

MÉTHODES D'ANALYSE SYSTÉMIQUE POUR L'AMÉLIORATION DE L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE DES SITES INDUSTRIELS

Webinaire de restitution d'étude ALLICE



Quelques informations pratiques

- Merci de couper vos micros et caméras
- Une session de questions-réponses est prévue après chaque intervention. Pour participer :
 - Utilisez le chat écrit
 - Précisez dans le chat si vous souhaitez intervenir à l'oral
- Les présentations seront disponibles sur l'extranet ALLICE sous quelques jours.
- Contactez le 06.19.36.09.81 en cas de souci technique.



Bon visionnage !

Sommaire

- **Restitution de l'état de l'art ALLICE #31 :**
Méthodes d'analyse systémique pour l'amélioration de l'efficacité énergétique des sites industriels
- **Présentations :**
 - Contexte de l'étude – *Planet Decarb*
 - Objectifs et phases de l'analyse systémique – *Planet Decarb*
 - Données et diagnostic énergétique – *Planet Decarb*
 - Méthodes de synthèse d'un réseau d'échangeurs – *Planet Decarb*
 - Une intégration énergétique réussie : comment ? – *Raphaële Hétreux*
 - Outils et acteurs principaux – *Planet Decarb*
 - Présentation de l'outil Simulis Pinch – *ProSim*
 - Retour d'expériences – *Planet Decarb*
 - Recommandations – *Planet Decarb*



Ahmed Bensafi
Planet Decarb



Raphaële Hétreux
LGC– Toulouse INP
ENSIACET



Quentin Duval
Fives ProSim

Contexte et Introduction de l'étude

Contexte et introduction

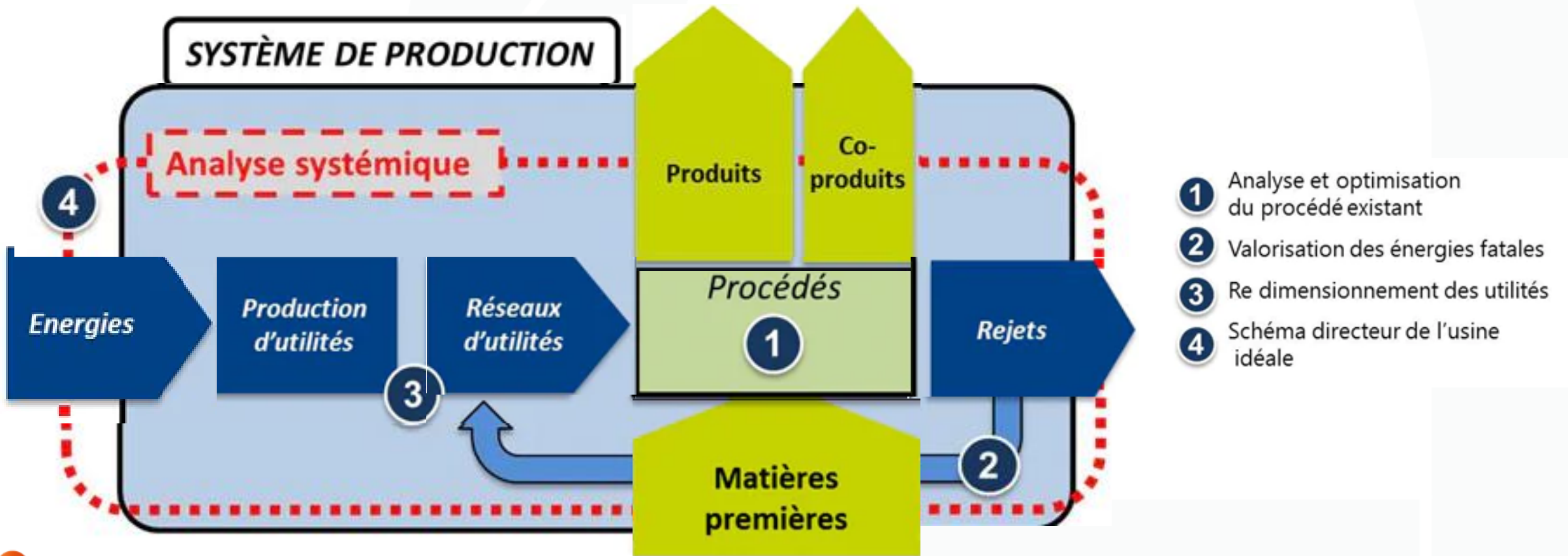
- Amélioration de l'efficacité énergétique : Etudes ALLICE

Année	Sujet	Etude
2019	Production de froid	Technologies avancées et alternatives
2020	Financement des projets	Couverture des risques de financement de projets
2021	Production de froid	Froid performant dans l'industrie
2021	Compression de vapeur	Pompes à chaleur hautes températures
2022	Récupération de chaleur	Récupération de chaleur à très hautes températures
2022	Moteur thermique	Panorama technologies de conversion
2022	Mise en œuvre projets	Chaleur fatale : potentiel de déploiement des projets
2023	Récupération de chaleur	Cogénération et trigénération

Contexte et introduction

Généralement, un site industriel/procédé comprend des fluides chauds à refroidir et de fluides froids à réchauffer => Besoins d'Utilités.

L'analyse systémique diminue la consommation globale en favorisant les échanges thermiques entre ces effluents.



Contexte et introduction

- Cette étude s'est focalisée sur :
 - Le déroulement d'une analyse systémique pour l'intégration énergétique d'un site industriel
 - Les fondements théoriques et la mise en œuvre de la méthode « pinch »
 - Un benchmark des outils disponibles
 - Quelques exemples de retours d'expérience de mise en œuvre de la méthode

Objectifs et phases

Objectifs d'une analyse systémique



- L'objectif premier est de réduire la consommation énergétique d'un site industriel (existant ou à concevoir), avec la réduction des émissions de carbone associées à cette consommation par « **Intégration énergétique** ».
- L'étude doit donc répondre aux questions suivantes:
 - Quels sont les **besoins d'énergies minimaux nécessaires** pour un procédé optimisé ?
 - Où se situe l'**optimum économique** entre coûts d'**investissement** et coûts de l'**énergie** ?
 - Avec quelles **mesures pratiques** les valeurs-cibles énergétiques peuvent-elles être atteintes ?
 - Quel **système** de fourniture d'énergies est optimal pour l'ensemble du système (chaudière, cogénération, pompe à chaleur) ? Quels niveaux de températures pour ces Utilités ?
 - Comment la fourniture d'énergies s'**intègre**-telle au système ?

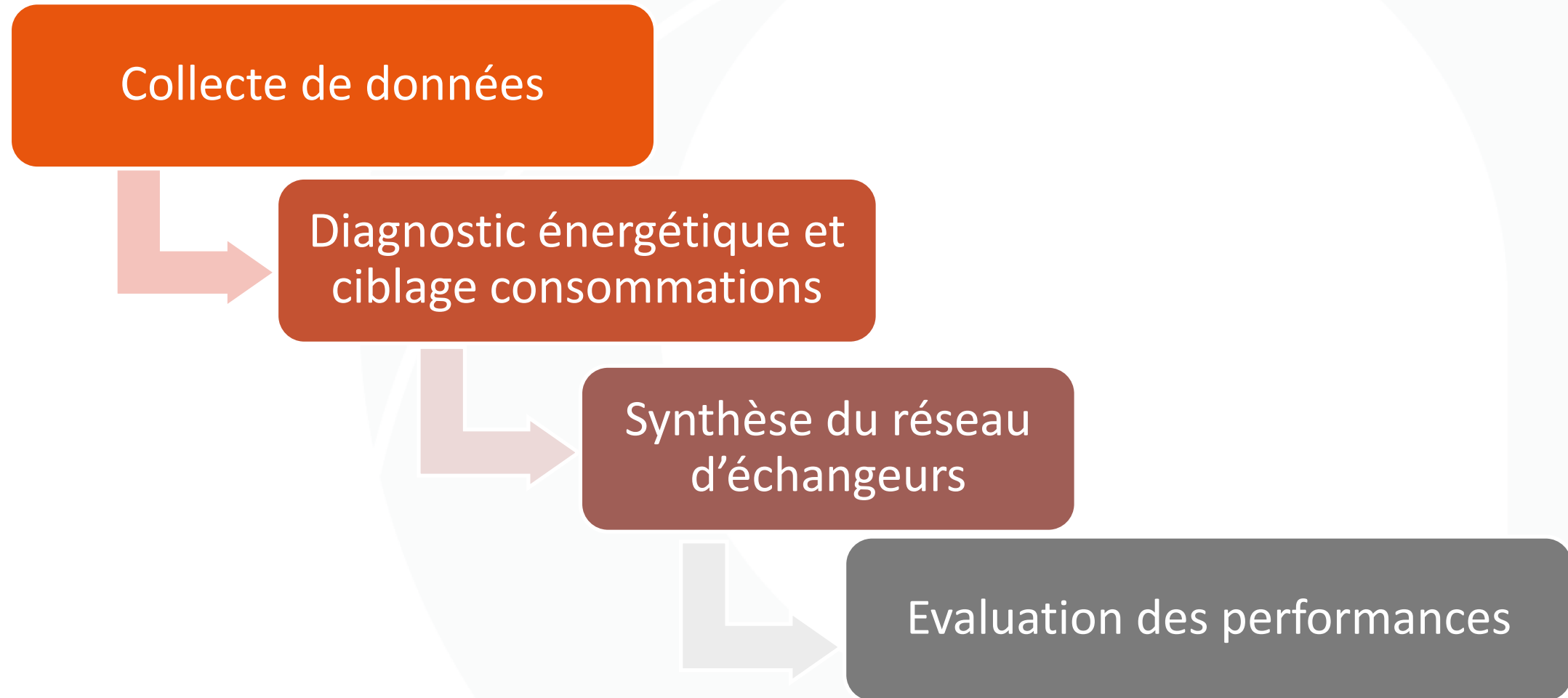
Objectifs d'une analyse systémique : **en phase conception**

- Identifier les échangeurs thermiques entre les flux chauds et froids pour satisfaire les spécifications du procédé ; réseau d'échangeurs = HEN (*Heat Exchanger Network*)
- Optimiser ce réseau afin de minimiser une « fonction objectif » fixée par l'exploitant comme par exemple :
 - la consommation d'énergie des utilités du site et son coût d'exploitation associé (OPEX),
 - un coût d'investissement (CAPEX)
 - un coût global d'exploitation incluant CAPEX et OPEX annualisés (ramenés au temps ou à une unité de production)
- Satisfaire aux contraintes directes et indirectes posées par le procédé et par la mise en œuvre du réseau d'échangeurs conçus.

Objectifs d'une analyse systémique : remodelage de l'existant

- Identifier les modifications à apporter au réseau d'échangeurs thermiques existant pour (au moins) satisfaire aux spécifications du procédé ; cela peut induire l'élimination de certains échangeurs, la réutilisation d'une partie des échangeurs existants et/ou l'installation de nouveaux échangeurs
- Optimiser le nouveau réseau afin de diminuer la consommation d'énergie des utilités du site (OPEX), avec un coût d'investissement (CAPEX) minimal
- Satisfaire aux contraintes directes et indirectes posées par le procédé et par la mise en œuvre du réseau d'échangeurs conçus

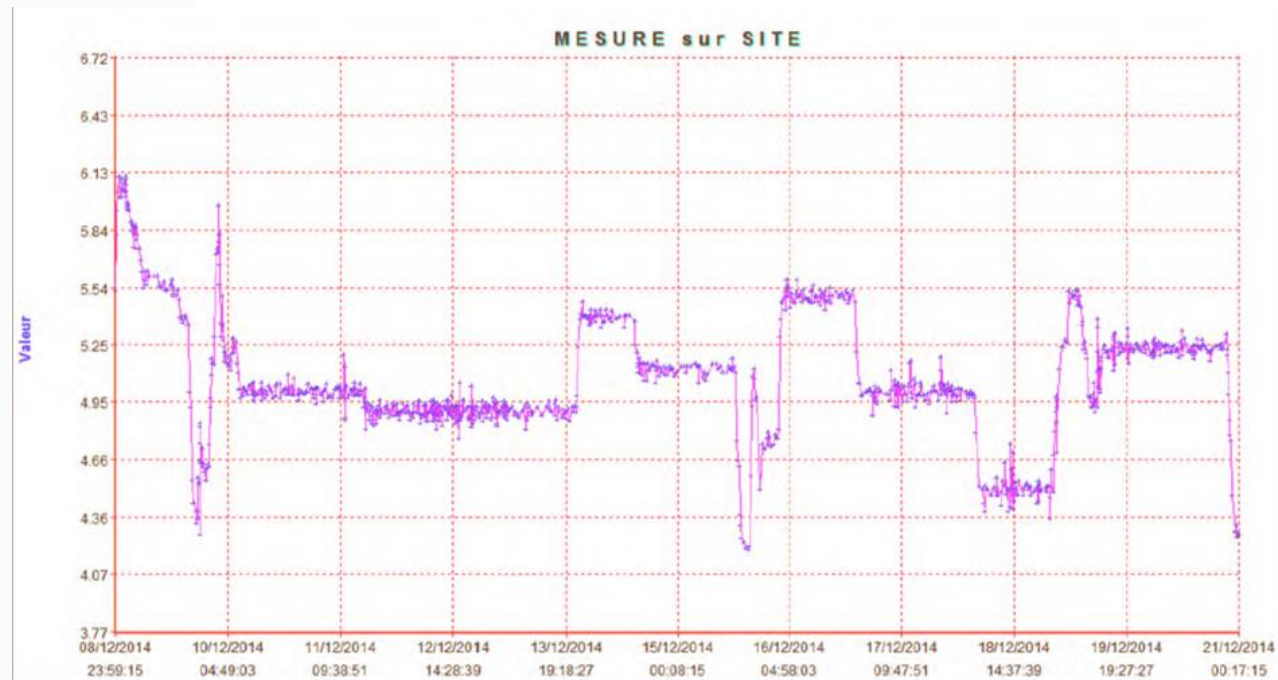
Séquences d'une analyse systémique



Collecte et traitement de données

Collecte de données : grande influence sur les résultats

- Nouveau procédé : données spécifications ou résultats de simulation
- Remodelage d'un réseau existant :
 - Utilisation des valeurs « nominales »
 - Déduites de mesures sur site : nécessitent souvent un traitement approprié



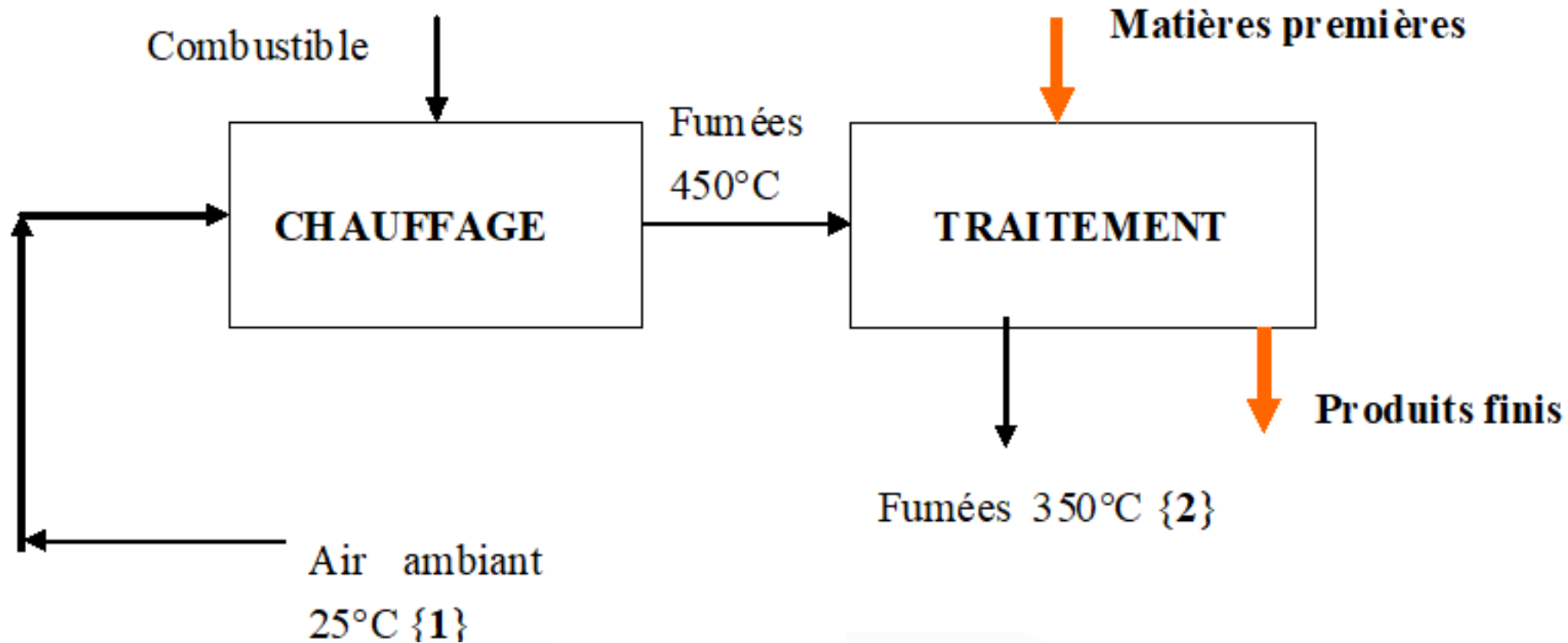
Diagnostic et cible de consommation

Objectifs de la phase d'audit

- **Le diagnostic doit répondre à ces questions :**
 - Dans le cas d'un procédé nominal, quelle est la **consommation courante** du procédé (aussi appelée « consommation nominale ») ?
 - Quelle serait la **consommation** d'un procédé qui ne ferait l'objet **d'aucune récupération** énergétique (aussi appelée « consommation maximale »). La différence entre ces deux valeurs permet d'évaluer la qualité de la solution de récupération actuelle
 - Quelle pourrait être la **consommation minimale** après intégration énergétique ? La différence entre la consommation nominale et la consommation minimale permet ainsi d'évaluer la **marge de réduction** encore atteignable.

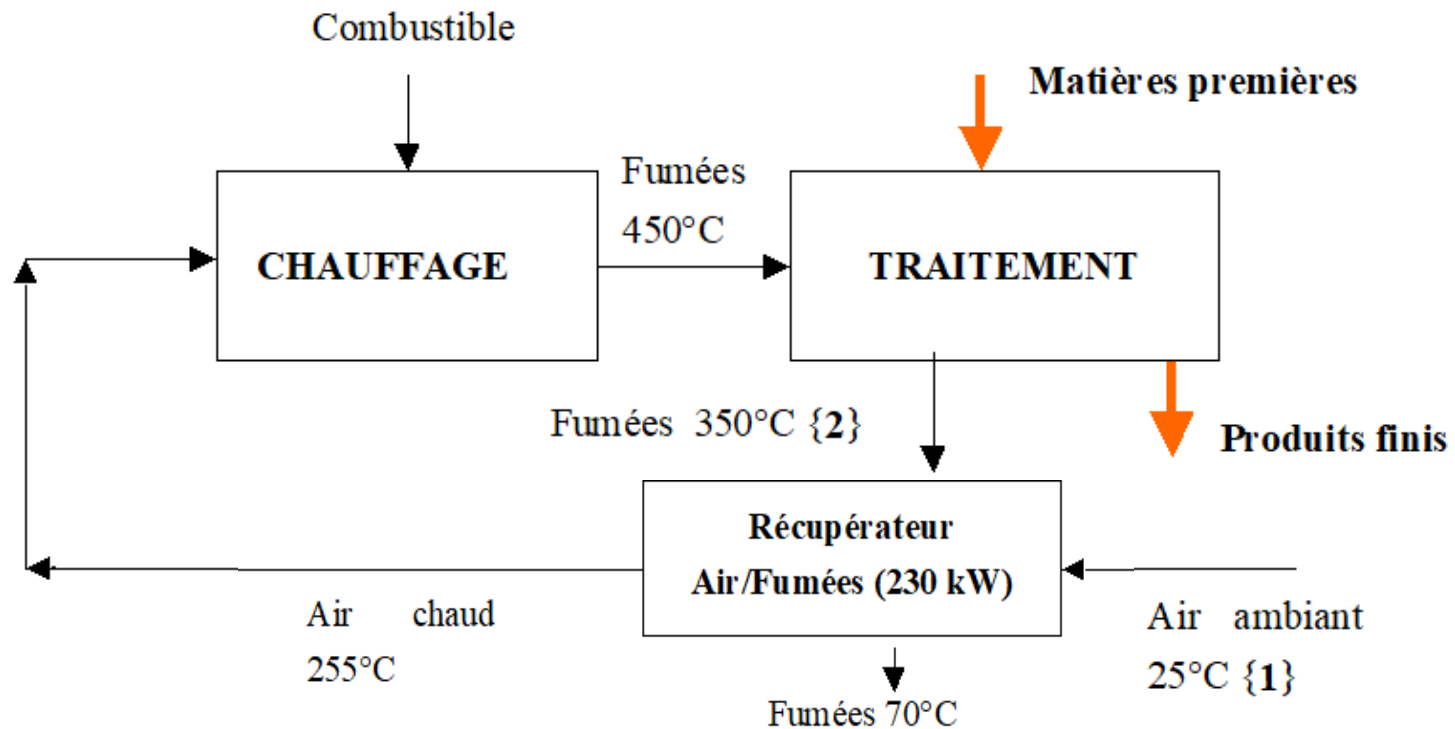
Phase de diagnostic : consommation minimale d'énergie

- Exemple avant « intégration » : **425 kW chauffage**



Phase de diagnostic : consommation minimale d'énergie

- Exemple après « intégration » (combustion): **195 kW chauffage**



Contraintes :

- la technologie de l'appareil de chauffage sera adaptée, en particulier pour l'alimentation en air primaire, qui sera plus chaud.
- S'assurer que la température de rejet à 70°C ne cause pas d'effets adverses (condensation, acides, etc...)

- Cas simple, avec 1 effluent « chaud », et 1 effluent « froid »
- Question : quid des process avec beaucoup plus d'effluents ?

Consommation minimale requise : courbes composites

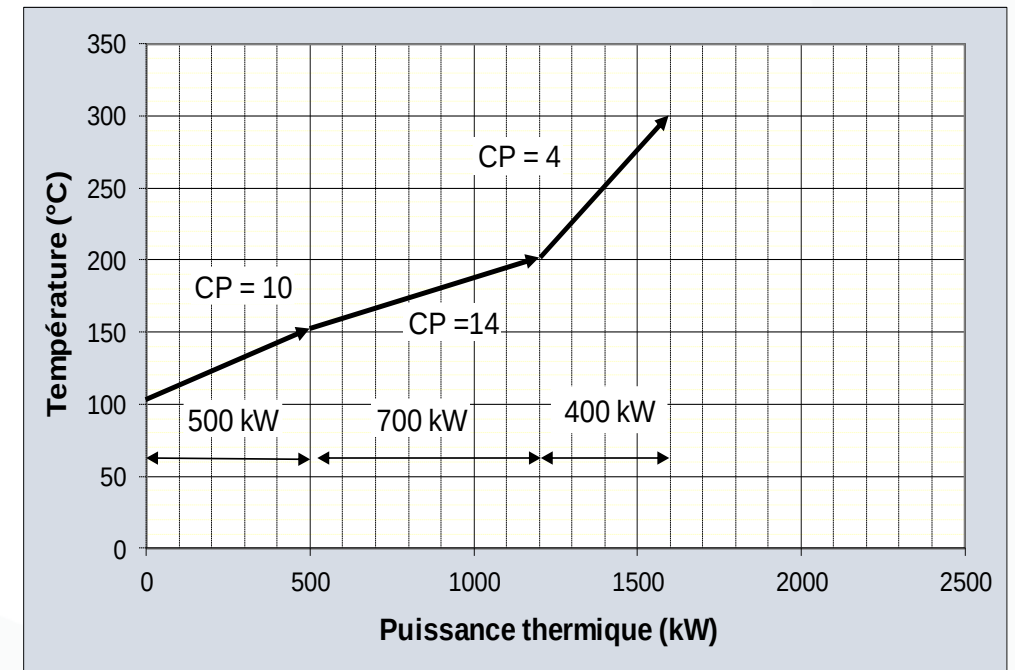
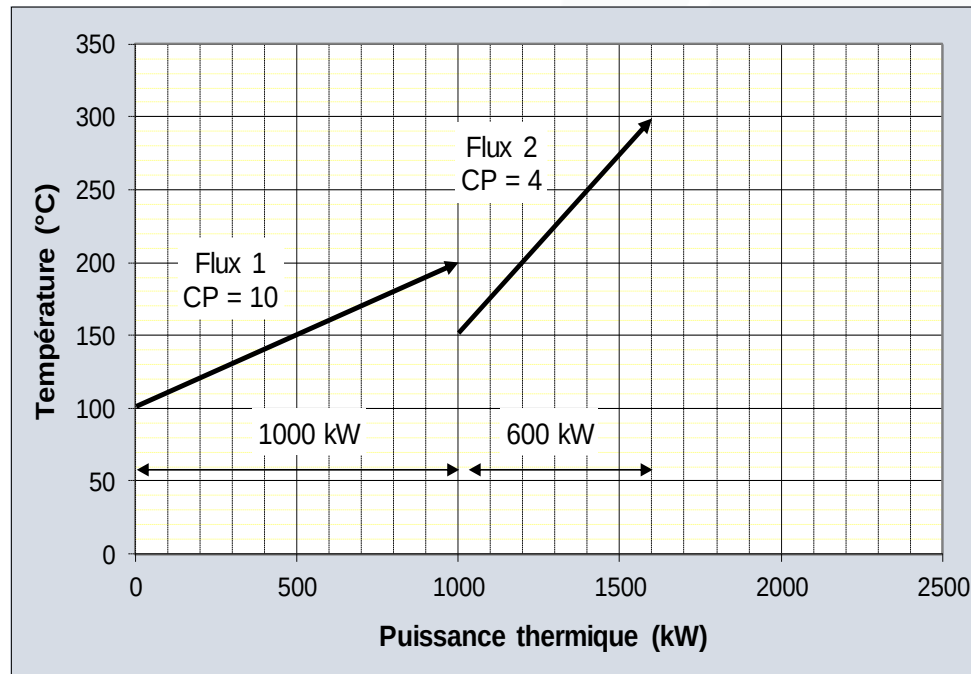
- Deux fluides froids à réchauffer

Données brutes : températures entrée/sortie et puissances

Flux	T entrée	T sortie	m	Cp	MC	DH
	°C	°C	kg/s	kJ/kg.K	kW/kg.K	kW
1	100	200	4	2,5	10	1000
2	150	300	2	2	4	600

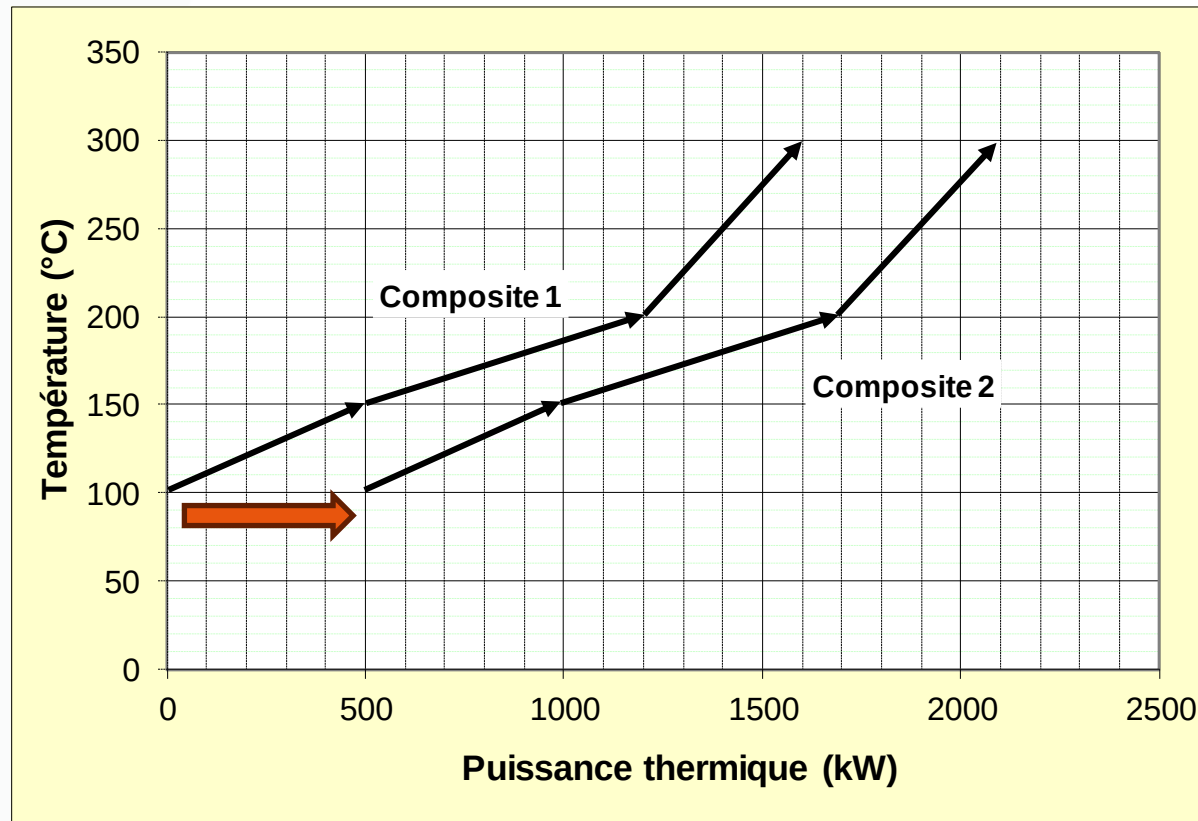
Données classées par intervalles de température

