

Démarrer avec Simulis® Pinch module “Energy”

Cas 3 : Intégration énergétique d'un procédé
d'estérification - Analyse de sensibilité et atteinte de
spécifications avec Simulis Pinch Energy

Release Simulis Pinch 2.0.0

Software & Services In Process Simulation

We guide You to efficiency



ProSim




Introduction

Ce guide de démarrage vous présente l'utilisation de la fonction **étude de sensibilité** de Simulis Pinch Energy pour effectuer une analyse économique de l'intégration énergétique d'un procédé.

Cet exemple est tiré de l'exemple d'application de ProSimPlus « Analyse énergétique d'un procédé d'estérification d'une huile végétale ».

Ce document fait suite au guide « Cas 2 : Intégration énergétique d'un procédé d'estérification – Utilisation avancée de Simulis Pinch Energy »

Ce guide est organisé comme suit :

-  Étape 1 : Utilisation de la fonction **Etude de sensibilité**
-  Étape 2 : Analyse des résultats
-  Étape 3 : Utilisation de la fonction **Spécification**

Introduction

Les données d'entrée et les paramètres utilisés dans cet exemple sont identiques à ceux renseignés dans le guide « Cas 2 : Intégration énergétique d'un procédé d'estérification – Utilisation avancée de Simulis Pinch Energy » :

Analyse du réseau d'échangeurs

Caractérisation d'un échange

Puissance échangée minimale (kcal/h)

Pourcentage minimum récupéré / MER (%)

Degré de couplage maximum ?

☐ Autoriser la division de courant ?

Utilité à préserver ?

☒ Utilité chaude

☐ Utilité froide

☒ Synthèse du réseau d'échangeurs

Méthode de sélection : ☒ Automatique ☐ Semi-Automatique ☐ Manuelle

Critères pour la sélection automatique des échangeurs

Premier critère

Deuxième critère

Troisième critère

Critères d'arrêt de la procédure

☒ Facteur multiplicatif du nombre de courants initiaux ?

☒ Seuil minimum de chaleur récupérée / MER initial (%)

☒ Nombre d'échangeurs maximum

Introduction

Les contraintes optionnelles sont elles aussi identiques au guide « Cas 2 : Intégration énergétique d'un procédé d'estérification – Utilisation avancée de Simulis Pinch Energy » :

Synthèse du réseau d'échangeurs : Contraintes optionnelles

☒ Contraintes de zone ?

☐ Aucune
☒ Echanges intrazones uniquement
☐ Echanges interzones sous conditions

Sélection valide

☐ Cartographie ?

Distance maximale

☒ Evaluation économique

Unité de surface
 Devise
 Prix par unité de surface (€/m²)

Sélection valide

☒ Matrice d'incompatibilité ?

Sélection valide

☒ Difficulté ?

Difficulté maximum

Sélection valide

Étape 1 : Utilisation de la fonction Etude de sensibilité

Pour accéder à la fonction **Etude de sensibilité** avec Simulis Pinch Energy, il est nécessaire de lancer les calculs une première fois afin d'obtenir des feuilles de résultats.

Dans la feuille « Données d'entrée » générée à la suite des calculs, l'accès à la fonction est possible en cliquant sur le bouton **Etude de sensibilité** :

PINCEMENT

Valeur du pincement	50	(°C)	Etude de sensibilité	Spécification
Unité de puissance	(kcal/h)			

Noms des courants	Etat physique	F*Cp (kcal/h/°C)	T entrée (°C)	T objectif (°C)
C1	L	5 598,5	25,0	135,0
C16	L	12 863,6	45,0	54,0
C4	L	17 535,5	96,0	200,0
C7	LV	53 389,9	90,8	100,0
C17	L	13 172,4	54,0	61,8
C13	L	6 140,5	65,0	88,0
C23	L	15 527,9	76,6	200,0
C28	LV	12 990,1	38,6	70,0
C29	LV	6 902,6	70,0	150,0
Rebo.C301	L	12 420,4	83,9	136,2
C61	LV	865,0	116,9	140,0
C10	L	7 064,3	100,0	80,0
C11	L	6 859,1	80,0	65,0
C43	V	86 842,1	100,0	82,1
C26	LV	225,0	76,7	76,7
C30	V	42 039,9	76,7	25,0
C33	V	5 143,6	150,0	25,0
C36	L	5 811,4	150,0	79,8
C39	L	5 149,4	79,8	57,3
Cond.C301	V	152 710,2	48,4	38,5
C52	V	189,7	140,0	11,0
C62	L	4 952,8	57,7	20,0
C51	L	623,5	70,0	20,0
C50	L	701,4	140,0	70,0

Étape 1 : Utilisation de la fonction Etude de sensibilité

6

Comme indiqué dans la feuille, l'utilisateur doit définir les paramètres qu'il souhaite modifier pour réaliser l'étude de sensibilité.

Pour cet exemple, la valeur du pincement est la variable de l'analyse de sensibilité.

Les valeurs de pincement suivantes seront utilisées : 5, 10, 12, 15, 20, 25, 30, 35, 40 et 50°C.

