

PinCH Tutoriel 3

Bienvenue ! L'équipe PinCH de la Haute Ecole Spécialisée de Lucerne 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 [Tutoriel 3](#). Il s'agit d'analyser et d'optimiser une installation de production dans l'industrie chimique. Le procédé de production est discontinu. Le [Tutoriel 3](#) est structuré comme suit :

Table des matières

I. Introduction au Tutoriel 3	2
II. Étude de cas : Production de sel nutritif	3
III. 10 étapes dans PinCH	9
IV. Procédé optimisé	21

I Introduction au **Tutoriel 3**

Objectif d'apprentissage : Effectuer une analyse Pinch d'un procédé de production discontinu avec [PinCH](#).

Durée : 2 à 3 heures

Pour l'optimisation énergétique et économique de procédés discontinus, d'autres fonctionnalités de [PinCH](#) sont présentées. Il s'agit notamment de la définition des durées de prétraitement et de post-traitement des équipements et de l'optimisation du planning (scheduling) des procédés discontinus. Dans ce [Tutoriel 3](#), vous serez guidé à travers le processus d'optimisation selon les étapes suivantes (l'étape 9 n'est pas nécessaire pour cette étude de cas) :

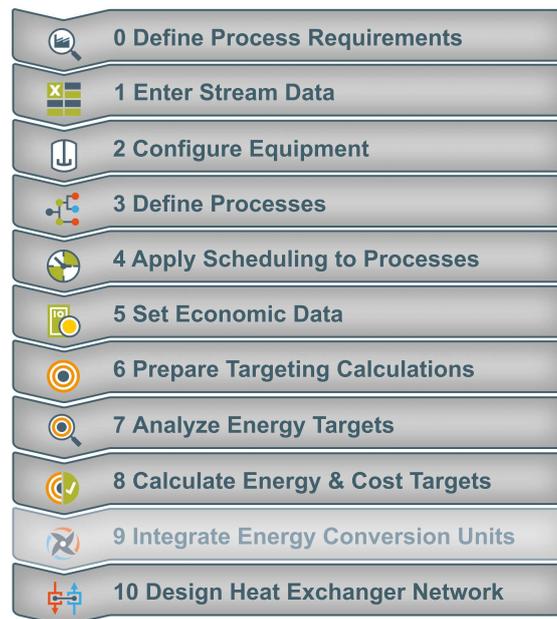


FIGURE 1 – Etapes de travail dans [PinCH](#) pour l'optimisation d'un procédé discontinu.

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 : Production de sel nutritif

Description du procédé

Dans une installation de production, un réacteur batch, suivi d'une cristallisation par refroidissement sont utilisés pour produire un sel nutritif (industrie des engrais, voir Figure 2). Le sel inorganique (Inorganique Salt), qui est dissous dans le solvant aqueux (Solvent), est utilisé comme matière première de départ. Le solvant (6 t par lot) est préchauffé à 80°C et chargé dans le réacteur agité B100. 1.5 t de sel inorganique est dissous pendant le procédé d'agitation ; la dissolution étant endothermique, la solution se refroidit à 60°C. La solution saline est ensuite transférée dans le réacteur C100. Un additif (Additive, 2 t) est ajouté pour former le sel nutritif et la solution est ensuite évaporée dans le réacteur avec de la vapeur. Le réacteur est chauffé à la vapeur via la double enveloppe. Au total, 2 t d'eau sont ainsi vaporisées, et les buées (Vapor) sont ensuite condensées avec de l'eau de refroidissement. La solution, qui a une température de 100°C après l'étape d'évaporation, est refroidie à 60°C avec de l'eau de refroidissement via la double enveloppe et transférée au réservoir intermédiaire B101. Le sel nutritif est finalement extrait sous forme de substance pure par une étape de cristallisation (cristallisation par refroidissement). Le cristalliseur B102 est d'abord rempli avec la solution (Reaction Mixture, 1 t) à partir du réservoir intermédiaire B101. La cristallisation commence lorsque des cristaux d'ensemencement sont ajoutés pendant le refroidissement par recirculation.

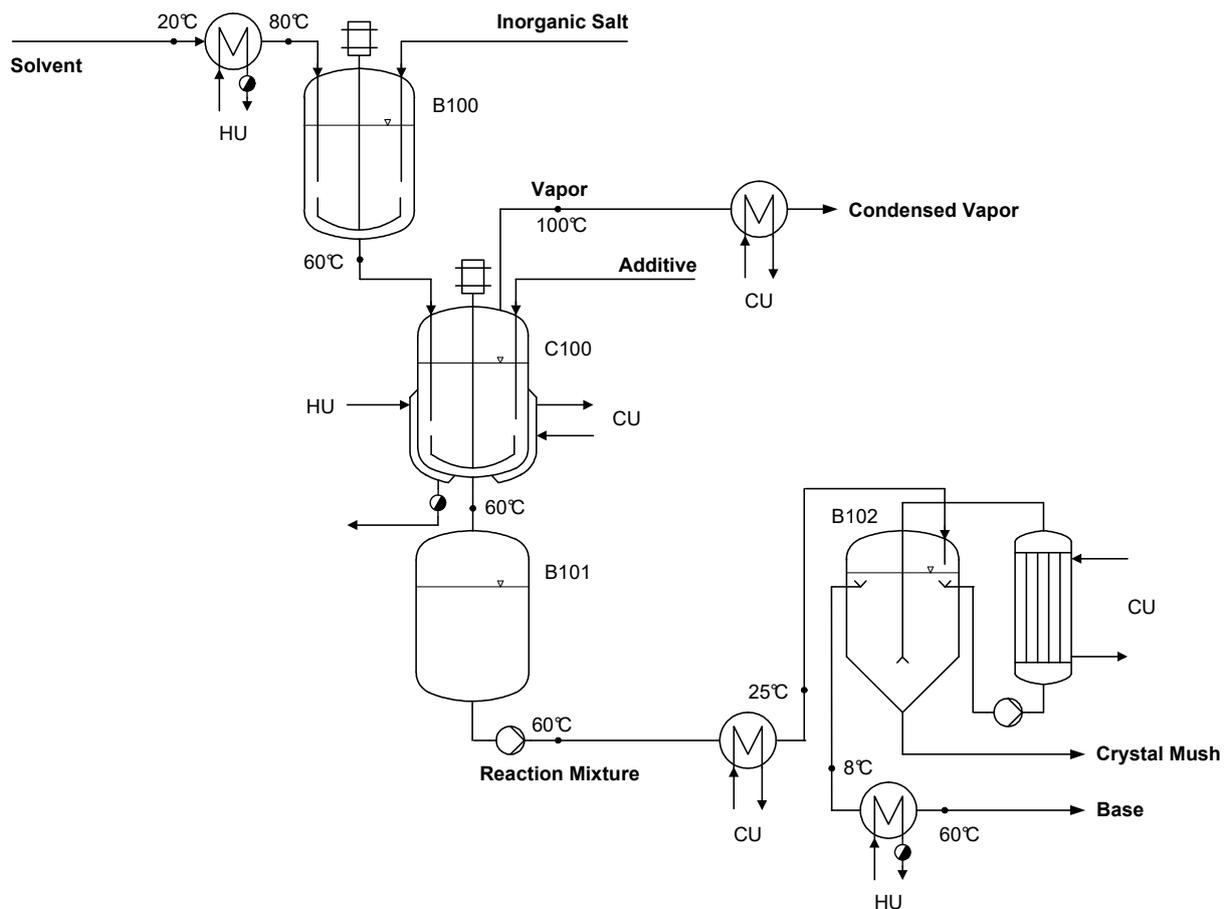


FIGURE 2 – Diagramme d'écoulement de l'installation de production existante.

Après la croissance de cristaux cultivables, le refroidissement est intensifié avec, simultanément, un ajout de solution "fraîche" (Reaction Mixture) du réservoir intermédiaire. Cette solution est pré-refroidie à 25°C avant d'entrer dans le cristalliseur. Pendant ce temps, l'eau mère (Base) et la bouillie de cristaux (Crystal Much) sont soustraites du cristalliseur. Lorsque la solution du réservoir intermédiaire est épuisée, la cristallisation est arrêtée, mais l'extraction de l'eau mère et de la bouillie de cristaux continue jusqu'à vidange complète du cristalliseur. L'eau mère (5 t par lot) doit être chauffée de 8°C à 60°C pour un traitement ultérieur tout au long du procédé d'extraction. Pour simplifier, le lavage subséquent de la bouillie de cristaux et le traitement de l'eau mère ne sont pas considérés dans ce tutoriel.

TABLE 1 – Quantités par lot, chaleurs spécifiques et coefficients de transfert de chaleur

Substance	m [t]	c_p [kJ/(kg K)]	α [W/(m ² K)]
Solvent	6.0	4.20	2'000
Inorganic Salt	1.5	1.60	200
Additive	2.0	1.65	1'000
Reaction Mixture	7.5	3.50	500
Vapor*	2.0	2.00	4'000
Crystal Mush	2.5	3.00	300
Base	5.0	3.00	500

* L'enthalpie de condensation des buées à 1 bar(a) est de 2'257 kW/kg

Planning de production (Scheduling)

Le sel nutritif est fabriqué par lots. La production s'effectue en 2 lots/jour, 6 j/7 (lundi - samedi), 48 sem/an. La durée de procédé d'un lot est de 11 h. Le diagramme de Gantt est illustré à la Figure 3. Les étapes du procédé sont énumérées dans le Tableau 2.

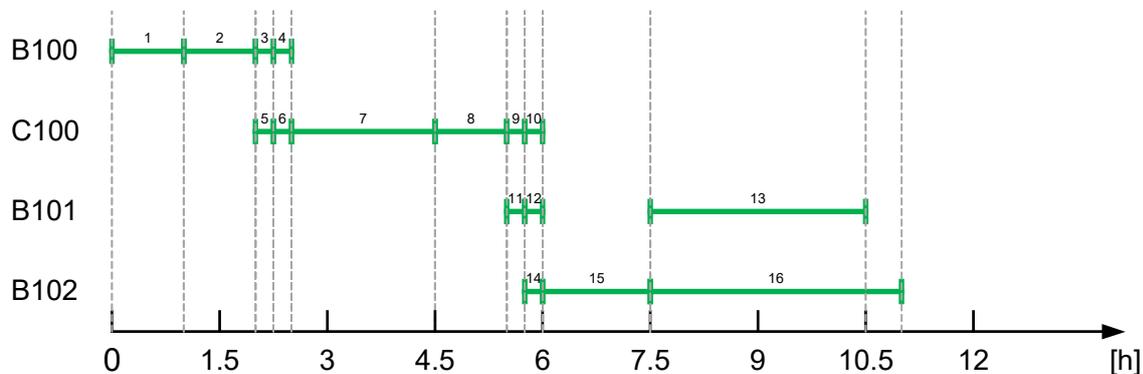


FIGURE 3 – Diagramme de Gantt de production d'un lot de sel nutritif.

