

# Projet CERES-2

## Chemins Energétiques pour la Récupération d'Énergie dans les Systèmes industriels

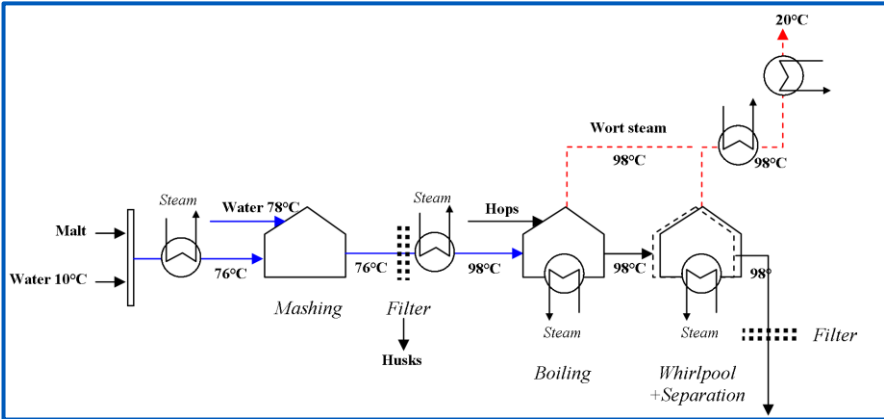


Fabien THIBAULT  
EDF R&D – CES Mines Paristech

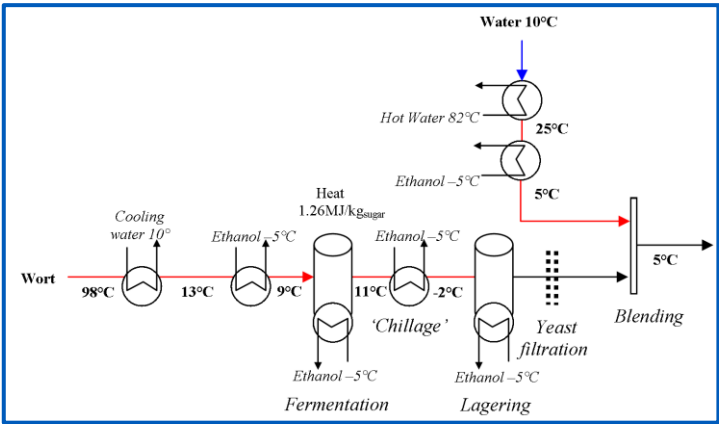
Journée SFT – 22 nov. 2013

# Contexte et Enjeux Scientifiques

## La méthode du Pincement : Collecte des flux thermiques

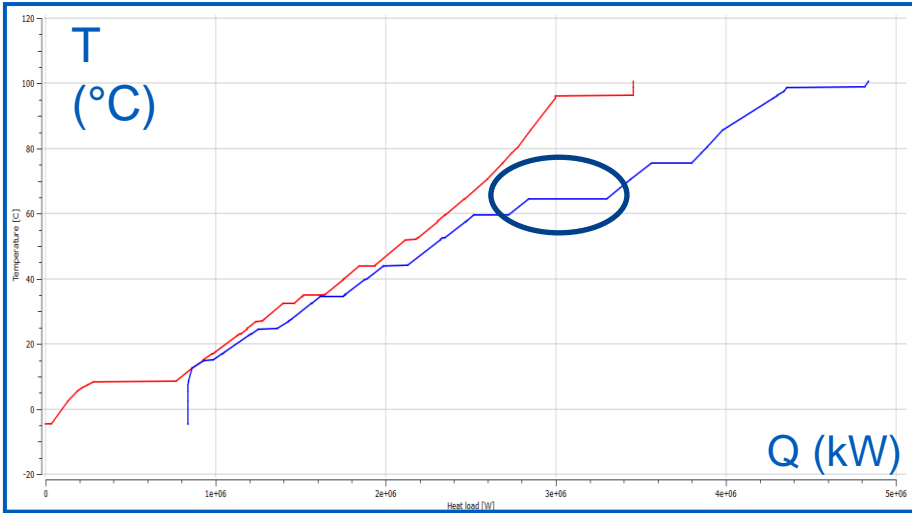


Heat Flows	$T_{in}$ (°C)	$T_{out}$ (°C)	Q (kW)
Discharge	83	15	207
Soap	20	95	6
Bp.h1	54.5	54.4	319
Bp.h2	22.6	17.6	57.4
Bp.c1	29.5	65.2	36.8
Bw.h1	46.4	46.3	22.3
Bw.c1	62	62.1	49.5
Bw.c2	57	57.1	71.1

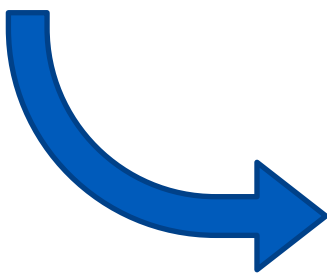


# Contexte et Enjeux Scientifiques

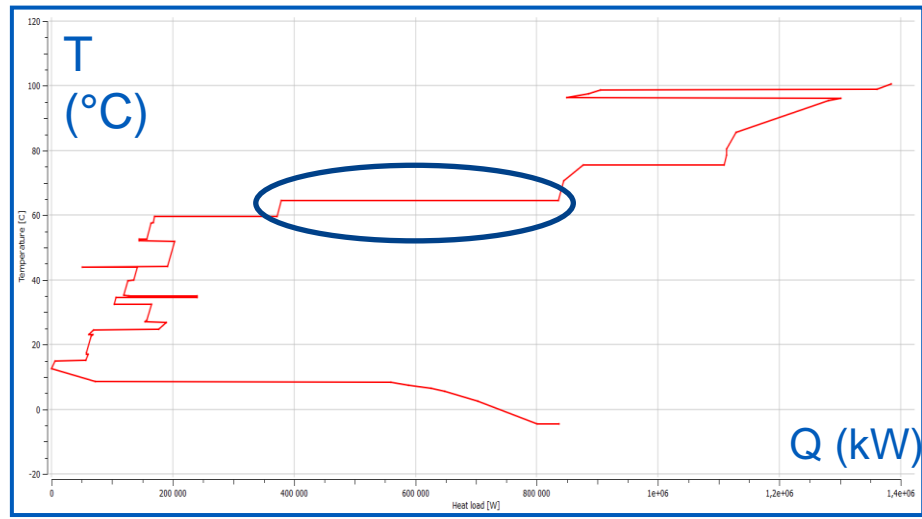
## La méthode du Pincement : Tracé des Courbes Composites



Courbes Composites  
chaude et froide (CC)

