Estavayer Lait SA
Optimisation énergétique avec la méthode du pincement – rapport final

Ce projet a été financé avec le soutien de l'office fédérale de l'énergie OFEN.

Elaboré pour:

M. Daniel Maeder

Estavayer Lait SA
Rte de Payerne 2-4
CH – 1470 Estavayer-le-Lac

Helbling Beratung + Bauplanung AG
Hohlstrasse 614
CH 8048 Zürich
Fon +41 44 438 18 11
Fax +41 44 438 18 10
Mail info-hbp@helbling.ch

Responsable du projet: Raymond Morand

Chef de projet: Simon Bachmann

Zurich, le 16.4.2014

Introduction

- Pour des raisons de confidentialité, certaines pages et informations ont été supprimées dans le rapport publié.

Management Summary

- Le projet « analyse du pincement » pour ELSA poursuit essentiellement l'élaboration de mesures d'économie d'énergie et l'évaluation de la rentabilité de celles-ci, y compris l'estimation de l'investissement nécessaire et des coûts d'exploitation.
- Cette analyse démontre un grand potentiel d'énergie récupérable sur le site d'ELSA, permettant de réduire la consommation de gaz actuelle de plus que 20% et la consommation d'eau glacée d'environ 16%, avec un payback (dynamique) total de 4 ans. Ainsi les émissions de CO_2 seront réduits de plus de 20%.
- L'analyse du pincement établit en outre un potentiel additionnel de de 7% d'économie d'énergie thermique, pour une adaptation de procédé (projet à long terme).
- L'approche proposée prévoit deux groupes de mesures:
  - Une augmentation de la récupération interne aux installations avec une réduction de gaz de 2.1%
  - Un système de récupération global qui génère des économies de gaz de 19.5%
- Le système de récupération global représente une infrastructure à longue durée de vie, qui offre une grande flexibilité pour l'implémentation de mesures futures. Nous conseillons de prendre ceci en compte lors des décisions d'investissement, puisqu'il s'agit d'un investissement à long terme. Le payback des mesures globales est, avec 5 ans, nettement plus long que celui des mesures de récupération interne (env. 1.5 ans).
- Nous recommandons la définition et le lancement des projets selon les groupes de mesures proposés et les priorités correspondantes.

Contenu

1. Objectifs et bénéfices 5
2. Analyse de la situation existante 6
3. Analyse du pincement 20
4. Elaboration de mesures 25
5. Résumé des mesures 42
6. Conclusion 43
7. Annexe 45

Objectifs et bénéfices

Les objectifs principaux de l'étude sont les suivants:

- Analyse des flux énergétiques, bilan énergétique et massique.
- Diminution de la consommation d'énergie thermique et électrique ainsi que la réduction de la production de CO_2 et de la consommation d'eau sur le site entier (production, infrastructure, chauffage).
- Maximisation de la récupération de chaleur du procédé et des infrastructures.
- Intégration optimale de l'approvisionnement d'énergie et des systèmes de récupération de chaleur dans le réseau du site entier.
- Réduction significative des coûts d'exploitation (énergie primaire, eau, CO_2).
- Elaboration de mesures d'économie d'énergie et une évaluation économique de celles-ci, y compris l'estimation de l'investissement nécessaire et des coûts d'exploitation.
- Plan de mise en œuvre avec priorisation des mesures.

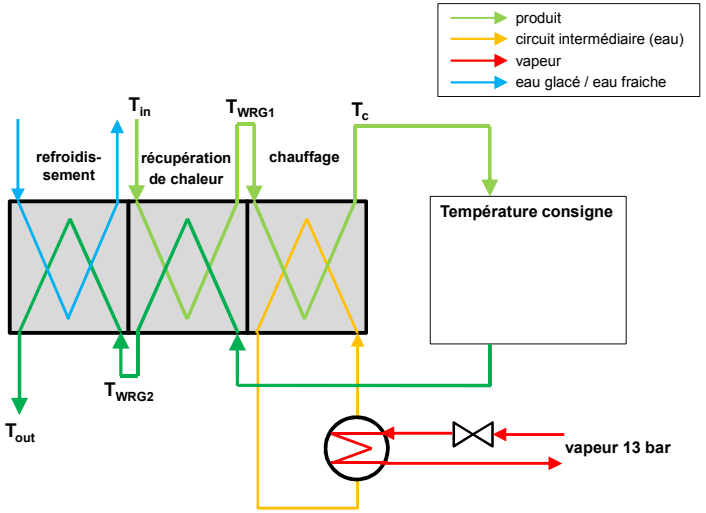
Analyse de la situation existante
Flux de production

- Les quantités de production ont été relevées pour chaque installation.
- Il y a des différences entre la quantité de lait entrant et la quantité de produits traités, ce qui s'explique par des additifs (sucre, poudre, etc.) et par des recirculations internes.
- La quantité de production se repartit sur 4 branches principales:
  - Upérisation de lait
  - Produits sérés
  - Yogourts
  - Autres produits dessert
- Grâce aux procédés de production discontinus (stockage intermédiaire entre les traitements), les produits sont chauffés et refroidis plusieurs fois pendant leur production (voir graphe). Une adaptation du plan de production pourrait avoir un effet positif sur la consommation d'énergie. Ce potentiels sont décrits dans le tableaux des mesures («Mesures d'économies d'énergie par adaptation de la logistique»).

Analyse de la situation existante
Approche de l'acquisition de données: consommation annuelle dans un pasteur

- Les besoins en énergie sont calculés comme produit de la puissance demandé par l'installation (exigence de procédé) et la quantité de production de l'installation.
- Ceci est fait pour chaque installation de production (p.ex. écrémage) et pour les utilitaires (p.ex. eau chaude).

modèle de l'installation de production



puissance

Récup. chaleur	EF	EG	Vap indir.	Vap dir.	Tour ref.
[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]

X

quantité de production / heures de production / heures de marche à vide / heures de nettoyage

=

consommation énergie annuel

Récup. chaleur	EF	EG	Vap ind.	Vap dir.	Tour ref.
[MWh/a]	[MWh/a]	[MWh/a]	[MWh/a]	[MWh/a]	[MWh/a]

Analyse de la situation existante
Exemple: Installations UP

Fonctionnement*

- Fonctionnement en détail voir sur le schéma en Annexe A.
- Les buées sortant du vase d'expansion ont une température de 80°C et doivent condenser. Ceci est fait par un circuit d'eau.
- Avec les condenseurs installés, une température d'eau de seulement 50°C peut être atteinte.
- La chaleur est partiellement utilisée pour chauffer les systèmes d'eau chaude, mais la température à disposition est trop basse pour pouvoir utiliser toute la chaleur provenant des buées des UPs.
- La partie non utilisable de la chaleur est évacuée par les tours de refroidissement.

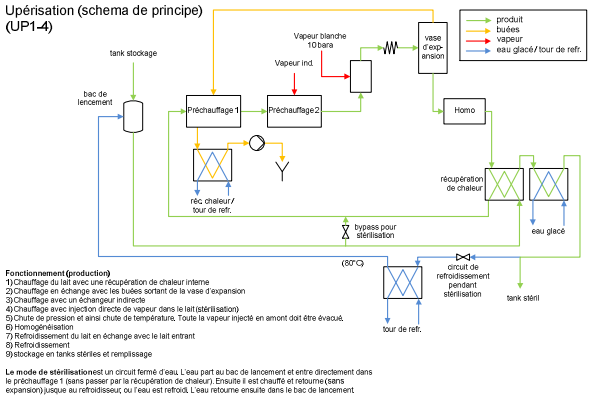


Schéma de principe d'une installation UP, voir annexe A

* Pour des raisons de confidentialité, les valeurs dans la publication ne correspondent pas au valeur effectives, mais à des valeurs standard (voir p.ex. *« Trinkmilchtechnologien », W. Strahm, Forschungsanstalt Agroscope*)

Analyse de la situation existante
Chiffres clés

Quantité de production (données 2013)

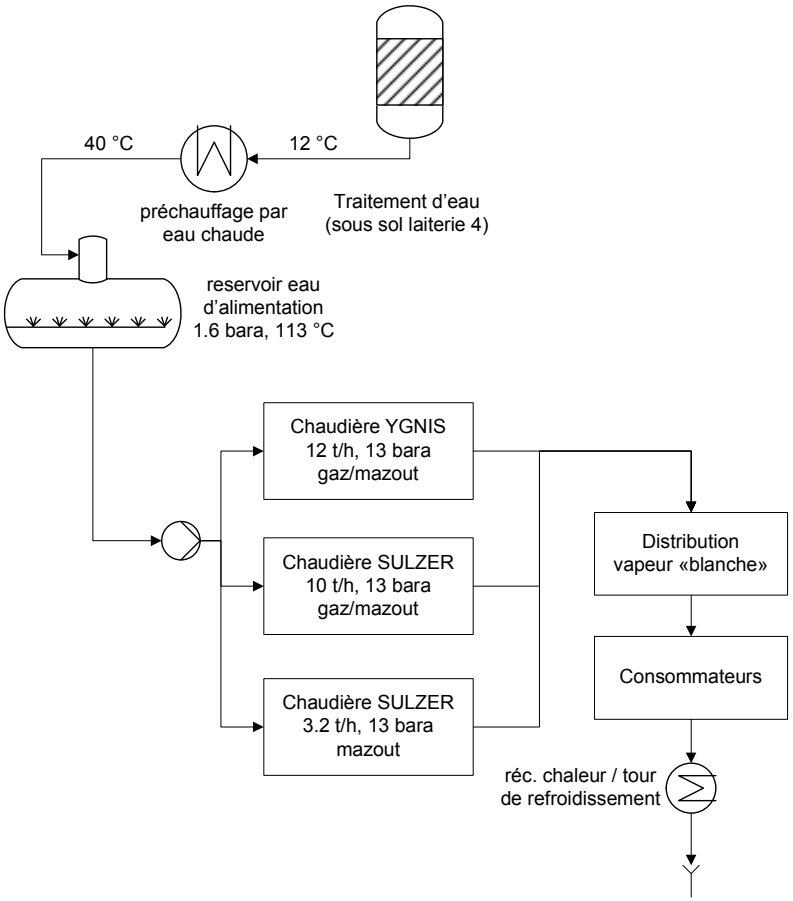
- Lait transformé: 272’000 tonnes
- Produits: 279’000 tonnes

L’infrastructure se constitue des éléments suivants:

- Chaufferie 1: production de vapeur directe (ainsi pas de récupération des condensats)
- Chaufferie 2: production de vapeur indirecte (env. 70% de récupération des condensats)
- 5 compresseurs d’air comprimé, dont un normalement hors service
- 3 systèmes de production de froid: production d’eau glacée (EG), climatisation et refroidissement MGH
- 2 systèmes d’eau chaude
- Système de chauffage du bâtiment décentralisé (divers sources de chaleur)

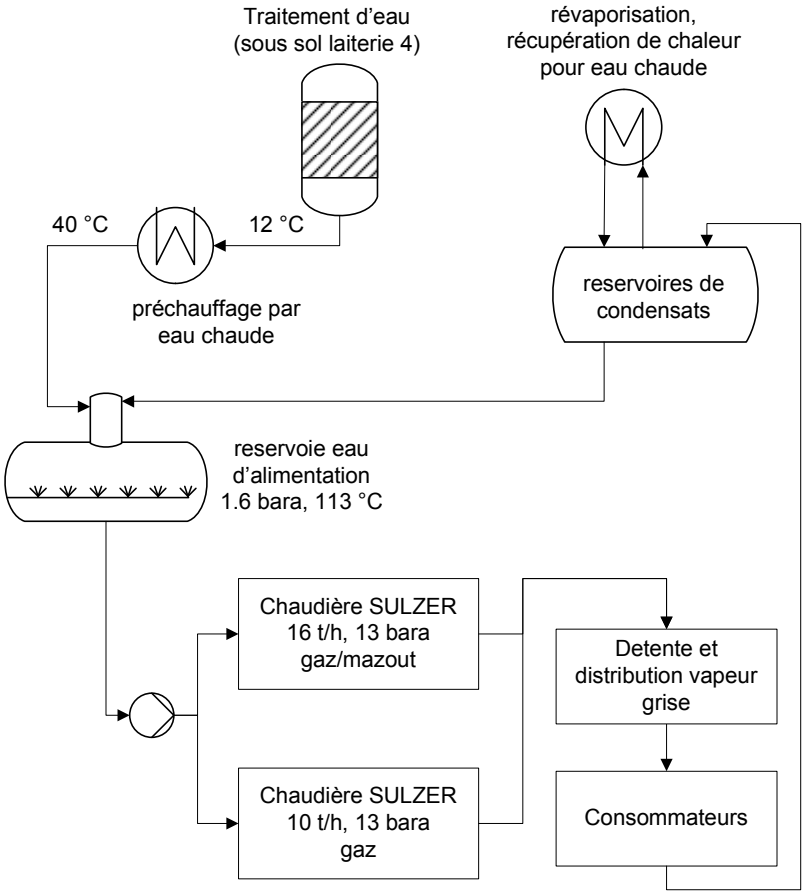
Analyse de la situation existante
Production de vapeur, chaufferie 1

- La chaufferie 1 produit la vapeur pour les consommateurs de vapeur directe, c.-à-d. il n'y a pas de retour des condensats
- Ainsi, la quantité de vapeur consommée doit être remplacée par de l'eau traitée (env. 65'300 m3/a)
- Le préchauffage de l'eau d'alimentation se fait par un système de récupération de chaleur, mais l'eau atteint une température de 40°C seulement (un maximum de 95°C serait la limité du coté du dégazage)
- La température des fumées après l'économiseur est environ 110°C. Pour les chaudières à gaz, des températures des fumées de 60°C ou plus basses sont possibles, ce qui augmente significativement le rendement. Selon le fournisseur, un tel système ne peut pas être réalisé en raison du manque de place dans le local (à vérifier par ELSA)
- Le préchauffage de l'air de combustion serait une mesure pour augmenter le rendement des chaudières. Des économies de l'ordre de grandeur de 400 MWh/a peuvent êtres réalisées. Il est à vérifier si la chute de pression additionnelle et l'emplacement permettent une telle solution.



Analyse de la situation existante
Production de vapeur, chaufferie 2

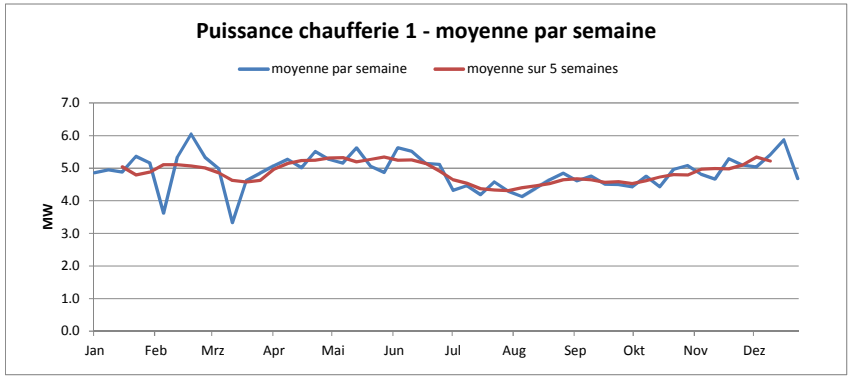
- La chaufferie 2 produit la vapeur pour les consommateurs de vapeur indirecte, c.-à-d. une grande partie des condensats retourne dans la chaufferie 2 (env. 65%)
- La quantité d'eau traitée est plus basse que pour la chaufferie 1 (env. 24'800 m3/a)
- Le préchauffage de l'eau d'alimentation est fait par le système d'eau chaude de la laiterie 3.
- La température des fumées après économiseur est environ 140 °C, mais il y a le même manque de place que pour la chaufferie 1. De même, il n'existe pas de préchauffage de l'air pour la chaufferie 2.

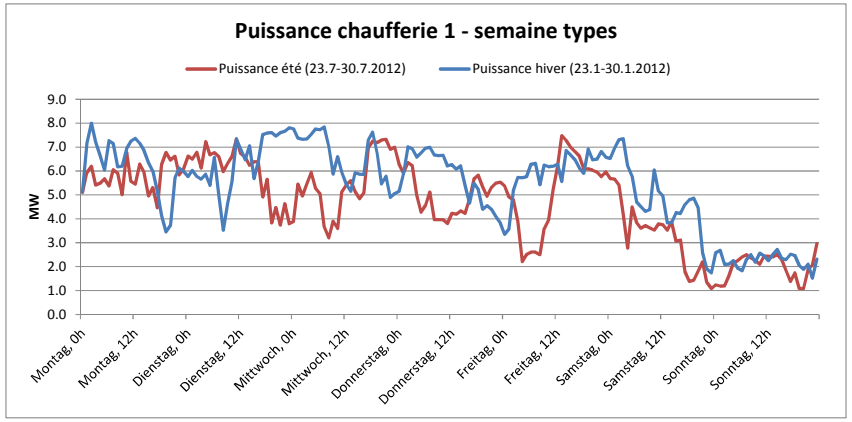


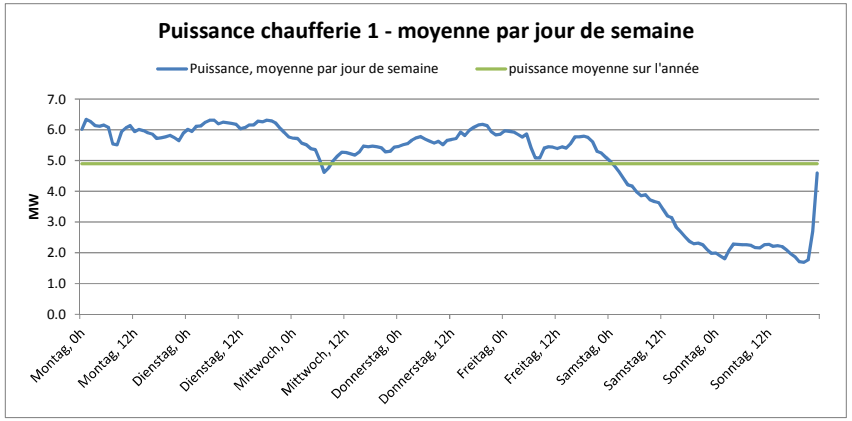
Analyse de la situation existante
Consommation de gaz, chaufferie 1

Analyse de la consommation de gaz

- Les courbes ci-contre ont été calculées à partir de la consommation de gaz mesurée en 2012.
- Le graphique du haut montre la moyenne hebdomadaire pendant une année. On constate qu'il n'y a pas de fluctuations significatives au cours de l'année
- Le graphique du milieu montre deux semaines types, en hiver et en été. La consommation pendant les jours ouvrables semble assez aléatoire. D'autre part il y a pour les deux cas un fort abaissement pendent le weekend.
- Le graphique du bas montre la consommation moyenne pour chaque jour la semaine. On voit que la puissance est (en moyenne) constante pendant les jours de travail, avec un fort abaissement pendant le weekend.