T 1	T 2	Flux	MC	DT	DH
°C	°C		kW/K	K	kW
100	150	1	10	50	500
150	200	1 + 2	10 + 4 = 14	50	700
200	300	2	4	100	400



Courbe composite : propriétés

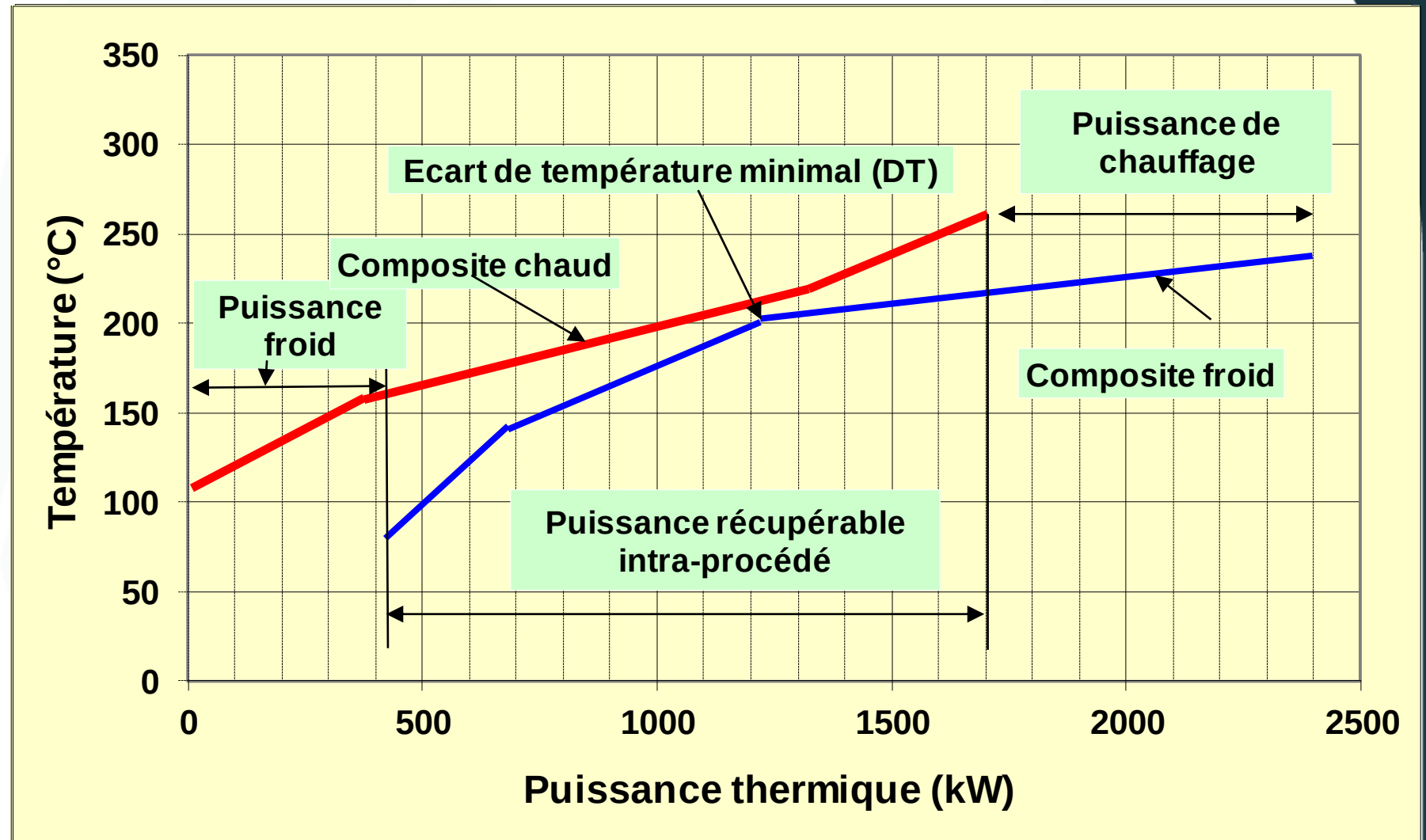
- La courbe composite indique la puissance thermique associée à un intervalle de température donné
- Une courbe composite peut être « glissée » sur le graphe
- Courbe composite 1 = Courbe composite 2 avec décalage



Composites chaude et froide :

Pour $\Delta T_{\min} = 0$:

- Température de pincement « Pinch »
- Puissances Chaud & Froid requises Minimales
- Puissance récupérable maximale



Optimisation d'un réseau d'échangeurs

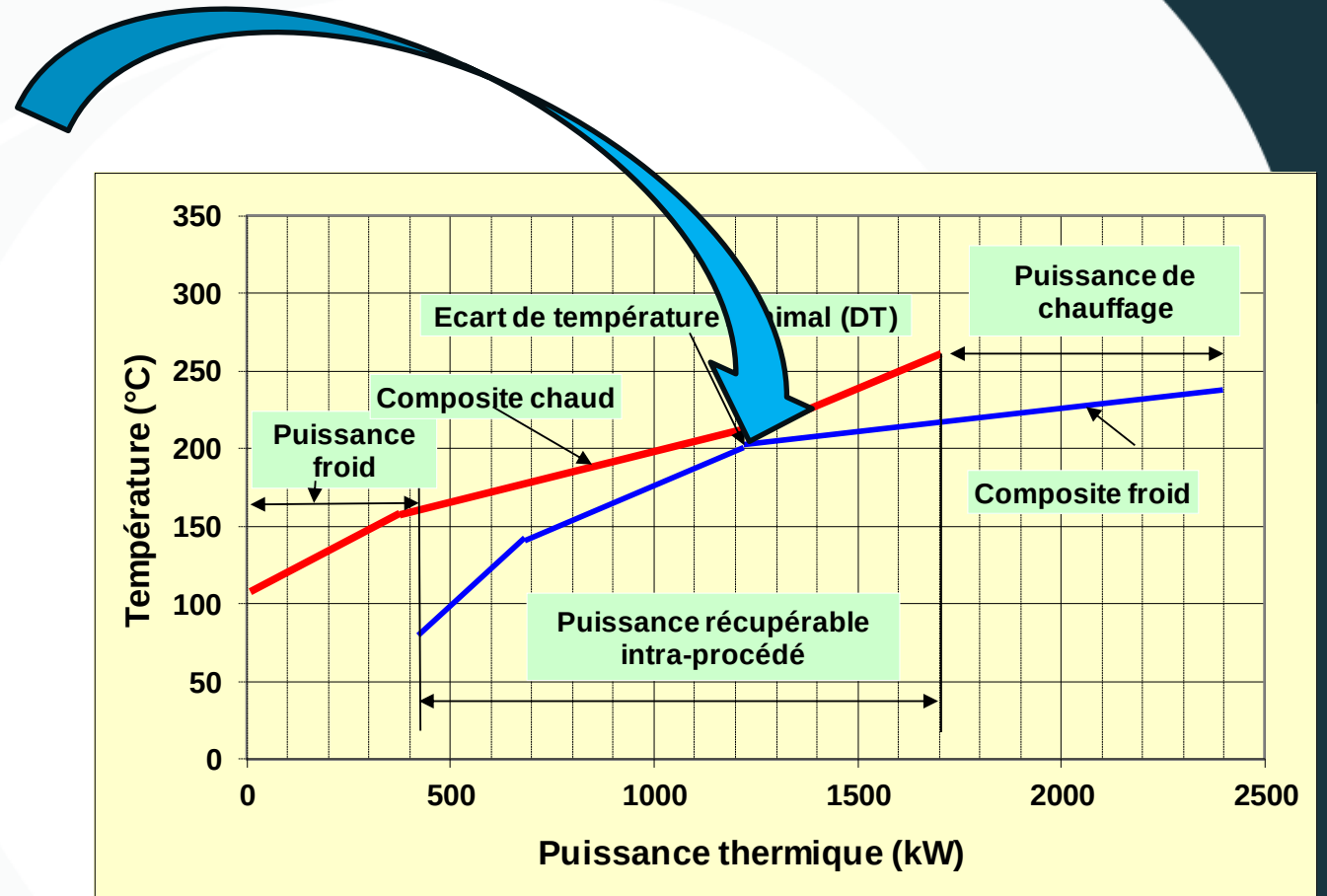
Méthodes de synthèse du réseau

Objectifs principaux:

- Identifier la configuration optimale du réseau d'échangeurs (placement, taille et type d'échangeurs pour maximiser l'efficacité énergétique).
- Gérer de manière efficace les niveaux de température dans le réseau pour optimiser les échanges thermiques et minimiser les besoins en énergie.
- Minimiser les coûts associés (CAPEX+OPEX).

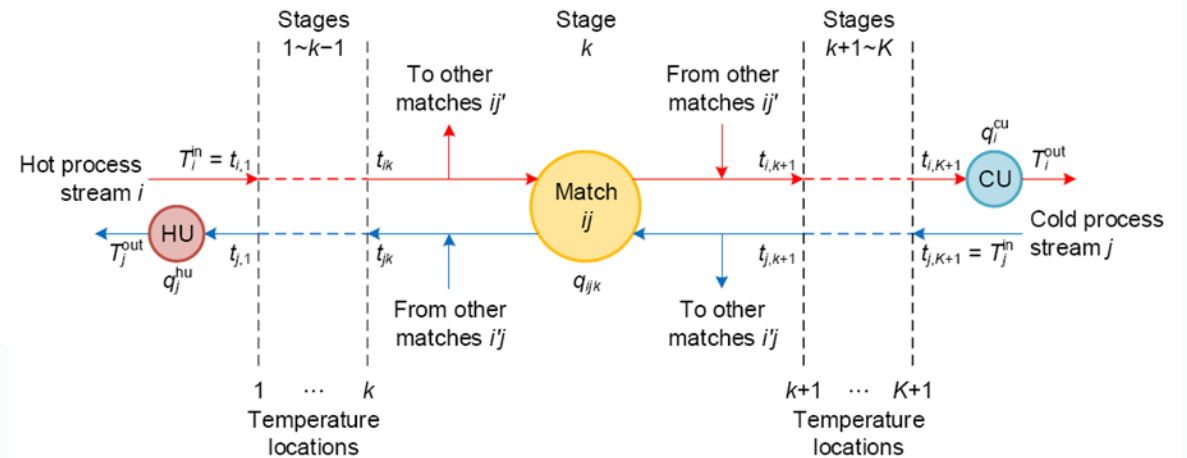
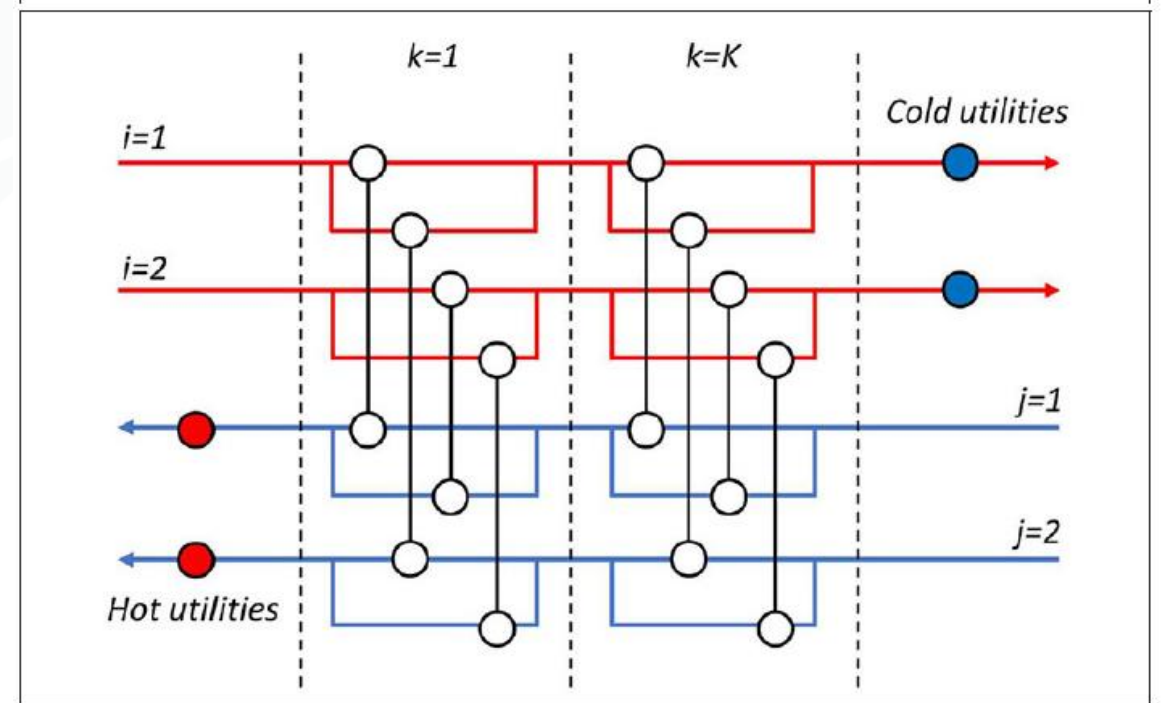
Trois types de méthodes :

- Mathématique
- Pinch
- Hybride (par exemple en utilisant l'optimisation exergétique)



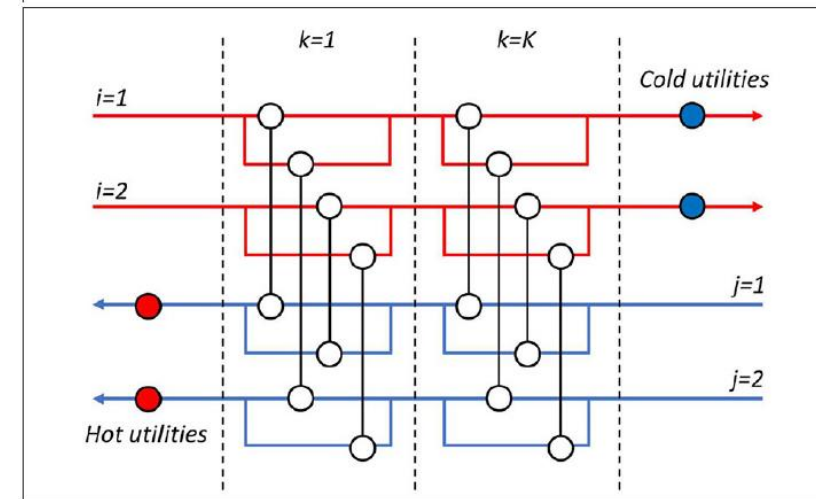
Méthode mathématique

- Domaine de température divisé étages/blocs
- Echangeur thermique est associé à un bloc donné entre chaque flux froid et chaud
- Température finale de chaque flux atteinte par chauffage/refroidissement
- « superstructure » soumise à formulation mathématique : bilans thermiques; bilans massiques, etc...
- Formulation des contraintes
- Optimisation de la fonction objective (en général le coût total d'exploitation incluant OPEX+CAPEX)
- Formulation linéaire => MILP
- Formulation non-linéaire => MINLP



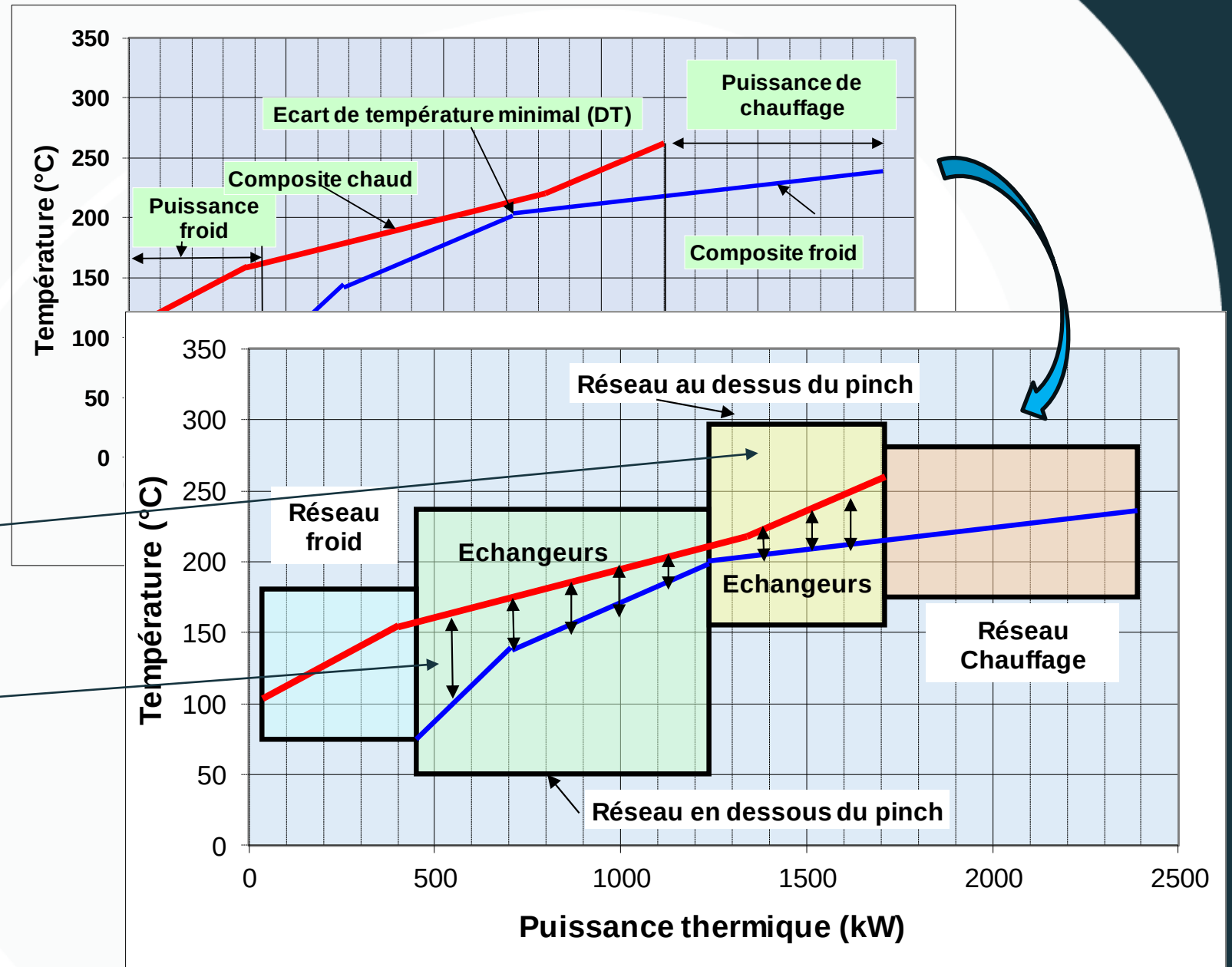
Méthode mathématique

- Analyse quantitative approfondie.
- Flexibilité pour modéliser des systèmes complexes.
- Complexité accrue avec la modélisation de systèmes très dynamiques.
- Nombre de « combinaisons » augmente exponentiellement avec nombre de flux du procédé.
- Nécessite une expertise mathématique avancée.
- etc..



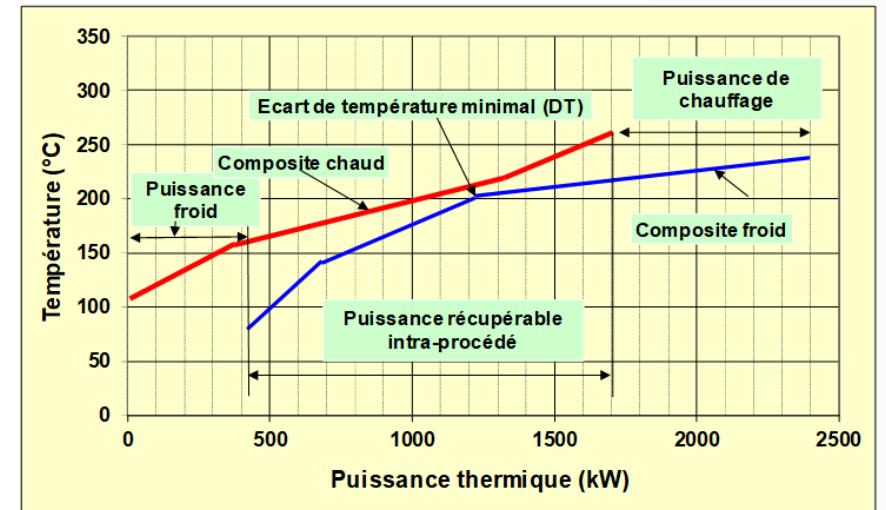
Méthode pinch (PDM)

- Utilise le « pinch » pour diviser le problème en 2 sous-problèmes;
- Un réseau d'échangeurs au-dessus du pinch
- Un réseau d'échangeurs en dessous du pinch



Méthode pinch (Voir détail dans Annexe A du rapport)

- Conception de deux sous-réseaux indépendants, suivant les trois principes fondamentaux de la PDM :
 - Principe 1 : Interdiction de transférer de la chaleur à travers le pinch
 - Principe 2 : Interdiction de chauffer (par une utilité) des courants en dessous du pinch
 - Principe 3 : Interdiction de refroidir (par une utilité) au-dessus du pinch
- Annexe A : voir comment identifier les correspondances (« match ») entre flux

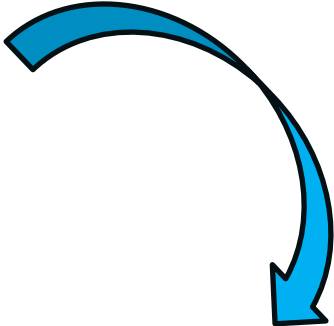
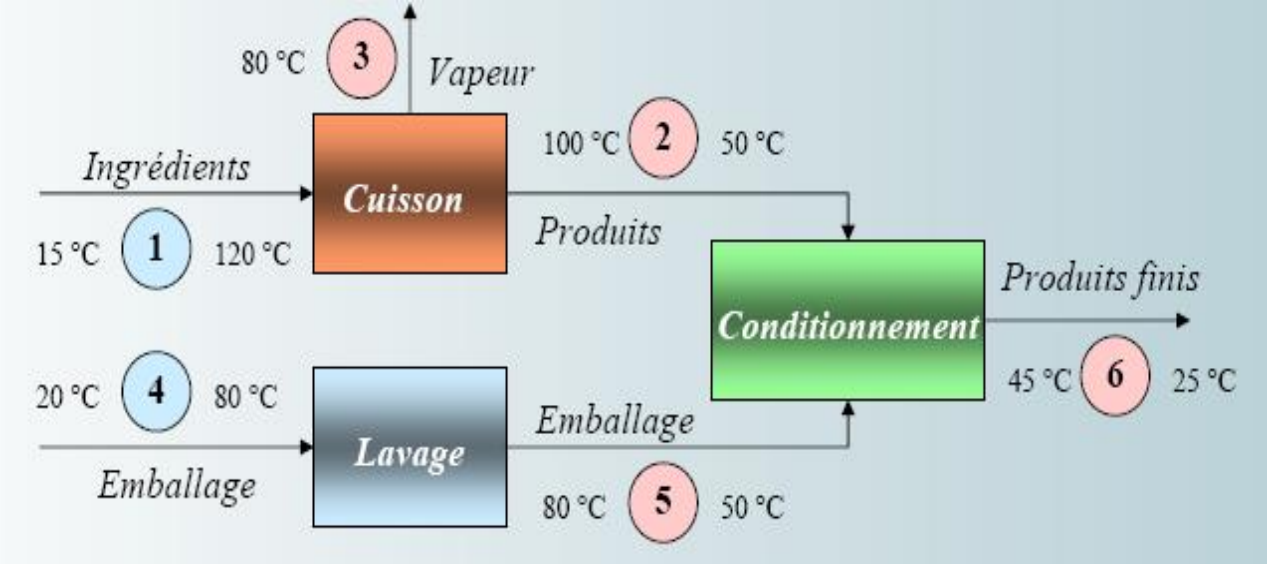


Méthode de résolution

- Fixer la valeur de $\Delta T_{\min}$ (expérience)
- Déterminer utilités chaude et froide minimales
- Déterminer température de pincement (pinch)
- Calculer et placer les échangeurs au-dessus du pinch
- Calculer et placer les échangeurs au-dessous du pinch
- Si nécessaire, optimiser le réseau, par :
 - Itérer sur la valeur de $\Delta T_{\min}$
 - Eliminer des échangeurs qui forment des boucles et des échangeurs de faible puissance
 - Etc

Exemple de design par la méthode pinch

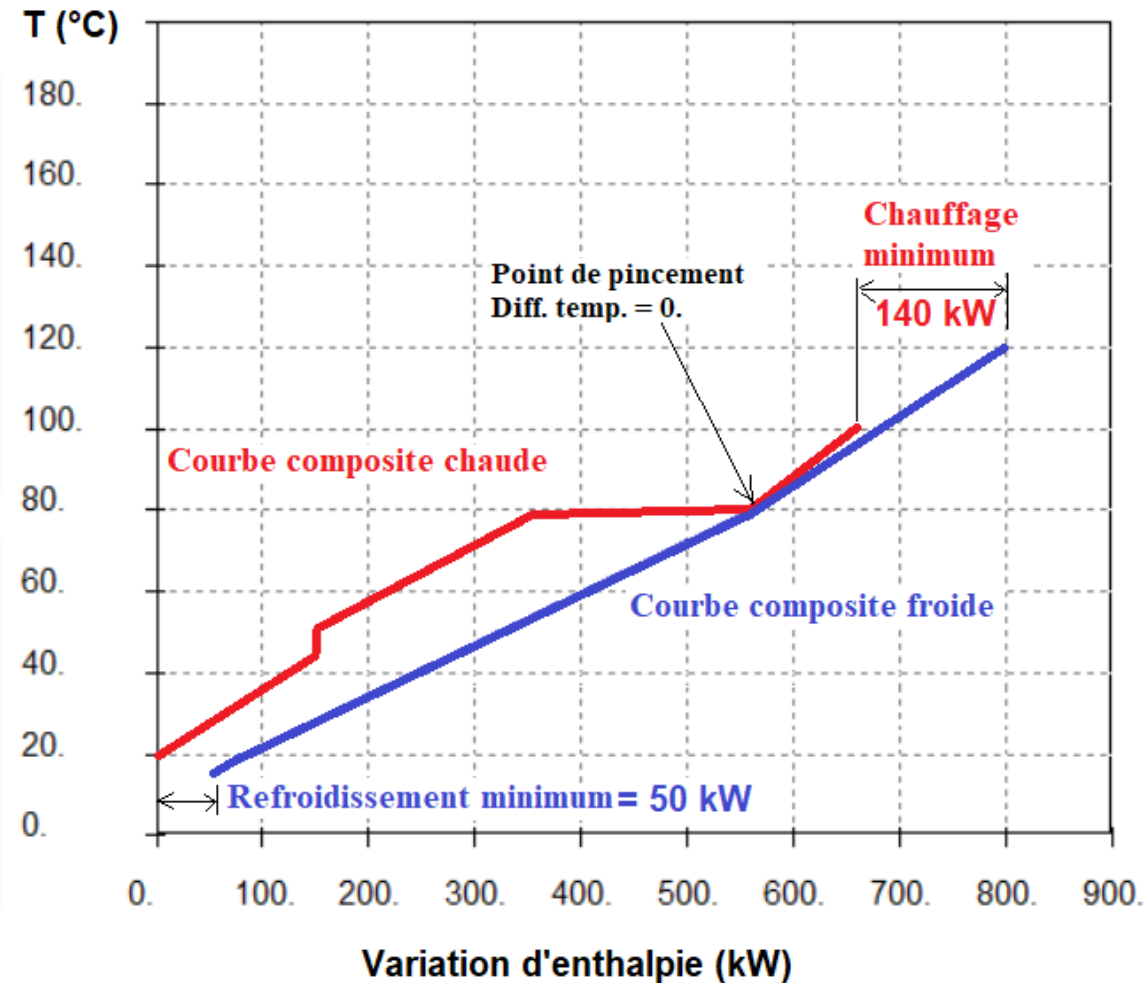
1. Spécifications procédé alimentaire



2. Données

Flux	Type	Tin (°C)	Tout (°C)	M*Cp (kW/°C)	P (kW)
1	Froid	15	120	6	630
2	Chaud	100	50	5	250
3	Chaud	80	79	200	200
4	Froid	20	80	2	120
5	Chaud	80	50	2	60
6	Chaud	45	20	6	150

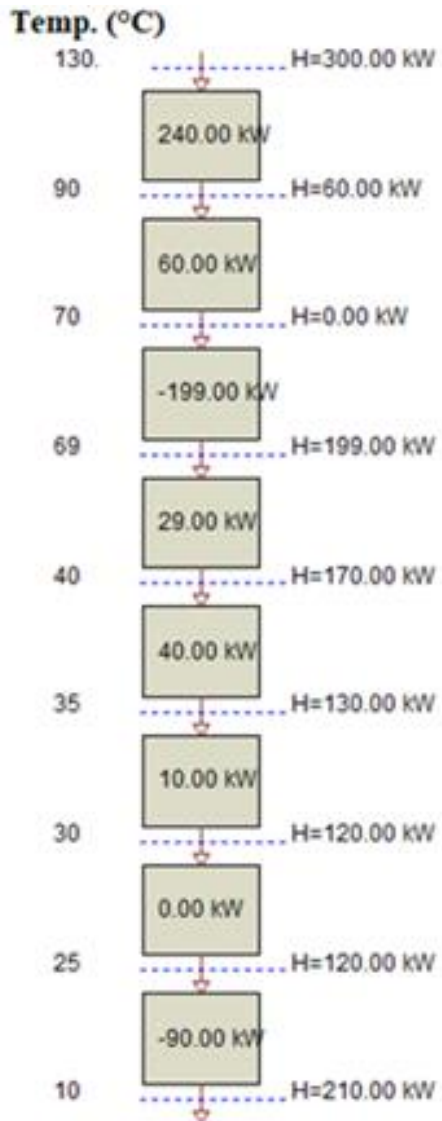
Exemple de design par la méthode pinch : courbes composites



3. Consommation minimale d'énergie ($\Delta T_{\min} = 0$)

Design par la méthode pinch : « Problem Table Algorithm »

Le PTA détermine la température de pinch sans tracer les courbes composites.