Etude de sensibilité

- 1) Renseignez une ou plusieurs cellules d'entrée (cellules bleues)
 - 2) Appuyez sur le bouton pour compléter les données d'entrée manquantes (si nécessaire)
 - 3) Appuyez sur le bouton pour exécuter l'analyse de sensibilité
- Note : Pour utiliser un solveur, utilisez le bouton 'Spécification' de la feuille des données d'entrée

Compléter avec les paramètres par défaut

Liste des données d'entrée modifiables

Nom de la feuille des données d'entrée	Données d'entrée					
Type d'analyse pincement	Energie					
1 Valeur du pincement (°C)	5	10	12	15	20	
2 Puissance échangée minimale (kcal/h)						
3 Pourcentage minimum récupéré / MER (%)						
4 Degré de couplage maximum						
5 Autoriser la division de courant						
6 Facteur multiplicatif du nombre de courants initiaux						
7 Seuil minimum de chaleur récupérée / MER initial (%)						
8 Nombre d'échangeurs maximum						

Étape 1 : Utilisation de la fonction Etude de sensibilité

7

Lorsque les différentes valeurs de pincement ont été renseignées, le bouton **Compléter avec les paramètres par défaut** apparaît.

Cliquez sur ce bouton afin de remplir les paramètres manquants nécessaire à l'étude de sensibilité

Etude de sensibilité

- 1) Renseignez une ou plusieurs cellules d'entrée (cellules bleues)
 - 2) Appuyez sur le bouton pour compléter les données d'entrée manquantes (si nécessaire)
 - 3) Appuyez sur le bouton pour exécuter l'analyse de sensibilité
- Note : Pour utiliser un solveur, utilisez le bouton 'Spécification' de la feuille des données d'entrée

Compléter avec les paramètres par défaut

Liste des données d'entrée modifiables

Nom de la feuille des données d'entrée	Données d'entrée					
Type d'analyse pincement	Energie					
1 Valeur du pincement (°C)	5	10	12	15	20	
2 Puissance échangée minimale (kcal/h)						
3 Pourcentage minimum récupéré / MER (%)						
4 Degré de couplage maximum						
5 Autoriser la division de courant						
6 Facteur multiplicatif du nombre de courants initiaux						
7 Seuil minimum de chaleur récupérée / MER initial (%)						
8 Nombre d'échangeurs maximum						



L'étude de sensibilité peut également être multifactorielle (variation de la valeur du pincement et du nombre d'échangeurs maximum par exemple)

Étape 1 : Utilisation de la fonction Etude de sensibilité

Lorsque toutes les données d'entrée ont été renseignées, le bouton **Exécuter l'étude de sensibilité** apparaît. Cliquez sur ce bouton pour lancer l'étude de sensibilité

Etude de sensibilité

- 1) Renseignez une ou plusieurs cellules d'entrée (cellules bleues)
 - 2) Appuyez sur le bouton pour compléter les données d'entrée manquantes (si nécessaire)
 - 3) Appuyez sur le bouton pour exécuter l'analyse de sensibilité
- Note : Pour utiliser un solveur, utilisez le bouton 'Spécification' de la feuille des données d'entrée

Exécuter l'étude de sensibilité

Liste des données d'entrée modifiables

Nom de la feuille des données d'entrée	Données d'entrée				
Type d'analyse pincement	Energie				
1 Valeur du pincement (°C)	5	10	12	15	20
2 Puissance échangée minimale (kcal/h)	5000	5000	5000	5000	5000
3 Pourcentage minimum récupéré / MER (%)	0	0	0	0	0
4 Degré de couplage maximum	3	3	3	3	3
5 Autoriser la division de courant	Faux	Faux	Faux	Faux	Faux
6 Facteur multiplicatif du nombre de courants initiaux	1	1	1	1	1
7 Seuil minimum de chaleur récupérée / MER initial (%)	100	100	100	100	100
8 Nombre d'échangeurs maximum	10	10	10	10	10



Les paramètres utilisés pour compléter les données d'entrée sont ceux de la feuille « Données entrée »

Étape 1 : Utilisation de la fonction Etude de sensibilité

9

Après avoir cliqué sur le bouton d'exécution de l'étude de sensibilité, Simulis Pinch Energy procède aux calculs et relance autant de fois l'outil qu'il y a de nombre de cas à traiter :

Liste des données d'entrée modifiables

Nom de la feuille des données d'entrée	Données d'entrée			
Type d'analyse pincement	Energie			
1 Valeur du pincement (°C)	5	10	12	15
2 Puissance échangée minimale (Mcal/h)	5000	5000	5000	5000
3 Pourcentage minimum récupéré / MER (%)	0	0	0	0
4 Degré de couplage maximum	3	3	3	3
5 Autoriser la division de courant	Faux	Faux	Faux	Faux
6 Facteur multiplicatif du nombre de courants initiaux	1	1	1	1
7 Seuil minimum de chaleur récupérée / MER initial (%)	100	100	100	100
8 Nombre d'échangeurs maximum	10	10	10	10

Variables suivies

1 Nombre initial d'échanges possibles	20	18	16	13
2 Facteur multiplicatif du nombre de courants initiaux	0,833333333	0,833333333	0,916666667	0,833333333
3 Pourcentage cumulé de la quantité de chaleur récupérée	29,96870326	35,9518756	37,0313339	37,6148094
4 Nombre d'échangeurs	4	4	4	6
5 Puissance totale récupérée (Mcal/h)	768153,5603	768153,56	761239,07	720659,363
6 Quantité de chaleur encore récupérable (Mcal/h)	1500420,163	1077894,23	1003854,65	904664,967
7 Quantité d'utilité froide encore nécessaire (Mcal/h)	6179185,203	6179185,2	6186099,69	6226679,4
8 Quantité d'utilité chaude encore nécessaire (Mcal/h)	6068990,284	6068990,28	6075904,77	6116484,48
9 Nombre d'échangeurs d'utilité chaude	10	10	11	10
10 Nombre d'échangeurs d'utilité froide	10	10	11	10
11 Aire d'échange globale (m²)	153,8095191	153,809519	105,516297	74,4487651
12 Investissement global (€)	153809,5191	153809,519	105516,297	74448,7651
Coût de l'utilité (€)	3418095,485	3418095,48	3421954,74	3444603,87
Somme (Coût de l'utilité + Investissement global) (€)	3571905,004	3571905	3527471,03	3519052,64
Statut de convergence	Il n'y a plus aucun échange possible avant d'atteindre un critère d'arrêt !			