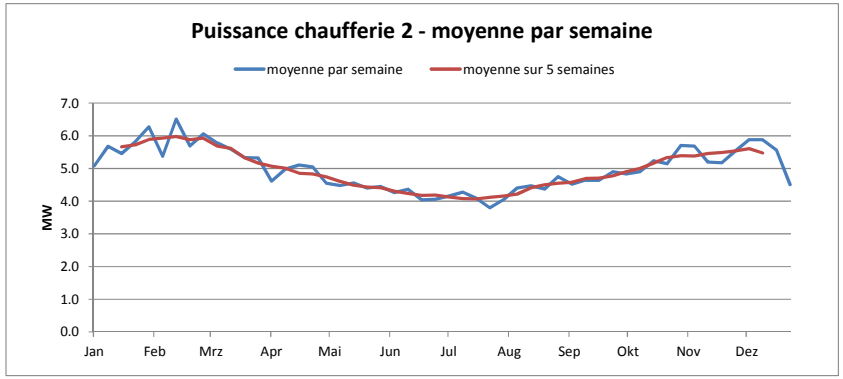


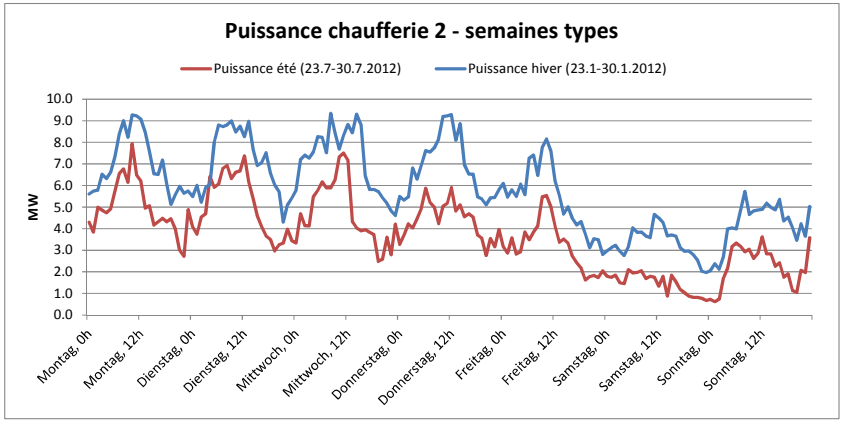
helbling energieschweiz ELSA

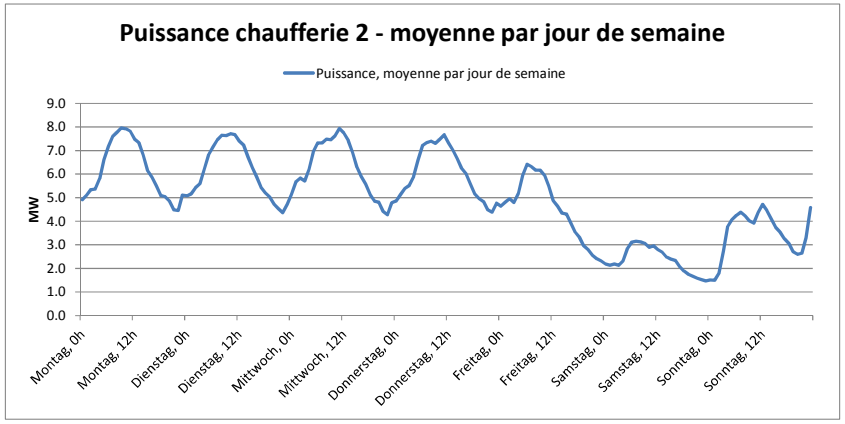
Analyse de la situation existante
Consommation de gaz, chaufferie 2

Analyse de la consommation de gaz

- Contrairement à la chaufferie 1, pour la consommation de gaz de la chaufferie 2 on constate une saisonnalité avec un abaissement pendant l'été (graphe en haut).
- La même saisonnalité est visible en comparant une semaine type en hiver avec une semaine type en été. En calculant la différence entre les 6 mois d'hiver et les 6 mois d'été, il en résulte une différence en puissance de 1.1 MW, soit une consommation supérieure de 4'800 MWh en hiver à celle en été.
- Après avoir cherché pour des possibles explications, on a constaté que une grande partie de cette saisonnalité doit être due à la consommation pour le chauffage du bâtiment (voir prochaine page).
- Le graphe en bas montre, pour la chaufferie 2, des fluctuations journalières qui sont dues à la production qui a lieu le jour. On constate aussi un fort abaissement pendant le weekend.







Analyse de la situation existante
Chauffage du bâtiment

- Le tableau ci-dessous montre les différents réseaux pour le chauffage du bâtiment avec les puissances installés correspondantes. Pour calculer approximativement l'énergie consommée pour le chauffage, il est estimé que le chauffage tourne à 2000 h/a à pleine charge (valeur standard pour dans le domaine de chauffage du bâtiment).
- Ainsi on arrive à une consommation de chaleur pour le chauffage d'environ 5'300 MWh/a, dont 3'500 MWh/a est produite avec de la vapeur. Cette valeur semble plausible, vue que l'analyse de la consommation de gaz pour la chaudière 2 a montré qu'il y a une différence d'environ 4'800 MWh entre l'hiver et l'été.
- Le refroidissement du bâtiment est reparti en 3 système principaux. L'eau glacée, qui sert normalement à la production, est très peu utilisée pour la climatisation, lorsque les deux autres systèmes (réseau eau glycolée et refroidissement MGH) sont principalement utilisés pour la climatisation. Les valeurs ainsi obtenues du coté de la consommation de froid diffèrent d'environ 10% de celles obtenues du côté production de froid (voir prochaine pages).

Chauffage des bâtiments

Réseau	Source de chaleur	Puissance installé	Dont vapeur
[-]	[-]	[kW]	[kW]
60/50°C	échangeur vapeur/eau	3%	3%
vapeur	vapeur	60%	60%
eau 35°	eau chaude ss L4	16%	0%
eau 50°	eau chaude ss L4	11%	0%
50°C/40°C	eau chaude ss L4	4%	0%
70/50°C	eau chaude MGH	2%	1%
50/30°C	révap/vap	4%	2%
total		**100%**	**66%**

Refroidissement des bâtiments

Réseau	Puissance installé
[-]	[kW]
eau glacée	4%
climatisation	53%
MGH	43%
autre	1%
total	**100%**

Analyse de la situation existante
Production de froid

- Les tables ci-dessous montrent les trois systèmes de production de froid et les prix par MWh du froid correspondant.
- En raison du manque des données (mesurées), les COP (et ainsi toutes les valeurs qui en découlent, p.ex. MWh/a de froid) ont été calculés à partir des températures d'évaporation et de condensation et un facteur de qualité estimé. Ces chiffres restent alors estimatifs.

Eau glacée

Compresseurs		
Production de froid	[MWh/a]	*
Chaleur évacuée	[MWh/a]	*
COP	-	*
Tour de refroidissment		
consommation d'eau	[m3/a]	*
consommation d'eau par MWh évacué	[m3/MWh]	*
Coûts		
Electricité compresseurs	[CHF/a]	*
Electricité tours de refroidissement	[CHF/a]	*
Eau tours de refroidissement	[CHF/a]	*
Prix total, MWh eau glacée	[CHF/MWh]	*
Prix MWh par tour de refroidissement	[CHF/MWh]	*

MGH

Compresseurs		
Production de froid	[MWh/a]	*
Chaleur évacuée	[MWh/a]	*
COP	-	*
Tour de refroidissement		
consommation d'eau	[m3/a]	*
consommation d'eau par MWh évacué	[m3/MWh]	*
Coûts		
Electricité compresseurs	[CHF/a]	*
Electricité tours de refroidissement	[CHF/a]	*
Eau tours de refroidissement	[CHF/a]	*
Prix total, MWh de froid	[CHF/MWh]	*
Prix MWh par tour de refroidissement	[CHF/MWh]	*

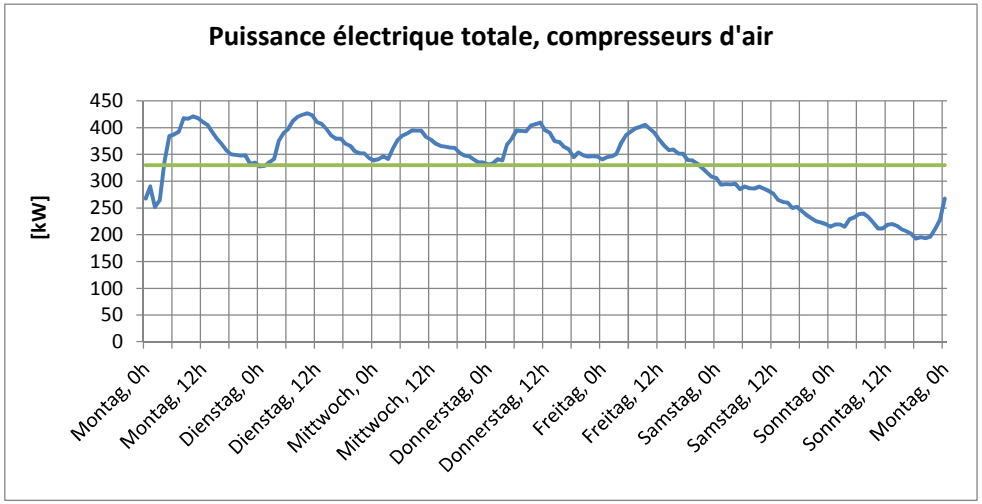
Climatisation

Compresseurs		
Production de froid	[MWh/a]	*
Chaleur évacuée	[MWh/a]	*
COP	-	*
Tour de refroidissement		
consommation d'eau	[m3/a]	*
consommation d'eau par MWh évacué	[m3/MWh]	*
Coûts		
Electricité compresseurs	[CHF/a]	*
Electricité tours de refroidissement	[CHF/a]	*
Eau tours de refroidissement	[CHF/a]	*
Prix total, MWh de froid	[CHF/MWh]	*
Prix MWh par tour de refroidissement	[CHF/MWh]	*

* Pour des raisons de confidentialité, les valeurs dans la publication ont été supprimés.

Analyse de la situation existante
Compresseurs d'air

- Il y a 5 compresseurs d'air, dont un normalement hors service (C1).
- Les compresseurs sont équipés d'un système de récupération de chaleur. Les chiffres ci-dessous montrent les températures mesurées par le système de gestion des compresseurs. Multiplié avec le débit d'eau on arrive à une récupération de chaleur depuis les compresseurs d'air de 1'900 MWh/a.
- Le graphique ci-contre montre la répartition de la charge électrique pendant la semaine. Il montre un profil similaire à celui de la consommation de gaz dans la chaufferie 2.
- Le rapport entre l'électricité consommée (2'872 MWh/a) et la chaleur récupérée est d'environ 65%, ce qui est dans la gamme de récupération possible (60-70%).

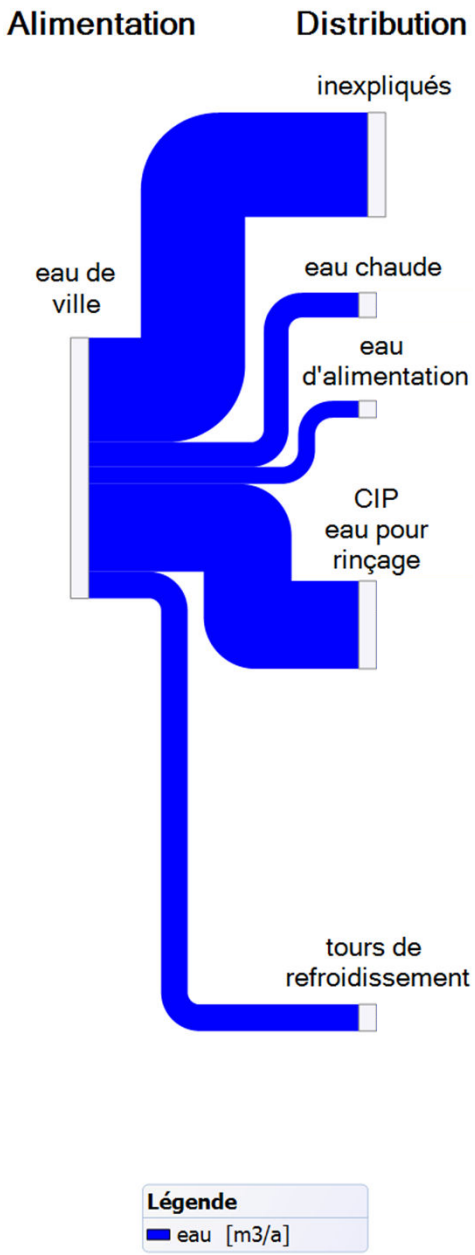


compresseur	Tin	Tout	m	Tin -> Tout	h/a	Réc. chaleur
	[°C]	[°C]	[l/min]	[kW]	[h]	[MWh]
C2 VSD250FF	36	68	53	118	6'463	761
C3 Champion 180	25	50	55	96	1'743	167
C4 Champion 180	25	50	55	96	1'792	172
C5 ZR250FF	29	80	53	188	4'138	776
						1'876

helbling energieschweiz ELSA

Analyse de la situation existante
Consommation d'eau

- Le graphe à droite montre la distribution de l'eau de ville vers les plus grands consommateurs (calcul bottom-up, focus sur les consommateurs qui sont énergétiquement relevant)
- Ainsi on arrive à expliquer seulement 60% de la consommation totale.
- Les plus gros consommateurs sont les suivants:
  - CIP (eau pour rinçage): 34%
  - eau chaude 10%
  - tours de refroidissement 10%
  - eau d'alimentation chaufferies: 6%
- Les inexpliqués suivants sont des candidats potentiels pour une analyse plus précise:
  - Refroidissement à eau des moteurs électriques
  - Eau pour dosage CIP



Analyse de la situation existante
Bilan énergétique: «top down» vs «bottom up»

Chaleur:

- Pour la vapeur on arrive à expliquer 73% de la consommation totale de gaz (chaufferie 1 et 2 ensemble) par les calculs bottom-up.
- Pour la chaufferie 2, le taux expliqué (84%) est suffisant, lorsque pour la chaufferie 1 il y a encore beaucoup d'inconnus (62% expliqué).
- Des possibles consommations inexpliqués sont:
  - Vapeur directe pour la stérilisation des tanks et tuyauteries
  - Réchauffage pendant les CIP
  - Démarrage et arrêt des installations

Eau glacée:

- Pour l'eau glacée on arrive à expliquer 72% de la consommation par les calculs bottom-up
- Des possibles consommations inexpliqués sont:
  - Démarrage et arrêt des installations
  - Refroidissement pendant/après CIP ou stérilisation

	chaufferie 1	chaufferie 2	eau glacé
	[MWh/a][1]	[MWh/a][1]	[MWh/a]
Alimentation	*	*	*
Pertes production et distribution	15%	15%	5%
Energie utile	*	*	*
Différence	*	*	*
% expliqué	62%	84%	72%
Consommation	**vapeur**	**vapeur**	**réfrigération**
Procédé prod.	*	*	*
Infrastructure	*	*	*
Total	*	*	*

remarques [1] en pouvoir calorifique inférieure (0.9 x PCs)

* Pour des raisons de confidentialité, les valeurs dans la publication ont été supprimés.

Analyse de la situation existante
Sankey Energie

Le Sankey* montre la consommation d'énergie des installations calculé par « bottom up » (volume de production x puissance)

Consommateurs de vapeur les plus importants

- UP 1-4: 19.8%
- Installations CIP: 8.9%
- Eau d'alimentation pour chaufferies: 8.3%
- Production yogourt (y.c. mélangerie 3) 6.2%
- Ventilation: 4.2%
- VB001 et VB002: 3.0%

Inexpliqués:

- Consommations qui ne sont pas directement une exigence du procédé (p.ex. pertes thermiques)
- Petites installations qui manquent (p.ex. production mayonnaise)

* Pour des raisons de confidentialité, ces informations ont été supprimés dans la publication.

