

PinCH Tutoriel 2

Bienvenue ! L'équipe PinCH de la Haute Ecole Spécialisée de Lucerne vous propose des tutoriels pour le logiciel PinCH afin de vous présenter les possibilités du logiciel et la manière de l'utiliser. Grâce à ces tutoriels, vous apprendrez les bases de l'utilisation de PinCH pour l'optimisation de l'énergie et des coûts dans les procédés industriels :

PinCH Tutoriel 0	Aperçu rapide
PinCH Tutoriel 1	Procédé continu
PinCH Tutoriel 2	Cas de fonctionnement multiples
PinCH Tutoriel 3	Procédé discontinu
PinCH Tutoriel 4	Intégration de stockages d'énergie thermique

Les tutoriels sont séquentiels. Si vous utilisez PinCH pour la première fois, nous vous recommandons de commencer par ce [Tutoriel 0](#) intitulé "Aperçu rapide".

Les tutoriels et les fichiers PinCH associés "complétés" peuvent être téléchargés à partir du site www.pinch-analyse.ch/fr. Les tutoriels peuvent être exécutés avec la version d'essai de PinCH (version complète, mais limitée à huit flux de procédé). Pour obtenir la version d'essai, veuillez envoyer un courriel à pinch@heig-vd.ch.

Les tutoriels sont disponibles en allemand, anglais et français. Les intitulés dans les diagrammes d'écoulement (process flow diagrams) et les noms des procédés, des flux, etc., ainsi que les termes liés au logiciel, sont toujours en anglais. La devise utilisée est l'Euro.

Les tutoriels se concentrent sur l'utilisation du logiciel PinCH. On suppose que vous connaissez les principes de base de l'Analyse Pinch (aussi appelée méthode du pincement). Nous recommandons les ouvrages suivants comme introduction ou pour un approfondissement de l'Analyse Pinch.

- F. Brunner, P. Krummenacher: Introduction à l'intégration énergétique de procédés par l'Analyse Pinch - Manuel pour l'analyse de procédés continus et de procédés batch. Office fédéral de l'énergie OFEN, 2017 [Manuel - Pinch - OFEN](#)(téléchargeable depuis www.pinch-analyse.ch/fr)
- R. Smith : Chemical Process Design and Integration. 2nd Edition, John Wiley & Sons, 2016 ; Analyse Pinch à partir du chapitre 15 (ISBN 9781119990130)
- I. C. Kemp : Pinch Analysis and Process Integration – A User Guide on Process Integration for the Efficient Use of Energy. 2nd Edition, Elsevier Butterworth-Heinemann, 2007 (ISBN 978-0-7506-8260-2)

Vous travaillez actuellement sur le [PinCH Tutoriel 2](#). Il s'agit d'analyser et d'optimiser une installation de production avec plusieurs cas de fonctionnement (MOCs, Multiple Operating Cases). Le [Tutoriel 2](#) est structuré comme suit :

Table des matières

I. Introduction au Tutoriel 2	2
II. Étude de cas : Installation avec plusieurs cas d'exploitation	3
III. Les 10 étapes de PinCH	7
IV. Procédé optimisé	21

I Introduction au **Tutoriel 2**

Objectif d'apprentissage : Optimiser l'énergie et les coûts pour les installations de production avec plusieurs cas d'exploitation avec [PinCH](#).

Durée : 2 à 3 heures

Tout en optimisant l'énergie et les coûts des installations de production avec cas de fonctionnement multiples, d'autres aspects de [PinCH](#) vous seront présentés, notamment la configuration des équipements ainsi que la définition des procédés à cas de fonctionnement multiples (MOC). Ce [PinCH Tutoriel 2](#) vous guidera à travers les étapes suivantes ([les étapes 7 et 9](#) ne sont pas nécessaires pour cette étude de cas) :



FIGURE 1 – Etapes de travail dans [PinCH](#) pour optimiser un procédé avec cas de fonctionnement multiples.

L'équipe PinCH de la Haute Ecole Spécialisée de Lucerne espère que vous trouverez ce tutoriel instructif et vous souhaite beaucoup de succès !

II Étude de cas : Installation avec plusieurs cas d'exploitation

Description du procédé

Nous considérons une installation de production en cours de planification d'une entreprise de produits chimiques. A l'avenir, deux produits différents devront être fabriqués avec le même réacteur.

Dans le premier cas de fonctionnement (Operating Case (OC), Product C), le réactif A (Reactant A) et le réactif B (Reactant B), réagissent pour former le produit C (Product C) dans le réacteur (Figure 2). Les deux réactifs doivent être chauffés à 100 °C pour que la réaction endothermique puisse avoir lieu. Puis le produit C doit être refroidi à 40 °C.

Dans le deuxième cas de fonctionnement (Operating Case (OC), Product F), le réactif D (Reactant D) et le réactif E (Reactant E) réagissent pour former le produit F (Product F) (Figure 3). Seul le réactif E doit être chauffé à 90 °C pendant cette réaction exothermique. Le produit F, quant à lui, doit être refroidi à 40 °C. Un coefficient de transfert de chaleur α de 1'000 W/(m² K) est considéré pour tous les flux de procédé.

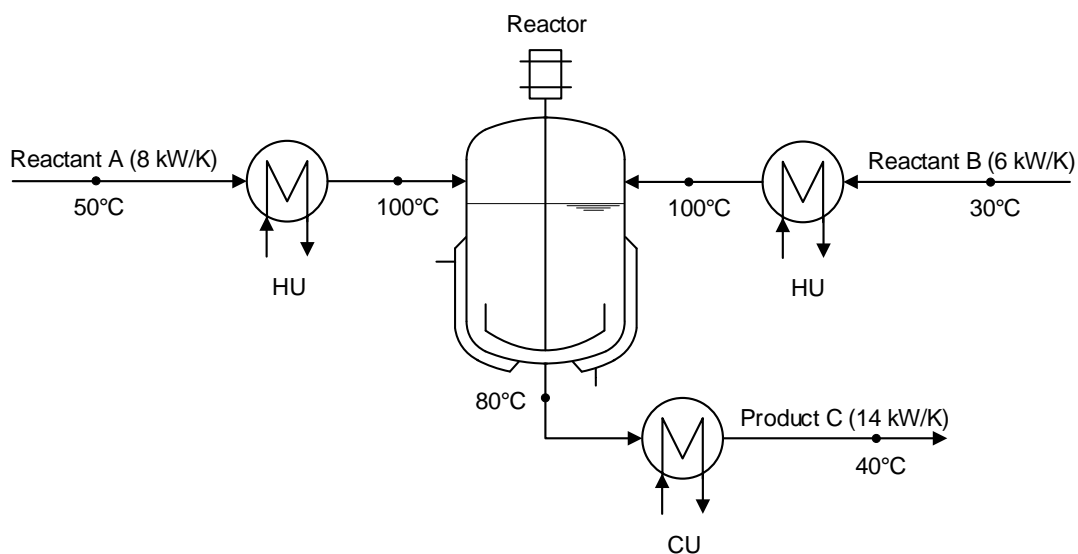


FIGURE 2 – Diagramme d'écoulement pour l'OC du produit C (réaction endothermique)

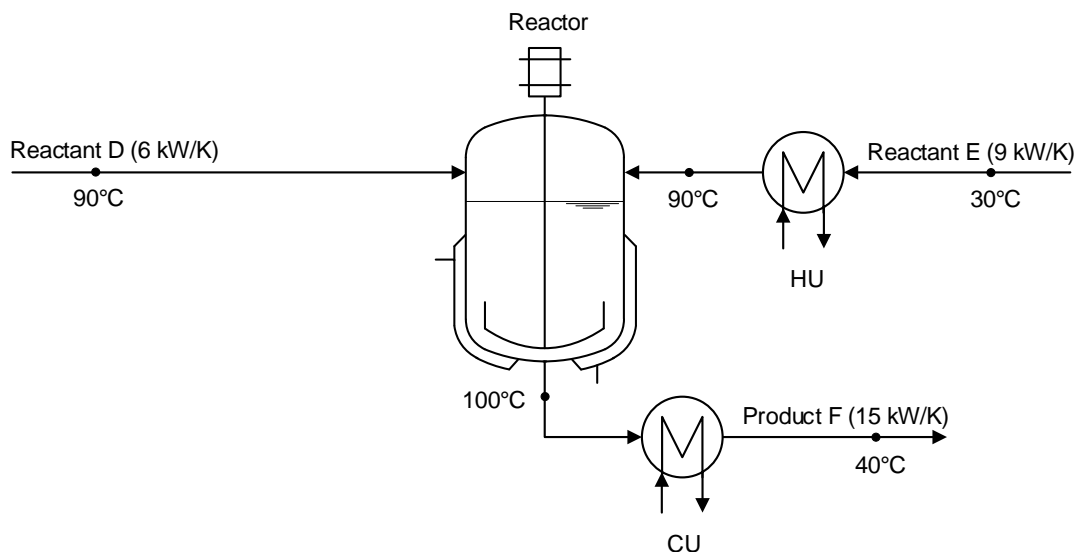


FIGURE 3 – Diagramme d'écoulement pour l'OC du produit F (réaction exothermique)

Calendrier de production

Les deux cas de fonctionnement ont lieu à des périodes différentes. Les interruptions de production ne sont pas prises en compte. Comme le montre la Figure 4, la durée d'exploitation du OC produit C et du OC produit F est de 3'000 h/an et de 4'000 h/an respectivement. La production est opérationnelle 7'000 h/an au total.

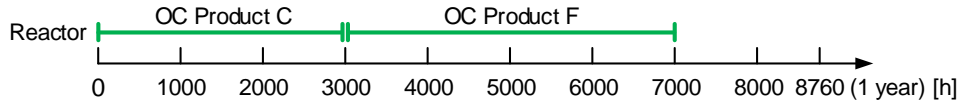


FIGURE 4 – Diagramme de Gantt

Approvisionnement en énergie

Les **Utilités** du Tableau 1 sont disponibles pour le chauffage et le refroidissement des flux de procédé. La vapeur est utilisée comme utilité chaude (Hot Utility, HU) pour le chauffage. La vapeur de chauffage est disponible sous forme de vapeur saturée, de sorte que la pression p et – au lieu de la température d'entrée (T_{in}) et de sortie (T_{out}) – la teneur en vapeur (le titre x) sont spécifiés. L'utilité froide (Cold Utility, CU) est de l'eau de refroidissement, qui est fournie par une tour de refroidissement.

