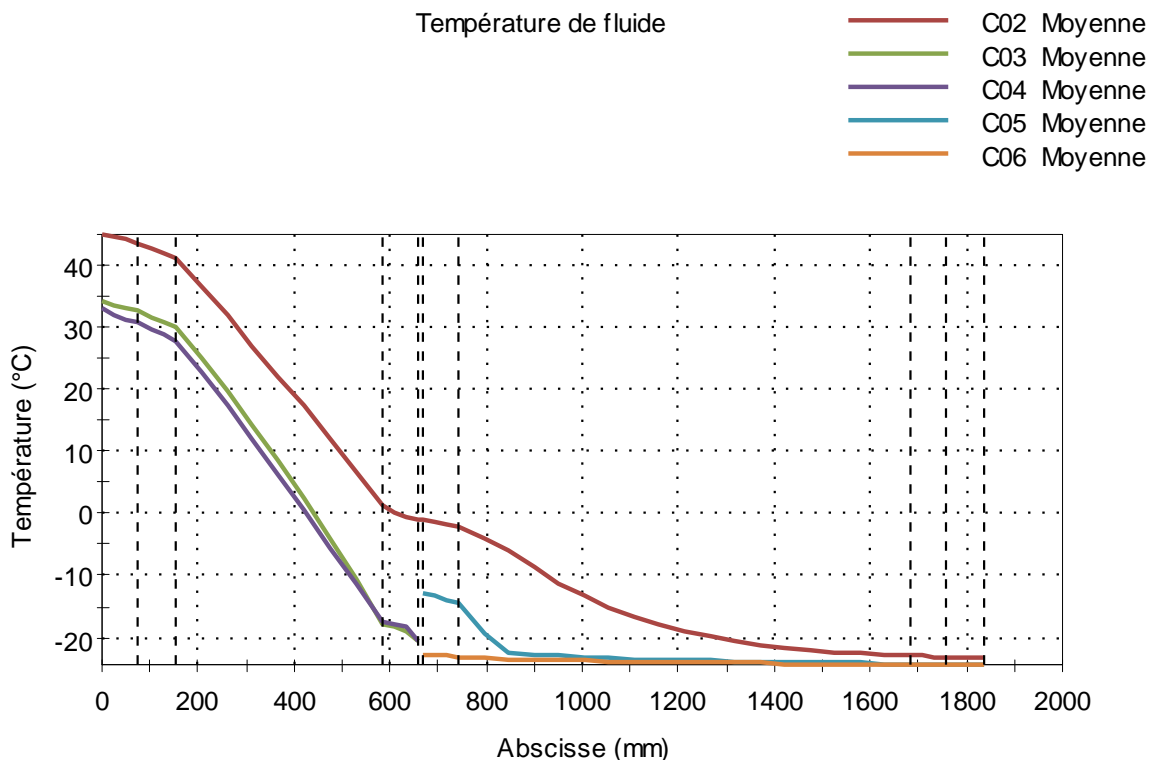
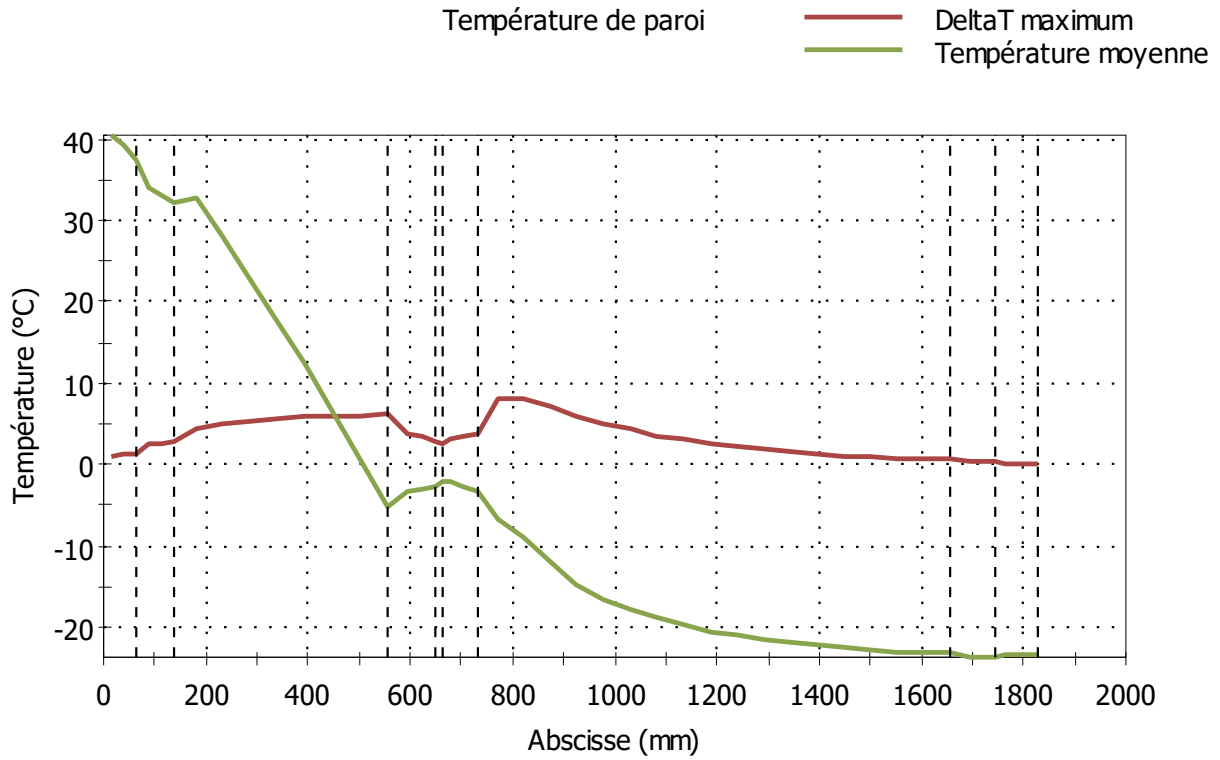
2.1. Bilans matière et enthalpique