Analyse du pincement
Approche

Les flux thermiques, montrés dans le Sankey sur la page précédente, sont dans la suite soumises à une analyse du pincement. Cette analyse se repart en deux étapes principales:

1) Site dans son ensemble

- Analyse de tous les flux thermiques du site
- Établissement et analyse des cas d'hiver et d'été
- Identification du pincement (bottle-neck) du système thermique

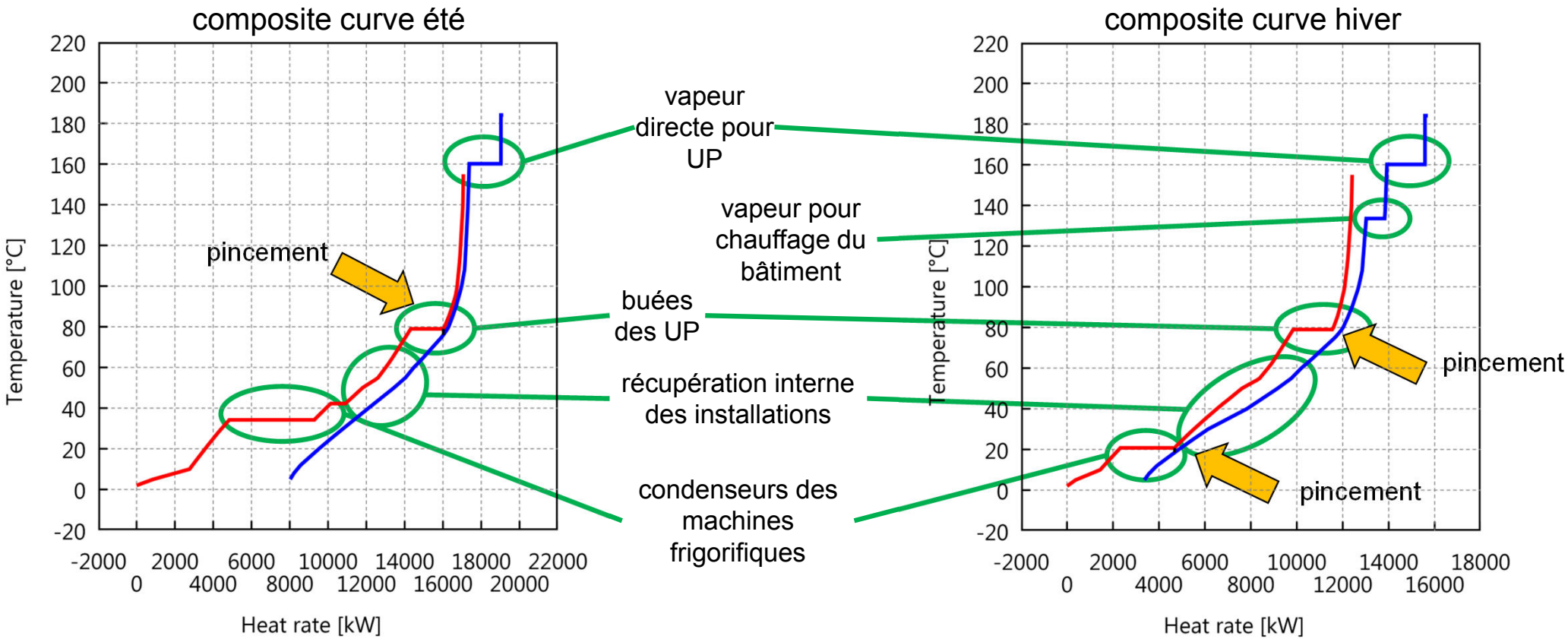
2) Residual composite curve (RCC)

- La courbe composite résiduelle représente les flux thermiques, qui ne font pas l'objet d'une récupération de chaleur interne aux installations. Le RCC représente alors les flux qui sont à disposition pour un échange de chaleur global (entre les différentes installations).
- Établissement et analyse des cas d'hiver et d'été
- Identification du pincement (bottle-neck) du système thermique
- Identification, de façon purement thermique, des approches pour améliorer la récupération de chaleur

Analyse du pincement
Site dans son ensemble (1/2)

Composite curves (time average model)

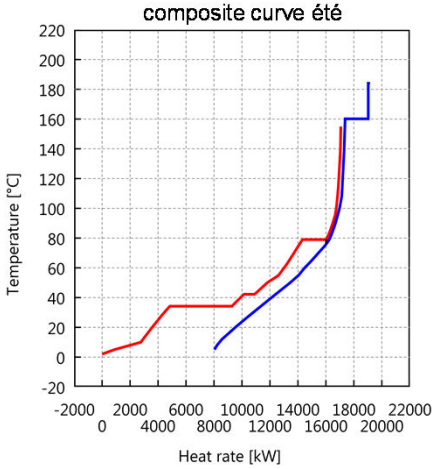
- Les courbes ci-dessous montrent la somme de tous les flux, moyenné sur les périodes d'été et d'hiver. Les puissances indiquées sont alors des puissances moyennes sur les deux périodes.
- Le cas d'été et d'hiver se diffèrent pour les températures de condensation et les puissances des machines frigorifiques et pour le chauffage du bâtiment. Les installations de production sont supposé d'avoir une production régulière sur l'année.

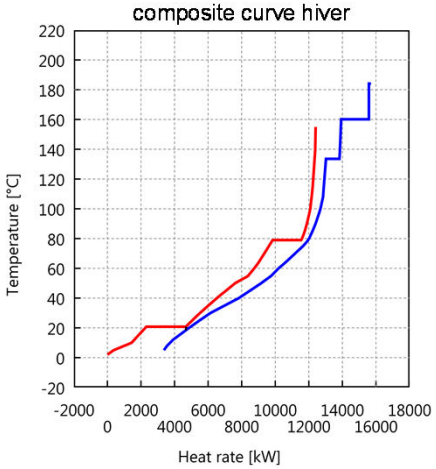


Analyse du pincement
Site dans son ensemble (2/2)

Analyse des composite curves

- Les courbes composites montrent deux pincements. Le premier est dû aux buées des UP (plateaux de condensation) à environ 80°C. Le deuxième pincement est causé par les condenseurs des machines frigorifiques, mais seulement pendant les mois d'hiver (température de condensation plus basse qu'en été).
- On peut en conclure que les buées des UP représentent l'élément clé pour une récupération de chaleur efficace. En fait il s'agit de minimiser la différence de température entre les buées et les consommateurs de la chaleur récupérée. Dans le système actuel, cette différence de température est d'environ 40°C (températures entre les buées des UP et l'eau chaude).
- Une grande partie de la puissance représentée dans les courbes est due aux échanges internes dans les installations (surtout les pasteurs, qui ont une récupération interne de 80-90%). Par la suite, on développera le système global de récupération de chaleur, c.-à-d. le transfère de chaleur (résiduelle) entre les installations. Pour mieux visualiser ceci, on enlève des courbes composites la récupération interne des installations, ce qui nous donne les « residual composite curve » (RCC).

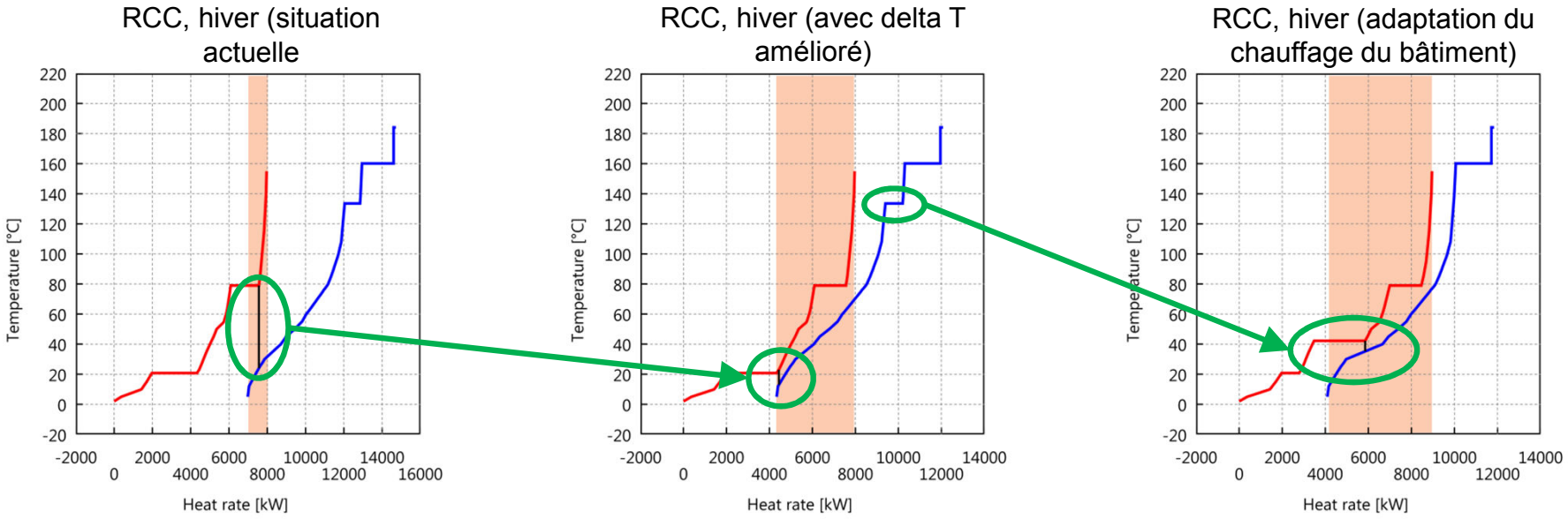




Analyse du pincement
Residual composite curve (1/2)

RCC, développement

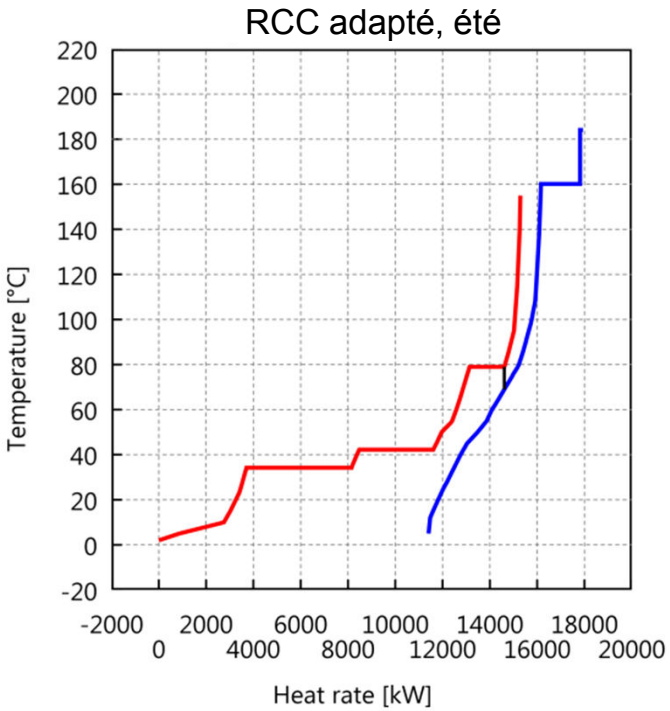
- La RCC montre les candidats pour un système de récupération de chaleur global, c.-à-d. les flux thermique qui ne font pas l'objet d'un échange de chaleur interne aux installations. On reconnaît les mêmes pincements que pour la courbe composite du site entier (condenseurs NH3 et buées des UP).
- Pour faciliter le raisonnement, seule la courbe d'hiver est analysée.
- La première courbe montre la situation actuelle.
- Selon le modèle il est possible d'agrandir la récupération considérablement. Ceci avec un delta T de 10°C, qui est nécessaire pour un stockage intermédiaire de la chaleur (5°C delta T par échangeur).
- Pour encore améliorer la récupération, il est, d'après le modèle, nécessaire de remplacer le chauffage à vapeur par un chauffage à eau (30/40°C) et en même temps augmenter la température de condensation des compresseurs NH3. Les courbes montrent toujours des puissances moyennes avec des échanges optimales (verticales). La récupération réalisable serait nettement plus basse.

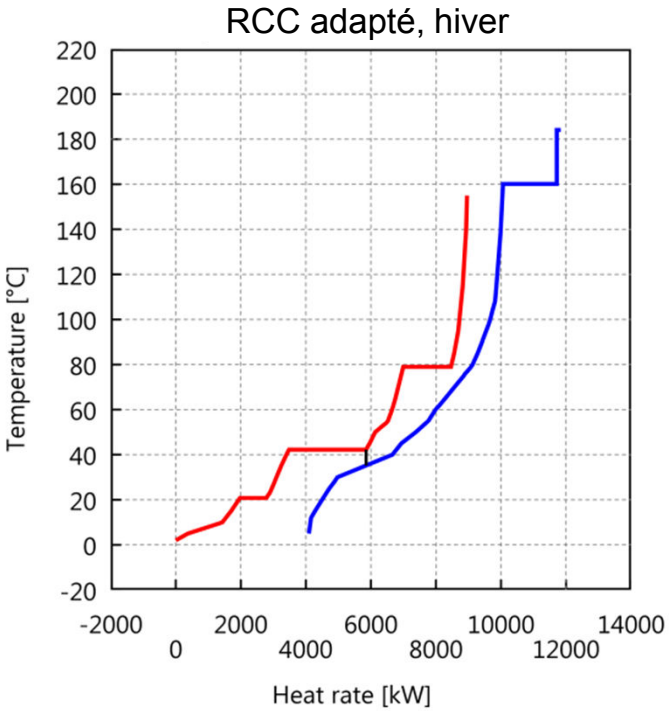


Analyse du pincement
Residual composite curve (2/2)

RCC, courbe adapté

- Les courbes ci-dessous montrent les RCC optimisées pour l'été et l'hiver.
- Parce que le modèle RCC se base sur des puissances moyennes, il s'agit maintenant de retourner depuis une solution modélisée vers un système réel. Pour développer les mesures, la courbe RCC représente l'optimum à approcher, lorsque d'autres influences comme la simultanéité entres les procédés et d'autres contraintes vont dégrader l'optimalité de la solution réelle.





Elaboration de mesures
Approche

Pour le développement des mesures, les étapes suivantes ont été mises en œuvre selon le modèle des anneaux.

1) Analyse des exigences des procédés

- Analyse des paramètres (températures, pression, débit) ayant une influence sur la consommation d'énergie.
- Elaboration de mesures pour diminuer la consommation d'énergie

2) Récupération interne

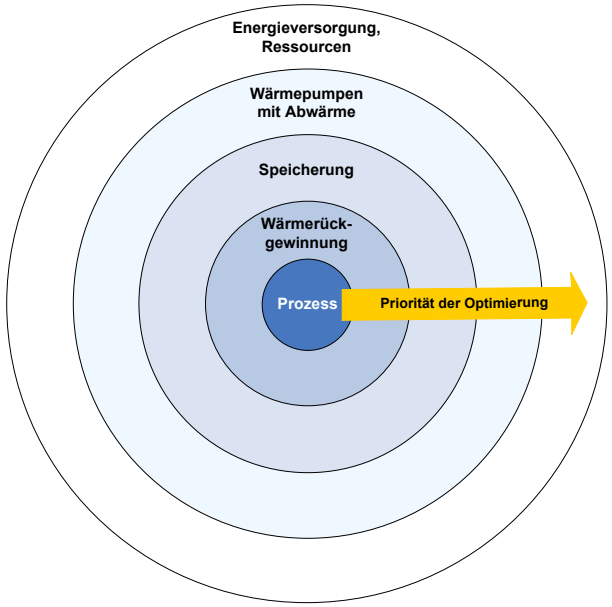
- Analyse du taux de récupération des installations
- Elaboration de mesures pour la récupération interne
- Calcul des coûts d'investissement et des économies

3) Récupération globale

- Définition des températures de stockage
- Attribution des sources et consommateurs aux niveaux correspondants
- Modélisation temporelle des sources et consommateurs, définition du volume de stockage
- Calcul des coûts d'investissement et des économies

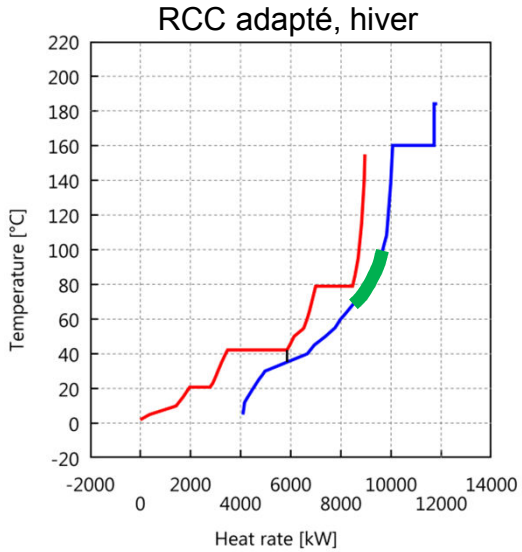
4) Approvisionnement de chaleur

- Définition des possibles consommateurs
- Définition de la température de stockage
- Modélisation temporelle des sources et consommateurs
- Calcul des coûts d'investissement et des économies



Elaboration de mesures
Analyse des exigences du procédé

- Dans l'industrie laitière, les exigences du procédé sont très clairement défini. Les paramètres énergétiques (température, pression, débit) ont une grande influence sur la qualité du produit et sur la hygiène. Dans ce contexte, l'accent de l' étude a été mis d'avantage sur la récupération de chaleur (interne et globale) que sur des modifications du procédé. Néanmoins, les exigences du procédé ont été remises en question pendant l'acquisition des données et l'analyse du pincement a relevé un potentiel qui pourrait être ouvert par un changement du procédé.
- Il s'agit en fait d'une adaptation du procédé UP. La problématique aujourd'hui c'est, que la chaleur requise par le procédé d'upérisation directe doit être fourni à 160°C. La même chaleur est immédiatement dégradé à 80°C par la chute de pression dans la vase d'expansion. La chute de pression est incontournable dans l'upérisation directe, car avec ce mécanisme on enlève la vapeur injecté précédemment.
- L'analyse du pincement a relevé, qu'une adaptation de l'expansion à deux niveaux offre un potentiel de récupération considérable. L'expansion se ferait ainsi dans un premier pas de 155°C à 100°C et dans un deuxième pas à 80°C. Ainsi il y aura seulement 30% des buées à 80°C (Température actuelle) et 70% des buées à 100°C. Ceci offre un potentiel de récupération additionnel jusqu'à 7% de l'énergie thermique requise, parce que la condensation des buées des UP représente le pincement dans ce système. Les consommateurs potentiels sont les mêmes que ceux pouvant être alimentés par un couplage chaleur force (voir chapitre correspondant).
- Une telle adaptation du procédé nécessite un examen approfondie des influences sur la qualité du produit. Ceci représente un projet à longue terme et il est recommandé de mettre en ouvre d'abord les mesures de récupération décrit dans le suivant.
- Autres exigences à vérifier:
  - Température de sortie du lait UHT: Est-ce qu'il est nécessaire de refroidir le lait avant le remplissage? Le lait est stocké en suite à température ambiante.
  - Vérifier les températures de consigne de la ventilation. Par exemple température de consigne dans le local de stockage du lait UHT.