Temp °C	Streams	DT	H int.	H prop.
130				300.00 kW
90		40.00 K	240.00 kW	60.00 kW
70		20.00 K	60.00 kW	0.00 kW
69		1.00 K	-199.00 kW	199.00 kW
40		29.00 K	29.00 kW	170.00 kW
35		5.00 K	40.00 kW	130.00 kW
30		5.00 K	10.00 kW	120.00 kW
25		5.00 K	0.00 kW	120.00 kW
10		15.00 K	-90.00 kW	210.00 kW

Chauffage

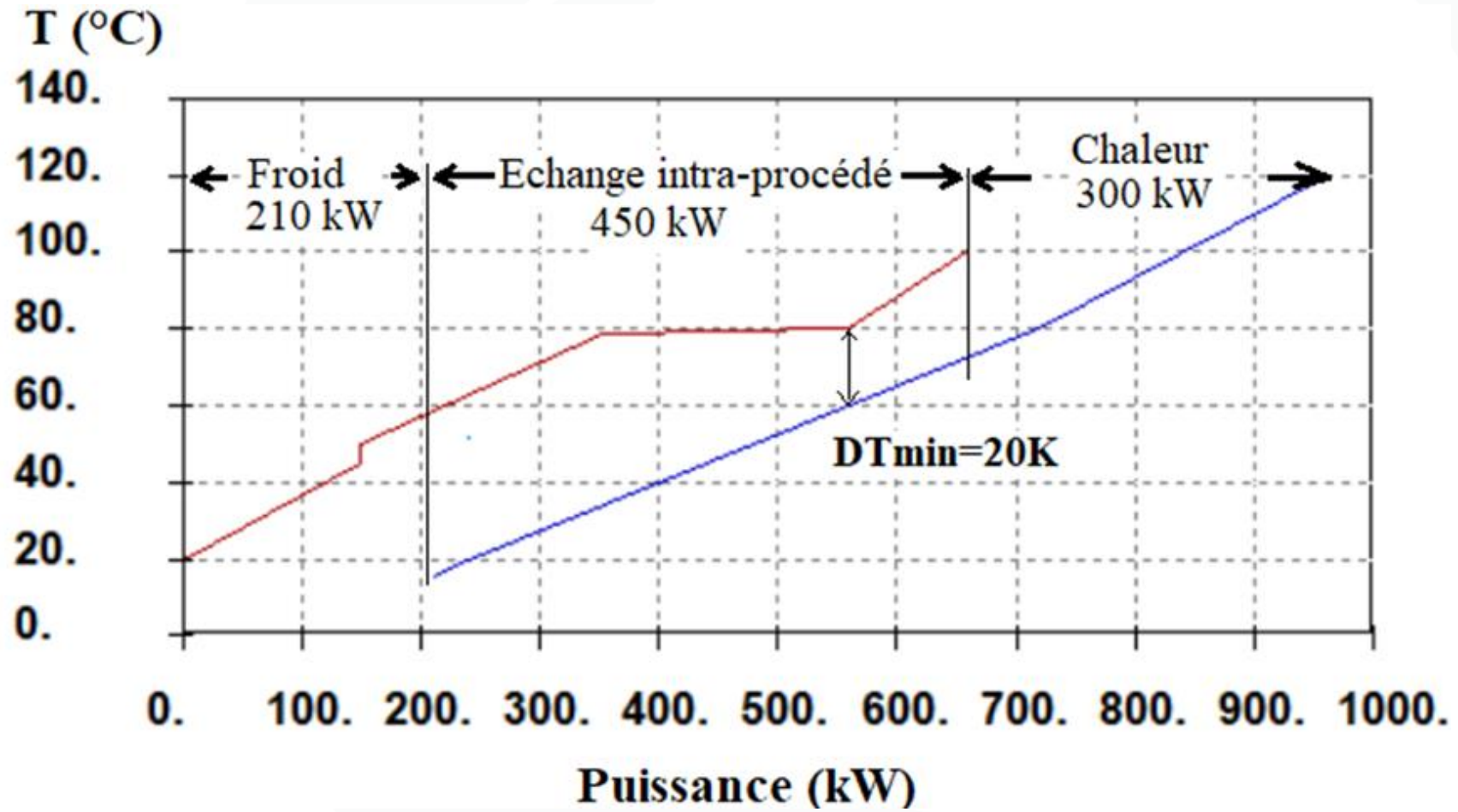
Q=0 à T = 70°C (pinch)

Refroidissement

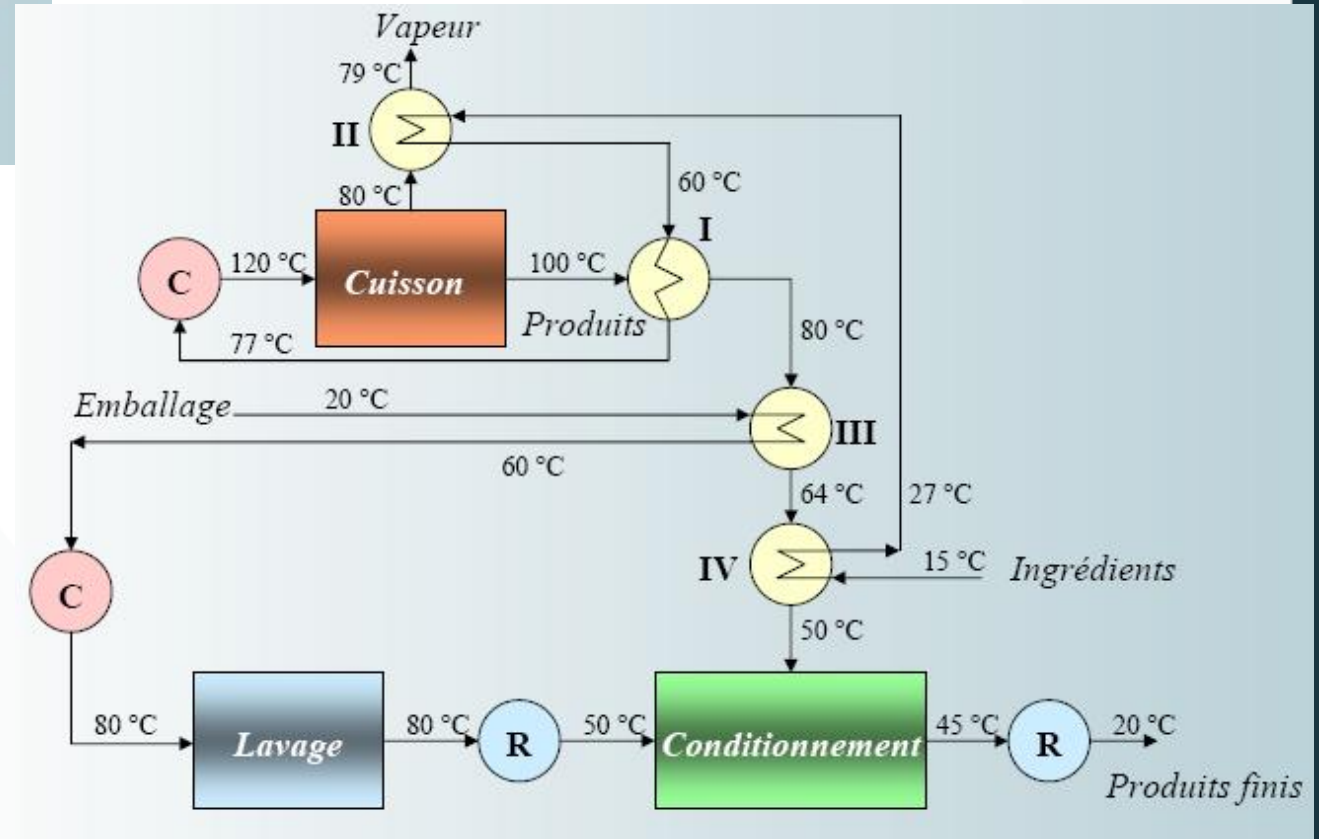
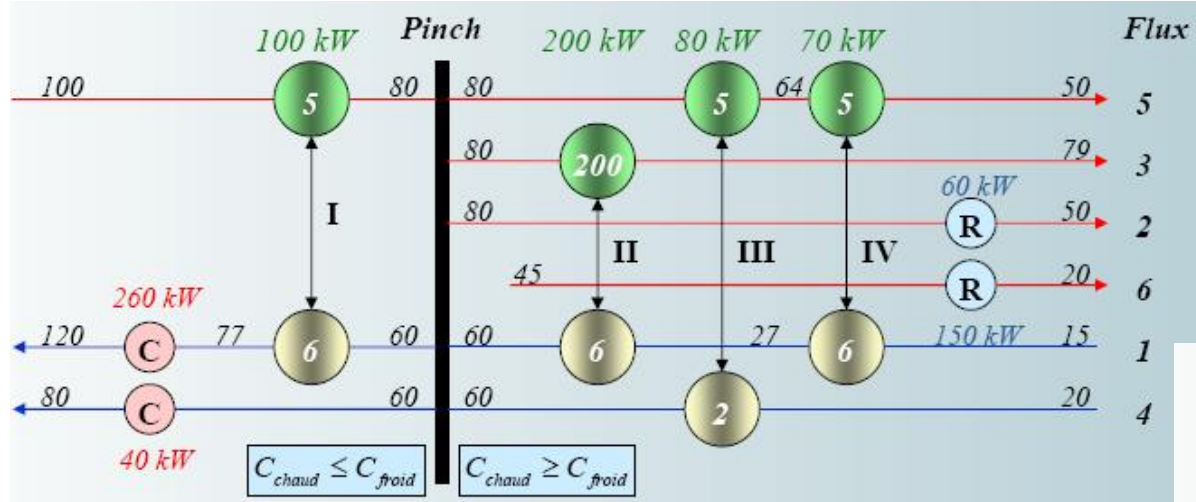
$\Delta T_{min} = 20\text{ K}$

4. Pinch et cibles de consommations énergétiques

Courbes composites pour l'exemple du procédé alimentaire



Réseau d'échangeurs ($\Delta T_{min}= 20$ K)



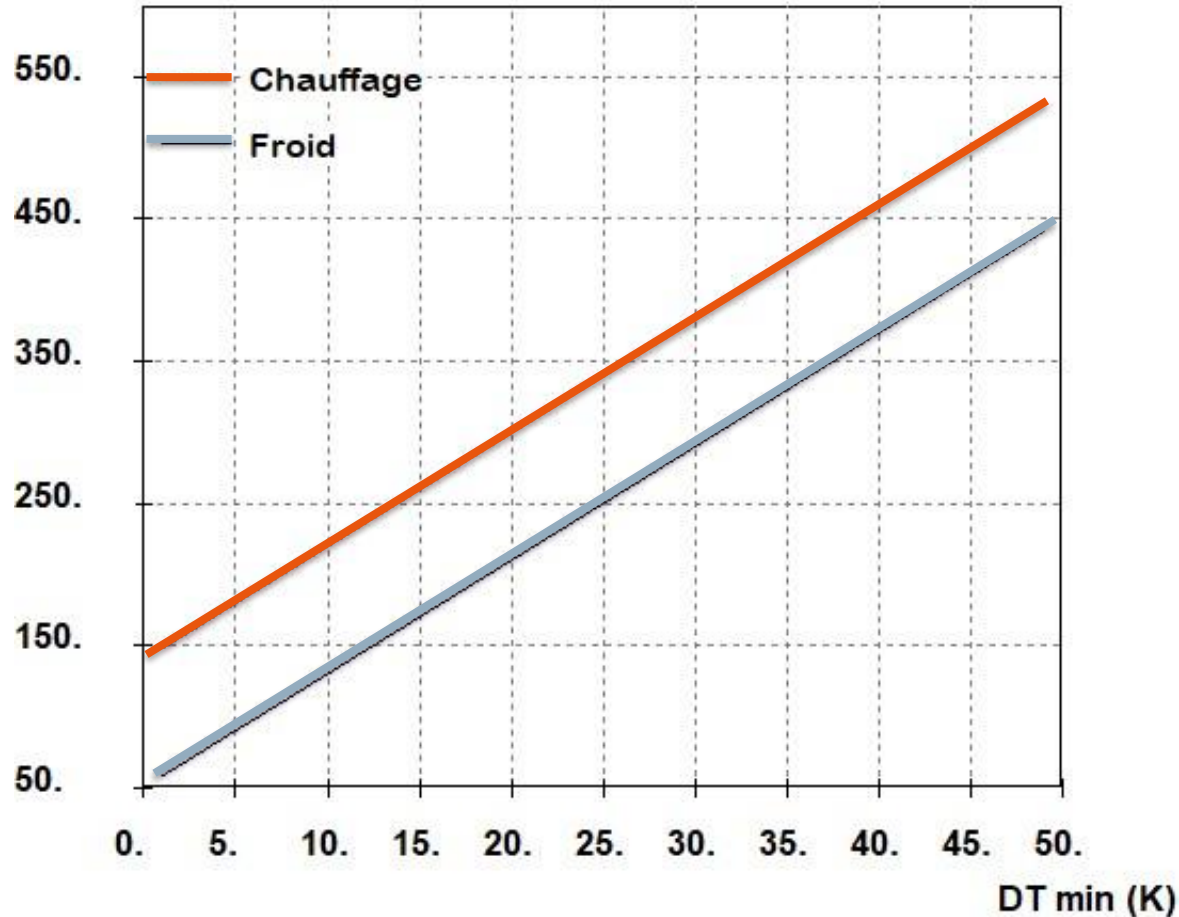
5. Synthèse réseau échangeurs

Synthèse procédé alimentaire ($\Delta T_{\min} = 20 \text{ K}$)

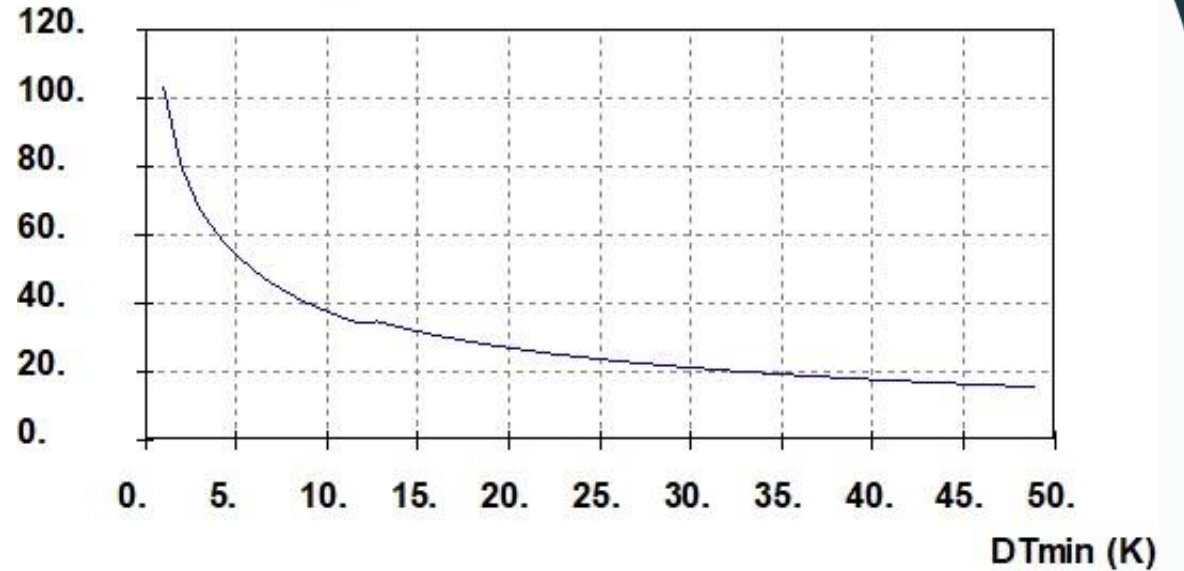
Besoins énergétiques	Avant intégration énergétique	Après intégration énergétique	Gains
Puissance frigorifique (kW)	660	210	450
Puissance calorifique (kW)	750	300	450
Puissance échangée intra-procédé (kW)	0	450	

Influence de la valeur du ΔT_{min}

Puissance (kW)



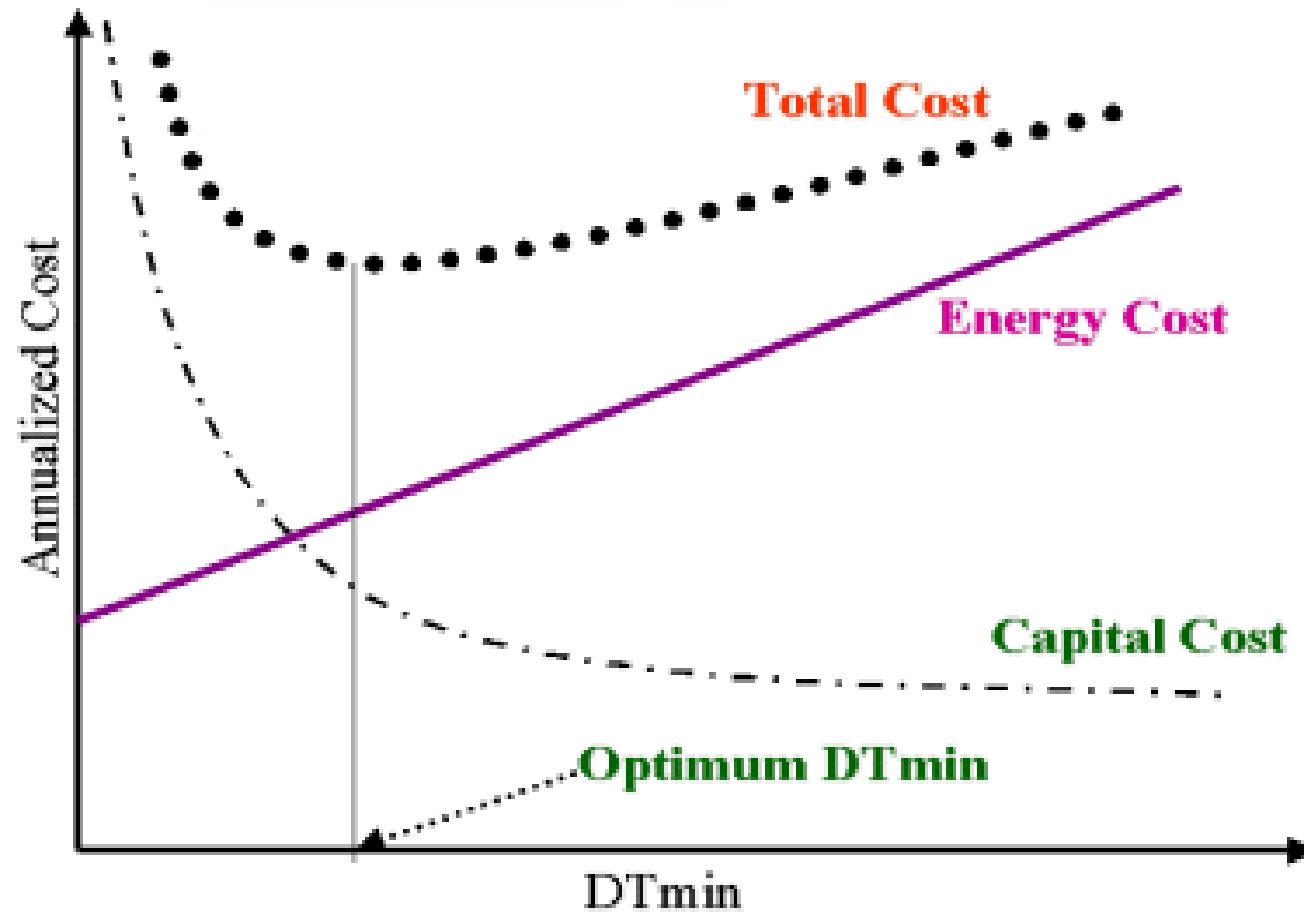
Surface d'échange (m²)



CAPEX : Surface d'échange vs. ΔT_{min}

OPEX : Energies requises vs. ΔT_{min}

Influence de la valeur du ΔT_{min}



[OPEX + CAPEX] vs. ΔT_{min}

Influence de la valeur du ΔT_{min}

Généralement

- ΔT_{min} plus élevée pour des courbes composites parallèles (pour réduire coûts)
- ΔT_{min} augmentée dans le cas de fluides encrassants ou de faibles coefficients de transfert de chaleur (30-40°C)
- Si échangeurs pour Utilités (vapeur ou eau de refroidissement), $\Delta T_{min} = 10-20^\circ\text{C}$

Secteur industriel	ΔT_{min} pratiquée	Observations
Raffinage	20-40 °C	Coefficients de transferts thermiques faibles, courbes composites parallèles fréquentes, prévoir encrassement des échangeurs thermiques
Pétrochimie	10-20 °C	Condenseurs et rebouilleurs avec coefficients d'échange thermique plus élevés, encrassement plus faible
Chimie	10-20 °C	idem pétrochimie
Procédés basses température	3-5 °C	Demande élevée et coûteuse de puissance mécanique pour la réfrigération. A très basse température, la ΔT_{min} diminue.

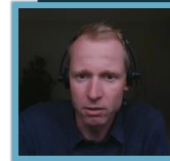


Une intégration énergétique réussie : comment ?

Regards Croisés industrie – laboratoire



Raphaële Hétreux, enseignante chercheuse
Toulouse – INP
Laboratoire de Génie Chimique



Peter Van Der Veken, VP technology and Engineering
VYNOVA Group

Analyse pincement dans l'industrie

Verrous scientifiques et techniques

UN CONSTAT ...



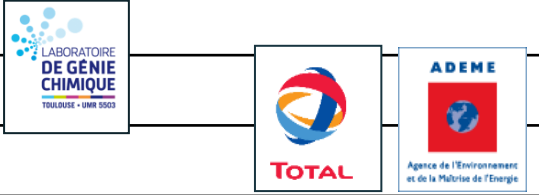
Malgré des gisements d'économies présents sur la plupart des installations en exploitation, le nombre de réalisations concrètes reste encore modeste ...



QUELQUES RAISONS INVOQUEES ...

- Aspects financiers (*investissements significatifs avec des ROI dépassant souvent les 6 mois*), ...
- Sur le plan pratique, les solutions obtenues qui ne tiennent pas compte :
 - ✓ De la **solution de récupération existante**
 - ✓ des **contraintes spécifiques** du site (distance, incompatibilité entre les fluides) car leur formulation a priori est non triviale,
 - ✓ De la **variabilité du procédé** : fluctuation des caractéristiques des courants, points de fonctionnement multiples, procédés batch induisant l'intermittence des courants
- Sur le plan méthodologique :
 - ✓ moins bonne maîtrise des ingénieurs procédés de la *Pinch technology* en contexte de *remodelage*,
 - ✓ **problème très combinatoire** qui nécessite la mise en œuvre de méthodologies spécifiques pour obtenir des solutions viables,

Le projet RREFlex

Acronyme	RREFlex		
Nature	8 ^{ème} AMI « <i>Efficacité Energétique dans l'industrie</i> »		
Porteur	Laboratoire de Génie Chimique, UMR CNRS 5503		
Durée et budget	38 mois (Octobre 2015 –Juillet 2019) , 807 k€		

Accompagnement
Financier et scientifique



Etudes de cas



Méthodologie
Prototype logiciel



Collectes de données
IHM de sortie

- **Méthodologie** de diagnostic énergétique et de remodelage de réseaux d'échangeurs
- Respect des **contraintes de sites** (formulées initialement ou au cours du processus de décision)
-  Implémentation d'une preuve de concept (**démonstrateur logiciel**)

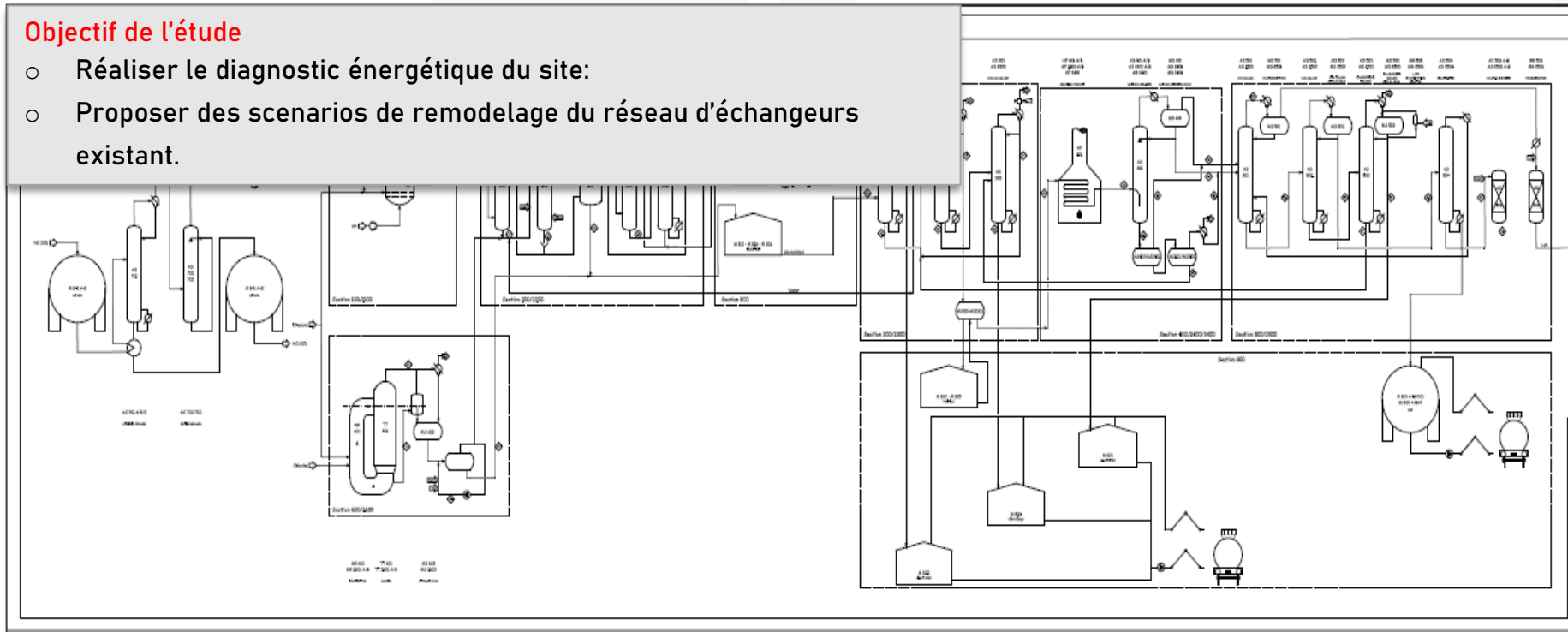


Un cas d'étude industriel

Le procédé MVC de Vynova Tessenderlo

Objectif de l'étude

- Réaliser le diagnostic énergétique du site:
- Proposer des scénarios de remodelage du réseau d'échangeurs existant.