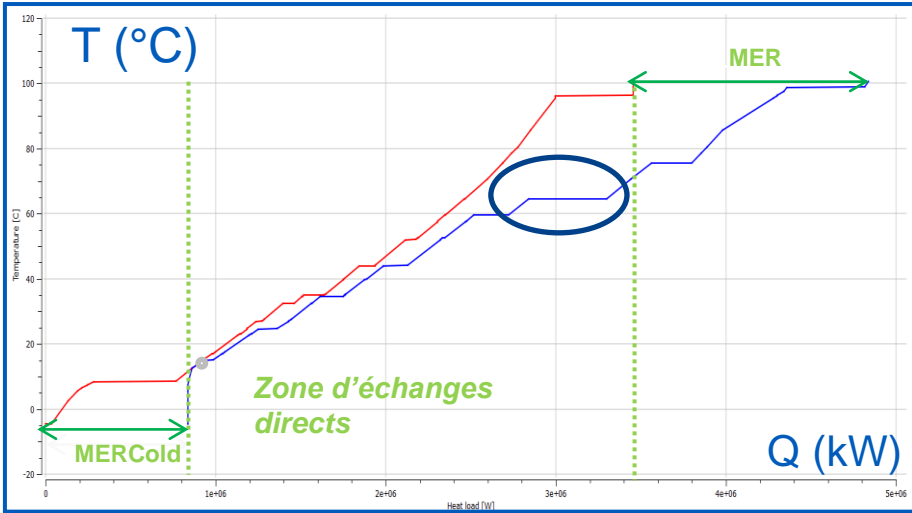


Grande Courbe  
Composite ( GCC)

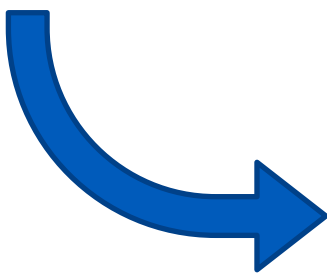


# Contexte et Enjeux Scientifiques

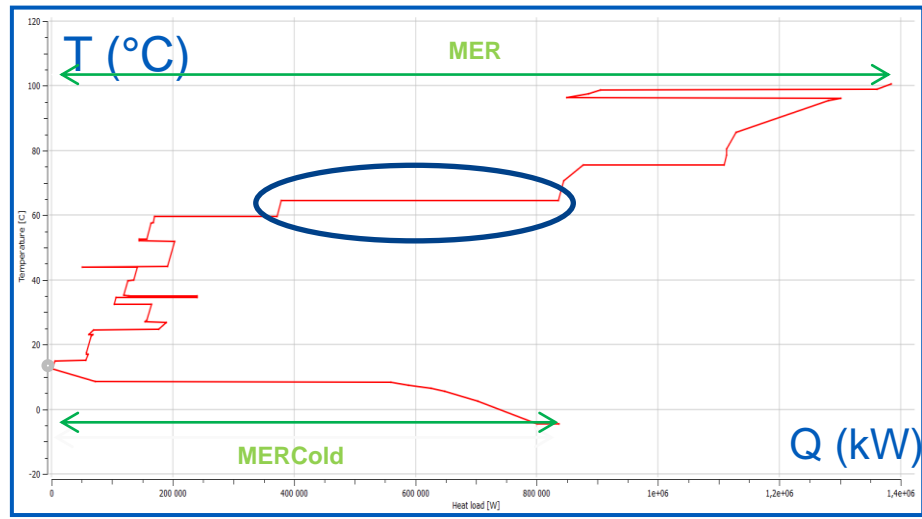
## La méthode du Pincement : Tracé des Courbes Composites



Courbes Composites  
chaude et froide (CC)



Grande Courbe  
Composite ( GCC)



# Contexte et Enjeux Scientifiques

## La méthode du Pincement : Conception du Réseau d'Échangeurs de Chaleur

La construction du réseau d'échangeurs est un problème d'optimisation économique sous contraintes technologiques

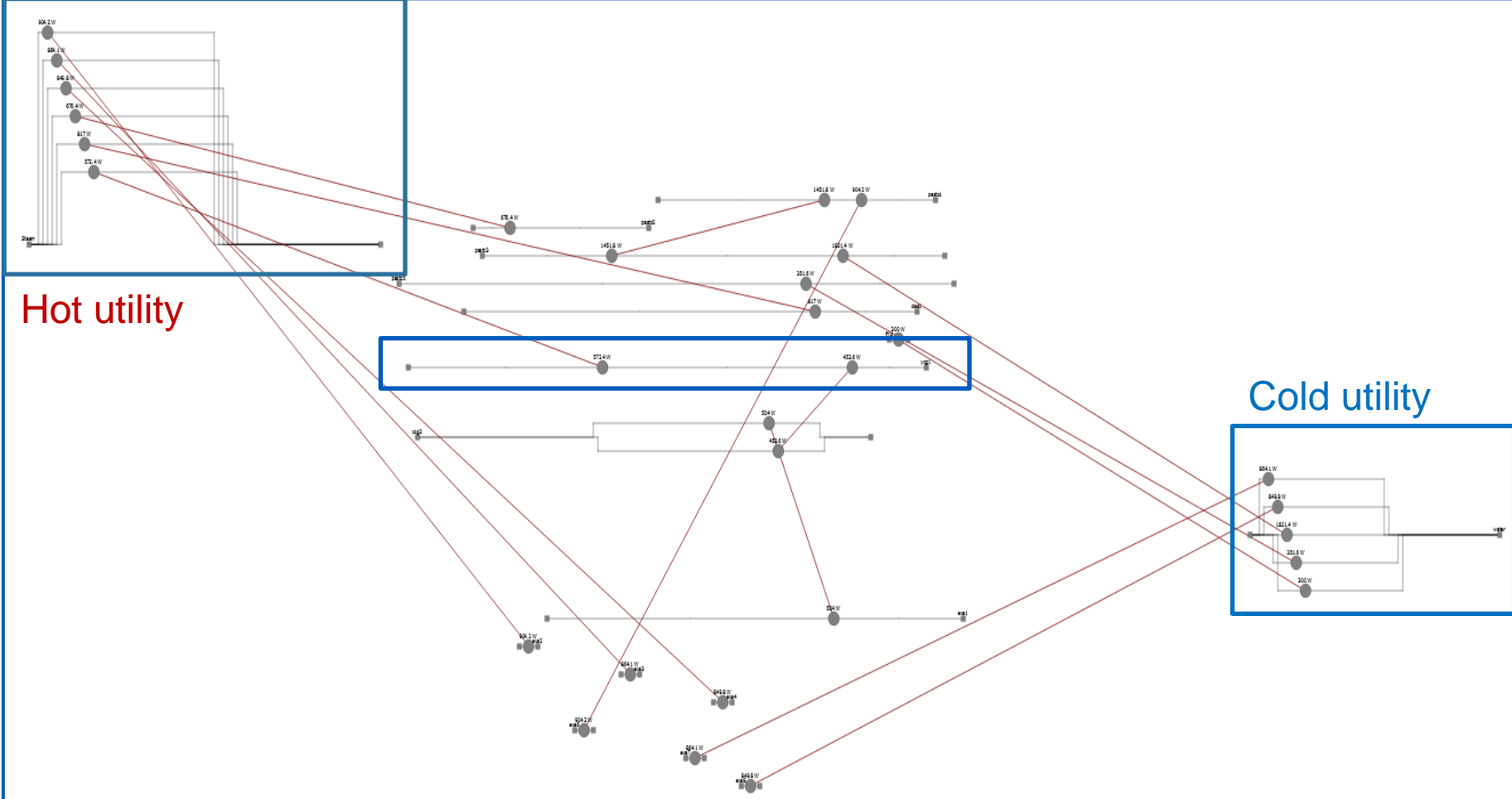
La solution doit répondre intégralement aux besoins de chaud et de froid du procédé à l'aide d'utilités, tout en maximisant la récupération interne d'énergie entre les flux procédés avec un minimum d'échangeur.