Elaboration de mesures
Récupération interne aux installations

Explications

- Les candidats potentiels pour une amélioration de la récupération interne sont les installations ayant en même temps une exigence de chauffage et de refroidissement.
- Les avantages d'une récupération interne sont les suivants:
  - Simultanéité entre les flux froids et chauds
  - Les coûts d'investissement bas, parce que souvent il suffit d'agrandir la surface d'un échangeur existant
  - Pas de tuyauteries d'une installation à l'autre, pas de tanks de stockage
- La liste* « récupération interne » montre les potentiels de récupération interne pour les installations considérés dans l'analyse du pincement. Ils ont été catégorisés en trois priorités selon le la rentabilité et la faisabilité.
- En plus il est indiqué si l'optimisation d'une installation dépend de l'implémentation du système de récupération globale. Ceci est le cas, si l'agrandissement de la surface d'échangeur ne réduit pas la *quantité* de chaleur requise, mais abaisse le *niveau* auquel la chaleur est requise. On a dans ce cas la possibilité de chauffer avec de l'eau chaude du système de récupération globale à la place de vapeur (p.ex. QP401).

Optimisation des pasteurs

Installation	ΔTin T existant	Potentiel sup. [MWh/a]	Potentiel ER [MWh/a]	Nature [CHF/a]	Investissement [CHF]	Description	Nature	Priorisation	Dépendance réseau global
VKB91	10°C/5°C	640		30'000	70'000	Le réchauffeur sur les VKB a un delta T de 10°C sur le côté chaud, et 5°C sur le côté froide. Cette différence est assez haut, qu'on ne cherche la raison de 10°C, ce flux de l'ab existe mais alors plus grand que le flux de sur service.	Installations d'un échangeur additionnel, qui récupère la chaleur de la zéro avant que celle-ci entre dans le réchauffeur (RE). Le flux froid est entrant en coupant sur du flux, ainsi que les deux flux arrivent à une T de 5°C. Le flux froid est sortant du réchauffeur à 10°C, ainsi qu'il est nécessaire de réduire le delta T du côté chaud de 10 à 5°C. Il faudra ainsi que le débit pourrait de la vapeur consommée. En additions, il peut être évalué si un abaissement du delta T de 5 à 3°C est possible, ce qui générait des économies additionnelles (pas considérés ici).	1	non
RK1	5°C		440	20'000		Le réseau est refroidi (séparément), ce qui rendre impossible de chauffer	Abaissement et fait par réduction de consommation d'eau glacée	1	non
VKB91	10°C/5°C	640		30'000	70'000	Achter qui VKB91		1	oui
RK2	10°C		450	20'000		Achter qui RK1		1	non
VKB92	5°C					Le VKB92 n'est pas équipé d'une électrolyse.	Pour améliorer la récupération de chaleur, il faut agrandir la surface de l'échangeur (delta T de 5 à 3°C ex.). Lorsque cette installation n'est pas utilisé, une bi-vanne crée des petites stasnations. Néanmoins, une tel vanne est peut être économique, de la température qui est pas haute.	2	non
QP3	12°C	450	410	30'000	60'000	Le delta T entre 5 et 7°C entrant et 5°C left après réchauffeur est élevé (environ 10°C). Ce reste de refroidissement est fait après l'évaporateur. Le grand écart de T est entre autre dû à l'échange par le circuit d'eau intermédiaire	Installer un échangeur à côté de celui-ci. Tous du. Ainsi le flux froid entrant à 5°C est après réchauffeur. Ainsi on peut générer des économies d'eau glacé et de vapeur. Cependant d'un échangeur additionnel peut être difficile, car cette installation reste compacte.	2	non
PA1001	10°C	140	100	10'000	27'000	Le pasteur M Gascoinette (Doucy) une réchauffeur trop petit (récupération à satisfait). On arrive à une température de 50°C, seulement, lorsque la température de consigne est de 100°C.	Agrandissement de la surface de réchauffeur pour diminuer la consommation d'eau glacé et de vapeur.	2	non
QP303	8°C	320	310	30'000	30'000	Un pasteur pour la production yogourt PP303 a une température après réchauffeur de chaleur de 30°C pour le refroidissage. Après le refroidissement, le produit est stocké à 5°C. Ensuite, il est à 30°C (seulement thermique). Ont a 8x2 pas réchauffeur de chaleur, ce problème est, que pour la production de yogourt brute, le produit est à 30°C, donc si le réchauffeur est trop grande, il faut réchauffer le produit surtout (crème) et aussi fait aujourd'hui. Par contre pour la production de yogourt brasé, le produit est refroidi jusqu'à 5°C.	Agrandissement de la surface de réchauffeur pour diminuer la consommation d'eau glacé et de vapeur. Il faut vérifier que l'agrandissement des différence de températures n'a pas d'influence sur la qualité du produit (température d'homogénéisation). Pour reproduction de yogourt brasé il y a ajouté une économie d'eau glacée, car il faut refroidir à 5°C.	2	non
QP 303		100	50	20'000	50'000	Achter qui QP 303		2	oui
Thermostat (yog. drink)	8°C	320	310	30'000	30'000	Un pasteur pour la production yogourt PP303 a une température après réchauffeur de chaleur de 30°C pour le refroidissage. Après le refroidissement, le produit est stocké à 5°C. Ensuite, il est à 30°C (seulement thermique). Ont a 8x2 pas réchauffeur de chaleur, ce problème est, que pour la production de yogourt brute, le produit est à 30°C, donc si le réchauffeur est trop grande, il faut réchauffer le produit surtout (crème) et aussi fait aujourd'hui. Par contre pour la production de yogourt brasé, le produit est refroidi jusqu'à 5°C.	Pour améliorer la récupération de chaleur, il faut agrandir la surface de l'échangeur. Lorsque cette installation n'est pas utilisé, une bi-vanne crée des petites stasnations. Néanmoins, une tel vanne peut être économique, car les température qui est pas haute.	2	non
QP401	10°C	150		6'000	20'000	Les produits des QP seront avec une température plus élevé que la température d'ébullition.	Agrandissement la surface de vaporisation, ainsi rendre le besoin en chaleur d'un niveau haut (150°C, vapeur) vers un niveau plus bas (80°C). Ce dernier peut être fourni par des* eau chaude. Cé économie un produit seulement, ici sous le niveau bas le vapeur est remplacé par de l'eau chaude du système de récupération global.	1	oui
QP401	10°C	150		6'000	20'000	Achter qui QP401		1	oui
Kühlgut Pasteur 300/5	7					Les température de après réchauffeur n'a pas pu être évaluer.	Abaissement et amélioration après réchauffeur et donc le potentiel de récupération additionnel.	3	non
Thermostatver (Kuler) 7	17°C					Les produits sortent avec une température plus élevé que la température d'ébullition. La température de vaporisation n'a pas pu être déterminé avec certitude.	Agrandissement la surface de vaporisation, ainsi rendre le besoin en chaleur d'un niveau haut (20°C) vers un niveau plus bas (17°C). A peut de modifier la récupération, il serait raisonnable pour le thermostatver du chaleur 7 de remplacer le vapeur par de l'eau chaude du système de récupération global.		
PG401	10°C	30	30	1'000	10'000	Petite installation avec peu de consommation d'énergie. Ils plus ils y a une grande gamme de produits avec des exigences de température très différentes.	Agrandissement de la vaporisation intérieur en service pas économique pour cette installation.	3	
KL-BT1_1	12°C	60		3'000	10'000	Installation compacte, avec une grande gamme de produits avec des exigences de température très différentes.	Agrandissement de la vaporisation intérieur en service pas économique pour cette installation. Peut diminuer la consommation de vapeur de cette installation, il serait judicieux de remplacer le vapeur nécessaire pour le réchauffage par de l'eau chaude du système de récupération globale.	3	
QP 1	17		175	8'000	50'000	Je tat suivant après évaporation de chaleur est refroidi avec de l'eau glacée.	Installer un échangeur additionnel pour agrandir la récupération de chaleur et ainsi diminuer le besoin en eau glacée. Ainsi, diminuer les exigences en refroidissement. Pourquoi? Il est nécessaire de refroidir de tat, sur qu'il est traité à la température ambiante*	3	non
QP 2	10		210	10'000	30'000	Achter qui QP1		3	non
QP 3	10		440	30'000	40'000	Achter qui QP1		2	non
QP 4	10		330	20'000	40'000	Achter qui QP1		2	non

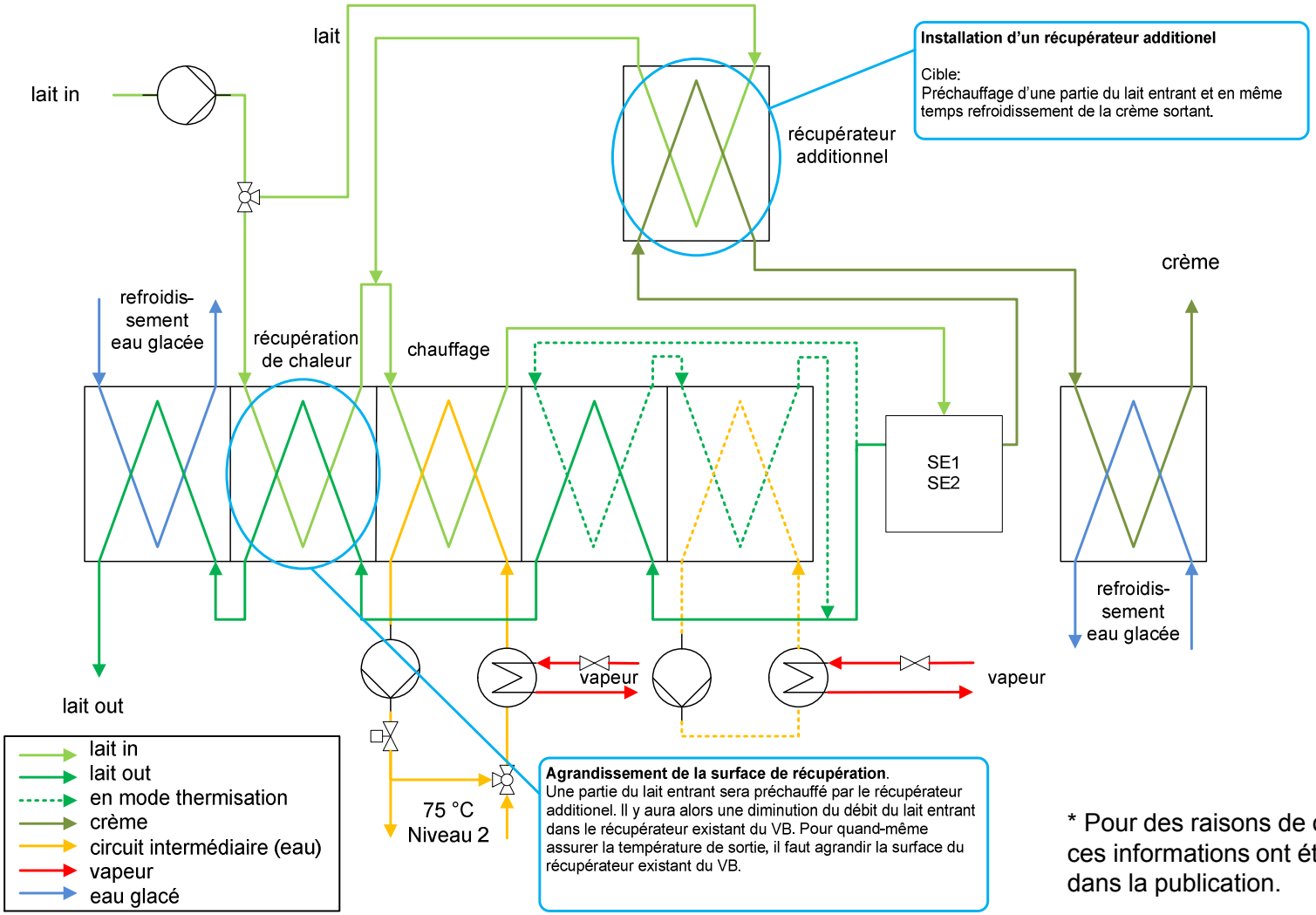
Priorité	Payback [a]	Potentiel sup. [MWh/a]	Potentiel ER [MWh/a]	Nature [CHF/a]	Investissement [CHF]	Commentaire
Priorité 1	1.5	1'767	1'260	150'000	280'000	Mesures économiques, l'analyse doit encore être grande potentiel
Priorité 2	1.4	1'150	1'610	140'000	320'000	Mesures économiques, l'analyse doit encore être grande potentiel
Priorité 3	0.5	70	410	22'000	100'000	Mesures non rentables, l'analyse doit non donné

Tableau de mesures de récupération interne

* Pour des raisons de confidentialité, ces informations ont été supprimés dans la publication.

Elaboration de mesures
Récupération interne aux installations

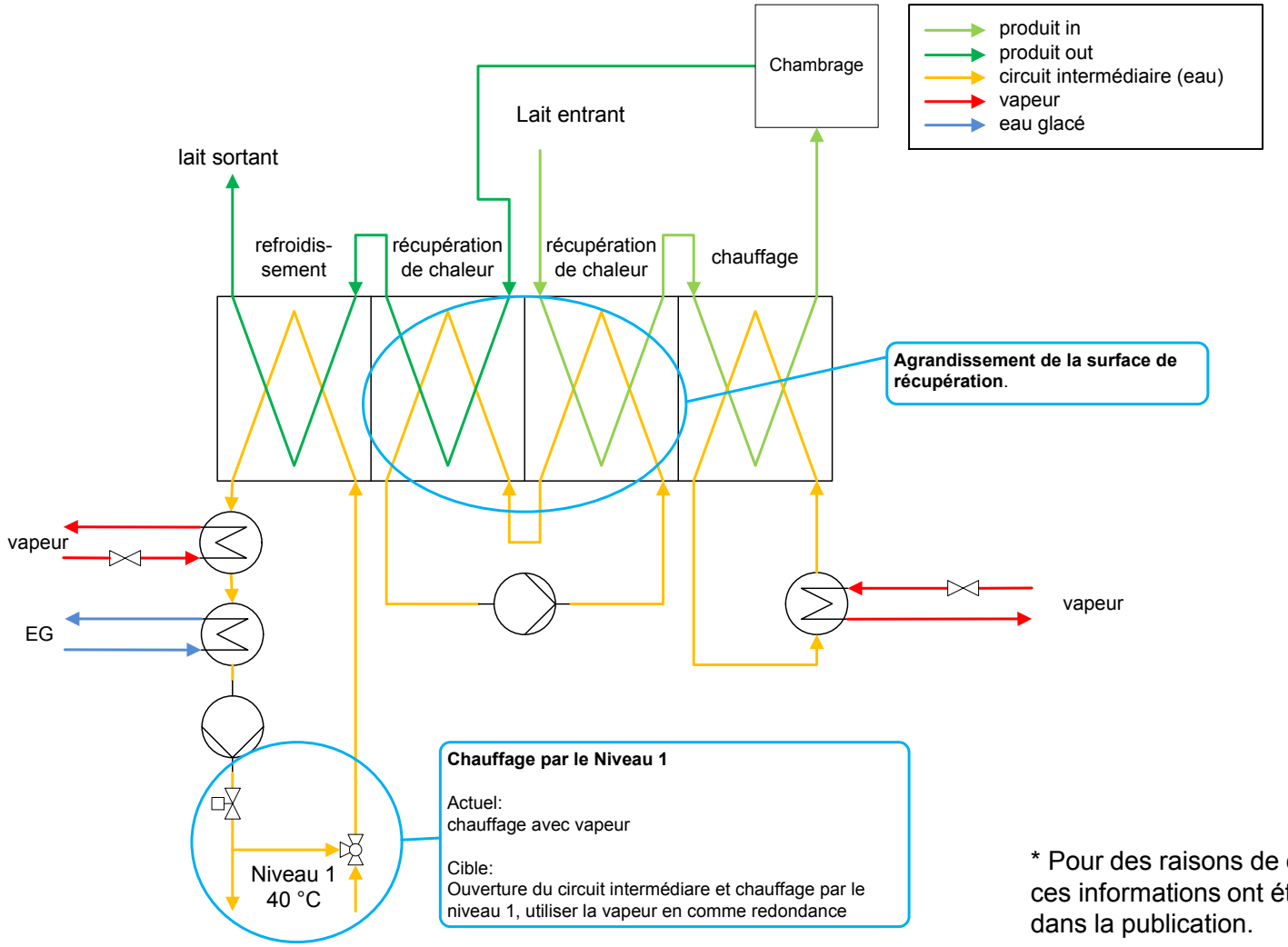
Le schéma ci-dessous montre à titre exemplaire la mesure pour l'optimisation des VB (écrémage). Les explications correspondantes se trouvent dans la liste* « récupération interne ».



* Pour des raisons de confidentialité, ces informations ont été supprimés dans la publication.

Elaboration de mesures
Récupération interne aux installations

Le schéma ci-dessous montre à titre exemplaire de la QP002 une mesure qui engendre un abaissement du niveau de température auquel la chaleur est requise. Les explications correspondantes se trouvent dans la liste* « récupération interne».



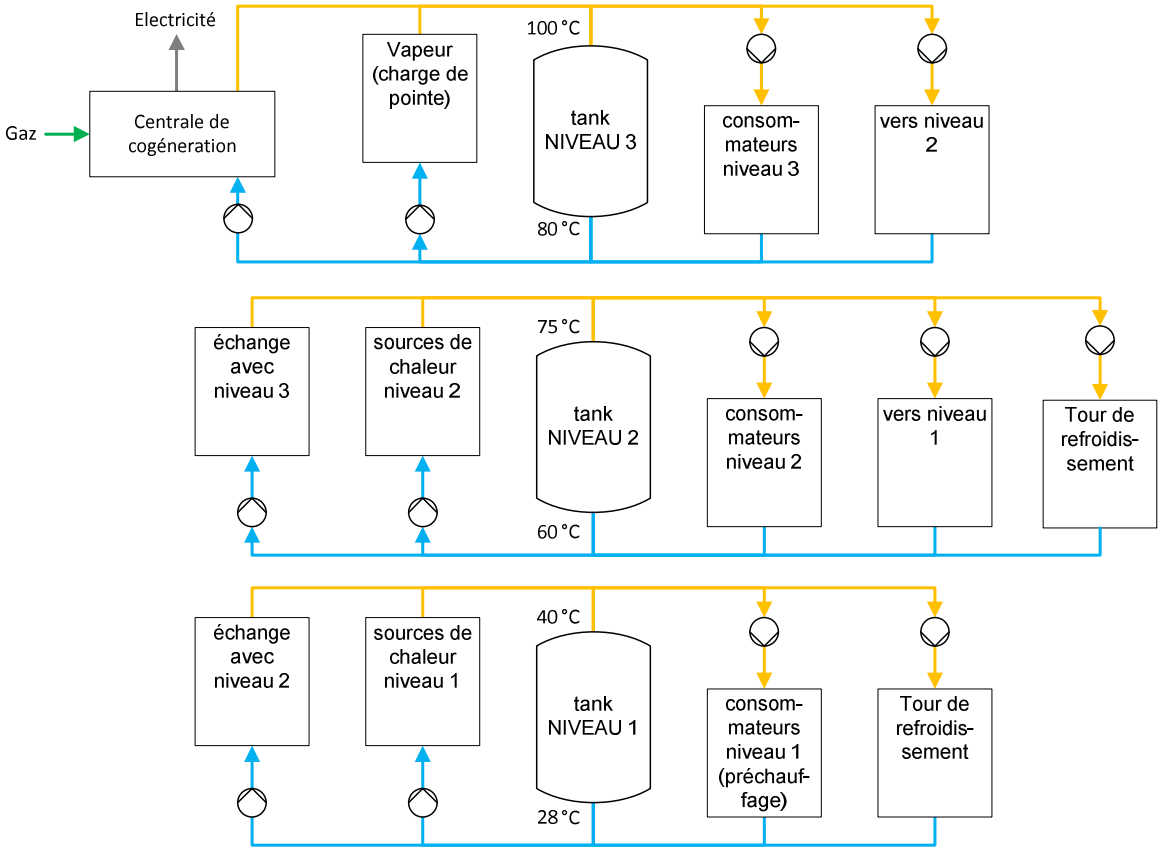
* Pour des raisons de confidentialité, ces informations ont été supprimés dans la publication.