The study was not the real trigger for the development of retrofit projects. But it was in fact more a confirmation that we were on the right track by having initiated already these projects

Pour le laboratoire, l'objectif était avant tout de confronter les méthodologies et outils à la réalité industrielle afin de les faire évoluer



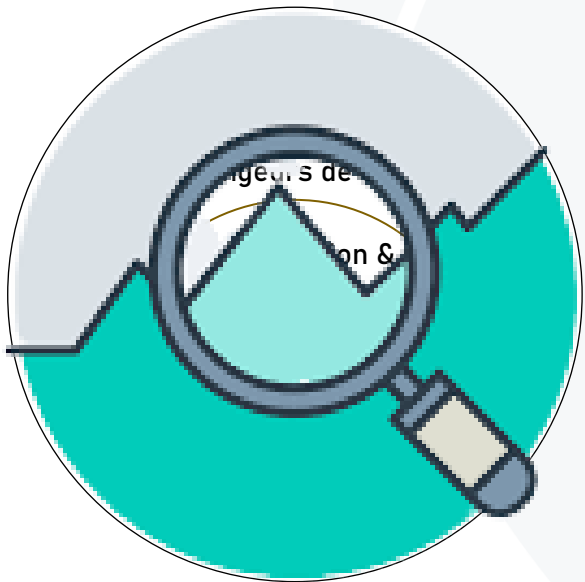
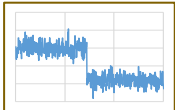
Etape 1 : la collecte de données

Etape 1

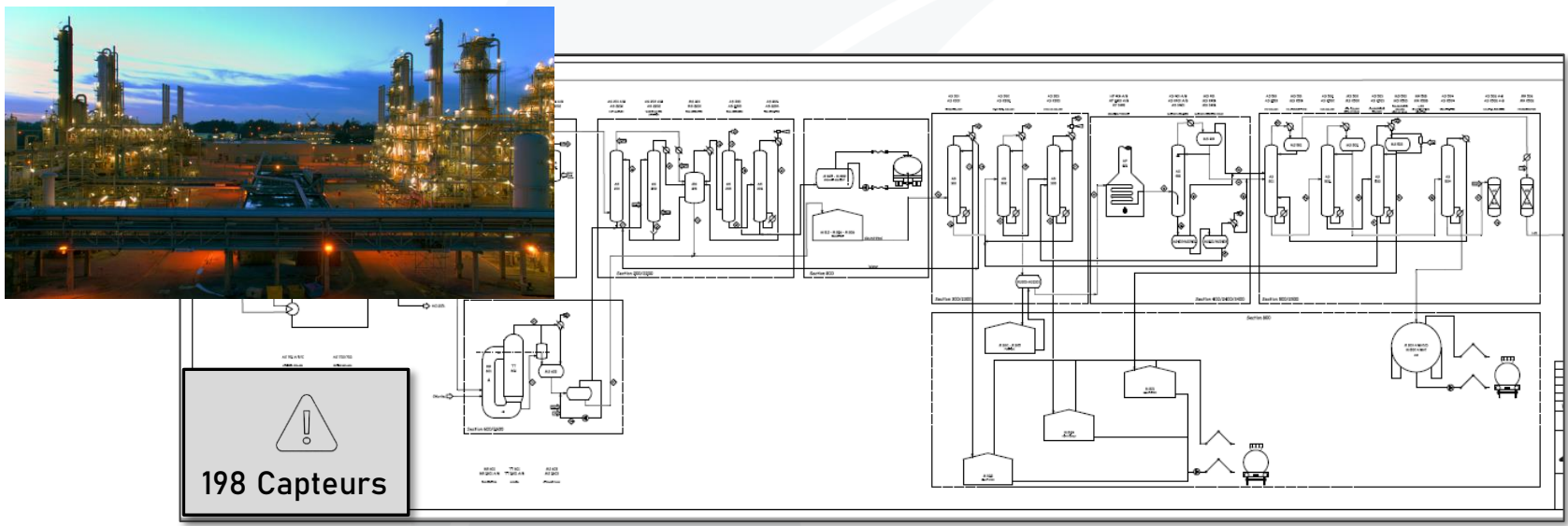


Analyse statistique
modélisation

Collecte de données et
modélisation



Etape 1 : la collecte de données

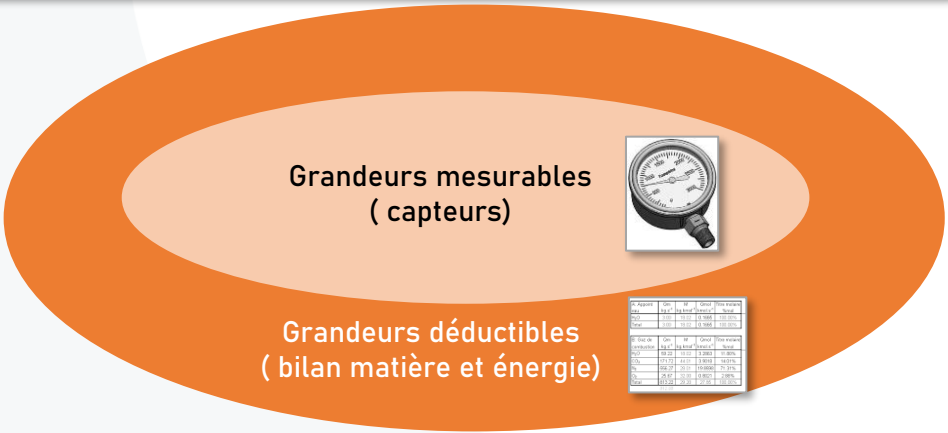
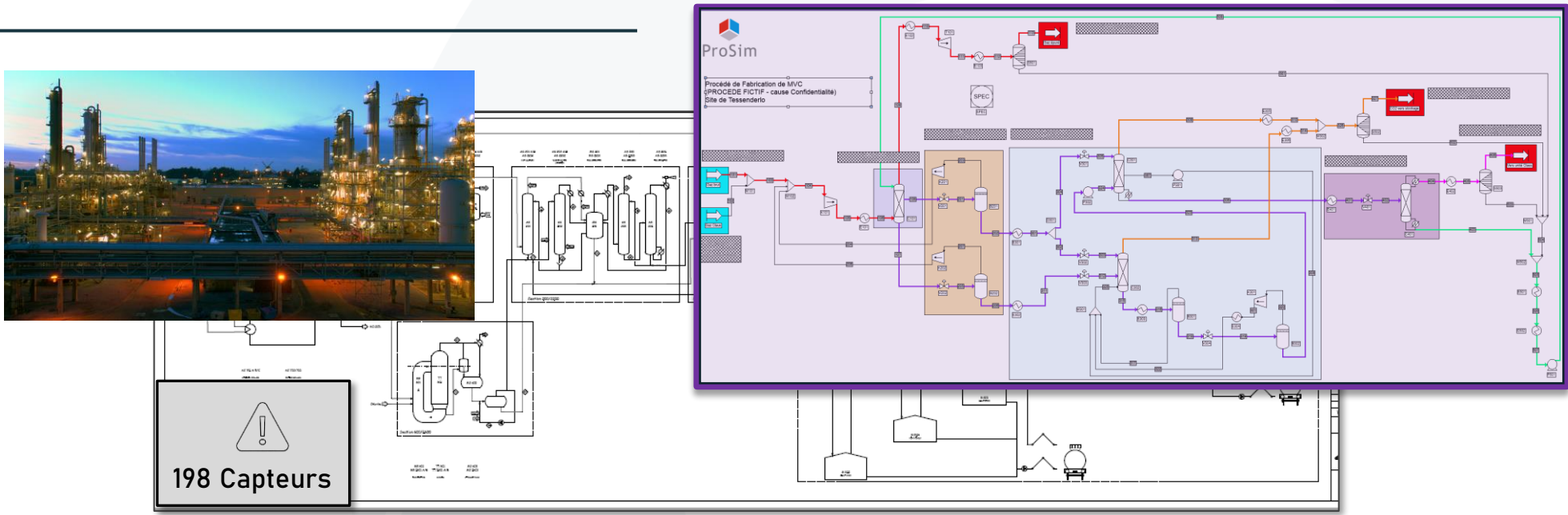


Données observables de températures, pressions, débits, compositions

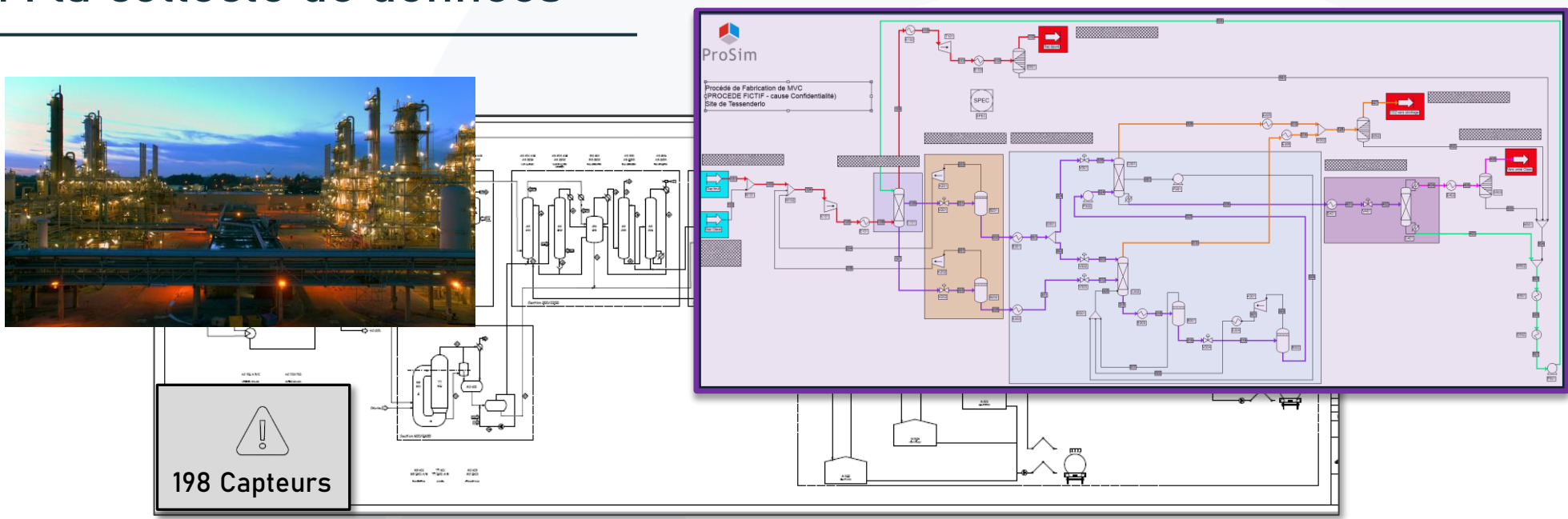
Grandeurs mesurables (capteurs)



Etape 1 : la collecte de données

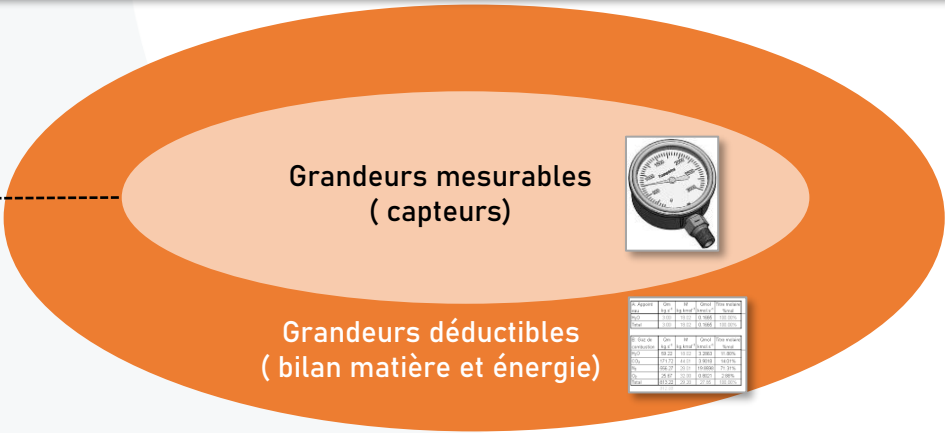


Etape 1 : la collecte de données

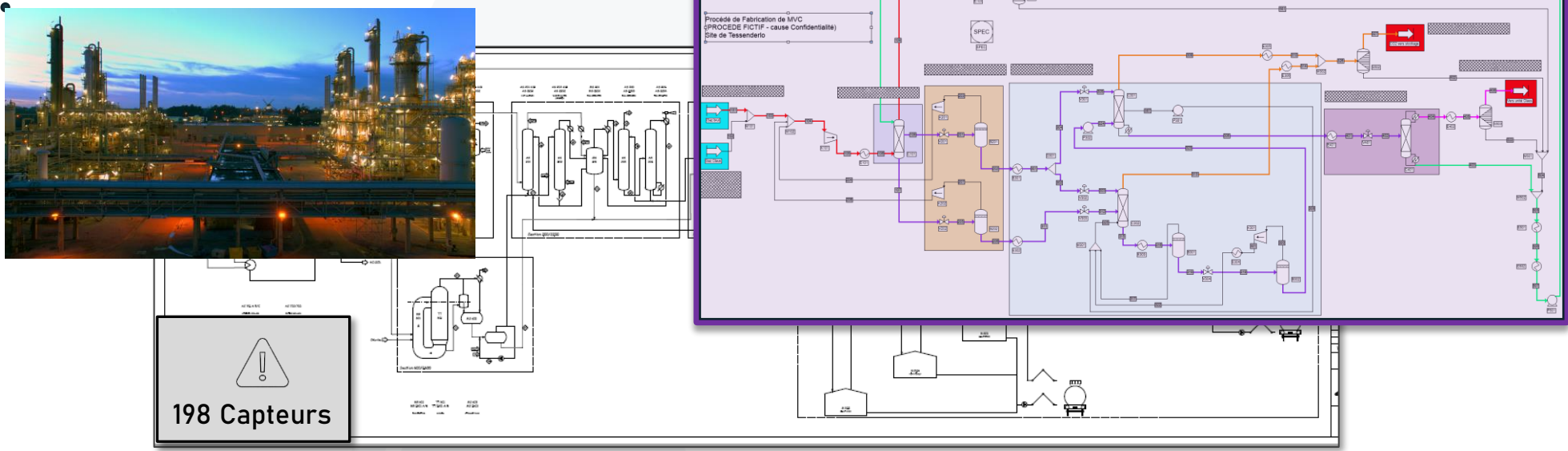


ETAPE 1 :
Analyse des données capteurs

Calcul de moyennes sur l'horizon de
temps considéré



Etape 1 : la collecte de données

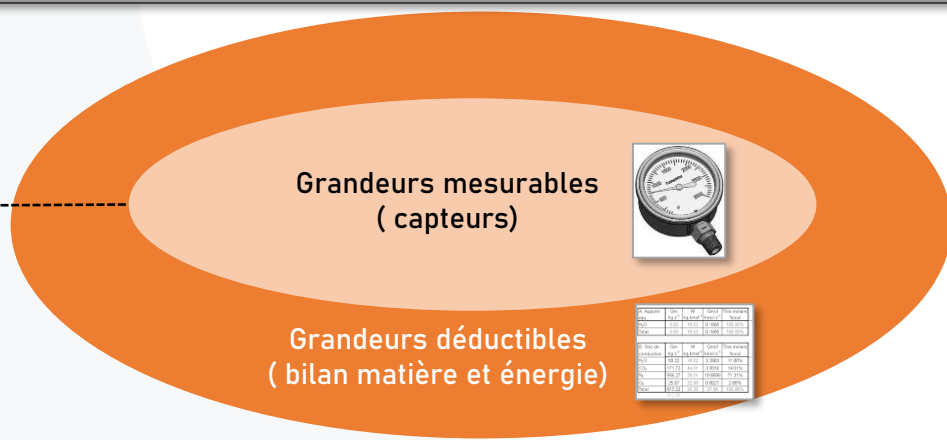


198 Capteurs

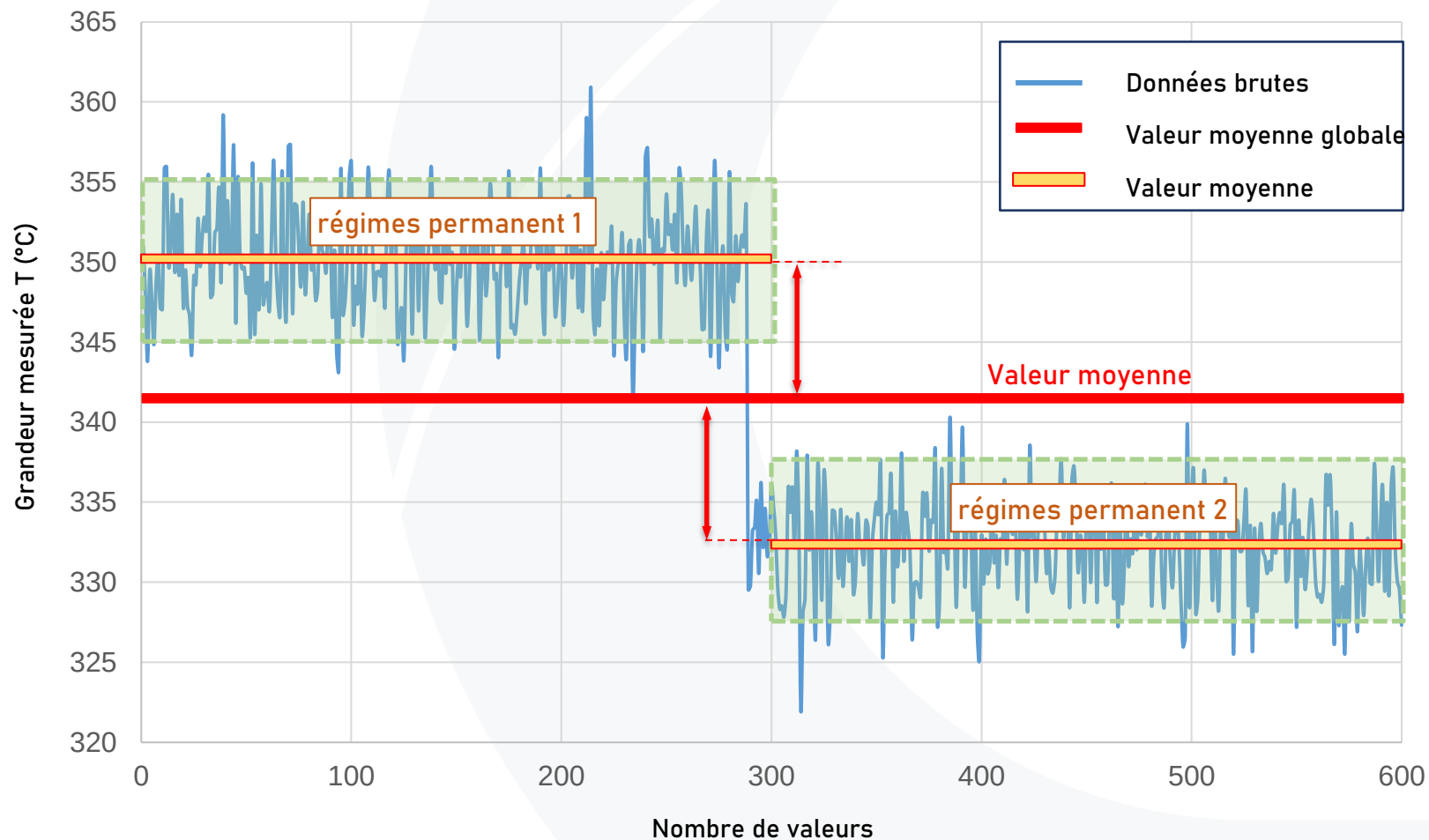
ETAPE 1 :
Analyse des données capteurs

Quelques données sur l'horizon de temps considéré

Non convergence

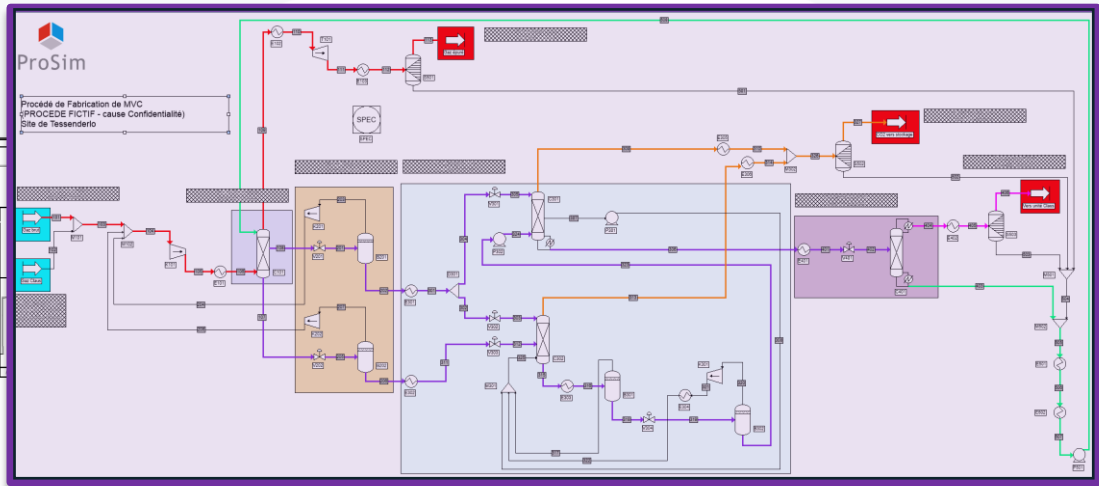
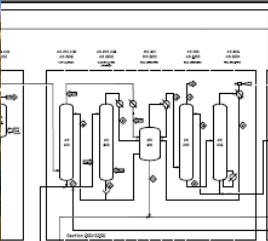


Etape 1 : la collecte de données : variabilité des mesures



Etape 1 : la collecte de données

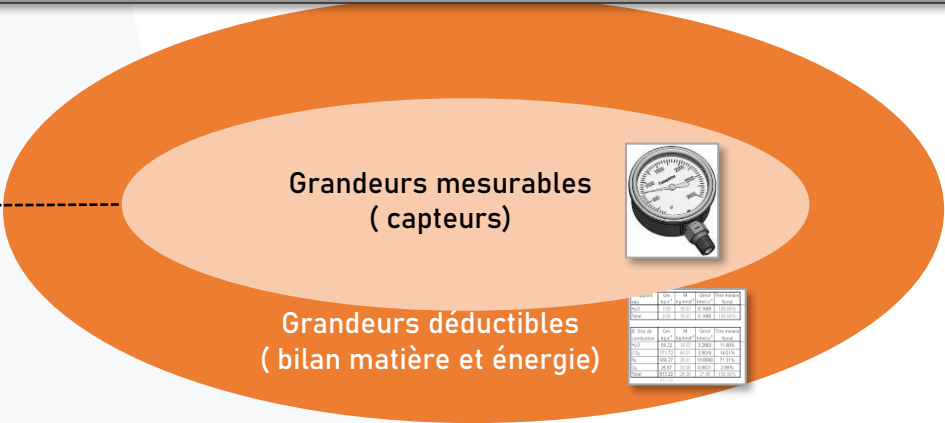
Démarche générale



198 Capteurs

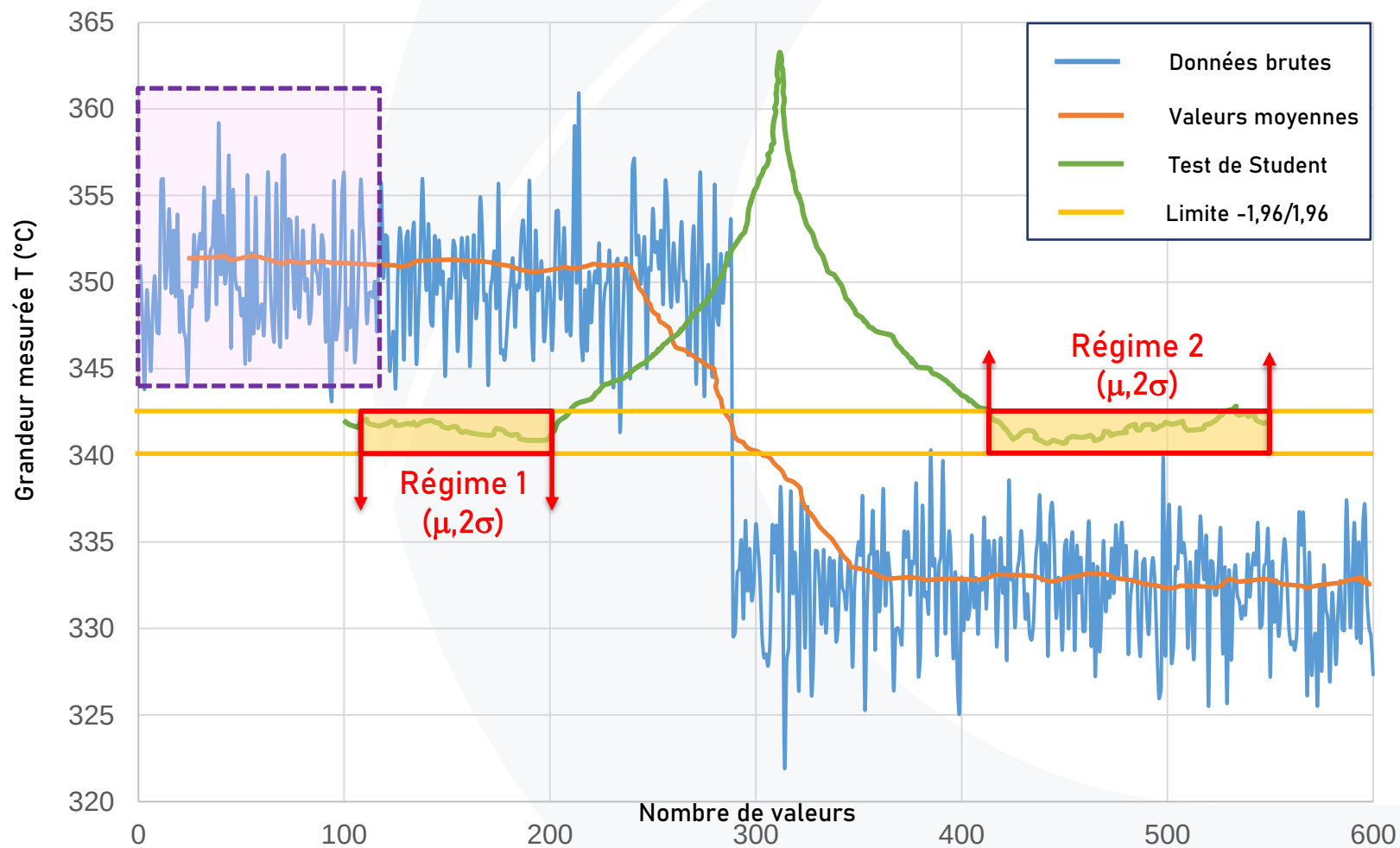
ETAPE 1 :
Analyse des données capteurs

Analyse statistique des capteurs pour en déduire les différents cas de marche



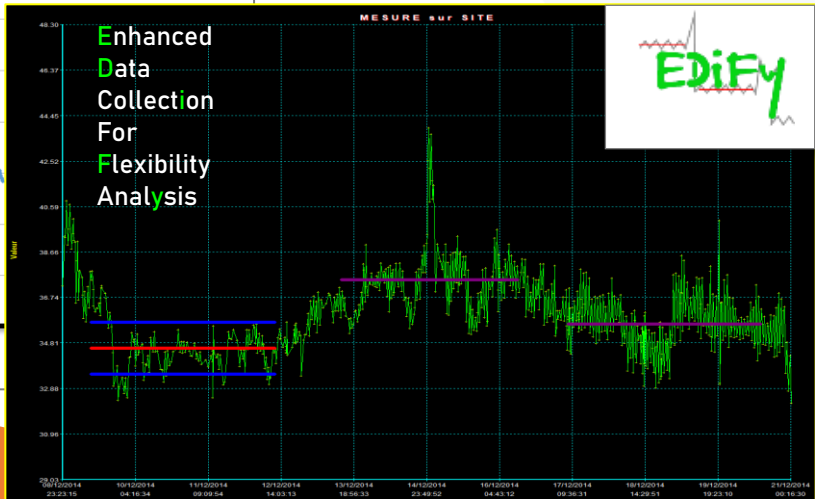
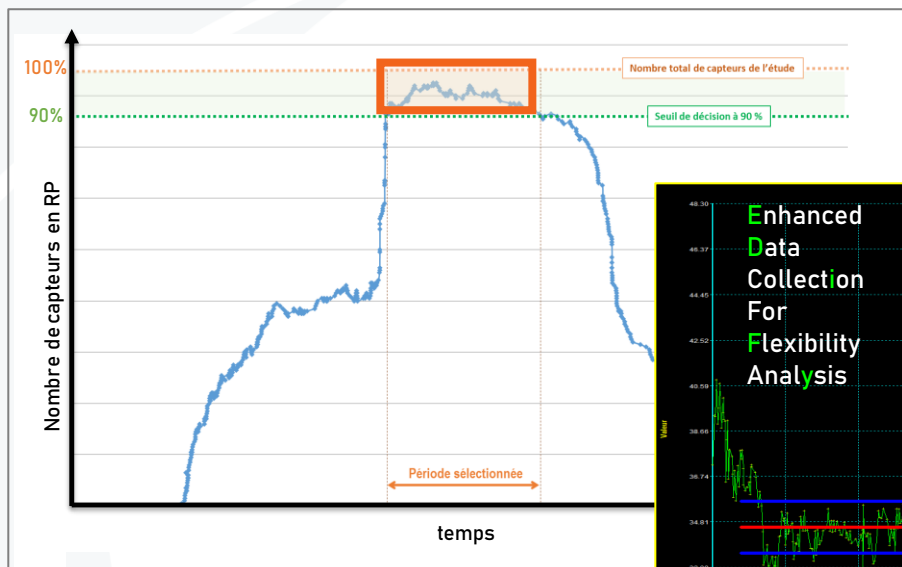
Etape 1 : la collecte de données