Ce document ne présente que les bilans matière et enthalpique 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		Méthane et ...	S101	E101	E101	M101	C101	C101	
Vers		S101	E101	Sortie gaz	C101	S103	Méthane	Sortie GPL	
Débits partiels		lb/h	lb/h	lb/h	lb/h	lb/h	lb/h	lb/h	
NITROGEN		5.9959	5.9874	5.7996	0.1878	0	0.19367	0.0026633	
METHANE		15549	15498	14224	1273.7	0	1026.9	298.45	
ETHANE		2600	2570.6	1799.4	771.15	40.365	335.53	465.05	
PROPANE		3712.3	3615.9	1588.9	2027	5934.5	479.77	1643.6	
ISOBUTANE		1066.3	1014.9	261.94	752.94	137.33	104.98	699.4	
n-BUTANE		1178.6	1108.6	232.53	876.04	27.833	102.91	843.12	
ISOPENTANE		535.19	480.34	53.238	427.1	0	29.887	452.06	
n-PENTANE		368.8	326.46	32.36	294.1	0	18.85	317.59	
n-HEXANE		441.57	330.77	10.243	320.53	0	8.4327	422.89	
n-HEPTANE		839.87	499.29	6.2982	492.99	0	6.6554	826.92	
Débit total		lb/h	26298	25450	18215	7235.7	6140	2114.1	5969.1
Fractions massiques									
NITROGEN		0.000228	0.00023526	0.0003184	2.5955E-005	0	9.1608E-005	4.4618E-007	
METHANE		0.59127	0.60894	0.78091	0.17603	0	0.48573	0.05	
ETHANE		0.098868	0.101	0.09879	0.10657	0.0065742	0.15871	0.077909	
PROPANE		0.14116	0.14207	0.087232	0.28013	0.96653	0.22694	0.27535	
ISOBUTANE		0.040548	0.039877	0.014381	0.10406	0.022367	0.049659	0.11717	
n-BUTANE		0.044816	0.043558	0.012766	0.12107	0.0045331	0.048678	0.14125	
ISOPENTANE		0.020351	0.018874	0.0029228	0.059027	0	0.014137	0.075734	
n-PENTANE		0.014024	0.012827	0.0017766	0.040646	0	0.0089166	0.053206	
n-HEXANE		0.016791	0.012997	0.00056233	0.044298	0	0.0039888	0.070847	
n-HEPTANE		0.031937	0.019618	0.00034577	0.068133	0	0.0031481	0.13853	
Etat physique		Liq./Vap.	Vapeur	Vapeur	Liq./Vap.	Liq./Vap.	Vapeur	Liquide	
Température		°F	115	113	92.509	89.85	-9.813	89.82	182.69
Pression		psi	833	833	808.39	824.53	30.321	824.53	824.53
Flux enthalpique		Btu/h	-4.5011E005	-3.8094E005	-3.9423E005	-8.3906E005	-3.2303E005	-71781	-4.6905E005
Fraction molaire vapeur			0.98927	1	1	0.34038	0.90485	1	0