Elaboration de mesures
Système de récupération global

Définition des niveaux de température pour stockage d'énergie

- Les courbes composites élaborés précédemment montrent toujours une moyenne de puissances, c.-à-d. ils supposent une simultanéité des procédés. Pour s'approcher de ce modèle, il sera nécessaire d'installer une stockage de chaleur, ce qui suppose des tanks d'eau chaude. Pour le réseau de récupération de chaleur, il serait nécessaire d'installer deux niveaux de température, pour couvrir les exigences jusqu'à une température de 65°C (Niveau 1 et 2).
- En plus il existe la possibilité d'y ajouter un troisième niveau, qui est alimenté par un couplage chaleur force et qui sert à couvrir les exigences en haut de 65°C jusqu'à 95°C.

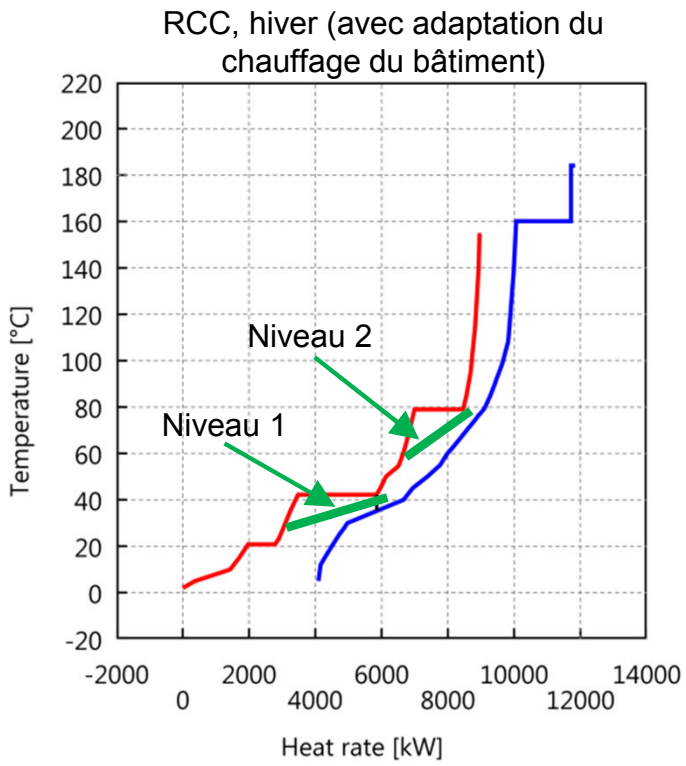
- Niveau 3: 80/100°C (50 m3)
  - Ce niveau serait alimenté soit par un couplage chaleur force, soit par une adaptation du procédé UP avec une expansion intermédiaire à 100°C.
- Niveau 2: 60/75°C (100 m3)
  - 60°C: température peut être assurée par les consommateurs correspondants
  - 75°C: température maximale de récupération depuis les buées des UP3.
- Niveau 1: 28/40°C (100 m3)
  - 28°C: possibilité de refroidir avec une tour de refroidissement;
  - Si possible: refroidissement de ce réseau avec l'eau pour le rinçage des CIP; ainsi abaissement de la température du Niveau 2 jusqu'à 15°C
  - 40°C: récupération de chaleur des condenseurs NH3



Elaboration de mesures
Système de récupération global

Température pour stockage d'énergie – comparaison avec la courbe composite

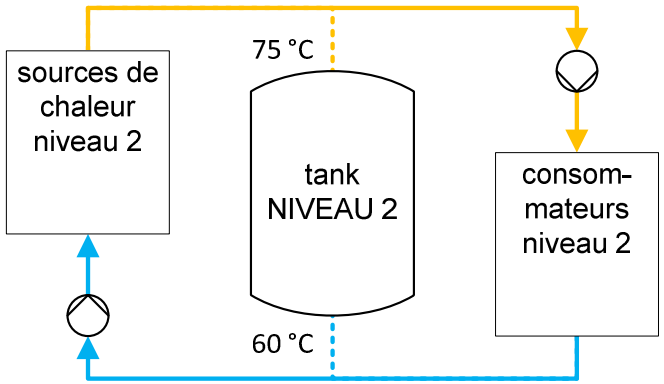
- Le graphe ci-contre montre la courbe composite résiduelle (RCC) avec les deux niveaux de récupération de chaleur (Niveau 1: 28/40°C, Niveau 2: 60/75°C).
- Ca courbe montre la puissance moyenne des flux pour la période d'hiver.
- On voit que les températures des deux niveaux ne sont, d'un point de vue purement théorique, pas optimales. Il y aura dans le système de récupération proposé des échanges non-verticaux, ce qui est inévitable dans une solution pratique. Ceci est dû au raisons suivantes:
  - Réutilisation d'équipement existant
  - Dans la solution élaboré, la simultanéité de production a été considéré, ce qui n'est pas le cas dans la courbe RCC qui représente une moyenne.
  - Les sources et puits travaillent en parallèle, c.-à-d. chacun doit assurer la température cible du niveaux correspondant (p.ex. chauffage à 40°C seulement possible avec une source qui est supérieure à 40°C).
  - Localisation et emplacement des installations et de la tuyauterie.



Elaboration de mesures
Système de récupération global

Fonctionnement du réseau global de récupération

- Le système de récupération (Niveau 1 et 2) est constitué pour chaque niveau d'un tank de stockage et d'une conduite d'aller et de retour. Dans les conduites principales il n'y a pas de pompes, au lieu de cela la circulation et assurée par les pompes des consommateurs et des sources.
- Si les débits des consommateurs et des sources sont en équilibre, l'eau ne retourne pas dans les tanks, mais subit une recirculation de la source vers le consommateur. La partie du débit hors équilibre est transférée vers le tank.
- Ce système ne peut pas toujours assurer les températures de consigne. Pour les consommateurs qui ont des exigences précises (p.ex. les installations de production), il faut une redondance pour le chauffage ou le refroidissement. Ceci a été pris en compte lors du dimensionnement des mesures (voir page suivante).
- Les grandes sources de chaleur sont les buées des UP, qui seront récupérées au niveau 2. Au cas ou il y a trop de chaleur au niveau 2, la chaleur est dans un premier temps transférée vers le niveau 1. Si le niveau 1 est plein, la chaleur est évacuée par les tours de refroidissement du niveau 2 (pour ne pas dégrader la température avant d'entrer dans les tours de refroidissement). Pour le refroidissement du niveau 2, on utilise les mêmes tours qu'actuellement.
- Le même se passe au niveau 1. Dans ce niveau il n'y a pas de source de chaleur prépondérante. La récupération se fait sur plusieurs sources et consommateurs (voir page suivantes).
- Le système proposé offre l'avantage, que en future il sera possible de brancher des consommateurs et sources additionnelles. En cas d'achat de nouvelles installations, il est possible de les adapter pendant le design au réseau de récupération.
- Les tableaux sur les pages suivants montrent les sources et consommateurs sur les différentes niveaux. Les prix d'investissement correspondent à l'équipement local (c.à.d.. sans tank de stockage et réseau de distribution).



Elaboration de mesures
Système de récupération global

Niveau 1, sources et consommateurs

- Le tableau ci-dessous montre les sources et consommateurs pour le niveau 1 (28/40°C)

	n°	Puissance	Chauffage	Refroid.	Prio.	C/S[1]	redondance
		[kW]	[MWh/a]	[MWh/a]	[-]	[-]	[-]
Eau d'alimentation chaufferie 1	1-N1	334	1'769	-	A	c	vapeur dans bac d'alimentation (existant)
Eau d'alimentation chaufferie 2	2-N1	112	661	-	B	c	vapeur dans bac d'alimentation (existant)
Eau chaude L3	5-N1	320	1'769	-	A	c	vapeur(existant)
VW404 remplacement vapeur	6-N1	650	1'674	-	A	c	vapeur(existant)
VW401 remplacement vapeur	8-N1	650	709	-	B	c	vapeur(existant)
Eau chaude L4	9-N1	200	1'042	-	A	c	vapeur(existant)
chauffage du batiment / ventilation	14-N1	1'659	3'300	-	A	c	vapeur / récupération des machines frigorifiques
UP3 récupération des buées (condensats)	22-N1	161	-	-	B	s	tour de refroidissement (existant)
UP4 récupération des buées (condensats)	23-N1	130	-	-	B	s	tour de refroidissement (existant)
UP2 récupération des buées (condensats)	24-N1	161	-	-	B	s	tour de refroidissement (existant)
NH3 EG: récupération désurchauffage	25-N1	400	-	-	C	s	tour de refroidissement (existant)
UP1 récupération des buées (condensats)	26-N1	161	-	-	B	s	tour de refroidissement (existant)
NH3 clima: récupération désurchauffage	28-N1	150	-	-	C	s	tour de refroidissement (existant)
Récupération compresseur C5 ZR250FF	29-N1	115	-	-	B	s	refroidissement par eau pour les CIP (existant)
Récupération compresseur C2 VSD250FF	30-N1	115	-	-	B	s	refroidissement par eau pour les CIP (existant)
KU404, (mélangerie 3) remplacement partielle de l'eau glacée	31-N1	370	-	948	B	s	eau glacée (existant)
MI401, (mélangerie 1) remplacement partielle de l'eau glacée	32-N1	347	-	378	B	s	eau glacée (existant)
MI402, (mélangerie 2) remplacement partielle de l'eau glacée	33-N1	347	-	378	B	s	eau glacée (existant)
Récupération chaleur compresseurs C3	34-N1	192	-	-	C	s	refroidissement par eau pour les CIP (existant)
Récupération chaleur compresseurs C4	35-N1	192	-	-	C	s	refroidissement par eau pour les CIP (existant)
Récupération de chaleur production eau glacée, condensation NH3	36-N1	1'000	-	-	A	s	condensation par les tours de refr. (existant)

Estimations des coûts : +/ - 25% basé sur des offres et des valeurs empiriques, exkl. TVA

[1] consommateur/source

helbling energieschweiz ELSA

Elaboration de mesures
Système de récupération global

Niveau 2, sources et consommateurs

- Le tableau ci-dessous montre les sources et consommateurs pour le niveau 2 (60/75°C)

	n°	Puissance	Chauffage	Refroid.	Prio.	C/S[1]	redondance
		[kW]	[MWh/a]	[MWh/a]	[-]	[-]	[-]
Eau d'alimentation chaufferie 1	1-N2	552	2'923	-	A	c	vapeur dans bac d'alimentation (existant)
Eau d'alimentation chaufferie 2	2-N2	185	1'092	-	B	c	vapeur dans bac d'alimentation (existant)
VB001 remplacement vapeur	3-N2	163	642	-	B	c	vapeur(existant)
VB002 remplacement vapeur	4-N2	163	642	-	B	c	vapeur(existant)
Eau chaude L3	5-N2	209	1'154	-	A	c	vapeur(existant)
VW404 remplacement vapeur	6N-2	325	837	-	A	c	vapeur(existant)
thermisateur chalet 7, remplacement vapeur	7-N2	293	1'208	-	A	c	vapeur(existant)
VW401 remplacement vapeur	8-N2	650	709	-	B	c	vapeur(existant)
Eau chaude L4	9-N2	131	679	-	A	c	vapeur(existant)
YP303, YP404 réchauffage yog. brassé	10-N2	455	661	-	B	c	vapeur(existant)
VB003 remplacement vapeur	11-N2	325	362	-	B	c	vapeur(existant)
CF 1-3 remplacement vapeur	12-N2	650	338	-	C	c	vapeur(existant)
Vorwärmer (yog. ferme réchauffage), remplacement vapeur	13-N2	208	315	-	C	c	vapeur(existant)
CIP Camions , remplacement vapeur	15-N2	1'393	2'369	-	A	c	vapeur(existant)
CIP 2, remplacement vapeur	17-N2	1'393	521	-	A	c	vapeur(existant)
CIP 3, remplacement vapeur	18-N2	697	847	-	B	c	vapeur(existant)
UP3 récupération des buées	22-N2	2'500	-	-	A	s	tour de refroidissement (existant) / vers niveau 1
UP4 récupération des buées	23-N2	2'000	-	-	A	s	tour de refroidissement (existant) / vers niveau 1
UP2 récupération des buées	24-N2	1'000	-	-	B	s	tour de refroidissement (existant) / vers niveau 1
NH3 EG: récupération désurchauffage	25-N2	400	-	-	C	s	tour de refroidissement (existant)
UP1 récupération des buées	26-N2	1'000	-	-	B	s	tour de refroidissement (existant) / vers niveau 1
NH3 clim: récupération désurchauffage	28-N2	150	-	-	C	s	tour de refroidissement (existant)
Récupération compresseur C5 ZR250FF	29-N2	75	-	-	B	s	refroidissement par eau pour les CIP (existant)
Récupération compresseur C2 VSD250FF	30-N2	75	-	-	B	s	refroidissement par eau pour les CIP (existant)

Estimations des coûts : +/ - 25% basé sur des offres et des valeurs empiriques, exkl. TVA

[1] consommateur/source

helbling energieschweiz ELSA

Elaboration de mesures
Système de récupération global

Niveau 3, consommateurs

- Le tableau ci-dessous montre les consommateurs potentiels pour le niveau 3 (80/100°C)

	n°	Puissance	Chauffage	Refroid.	Prio.	C/S[1]	redondance
		[kW]	[MWh/a]	[MWh/a]	[-]	[-]	[-]
Eau d'alimentation chaufferie 1	1-N3	319	1'692	-	C	c	vapeur dans bac d'alimentation (existant)
Eau d'alimentation chaufferie 2	1-N3	107	632	-	C	c	vapeur dans bac d'alimentation (existant)
CIP Camions , remplacement vapeur	15-N3	232	395	-	C	c	vapeur(existant)
CIP 0, remplacement vapeur	16-N3	464	1'069	-	C	c	vapeur(existant)
CIP 2, remplacement vapeur	17-N3	348	87	-	C	c	vapeur(existant)
CIP 3, remplacement vapeur	18-N3	244	297	-	C	c	vapeur(existant)
QP401, remplacement vapeur	20-N3	-	207	-	C	c	vapeur(existant)
QP002, remplacement vapeur	21-N3	-	706	-	C	c	vapeur(existant)

Estimations des coûts : +/ - 25% basé sur des offres et des valeurs empiriques, exkl. TVA

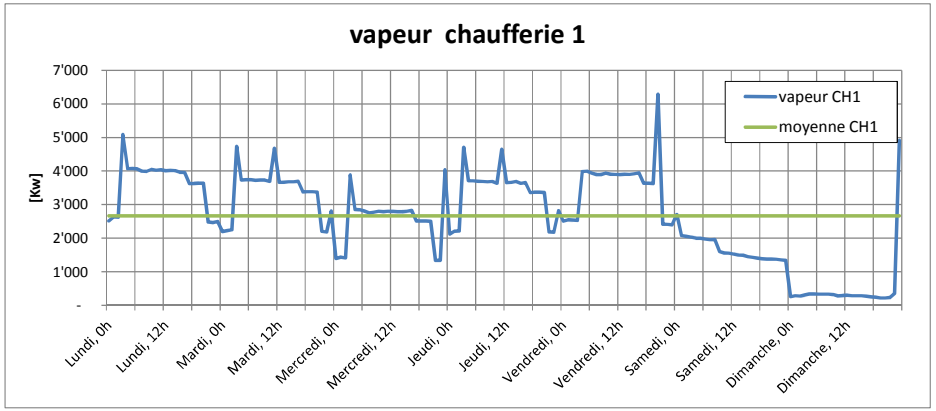
[1] consommateur/source

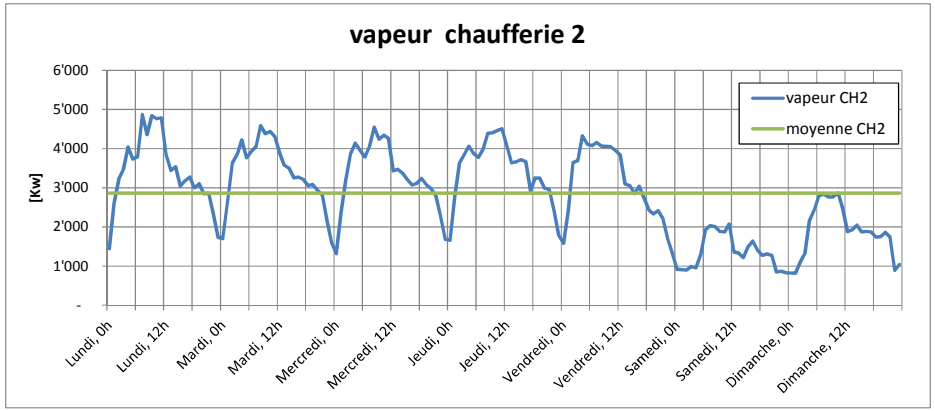
helbling energieschweiz ELSA

Elaboration de mesures
Système de récupération global

Plan de production

- Pour tenir compte de l'aspect temporel, un plan de production a été élaboré (*supprimé dans la publication*). Il représente, dans un cycle typique d'une semaine, les heures de fonctionnement des installations. A partir des puissances calculés dans le modèle de l'analyse du pincement, on construit ainsi la puissance totale requise pour les différentes sources d'énergie.
- Les courbes ci-dessous montrent le résultat de cette analyse temporelle pour la consommation de vapeur. On retrouve par le modèle les mêmes profils de charge que ceux obtenus pour la consommation de gaz mesurée (voir chapitre « Analyse situation existante »). On en conclut, que le plan de production élaboré représente bien la réalité.
- Les puissances dans le modèle sont plus basses que la consommation de gaz, pour les raisons suivantes:
  - Seule une partie de la consommation de gaz a pu être expliquée
  - Le modèle représente les consommateurs, tandis que les courbes de consommation de gaz représentent la production de chaleur. Entre les deux, il y a des pertes de production et de distribution (estimées à 15%)
  - Pour la chaufferie 1, le modèle contient plus de pics que la courbe de consommation de gaz. Ceci est très probablement dû aux courts arrêts des machines à des heures différentes.