Variabilité des mesures



Etape 1 : la collecte de données

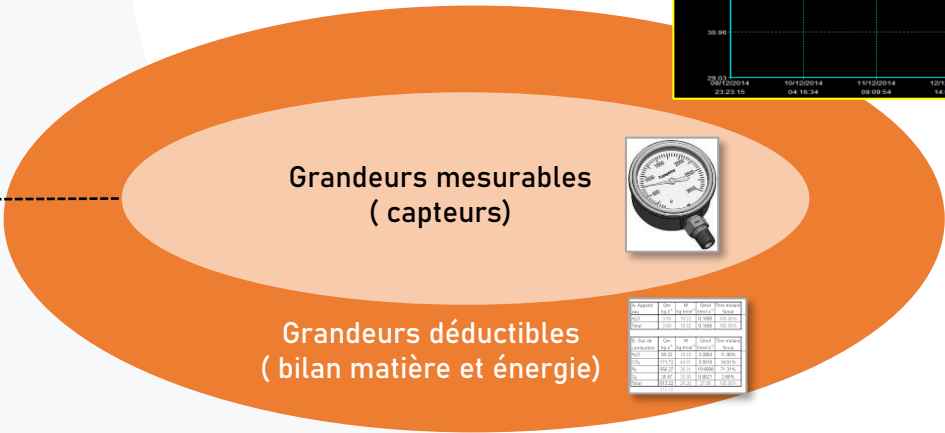
Variabilité des mesures



ETAPE 1 :
Analyse des données capteurs

Analyse statistique des capteurs pour en déduire les différents cas de marche

Identifier les cas de marche du procédé



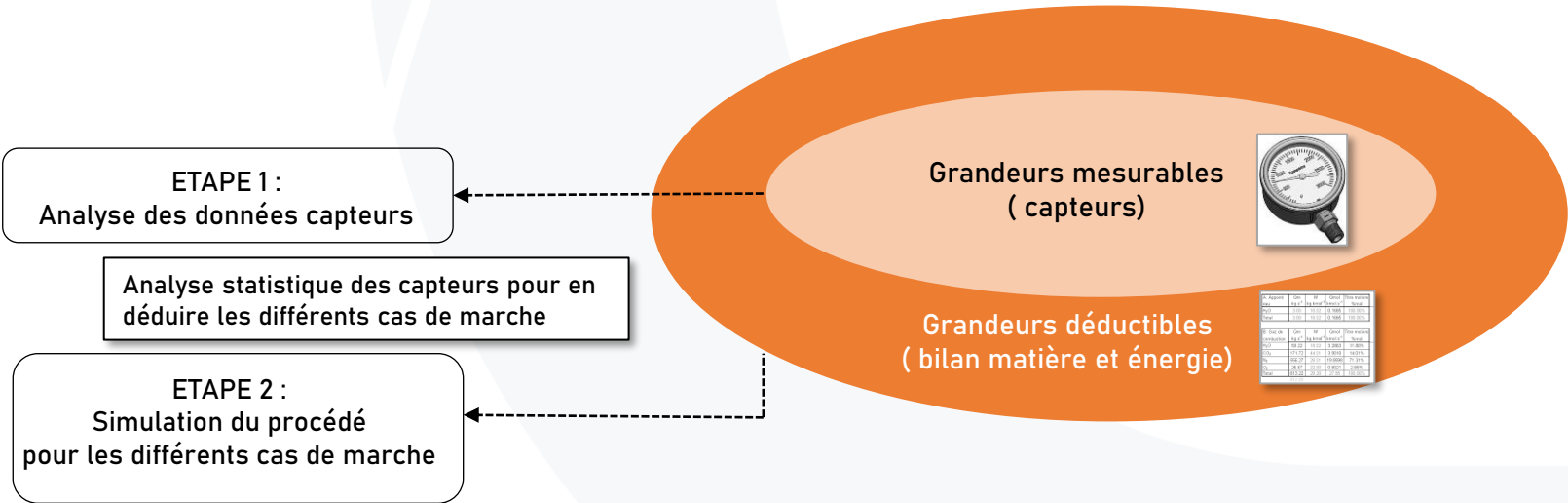
Etape 1 : la collecte de données

Simulation des différents cas de marche

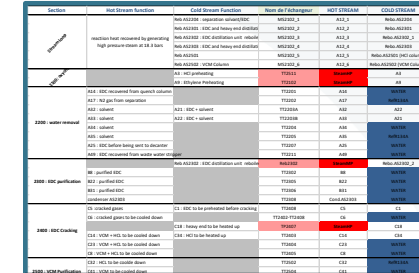


CAS DE MARCHE1										
Courants	73	79	80	82	83	88	89	90	92	93
Débit (t/h)	12,68	2,11	0,34	2,11	2,11	1,78	0,46	0,55	13,26	13,26
% mass	0,0									
	0,0									
	0,0									
	0,0									
	0,9									
Température (°C)	52,3									
Pression (atm)	5,9									
Enthalpie (kcal/h)	1323,1									

CAS DE MARCHE2										
Courants	73	79	80	82	83	88	89	90	92	93
Débit (t/h)	12,68	2,11	0,34	2,11	2,11	1,78	0,46	0,55	13,26	13,26
% mass	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,87	1,00	0,04	0,04
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,01	0,40	1,00	0,40	0,40	0,28	0,07	0,00	0,01	0,01
	0,00	0,60	0,00	0,60	0,60	0,72	0,06	0,00	0,00	0,00
	0,99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,95	0,95
Température (°C)	52,2	60,0	74,3	69,0	123,0	74,5	68,0	85,0	54,4	68,0
Pression (atm)	5,9	5,9	0,7	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9
Enthalpie (kcal/h)	1323,1	566,4	322,1	566,3	1421,5	559,1	42,1	366,4	66,4	1539,4

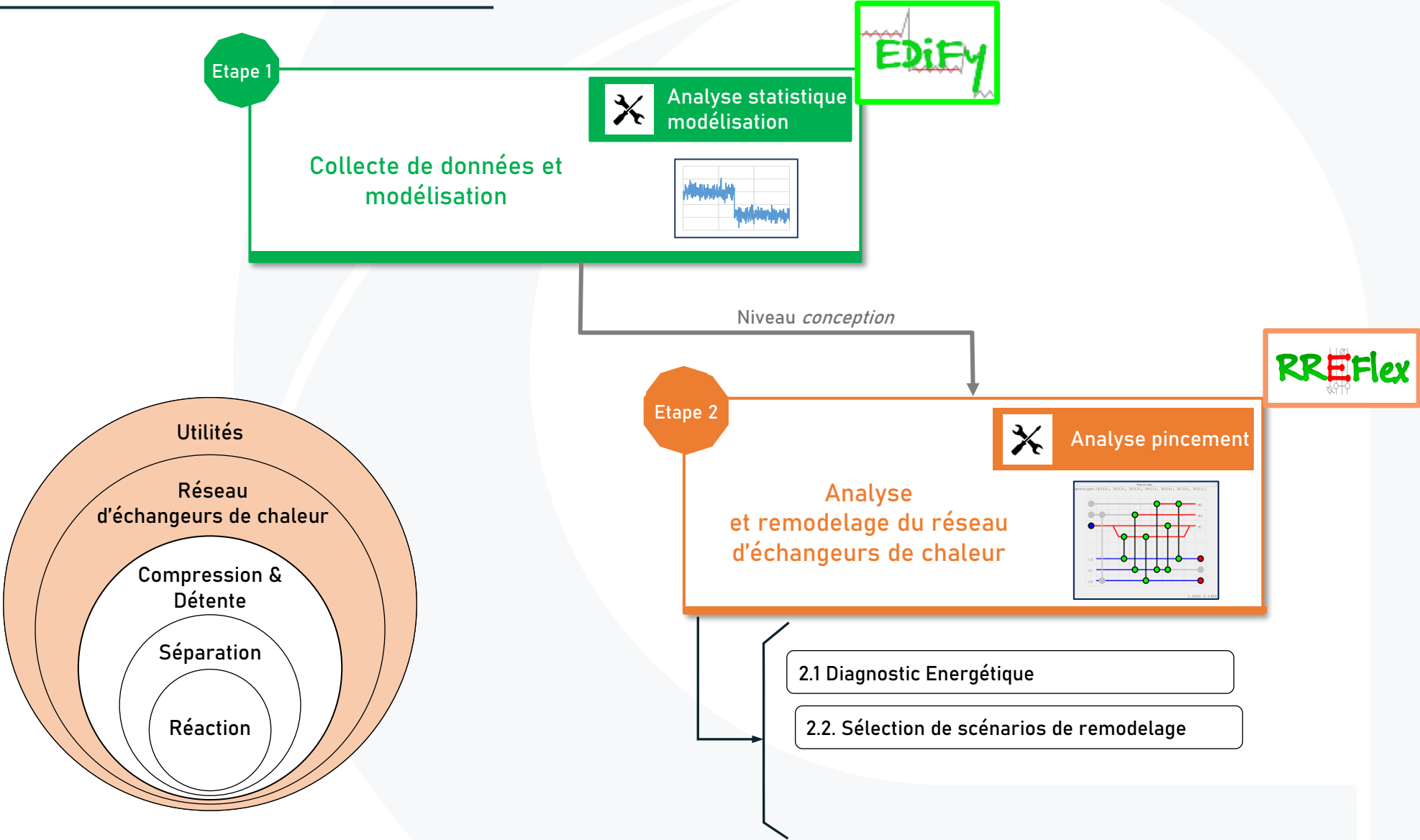


Retour sur la gestion de projet



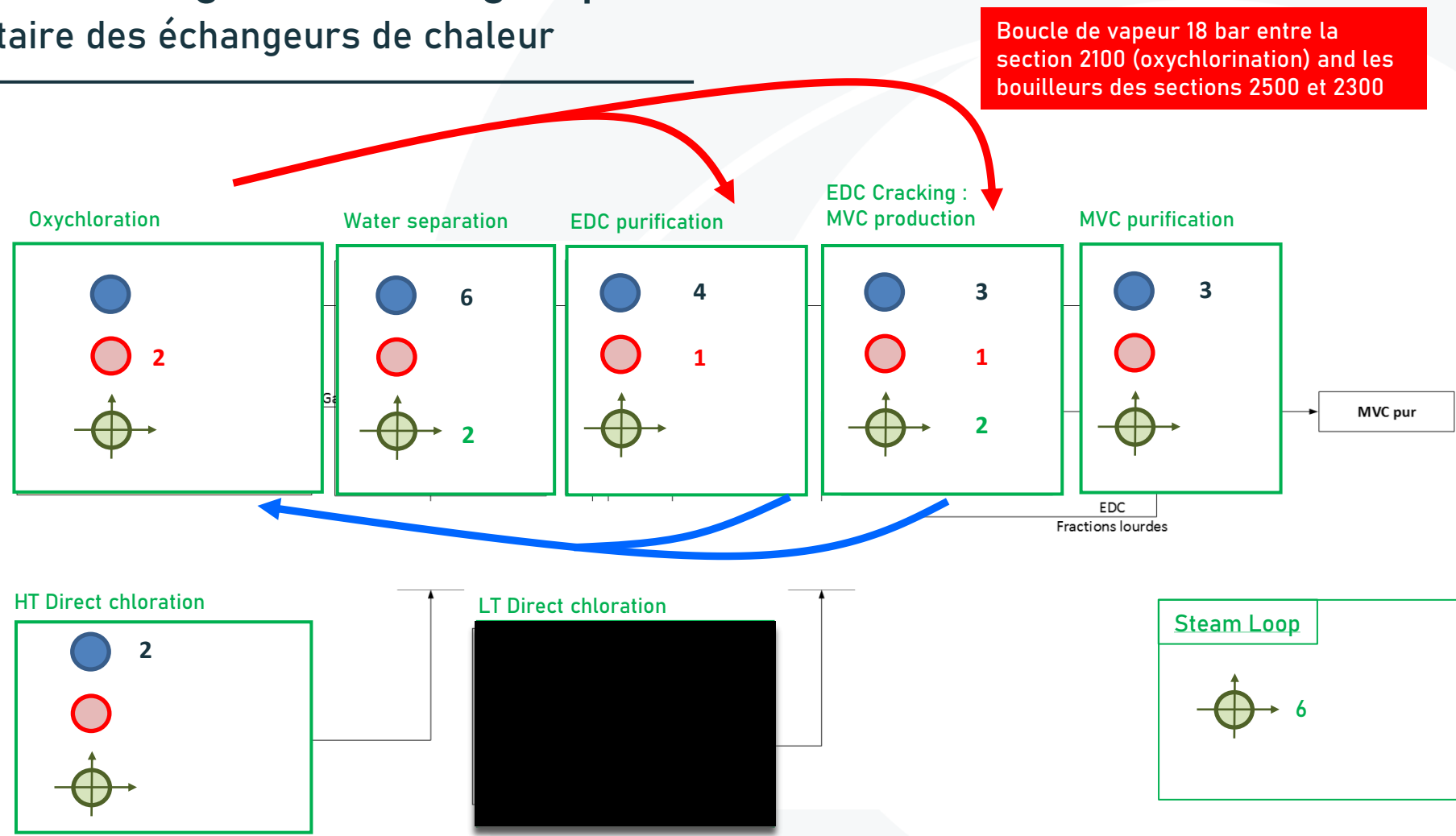
L'approche COOPERE

Approche développée au LGC



Etape 2 - diagnostic énergétique

Inventaire des échangeurs de chaleur



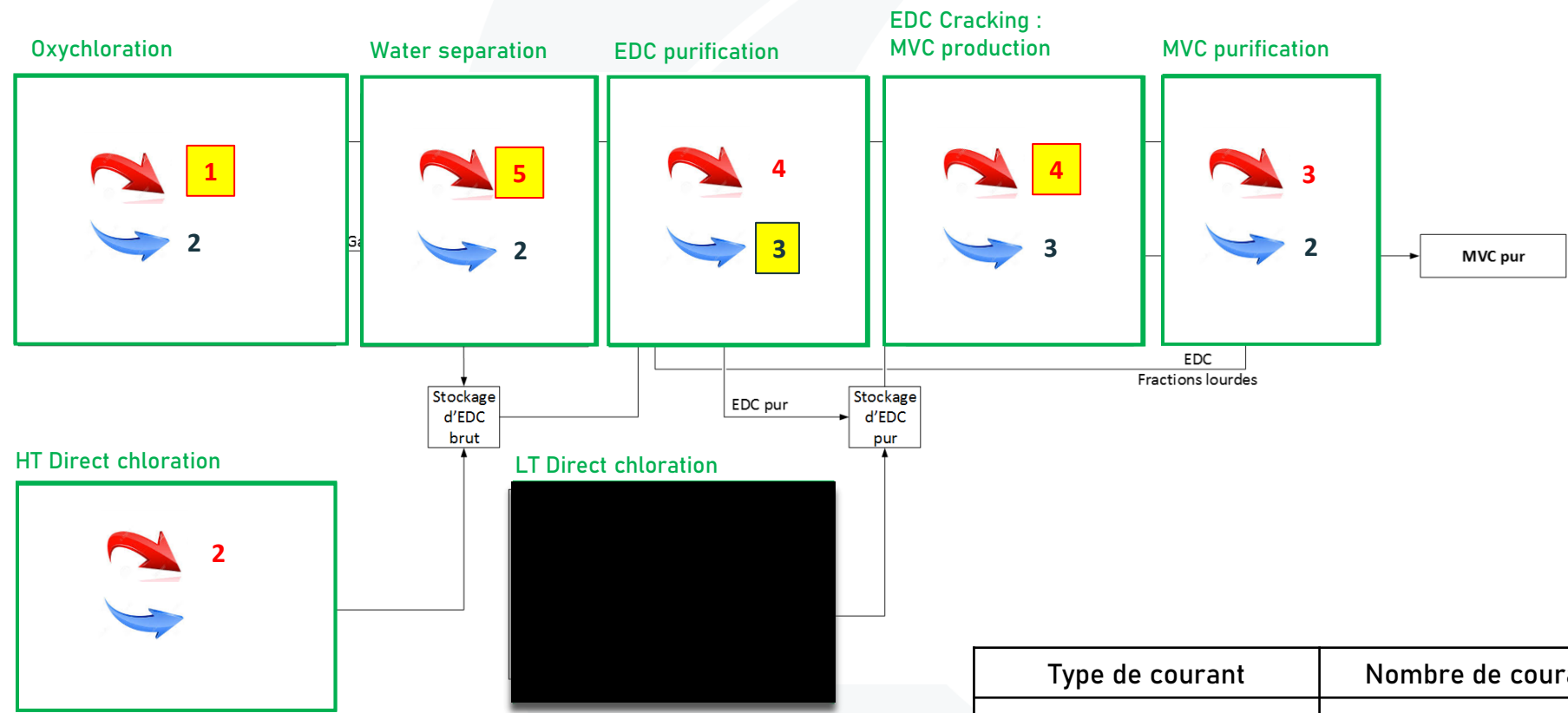
Boucle de vapeur 18 bar entre la section 2100 (oxychlorination) and les bouilleurs des sections 2500 et 2300

32 Echangeurs de chaleur

Type d'échangeur	Nombre
Intégration	10
Utilité chaude	4
Cold utility	18

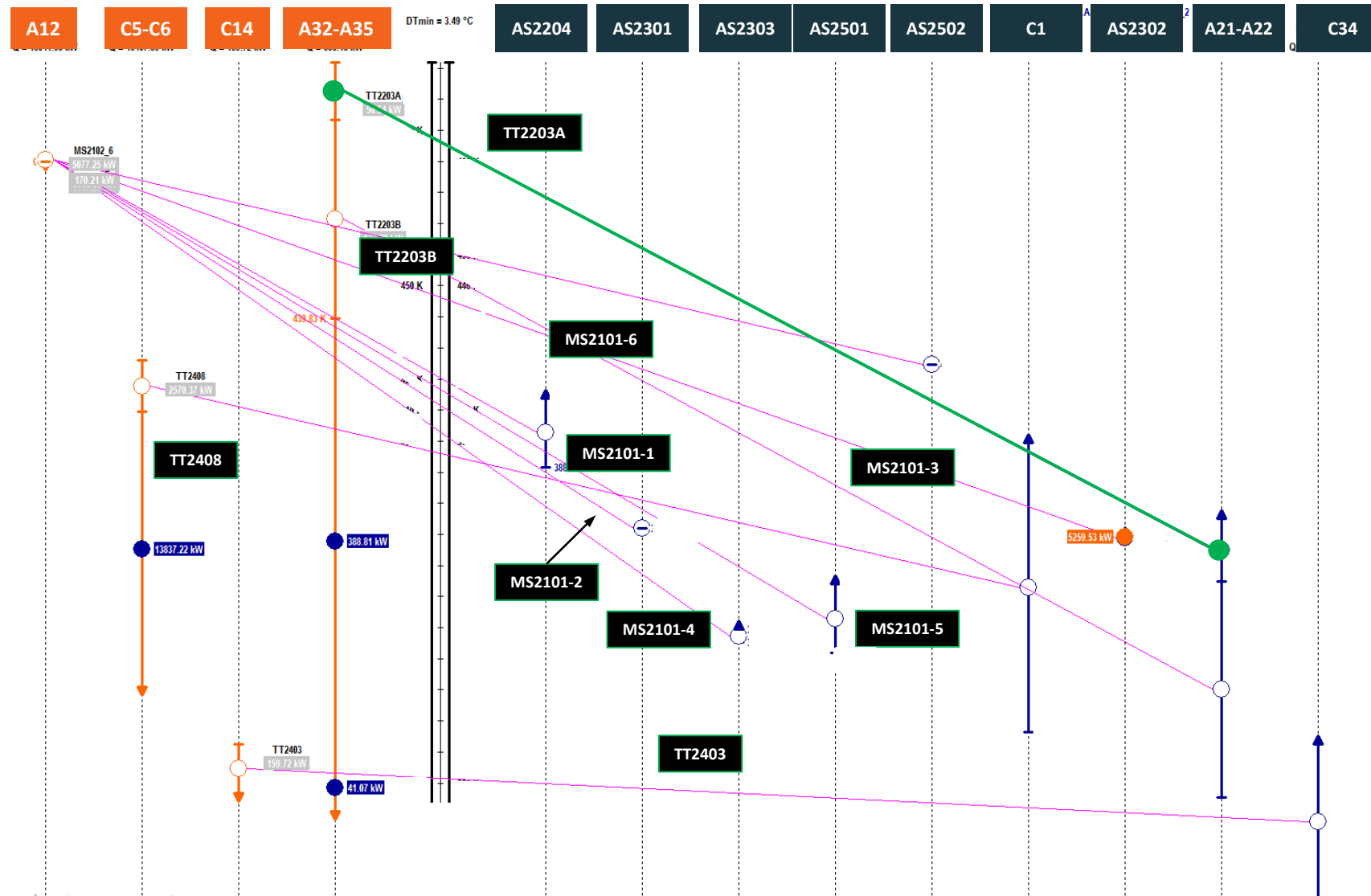
Etape 2 - diagnostic énergétique

Inventaire des échangeurs de chaleur



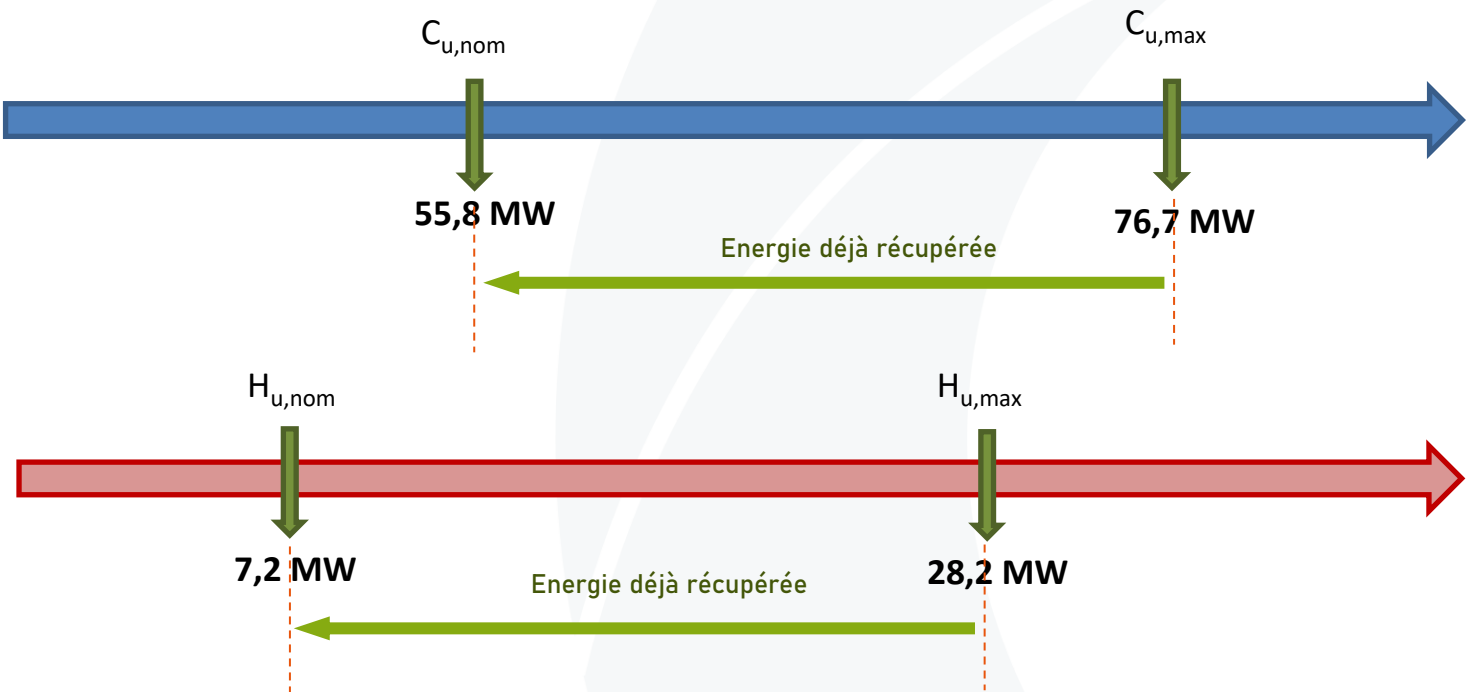
Type de courant	Nombre de courants
Courant Chauds	19
Courant Froids	12

Application sur le site **VYNOVA**



Etape 2 - diagnostic énergétique

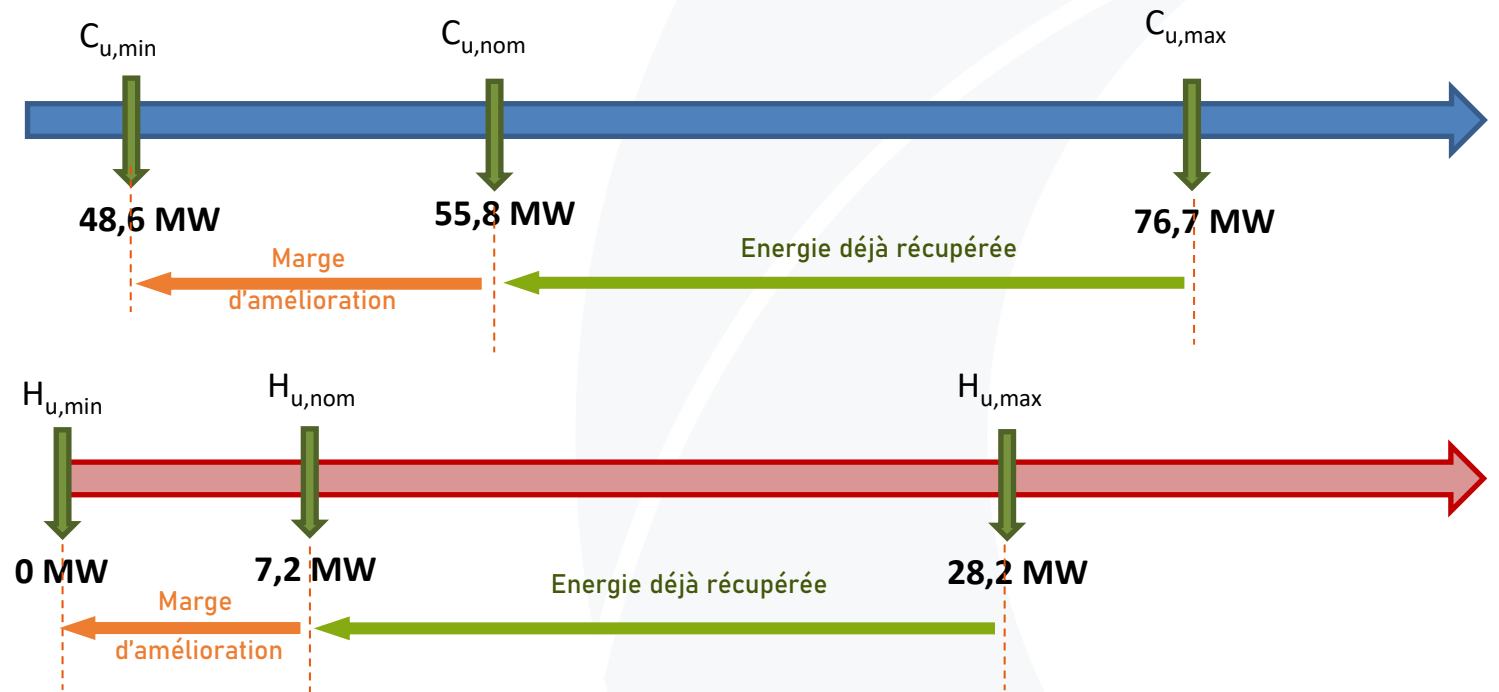
Evaluation de la solution de récupération existante



	Cold Utility (MW)	Hot Utility (MW)
Minimal		
Nominal	55,8	7,2
Maximal	76,8	28,2

Etape 2 - diagnostic énergétique

Evaluation de la marge de progrès



	Cold Utility (MW)	Hot Utility (MW)
Minimal	48,6	0
Nominal	55,8	7,2
Maximal	76,8	28,2