Les technologies d'échanges pouvant varier selon les procédés, des interdictions d'échanges peuvent être précisés en amont du calcul, en définissant plusieurs technologies d'échangeurs et les coûts associés

L'objectif est de réduire le coût total de l'ensemble échangeurs – utilités.

# Contexte et Enjeux Scientifiques

## La méthode du Pincement : Conception du Réseau d'Échangeurs de Chaleur



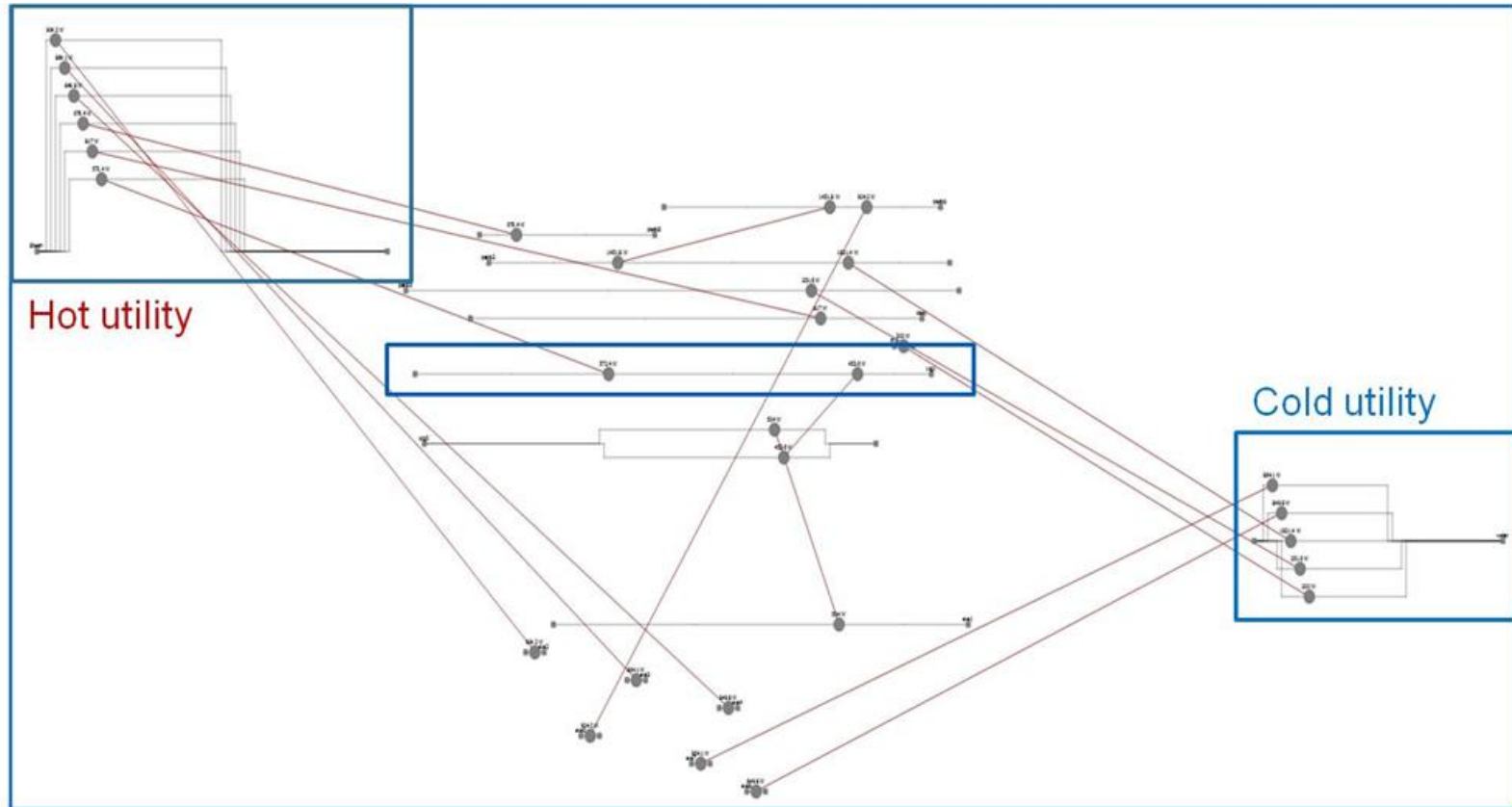
Hot utility

Cold utility

Réseau d'échangeurs de chaleur avec 2 utilités

# Contexte et Enjeux Scientifiques

## La méthode du Pincement : Conception du Réseau d'Échangeurs de Chaleur

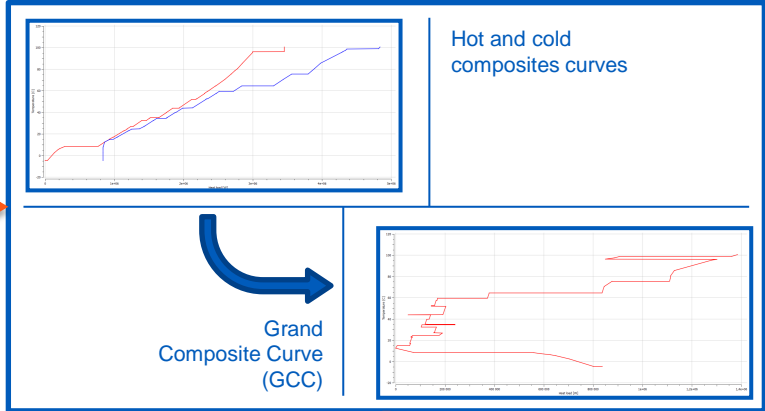
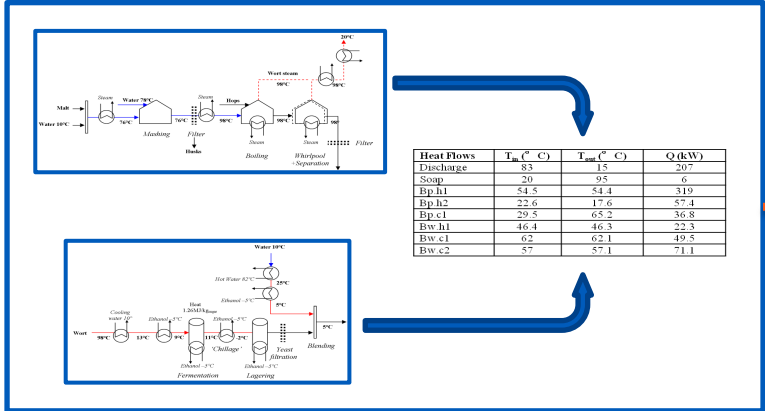