Résultats de l'étude de sensibilité

Message à convergence

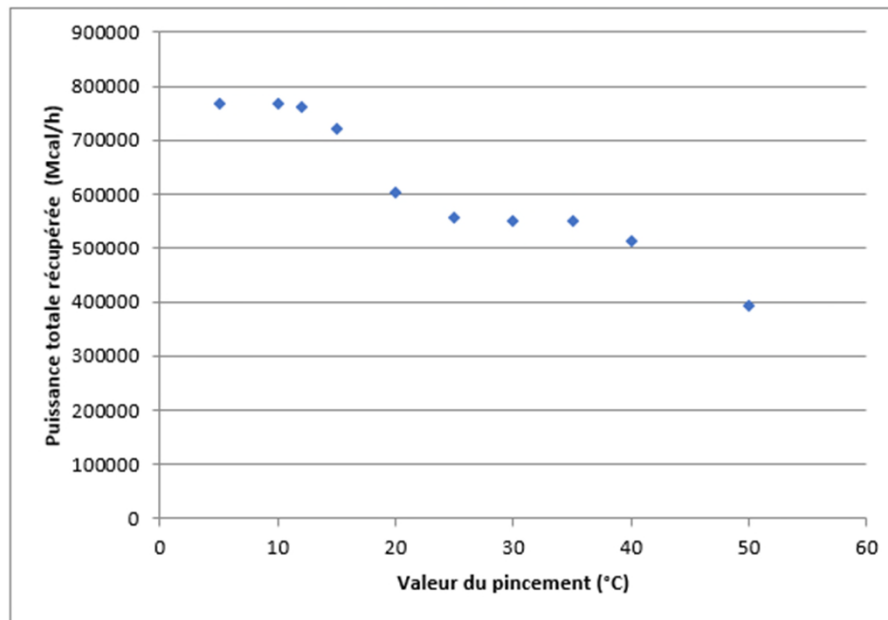
Étape 1 : Utilisation de la fonction Etude de sensibilité

Sous les tableaux de résultats présentés précédemment, vous pouvez également consulter les profils de résultats de l'analyse de sensibilité.

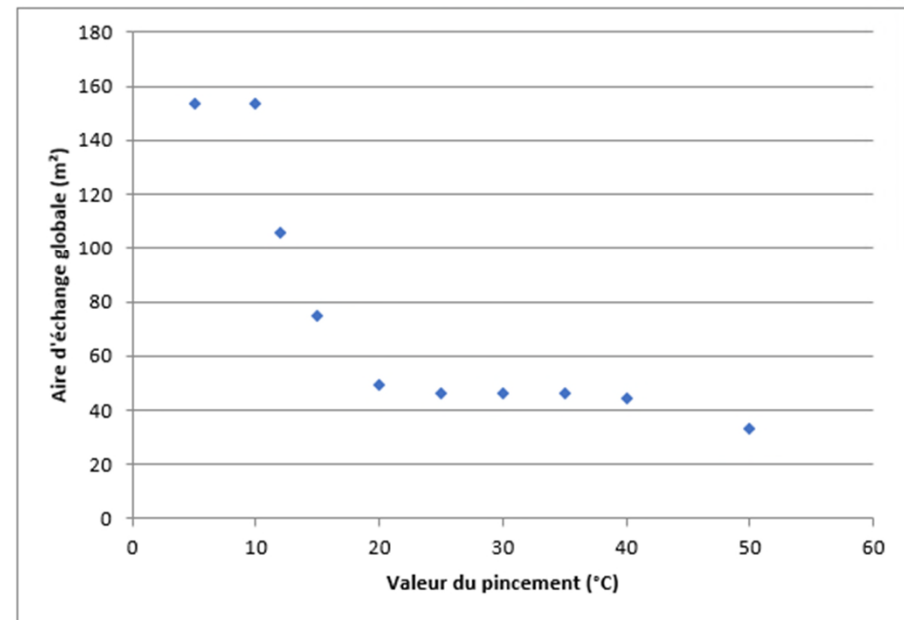
L'utilisateur a la possibilité de modifier les profils affichés par défaut. Il peut changer les axes des abscisses et des ordonnées parmi la liste prédéfinie :

Profils

Sélection des abscisses : Valeur du pincement (°C)
Sélection des ordonnées : Puissance totale récupérée (Mcal/h)