Analyse pincement

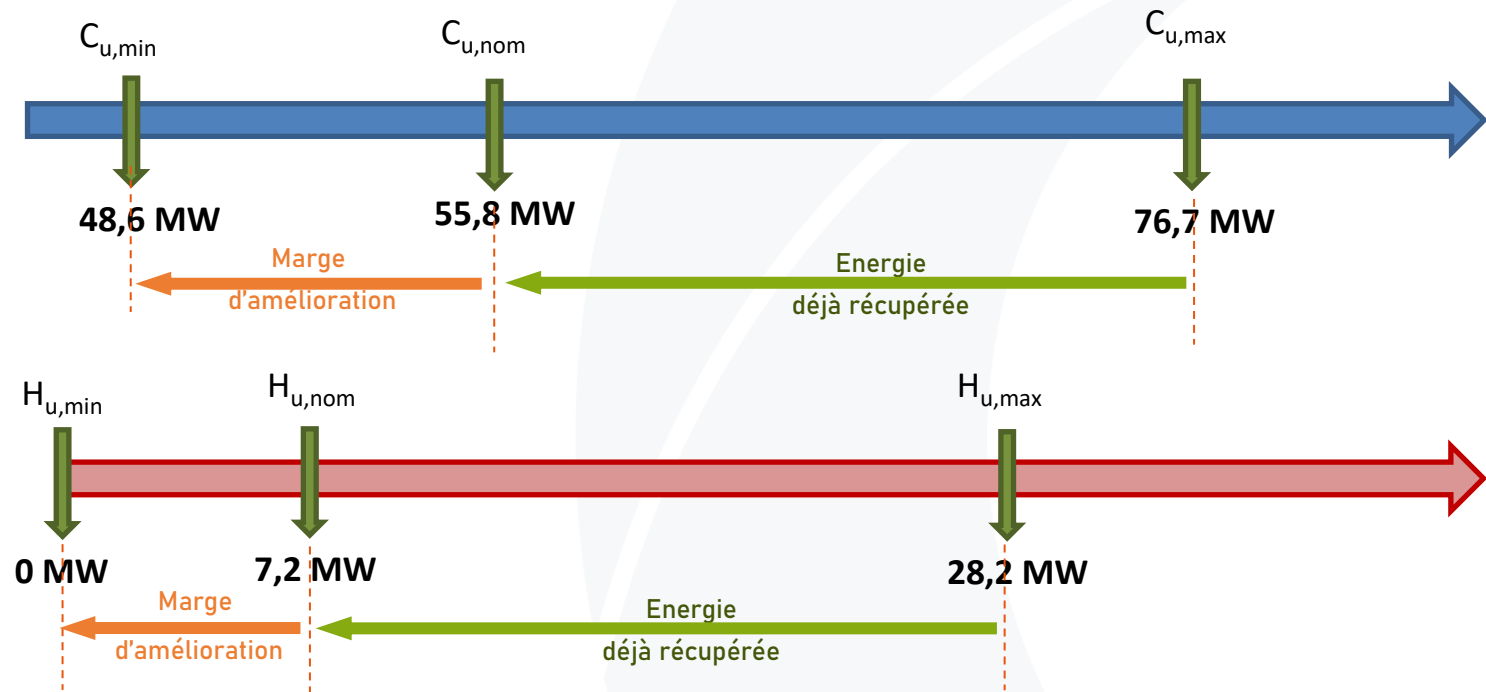
Pour un ΔT_{min} donné

- Evaluation de la **cible de consommation minimale** en utilités chaude et froide

photo

Etape 2 - diagnostic énergétique

Evaluation de la marge de progrès



The study gives access to a precious Information relative to the Actual energy consumption and the Margin of improvement



La possibilité d'avoir rapidement accès à ces informations est généralement très appréciée des ingénieurs du site et permet de motiver la poursuite de l'étude

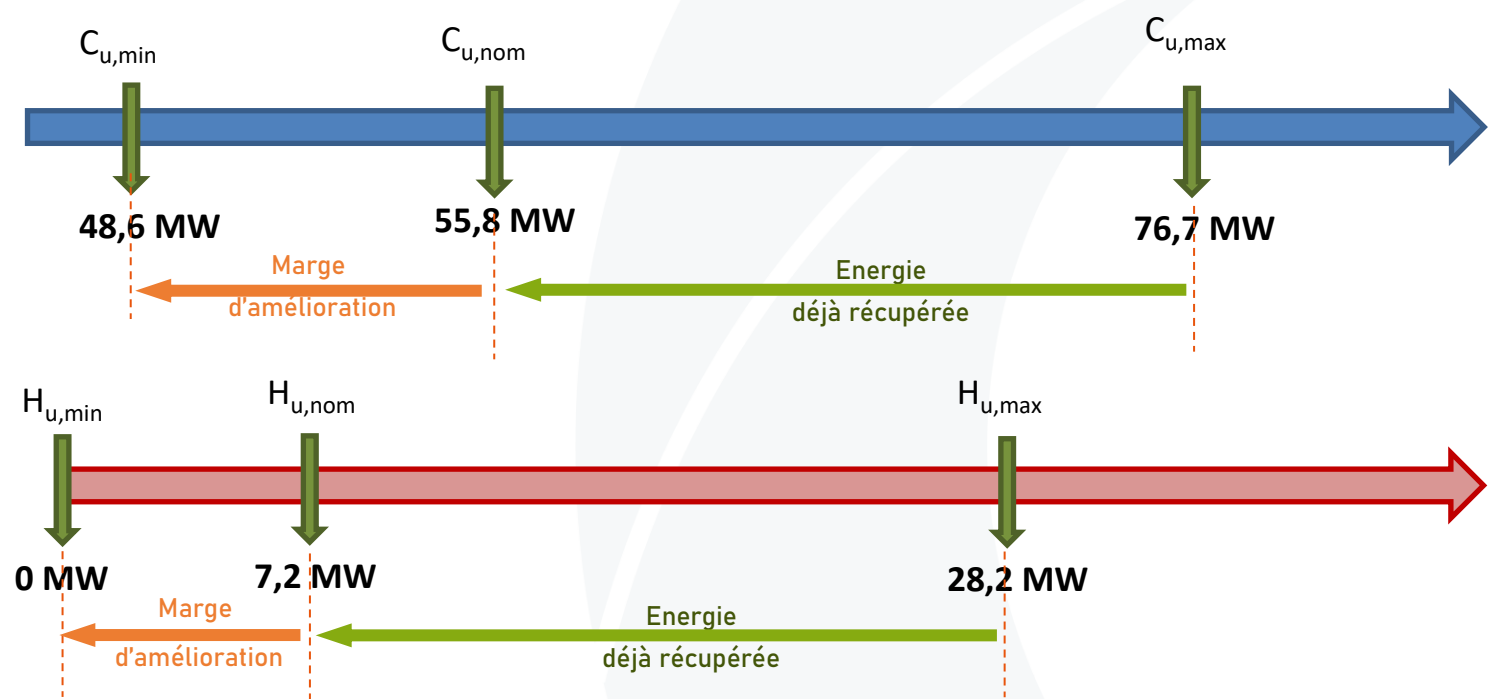


photo

	Cold Utility (MW)	Hot Utility (MW)
Minimal	48,6	0
Nominal	55,8	7,2
Maximal	76,8	28,2

Etape 2 - diagnostic énergétique

Evaluation de la marge de progrès



	Cold Utility (MW)	Hot Utility (MW)
Minimal	48,6	0
Nominal	55,8	7,2
Maximal	76,8	28,2

Analyse pincement

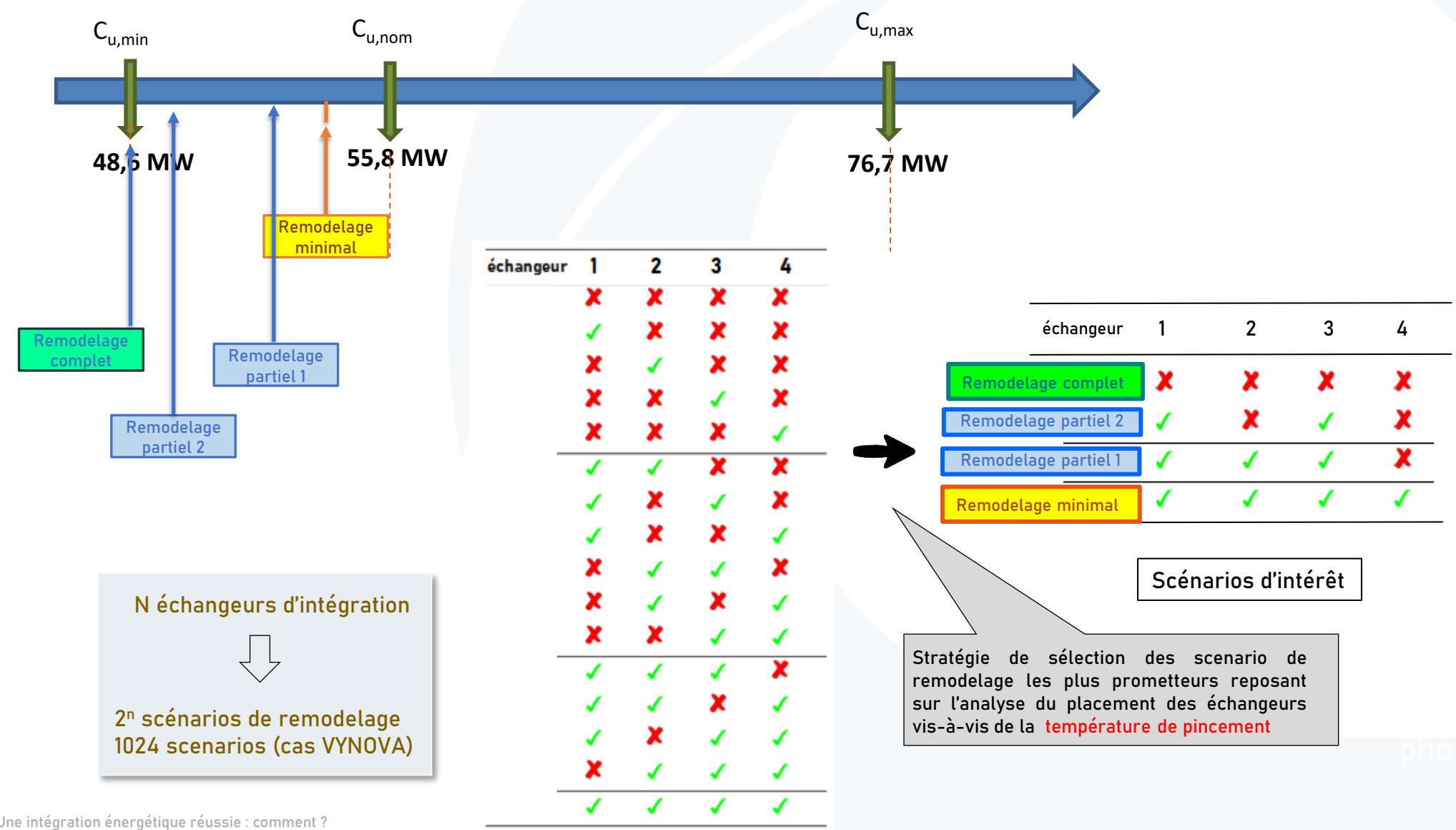
Pour un ΔT_{min} donné

1. Evaluation de la **cible de consommation minimale** en utilités chaude et froide

Envisager des scénarios intermédiaires de remodelage?

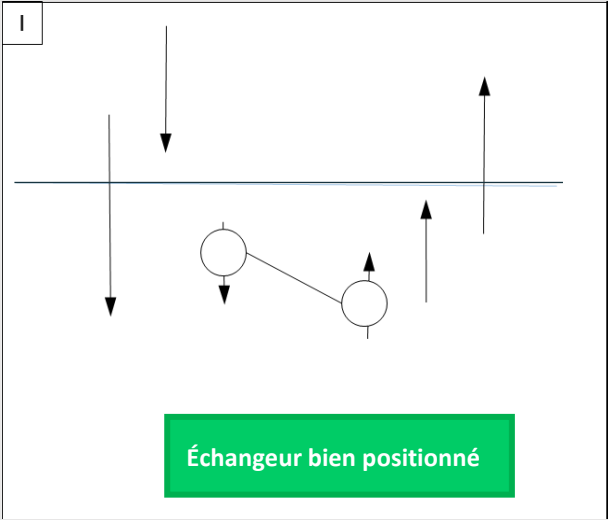
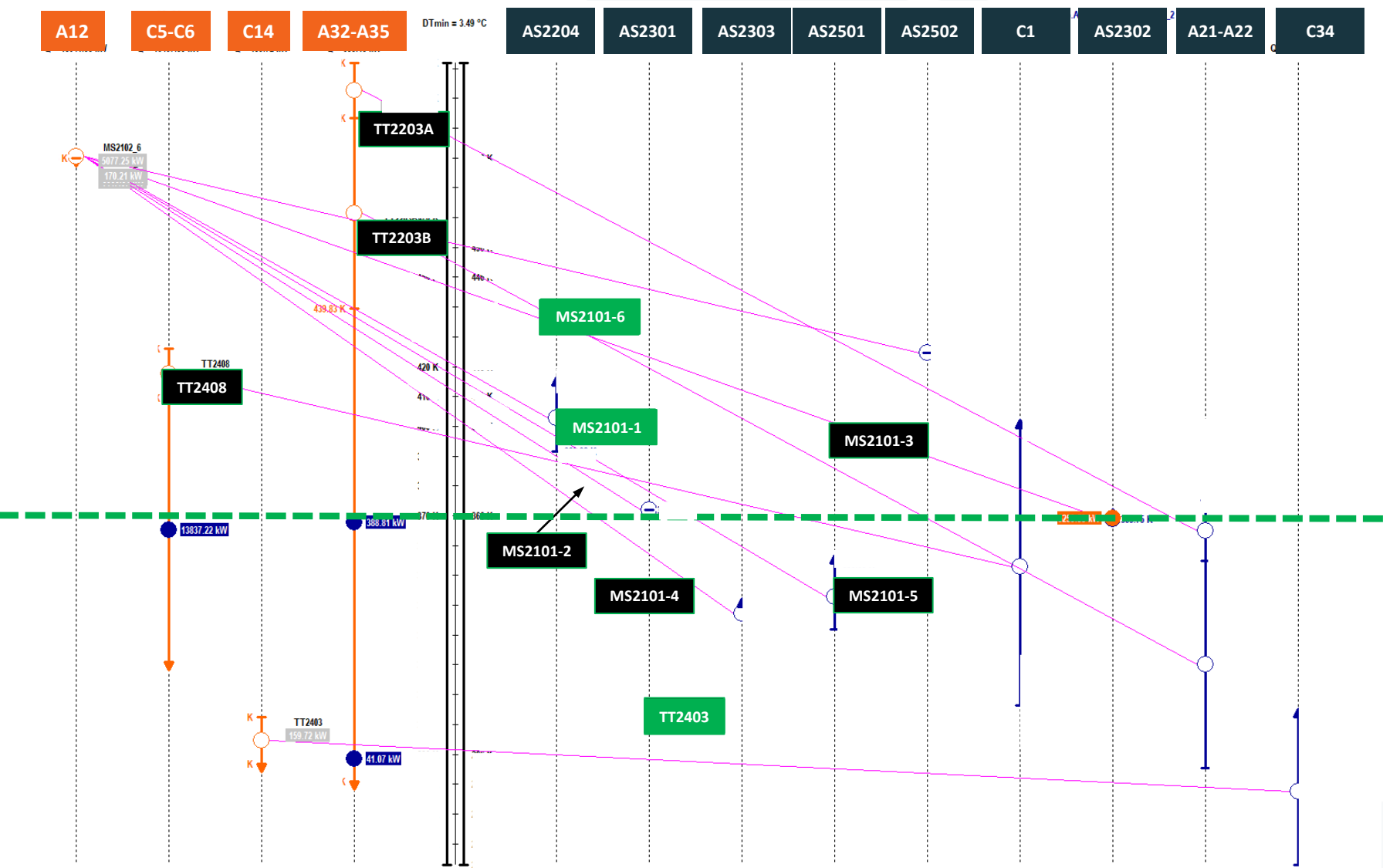
Etape 2 - diagnostic énergétique

Evaluation de la marge de progrès



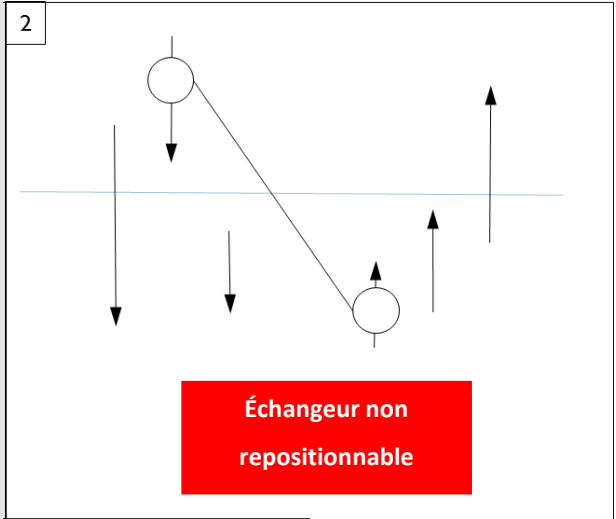
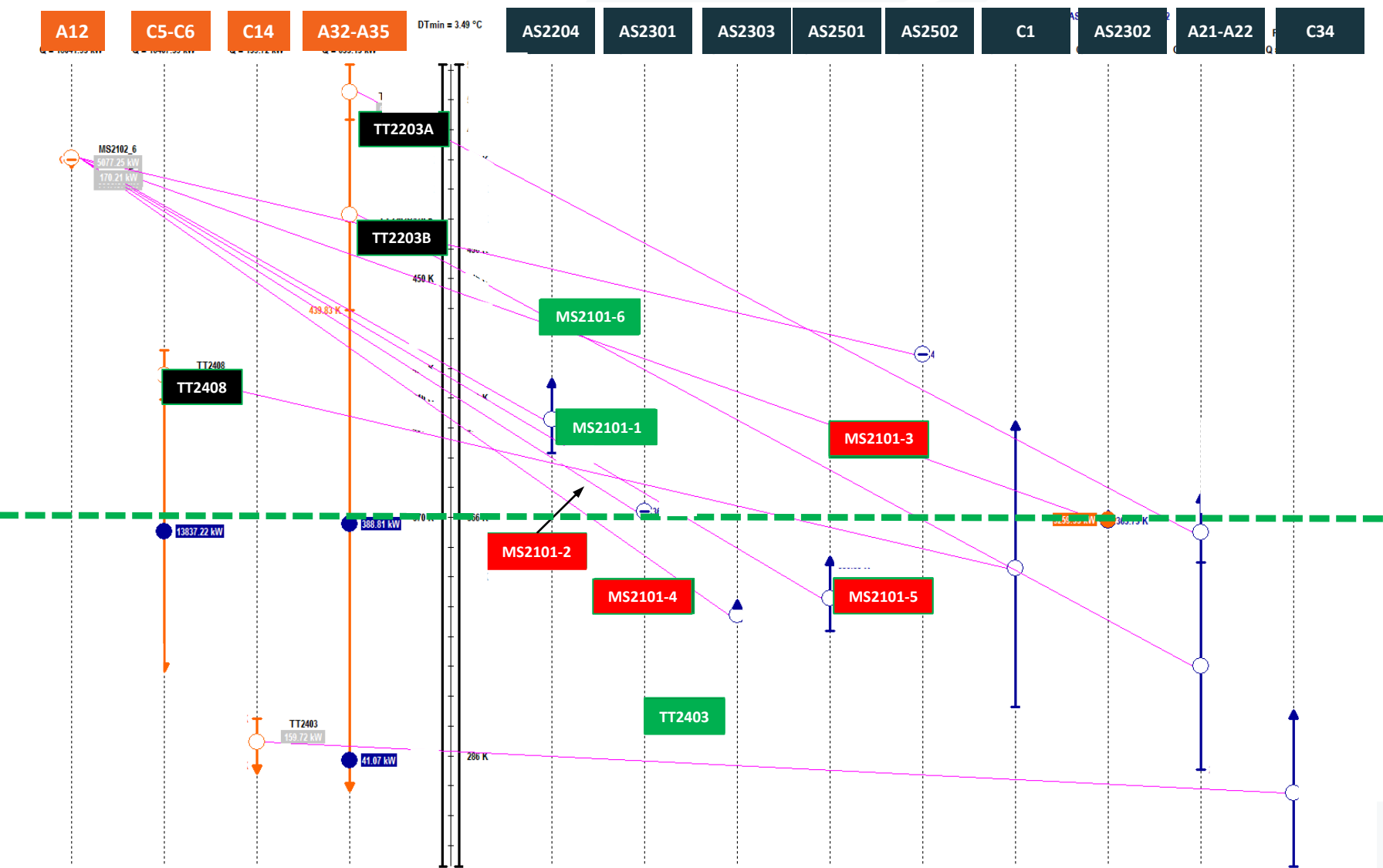
Etape 2 - diagnostic énergétique

Réseau d'échangeurs nominal : échangeurs d'intégration



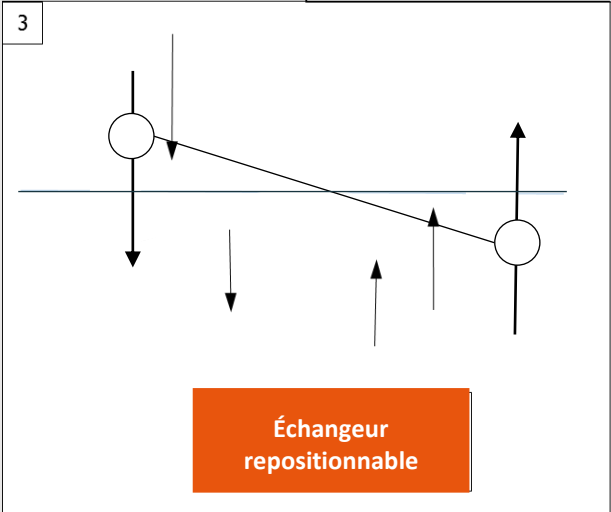
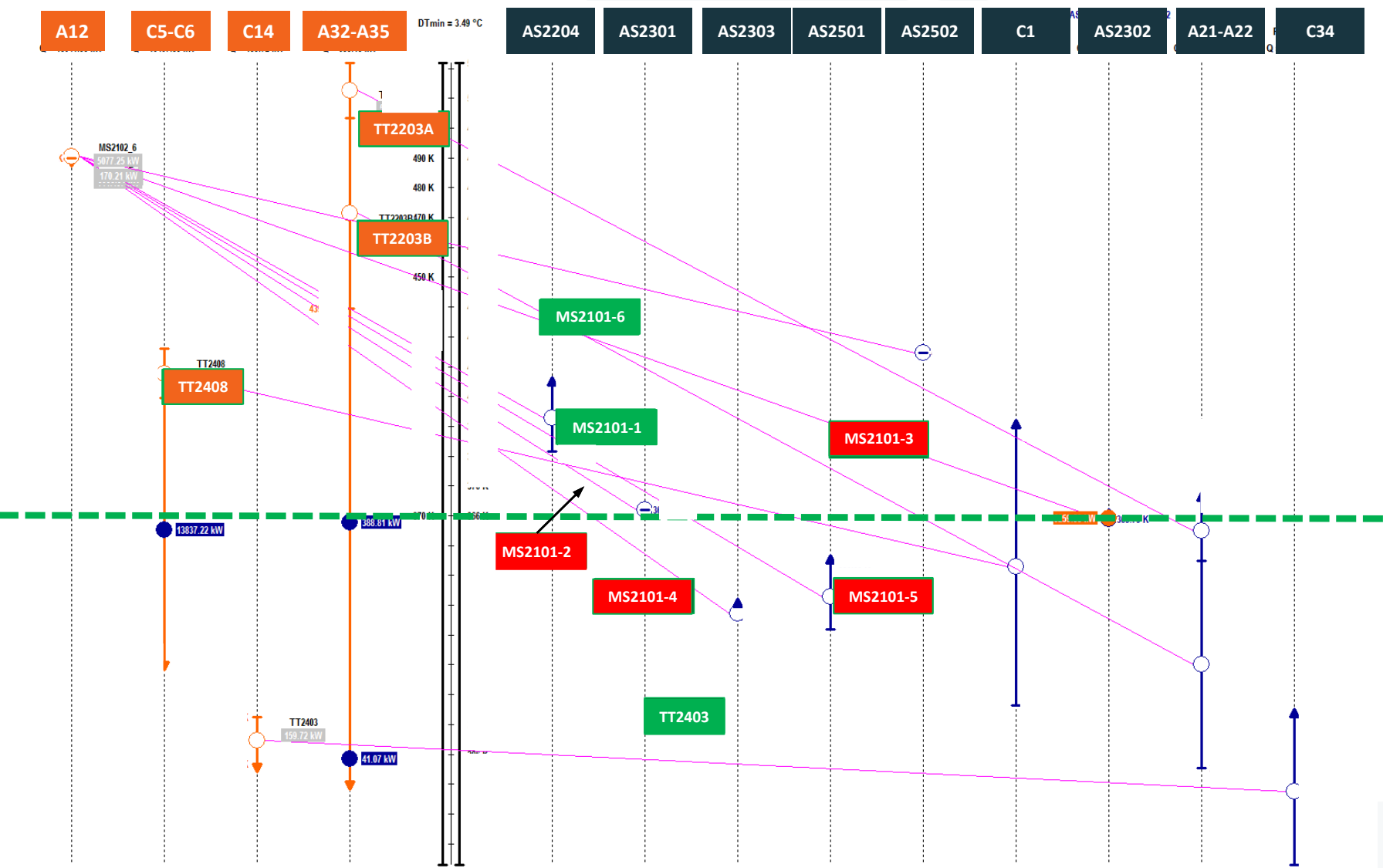
Etape 2 - diagnostic énergétique

Réseau d'échangeurs nominal : échangeurs d'intégration



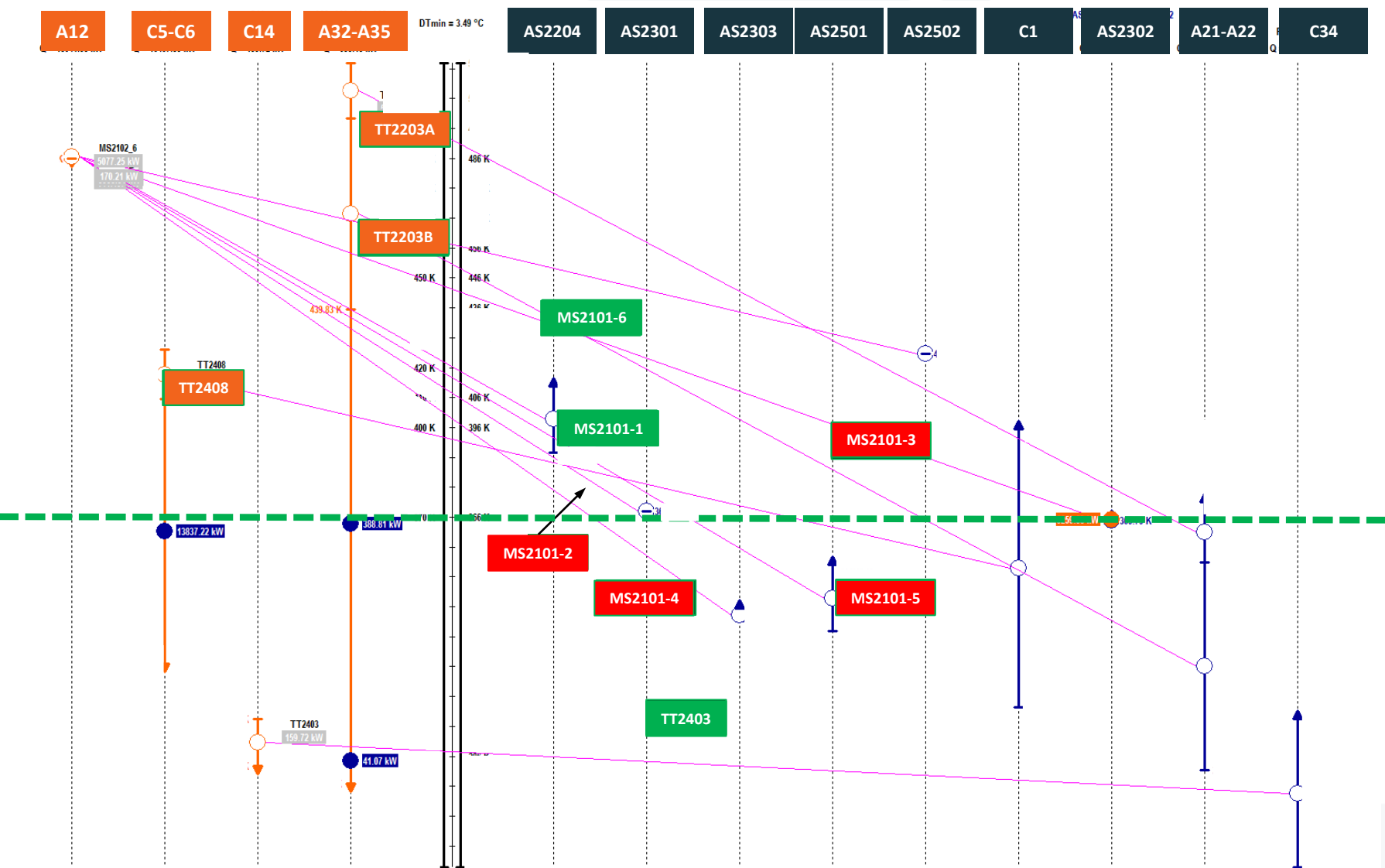
Etape 2 - diagnostic énergétique

Réseau d'échangeurs nominal : échangeurs d'intégration



Etape 2 - diagnostic énergétique

Réseau d'échangeurs nominal : échangeurs d'intégration



Non Repositionnable → à supprimer

- ~~MS2102-2 (steam loop A12 - Reb 2301)~~
- ~~MS2102-3 (steam loop A12 - Reb 2302)~~
- ~~MS2102-4 (steam loop A12 - Reb 2303)~~
- ~~MS2102-5 (steam loop A12 - Reb 2501)~~