Le Réseau d'échangeurs de chaleur est le résultat final. Il donne :

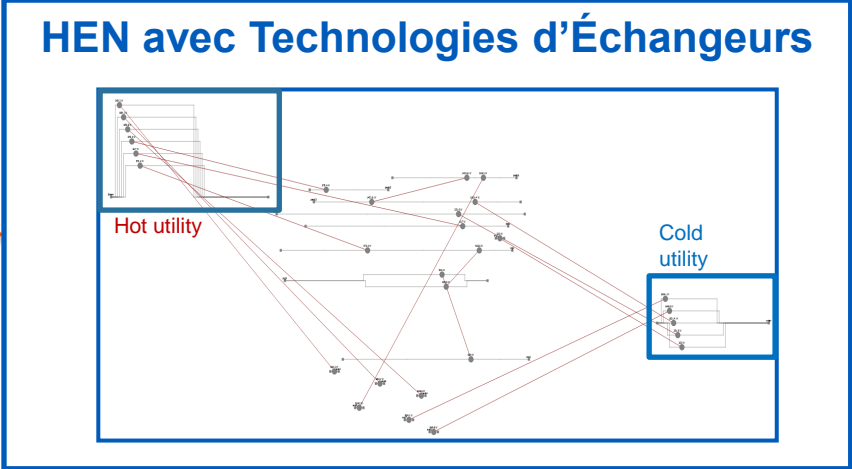
- Les utilités les plus économiques pour satisfaire les besoins
- Les couples de flux qui échangent entre eux
- Les caractéristiques des échangeurs : puissance, surface, températures
- Le coût total

# Contexte et Enjeux Scientifiques

## La méthode du Pincement : Les développements proposés



**Présélection automatique des utilités**





# Présélection des utilités

## Méthodologie : Inventaire des technologies

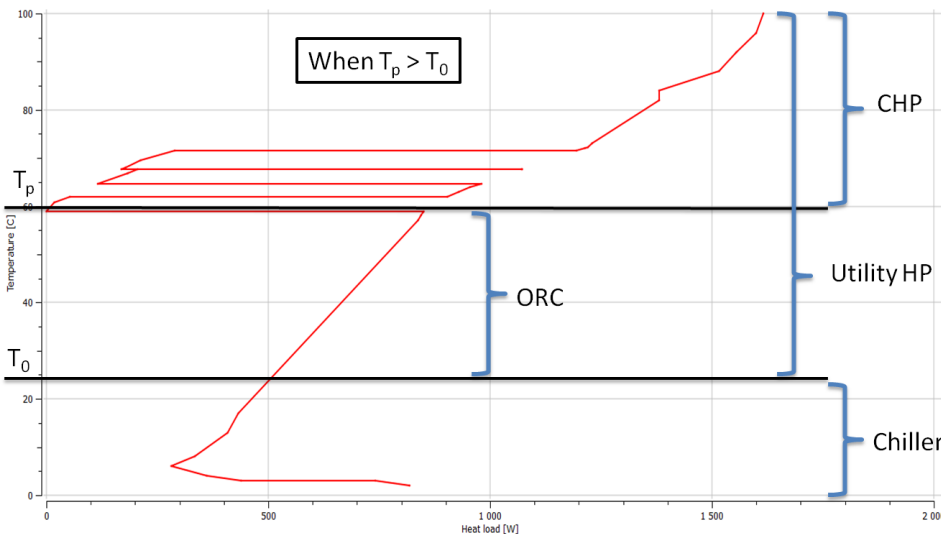
5 utilités thermodynamiques sont testées par l'algorithme :

- Les ThermoFrigoPompes (TFP), pour des échanges intra-procédés ;
- Les pompes à chaleur utilitaires, ayant une source externe ;
- Les groupes froids, ayant un puits externe ;
- Les Cycles de Rankine Organique (ORC), pour la production d'électricité ;
- Les unités de cogénération (CHP), pour l'électricité et l'apport de chaleur ;

Les spécificités propres à chaque utilité induisent différentes contraintes de positionnement

# Présélection des utilités

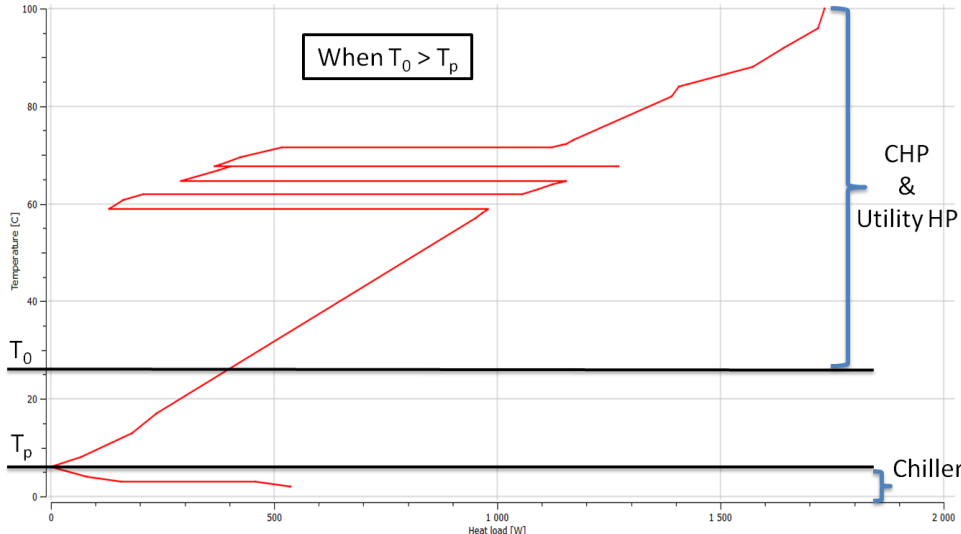
## Méthodologie : Inventaire des technologies