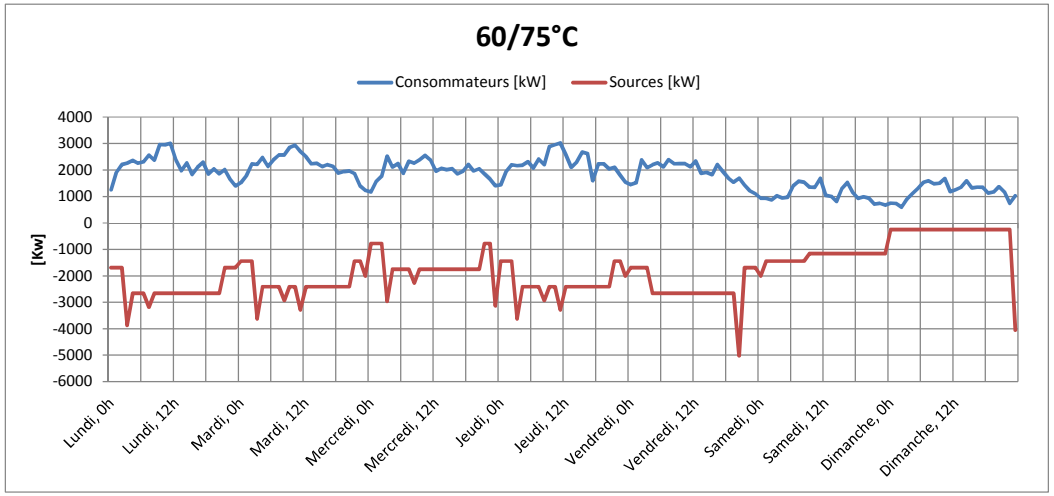


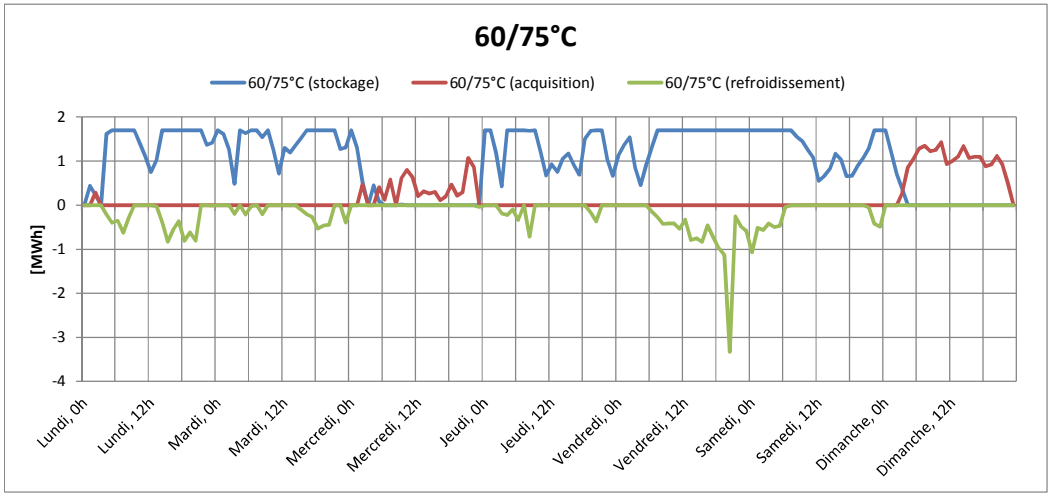


Elaboration de mesures
Système de récupération global

Modélisation temporelle Niveau 2

- Le graphe à gauche montre le niveau 2 au cours de la semaine. Les valeurs représentent la moyenne sur toute l'année. Pour le niveau 2 il n'y a pas de saisonnalité.
- Le graphe à droite montre la charge du tank de stockage ainsi que l'acquisition et le refroidissement nécessaire.
  - Le refroidissement est fait soit par transfert vers le niveau 1 (si celui n'est pas plein), soit par les tours de refroidissement.
  - L'acquisition représente les exigences des consommateurs qui ne peut pas être couvert par récupération de chaleur.
- Les puissances sont si importantes, que le tank de stockage sert principalement comme tampon technique. Le stockage de chaleur n'est dans ce cas pas déterminant pour la récupération de chaleur.
- Il y a visiblement trop de chaleur disponible sur ce niveau, sauf le weekend ou les UP ne tournent pas. Il y a alors souvent un transfert vers le niveau 1.

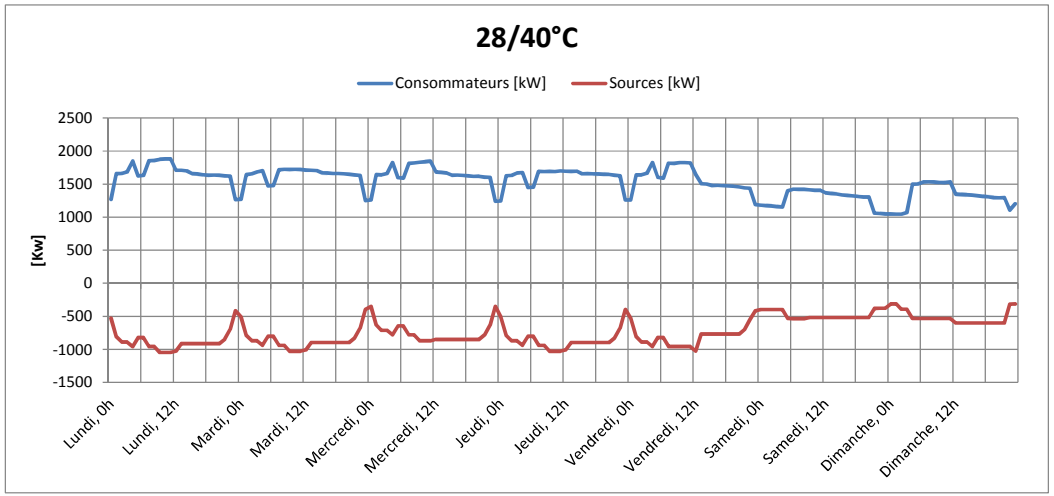


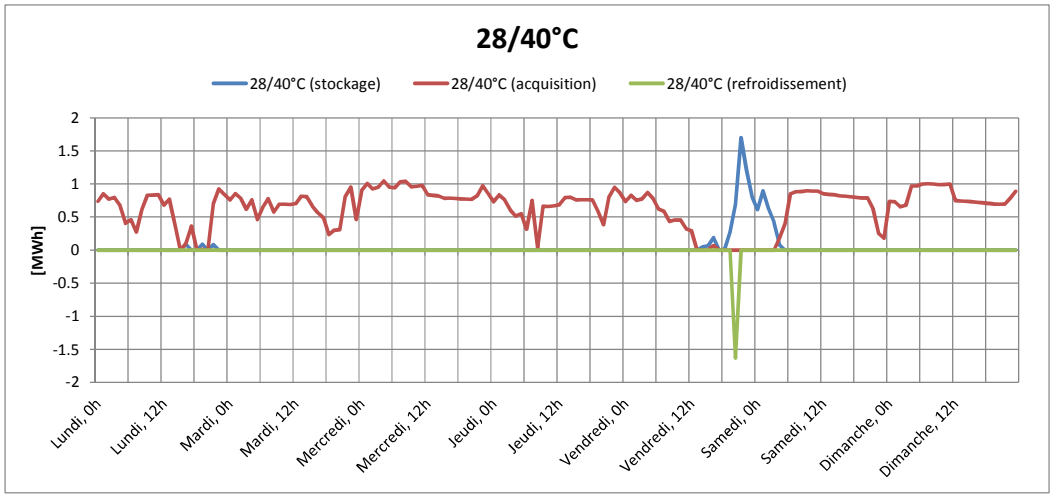


Elaboration de mesures
Système de récupération global

Modélisation temporelle Niveau 1

- Le graphe à gauche montre le niveau 2 au cours de la semaine. Les valeurs représentent la moyenne sur toute l'année, lorsque pour le calcul des économies on a distingué entre hiver et été.
  - Le refroidissement du niveau 2 est contenu dans les sources du niveau 1.
  - La condensation de NH3 n'est pas contenu dans les sources du niveau 1
- Le graphe à droite montre la charge du tank de stockage ainsi que l'acquisition et le refroidissement nécessaire.
  - En moyenne sur l'année, il y a un besoin d'une source de chaleur additionnel (acquisition). Ceci peut être fait par la condensation de NH3 au niveau de température adapté.





Elaboration de mesures
Système de récupération global

Modélisation temporelle, saisonnalités

- En tenant compte des saisonnalités, on arrive à déterminer la quantité totale récupérable par les deux niveaux, montré dans le tableau à droite.
- L'acquisition de chaleur pour le niveau 1 correspond dans le tableau ci-contre représente la quantité de chaleur à fournir par les compresseurs NH3.
- L'acquisition de chaleur pour le niveau 2 correspond aux besoin de chaleur qui n'est pas couvert par le système de récupération global.
- La condensation de NH3 à un niveau plus haute (43°C) ouvre une récupération additionnel de 3'245 MWh/a. Le prix de cette chaleur est estimé à 21.6 CHF/MWh, ce qui est dû par la consommation d'électricité élevé par les compresseurs NH3 (augmentation du niveau de condensation de 20°C à 43°C en hiver).
- La chaleur totale récupérable par ce système sur deux niveaux se relève alors à environ 25.3 GWh/a. Il faut tenir compte, que le système de récupération d'aujourd'hui arrive à une récupération d'environ 8.6 GWh/a.
- Les coûts d'investissement avec les calcules de rentabilité se trouvent sur la page suivant*.

Hiver		Niveau 1	Niveau 2
Refroidissement	[MWh]	-42	-749
Acquisition	[MWh]	2'800	752
Récupération	[MWh]	3'916	7'247

Eté		Niveau 1	Niveau 2
Refroidissement	[MWh]	-321	-749
Acquisition	[MWh]	445	752
Récupération	[MWh]	3'637	7'247

Total		Niveau 1	Niveau 2
Refroidissement	[MWh]	-363	-1'498
Acquisition	[MWh]	3'245	1'504
Récupération	[MWh]	7'553	14'494

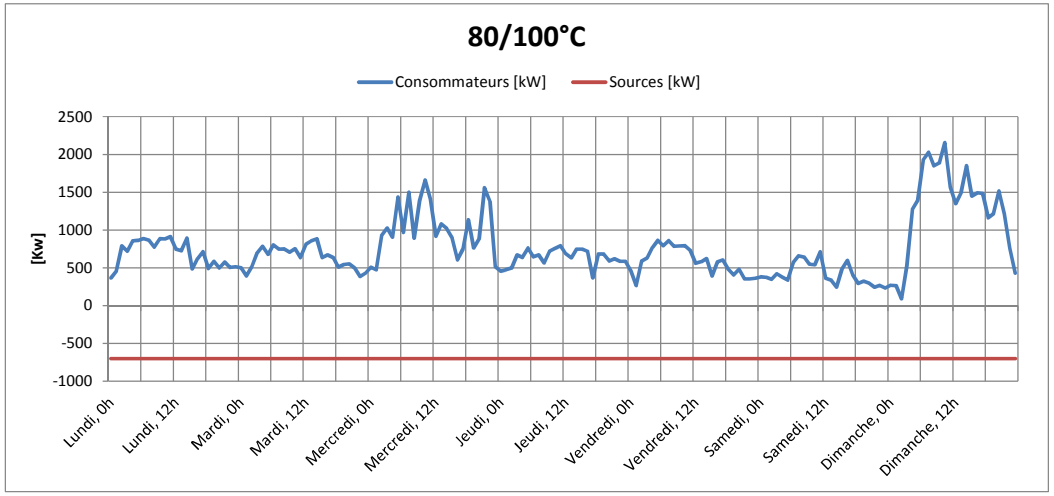
Total avec cond. NH3		Niveau 1	Niveau 2
Récupération	[MWh]	10'798	14'494

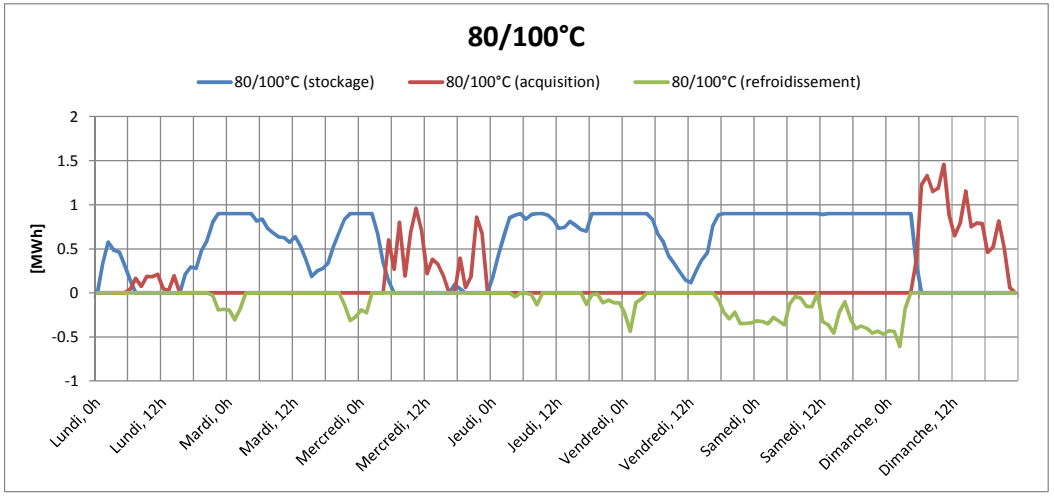
* Pour des raisons de confidentialité, ces informations ont été supprimés dans la publication.

Elaboration de mesures
Approvisionnement de chaleur par CCF, Niveau 3

Fonctionnement du système

- Le réseau de couplage chaleur force (Niveau 3) fonctionne en principe de même façon que les niveaux 1 et 2. La différence est, qu'il y a une seule source de chaleur. Dans ce système, la température d'alimentation peut alors être garanti.
- Le Niveau 3 dispose d'un tank plus petite que les niveaux 1 et 2, car les puissances demandé sont plus petites.
- Le réseau d'alimentation du niveau 3 est aussi plus petit, car il y a moins de consommateurs et les consommateurs sont plus proche du tank.
- Les courbes ci-dessous montrent le niveau 3 avec une alimentation par une CCF à 700 kW_{th}. Le refroidissement correspond en réalité à un abaissement de la puissance de la CCF (réduction de la puissance ou ondulation).
- Les coûts d'investissement avec les calcules de rentabilité se trouvent sur la page suivant*.





* Pour des raisons de confidentialité, ces informations ont été supprimés dans la publication.

Elaboration de mesures
Refroidissement par un niveau intermédiaire

Solutions pour une diminution de la consommation d'eau glacée

- Grâce aux informations collectés pour l'analyse du pincement, il est possible de calculer les économies potentiels d'eau glacée qu'on peut générer par un niveau de refroidissement intermédiaire.
- Les cas suivants ont été examinés: refroidissement des produits à une température de 12°C, 18°C ou 33°C avant d'utiliser l'eau glacée. Les potentiels montrent uniquement les économies en production.
- Pour un refroidissement à 12°C, il faut un réseau de froid additionnel (production de froid par une machine frigorifique et réseau de distribution). Dans ce cas il y aura des frais d'exploitation plus bas que pour l'eau glacée, mais plus haute que pour les solutions ci-dessous.
- Un refroidissement à 18°C devient possible, lorsque on utilise l'entrée de l'eau pour rinçage des CIP pour refroidir un réseau intermédiaire (si possible utiliser le Niveau 1 du système de récupération global). Ce refroidissement serait indépendant des température extérieures, mais dépendant de la consommation d'eau pour le rinçage des CIP. Le refroidissement maximal possible avec l'eau pour le rinçage des CIP se rend à environ 4.3 GWh/a (température de sortie eau de rinçage: 20°C).
- Le refroidissement à 33°C correspond à un niveau freecooling, tel que proposé par le Niveau 1 du système de récupération global. En hiver il serait possible de refroidir à température plus basse, mais le système dépend des températures extérieures.
- Le plupart des candidats potentiels (voir liste page suivante*) est déjà touché par d'autres mesures proposés (logistique, récupération interne ou récupération globale). Il est judicieux, d'implémenter en premier les mesures de logistique ou de récupération interne (moins de tuyauterie global, moins d'investissements). D'ailleurs presque toutes installations auront quand-même besoin de l'eau glacée pour refroidir à basse température.

* Pour des raisons de confidentialité, ces informations ont été supprimés dans la publication.