Correctement positionnés → à préserver

- MS2102-1 (steam Loop A12 - Reb 2204)
- MS2102-6 (steam loop A12 - Reb 2502)
- TT2403 (C14-C34)

Repositionnable
→ à préserver ou à supprimer

- TT2408 (C5/6 – C1)
- TT2203B (A32/35 – A21/22)
- TT2203A (A32/35 – A21/22)

Etape 2 - diagnostic énergétique

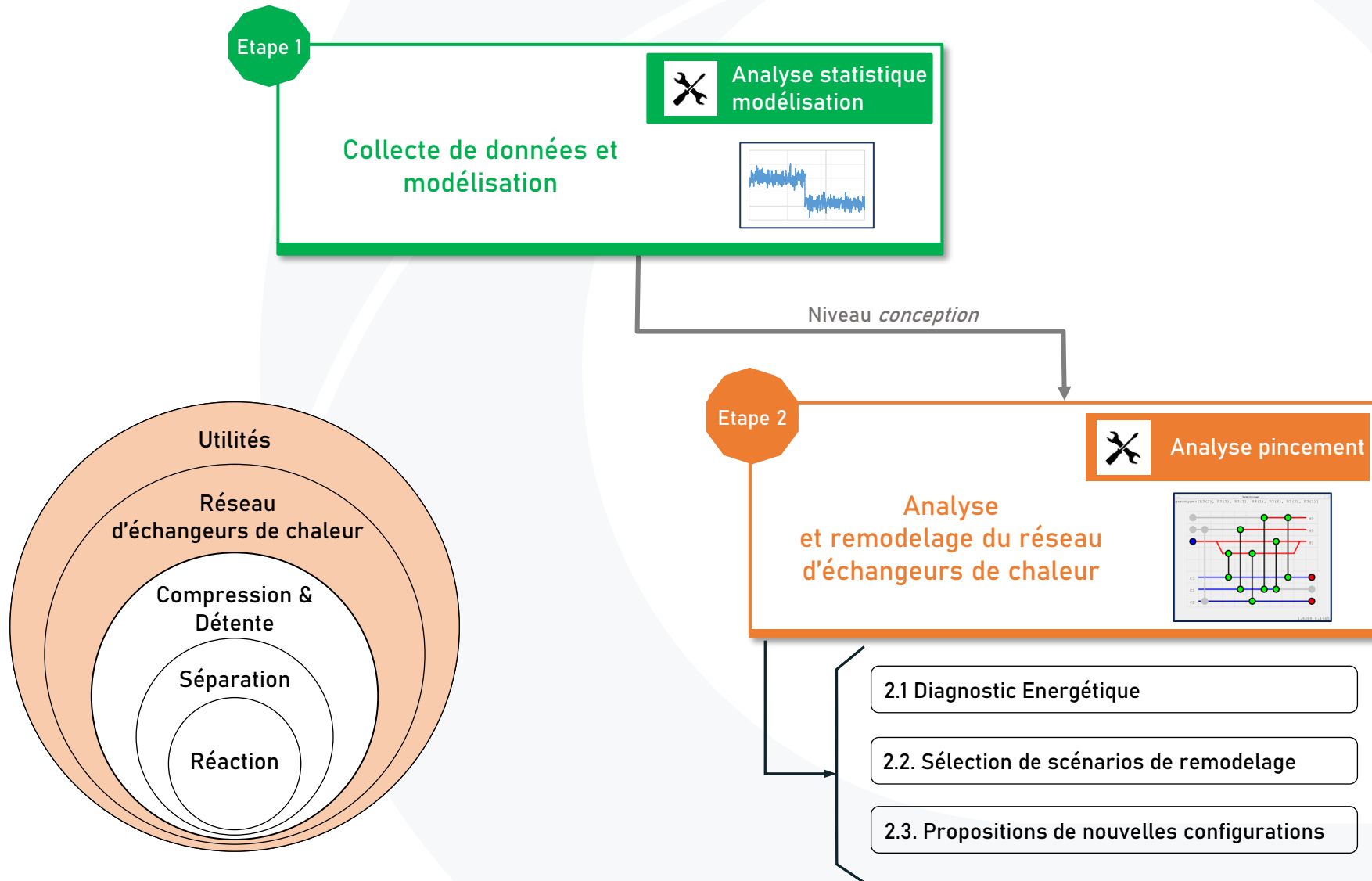
les scénarios de remodelage préférés

Charge d'amélioration possible des 3
positionnables seront conservés
(propre à une section de procédé)

	TT2408	TT2203B	TT2203A	MS2101-5	MS2101-4	MS2101-3	MS2101-2	MS2101-1	MS2101-6	TT2403
STATUS	CPR	CPR	CPR	CPNR	CPNR	CPNR	CPNR	NCP	NCP	NCP
Degre Repositionnement	1676.829	43.907	13.163	0.000	0.000	0.000	0.000			
Remodelage complet	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Scenario 1	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓
Scenario 2	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓
Scenario 3	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓
Scenario 4	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓
Remodelage minimal	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

L'approche COOPERE

Approche développée au LGC



Etape 3 – remodelage du réseau

les scénarios de remodelage préférés

PARAMETRES PHYSIQUES

- * Nombre total d'échanges maximum supplémentaire
- * Nombre maximum d'échangeurs par courant
- * Incompatibilité des courants
- * Contraintes de seuil Q et T

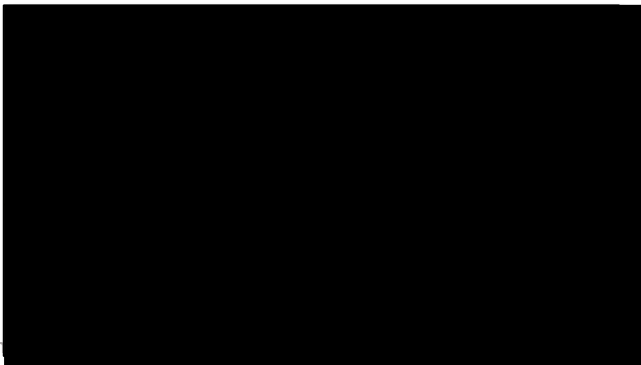
CRITERE

le *critère* pris en compte par l'optimiseur :
minimisation de la consommation en utilité et du
nombre d'échangeurs

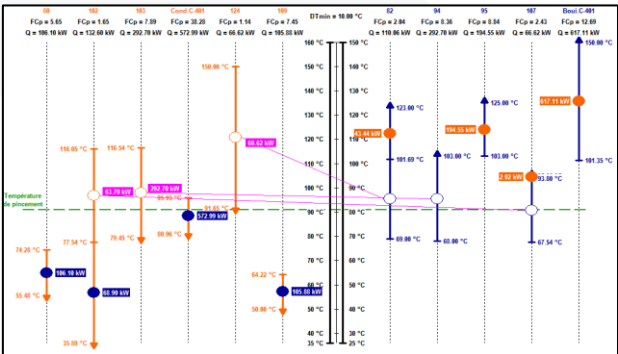
REMODELAGE DE RESEAUX

Modèle de programmation linéaire mixte : synthèse de réseaux
(solveur CPLEX d'IBM)

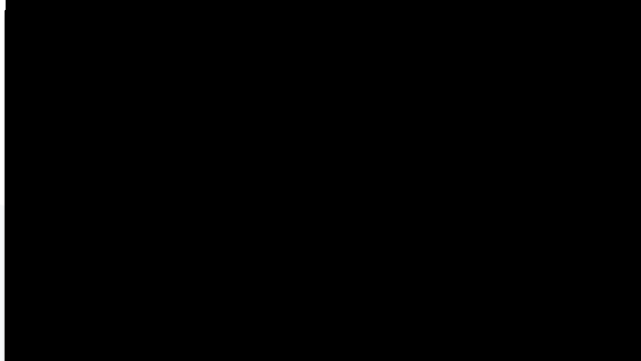
1 échangeur



2 échangeurs



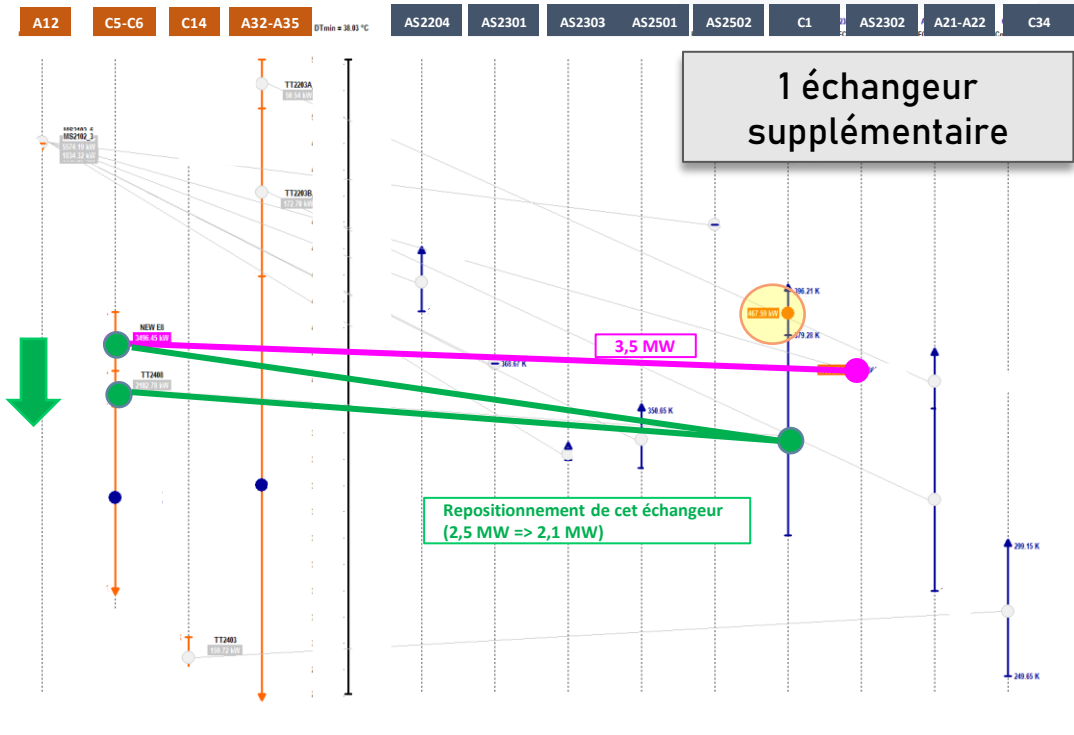
3 échangeurs



Etape 3 – remodelage du réseau

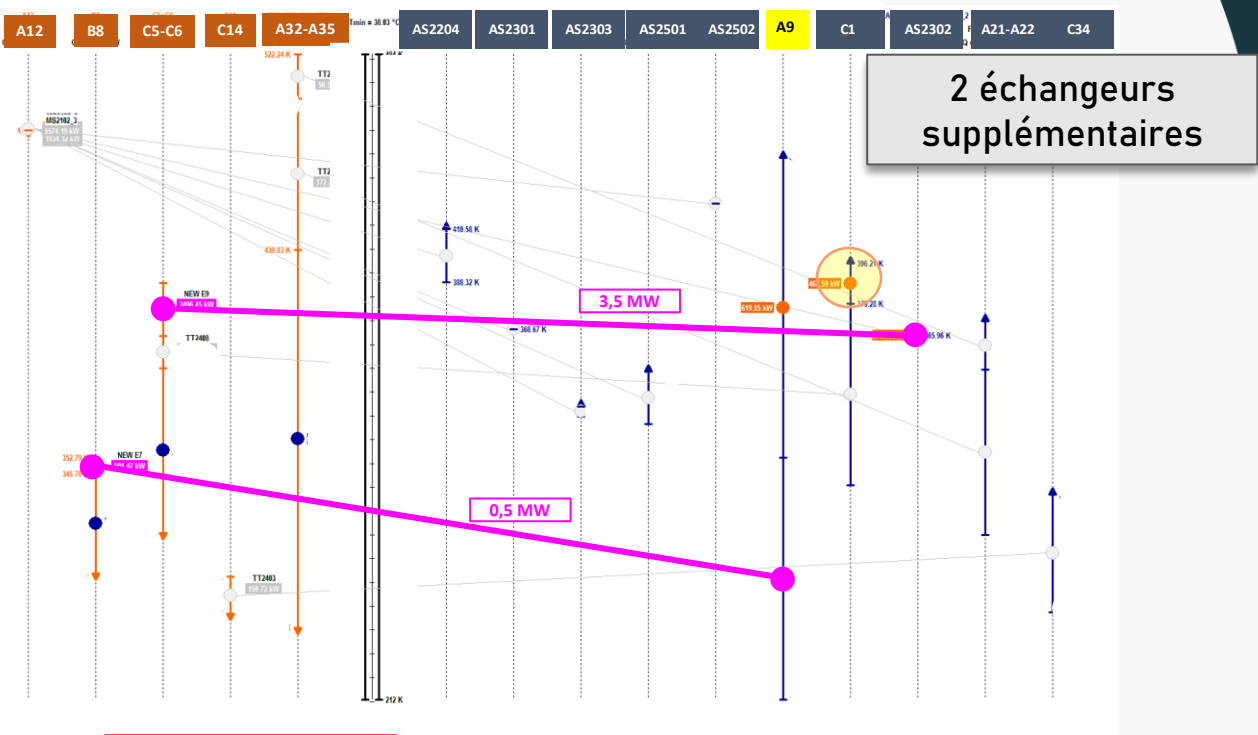
Scénario de remodelage minimal

Conservation (et repositionnement) des échangeurs existants et ajout de nouveaux échangeurs



Economie = 3,1 MW

Nouvel échangeur	Courants chauds et froids	
Echangeurs Intégration N°1	C5-C6 (<i>cracked gases</i>) AS2302 (<i>EDC distillation column</i>)	Boucle vapeur 5 bars
Echangeur Utilité chaude	C1 (<i>EDC to be preheated</i>)	

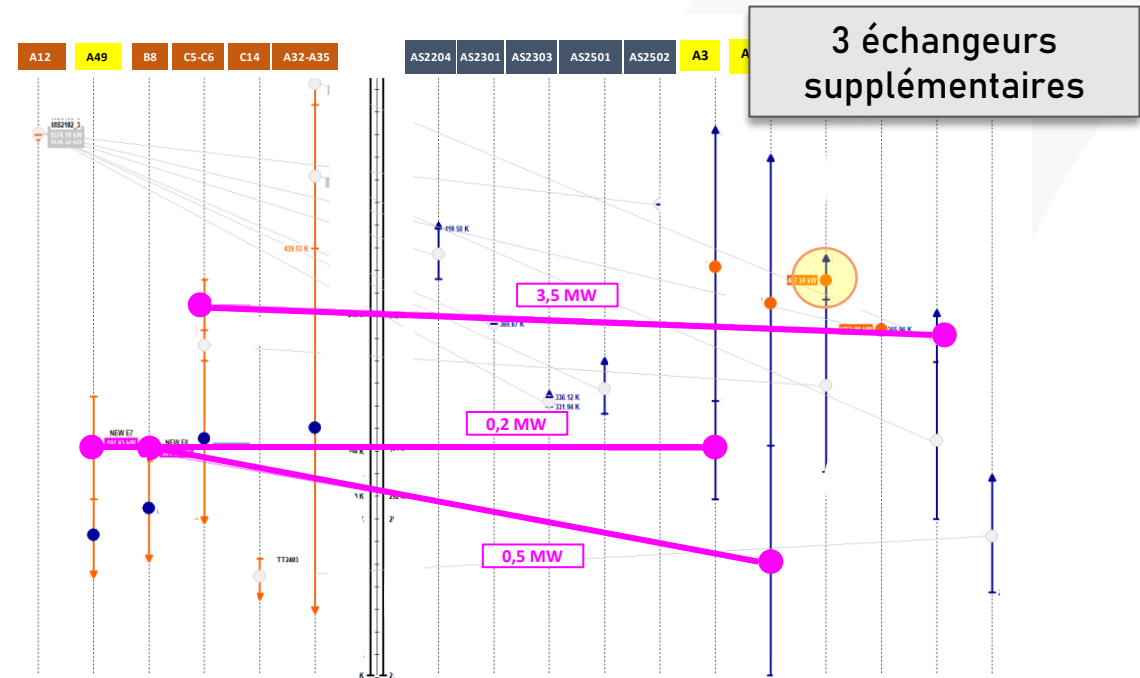


Economie = 3,6 MW

Nouvel échangeur	Courants chauds et froids	
Echangeurs Intégration N°1	C5-C6 (<i>cracked gases</i>) AS2302 (<i>EDC distillation column</i>)	Boucle vapeur 5 bars
Echangeurs Intégration N°2	B8 (<i>purified EDC</i>) – A9 (<i>préchauffage Ethylène</i>)	
1 échangeurs utilisées chaudes	C1 (<i>EDC to be preheated</i>)	

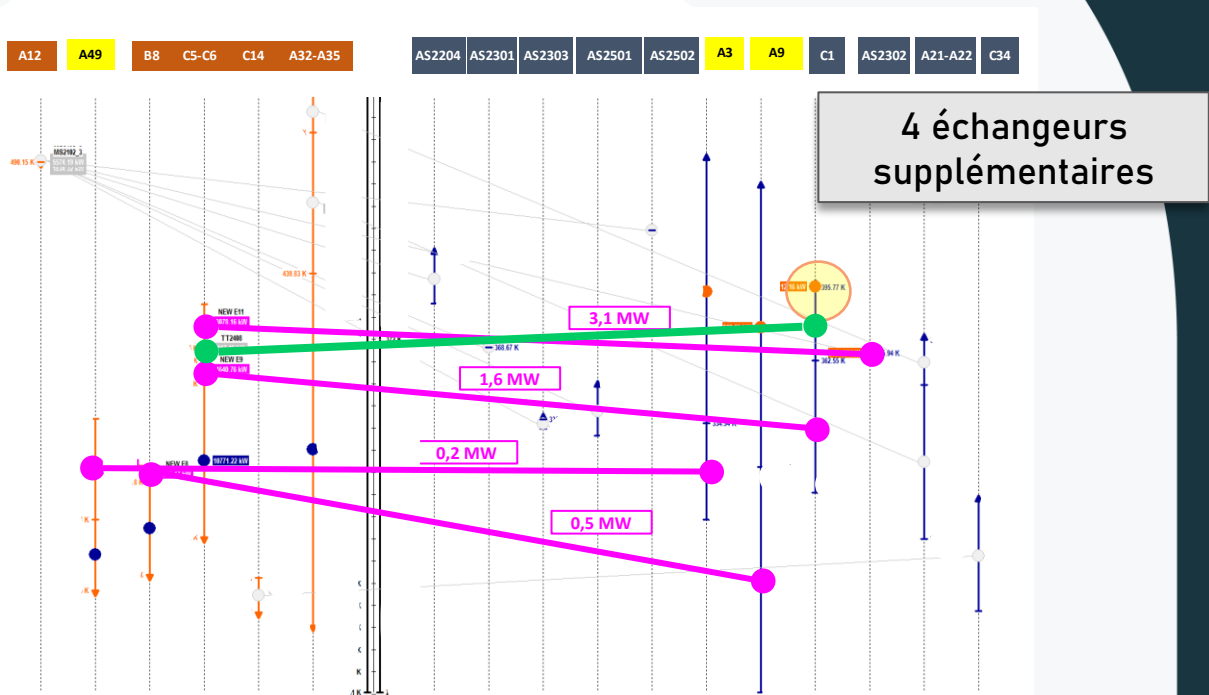
Etape 3 – remodelage du réseau

Scénario de remodelage minimal



Economie = 3,75 MW

Nouvel échangeur	Courants chauds et froids	
Echangeurs Intégration N°1	C5-C6 (cracked gases) AS2302 (EDC distillation column)	Boucle vapeur 5 bars
Echangeurs Intégration N°2	B8 (purified EDC) – A9 (préchauffage Ethylène)	
Echangeurs Intégration N°3	A49 (EDC recovered from waste stripper) A3 (HCL preheating)	
1 échangeurs utilités chaudes	C1 (EDC to be preheated)	



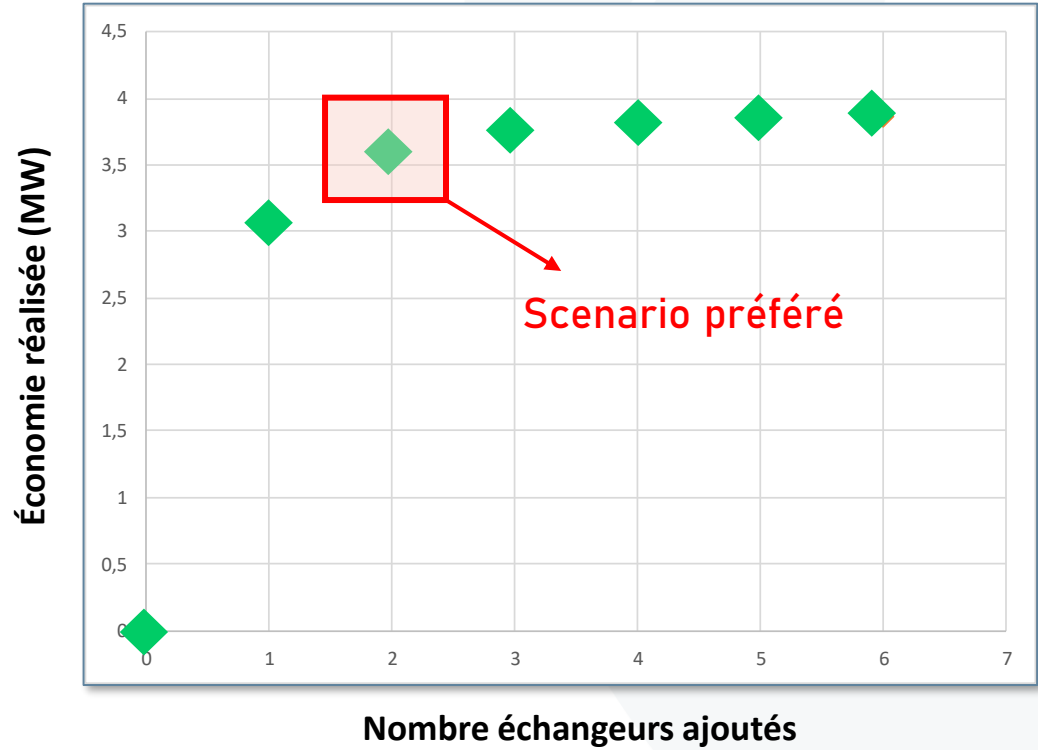
Economie = 3,8 MW

Nouvel échangeur	Courants chauds et froids	
Echangeurs Intégration N°1	C5-C6 (cracked gases) AS2302 (EDC distillation column)	Boucle vapeur 5 bars
Echangeurs Intégration N°2	B8 (purified EDC) – A9 (préchauffage Ethylène)	
Echangeurs Intégration N°3	A49 (EDC recovered from waste stripper) A3 (HCL preheating)	
Echangeurs Intégration N°4	C5-C6 (cracked gases) C1 (EDC to be preheated before cracking)	Ajout d'aire échangeur TT2408
1 échangeurs utilités chaudes	C1 (EDC to be preheated)	

Etape 3 – remodelage du réseau

Scénario de remodelage minimal

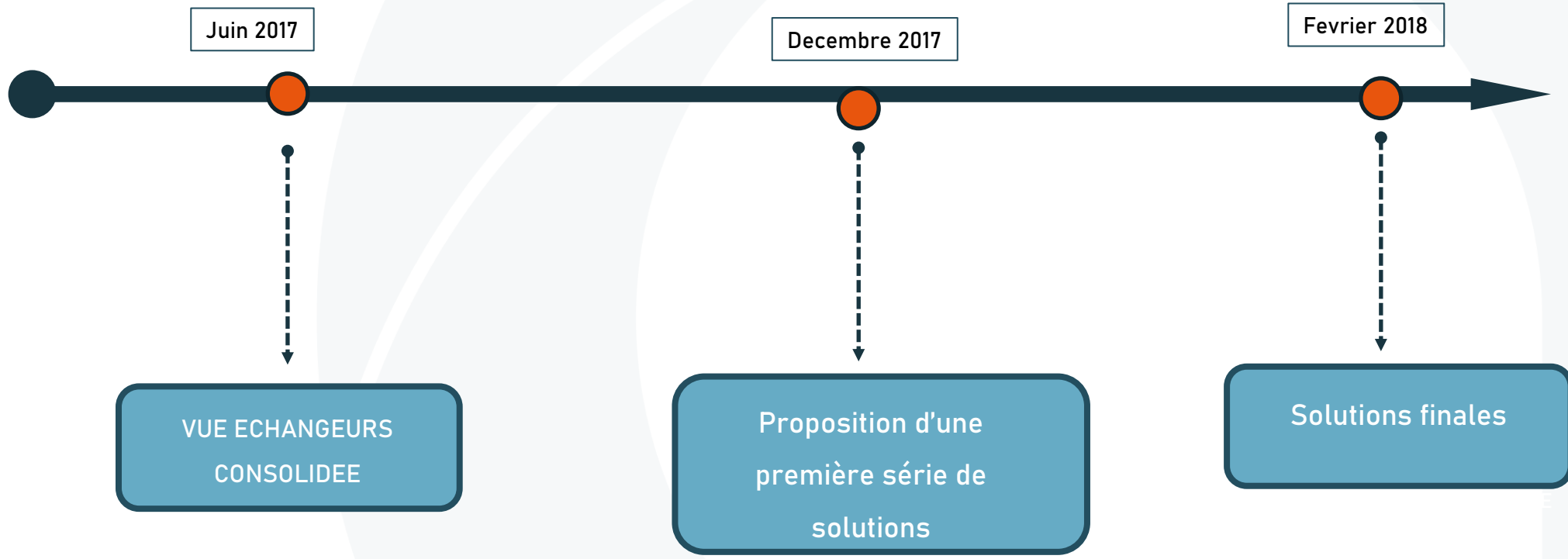
Conservation (et repositionnement) des échangeurs existants et ajout de nouveaux échangeurs



Nbre échangeurs ajoutés	Economie réalisée (MW)
1	3,1
2	3,6
3	3,75
4	3,8
5	3,85
6	3,86

Etape 2 : Remodelage

Retour sur la gestion de projet



Estimation coût

- Ingénieurs du site : 1 Hommes Jour
- Experts Pinch (avec outils logiciels opérationnel) : 3 Hommes jours

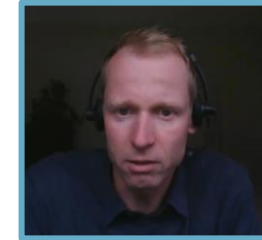
4 Hommes Jours

Conclusion

Retour d'Expérience et perspectives

Vynova uses residual heat to reduce energy consumption and CO2 emissions at its Tessenderlo site

1^{er} juillet 2020



To further improve the sustainability performance of the VCM production process, Vynova has constructed a heat recovery unit on two cracking furnaces of its Tessenderlo VCM plant. The unit utilises residual heat from the cracking furnaces to generate steam. That steam is used in the existing production process to further purify products. The investment was carried out with the financial support of the Flemish government.

On an annual basis, Vynova will be able to generate 80,000 tonnes of steam that was previously generated via natural gas-powered steam boilers. This represents an annual energy saving of 65,000 MWh, which corresponds to the energy consumption of 2,850 households. In addition, the new unit will reduce the site's CO₂ emissions by 12,000 tonnes per year.