Prise en compte d'une température ambiante

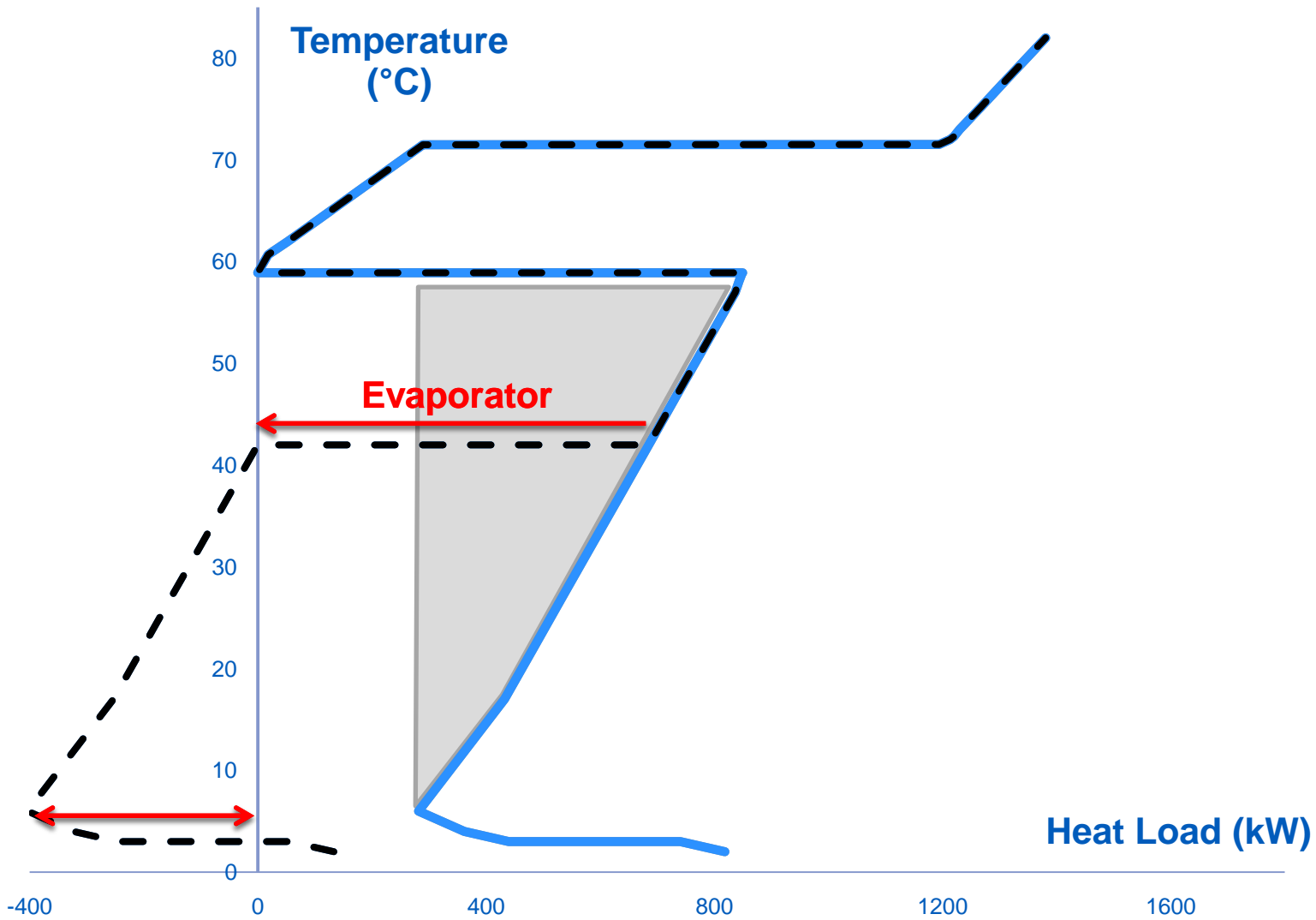
Introduction de la température de flamme