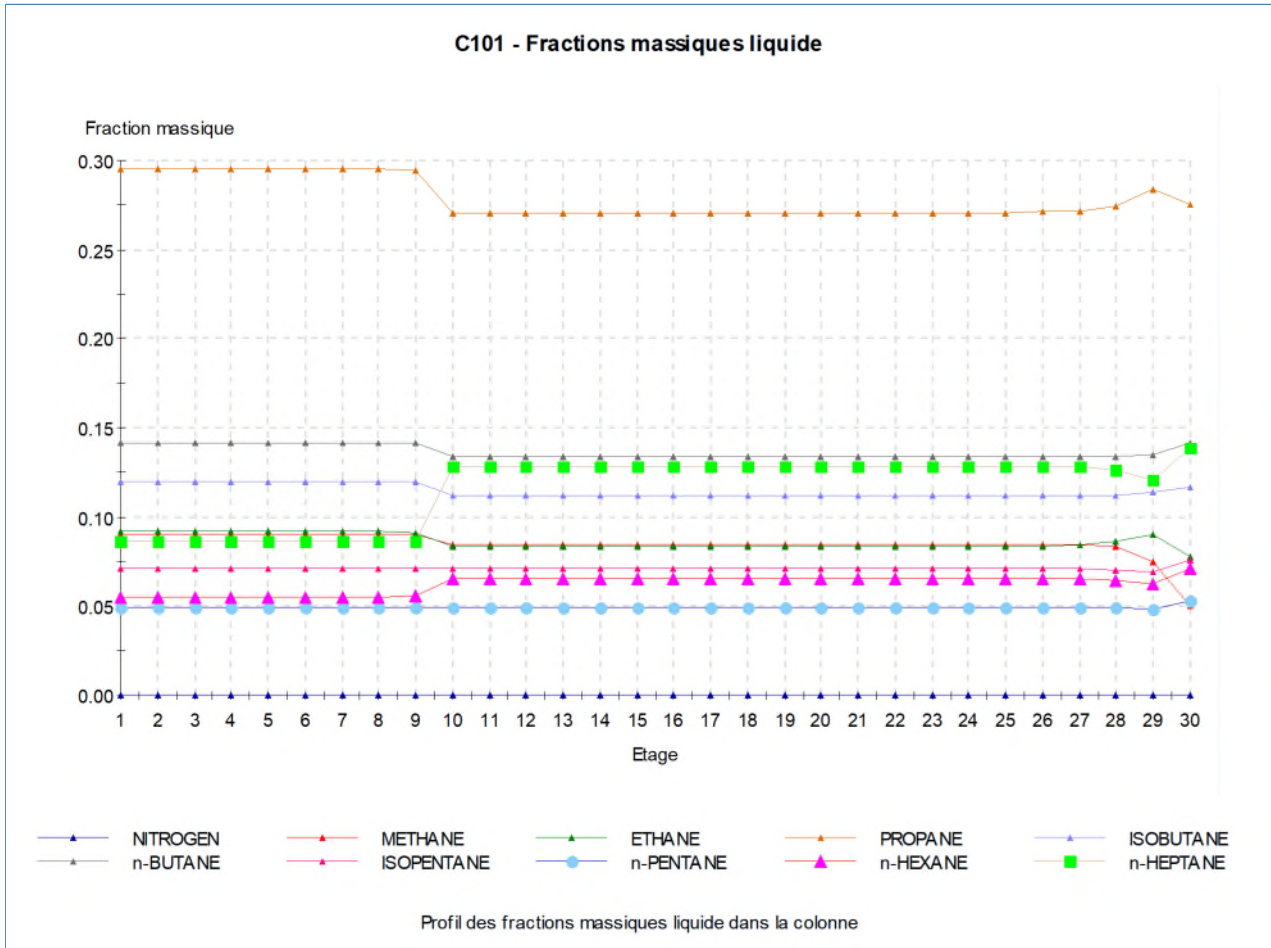
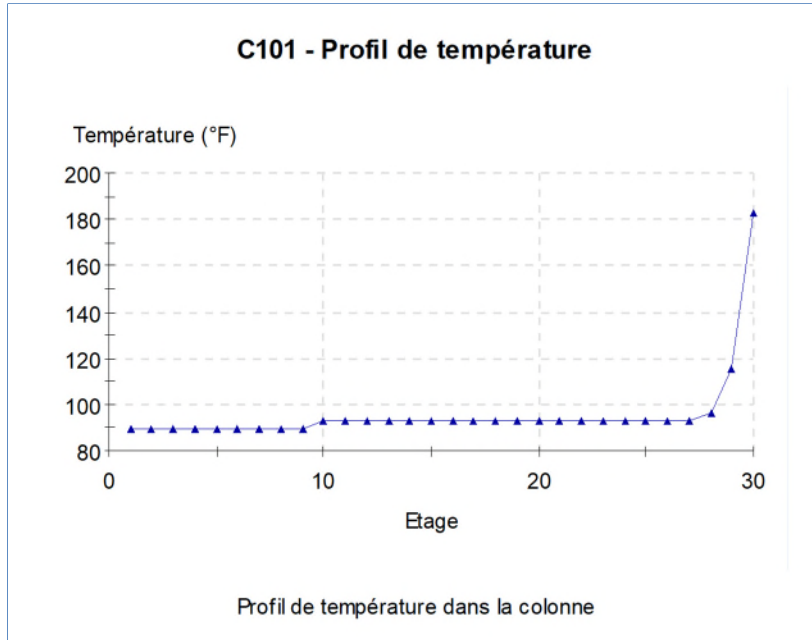
2.2. Profils de l'échangeur à plaques et ailettes brasées E101