TABLE 1 – Utilités

Utilities	T_{in} [°C]	T_{out} [°C]	p [bar(a)]	α [W/(m ² K)]	c [€/MWh]
Heating Steam (HU)	$x=1$	$x=0$	4	5'000	70
Cooling Water (CU)	26	32	3	2'000	18

Les coûts totaux annuels d'exploitation C_{Op} [€/a] se composent des coûts d'exploitation annuels par OC. Ils sont calculés comme suit, en utilisant les durées d'exploitation annuelles τ [h/an], les besoins \dot{Q} [kW] de HU / CU, et les coûts spécifiques c_{HU} , c_{CU} [€/MWh] de HU / CU :

$$C_{Op} = \sum_{OC} C_{Op, OC} = \sum_{OC} \tau_{OC} \cdot \left(\dot{Q}_{HU, OC} \cdot c_{HU, OC} + \dot{Q}_{CU, OC} \cdot c_{CU, OC} \right) \quad (1)$$

TABLE 2 – Utilités et coûts d'exploitation du procédé sans récupération de chaleur (RC)

Cas de fonctionnement	\dot{Q}_{HU} [kW]	\dot{Q}_{CU} [kW]	τ [h/an]	C_{Op} [€/an]
OC Product C	820	560	3'000	202'440
OC Product F	540	900	4'000	216'000
Total	-	-	7'000	418'440

Coûts d'investissement

Vous connaissez déjà la procédure de calcul des coûts d'investissement avec le [Tutoriel 1](#). Étant donné que seuls les coûts d'investissement C_{HEX} des échangeurs de chaleur (HEX) pour la récupération de chaleur (RC) et les utilités doivent être pris en compte, les coûts d'investissement globaux C_{Inv} se calculent comme suit :

$$C_{Inv} = \sum_{HEX} C_{HEX} = \sum_{HEX} \left(C_0 + C_b \cdot \left(\frac{A_{HEX}}{A_b} \right)^m \right) \quad (2)$$

où $C_0 = 0$ (coûts de base du HEX), $C_b = 110'000 \text{ €}$ (coûts de référence du HEX), $A_b = 100 \text{ m}^2$ (surface de référence du HEX) et $m = 0.71$ (exposant d'économie d'échelle, voir [Tutoriel 1](#)). Ces valeurs sont utilisées dans le calcul des coûts de tous les échangeurs de chaleur, sur la base de leur surface de transfert de chaleur A correspondante.

Les deux échangeurs de chaleur "HU-Réactif B" et "HU-Réactif E", ainsi que "CU-Produit C" et "CU-Produit F", sont associés aux mêmes matériels (même ligne de production). Ici, la conception (et donc le calcul des coûts) du HEX en question se base sur l'exigence du procédé nécessitant la plus grande surface de transfert. C'est pourquoi les échangeurs de chaleur de OC Product F sont pris en compte.

En utilisant la fonction de coût (équation 2), on obtient les coûts suivants pour les deux HU-HEX et le CU-HEX :

TABLE 3 – Coûts des différents échangeurs de chaleur à l'aide de l'équation 2

Echangeur de chaleur	\dot{Q} [kW]	ΔT_m [K]	k [W/(m ² K)]	A [m ²]	C_{HEX} [€]
HU Reactant A	400	65.9	833.3	7.3	17'132
HU Reactant E	540	80.3	833.3	8.1	18'419
CU Product F	900	34.2	666.7	39.5	56'894
Total				54.9	92'445

Note: La température de condensation de la vapeur d'eau à 4 bar(a) (environ 144 °C) est utilisée pour calculer la différence de température logarithmique moyenne ΔT_{lm} de HU1 et HU2.

La valeur k est calculée selon le [Tutoriel 1](#) à partir des deux valeurs α des flux respectifs (tous les flux ont une valeur α de 1'000 W/(m² K)) : $\frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2}$

Coûts totaux

Les coûts totaux annuels C_{tot} [€/an] sont calculés à partir des annuités annuels $a \cdot C_{Inv}$ [€/an] et des coûts d'exploitation annuels C_{Op} [€/an], où a est le facteur d'annuité, voir équation 3 :

$$C_{tot} = a \cdot C_{Inv} + C_{Op} \quad \text{mit} \quad a = \frac{Z \cdot (1 + Z)^n}{(1 + Z)^n - 1} \quad (3)$$

Les grandeurs suivantes sont données :

- Taux d'intérêt : $Z = 5\%$
- Durée d'amortissement : $n = 4$ ans

Le facteur d'annuité est $a = 0.282$. Dans ce tutoriel, nous considérons la planification d'une nouvelle ligne de production et les coûts d'investissement correspondants figurent au Tableau 3. Les coûts d'investissement du réacteur ne sont pas pris en compte, car ils doivent être engagés indépendamment de l'optimisation énergétique et économique. Il en résulte donc des coûts totaux annuels associés aux prestations énergétiques au procédé suivants : $C_{tot} = a \cdot C_{Inv} + C_{Op} = 444'510 \text{ €/an}$.

Problème

- Déterminer les **valeurs cibles énergétiques et économiques** pour les deux OC.
- Créer un **MER HEN** (réseau d'échangeurs de chaleur à récupération d'énergie maximale) pour les deux OCs.
- Combiner les deux MER HEN pour former un seul diagramme d'écoulement pouvant être utilisé pour les deux OCs.



Step 0: Define Process Requirements

Définir les **exigences de procédé** en extrayant les données pertinentes (pour l'extraction des données, voir **Tutoriel 1**). Le réactif D n'est pas une exigence de procédé, car le réactif D est déjà à la température désirée de 90 °C.

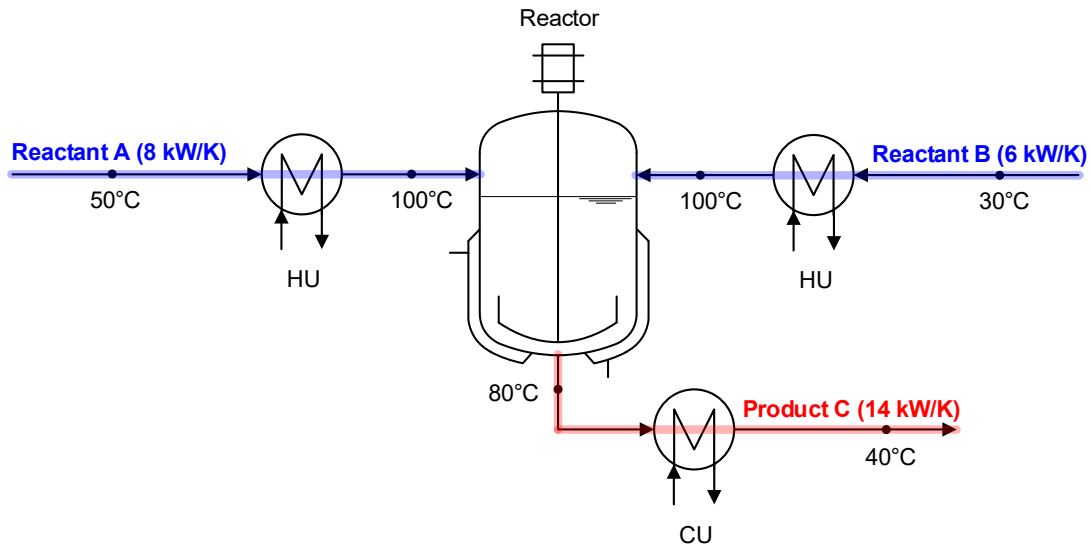


FIGURE 5 – Exigences de procédé pour l'OC Product C (réaction endothermique)

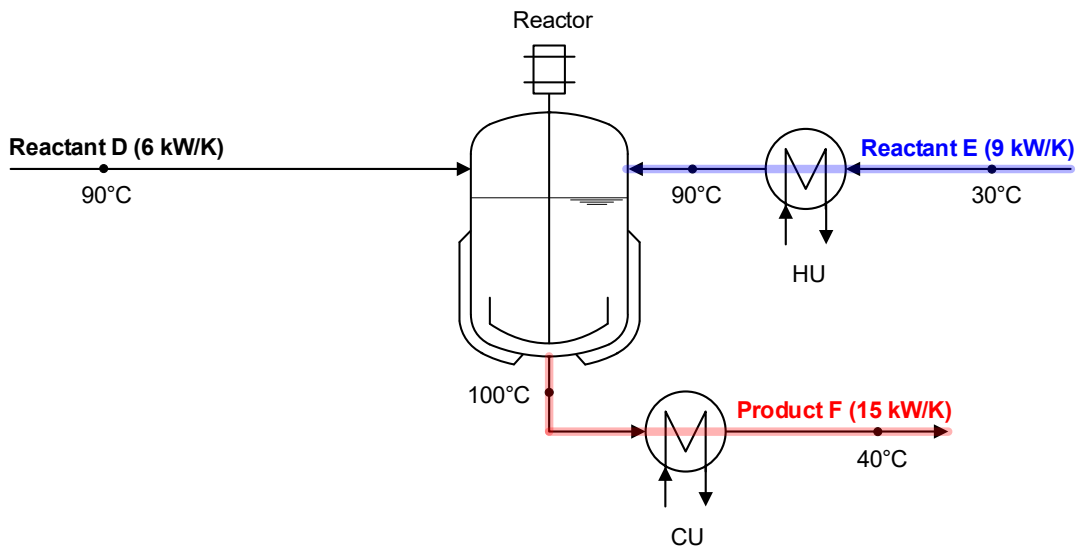


FIGURE 6 – Exigences de procédé pour l'OC Product F (réaction exothermique)

TABLE 4 – Exigences du procédé

Operating Case (OC)	Process Stream	T_{in} [°C]	T_{out} [°C]	α [W/(m ² K)]	CP [kW/K]
OC Product C	Reactant A	50	100	1'000	8
OC Product C	Reactant B	30	100	1'000	6
OC Product C	Product C	80	40	1'000	14
OC Product F	Reactant E	30	90	1'000	9
OC Product F	Product F	100	40	1'000	15

III Les 10 étapes de PinCH

C'est parti!

Pour commencer, démarrez le logiciel [PinCH](#). Avant de commencer le projet proprement dit, il est recommandé de vérifier les réglages de base et les ajuster si nécessaire. Dans ces tutoriels, les coûts étant exprimés en €, vous devez modifier les paramètres correspondant à cette devise dans l'onglet *Currencies* du menu *Settings*. Laissez inchangé le taux de change de 1.1 CHF/€. De plus, les unités kW/MWh seront utilisées. La marche à suivre est précisée dans le [Tutoriel 0](#).

Le tutoriel suit les [10 étapes de PinCH](#). Tout d'abord, créez un nouveau projet et donnez-lui un nom approprié (consultez la procédure décrite dans le [Tutoriel 1](#) si nécessaire).