Zone « vierge »  
Pas de Cycle de Rankine



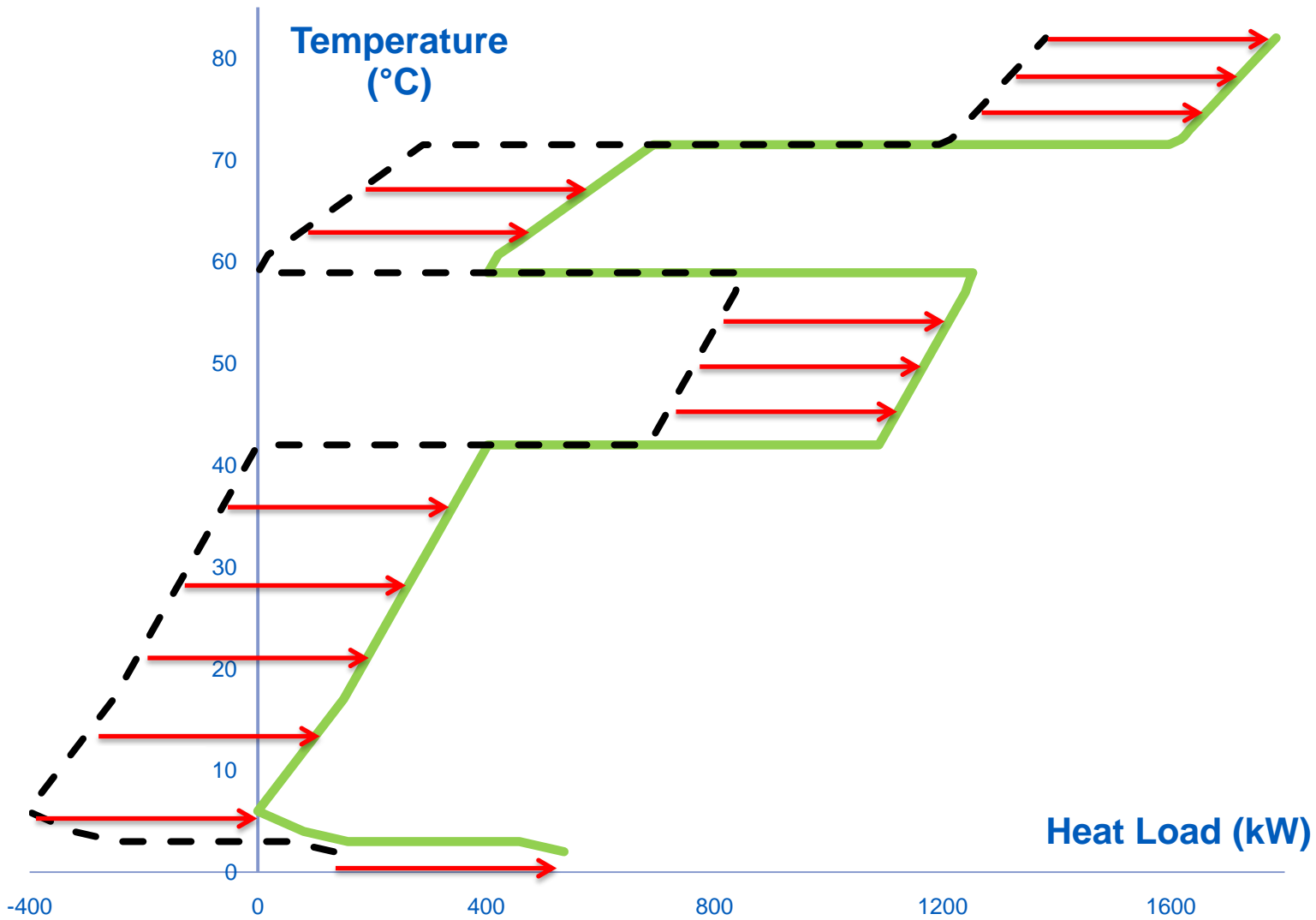
# Présélection des utilités

Méthodologie : Poches auto-suffisantes



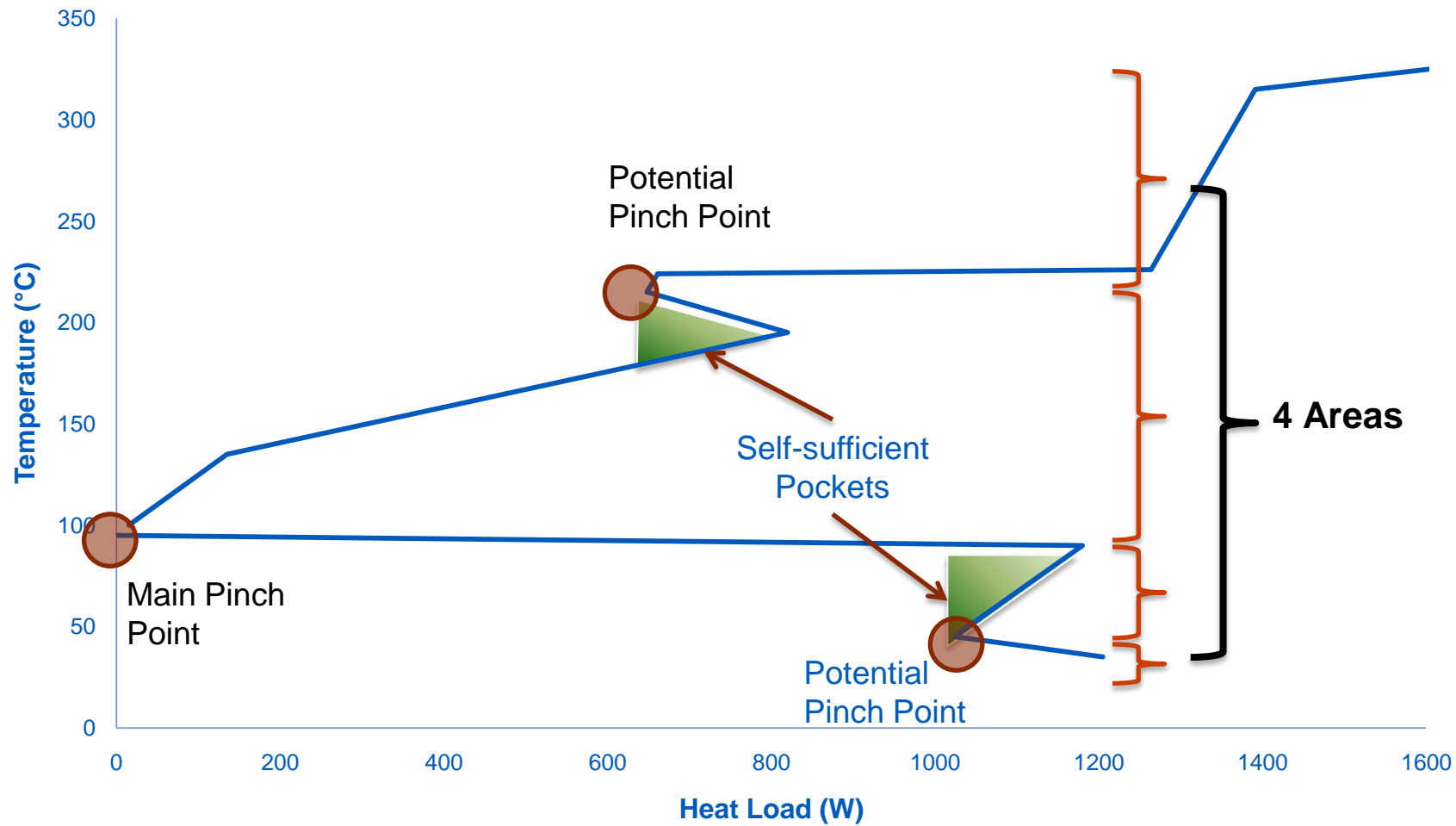
# Présélection des utilités

Méthodologie : Poches auto-suffisantes



# Présélection des utilités

Méthodologie : Poches auto-suffisantes



# Utilisation de l'exergie

Qu'est ce que l'exergie ?

*Définition* : L'exergie est la quantité maximale de travail récupérable d'une source.

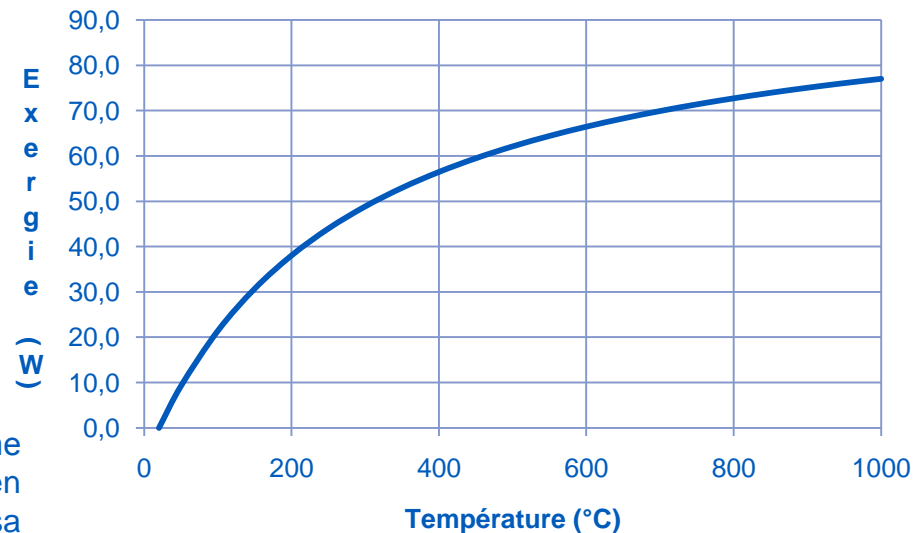
Pour une énergie thermique, on utilise le facteur de Carnot pour effectuer la conversion en exergie. Ainsi, l'exergie d'une énergie  $E$  à la température  $T$  est :

$$Ex = \eta_c E$$

avec

$$\eta_c = 1 - \frac{T_{ext}}{T}$$

L'exergie d'une source croît au fur et à mesure que sa température s'écarte de l'équilibre :