TABLE 2 – Etapes de procédé, par lot

Equip.	#	Description du procédé	Type d'étape	Début	Durée
B100	1	Préchauffage du solvant, remplissage (6 t)	Traitement	0 h 00'	1 h 00'
	2	Ajout de sel, dissolution en remuant (1.5 t)	Post-traitement	1 h 00'	1 h 00'
	3	Vidange (7.5 t)	Post-traitement	2 h 00'	0 h 15'
	4	Nettoyage	Post-traitement	2 h 15'	0 h 15'
C100	5	Remplissage (7.5 t)	Prétraitement	2 h 00'	0 h 15'
	6	Ajout d'additif (2 t)	Prétraitement	2 h 15'	0 h 15'
	7	Evaporation de la solution, condensation des buées (2 t)	Traitement	2 h 30'	2 h 00'
	8	Refroidissement du double manteau	Post-traitement	4 h 30'	1 h 00'
	9	Vidange (7.5 t)	Post-traitement	5 h 30'	0 h 15'
	10	Nettoyage	Post-traitement	5 h 45'	0 h 15'
B101	11	Remplissage (7.5 t)	Prétraitement	5 h 30'	0 h 15'
	12	Vidange (1 t)	Prétraitement	5 h 45'	0 h 15'
	13	Vidange, refroidissement du Reaction Mixture (6.5 t)	Traitement	7 h 30'	3 h 00'
B102	14	Remplissage (1 t)	Prétraitement	5 h 45'	0 h 15'
	15	Démarrage de la cristallisation	Prétraitement	6 h 00'	1 h 30'
	16	Cristallisation, vidange du Crystal Mush (7.5 t)	Traitement	7 h 30'	3 h 30'

Note: Du point de vue de l'ingénierie des procédés, la cristallisation décrite est à proprement parler un procédé continu inclus dans un procédé batch. En raison de son incorporation dans un procédé batch, l'ensemble du procédé doit être considéré, pour une analyse Pinch, comme un procédé batch.

Utilités

Les **Utilités** du Tableau 3 sont disponibles pour le chauffage et le refroidissement des flux de procédé. La vapeur de chauffage est utilisée comme vapeur 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 la teneur en vapeur x (au lieu de la température d'entrée (T_{in}) et de la température de sortie (T_{out})) sont spécifiées. L'utilité froide (Cold Utility, CU) est de l'eau de refroidissement, qui provient d'une installation frigorifique.

TABLE 3 – Utilités

Utilities	T_{in} [°C]	T_{out} [°C]	p [bar(a)]	α [W/(m ² K)]	c [€/kWh]
Heating Steam (HU)	x=1	x=0	2.5	5'000	0.08
Cooling Water (CU)	8	14	1.0	2'000	0.03

Les coûts d'exploitation annuels C_{Op} [€/an] sont constitués des coûts d'exploitation annuels par intervalle de temps ("Time Slice", TS).

Note: Un intervalle (ou tranche) de temps est une période de temps au cours de laquelle il existe un ou plusieurs besoin(s) de chauffage et/ou de refroidissement. L'instant où un changement (apparition, disparition, variation des paramètres) d'un ou plusieurs besoins de transfert de chaleur se produit définit la fin d'un intervalle de temps et le début d'un autre intervalle.

En utilisant la durée d'exploitation annuelle τ [h/an], les puissances requises \dot{Q} [kW] en HU / CU et les coûts spécifiques de HU / CU c_{HU}, c_{CU} [€/kWh], les coûts d'exploitation annuels sont calculés comme suit :

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

Pour calculer les coûts d'exploitation annuels, les exigences du procédé doivent d'abord être attribuées aux TS respectifs. Étant donné que les exigences du procédé n'ont pas encore été extraites, rien ne peut encore être dit sur les coûts d'exploitation. Les coûts d'exploitation de l'installation de production sont calculés à l'étape 0.

Coûts d'investissement

Vous connaissez déjà la procédure de calcul des coûts d'investissement du 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 totaux C_{Inv} sont donnés par :

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

où $C_0 = 0$, $C_b = 110'000 \text{ €}$, $A_b = 100 \text{ m}^2$ et $m = 0.71$ (voir Tutoriel 1). Ces valeurs sont utilisées pour calculer les coûts de tous les échangeurs de chaleur, correspondant à leurs surfaces de transfert de chaleur A_{HEX} respectives.

Coûts totaux

Les coûts totaux annuels C_{tot} [€/an] sont composés des coûts d'investissement annuels (a est le facteur d'annuité) et des coûts d'exploitation annuels :

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

Dans cette étude de cas, nous utilisons les valeurs suivantes :

- Taux d'intérêt : $Z = 6 \%$
- Durée d'amortissement : $n = 5 \text{ an}$

Étant donné que nous considérons une installation de production existante et que nous supposons que l'installation a déjà été amortie, seuls les coûts d'exploitation sont pris en compte avant que les mesures d'optimisation ne soient mises en œuvre, de sorte que $C_{tot} = C_{Op}$. Les coûts totaux ne peuvent être calculés qu'à l'étape 0 en raison des données qui n'ont pas encore été extraites.

Problème

Dans ce tutoriel, vous apprendrez comment effectuer systématiquement et de manière ciblée une analyse Pinch d'un procédé batch (ou plus généralement discontinu). Tout d'abord, il faut déterminer le potentiel de RC maximum (RC directe et indirecte). De plus, le calendrier de production doit être optimisé afin d'accroître le potentiel de RC directe et/ou la productivité. À l'aide de valeurs cibles d'énergie et de coûts, des mesures de RC devraient être spécifiquement mises en œuvre dans le réseau d'échangeurs de chaleur.

Step 0: Define Process Requirements

Définissez les **exigences de procédé** en extrayant les données pertinentes (pour l'extraction des données, voir [Tutoriel 1](#)).

Note: Les exigences de procédé ne sont pas nécessairement associées à l'écoulement d'un fluide ("flowing streams"). Le chauffage ou le refroidissement d'une solution dans une cuve est également une exigence de procédé ("non-flowing stream"). Vous devez examiner attentivement quel type de modélisation énergétique est approprié dans ces cas (voir [Manuel - Pinch - OFEN](#)).

La double enveloppe chauffante du réacteur ne doit pas être "ignorée". Bien que le contenu du réacteur lui-même (la solution à chauffer et à évaporer) reflète les besoins énergétiques réels, cette modélisation supposerait que le chauffage serait possible en utilisant n'importe quel flux chaud de procédé (qui présenterait un niveau de température suffisamment élevé). Le chauffage externe, qui consiste à faire circuler le contenu du réacteur dans une boucle équipée d'un échangeur de chaleur, n'est souvent pas possible.

Note: De plus, le chauffage par un quelconque flux chaud de procédé dans la double enveloppe du réacteur existant est dans la plupart des cas irréalisable en pratique (chauffage inégal, pics de température et surfaces de transfert de chaleur limitées).

Ainsi, le chauffage du réacteur avec de la vapeur est pratiquement imposé. Si nécessaire, vous pouvez modéliser ce besoin au niveau de la vapeur de chauffage.

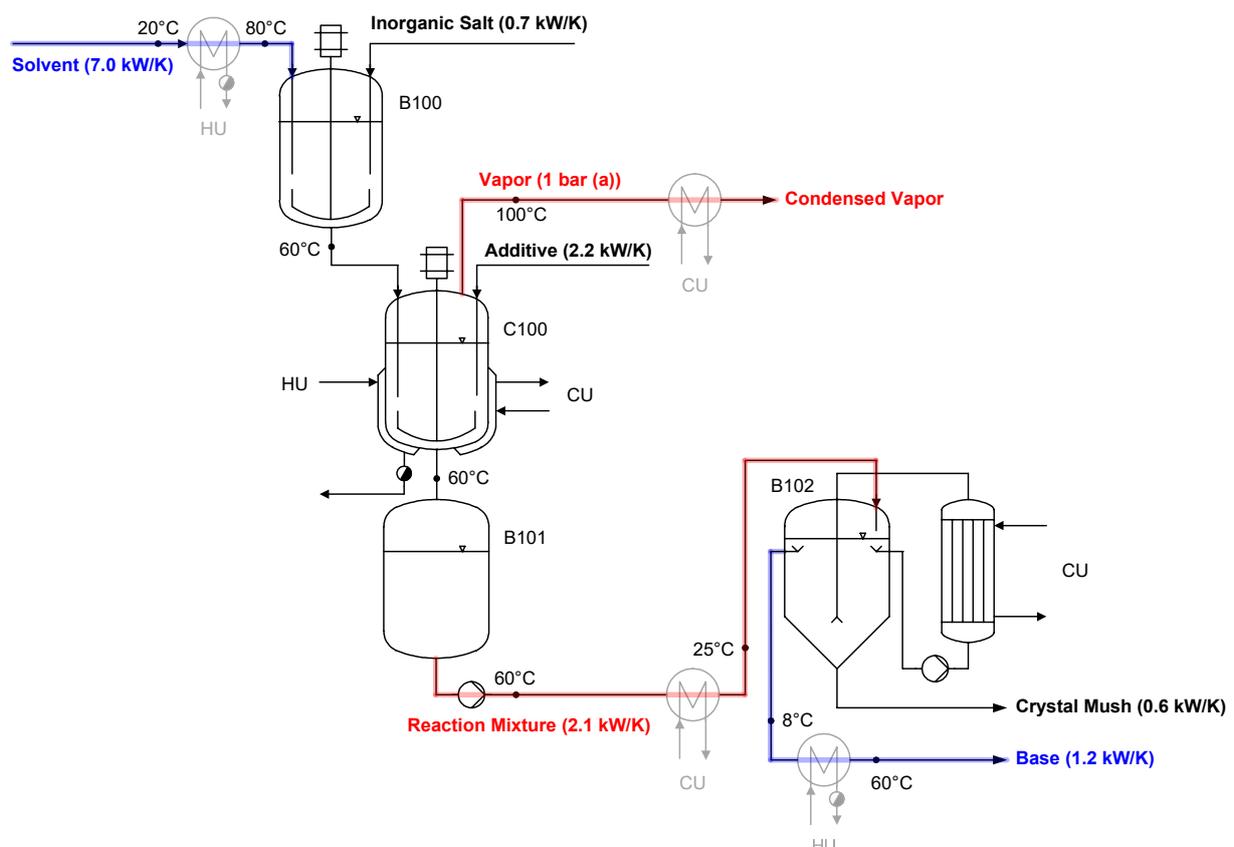


FIGURE 4 – Exigences de procédé

Conclusion : La (ré)évaporation du condensat sortant de la double enveloppe doit être définie comme un flux de substitution si l'on veut modéliser le chauffage dans le réacteur. Dans ce tutoriel, la modélisation du chauffage et du refroidissement du réacteur (refroidissement forcé avec de l'eau de refroidissement) ainsi que du refroidissement par recirculation du cristalliseur ne sont pas présentées, car l'apport d'utilités n'est pas l'objet de ce tutoriel. Le refroidissement des buées, le refroidissement du flux d'alimentation du cristalliseur (Reaction Mixture) et le chauffage de l'eau mère extraite ne nécessite pas obligatoirement de recourir aux utilités, donc ces besoins doivent être modélisés en tant qu'exigences de procédé. Les exigences de procédé de la production de sel nutritif sont illustrées à la Figure 4.