Step 1: Enter Stream Data

Les exigences thermiques du procédé sont renseignées dans le tableau des flux de procédé ([Process Stream Table](#)). Le tableau complété ressemble à ceci :

+/-	Name	Hot/Cold	T_{in} °C	T_{out} °C	m kg/s	c_p kJ/(kg K)	Phase Change kJ/kg	α W/(m ² K)	Pressure bar(a)	CP kW/K	ΔH kW	Fluid	Humidity Ratio In kg/kg	Soft	tstart h	tstop h
	Reactant A	↗	50	100	2.66667	3	-	1000	-	8	400	Simple	-	<input type="checkbox"/>	-	-
	Reactant B	↗	30	100	2	3	-	1000	-	6	420	Simple	-	<input type="checkbox"/>	-	-
	Product C	↘	80	40	4.66667	3	-	1000	-	14	560	Simple	-	<input type="checkbox"/>	-	-
	Reactant E	↗	30	90	3	3	-	1000	-	9	540	Simple	-	<input type="checkbox"/>	-	-
	Product F	↘	100	40	5	3	-	1000	-	15	900	Simple	-	<input type="checkbox"/>	-	-

FIGURE 7 – Tableau des flux de procédé

Les [Utilités](#) (HU and CU) sont saisies dans le tableau des flux d'utilités ([Utility Stream Table](#)). Ce tableau complété ressemble à ceci :

+/-	Name	Hot/Cold	T_{in} °C	T_{out} °C	c_p kJ/(kg K)	Phase Change kJ/kg	α W/(m ² K)	Pressure bar(a)	Utility Cost EUR/MWh	Fluid	Humidity Ratio In kg/kg
	Heating Steam (HU)	↗	x1	x0	-	2133.77	5000	4	70.000	Water	-
	Cooling Water (CU)	↘	26	32	4.2079	-	2000	3	18.000	Water	-

FIGURE 8 – Tableau des flux d'utilités

Step 2: Configure Equipment

Dans notre étude de cas, les mêmes matériels sont utilisés pour les deux OCs. Dans le Project Explorer sous **Equipment Individual**, vous pouvez constater qu'au départ un équipement est affecté à chaque flux de procédé. Pour modifier cela, procédez comme suit :

- ☞ Clic droit sur **Shared** (partagé)
- ☞ **Create New Shared Equipment** (deux fois) (créer un nouvel équipement partagé)
- ☞ Renommer les équipements créés "Reactants B, E" et "Products C, F".
- ☞ Sélectionner le flux "Reactant B" dans le tableau des flux de procédé.
- ☞ Cliquer sur Propriétés sous *Target Explorer*.
- ☞ Ouvrir l'onglet Equipment et sélectionner "Reactants B, E".
- ☞ Affecter le flux "Reactant E" à l'équipement "Reactants B, E" de la même manière.
- ☞ Affecter maintenant les flux "Product C" et "Product F" à l'équipement "Products C, F".
- ☞ Renommer l'équipement "New Process Stream 1 Eq" sous Individual "Reactant A". Il s'agit d'un équipement individuel parce qu'il n'existe que dans l'OC du produit C.

Dans le Project Explorer, vous trouverez sous **Shared** l'équipement "Products C, F" par exemple. Lorsque vous cliquez sur cet équipement, les flux assignés sont surlignés en bleu dans le tableau des flux de procédé.

Name	Hot/Cold	T _{in} °C	T _{out} °C	m kg/s	c _p kJ/(kg K)	Phase Change	α W/(m ² K)	Pressure bar(a)	CP kW/K	ΔH kW	Fluid	Humidity Ratio ln kg/kg	Soft	tstart h	tstop h
Reactant A	Hot	50	100	2.66667	3	-	1000	6	850	Simple	-	-	-	-	-
Reactant B	Hot	30	100	2.66667	3	-	1000	6	850	Simple	-	-	-	-	-
Product C	Cold	80	40	4.66667	3	-	1000	14	540	Simple	-	-	-	-	-
Reactant E	Hot	30	90	3	3	-	1000	9	540	Simple	-	-	-	-	-
Product F	Cold	100	40	5	3	-	1000	15	900	Simple	-	-	-	-	-

FIGURE 9 – L'équipement "Products C, F" contient les flux de procédé surlignés en bleu "Product C" et "Product F"








Step 3: Define Processes

Pour définir une installation de production avec plusieurs cas de fonctionnement, les flux de procédé doivent être répartis entre les deux OCs :

- ☞ Clic droit sur **Processes**.
- ☞ **Add Continuous Process** (ajouter un procédé continu)
- ☞ Renommer les deux procédés, "Process 1" et "Process 2", en "OC Product C" et "OC Product F" (utilisez F2).
- ☞ Ajouter les flux de procédé (Reactants et Products) aux OCs correspondants (OC Product C ou OC Product F).

Note: Deux flux de procédé ne peuvent pas s'écouler à travers le même équipement en même temps. Par conséquent, les flux de procédé qui sont affectés au même équipement ne peuvent pas être affectés aux mêmes OCs. Les flux de procédé correspondants sont surlignés en gris dans le tableau des flux de procédé.

Créez maintenant un groupe de cas de fonctionnement multiples (groupe MOC) et ajoutez-y l'OC Product C et l'OC Product F :

-  Clic droit sur Processes.
-  [Add Multiple Operating Cases Group](#) (ajouter un groupe de fonctionnement multiples)
-  Renommer le procédé "MOC Group 3" en "Chemical Process".
-  Clic droit sur "Chemical Process".
-  [Assign Process](#) (attribuer le procédé) et sélectionner "OC Product C" et "OC Product F".








Step 4: Apply Scheduling to Processes

Les horaires et calendriers d'exploitation de notre installation de production sont précisés au chapitre II. L'OC Product C fonctionne 3'000 h/an et l'OC Product F fonctionne 4'000 h/an.

Ouvrez l'onglet [OC Schedule 1](#) et entrez les heures de fonctionnement pour le "Chemical Process" défini à l'étape 3.

Note: PinCH tient compte du fait que les flux de procédé associés aux deux OC ne peuvent pas exister en même temps. Si vous modifiez la durée des OCs, vous devez vous assurer que les OCs ne se chevauchent jamais. Dans le cas contraire, la modification n'est pas acceptée.

-  Cliquer sur le symbole + devant "Chemical Process" (sous OC Schedule 1 dans Continuous Processes).
-  Dans la colonne [CW Start](#), changer le début de la semaine du OC Product C à 1. Pour le OC Product F, changer le début de la semaine à 43. Cela permet d'éviter tout chevauchement entre les deux OCs.
-  Dans la colonne [Timebase](#), sélectionner "Cont. Year" pour les deux OCs.
-  Ajuster la durée des deux OCs dans la colonne [Duration](#).
-  Pour éviter tout temps mort entre les deux OCs, il est possible de régler "Start Day" (colonnes [Mo](#) à [Su](#)), "Start Time" (heure de début, colonne [Daytime Start](#)) et "Start Week" (semaine de début, colonne [CW Start](#)) du OC Product F aussi près que possible de la fin du OC Product C (p. ex. commencer le lundi à 7 :00 dans la semaine 19). Ce n'est cependant pas obligatoire.

Information supplémentaire: La colonne [Production Campaign Start](#) spécifie l'heure à laquelle l'OC commence par rapport au début de l'année. La colonne [Production Campaign End](#) spécifie de manière correspondante l'heure à laquelle le procédé se termine. [Gross Operation Time](#) spécifie le temps de fonctionnement de l'OC, y compris les interruptions (différence entre "Production Campaign Start" et "Production Campaign End"). [Net Operation Time](#) (durée de fonctionnement net) indique combien d'heures l'OC est effectivement en service (compte tenu des interruptions de nuit et de fin de semaine, etc). La durée de fonctionnement nette correspond au nombre total d'heures de fonctionnement par an et sert à calculer les coûts énergétiques.

Pour notre étude de cas, l'onglet "OC Schedule 1" ressemble à ceci :

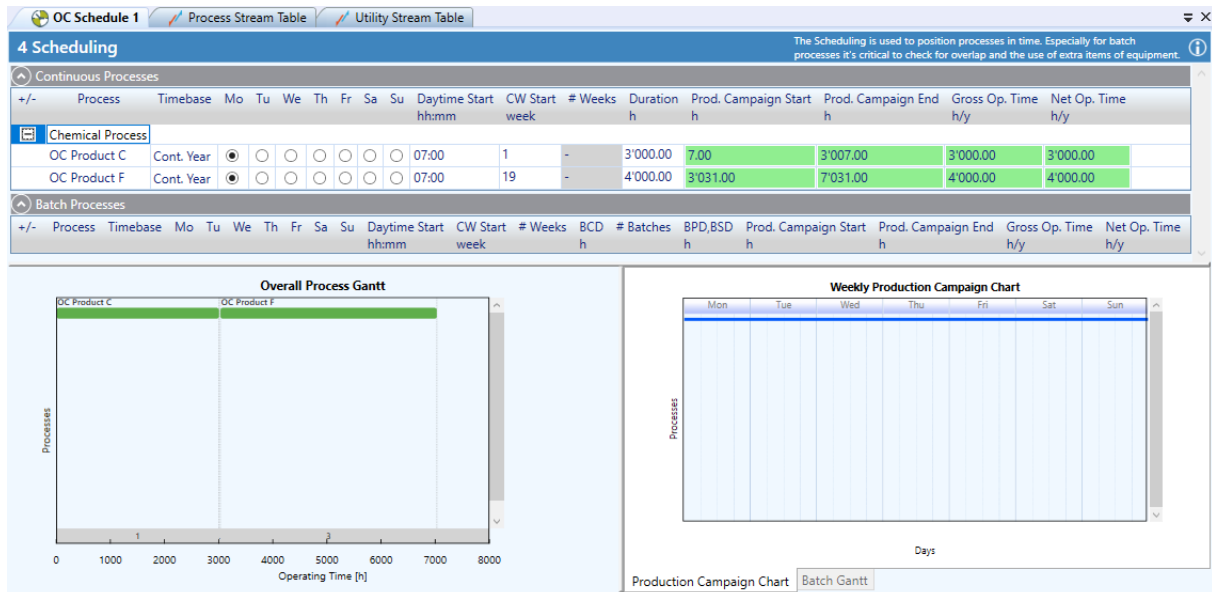


FIGURE 10 – Operating cases scheduling

Les deux OCs sont illustrés avec leurs durées respectives dans le diagramme [Overall Process Gantt](#). Celui-ci montre que l'OC Product F commence directement après l'OC Product C. La durée de production du procédé chimique sur une semaine (production continue, dans notre cas) est indiquée dans [Weekly Production Campaign Chart](#).



Step 5: Set Economic Data

Les paramètres économiques ont déjà été abordés dans le [Tutoriel 1](#). Les coûts des échangeurs de chaleur sont calculés dans PinCH comme décrit dans la section "Investment Costs" à la page 4. En plus des données du HEX de référence (coûts de l'échangeur de chaleur à la Figure 11), les paramètres d'amortissement sont définis à l'étape 5.

Modifiez les "Heat Exchanger Costs" et "Amortization Parameters" selon les informations de la Figure 11.

Information supplémentaire: Les coûts de l'électricité, les coûts fixes indépendants et les coûts de personnel et d'entretien peuvent être saisis selon les besoins. Les coûts d'électricité sont particulièrement importants lors de l'intégration d'une pompe à chaleur. Mais ces coûts ne sont pas pertinents pour déterminer le ΔT_{min} optimal, car il s'agit de montants constants, indépendants du ΔT_{min} .