Évolution de l'exergie d'une source de chaleur en fonction de sa température

# Utilisation de l'exergie

Un objectif : minimiser la destruction d'exergie

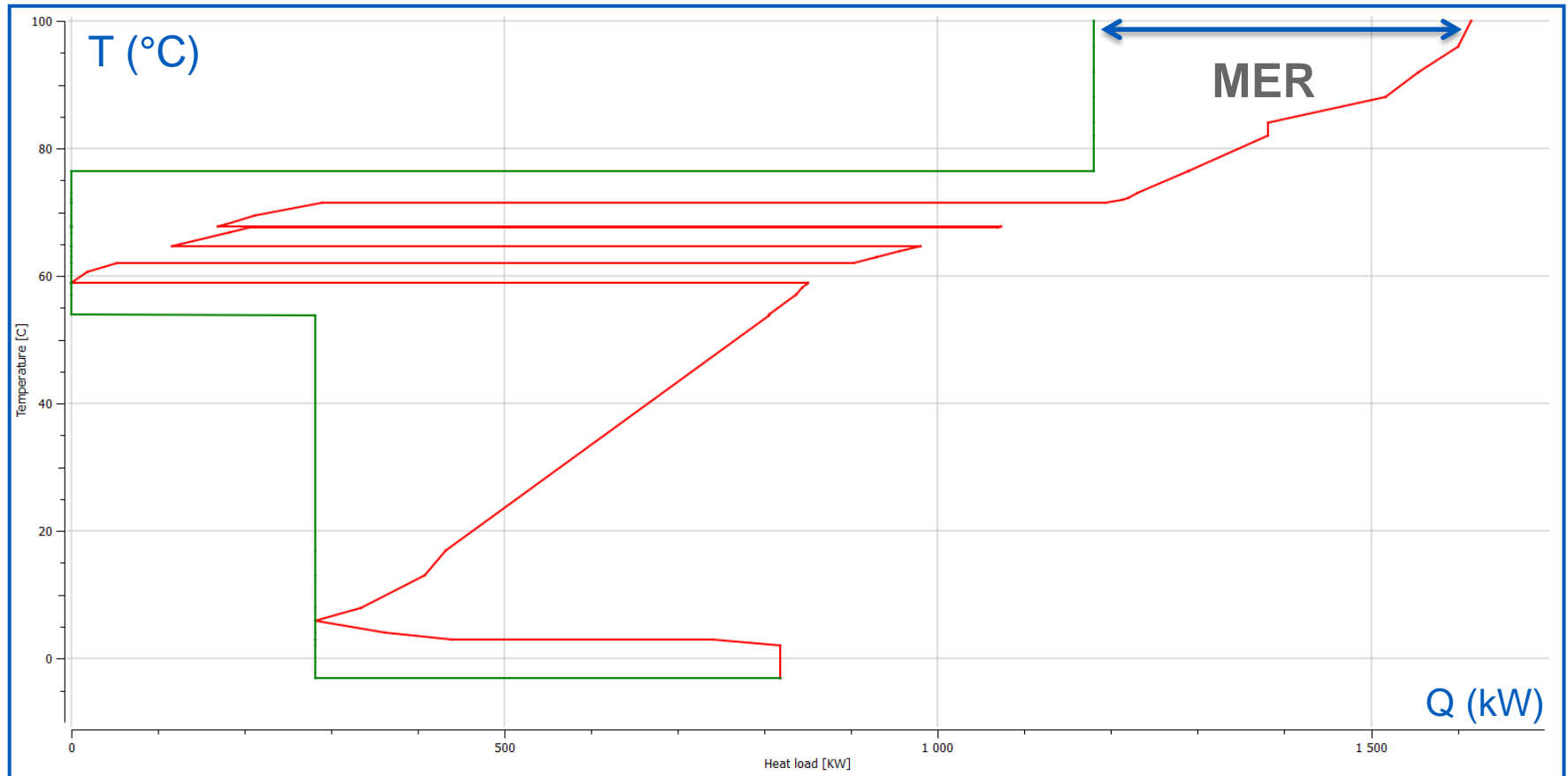
La fonction objectif est la somme de 3 termes :

- L'exergie nécessaire pour assurer les besoins de chaud résiduels (MER) à une température de flamme  $T_f$  (hypothèse défavorable);
- L'exergie nécessaire pour assurer les besoins de froid résiduels (MERCold) à partir d'un groupe froid (hypothèse défavorable);
- L'exergie correspondant à l'électricité consommée par les Pompes à Chaleur et les Groupes Froids et celle produite par les cycles de Rankine Organiques et les unités de cogénération

Le pré-dimensionnement des utilités vise à réduire les besoins en chaud et en froid moyennant un coût exergétique réduit.

# Présélection des utilités

Résultats : Procédé agro-alimentaire (2 PAC)



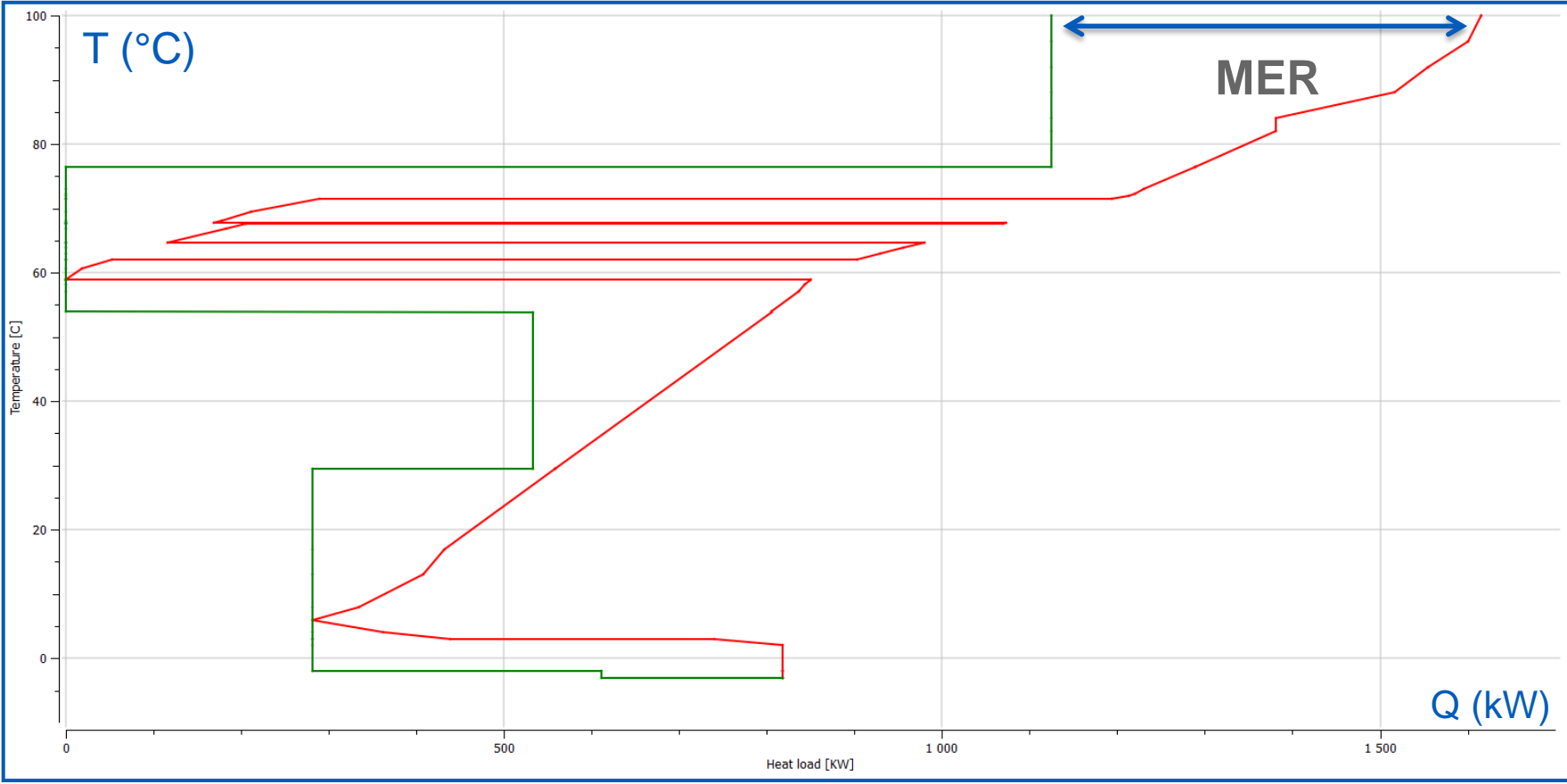
➡ Les pompes à chaleur sont adaptées aux changements de phase