En extrayant les exigences de procédé, un nouveau diagramme de Gantt est créé dans lequel les besoins de chauffage et de refroidissement sont affichés au fil du temps :

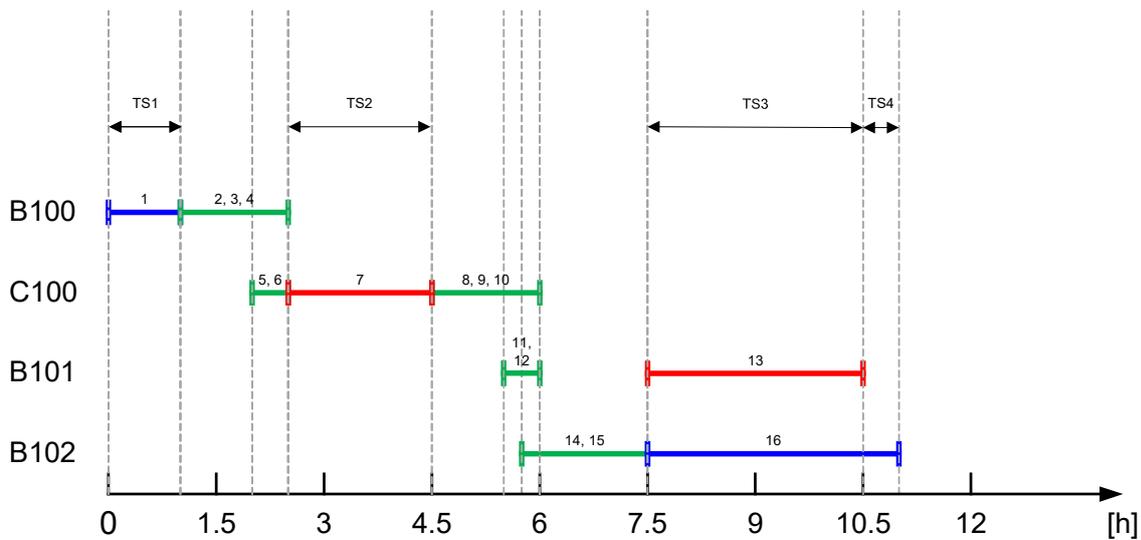


FIGURE 5 – Besoins de chauffage et de refroidissement d'un lot.

Les besoins de chauffage (flux froids) sont représentés en bleu dans le diagramme de Gantt, les besoins de refroidissement (flux chauds) en rouge, et les étapes de pré-traitement et de post-traitement (étapes du procédé qui "occupent" l'équipement mais qui n'impliquent aucun besoin de chauffage ou de refroidissement, par exemple le nettoyage d'un réacteur) en vert. Il est clair qu'une RC directe n'est possible que durant TS3. Durant TS1, TS2 et TS4, il n'y a qu'un seul besoin de chauffage ou de refroidissement, besoin qui doit donc être couvert par les utilités. Les besoins en utilités et les coûts d'exploitation annuels C_{Op} qui en résultent sont indiqués dans le Tableau 4.

TABLE 4 – Puissances d'utilités et coûts d'exploitation de l'installation de production existante pour 576 lots par an au total.

TSs	Δt [h/lot]	τ [h/an]	\dot{Q}_{HU} [kW]	\dot{Q}_{CU} [kW]	C_{Op} [€/a]
TS1	1.0	576	420	-	19'354
TS2	2.0	1'152	-	627	21'670
TS3	3.0	1'728	74	62	12'407
TS4	0.5	288	74	-	1'427
Total	6.5	3'774	-	-	54'858

III 10 étapes dans 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](#).

Ce tutoriel suit les [10 étapes de PinCH](#) (cf. [Tutoriel 0](#)). Dans les [étapes 1 à 5](#), les données relatives au procédé sont enregistrées dans le [Project Explorer](#). Dans les [étapes 6 à 10](#), l'installation est optimisée dans le [Target Explorer](#). Créez un nouveau projet et renommez-le "Fine Chemistry AG".



Step 1: Enter Stream Data

Saisissez les exigences de procédé dans la Process Stream Table.

Ouvrir Process Stream Table.

Ajoutez un flux de procédé discontinu (discontinuous process stream) (ci-après dénommé batch process stream).

En cliquant sur

ou :

Clic droit dans le champ vide de l'onglet "Process Stream Table"

Sélectionner [Add Batch Process Stream](#)

Nommez les flux de procédé et modifiez les valeurs par défaut en fonction des données extraites. Vous devez calculer le débit massique \dot{m} "manuellement", à partir de la masse à chauffer ou à refroidir et la durée du flux. Les temps de démarrage t_{start} et d'arrêt t_{stop} d'un flux de procédé batch précisent la période d'existence de ce flux par rapport au début du batch. Le tableau complet des flux de procédé ressemble à ceci :

+/-	Name	Hot/Cold	Tin °C	Tout °C	m kg/s	cp kJ/(kg K)	Phase Change kJ/kg	alpha W/(m² K)	Pressure bar(a)	CP kW/K	ΔH kW	Fluid	Humidity Ratio In kg/kg	Soft	tstart h	tstop h
	Solvent		20	80	1.66667	4.2	-	2000	-	7	420	Simple	-	<input type="checkbox"/>	0	1
	Vapor		x1	x0	0.2778	-	2257.08	4000	1	-	627.02	Water	-	<input type="checkbox"/>	2.5	4.5
	Reaction Mixture		60	25	0.602	3.5	-	500	-	2.11	73.74	Simple	-	<input type="checkbox"/>	7.5	10.5
	Base		8	60	0.397	3	-	500	-	1.19	61.93	Simple	-	<input type="checkbox"/>	7.5	11

FIGURE 6 – Tableau des flux de procédé

Dans une deuxième étape, il faut définir les utilités (fluides de chauffage et de refroidissement) pour le procédé.

Note: Aucune distinction n'est faite entre les flux d'utilités continus et discontinus. Les utilités doivent être disponibles en tout temps. Il n'y a pas besoin d'un temps de début et d'un temps de fin.

Le tableau complet des flux d'utilités ressemble à ceci :

+/-	Name	Hot/Cold	Tin °C	Tout °C	c_p kJ/(kg K)	Phase Change kJ/kg	α W/(m ² K)	Pressure bar(a)	Utility Cost EUR/kWh	Fluid	Humidity Ratio In kg/kg
	Heating Steam (HU)	Hot	x1	x0	-	2181.27	5000	2.5	0.080	Water	-
	Cooling Water (CU)	Cold	8	14	4.1884	-	2000	1	0.030	Water	-

FIGURE 7 – Tableau des flux d'utilités



Step 2: Configure Equipment

Pour que les différents lots en cours de traitement puissent se chevaucher (cela permet d'accroître la productivité et le potentiel de RC directe), il faut garantir qu'aucun équipement n'est utilisé en même temps par deux lots différents. Dans le cas contraire, plusieurs exemplaires de ces matériels seront nécessaires. A cet égard, il est aussi important que chaque matériel ne puisse pas être utilisé par un autre lot pendant le prétraitement et le post-traitement (par exemple, le nettoyage).

Dans un premier temps, nommez le matériel par défaut en fonction des désignations existantes. Ce faisant, identifiez quel flux de procédé appartient à quel équipement (B100, C100, B101, B102). Si, par exemple, la solution s'écoule dans B100 pendant le préchauffage, ce matériel est bloqué pendant le temps de préchauffage et ne peut pas être vidé, par exemple. Il en résulte les affectations suivantes :

- Solvent → B100
- Vapor → C100
- Reaction Mixture → B101
- Base → B102

Ajoutez maintenant les temps de prétraitement et de post-traitement définis dans le Tableau 2 aux matériels respectifs. Procédez comme suit :

- ☞ Sélectionner un matériel (Equipment)
- ☞ Cliquer sur "Properties" dans "Target Explorer"
- ☞ Renseigner les durées de prétraitement et de post-traitement des équipements respectifs selon le Tableau 2

Les propriétés du matériel B100 sont illustrées à la Figure 8. Dans le champ "Max. Equipment Items", il est possible de spécifier le nombre maximum d'exemplaires disponibles de cet équipement, c'est-à-dire combien de fois il peut être utilisé simultanément. Étant donné que l'installation existe déjà dans l'étude de cas et qu'un seul exemplaire de chaque matériel est disponible, saisissez le nombre 1 pour chaque matériel.

Properties	
Search	
Standard	
Name	B100
PreProcessing (h)	0.00
PostProcessing (h)	1.50
Description	
Max. Equipment Items	1

FIGURE 8 – Propriétés du matériel B100

 **Step 3: Define Processes**

Dans notre étude de cas, nous devons créer un procédé par lot. Procédez comme suit :

-  Clic droit sur "Process 1" dans Project Explorer
-  Sélectionner [Remove Process](#)
-  Clic droit sur "Processes"
-  Sélectionner [Add Batch Process](#)

Renommez maintenant le procédé batch "Nutrient Salt Production" (F2) et affectez-lui tous les flux de procédé définis.

**Step 4: Apply Scheduling to Processes**

Des données de planning sont nécessaires pour définir la séquence chronologique des procédés définis à l'étape 3. S'il y a plusieurs procédés, dont certains au moins se déroulent en parallèle, des cas de fonctionnement (Operating Cases) peuvent apparaître au cours desquels un transfert de chaleur est possible entre les procédés. Dans ces cas, un planning du cas de fonctionnement correspondant doit être décrit en détail. Renommez "OC Schedule 1" en "Non-Overlapping" (sans chevauchement) et ouvrez l'onglet.

Entrez les durées de fonctionnement annuelles selon les spécifications.