Plusieurs profils (température de paroi, température des fluides, pression, coefficient de transfert, taux de vaporisation...) dans l'échangeur à plaques et ailettes brasées sont disponibles à la fin de la simulation dans la fenêtre d'édition (onglet « Résultats ») de ProSec. Les figures suivantes présentent les températures de paroi (moyenne et écart maximal) et les températures moyennes des courants en fonction de la longueur de l'échangeur de chaleur.



2.3. Profils du dééthaniseur C101

Plusieurs profils (température, pression, compositions et débits) dans la colonne sont disponibles à la fin de la simulation dans la fenêtre de configuration de la colonne (onglet « Profils »). Il est à noter que dans ProSimPlus, le premier étage de la colonne correspond au condenseur (si présent) et le dernier étage au rebouilleur (si présent). Les étages sont numérotés de haut en bas.



3. BIBLIOGRAPHIE

- [PEN76] PENG Y.D., ROBINSON D.B., "A New Two Constant Equation of State", Ind. Eng. Chem. Fundam., 15, 59-64 (1976)
- [POL89] POLASEK J.C., DONNELLY S.T., BULLIN J.A., "Process Simulation and Optimization of Cryogenic Operations using Multi-Stream Brazed Aluminium Exchangers", Proc. 68th GPA Annual Convention, GPSA, 100-106 (1989)
- [ROW11] 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, New York, NY (2011)