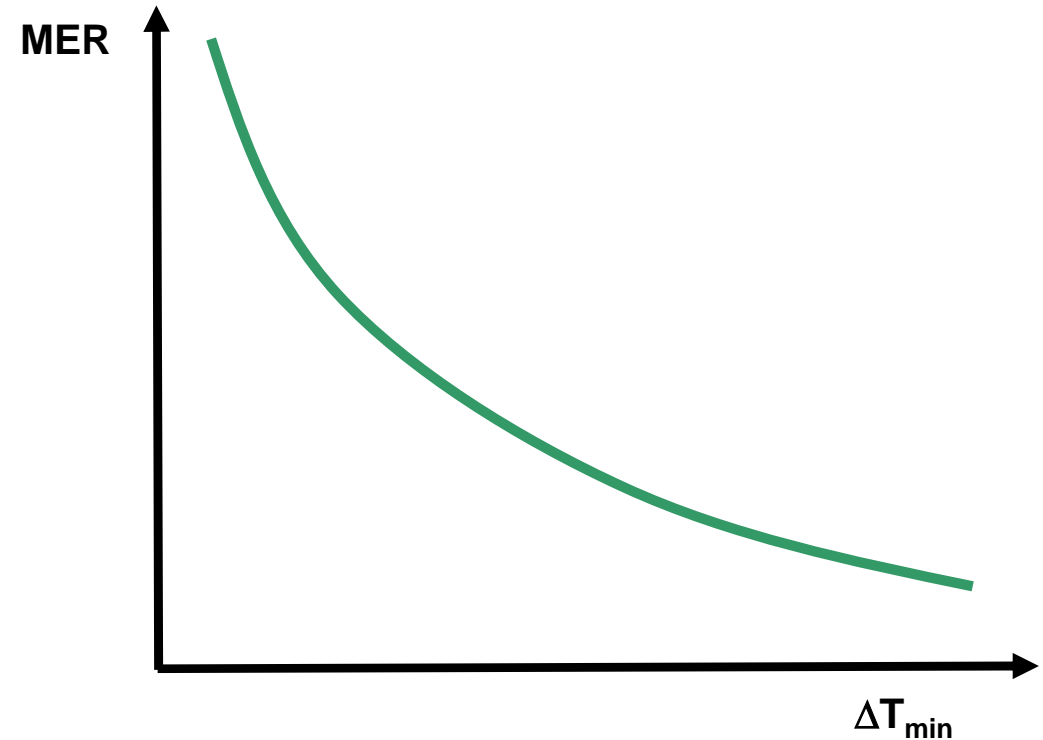
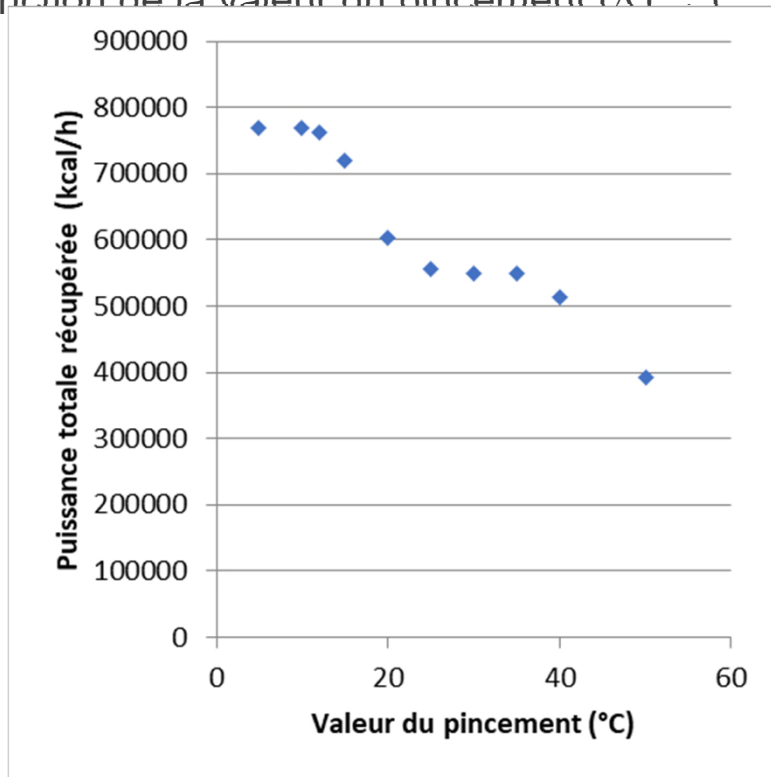
Sélection des abscisses : Valeur du pincement (°C)
Sélection des ordonnées : Aire d'échange globale (m²)



Étape 2 : Analyse des résultats

Les profils affichés automatiquement par Simulis Pinch Energy permettent d'analyser facilement les résultats.

Dans le cadre de cet exemple, il est intéressant d'observer la variation de la puissance totale récupérée en fonction de la valeur du pincement (ΔT_{\min}).