-  Sélectionner "Batch Daily" (lot journalier) dans la colonne Timebase.
-  Sélectionner "Mon-Sat" comme jours d'exploitation.
-  Ajuster "Daytime Start" : 00 00
-  "CW start" : entrer 1
-  "# weeks" : entrer 48
-  [Batch Cycle Duration \(BCD\) \(Durée de cycle de production\)](#) : entrer 11 h
-  "# batches" : entrer 2

Note: La durée de cycle de production (Batch Cycle Duration (BCD)) est la durée entre 2 batches successifs. Un chevauchement apparaît lorsque la BCD est plus courte que la durée de traitement d'un batch (Batch Processing Duration (BPD)).

PinCH crée un diagramme de Gantt du procédé batch à partir des données saisies, voir Figure 9. Veuillez vous référer à ce tableau pour la séquence chronologique des opérations. Sur l'axe horizontal sont indiqués le temps (ici le temps de la journée) ainsi que le nombre et la durée des TSs. Vous pouvez cliquer sur n'importe quel TS dans la barre grise en bas (Figure 9 : TS3 = période de temps 5).

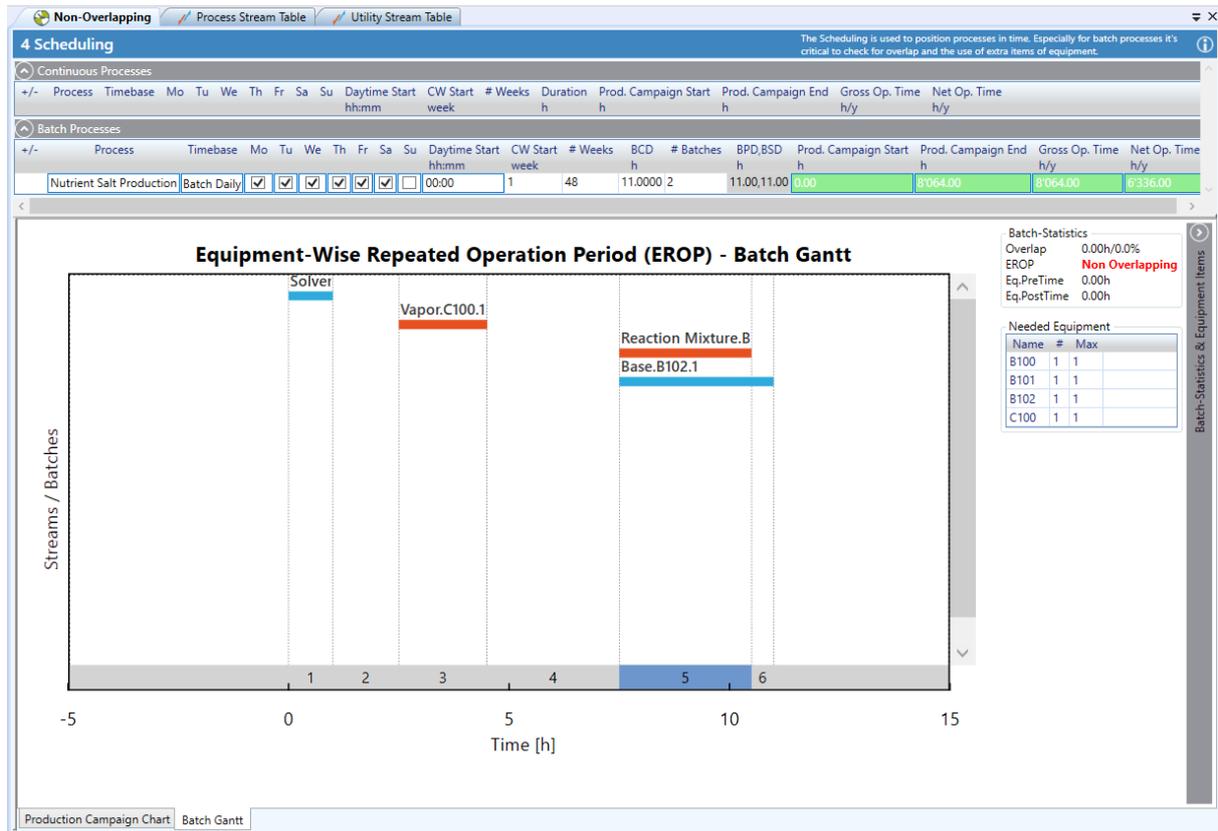


FIGURE 9 – Période de fonctionnement répété (EROP) du procédé batch sans chevauchement

La période de fonctionnement répété (Equipment-Wise Repeated Operation period, EROP) définit au bout de quelle période les TSs identifiés se répètent périodiquement (compte tenu de la multiplicité éventuelle de matériels). Dans notre cas, la période affichée correspond exactement à un batch, car il n'y a pas de chevauchement.

Créez maintenant un deuxième planning d'OC et nommez-le "Overlapping". Dans ce planning, nous faisons se chevaucher deux batches en raccourcissant le BCD de 11 h à 5.5 h et en augmentant le nombre de batches par jour de 2 à 3. Ceci permet de réduire le nombre de semaines de production de 48 à 32, sans modifier le volume de production. La Figure 10 illustre l'EROP du procédé batch répété avec chevauchement. Il est clair que les flux de procédé Vapor, Reaction Mixture et Base coexistent et que le potentiel de RC directe augmente en conséquence.

Note: Sur le côté droit, à côté de l'EROP, il est spécifié combien de fois chaque matériel est nécessaire et combien de fois il peut être utilisé au maximum (nombre d'exemplaire(s) à disposition, configuré à l'étape 2). Le nombre d'exemplaires requis d'un matériel augmente si ce dernier est utilisé dans différents batches au même moment. Il est clair que, dans les deux plannings (non-chevauchement et chevauchement), chaque matériel n'est nécessaire qu'une seule fois.

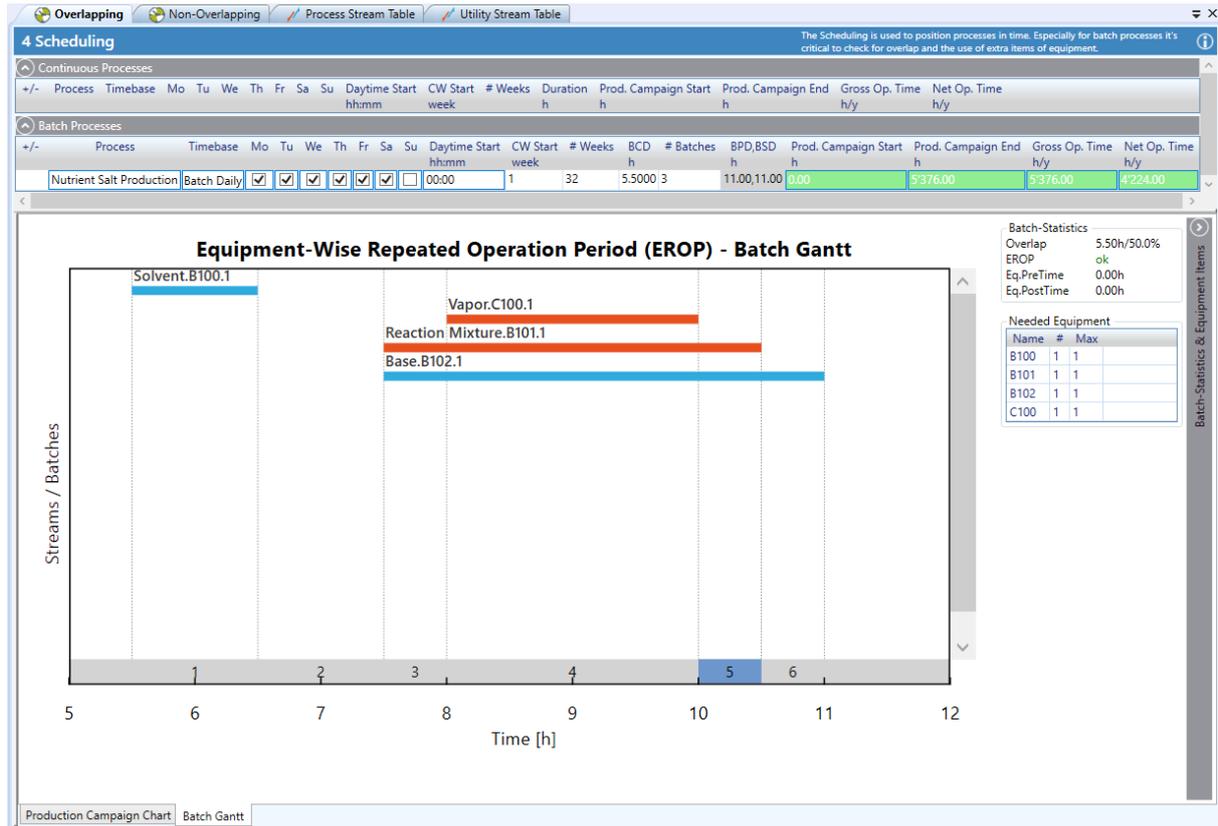


FIGURE 10 – EROP du procédé batch avec chevauchement (batches superposés).



Step 5: Set Economic Data

Les paramètres économiques doivent être spécifiés pour calculer les coûts d'investissement. PinCH calcule les coûts des échangeurs de chaleur nécessaires pour répondre aux exigences de procédé. Il s'agit notamment d'échangeurs de chaleur entre deux flux de procédé (RC) et d'échangeurs de chaleur entre un flux de procédé et une utilité. Ouvrez l'onglet "Economic Data" et ajustez les paramètres selon les spécifications de la section "Investment Costs" de la page 6. Comme il s'agit d'une installation existante, les coûts d'investissement pour les échangeurs de chaleur des utilités peuvent être mis à zéro. L'onglet "Economic Data" devrait maintenant ressembler à ceci :

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	0.0	100	0.71
Cold Utility Heat Exchanger	0	0.0	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: 0.237 1/y Maintenance: %/y Investment Costs

Electricity

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

FIGURE 11 – Données économiques

Une fois les étapes 1 à 5 effectuées, votre Project Explorer présente une structure suivante :

Project Explorer

1-5 Project Explorer

- Fine Chemistry AG
 - Process Stream Table
 - Equipment
 - Shared
 - Individual
 - B100
 - C100
 - B101
 - B102
 - BaseCase
 - Processes
 - Nutrient Salt Production
 - Operating Cases Scheduling
 - Non-Overlapping
 - Overlapping
 - Economic Data
 - Economic Data

FIGURE 12 – Project Explorer

Step 6: Prepare Targeting Calculation

Une fois les [étapes 1 à 5](#) traitées, toutes les données nécessaires à l'analyse Pinch sont stockées dans le Project Explorer. Vous pouvez maintenant calculer les valeurs cibles d'énergie et de coût en créant deux "Target Groups" cibles dans [Target Explorer](#). Renommez ces groupes en "Non-Overlapping" (non-chevauchement) and "Overlapping" (chevauchement). Pour le "Target Group" "Overlapping", sélectionnez "Overlapping OC Schedule" :

- ☞ Clic droit sur "Overlapping" dans le "Target Group".
- ☞ Réaffecter Operating Case Schedule ☞ "Overlapping"

Votre Target Explorer devrait maintenant ressembler à ceci :



FIGURE 13 – Target Explorer

Si vous rencontrez des problèmes lors de la création du "Target Group", veuillez consulter le [Tutoriel 1](#). La procédure est décrite pas à pas à l'[étape 6](#).