Votre tableau final de données économique devrait maintenant inclure les valeurs suivantes :

5 Economic Data The economic Data data is used throughout the software PinCH for calculating the main costs associated with an heat exchanger network

Heat Exchanger Costs

$$C = C_0 + C_b (A/A_b)^m$$

A = Heat Exchanger Area in m²

Type	Fixed Cost C ₀ EUR	Base Cost C _b EUR	Base Area A _b m ²	Exponent m
Process Heat Exchanger	0	110'000.0	100	0.71
Hot Utility Heat Exchanger	0	110'000.0	100	0.71
Cold Utility Heat Exchanger	0	110'000.0	100	0.71
ISSP Heat Exchanger	0	110'000.0	100	0.71

Storage: Tank Costs

$$C = C_0 + C_b (V/V_b)^m$$

V = Tank Volume in m³

Storage	Fixed Cost C ₀ EUR	Base Cost C _b EUR	Base Volume V _b m ³	Exponent m	Storage Type
FTVM	0	150'000.0	100	0.71	FTVM
Stratified	0	150'000.0	100	0.71	Stratified

Storage: Media Costs and Media Properties

$$C = C_b * m_{sm}$$

m_{sm} = Mass of Storage Media in kg

Media	Base Cost C _b EUR/kg	Density kg/m ³	α W/(m ² K)	c _p kJ/(kg K)
Water	0.0010	1000	2000	4.18789
Heat Transfer Oil	5.0000	800	1000	2.00000

Amortisation Parameters

Pay Off Period: y Independent: EUR

Interest Rate: % Personnel: %/y Investment Costs

Annuity: 0.282 1/y Maintenance: %/y Investment Costs

Electricity

Note: Utility Costs are set on Utility Stream Table Electricity Cost: EUR/MWh Electric Power: kW

FIGURE 11 – Données économiques

Après avoir renseigné les données économiques à l'étape 5, l'installation de production est entièrement caractérisée dans PinCH. Dans les étapes 6 à 10, l'optimisation énergétique et économique s'effectue sur la base des données saisies dans le Project Explorer. Votre Project Explorer devrait maintenant être structuré comme suit :

Project Explorer

1-5 Project Explorer

- Chemical Process
 - Process Stream Table
 - Equipment
 - Shared
 - Reactants B, E
 - Products C, F
 - Individual
 - BaseCase
 - Processes
 - Chemical Process
 - OC Product C
 - OC Product F
 - Operating Cases Scheduling
 - OC Schedule 1
 - Economic Data
 - Economic Data

FIGURE 12 – Project Explorer

Step 6: Prepare Targeting Calculations

Pour examiner un scénario, créez un nouveau Target Group et assignez-le au Chemical Process défini à l'étape 3. Ajoutez l'utilité chaude et l'utilité froide définies à l'étape 1 au Target Group 1. Vous trouverez des informations supplémentaires sur l'affectation des procédés des utilités, etc. dans le Tutoriel 1. Votre Target Explorer ressemble maintenant à ceci :

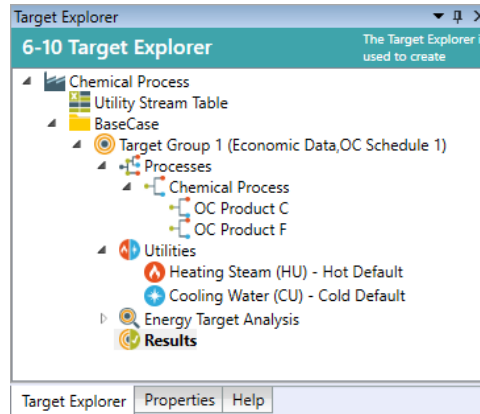


FIGURE 13 – Target Explorer

Step 7: Analyze Energy Targets

L'outil "Energy Target Analysis (ETA)" permet à l'utilisateur d'analyser du point de vue énergétique différentes combinaisons de procédés, en particulier des procédés se chevauchant dans le cas MOC. L'objectif de cette étape est de trouver laquelle des combinaisons offre le plus de bénéfices énergétiques.

Information supplémentaire: En plus d'analyser la contribution de procédés individuels au potentiel global de récupération totale de chaleur, l'outil "Energy Target Analysis (ETA)" permet l'analyse, pour des procédés batch, du potentiel de RC directe (flux simultanés) et indirecte ("flux non synchrone", utilisation de boucle de transfert intermédiaire avec stockage de chaleur). Cependant, l'outil ETA a beaucoup plus à offrir. Il est particulièrement utile pour les systèmes plus complexes, pour lesquels plusieurs cas de fonctionnement doivent être optimisés.

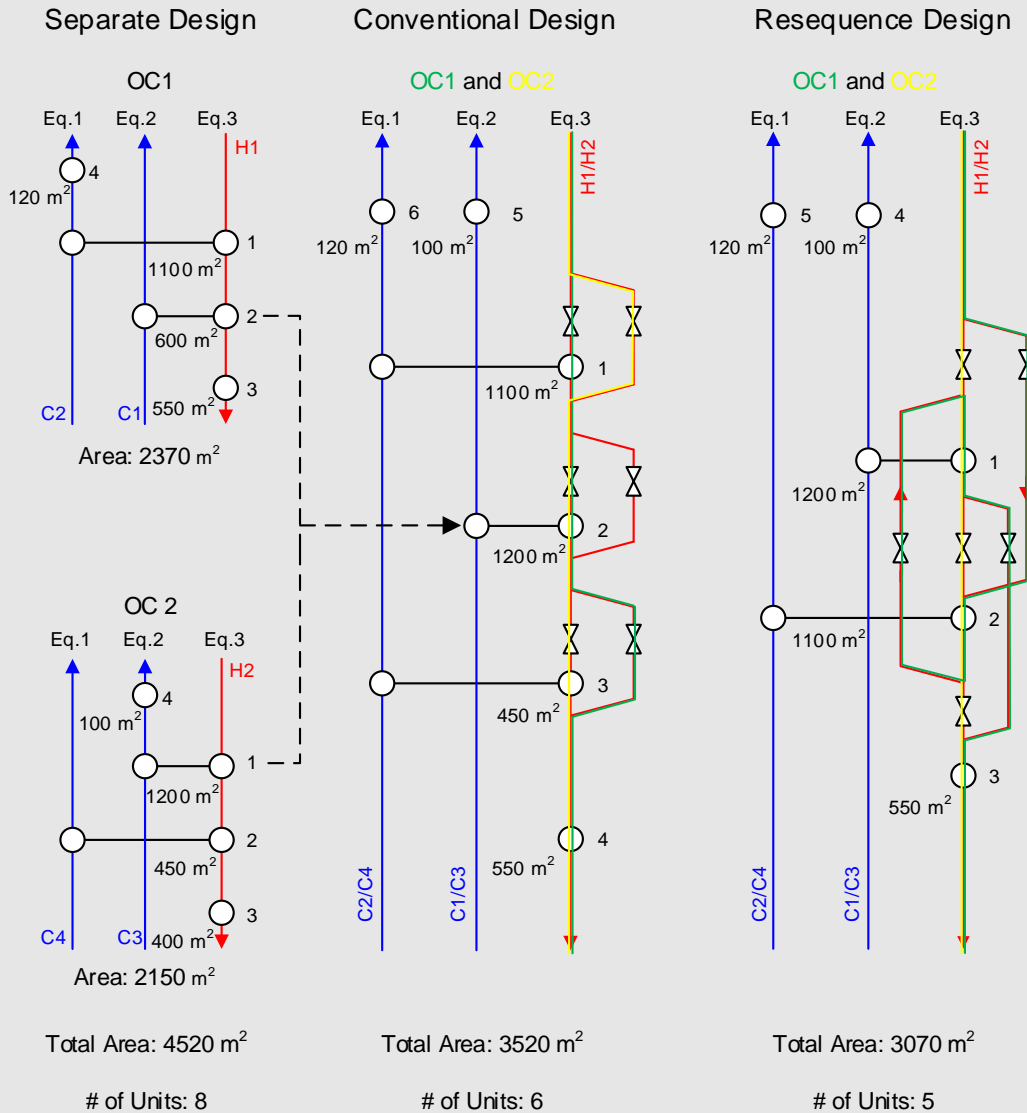
Pour notre étude de cas avec deux OCs, une analyse détaillée à l'Etape 7 n'est pas nécessaire.

Step 8: Calculate Energy & Cost Targets

Dans le [Super Targeting](#), les types de conception "Separate Design", "Conventional Design" et "Resequence Design" peuvent être comparés entre eux. Un réseau d'échangeurs de chaleur (HEN) est créé pour chaque OC. Contrairement au "Separate Design", "Conventional Design" et "Resequence Design" considèrent la réutilisation d'échangeurs de chaleur dans plusieurs OCs. Le nombre d'échangeurs de chaleur du réseau d'échangeur global peut ainsi être réduit (voir [Manuel - Pinch - OFEN](#)). Dans notre étude de cas, nous effectuons un "Super Targeting" avec l'option "Conventional Design".

Information supplémentaire: Par rapport à l'Analyse Pinch "classique" d'un procédé continu unique, le MOC Super Targeting / HEN Design vise en plus à maximiser la réutilisation des HEXs existants entre les différents OCs. Il s'agit d'un problème d'optimisation complexe. Par liberté de réutilisation d'un HEX, on entend la possibilité d'utiliser un HEX donné, dimensionné pour un OC, également

dans un autre OC entre n'importe quels flux de procédé. Les deux types de conception "Conventional Design" et "Resequence Design" limitent cette liberté de réutilisation des HEX et donc simplifient le problème d'optimisation. Ci-dessous, les 3 types de conception sont illustrés pour un exemple à 3 flux dérivant de notre étude de cas.



Le **Separate Design** considère chaque OC séparément. Aucun HEX d'un OC ne peut être réutilisé pour les autres OCs (donc il n'y a pas de réutilisation de surface d'échange de RC). Le nombre d'échangeurs de chaleur en conception "Separate Design" est donc plus élevé que dans les autres types de conception. Dans l'exemple ci-dessus, huit échangeurs de chaleur d'une surface totale de 4'520 m² sont nécessaires.

Le Conventional Design permet de réutiliser des HEX entre les OCs. Cependant, cette réutilisation est limitée par deux contraintes :

- (1) Les échangeurs doivent rester entre les mêmes équipements et leur ordre de succession (séquence dans le sens d'écoulement) des HEXs "dans" chaque équipement ne peut pas être modifié d'un OC à l'autre : un HEX peut être bypassé au cours de(s) OC(s) durant le(s)quel(s) il n'est pas utilisé, mais ni une modification de l'ordre de succession (reséquençage) des HEXs sur l'équipement, ni une utilisation entre d'autres équipements, n'est autorisée pour accroître la réutilisation des échangeur.
- (2) La prise en compte de la contrainte ci-dessus au stade du targeting conduit à faire l'hypothèse pessimiste (du point de vue de la réutilisation des HEXs) qu'au mieux un HEX par équipement peut être réutilisé entre plusieurs OCs (considérant que la structure des HENs des différents OC est en général assez dissemblable au point de ne pas contenir plusieurs HEXs dans la même séquence entre les différents équipements). Il s'agit d'ailleurs d'une hypothèse simplificatrice permettant l'application d'une méthode de calcul mathématique univoque. Cette hypothèse s'applique aux échangeurs "internes", par opposition aux échangeurs d'utilité pour le réchauffage ou le refroidissement final des flux (la réutilisation de ces derniers n'est pas limitée). Par contre, contrairement au targeting, lors de la conception pratique du HEN, la structure (topologie) des HENs des différents OCs peut être, de cas en cas, suffisamment similaire pour permettre de réutiliser plus de un HEX "interne" sur chaque équipement.

Ainsi, en considérant les HENs des OC 1 et OC 2, ils contiennent chacun un HEX entre Eq.1-Eq.3, et un HEX entre Eq.2 et Eq.3, mais l'ordre de succession des deux HEXs sur Eq.3 n'est pas le même. En choisissant le HEX entre Eq.2 et Eq.3 comme échangeur réutilisé entre les deux OC, et sa surface égale à la plus grande des deux OC ($OC\ 2 = 1200\ m^2$), on économise (par rapport au "Separate Design") un échangeur de $600\ m^2$. Alternativement, le HEX entre Eq.1 et Eq.3 aurait pu être choisi comme échangeur réutilisé, mais dans ce cas l'économie de surface de transfert ne serait que de $450\ m^2$ et non de $600\ m^2$. Le HEX d'utilité froide sur Eq.3 peut être dimensionné pour OC 1 ($550\ m^2$), et être réutilisé pour OC 2, en économisant ainsi $400\ m^2$ supplémentaires. Le "Conventionnal Design" permet ainsi d'économiser, comparé au "Separate Design", 2 échangeurs totalisant $1000\ m^2$ de surface.