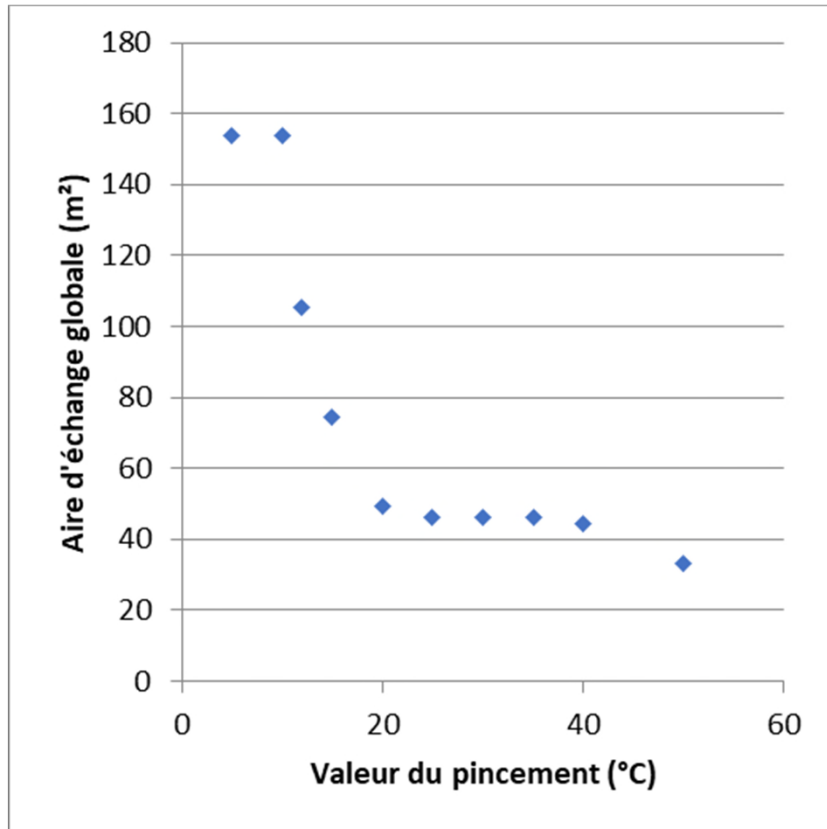
L'évolution de la puissance récupérée par rapport au ΔT_{\min} est cohérente avec la théorie : plus le pincement est faible et plus le MER (Maximum d'Energie Récupérable) est important. Il est alors logique de récupérer plus d'énergie (avec le réseau d'échangeurs) si le MER augmente.

Observation intéressante : si le ΔT_{\min} est inférieur à 10°C, le MER stagne. Pour minimiser les aires d'échange, il n'est pas nécessaire de descendre en dessous de 10°C car le MER n'augmente pas.



Étape 2 : Analyse des résultats

Le profil **Aire d'échange globale** en fonction de **la Valeur du pincement** permet lui aussi de mettre en avant un concept théorique : plus la valeur du pincement diminue, plus la différence de température logarithmique moyenne (DTML) diminue et donc plus l'aire d'échange augmente pour une même quantité de chaleur échangée