Step 7: Analyze Energy Targets

Une fois l'[étape 6](#) effectuée, les préparatifs pour le calcul des valeurs cibles d'énergie et de coûts sont terminés. Avant de les calculer à l'[étape 8](#), nous pouvons utiliser l'outil [Energy Target Analysis \(ETA\)](#) pour effectuer des analyses complètes relatives au potentiel de RC pour le scénario (Target Group) considéré.

Note: L'ETA est un outil d'analyse du potentiel de RC, compte tenu de la séquence chronologique du procédé. En particulier, des flux de procédé individuels ou des TSs peuvent être masqués afin de se focaliser sur les potentiels de RC les plus significatifs. Les potentiels de RC directe et indirecte (avec stockage) peuvent être examinés à cet égard. La RC maximale possible (directe et indirecte) peut être déterminée avec le "Time Average Model" (TAM). Le potentiel de RC indirecte peut être visualisé à l'aide des "Indirect Source Sink Profiles" (ISSPs) basés sur les GCCs (c'est-à-dire en tenant compte de la RC directe des différents TSs selon les GCCs correspondantes). De même, le potentiel de RC entre différentes paires de procédés peut être analysé à l'aide des Split-GCC.

Les potentiels de RC directe et indirecte de procédés batch peuvent être calculés et comparés dans l'outil "Energy Target Analysis". Dans ce tutoriel, l'accent est mis sur les RC directes. Ouvrez l'outil comme suit :

- ☞ Clic droit sur "Energy Target Analysis" dans "Target Explorer".
- ☞ Sélectionner "Open Energy Target Analysis"

Le nouvel onglet a trois fenêtres :

- **Time Charts** : Différents diagrammes de Gantt peuvent être consultés ici. Sous Batch TS, l'EROP est de nouveau représenté dans lequel les quatre TSs pertinents sont maintenant surlignés en vert. Vous devez sélectionner le procédé souhaité sous Processes (en haut à gauche de la fenêtre) pour que cela soit visible.
- **TS Data** : Le ΔT_{min} sélectionné, le potentiel de RC et les besoins en utilités pour chaque TS sont listés dans le tableau.
- **TS Charts** : Les graphiques relatifs aux TSs sélectionnés dans le tableau TS Data sont représentés ici.

Tout d'abord, nous considérons le potentiel de RC maximal possible du mode de fonctionnement "Non-Overlapping". Procédez comme suit :

- ☞ Sélectionner "Batch TS" dans la fenêtre Time Charts ("Nutrient Salt Production" doit être sélectionné sous Processes).
- ☞ Sélectionner l'onglet "TAM" sur le bord inférieur de la fenêtre TS Charts.

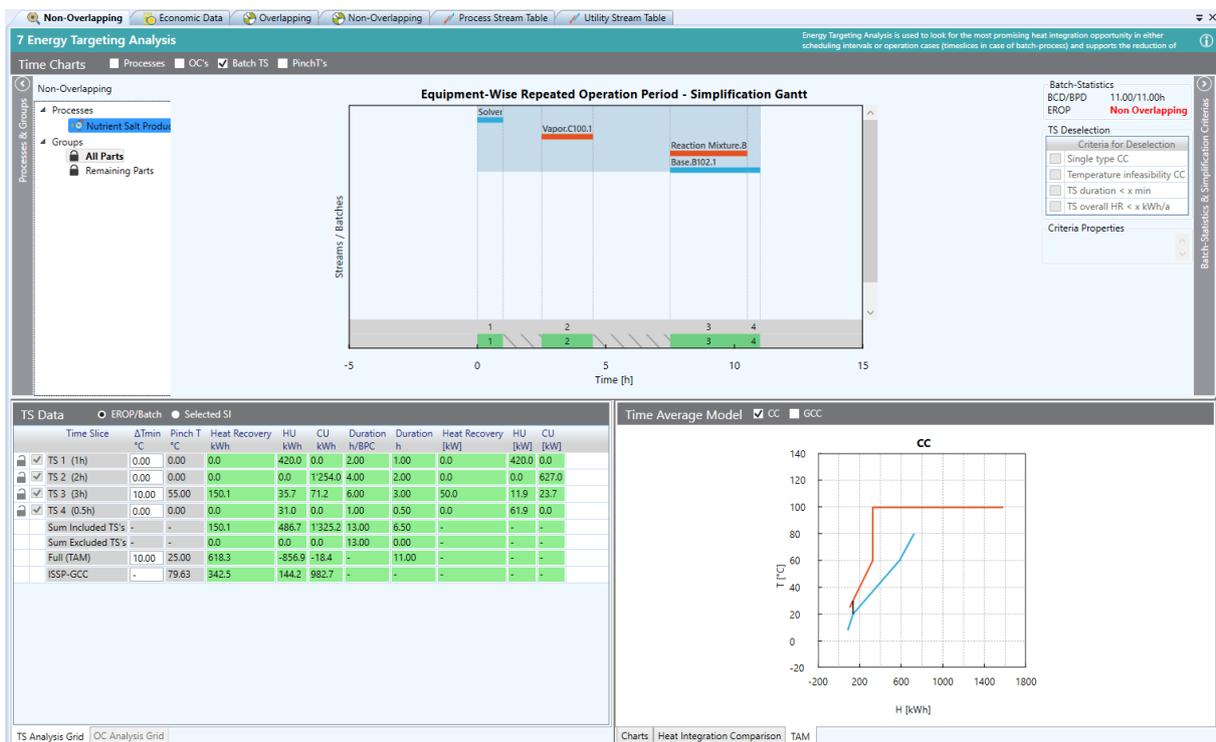


FIGURE 14 – Analyse des valeurs cibles énergétiques du mode de fonctionnement sans chevauchement avec visualisation du potentiel de RC maximal possible selon le TAM.

Le chevauchement des courbes composites dans le TAM représente la RC maximale possible (directe et indirecte) en kWh/batch pour un ΔT_{min} fixé ($\Delta T_{min} = 10\text{ K}$ est une valeur par défaut et n'est pas

déterminée par une optimisation des coûts). Dans la fenêtre TS Data, le ΔT_{min} peut être fixé dans la ligne "Full (TAM)" pour l'ensemble du procédé ou spécifié pour chaque TS séparément.

Note: Il est conseillé de sélectionner le même ΔT_{min} pour tous les TSs. Ceci permet de concevoir un réseau d'échangeurs de chaleur (MER HEN) avec une structure similaire pour chaque TS. Les HENs des différents TSs peuvent ultérieurement être fusionnés plus facilement en un réseau global.

La RC maximale possible, visualisée dans le TAM, peut être lue dans la ligne "Full (TAM)" de la colonne "Heat Recovery" (618.3 kWh/lot). Le potentiel de RC directe est indiqué pour chaque TS dans la même colonne. Le potentiel de RC indirecte est indiqué dans la ligne "ISSP-GCC" (342.5 kWh/lot). Ce potentiel peut être visualisé avec l'ISSP-GCC. Procédez comme suit :

- ☞ Sélectionner l'onglet "Charts" le long du bord inférieur dans la fenêtre TS Charts.
- ☞ Sélectionner "ISSP-GCC" dans la fenêtre TS Charts.

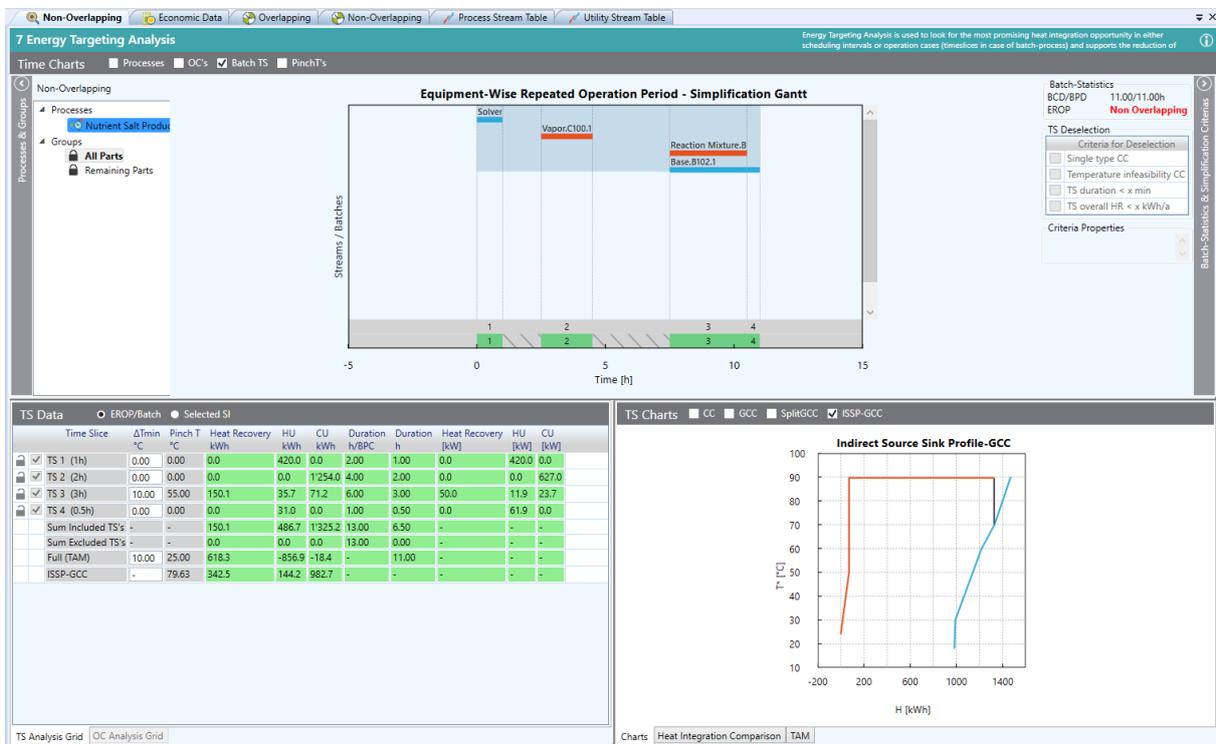


FIGURE 15 – Energy Targeting Analysis : Analyse des valeurs cibles énergétiques du mode de fonctionnement sans chevauchement avec visualisation du potentiel de RC indirecte dans l'ISSP-GCC.