En **Resequance Design**, les échangeurs sont aussi contraints de rester entre les mêmes équipements, comme en "Conventional Design". Par contre, contrairement au "Conventional Design", l'ordre de succession (séquence) des HEX "dans" chaque équipement peut être modifié à volonté durant chaque OC, afin de maximiser la réutilisation des échangeurs.

Ainsi, dans l'exemple ci-dessus, l'ordre de succession des deux HEXs dans le sens d'écoulement de Eq.3 mentionné précédemment n'est plus une limitation à la réutilisation d'échangeurs. En intervertissant leur ordre entre OC 1 et OC 2, les deux échangeurs, dimensionnés respectivement à $1100\ m^2$ (HEX entre Eq.1 et Eq.3) et $1200\ m^2$ (HEX entre Eq.2 et Eq.3) peuvent être réutilisés. Avec, comparé au "Conventionnal Design", un échangeur de $450\ m^2$ économisé en plus.

En pratique, le "Conventional Design" est plus facile à mettre en oeuvre que le "Resequance Design" (voir les exemples de schémas d'écoulement ci-dessus) et par là plus couramment rencontré en pratique. Le "Resequance Design" n'est pas considéré dans la suite de ce tutoriel. Vous trouverez de plus amples informations dans le [Manuel - Pinch - OFEN](#).

Commencez le Super Targeting :

 Clic droit sur [Results](#)

 Calculate Target Result with...  Sélectionner [Combined Supertargeting \(Advanced\)](#) (Supertargeting combiné, tenant compte de la réutilisation des HEX (mode avancé))

Pour obtenir une meilleure vue d'ensemble, masquez les Time Charts en désélectionnant les cases "Processes" et "OC" et maximisez la fenêtre "OC Charts" en faisant glisser le bord supérieur de la fenêtre aussi loin que possible vers le haut.

Dans la fenêtre "OC Charts", nous voulons analyser les diagrammes CCs (courbes composites) et Costs (courbes de coûts) (voir Figure 14). Pour passer d'un OC à l'autre, vous pouvez cliquer à droite sur l'œil devant le OC désiré sous "OCs". Vous pouvez également afficher les deux en même temps (voir Figure 14).

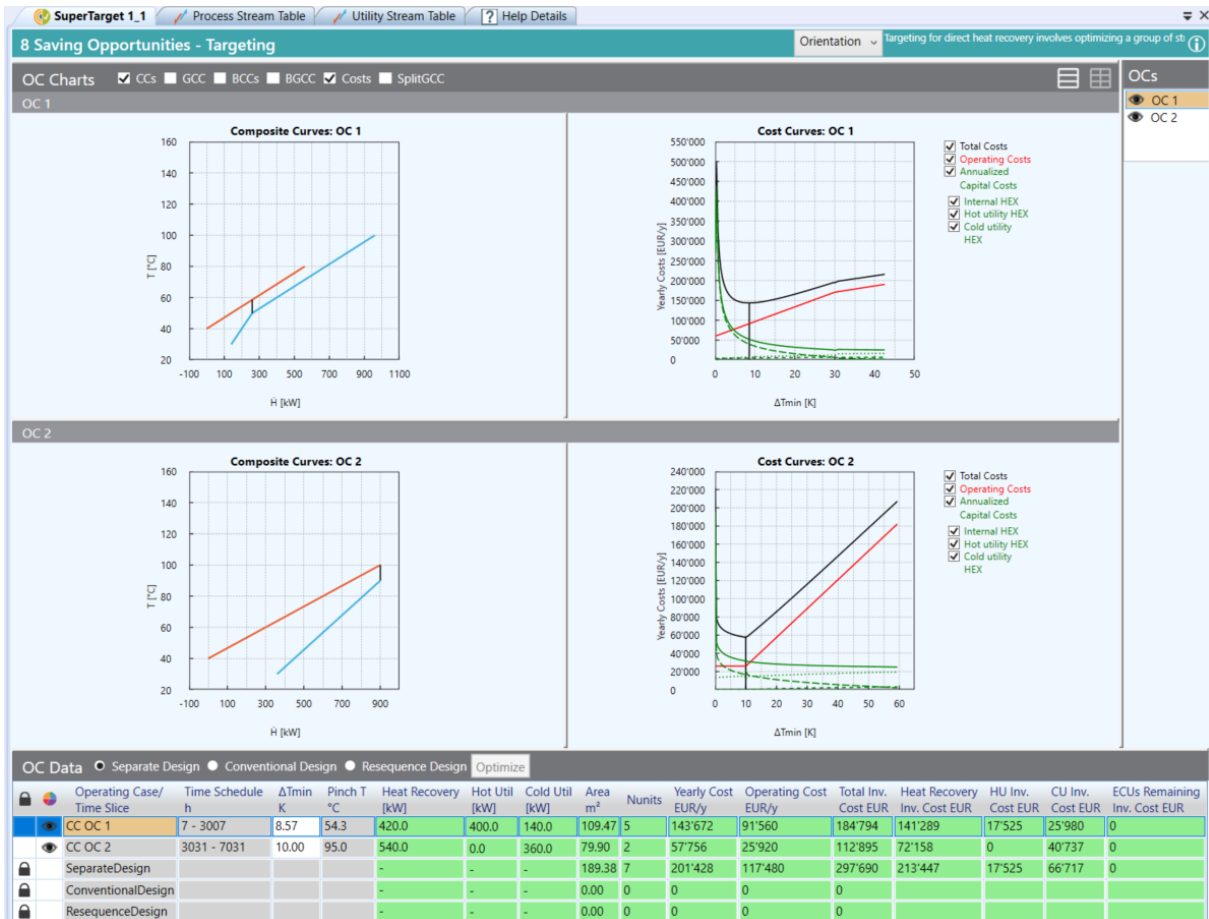


FIGURE 14 – Courbes composites, courbes de coûts et valeurs des deux cas de fonctionnement (OC)

Dans la Figure 14, la désignation OC 1 correspond à OC Product C, et la désignation OC 2 correspond à OC Product F.

Pour l'optimisation énergétique et économique, procédez comme suit :

- Sélectionner le **Conventional Design** dans les données OC.
- Cliquer sur **Optimize**

Le ΔT_{min} de l'OC 1 est passé de 8.57 K à 7.48 K (colonne " ΔT_{min} ") en raison de la réutilisation des HEXs entre OCs (=investissement réduit). Pour les prochaines étapes, nous réglons le ΔT_{min} de OC 1 du "Conventional Design" à 7.50 K et celui du "Separate Design" à 8.50 K.

La Figure 14 permet de constater que l'OC 2 est un "Threshold Problem" (problème à seuil) : si la CC froide est déplacée vers la gauche, le ΔT_{min} se réduit et les besoins de CU en dessous du pincement diminuent. Cependant, ce déplacement crée aussi simultanément un besoin de CU au-dessus de pincement. Le besoin global de CU reste constant. Déplacer la CC froide vers la droite ferait augmenter les besoins de CU et de HU. Le ΔT_{min} doit donc être réglé à 10.00 K pour "Separate Design" et "Conventional Design". Le Tableau 5 compare les valeurs cibles de l'installation de production pour les cas sans récupération de chaleur (RC), "Separate Design", et "Conventional Design".

TABLE 5 – Comparaison des résultats de supertargeting sans RC, en "Separate Design" et en "Conventional Design".

	HU		CU		HEX area [m ²]	Coûts invest. [€/an]	Coûts énergie [€/an]	Coûts totaux [€/an]
	[kW]	[MWh/a]	[kW]	[MWh/a]				
Installation sans RC								
OC 1	820	2'460	560	1'680	-	-	202'440	-
OC 2	540	2'160	900	3'600	-	-	216'000	-
Total	-	4'620	-	5'280	54.9	26'070	418'440	444'510
Valeurs cibles - optimisation en "Separate Design"								
OC 1	399	1'197	139	417	110.3	52'375	91'296	143'671
OC 2	0	0	360	1'440	79.9	31'836	25'920	57'756
Total	-	1'197	-	1'857	190.2	84'211	117'216	201'427
Valeurs cibles - optimisation en "Conventional Design"								
OC 1	385	1'155	125	375	-	-	87'600	-
OC 2	0	0	360	1'440	-	-	25'920	-
Total	-	1'155	-	1'815	136.5	61'684	113'520	175'204

L'installation sans RC a certes la plus petite surface de transfert (54.9 m²) et donc les coûts d'investissement les plus bas (26'070 €/an). Cependant, les coûts énergétiques annuels sont les plus élevés, s'élevant à 418'440 €/an, car le chauffage et le refroidissement sont entièrement pris en charge par les utilités. C'est pourquoi les coûts totaux annuels sont également les plus élevés, s'élevant à 444'510 €/an.

Le "Separate Design" tient compte séparément de la RC de chaque OC. En conséquence, les valeurs cibles de surface des HEXs et des coûts d'investissement augmentent par rapport à la conception sans RC. Mais grâce à la RC, environ 72 % des coûts énergétiques peuvent être économisés par rapport à l'installation sans RC. Les coûts totaux annuels sont réduits de 55 %.

Le "Conventional Design" tient compte de la possibilité de réutiliser de la surface des HEXs entre les OCs. Pour cette raison, la surface totale de transfert peut être réduite par rapport à "Separate Design", ce qui explique les coûts d'investissement légèrement inférieurs. Les coûts énergétiques annuels sont légèrement inférieurs à ceux du "Separate Design". Dans l'ensemble, le "Conventional Design" semble être la solution d'intégration la plus avantageuse du point de vue économique, avec des coûts totaux annuels de 175'204 €/an. Avec le "Conventional Design", 1.08 million € peuvent être économisés par rapport à une conception de l'installation sans RC, et ceci pendant la période d'amortissement de quatre ans.

Examinons enfin la GCC (Grand Composite Curve) de chaque OC (Figure 15).