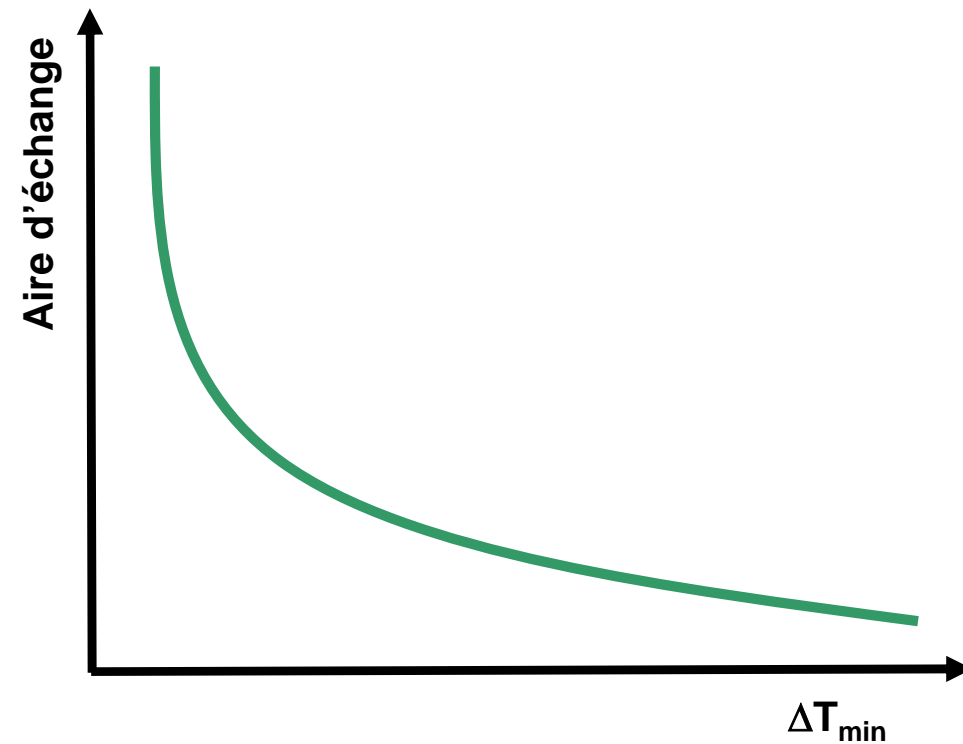


$$Q = U * A * DTML$$

Q : Quantité de chaleur échangée

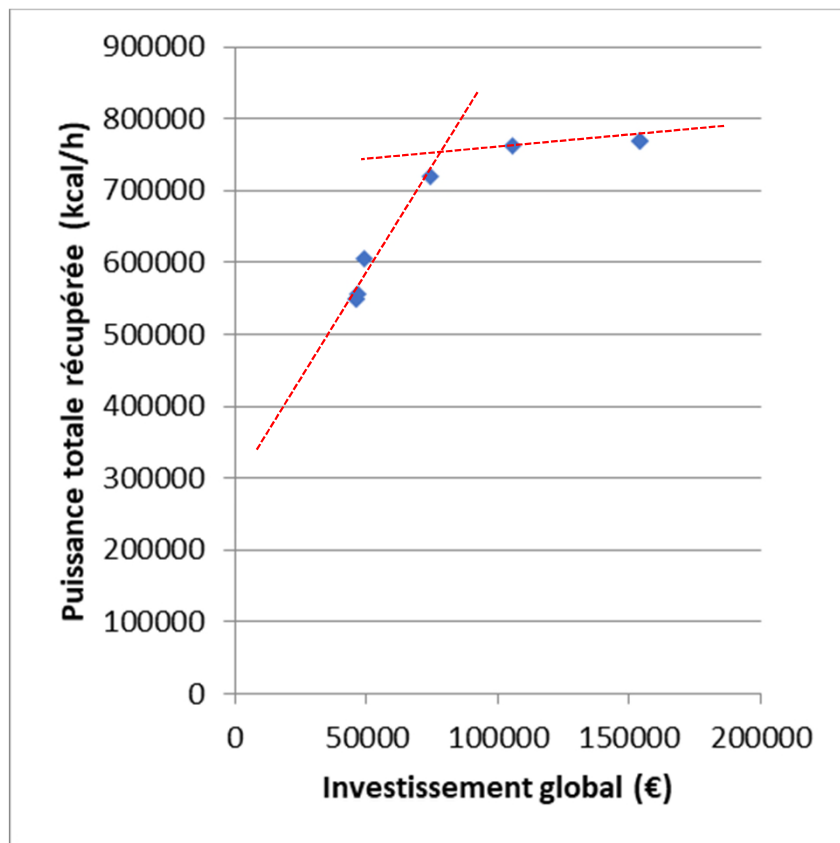
U : Coefficient de transfert global

A : Aire d'échange



Étape 2 : Analyse des résultats

L'utilisateur peut générer dans MS-Excel un profil de la **Puissance totale récupérée** en fonction de l'**Investissement global**



L'analyse de ce profil montre un point d'inflexion. Cette inflexion est située entre des valeurs de pincement de 12 et 15°C.

Cela signifie que :

- Première partie de la courbe : plus le réseau d'échangeurs permet de récupérer de l'énergie mais le coût augmente peu
- Deuxième partie de la courbe : à partir du point d'inflexion, le réseau d'échangeurs coûte beaucoup plus cher et permet de récupérer peu d'énergie

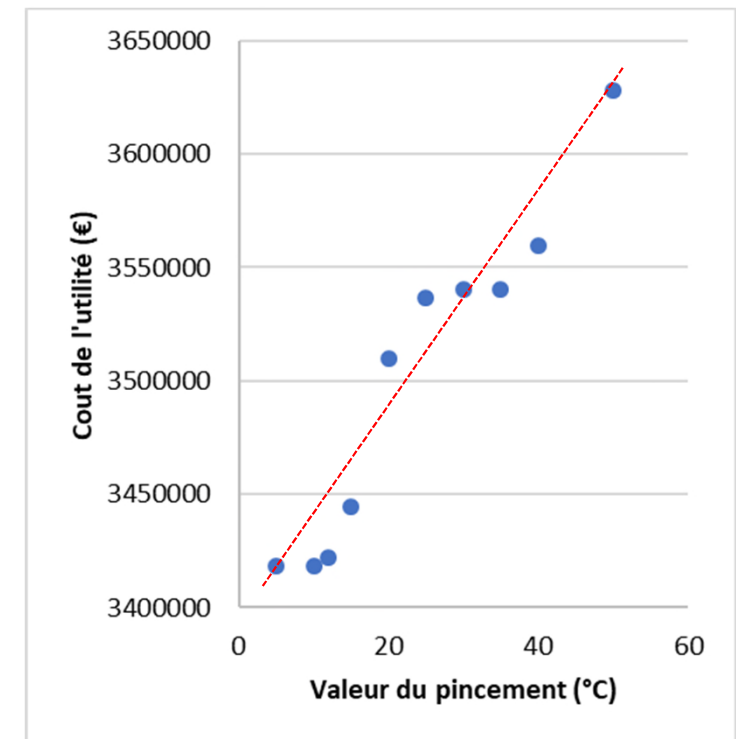
Étape 2 : Analyse des résultats

L'utilisateur peut également réaliser une analyse économique plus avancée directement dans MS-Excel. En prenant, par exemple, l'hypothèse d'un coût d'utilités froide et chaude de 30 €/MWh, il est alors possible d'ajouter le coût annuel des utilities (en considérant 8000 h/an de fonctionnement).

Variables suivies

1 Nombre initial d'échanges possibles	20
2 Facteur multiplicatif du nombre de courants initiaux	0,833333333
3 Pourcentage cumulé de la quantité de chaleur récupérée	29,96870326
4 Nombre d'échangeurs	4
5 Puissance totale récupérée (kcal/h)	768153,5603
6 Quantité de chaleur encore récupérable (kcal/h)	1500420,163
7 Quantité d'utilité froide encore nécessaire (kcal/h)	6179185,203
8 Quantité d'utilité chaude encore nécessaire (kcal/h)	6068990,284
9 Nombre d'échangeur d'utilité chaude	10
10 Nombre d'échangeur d'utilité froide	10
11 Aire d'échange globale (m²)	153,8095191
12 Investissement global (€)	153809,5191
Coût de l'utilité (€)	$=0,03*(E31+E32)*8000/860$