Résumé des mesures

Estimations des coûts : +/ - 25% basé sur des offres et des valeurs empiriques, exkl. TVA

Nr.	Paquet des mesures	Economie Vapeur [%]	Economie eau glacée [%]	Description	Priorité [-]
1a	Récupération interne, **indépendant** du système de récupération global , mesures avec priorité A	1%	10%	Amélioration de la récupération interne des installations de production (p.ex. par agrandissement de la surface des récupérateurs de chaleur). Les mesures avec priorité A sont celles avec une **faisabilité assurée ou un très grande potentiel**. Liste complet avec description des mesures voir tableau* "récupération interne".	1
1b	Récupération interne, **indépendant** du système de récupération global , mesures avec priorité B	1%	4%	Amélioration de la récupération interne des installations de production (p.ex. par agrandissement de la surface des récupérateurs de chaleur). Les mesures avec priorité B sont supposées d'être **économiques, mais la faisabilité est incertain ou il manque encore des valeurs exactes**. Liste complet avec description des mesures voir tableau* "récupération interne".	2
1c	Récupération interne, **indépendant** du système de récupération global , mesures avec priorité C	0%	0%	Amélioration de la récupération interne des installations de production (p.ex. par agrandissement de la surface des récupérateurs de chaleur). Les mesures avec priorité C sont supposés de **ne pas être rentables ou la faisabilité n'est pas donné**. Liste complet avec description des mesures voir tableau* "récupération interne".	4
2a	Système de récupération global	19%	7%	Le système de récupération de chaleur global est implémenté pour transférer de la chaleur résiduelle entre les installations (apes avoir optimisé la récupération interne). Le système se constitue de 2 niveaux de températures (28/40°C, 60/75°C), avec un tank de stockage et un réseau (hydraulique) de distribution sur chaque niveau. L'implémentation de ce système globale nécessite un investissement important, mais peut générer des économies en vapeur et en CO_2 significatives.	2
2b	Récupération interne qui **diminuent l'efficacité** du système de récupération global	6%	-	Ces potentiels ne sont pas inclus dans les calculs du système de récupération global. Ils peuvent êtres implémentés sans le système de récupération global, mais leur implémentation diminue l'efficacité du tel système. Il est donc judicieux de d'abord clarifier, si c'est mesures sont réalisables.	2
2c	Récupération interne qui **augmente l'efficacité** du système de récupération global	3%	2%	Ces potentiels ne sont pas inclus dans les calculs du système de récupération global. Ils peuvent seulement êtres implémentés en même temps que le système de récupération global et vont alors augmenter l'efficacité de celle-ci.	2
3a	Alimentation de chaleur par couplage chaleur force (Niveau 3)	6%	-	Il est possible de fournir une partie de la chaleur requise par les consommateurs avec un système de couplage chaleur force. Ceci est (avec les prix d'énergie actuels) une façon rentable de produire de la chaleur. D'autre part, un CCF augmente les émissions CO2. La rentabilité calculé ci-contre suppose, que les émissions CO2 ont été réduites par d'autres mesures et qu'il n'y a alors pas de pénalité par le CO2 de la CCF (chiffres détaillés voir présentation). Le réseau (hydraulique) de distribution et un tank de stockage sont inclus dans l'investissement.	3
3b	Alimentation de chaleur par adaptation de procédé (Niveau 3)	7%	-	Adaptation du procédé UP par une expansion en deux stages. Ainsi on crée des économies en vapeur jusqu'à 6 GWh/a. Cette adaptation serait un projet à longue terme.	4
4	Adaptation de la logistique	1%	25%	Ces économies se produisent en adaptant la logistique de la production. L'idée de base est d'éviter des pas de refroidissement et de chauffage intermédiaires. Le système a été analysé seulement de façon énergétique. Les chiffres montrent alors un potentiel énergétique, dont la faisabilité n'est pas assuré. Des questions de qualité ou de la logistique de production (disponibilité des installation, nettoyage avant la production, etc.) n'ont pas été pris en considération pour le calcul des économies et doivent être vérifier plus en détail.	1

N° 1a	**1%**	**10%**
N° 1a, 1b, 2a, 2c	**24%**	**22%**
N° 1a, 1b, 2a, 2c, 3a	**30%**	**22%**

* Pour des raisons de confidentialité, ces informations ainsi que les coûts d'investissement et les économies ont été supprimés dans la publication.

Conclusions

- L'analyse du pincement démontre un grand potentiel d'énergie récupérable sur le site d'ELSA. Ce potentiel peut être exploité d'une part par récupération interne dans les installations, et d'autre part par un système de récupération de chaleur global (entre les installations). L'analyse du pincement établit en outre un potentiel de réduction additionnel de 6.9% de la consommation de gaz pour une adaptation de procédé.
- Les économies suivantes peuvent êtres réalisées:
  - Récupération interne: 2.2% de la vapeur et 9.5% de l'eau glacée
  - Récupération globale: 19.5% de la vapeur (19.5%) et 7.1% de l'eau glacée
  - Adaptation de procédé: 6.9% de la vapeur
- Le système de récupération global proposé est un projet d'une complexité élevée qui nécessite une approche et une implémentation sophistiquées, pouvant générer d'importantes économies supplémentaires.
- Le système de récupération global représente une infrastructure à longue durée de vie qui offre une grande flexibilité pour l'implémentation de mesures futures. Nous conseillons de prendre ceci en compte lors des décisions d'investissement, puisqu'il s'agit d'un investissement à long terme. Le payback des mesures globales est, avec 5 ans, nettement plus long que celui des mesures de récupération interne. Ceci est, entre autre, dû aux investissements importants pour le réseau de distribution.
- La qualité des données disponibles est déterminante pour le processus de modélisation lors d'une analyse du pincement. L'absence de certaines données a rendu l'analyse plus difficile et plus longue que prévu. Seuls 73% de la consommation de gaz ont pu être expliqués par une approche bottom-up.

helbling

Votre interlocuteur:

Raymond Morand
Chef de domaine énergie et gestion durable
raymond.morand@helbling.ch
téléphone +41 44 438 18 66

Simon Bachmann
Chef de projet
simon.bachmann@helbling.ch
téléphone +41 44 438 18 15

Helbling Beratung + Bauplanung AG
Hohlstrasse 614
CH-8048 Zürich
Fon +41 44 438 18 11
Fax +41 44 438 18 10
Mail info-hbp@helbling.ch

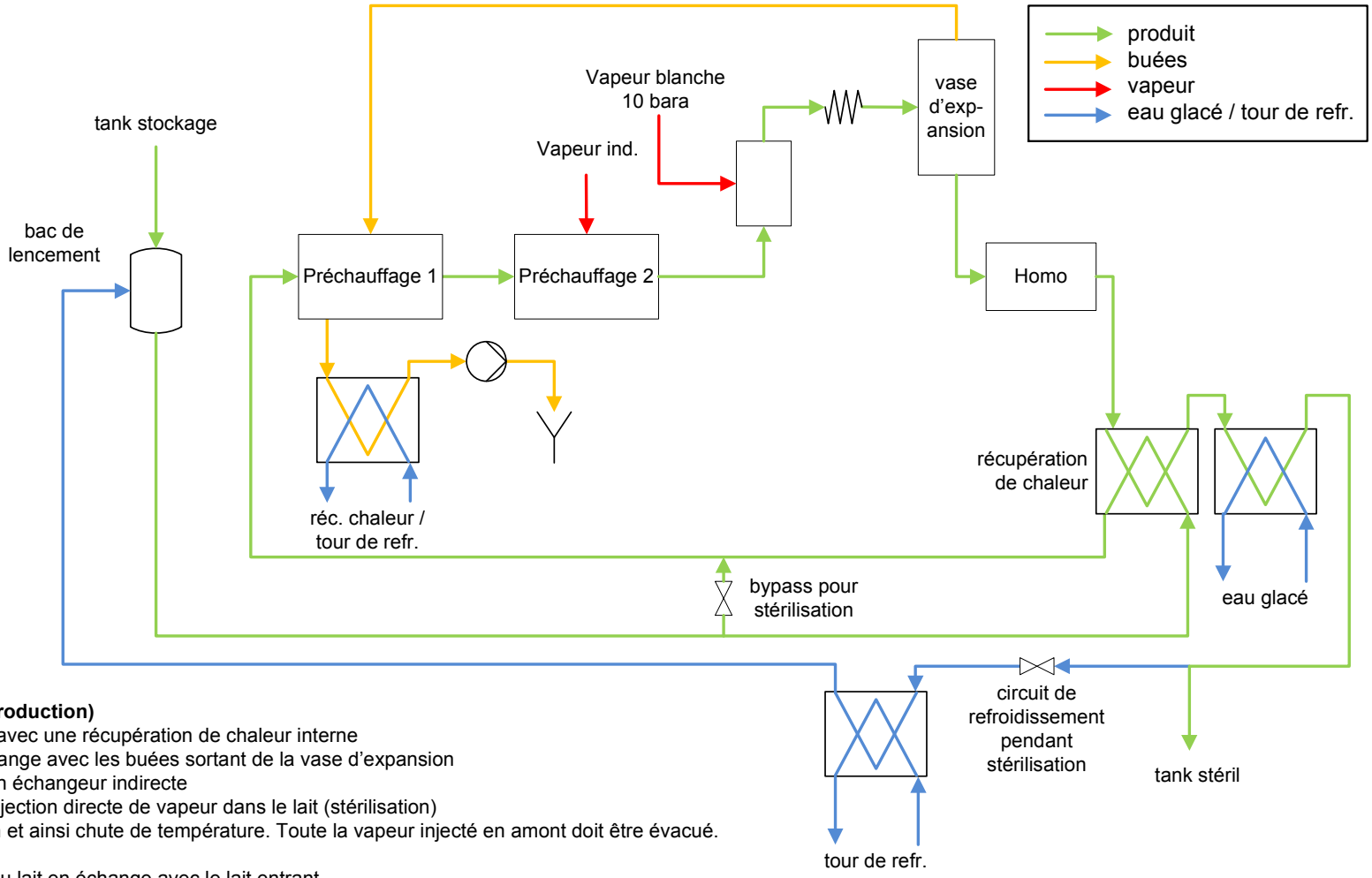
Aarau • Bern • Cambridge MA • Düsseldorf •
Eschborn-Frankfurt • München • Wil SG • Zürich

helbling

Annexe

A) Schéma de principe, installation UP 46
B) Mesure récupération interne, installations UP 47
C) Mesure récupération interne chaufferie 48
D) Résultat du modèle de simulation 49
E) Dimensionnement CCF 52

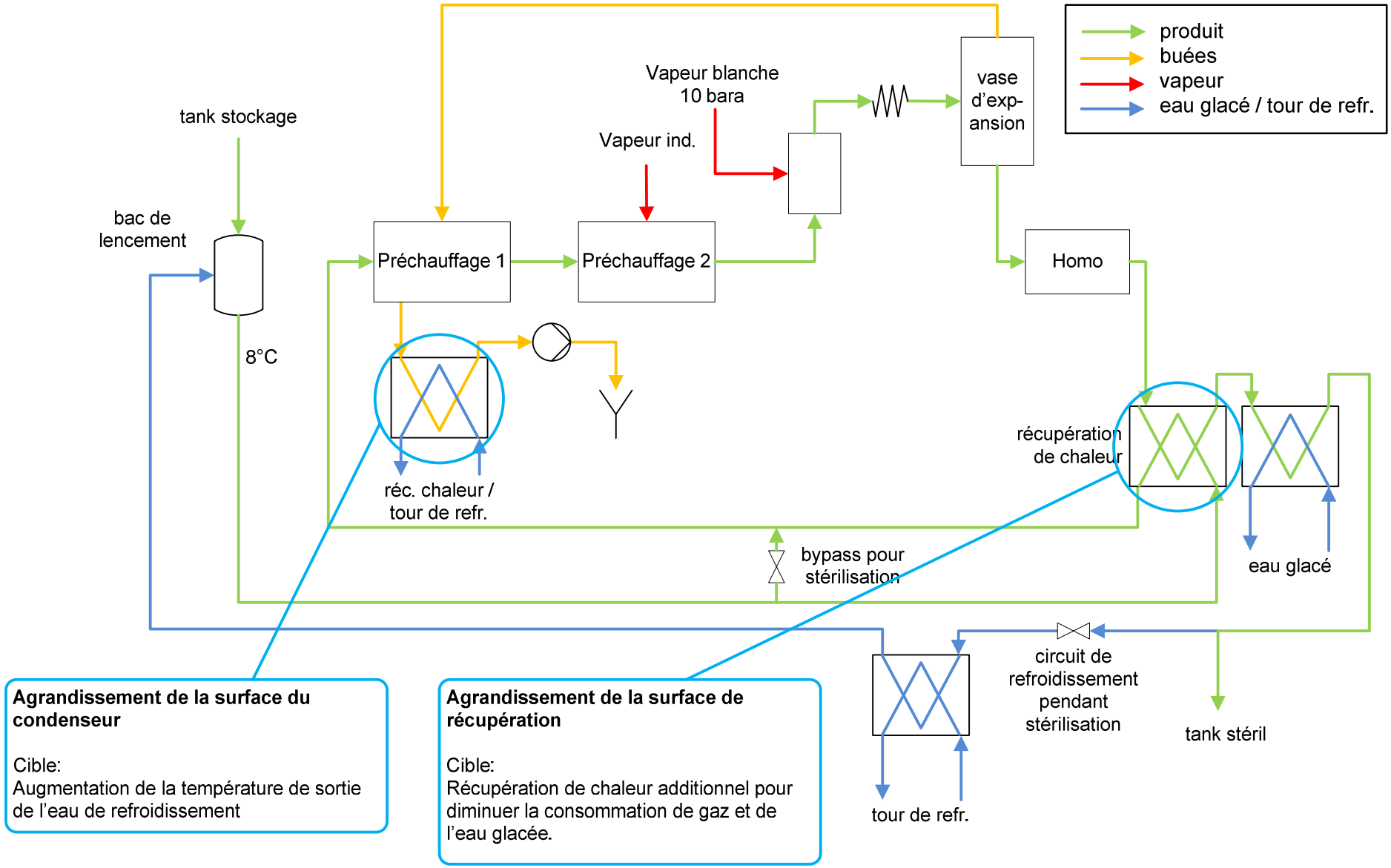
Annexe A
Schéma de principe, installation UP



Fonctionnement (production)
1) Chauffage du lait avec une récupération de chaleur interne
2) Chauffage en échange avec les buées sortant de la vase d'expansion
3) Chauffage avec un échangeur indirecte
4) Chauffage avec injection directe de vapeur dans le lait (stérilisation)
5) Chute de pression et ainsi chute de température. Toute la vapeur injecté en amont doit être évacué.
6) Homogénéisation
7) Refroidissement du lait en échange avec le lait entrant
8) Refroidissement
9) stockage en tanks stériles et remplissage

Le mode de stérilisation est un circuit fermé d'eau. L'eau part au bac de lancement et entre directement dans le préchauffage 1 (sans passer par la récupération de chaleur). Ensuite il est chauffé et retourne (sans expansion) jusque au refroidisseur, ou l'eau est refroidi. L'eau retourne ensuite dans le bac de lancement.

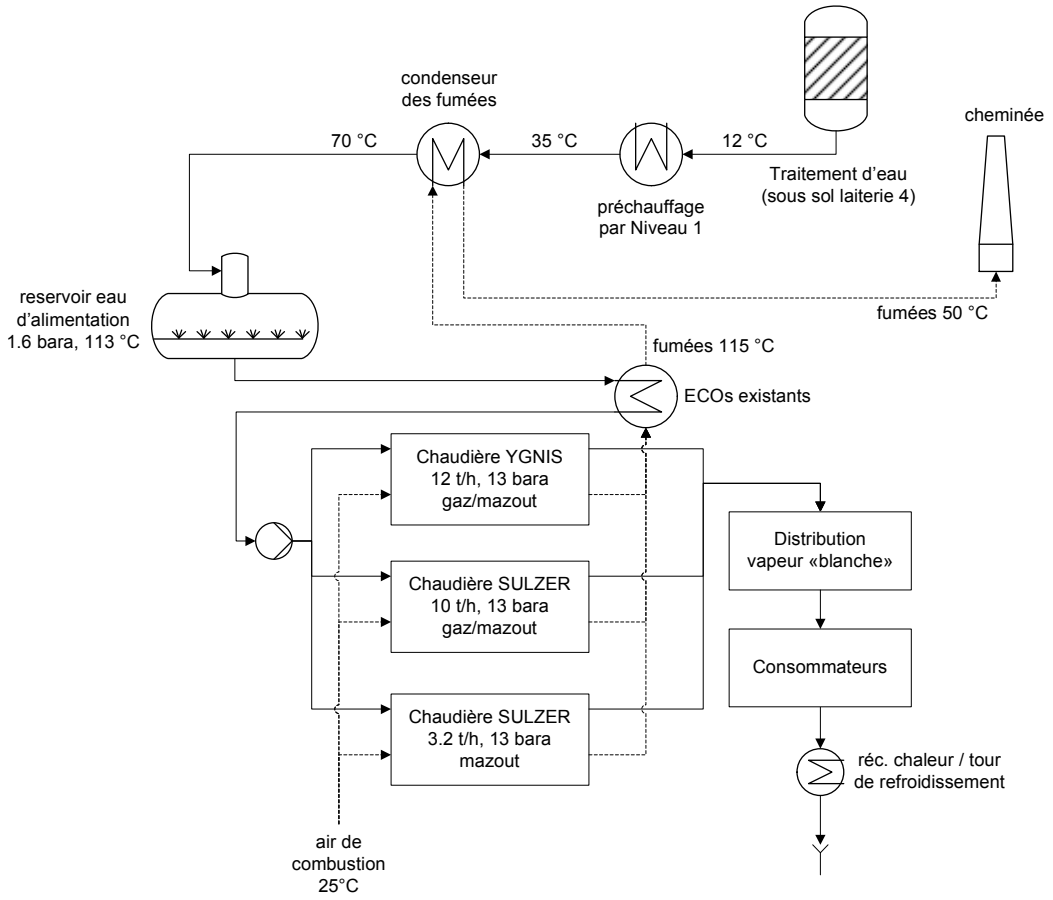
Annexe B
Mesure récupération interne, installations UP