Note: Avec le "Time Average Model" (TAM), la puissance (de chauffage ou de refroidissement) de chaque flux est moyennée sur la période de répétition du procédé (plus précisément, ici, les courbes composites sont représentées en énergie [kWh/batch] et non en puissance moyenne [kW]). L'ISSP-GCC montre les besoins de chauffage et de refroidissement qui restent après la RC directe et la RC indirecte possible en recourant au stockage d'énergie thermique (Manuel - Pinch - OFEN).

Un **Simplified Target Group** peut être créé pour ne prendre en compte que le potentiel de RC directe. Un "Simplified Target Group" est nécessaire chaque fois que vous souhaitez masquer des TSs ou des flux individuels ne présentant pas de potentiel de RC directe significatif ou dont le potentiel n'est pas économique, et par là réduire le nombre de TSs et simplifier le problème de RC directe. Procédez comme suit :

- ☞ Clic droit sur "Groups" dans la fenêtre "Time Chart" ("Nutrient Salt Production" doit être sélectionnée dans les procédés).
- ☞ Sélectionner **Add Simplified Target Group** et renommer le Simplified Target Group "Direct Heat Recovery".
- ☞ Dans le diagramme de Gantt global, cliquer sur la barre en pointillés (sous "Nutrient Salt Production").
- ☞ Désélectionner "Processes" et sélectionner "Batch TS" (dans la fenêtre "Time Charts").
- ☞ Sélectionner **Single Type CC** sous **TS Deselection** du côté droit de la fenêtre. Tous les TSs dans lesquels il n'y a pas de potentiel RC directe sont maintenant masqués.
- ☞ Cliquer sur le cadenas pour pouvoir réutiliser le "Simplified Target Group" à l'étape 8. Il apparaît maintenant sous "Energy Target Analysis" dans le Target Explorer.

Il apparaît qu'un potentiel de RC directe n'existe que durant TS3. Dans la fenêtre "TS Data", le potentiel cumulé de RC directe est indiqué sous "Sum Included TS's" avec 150.1 kWh/batch. Le potentiel de RC directe de chaque TS individuel peut être lu dans la ligne du TS respectif.

Étant donné que le stockage de chaleur, qui entraîne des coûts d'investissement supplémentaires, est nécessaire pour la RC indirecte, la RC directe est généralement préférable à la RC indirecte. Le potentiel de RC directe peut être augmenté avec des batches qui se chevauchent (batches superposés). Un autre avantage des procédés batch superposés est une productivité plus élevée. Toutefois, le chevauchement limite la flexibilité du planning de la production. Ces différents aspects doivent être pris en considération et pesés avec soin.

Effectuez les mêmes étapes pour le "Target Group" avec chevauchement. L'analyse des objectifs énergétiques (Energy Targeting Analysis) pour le "Target Group" avec chevauchement devrait maintenant ressembler à ceci :

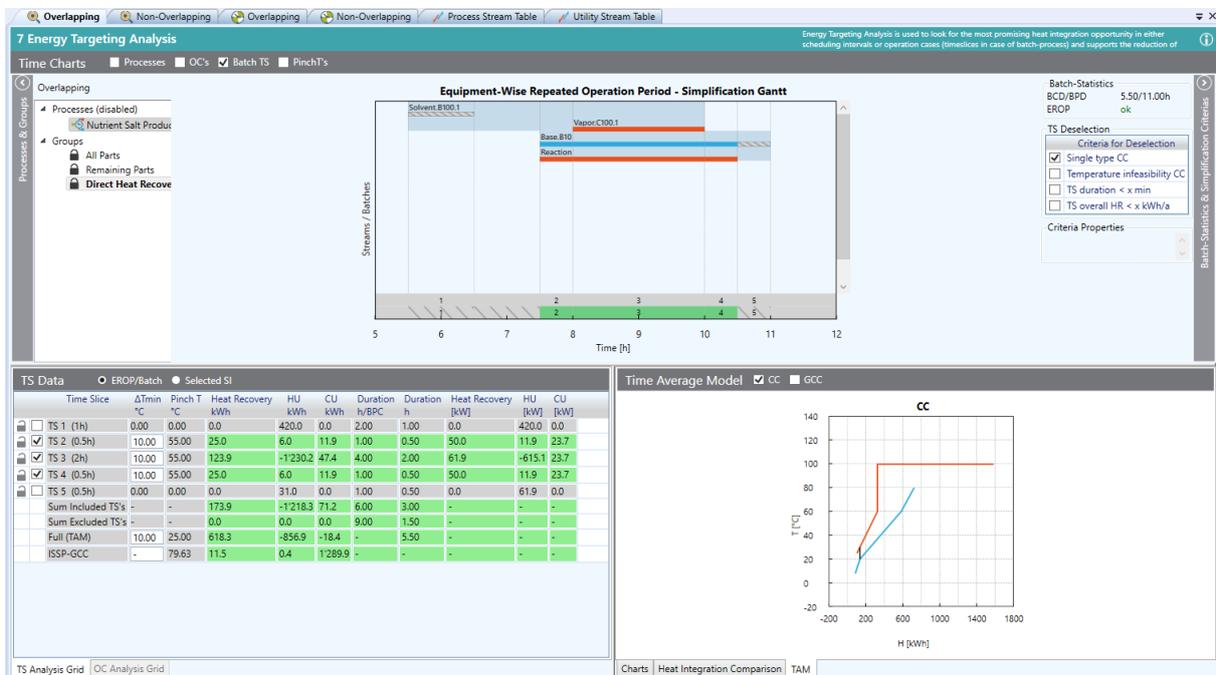


FIGURE 16 – Energy Targeting Analysis du mode de fonctionnement avec chevauchement.

Un TS supplémentaire est créé en raison du chevauchement de chaque batch. De plus, un potentiel de RC directe apparaît durant TS2 et TS4. La Table 5 compare le potentiel de RC des procédés batch sans

chevauchement et avec chevauchement. La RC maximale possible selon le TAM tient compte à la fois de la RC directe et indirecte, c'est pourquoi la valeur est identique pour les deux modes de fonctionnement. On constate que le potentiel de RC directe (Sum Included TSs) dans le mode de fonctionnement avec chevauchement a augmenté de 16 % et le potentiel de RC indirecte a diminué de 7 %.

La flexibilité est limitée en raison du chevauchement des batches : les différents batches sont très dépendants les uns des autres en raison du transfert de chaleur entre eux. Puisque le chevauchement n'entraînerait qu'une augmentation du potentiel de RC directe de 23.8 kWh/batch et limiterait fortement la flexibilité, le mode de fonctionnement sans chevauchement est retenu pour la suite de l'étude de cas.

TABLE 5 – Comparaison des potentiels de RC entre les modes de fonctionnement sans et avec chevauchement

Mode de fonctionnement	RC maximum [kWh/batch]	RC directe [kWh/batch]	RC indirecte* [kWh/batch]
Sans chevauchement (BCD = 11 h)	618.3	150.1	342.5
Avec chevauchement (BCD = 5.5 h)	618.3	173.9	319.6

* Pour visualiser l'intégralité du potentiel de RC indirecte du procédé, "All Parts" doivent être sélectionnées sous "Groups" dans la fenêtre "Time Charts".



Step 8: Calculate Energy & Cost Targets

La détermination des valeurs cibles d'énergie et de coûts *avant toute conception* des mesures de RC individuelles constitue l'un des aspects clés de l'Analyse Pinch.

Note: Le fondement de la méthode Pinch est [Targets before Design](#) !

Le [targeting](#) effectué à l'étape 8 calcule la consommation optimale des utilités, le potentiel de RC optimal, la surface minimale des échangeurs à installer, le nombre minimal d'échangeurs de chaleur à installer et les coûts totaux annuels minimaux associés.

La procédure de calcul des valeurs cibles en matière d'énergie et de coûts pour le mode de fonctionnement sans chevauchement est illustrée ici. Commencez le Targeting pour le "Targeting Group" sans chevauchement :

- ☞ Clic droit sur [Direct Heat Recovery](#) (sous "Energy Target Analysis" dans "Target Group" "Non-Overlapping").
- ☞ [Calculate Target Result with...](#)
- ☞ Sélectionner [Separate Design](#)
- ☞ Clic droit sur [Sep_Design 1_2 \("Direct Heat Recovery"\)...](#)
- ☞ Sélectionner [Open Target Results](#) (sous "Results" dans le "Target Group" "Non-Overlapping target group").

Dans la fenêtre inférieure "TS Data", tous les TSs pris en compte pour les RC directes sont répertoriés. Les TSs barrés sont affichés en sélectionnant "Show Ignored TSs". Étant donné que seul TS3 présente un potentiel de RC directe son ΔT_{min} peut être optimisé pour minimiser les coûts totaux sans que les autres TSs soient influencés. L'optimum des coûts est représenté dans le diagramme "Cost Curve" (courbe des coûts) dans la fenêtre "TS Charts". Cet optimum correspond à $\Delta T_{min} = 15$ K. Par conséquent, ajustez la valeur pour ΔT_{min} dans le tableau "TS Data". Vous pouvez maintenant vous référer au tableau "TS Data" de la Figure 17 pour les valeurs cibles d'énergie et de coûts qui en résultent.