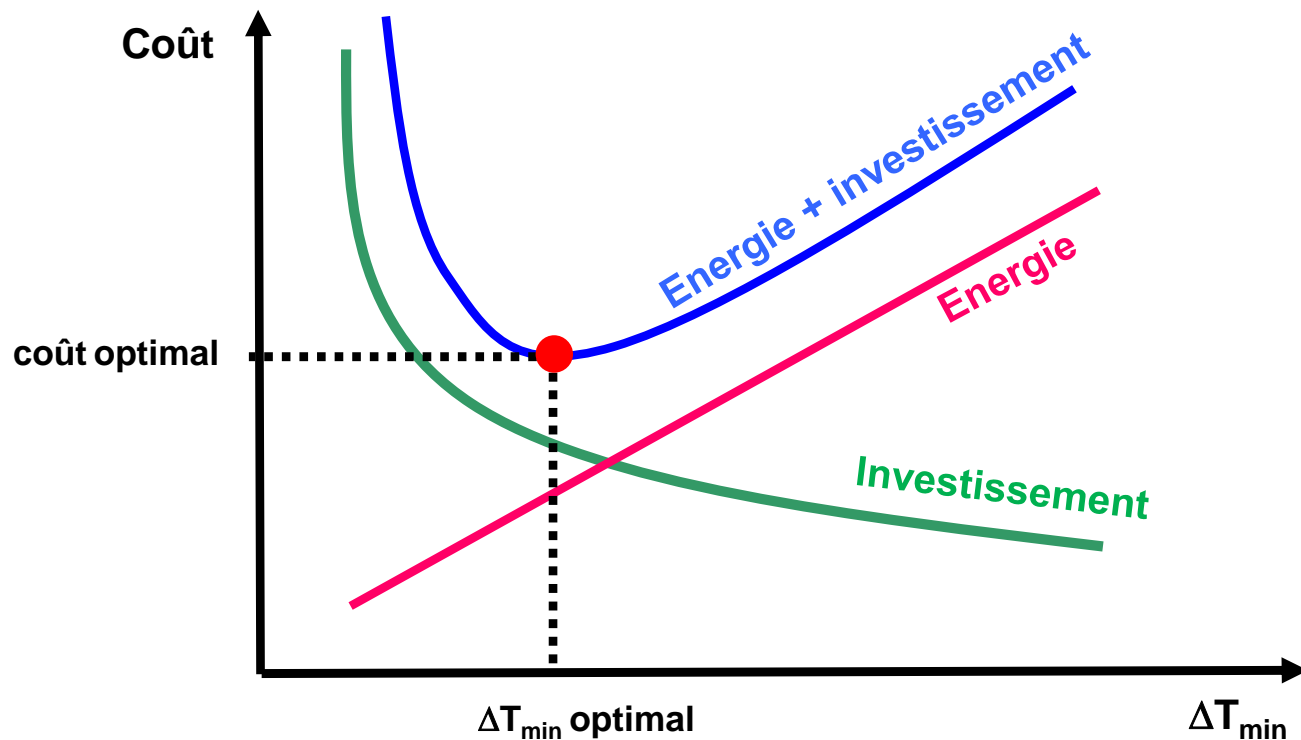
Le coût de l'utilité en fonction de la valeur du pincement évolue de manière quasi-linéaire.



Étape 2 : Analyse des résultats

Cette analyse économique permet de retrouver un concept théorique :

- Plus le pincement augmente, moins la récupération d'énergie est efficace car le MER diminue. De ce fait, le coût de l'énergie (coût de l'utilité) augmente lorsque le pincement augmente
- Plus le pincement diminue, plus le réseau d'échangeurs est efficace et permet de récupérer de l'énergie. Mais plus ce pincement diminue, plus l'aire d'échange et donc l'investissement augmentent

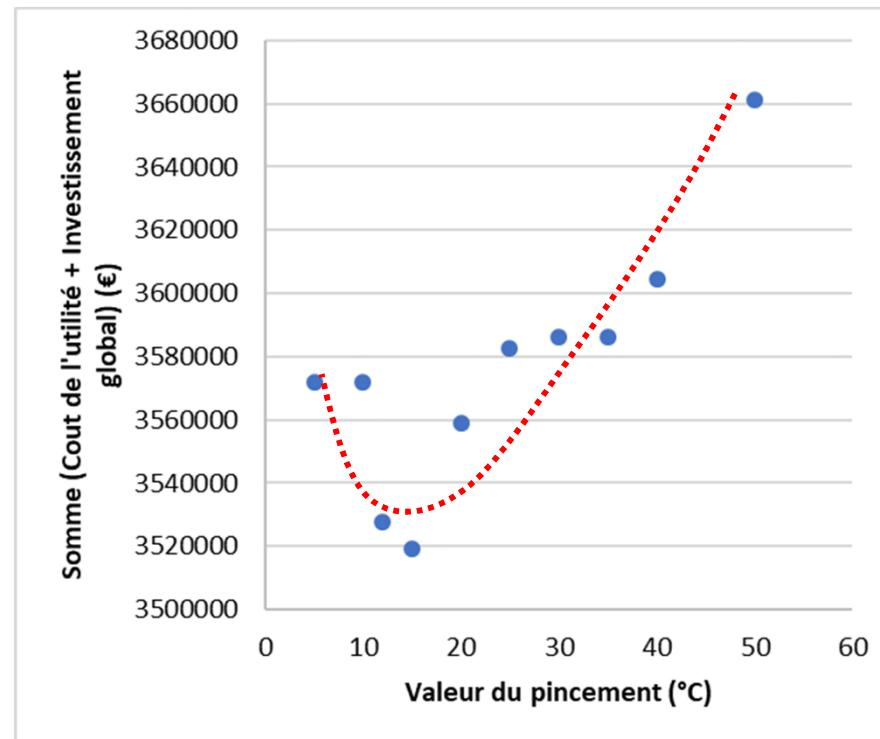


En théorie, il existe une valeur de pincement optimale pour laquelle le réseau d'échangeurs est optimal

Étape 2 : Analyse des résultats

L'analyse économique du cas étudié retranscrit ce concept théorique.