➡ Faible COP pour la pompe à chaleur fonctionnant entre -2 et 76 °C



# Présélection des utilités

Résultats : Procédé agro-alimentaire (3 PAC)

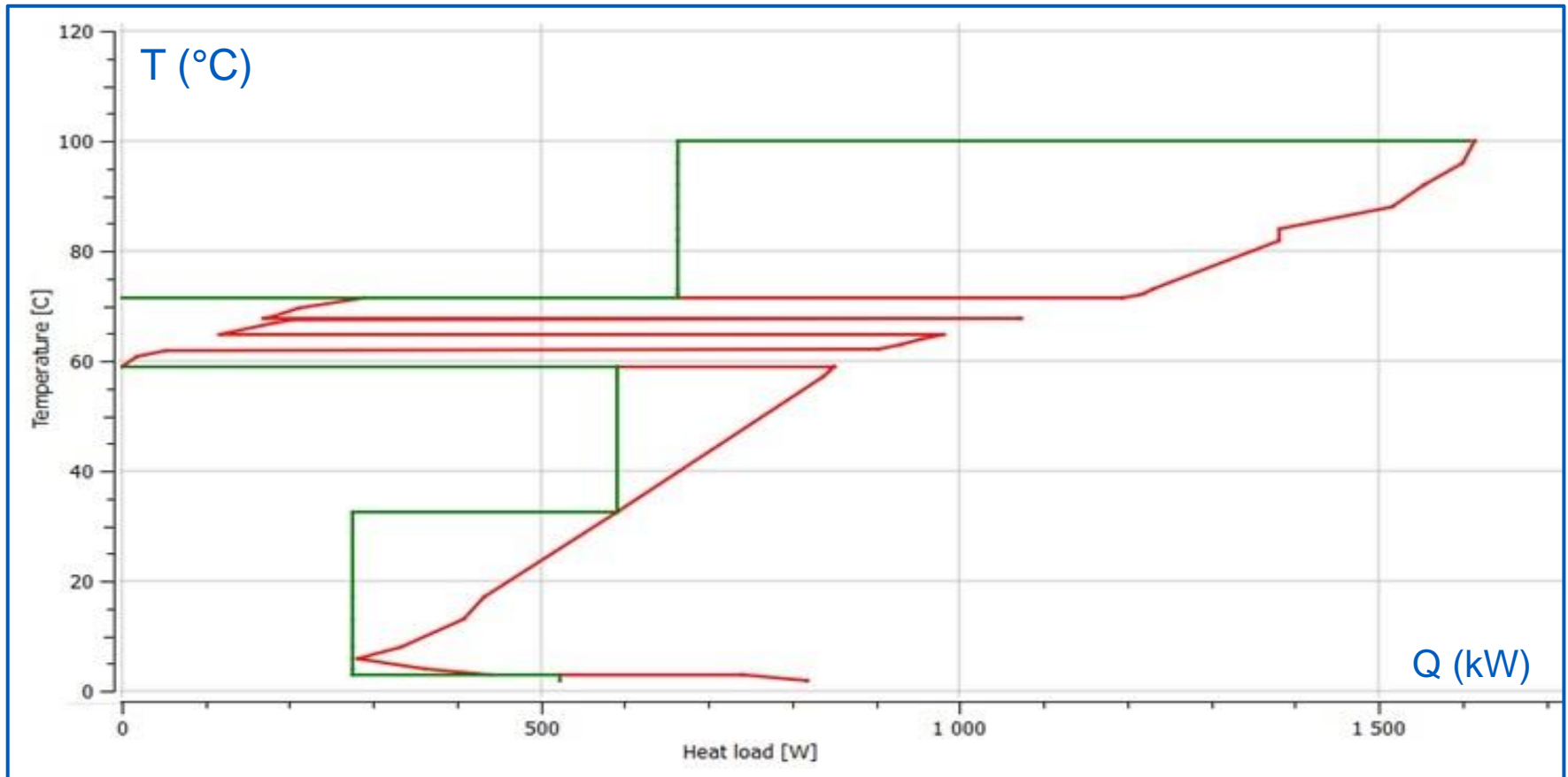


➡ Utilisation de la poche auto-suffisante pour booster la PAC 1 : 55/75°C

➡ Combien de pompes à chaleur pour atteindre l'optimum ?

# Présélection des utilités

Résultats : Procédé agro-alimentaire (2 PAC + Cogé)



➡ Suppression de la PAC à faible COP, remplacée par une cogénération

➡ Besoins de chaud OK, mais besoins de froid résiduels

# Présélection des utilités

Résultats : Procédé agro-alimentaire (2 PAC + Cogé)

## Récapitulatif des résultats

	2 PAC	3 PAC	2 PAC + Cogé
Exergie (kW)	645	563	544
Dont conso Elec (kW)	362	255	-469 (production)
COP des PAC	2.6 9.3	2.6 4.9 9.3	4.9 9.3

Les pompes à chaleur constituent une solution de référence du fait de leur utilisation en ThermoFrigoPompe

Le couplage de ces TFP avec d'autres utilités pour compléter les besoins et/ou produire de l'électricité modifie leurs caractéristiques

# Présélection des utilités

## Conclusions et Perspectives

Le module de présélection vise à faciliter le positionnement et le dimensionnement de divers types d'utilités

Les solutions proposées sont les plus efficaces énergétiquement pour les combinaisons d'utilités demandées

L'aspect économique des utilités est pris en compte à l'étape suivante : la conception du réseau d'échangeurs de chaleur

# Merci de votre attention