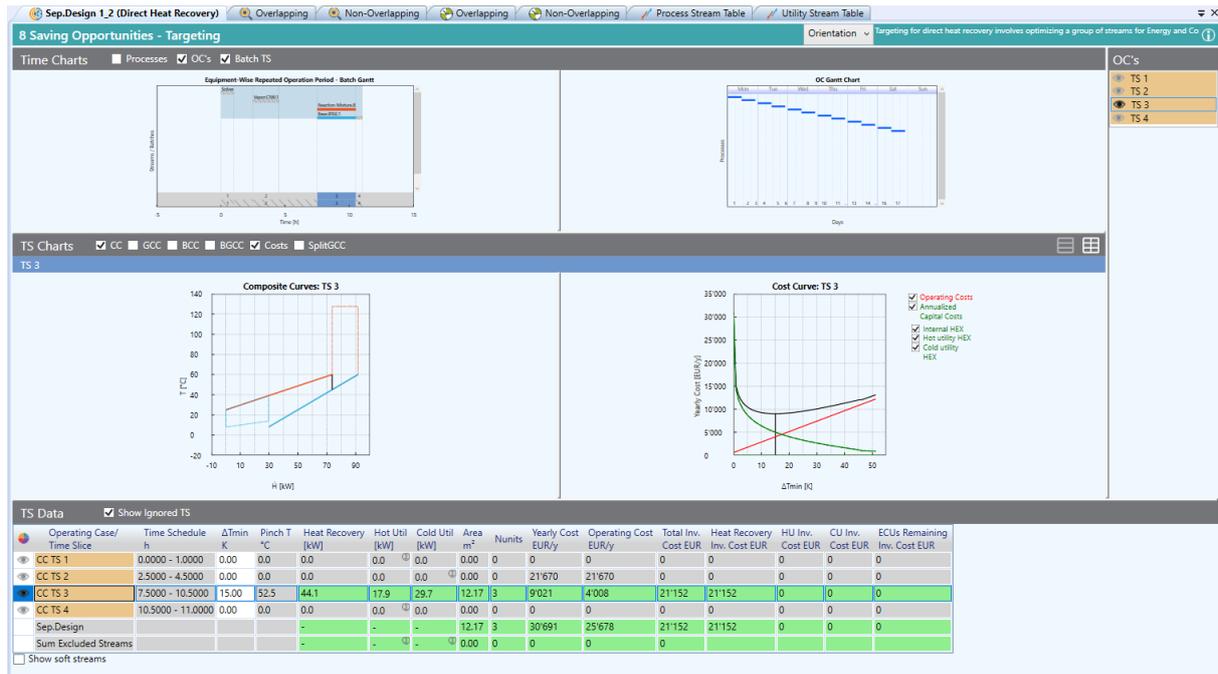


FIGURE 17 – Valeurs cibles d'énergie et de coûts du Target Group sans chevauchement.



Step 9: Integrate Energy Conversion Units (ECUs)

Dans de nombreux procédés industriels, les besoins de chauffage et de refroidissement restent élevés et ce malgré la RC. Dans ces cas, il vaut la peine d'examiner l'intégration d'une **unité de conversion d'énergie** (Energy Conversion Unit - ECU). Une ECU peut être, par exemple, un groupe chaleur-force basé sur un moteur thermique. La chaleur rejetée est valorisée dans le procédé et remplace ainsi de l'utilité chaude, tandis que l'énergie mécanique du moteur thermique est convertie en énergie électrique dans un générateur. Une ECU peut également être une pompe à chaleur dans laquelle le compresseur "élève" la chaleur à un niveau de température plus élevé au moyen d'énergie électrique. La chaleur dégagée au condenseur alors tout ou partie de l'utilité chaude.

L'Analyse Pinch est un excellent outil pour analyser l'intégration d'une ECU. Pour optimiser (et donc réduire) les coûts des utilités, l'intégration correcte d'une pompe à chaleur, d'un thermo-compresseur, d'un compresseur mécanique de vapeur, d'un ORC (Organic Rankine Cycle) ou d'un CCF peut être réalisée dans PinCH.

Dans notre étude de cas, un compresseur de buées pourrait être intéressant pour réduire les besoins en HU/CU (réduction de CU est engendrée par le fait que les buées (Vapor) sortant de C100 et comprimées par le compresseurs n'ont plus besoin d'être condensées par CU). Mais l'intégration d'un compresseur de buées sort du cadre du présent tutoriel et n'est pas retenu pour la suite.



Step 10: Design Heat Exchanger Network (HEN)

Félicitations! Vous avez réalisé avec succès la phase de Targeting pour l'optimisation de l'énergie et des coûts du procédé. Il faut maintenant répondre à une autre question importante : *Comment les valeurs cibles d'énergie et de coûts devraient-elles être concrétisées dans la pratique?* Vous pouvez créer un HEN à l'aide de PinCH. Le HEN est moins complexe qu'un diagramme d'écoulement typique. Il montre quels flux de procédé sont connectés aux échangeurs de chaleur et dans quel ordre. Sur cette base, un

diagramme d'écoulement optimisé peut être élaboré.

Pour un procédé batch, un MER HEN doit être créé pour chaque TS dans lequel il y a un potentiel de RC directe. La seule RC possible concerne TS3. Le MER HEN résultant pour TS3 est illustré dans la Figure 18. Pour tous les autres TSs, les besoins de chauffage et de refroidissement sont déjà couverts par les échangeurs d'utilités (échangeur de chaleur entre flux de procédé et flux d'utilité) de l'installation de production existante.

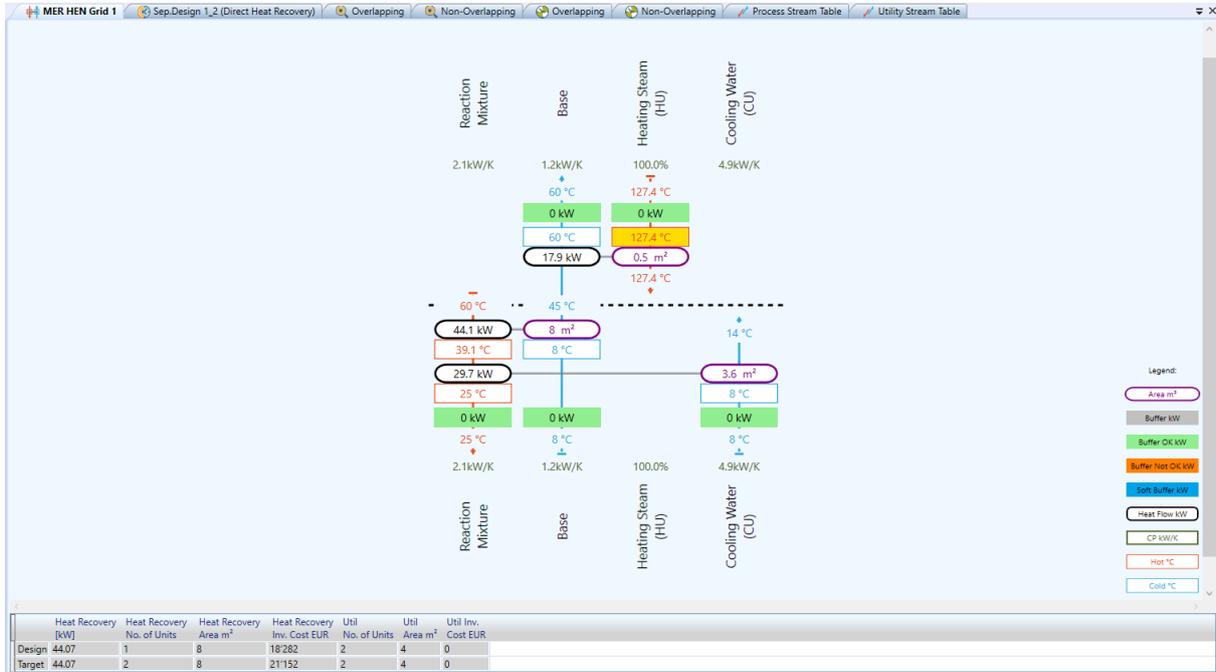


FIGURE 18 – MER HEN du TS3

IV Procédé optimisé

Maintenant, nous transposons le MER HEN créé dans le diagramme d'écoulement illustré au début du tutoriel (Figure 2). Ce diagramme d'écoulement optimisé pour les différents TSs est illustré aux Figures 19 à 22.

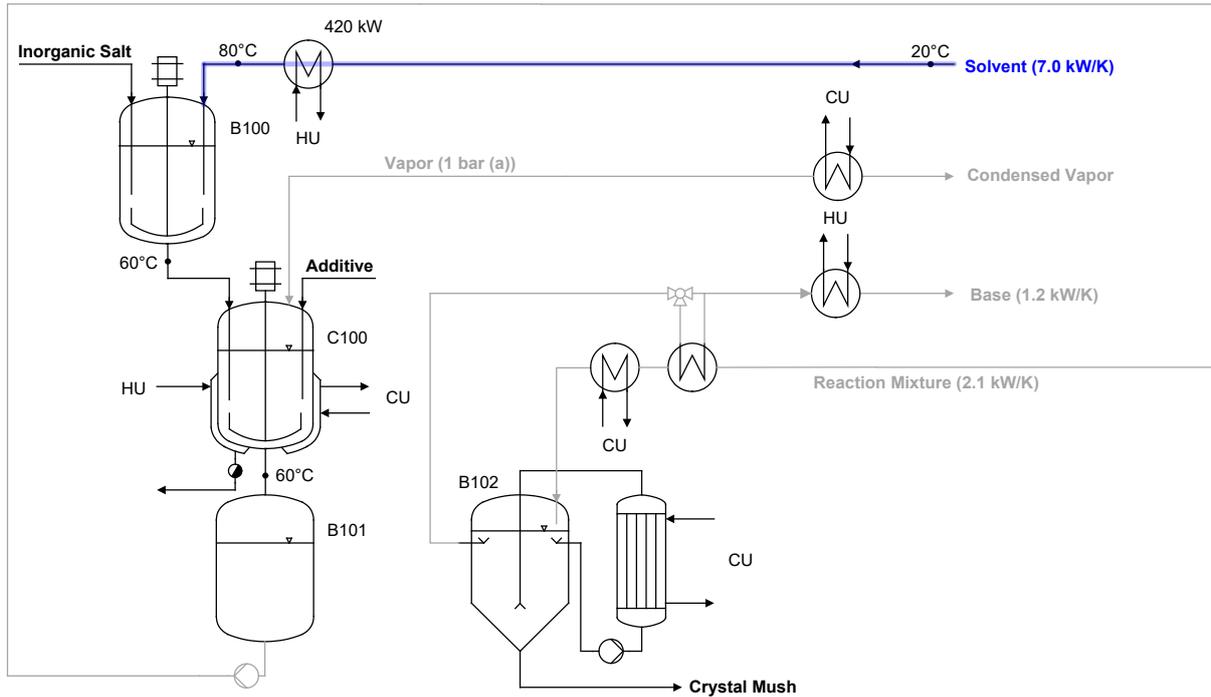


FIGURE 19 – Diagramme d'écoulement de l'installation de production optimisée - fonctionnement durant TS1.