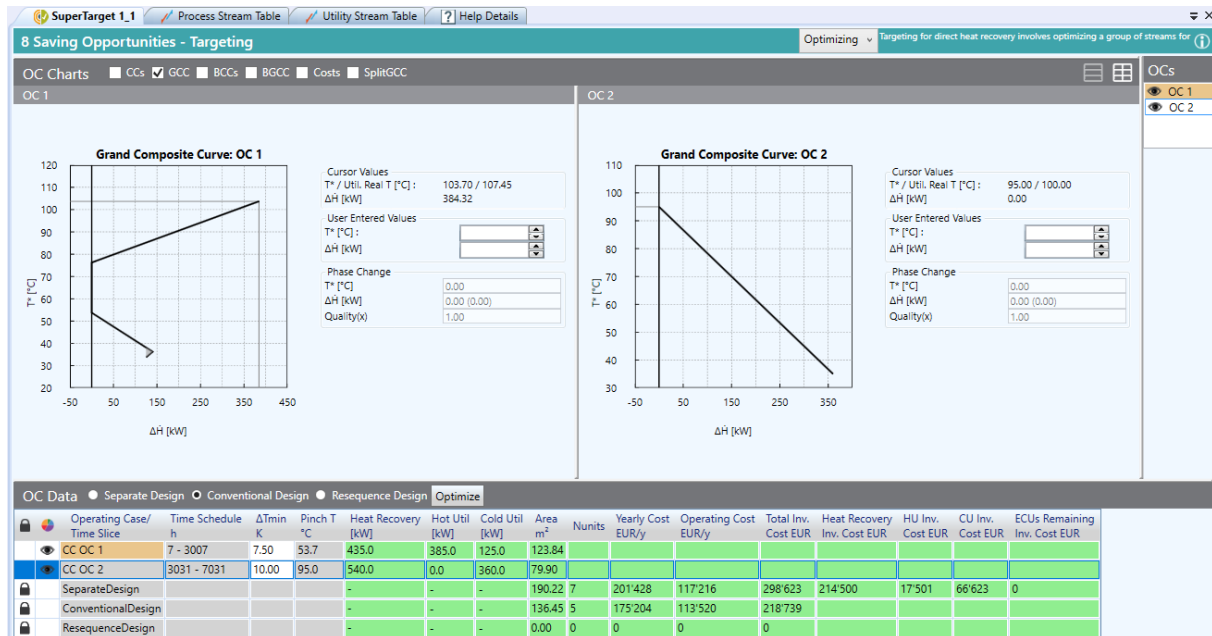


FIGURE 15 – Courbe grande composite des deux cas de fonctionnement

La GCC est expliquée dans le [Tutoriel 1](#) ; seule une brève description des optimisations potentielles est donnée ici. Durant l'OC 1, il y a un besoin important de chaleur au-dessus du pincement. Ici, il peut être intéressant d'élargir les limites du système et d'examiner le site de production à la recherche d'autres sources de chaleur qui n'ont pas encore été identifiées (approche : *Total Site Analysis*, ou TSA en abrégé).

Step 9: Integrate Energy Conversion Units (ECUs)

Durant l'OC 1, un besoin en chaleur de 384 kW existe entre 80 °C et 107 °C (voir Figure 15), de sorte qu'il faudrait vérifier la possibilité d'intégrer une ECU (par exemple, un groupe chaleur-force, CCP). Si une ECU est intégrée dans une installation de production avec MOC, la nécessité de devoir dimensionner l'ECU pour les deux OCs représente une difficulté supplémentaire. Pour évaluer les avantages d'une ECU, d'autres analyses sont nécessaires, qui vont au-delà du périmètre de ce tutoriel.

Step 10: Design Heat Exchanger Network (HEN)

Félicitations ! Vous avez terminé avec succès le targeting comme base d'une optimisation énergétique et économique du procédé. La dernière étape dans PinCH consiste maintenant à concevoir un MER HEN ([Maximum Energy Recovery Heat Exchanger Network](#)) pour les deux OCs. Comme il n'est pas clair à ce stade de savoir quels HEX existent entre les mêmes équipements durant les deux OCs et peuvent être réutilisés, il faut dans un premier temps créer un MER HEN pour chaque OC. L'ingénieur peut ensuite décider lors de la conception globale quels HEXs peuvent être "économisés".

Comme déjà expliqué dans le [Tutoriel 1](#), ajoutez un MER HEN à la "Super Target 1_1". Veillez à ce que "Conventional Design" soit activé dans le "Super Target 1_1".

Clic droit sur "Super Target 1_1"

Add HEN... Add MER HEN

Note: Vous pouvez visualiser le HEN du OC désiré en sélectionnant les OCs au-dessus du MER HEN.

Tout d'abord, considérons OC1 et commençons par le sous-système en dessous de pincement. Selon les règles de conception pour la création d'un MER HEN (voir [Manuel - Pinch - OFEN](#)), nous commençons par le flux de chaleur dont le CP est le plus grand entrant dans le pincement. Dans notre étude de cas, il s'agit du flux Reactant B ($CP = 6 \text{ kW/K}$), dont nous voulons satisfaire les besoins en chaleur avec un HEX de puissance aussi grande que possible. Le flux Product C ($CP = 14 \text{ kW/K}$), qui dispose d'une puissance suffisamment grande, convient à cet effet. Pour compléter le MER HEN dans le sous-système au-dessous du pincement, nous relierons le flux Product C à l'utilité froide (CU).

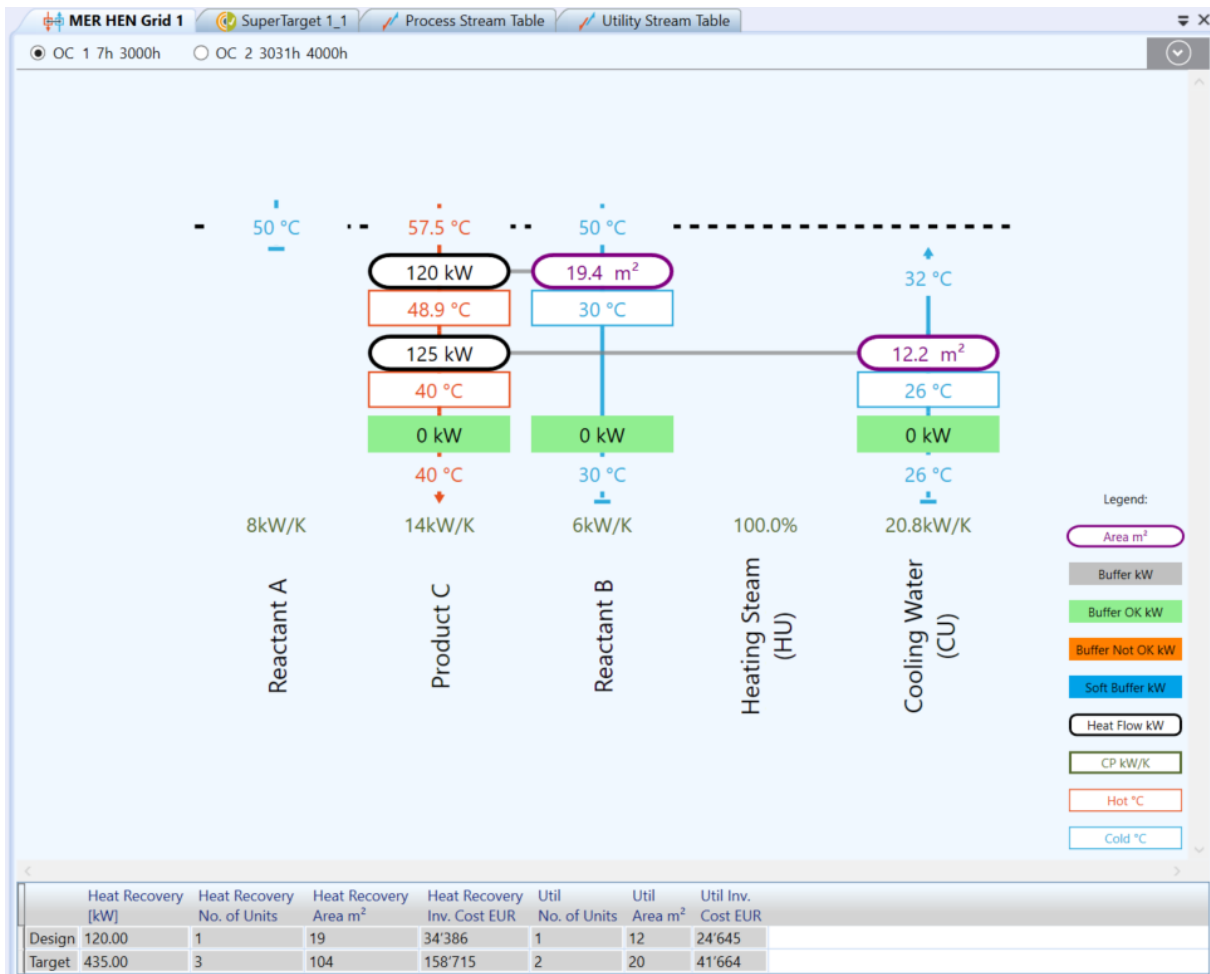


FIGURE 16 – MER HEN du sous-système au-dessous du pincement pour OC1.

Note: Sous le MER HEN, vous pouvez suivre en continu, sur la ligne "Design", la récupération de chaleur réalisée (Colonne Heat Recovery), la surface de HEX déjà utilisée (Heat Recovery Area et Utility Area) et leurs coûts (Heat Recovery Inv. Cost and Utility Inv. Cost) dans la rangée "Design". A titre de comparaison, la ligne "Target" contient les valeurs cibles correspondantes du HEN sans réutilisation des HEXs.

Considérons maintenant le sous-système au-dessus du pincement : essayez de positionner vous-même les échangeurs de chaleur nécessaires.

Comme vous l'avez certainement remarqué, les flux ne peuvent pas sans autre être connectés ici. La [règle du CP](#) n'est pas respectée ; le flux Product C à refroidir doit être divisé. Divisez le flux en deux branches de capacité calorifique respectives de 8 kW/K et 6 kW/K (CP du Product C ne doit pas être supérieur au CP du Reactant B).

Continuons avec le flux chaud entrant dans le pincement et présentant de CP le plus élevé.

Connectez une branche du Product C au flux Reactant A et l'autre branche au flux Reactant B. Avant de placer les HEX restants, les deux branches de Product C doivent être réunies.

Pour compléter le MER HEN, connectez les deux flux Reactant A et Reactant B à l'utilité chaude (HU).

Le MER HEN complet pour OC 1 est le suivant :