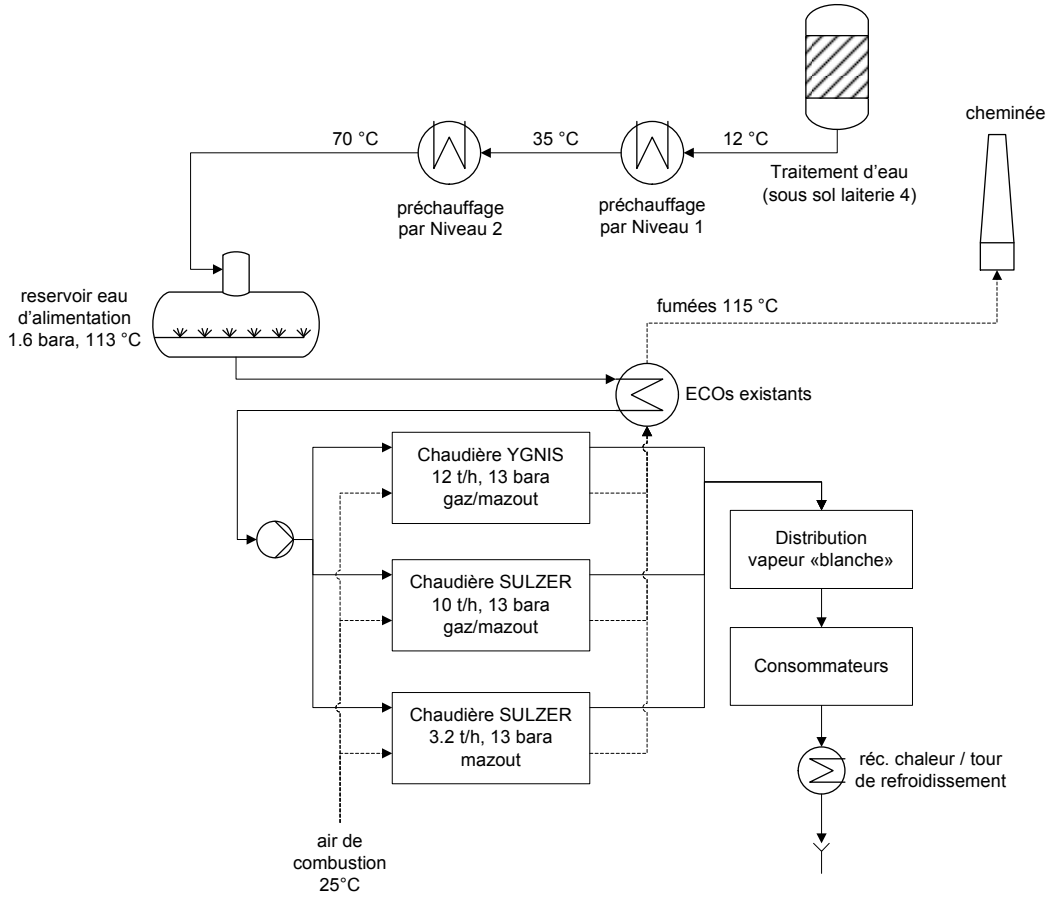


Annexe C

Mesure récupération interne chaufferie 1 (à gauche)

Mesure avec système de récupération global (à droite)

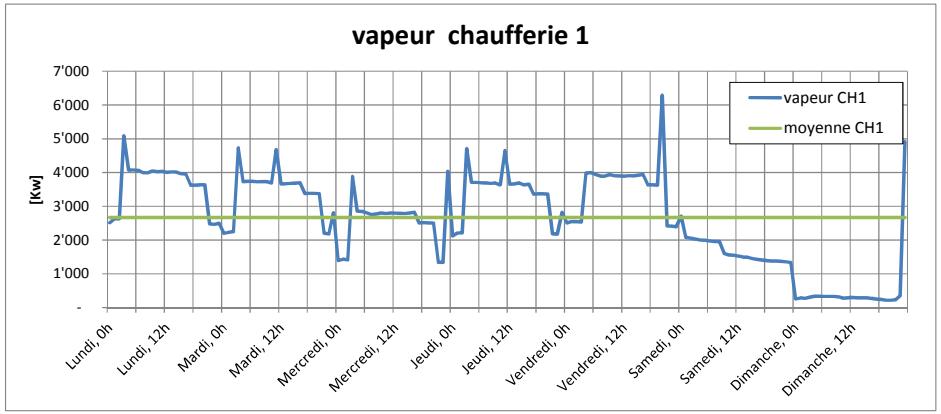


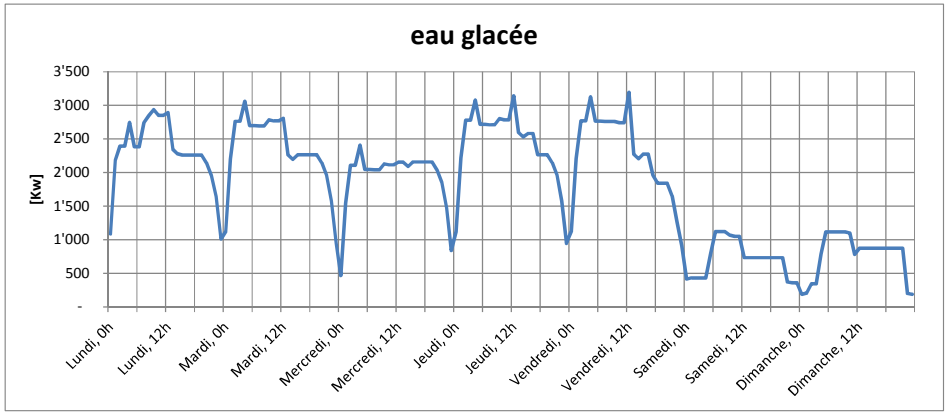


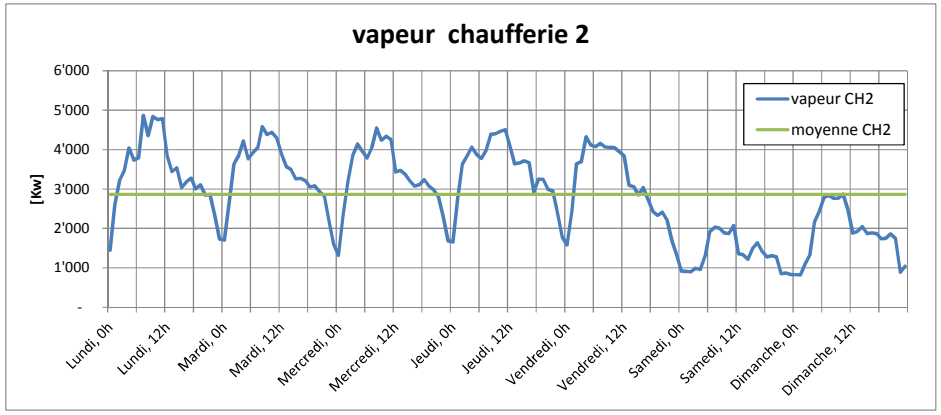
Annexe D1

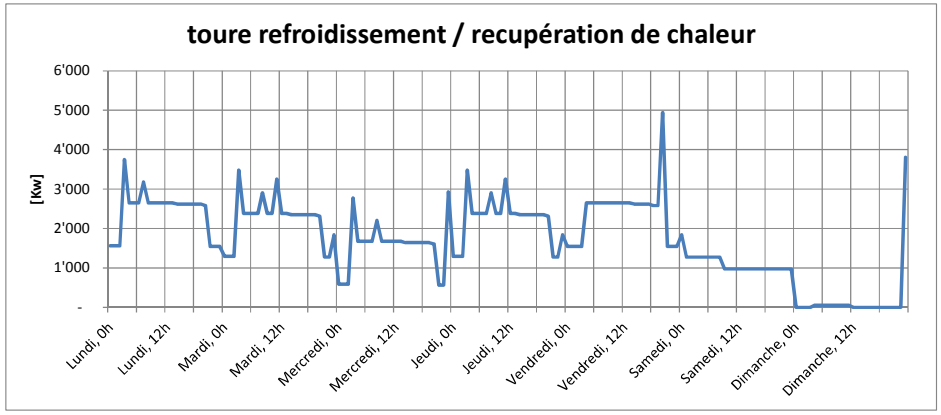
Consommation selon le modèle

- Les graphes ci-dessous montrent la consommation des installations.
- Les puissances sont plus basses qu'en réalité, car qu'une partie de la consommation n'a pu été expliquée.







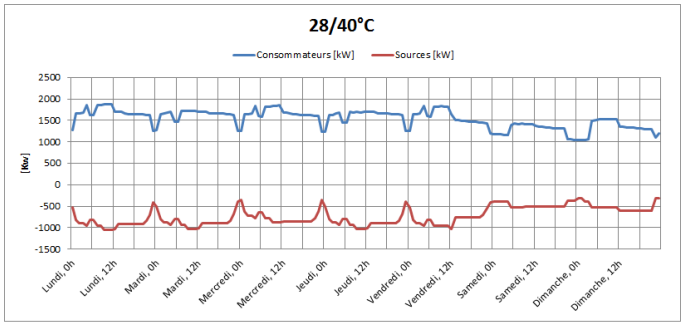


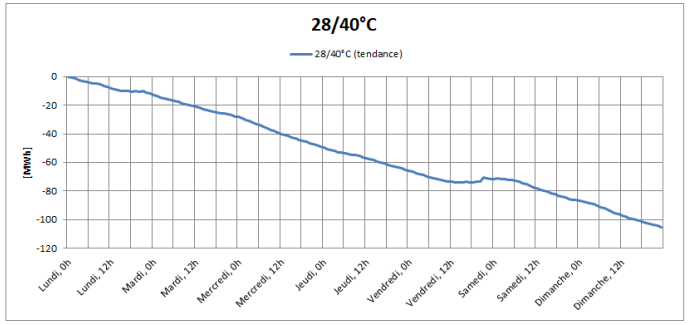
helbling energieschweiz ELSA

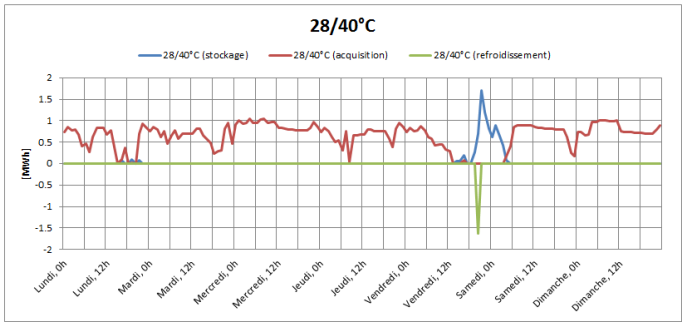
Annexe D2

Modèle niveau 1

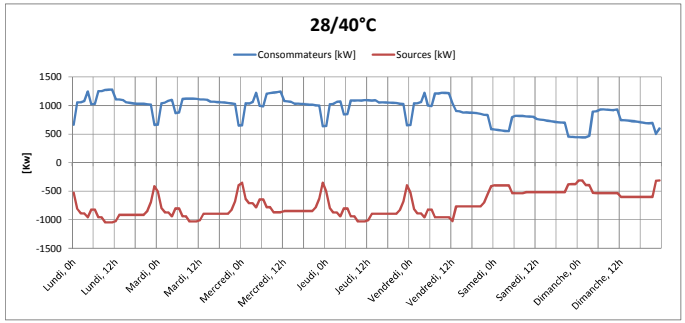
hiver

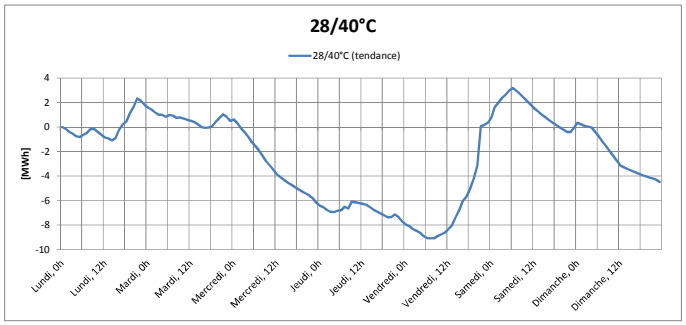


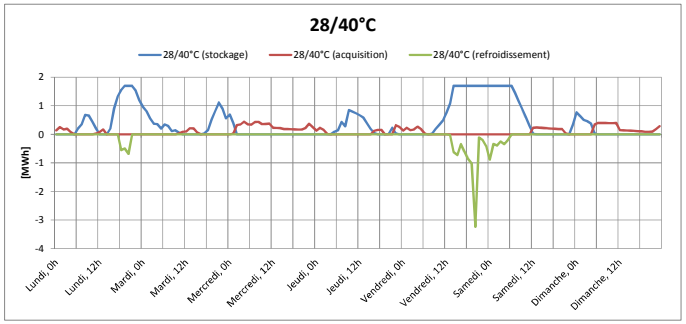




été



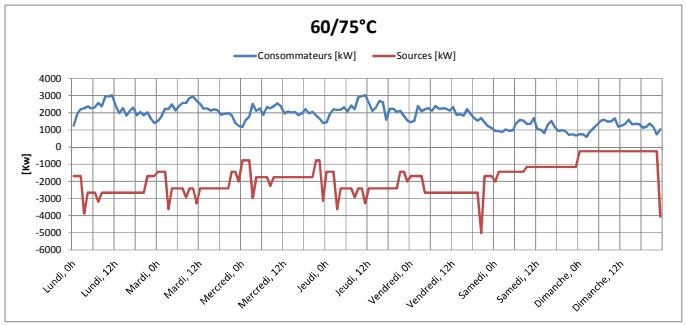


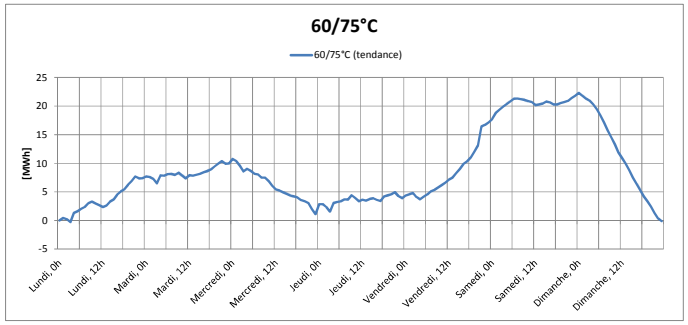


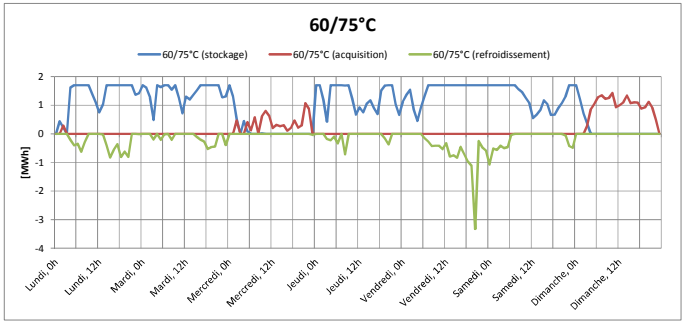
Annexe D3

Niveau 2 été / hiver

- Pour ce niveau, il n'y a pas de différence entre les saisons.

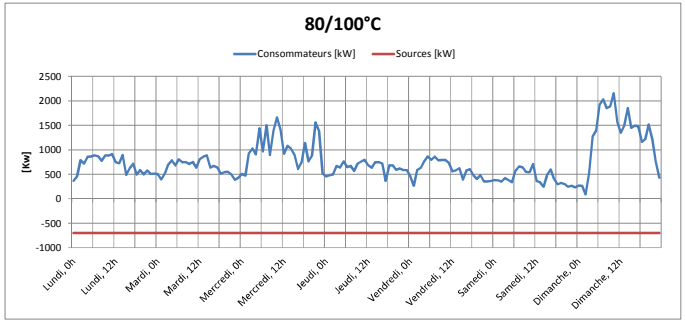


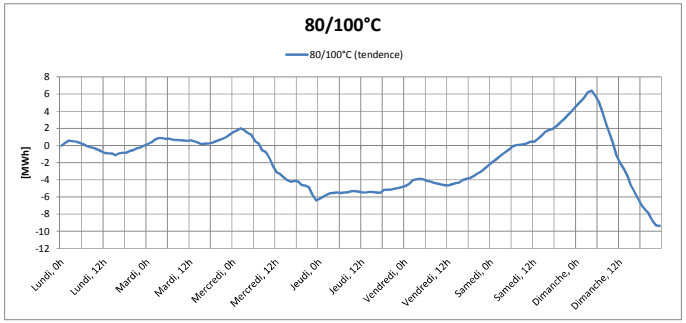


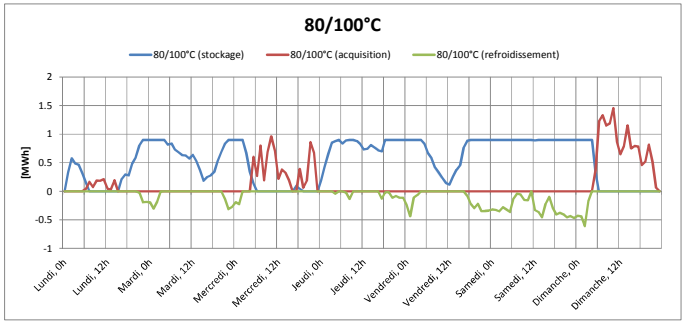


Niveau 3 été / hiver

- Pour ce niveau, il n'y a pas de différence entre les saisons.
- Le graphe montre le cas avec une CCF de 700kW$_{th}$ qui tourne à pleine charge. A la place de refroidir, la puissance de la CCF serait réduit en réalité.







Annexe E

Dimensionnement CCF

- Les chiffres ci-dessous montrent les paramètres principaux d'une CCF pour le Niveau 3 ainsi que les coûts d'investissement considérés*.

Dimensionnement de la CCF		
Puissance thermique	700	kW
Puissance électrique	581	kW
Puissance thermique minimale	350	kW
Puissance électrique minimale	290	kW

Opération CCF		
Heures de fonctionnement	8'500	h/a
Heures à pleine charge	7'714	h/a
Production thermique	5'400'000	kWh/a
Production électricité	4'480'851	kWh/a
Consommation de gaz naturel	11'489'362	kWh/a
Emissions de CO2	2'275	t/a CO2

* Pour des raisons de confidentialité, ces informations ont été supprimés dans la publication.