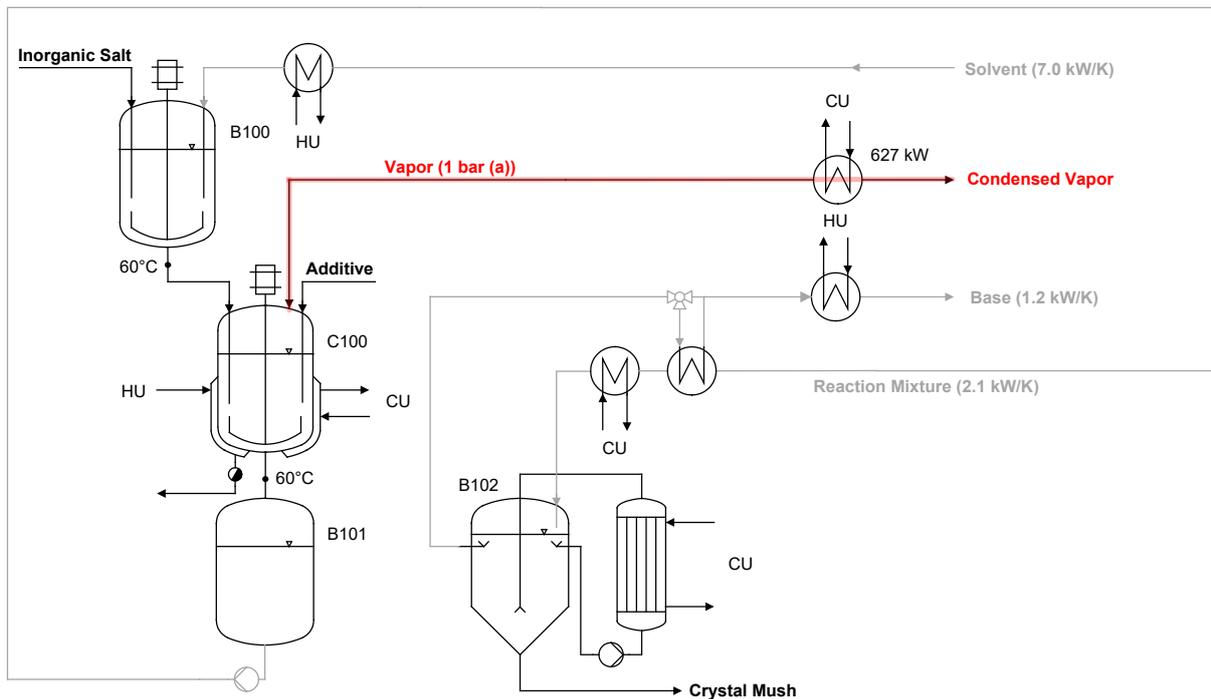


FIGURE 20 – Diagramme d'écoulement de l'installation de production optimisée - fonctionnement durant TS2.

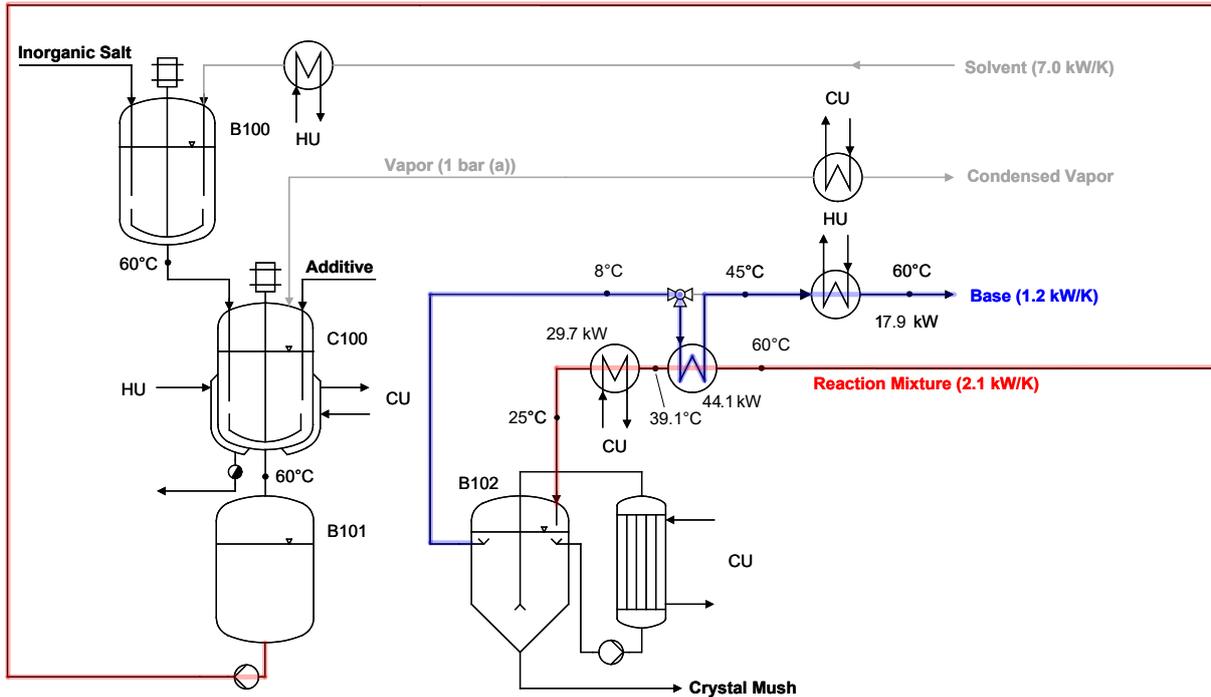


FIGURE 21 – Diagramme d'écoulement de l'installation de production optimisée - fonctionnement durant TS3 avec RC directe entre les flux Reaction Mixture et Base.

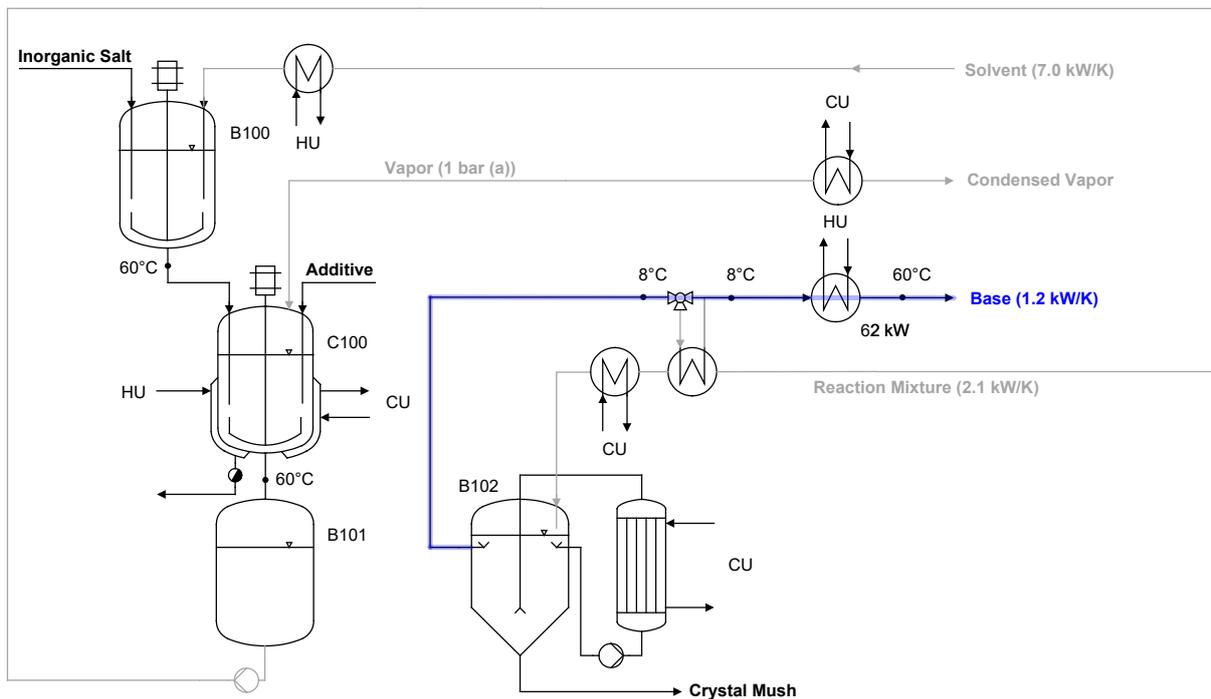


FIGURE 22 – Diagramme d'écoulement de l'installation de production optimisée - fonctionnement durant TS4.

Le Tableau 6 montre que la RC directe durant TS3 permet d'économiser 44 kW supplémentaires (sans réduire la flexibilité), soit des économies annuelles de 76 MWh d'HU et 76 MWh de CU. Un échangeur de chaleur supplémentaire doit être installé pour la RC, ce qui entraîne des coûts d'investissement de

18'282 €. Ces coûts sont amortis sur cinq ans, ce qui se traduit par des annuités de 4'333 €/an. Pendant la période d'amortissement de cinq ans, l'économie annuelle totale est de 4'066 €/an, soit une réduction de 7.4 % des coûts totaux. Après amortissement, l'économie annuelle totale est de 8'393 €/an, soit une réduction de 15.3 % des coûts totaux annuels.

TABLE 6 – Comparaison de l'installation de production existante (sans RC) avec l'installation optimisée.

	HU		CU		Coûts de fonctionnement	Investissement annuel	Coûts totaux annuels
	[kW]	[MWh/an]	[kW]	[MWh/an]	[€/an]	costs [€/an]	[€/an]
Installation existante							
TS1	420	242	-	-	19'354	0	19'354
TS2	-	-	627	722	21'670	0	21'670
TS3	62	107	74	128	12'407	0	12'407
TS4	62	18	-	-	1'427	0	1'427
Total		367		850	54'858	0	54'858
Installation optimisée							
TS1	420	242	-	-	19'354	0	19'354
TS2	-	-	627	722	21'670	0	21'670
TS3	18	31	30	51	4'008	4'333	8'341
TS4	62	18	-	-	1'427	0	1'427
Total		291		773	46'459	4'333	50'792
Economie							
TS1	0	0	-	-	0	0	0
TS2	-	-	0	0	0	0	0
TS3	44	76	44	76	8'399	-4'333	4'066
TS4	0	0	-	-	0	0	0
Total		76		76	8'399	-4'333	4'066

Ce tutoriel s'est concentré sur la RC directe. En plus du potentiel de RC directe, l'étape 7 a permis de déterminer un potentiel de RC indirecte d'environ 320 kWh/batch. Cependant, la RC indirecte ne peut être mise en œuvre qu'avec un stockage d'énergie thermique ("Thermal Energy Storage", TES). La procédure systématique d'intégration d'un TES dans cette étude de cas (fabrication de sel nutritif) est expliquée dans le Tutoriel 4.

Merci pour votre temps!

Vous connaissez maintenant les étapes les plus élémentaires de l'utilisation de PinCH pour l'analyse d'un procédé discontinu. 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.