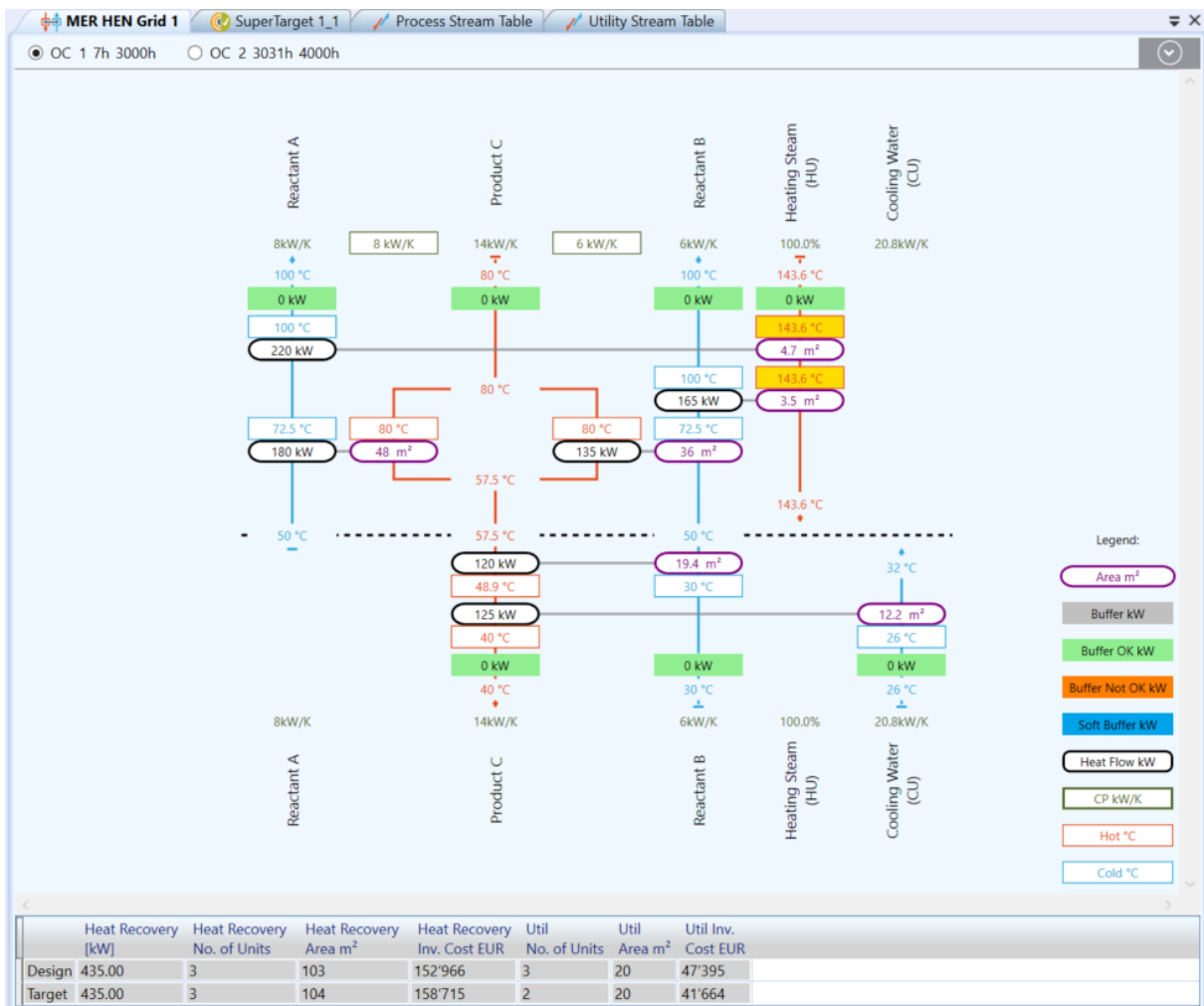


FIGURE 17 – MER HEN du cas de fonctionnement OC1

Essayez maintenant de concevoir le MER HEN pour OC 2 par vous-même.

Le MER HEN complet pour OC2 est le suivant :

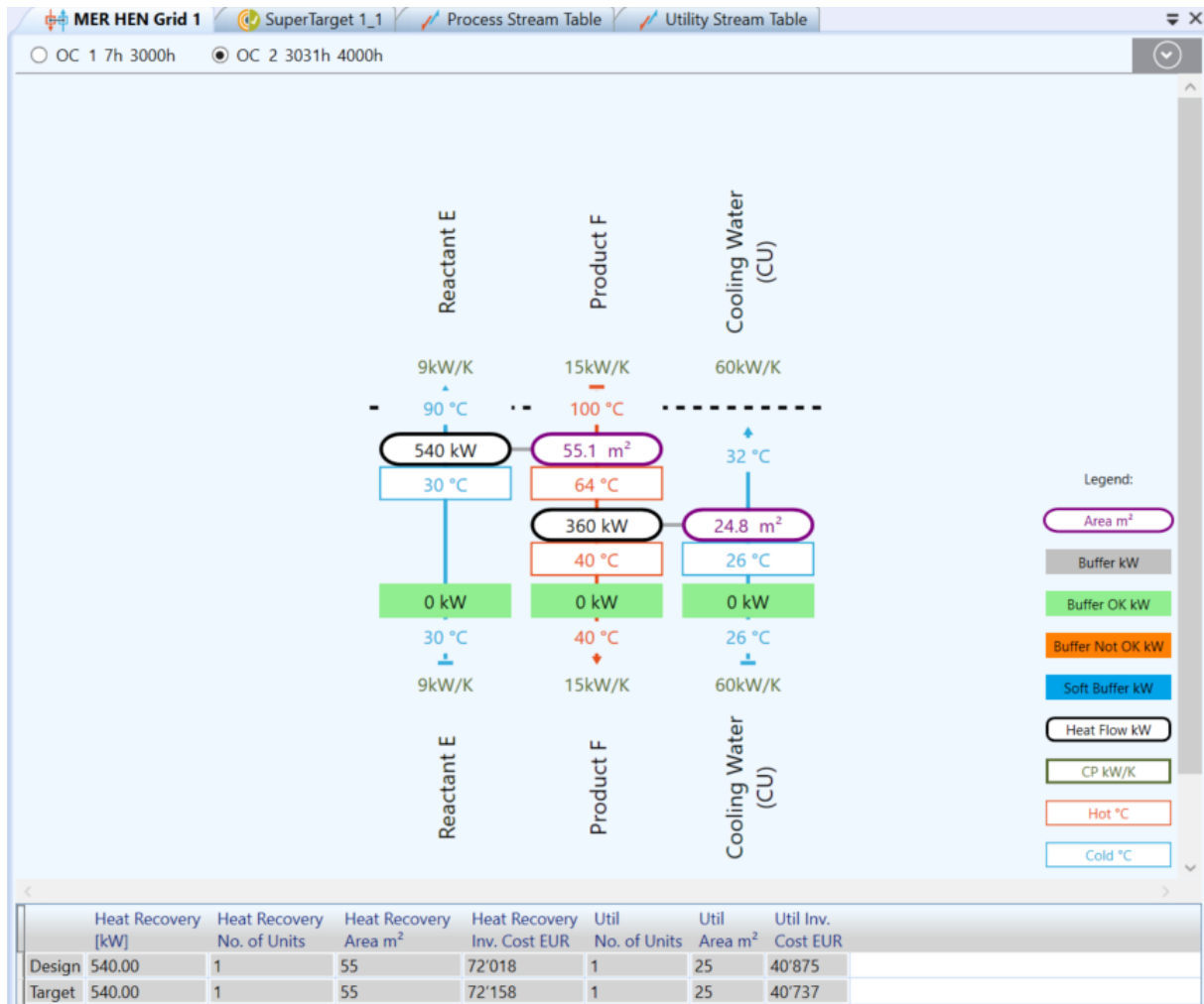


FIGURE 18 – MER HEN du cas de fonctionnement OC2

Une fois que les MER HENs ont été conçus pour les deux OCs, la comparaison entre "Design" et "Target" peut être effectuée :

Pour le OC Product C (OC 1), les coûts d'investissement s'élèvent à 200'361 € (somme de Heat Recovery Inv. Cost et de Utility Inv. Cost). Cela correspond presque à la valeur cible de coûts d'investissement (différence de seulement 18 €).

Pour le OC Product F (OC 2), les coûts d'investissement s'élèvent à 112'893 €, ce qui correspond presque exactement à la valeur cible de coûts d'investissement (112'895 €). Ces deux MER HENs sont très proches des valeurs cibles de l'étape 8.

IV Procédé optimisé

Un diagramme d'écoulement couvrant les deux OCs peut maintenant être créé à partir de la combinaison des deux MER HENS. L'objectif est d'utiliser si possible les HEXs dans les deux OCs et de réduire ainsi le nombre de HEXs. Dans notre étude de cas, cela affecte les HEXs en vert clair et vert foncé dans les Figures 19 et 20. Le HEX vert clair dans le OC Product C a une surface de 19.4m^2 déterminé par PinCH, et dans le Product OC F, l'échangeur a une surface de 55.1m^2 :

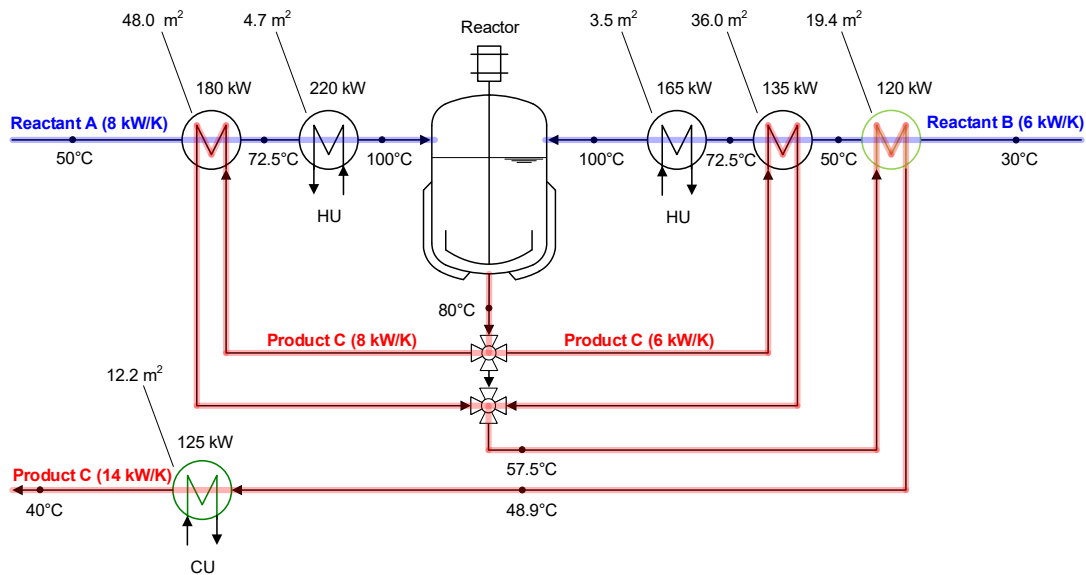


FIGURE 19 – Diagramme d'écoulement de l'installation de production optimisée. Les exigences de procédé de l'OC Product C (OC 1) sont représentées en couleur.

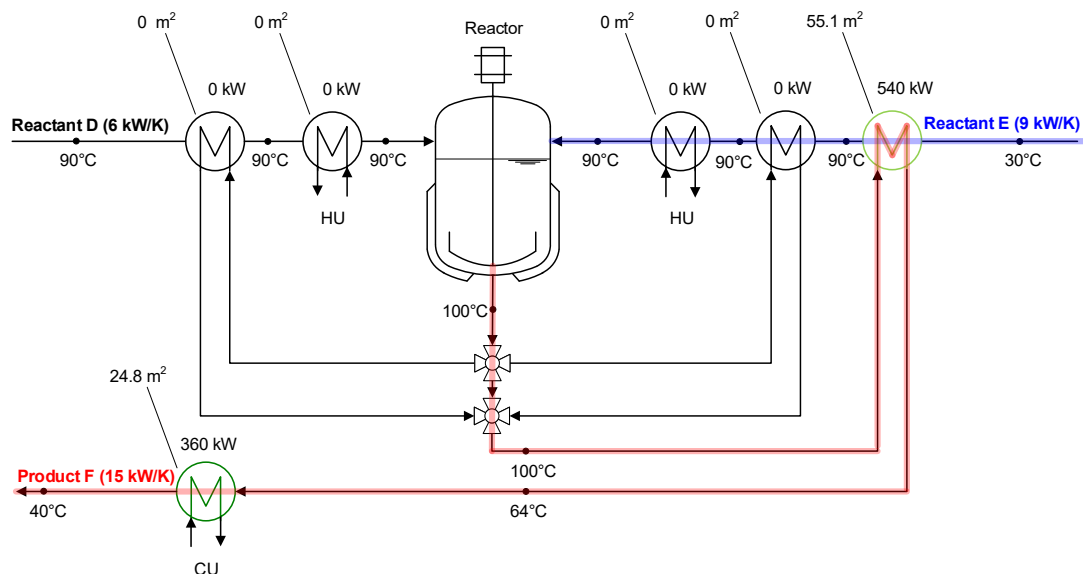


FIGURE 20 – Diagramme d'écoulement de l'installation de production optimisée. Les exigences de procédé de l'OC Product F (OC 2) sont représentées en couleur.