Si l'utilisateur réalise un bilan (somme du coût de l'utilité et de l'investissement global), le profil suivant peut être tracé :



En théorie, le pincement optimal se situe entre 12 et 15°C.

Dans le cadre de cet exemple, un pincement de 10°C a été retenu afin de maximiser la récupération énergétique pour un coût proche du coût optimal.

Étape 3 : Utilisation de la fonction Spécification

Pour accéder à la fonction **Spécification** avec Simulis Pinch Energy, il est nécessaire de lancer les calculs une première fois afin d'obtenir des feuilles de résultats.

Dans la feuille « Données d'entrée » générée à la suite des calculs, l'accès à la fonction est possible en cliquant sur le bouton **Spécification** :

PINCEMENT

Valeur du pincement	50	(°C)	Etude de sensibilité	Spécification
Unité de puissance	(kcal/h)			

Noms des courants	Etat physique	F*Cp (kcal/h/°C)	T entrée (°C)	T objectif (°C)
C1	L	5 598,5	25,0	135,0
C16	L	12 863,6	45,0	54,0
C4	L	17 535,5	96,0	200,0
C7	LV	53 389,9	90,8	100,0
C17	L	13 172,4	54,0	61,8
C13	L	6 140,5	65,0	88,0
C23	L	15 527,9	76,6	200,0
C28	LV	12 990,1	38,6	70,0
C29	LV	6 902,6	70,0	150,0
Rebo.C301	L	12 420,4	83,9	136,2
C61	LV	865,0	116,9	140,0
C10	L	7 064,3	100,0	80,0
C11	L	6 859,1	80,0	65,0
C43	V	86 842,1	100,0	82,1
C26	LV	225,0	76,7	76,7
C30	V	42 039,9	76,7	25,0
C33	V	5 143,6	150,0	25,0
C36	L	5 811,4	150,0	79,8
C39	L	5 149,4	79,8	57,3
Cond.C301	V	152 710,2	48,4	38,5
C52	V	189,7	140,0	11,0
C62	L	4 952,8	57,7	20,0
C51	L	623,5	70,0	20,0
C50	L	701,4	140,0	70,0

Étape 3 : Utilisation de la fonction Spécification

La feuille « Spécification » générée propose les mêmes fonctionnalités que la feuille « Etude de sensibilité ». A la différence de la fonction **Etude de sensibilité**, l'exécution du calcul est effectuée automatiquement. L'utilisateur n'a qu'à renseigner une seule valeur et le calcul s'exécute.

Spécification

1) Renseignez une ou plusieurs cellules d'entrée (cellules bleues)

2) Le calcul est effectué automatiquement

Note : L'utilisation d'un solveur est possible

L'utilisation des tables de données et de la valeur cible n'est pas possible

Liste des données d'entrée modifiables

Nom de la feuille des données d'entrée	Données d'entrée
Type d'analyse pincement	Energie
1 Valeur du pincement (°C)	10
2 Puissance échangée minimale (Mcal/h)	
3 Pourcentage minimum récupéré / MER (%)	
4 Degré de couplage maximum	
5 Autoriser la division de courant	
6 Facteur multiplicatif du nombre de courants initiaux	
7 Seuil minimum de chaleur récupérée / MER initial (%)	
8 Nombre d'échangeurs maximum	

Seule valeur renseignée par l'utilisateur

Les paramètres utilisés pour le calcul sont les données d'entrée de la feuille « Données entrée »

Variables suivies

1 Nombre initial d'échanges possibles	18
2 Facteur multiplicatif du nombre de courants initiaux	0,833333333
3 Pourcentage cumulé de la quantité de chaleur récupérée	35,95187562
4 Nombre d'échangeurs	4
5 Puissance totale récupérée (Mcal/h)	768153,5603
6 Quantité de chaleur encore récupérable (Mcal/h)	1077894,227
7 Quantité d'utilité froide encore nécessaire (Mcal/h)	6179185,203
8 Quantité d'utilité chaude encore nécessaire (Mcal/h)	6068990,284
9 Nombre d'échangeurs d'utilité chaude	10
10 Nombre d'échangeurs d'utilité froide	10
11 Aire d'échange globale (m²)	153,8095191
12 Investissement global (€)	153809,5191

Résultats de l'exécution automatique

Cette fonction **Spécification** est intéressante pour l'utilisation du solveur MS-Excel ou de tout autre type de solveur externe ou d'optimiseur avec Simulis Pinch Energy.



ProSim SA
 51, rue Ampère
 Immeuble Stratège A
 F-31670 Labège
 France

☎: +33 (0) 5 62 88 24 30



ProSim

Software & Services In Process Simulation

www.prosim.net
info@prosim.net



ProSim, Inc.
 325 Chestnut Street, Suite 800
 Philadelphia, PA 19106
 U.S.A.

☎: +1 215 600 3759