Pour répondre aux exigences des deux OCs, le HEX vert clair avec la plus grande surface (55.1 m², OC 2) est maintenant utilisé, et l'autre surface (19.4 m², OC 1) est économisée. Il en résulte une économie de 34'386 € en raison de la suppression du HEX en vert clair.

Le HEX en vert foncé de OC 1, avec une surface de 12.2 m² et des coûts de 24'645 €, peut être enlevé. Le HEX de OC 2 peut donc être réutilisé dans OC 1. En réutilisant la surface de HEX, les coûts d'investissement sont réduits de 34'386 € + 24'645 € = 59'031 € par rapport au "Separate Design".


Dans le tableau 6, le "Design without RC" (conception sans RC) est comparé à "Optimized Design" (conception optimisée).

TABLE 6 – Comparaison de l'installation planifiée sans RC avec celle optimisée.

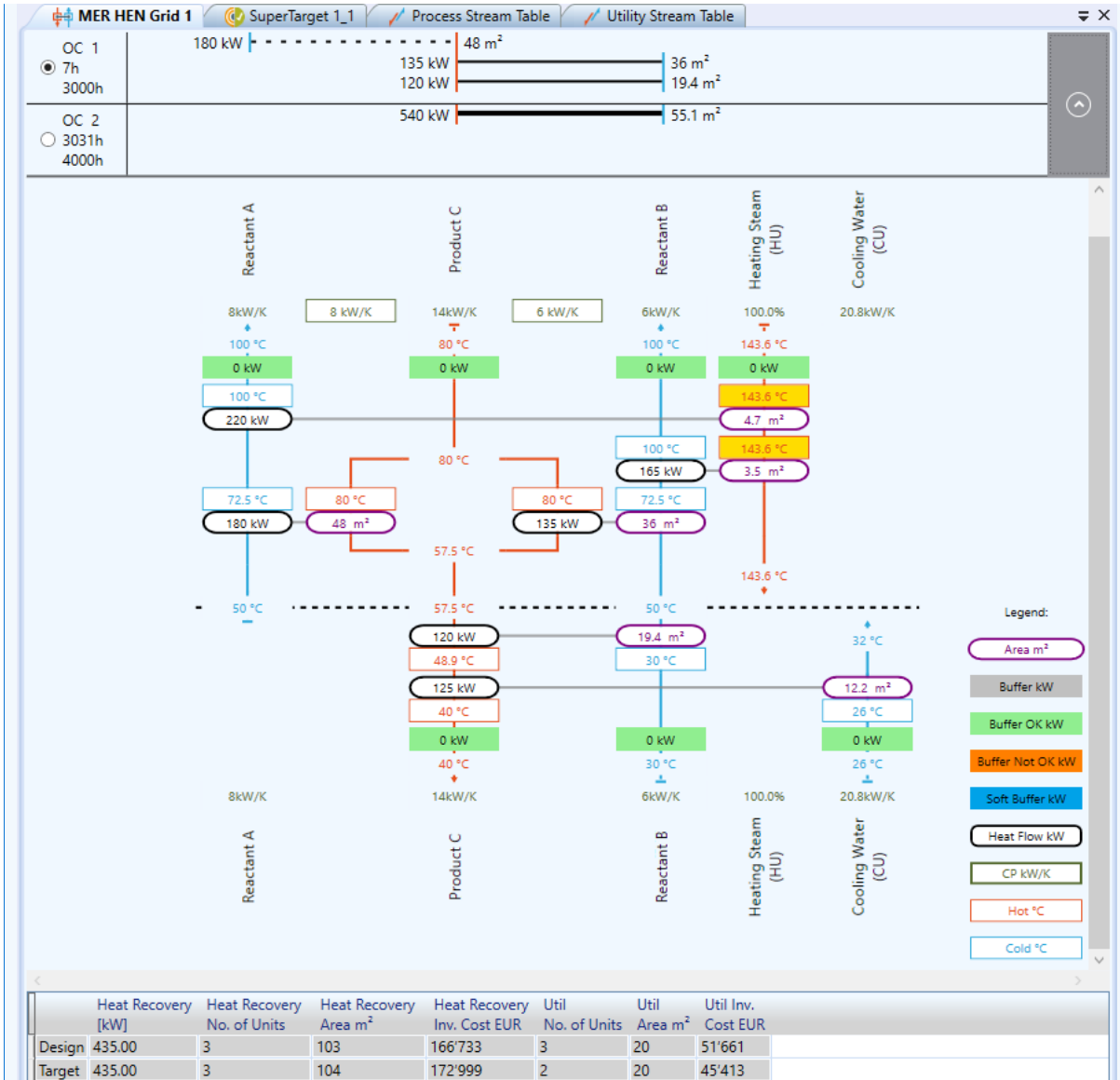
	HU		CU		Invest. Costs [€/an]	Energy Costs [€/an]	Annual Total Costs [€/an]
	[kW]	[MWh/an]	[kW]	[MWh/an]			
Design without HR							
OC 1	820	2'460	560	1'680	-	202'440	-
OC 2	540	2'160	900	3'600	-	216'000	-
Total	-	4'620	-	5'280	26'070	418'440	444'510
Optimized Design							
OC 1	385	1'155	125	375	-	87'600	-
OC 2	0	0	360	1'440	-	25'920	-
Total	-	1'155	-	1'815	71'690	113'520	185'211
Saving							
OC 1	435	1'305	435	1'305	-	114'840	-
OC 2	540	2'160	540	2'160	-	190'080	-
Total	-	3'465	-	3'465	-45'620	304'920	259'300

Grâce à "Optimized Design", les coûts totaux annuels peuvent être réduits de 259'390 €/an. Cela correspond à une réduction de 58 %.

Note: Pour créer un diagramme d'écoulement qui couvre les deux OCs, PinCH offre deux autres outils de conception de HEN pour vous aider :

Le **Mini Map Tool** se trouve au-dessus du HEN si vous cliquez sur la flèche  lors de la sélection des OCs. Il montre les HEXs entre les flux de procédé dans l'OC activé ainsi que les HEXs pour les mêmes équipements (conduites) de tous les autres OCs. Les HEXs sont représentés soit par une ligne noire en pointillés (s'il n'y a pas d'autres HEXs entre les conduites utilisées), soit par une ligne noire (s'il existe d'autres HEX entre les conduites utilisées), soit par une ligne noire épaisse (pour l'HEX qui a la plus grande surface, s'il existe un ou plusieurs autres HEX(s) entre les conduites utilisées).

Dans la mini-map de la figure ci-dessous, vous pouvez voir que l'HEX de surface 55.1 m² de l'OC 2 pourrait théoriquement remplacer deux autres HEX de l'OC 1. La suite de l'analyse commence avec l'HEX de 19.4 m².



Maintenant, il serait intéressant de voir quels effets aurait l'augmentation de la surface de 19.4 m² à 55.1 m² sur l'HEX à remplacer. Le deuxième outil répond à cette question :

Avec le **Area-Temperature Calculation Tool**, les températures d'entrée et de sortie, la surface et le ΔT d'un HEX peuvent être analysés plus en détails. Pour l'ouvrir, faites un clic droit sur le HEX directement dans le HEN, et sélectionnez "Display Area-Temperature Tool". Deux températures du HEX peuvent être fixées en cochant les cases à côté de chaque température. Au milieu, la surface du HEX est ajustée de 19.4 m² à 55.1 m². En cliquant sur le bouton "Calculate" vous pouvez prévoir ce qui se passe lorsque la surface du HEX est augmentée :

La réutilisation, au cours de OC 1, de 55,1 m² investis pour OC 2 résulte en un ΔT de 1.37 K au lieu du ΔT_{min} de 8.5 K, et une puissance transférée accrue (184 kW au lieu de 120 kW). Ce transfert ne respecte plus la règle du $\Delta T \geq \Delta T_{min}$ (l'échangeur transfère aussi 64 kW au-dessus du pincement sous un $\Delta T < \Delta T_{min}$), et ne peut donc pas être représenté dans un MER HEN (qui oblige au respect absolu du $\Delta T \geq \Delta T_{min}$). Mais les 3 règles d'or du pincement sont respectées. L'échangeur de 55.1 m² étant déjà payé par OC 2, il est donc à disposition gratuitement pour OC 1, le transfert sous $\Delta T < \Delta T_{min}$ durant OC 1 n'engendre aucun surcoût par rapport aux valeurs cibles. Au contraire, au lieu de se limiter à utiliser 19.44 m² par un bypass partiel de l'échangeur durant OC 1, la réutilisation "intégrale" des 55.1 m² permet de réduire la puissance et la surface de transfert des échangeurs Reactant A - Product C de 48 m² et Reactant B - Product C de 36 m² spécifiques à OC 1. Il faut alors concevoir le réseau en mode "Relaxed HEN" dans lequel PinCH ne vérifie plus le respect de la condition $\Delta T \geq \Delta T_{min}$. L'ingénieur est alors responsable des réseaux conçus et des éventuelles "violations" des règles du pincement (voir [Manuel - Pinch - OFEN](#))

Merci pour votre temps!

Vous connaissez maintenant les étapes les plus élémentaires de l'utilisation de PinCH pour l'analyse d'un procédé avec cas de fonctionnement multiples. N'hésitez pas à nous contacter si vous avez des questions. L'équipe PinCH de la Haute Ecole Spécialisée de Lucerne et le Centre de Compétence PinCH Francophone de la Haute Ecole d'Ingénierie et de Gestion du Canton de Vaud se tiennent à votre disposition à votre convenance. Veuillez également noter que nous pouvons vous assister et assurer la qualité de vos analyses Pinch. Cet apprentissage par la pratique s'est déjà avéré être une excellente expérience à de multiples occasions. Dans tous les cas, nous vous souhaitons beaucoup de plaisir et de succès avec PinCH. Merci beaucoup d'avoir pris le temps de nous rejoindre! Pour de plus amples renseignements, veuillez consulter notre site Web www.pinch-analyse.ch/fr. Vous trouverez nos coordonnées ci-dessous.

Meilleures salutations,
L'équipe PinCH de la Haute Ecole Spécialisée de Lucerne

Kontakt Deutsch und Englisch :

Hochschule Luzern
Technik und Architektur
Kompetenzzentrum Thermische
Energiesysteme und Verfahrenstechnik
Technikumstrasse 21
CH-6048 Horw
Prof. Dr. Beat Wellig
T +41 41 349 32 57
pinch@hslu.ch

Contact français :

Haute Ecole d'Ingénierie et de
Gestion du Canton de Vaud
Institut de Génie Thermique
Centre de compétence PinCH francophone
Avenue des Sports 20
CH-1401 Yverdon-les-Bains
Dr. Pierre Krummenacher
T +41 24 557 61 54
pinch@heig-vd.ch



Cet ouvrage (ci-après dénommé "Tutoriel") sert à présenter le logiciel PinCH de la Haute Ecole Spécialisée de Lucerne. Ce tutoriel est disponible gratuitement à www.pinch-analyse.ch. Il ne doit pas être distribué commercialement. L'utilisation du tutoriel dans le cadre de cours de formation et de perfectionnement, d'ateliers, de coaching ou d'événements similaires est interdite. La distribution de travaux dérivés basés sur ce tutoriel est interdite.