<https://www.vynova-group.com/press-releases/vynova-uses-residual-heat-at-its-tessenderlo-site>

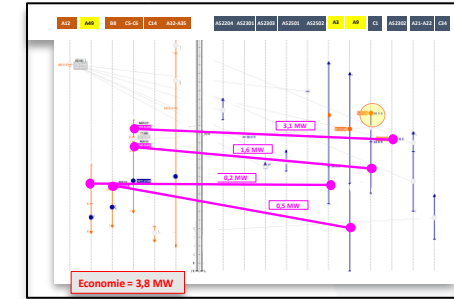
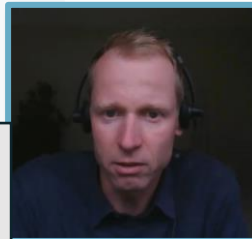
Conclusion

Retour d'Expérience et perspectives

Energy efficiency project surely remain the most obvious retrofit projects with **the best paybacks**. In the future we will have to focus even more on this kind of study. In this context, **RREFlex methodology** offer a precious help in the brainstorming as you don't have to brainstorm on one hundred ideas because the approach makes a pre selection for you"

Des travaux sont en cours visant à aller vers une approche conduisant à des solutions **mieux adaptées encore aux réalités industrielles** :

- Modèle plus fidèle à la réalité (FCp)
- Prise en compte de la **variabilité** (flexibilité)
- Prise en compte de la **faisabilité économique et technique** des échangeurs envisagés
- Couplage de **l'analyse pincement avec l'analyse Exergétique**

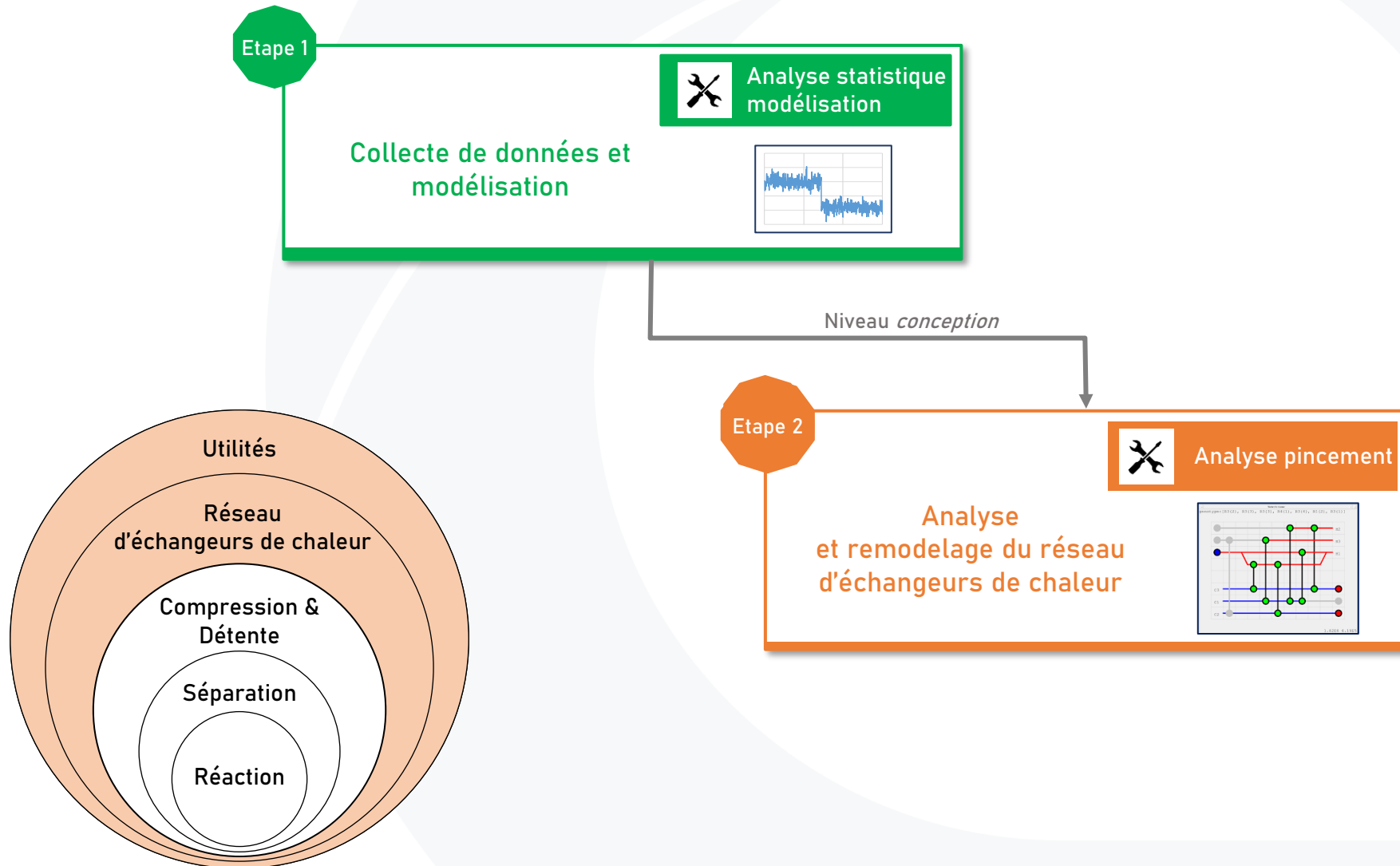


La pertinence des solutions proposées est conditionnée à **l'implication forte des ingénieurs responsables du site** à toutes les étapes du processus et en particulier lors de la phase de proposition des premières solutions.

L'outil proposé et les approches numériques implémentées permettent une **interaction efficace** entre les experts 'pinch' et les ingénieurs du site et conduit à une proposition la mieux adaptée possible aux contraintes du site.

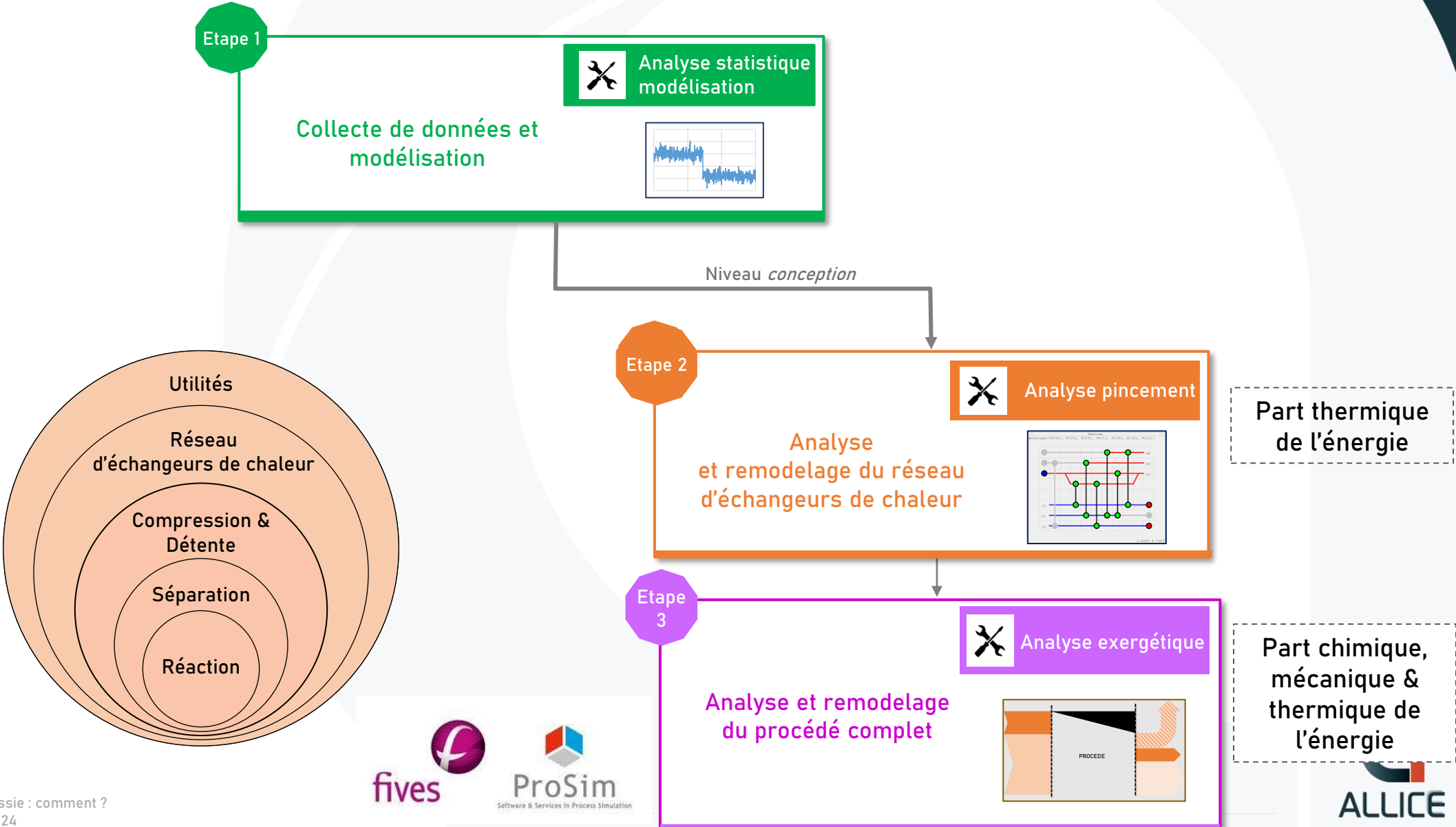
L'approche COOPERE

Approche développée au LGC



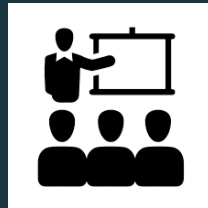
L'approche COOPERE

Approche développée au LGC



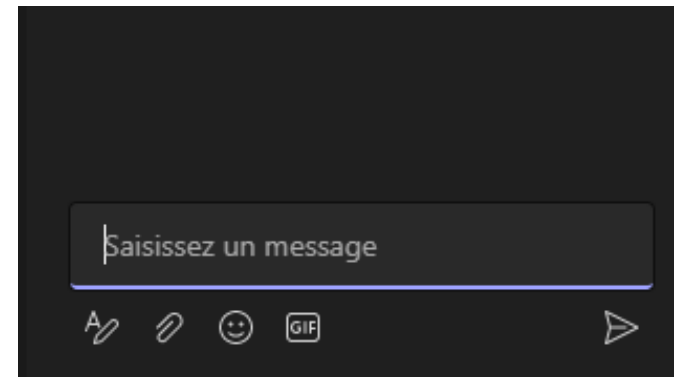
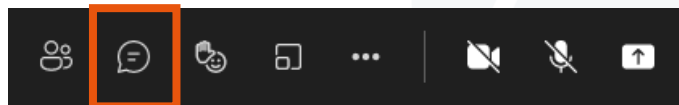
POUR ALLER PLUS LOIN

- Hétreux R., Payet L., Hétreux G., Floquet P., Mai 2020, Synthèse de réseaux d'échangeurs de chaleur flexibles – projet RREFlex : l'intégration au service de l'industrie 4.0, Collection Expertises de l'ADEME, <https://urlz.fr/hyzE>
- Payet L., Hétreux R., Hétreux G., Floquet P., Mai 2020, Efficacité énergétique : les promesses du numérique, Les Synthèses de la fabrique, Le Cube, La Fabrique de l'industrie, <https://urlz.fr/kH3V>
- Payet L., Hétreux R., Hétreux G., Bourgeois F., Floquet P., 2017, Flexibility Assesment of Heat Exchanger Networks : From a thorough data extraction to robustness evaluation, Chemical Engineering Research & Design, Vol 131, pp. 571-583, <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2017.11.036>
- Gourmelon S., Hétreux R., Floquet P., 2017, A systematic approach : combining process optimization, exergy analysis and energy Recovery for a better efficiency of industrial processes, International Journal of Exergy 23(4):298, <https://dx.doi.org/10.1504/IJEX.2017.086169>



Formation Continue – Toulouse INP
Efficacité Énergétique des Procédés
<https://urlz.fr/kIRK>

Posez vos questions !



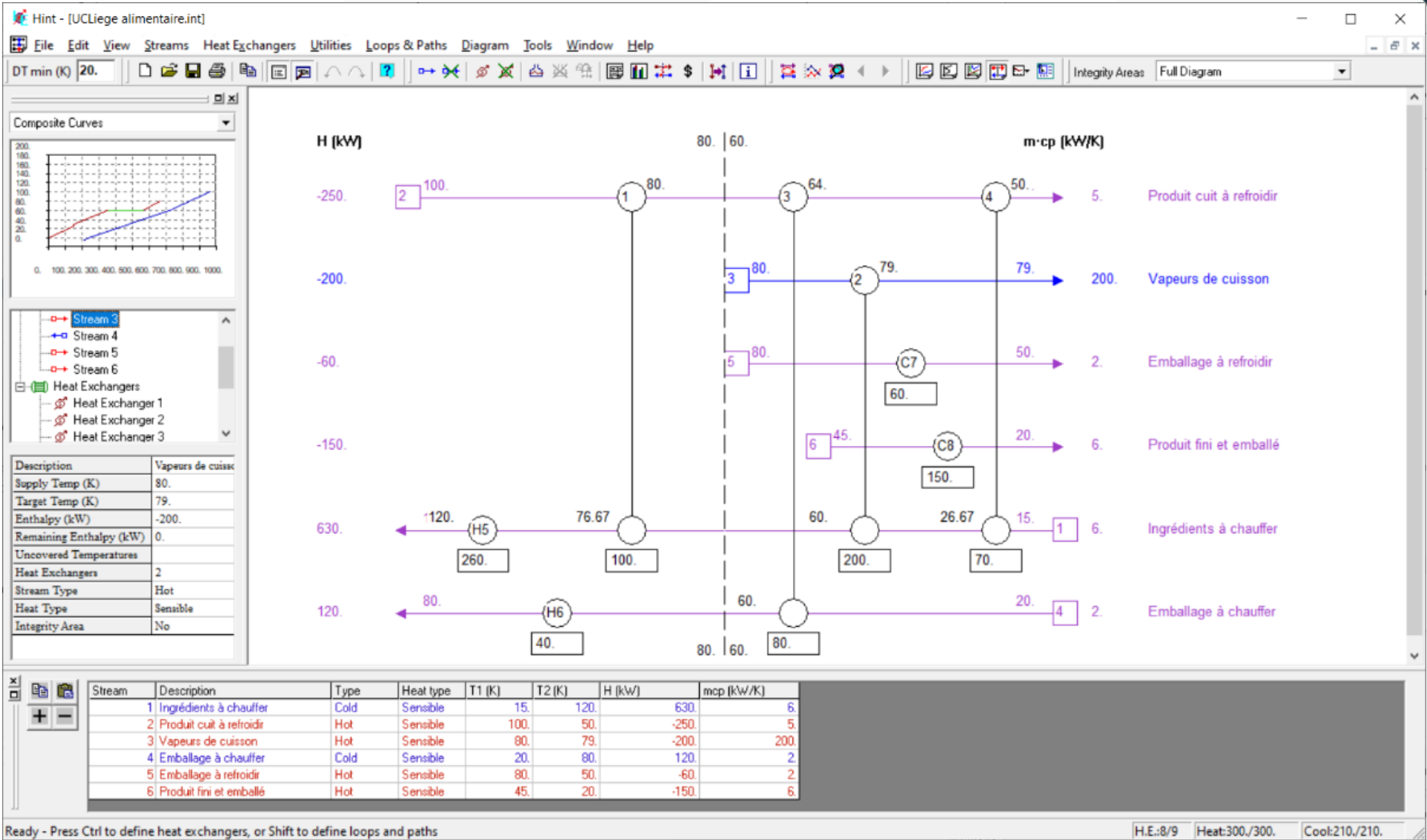
Benchmark d'outils disponibles

Benchmark outils de calcul disponibles (Annexe B du rapport)

- Benchmark couvrant la plupart des outils disponibles

Outil	Plate-forme/interface	Phase Audit	Estimation $\Delta T_{\min \text{ optimal}}$	Calcul réseau	Coût
Open Pinch	Excel	Oui	Non	Non	Gratuit
PINCHCO	Excel	Oui	Non	Non	Gratuit
THEN	Excel	Oui	Non	Oui	Gratuit
HINT	Windows	Oui	Oui	Suggestions	Gratuit
FI ² EPI	Windows	Oui	Oui	Suggestions	Gratuit
CERES	En développement	Oui	Oui	Oui	Code ouvert
Optimal Heat	Windows	Oui	Oui	Oui	Payant
SPRINT	Windows	Oui	Oui	Oui	Payant
SuperTarget	Windows	Oui	Oui	Oui	Payant
Simulis Pinch Energy	Excel	Oui	Oui ?	Oui	Payant
Aspen Energy Analyzer	Windows	Oui	Oui	Oui	Payant
RREFlex	En développement	oui	Non		Outil interne pour prestations

HINT : gratuit



FI²EPI : gratuit pour organisation à but non lucratif

FI²EPI v. 1.2.0

Menu: Fichier, Affichage, Contrôle, Aide

Project, Export, Help, Example 2

Data, HEN without Integration, Existing Network, Diagrams, Optimal ΔTmin, MER Network, MER Network Evolution, Table of Scenarios, Settings

ΔTmin: 10 °C Edit ΔTmin

Process Streams

no	Description	Ti (°C)	Tf (°C)	h (kW/m² °C)	MCp (kW/°C)	Q (kW)	Stream type
1		210	70.0	2.00	49.0	6960	Hot
2		130	105	2.00	90.0	2250	Hot
3		60.0	160	2.00	30.0	5000	Cold
4		110	210	1.00	30.0	3000	Cold
5		120	175	1.00	30.0	1650	Cold
6		140	90.0	2.00	25.0	1750	Hot

Utilities

no	Description	Existing	Ti (°C)	Tf (°C)	h (kW/m² °C)	Q (kW)	Price	Use in MER Network
1	Saturated Steam	YES	220	220	2.00	5200	100.00 €/kW/year	☒
2	Cold Water	YES	25.0	35.0	2.00	6410	7.50 €/kW/year	☒

HEN without Integration

Streams/Utilities	HE1 Q=5000 kW	HE2 Q=3000 kW	HE3 Q=3650 kW	HE4 Q=5860 kW	HE5 Q=2250 kW	HE6 Q=1750 kW
PS1				210	70.0	
PS2					130	105
PS3	60.0	160				
PS4		110	210			
PS5			120	175		
PS6						100
UT1	220	220	220	220	220	220
UT2				25.0	35.0	25.0

Existing HE

Streams/Utilities	HE1 Q=2700 kW	HE2 Q=2750 kW	HE3 Q=2650 kW	HE4 Q=2250 kW	HE5 Q=3020 kW	HE6 Q=2250 kW	HE7 Q=1650 kW
PS1	210	155		155	70.0		
PS2				130	105		
PS3		60.0	95.0			95.0	160
PS4	110	200			200	210	
PS5							120
PS6		160	50.0				220
UT1					220	220	220
UT2				25.0	35.0	25.0	35.0

Economic Data

FI²EPI v. 1.2.0

Menu: Project, Export, Help, Projecto sem nome

Data, HEN without Integration, Existing Network, Diagrams, Optimal ΔTmin, MER Network, MER Network Evolution, Table of Scenarios, Settings

Optimal ΔTmin

MER Network 1 above Pinch

HS/HU	2	3	UT1	UT2	HN _o = 2 CN _o = 2 HN _o ≤ CN _o
Q (kW) MCp (kW/°C)	MCp = 40 Q = 3120 0 remaining	MCp = 20 Q = 1160 0 remaining			
CS	MCp = 30 Q = 1650 0 for HU	MCp = 20 Q = 1160		MCp = 30 Q = 370	
4	MCp = 50 Q = 3000 0 for HU				

MER Network 1 below Pinch

HS	2	3	HN _o = 2 CN _o = 1 HN _o ≥ CN _o
Q (kW) MCp (kW/°C)	MCp = 40 Q = 1280 0 for CU	MCp = 20 Q = 1240 0 for CU	
CS/CU	MCp = 30		

Heat Cascade

Composite Curves

Existing Network

MER Network 1

Global Composite Curve (MER Network 1)

MER Network 2

Global Composite Curve (MER Network 2)

Synthèse benchmark

- Quelques outils disponibles gratuitement qui permettent de conduire la phase audit avec :
 - Le calcul de la température de pinch ;
 - Les consommations énergétiques minimales;
 - Les consommations énergétiques cibles des utilités pour une valeur donnée de ΔT_{min} .
 - Le tracé des courbes composites chaude et froide ;
- Pas de tel outil gratuit disponible pour les industriels français;
- Les outils les plus performants sont payants et nécessitent une expertise dans le domaine.

Acteurs impliqués

Institution/Société	Pays	Nature des travaux	Observations	Contact
ENSIACET (LGC de Toulouse)	France	Méthodologies, outils et prestations	Outils RREFlex	Raphaële <u>Hétreux</u>
ProSim	France	Outils et prestations	Outil Simulis Pinch Energy	Quentin Duval
Ecole des Mines de Paris	France	Méthodologies, outils et prestations		Assaad Zoughaib
KBC Global	USA	Développeurs logiciels (SuperTarget) et prestations	Avait acquis société Linhoff-March (précurseur du pinch)	-
University of Valladolid	Espagne	Outil Pinch (HINT)	Audit et réseau (manuel) par méthode design pinch	Prof. Dr. Ir. <u>Ángel</u> <u>Martín</u> <u>Martínez</u>
Universidade de Lisboa	Portugal	Outil FI²EPI	Audit et réseau (manuel) par méthode design pinch	Prof. Henrique Matos
Ecole Polytechnique Lausanne	Suisse	Méthodologies, outils et prestations		François Maréchal
UMIST - University of Manchester	UK	Méthodologies et outils	Equipe de chercheurs précurseurs.	Simon Perry
Louisiana State University	USA	Outil Pinch (THEN)	Réseau HEN par méthode design pinch	Carl <u>Knopf</u>
Brno University of Technology	Czech Republic	Méthodologies et outils	Spécialisé en méthode pinch	<u>Jiří</u> <u>Jaromír</u> <u>Klemeš</u>
Carnegie Mellon University	USA	Méthodologies et outils	Précurseurs en méthodes mathématiques	Ignacio E. Grossmann
Texas A&M University	USA	Méthodologies et outils		Mahmoud El-Halwagi <u></u>
ASPEN	USA	Développeurs logiciels simulation	Outil Aspen Energy Analyzer	-



FIVES PROSIM

Méthodologies d'analyse systémiques

Simulis Pinch

1^{er} Février 2024

Quentin DUVAL

PSE: Process System Engineering (ou CAPE: Computer Aided Process Engineering)

⇒ **Génie des procédés**

⇒ **Développement de logiciels scientifiques**



Modélisation, simulation et optimisation des procédés

- **Calcul de propriétés thermodynamiques et d'équilibres entre phases**
- **Bilans matière et énergie sur des procédés complets**
- **Dimensionnement d'équipements de l'industrie**
- **Efficacité énergétique & hydrique (« Pinch technology »...)**
- **etc...**

UNE GAMME COMPLETE DE LOGICIELS

Process simulation

ProSimPlus

- › Steady-state simulation and optimization of processes

ProSimPlus is a process engineering software that performs rigorous mass and energy balance calculations for a wide range of industrial steady-state processes. ...

ProSimPlus HNO3

- › Simulation and optimization of nitric acid plants and nitrous vapors absorption

ProSimPlus HNO3 is a unique process engineering tool, specifically designed to model nitric acid production plants and nitrous vapors absorption units. It allow...

ProSim Suite

- › The power of all ProSim simulation software in one convenient, cost effective package!

ProSim Suite provides access to any of ProSim's software for steady-state process simulation and optimization, thermodynamic calculations, batch process simulat...

Dynamic simulation

ProSim DEP

- › Dynamic simulator for depressurization units

ProSim DEP is a depressuring unit operation dynamic simulator. ProSim DEP allows to: solve the mass and energy balances for all the process unit operati...

ProSim DAC

- › Dynamic adsorption column simulation

ProSim DAC is a dynamic simulation software for adsorption columns. Both adsorption and regeneration steps (TSA, PSA, VTSA...) can be modeled. ProSim DAC is a dec...

Thermophysical properties calculation

Simulis Thermodynamics

- › Mixture properties and fluid phase equilibria calculations

Simulis Thermodynamics is a calculation server for thermophysical properties and phase equilibria calculations on pure components and mixtures. ...

ProPhyPlus

- › Software of Simulis Thermodynamics

Based on Simulis Thermodynamics, ProPhyPlus is a stand-alone calculation software to run all the thermodynamic calculations, without any programming. ProPhyPlus...

ProSec

- › Simulation of brazed plate fin heat exchangers

ProSec is a software dedicated to the simulation of multi-fluids plate fin heat exchangers, and in particular brazed aluminium exchangers. It is capable of mode...

ProSim HEX

- › Heat exchangers simulation (plate-and-frame, shell and tubes...)

ProSim HEX is ProSim's software dedicated to the simulation of heat exchangers. This software contains a module for the detailed simulation of plate-and-frame h...

Energy management

ProSimPlus Energy

- › Simulation and Optimization for Energy Efficiency of Steady-State Processes

In many industries (food & beverage, chemicals, pulp & paper...), the improvement of energy efficiency to control energy consumption represents a major ...

Simulis Pinch

- › Water and Energy Savings in Industrial Processes

Dedicated to process integration, Simulis Pinch allows any engineer to easily apply the pinch technology to find the best possible use of energy and water in in...

Batch processes

BatchReactor

- › Simulation of chemical reactors in batch mode

Reducing production costs, responding to environmental or safety regulations, saving time in scale-up phases and new products launch... BatchReactor allows chemists and process engineers to rely on a dedicated tool to achieve

BatchColumn

- › Simulation and optimization of batch distillation columns

Users of batch distillation columns (pharmaceuticals, specialty chemicals, essential oils, alcohols...) know the advantages of this process: great flexibility, a...

Properties database

DIPPR L20+

- › Pure component thermodynamic properties database

ProSim is one of the few distributors of the DIPPR® database from AIChE (American Institute of Chemical Engineers). This database is the main reference for the ...

DETERM

- › Databases of experimental data from DECHEMA

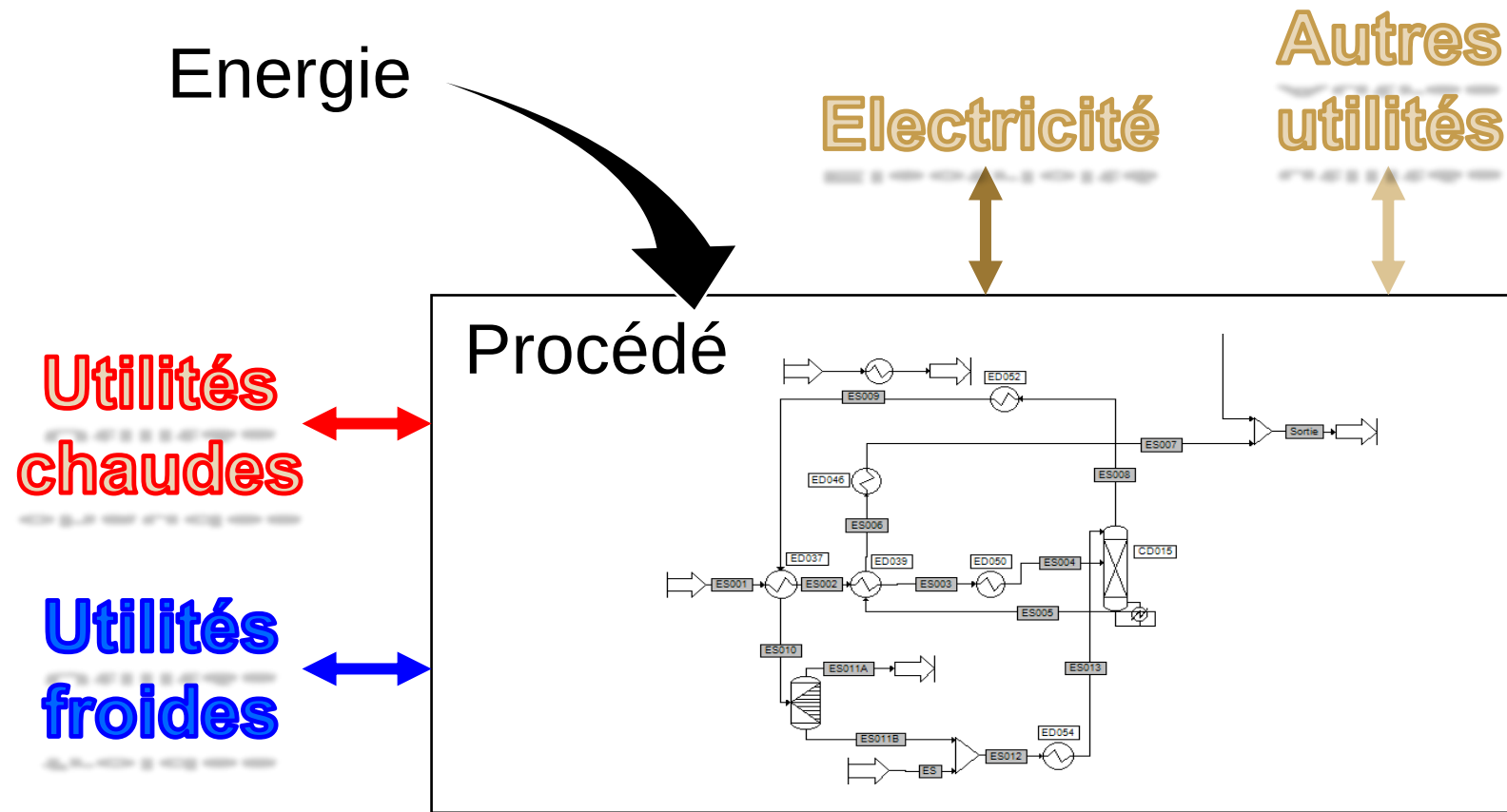
DETERM is a group of databases of data used for the design and optimization of chemical processes, distributed by DECHEMA.

DPP

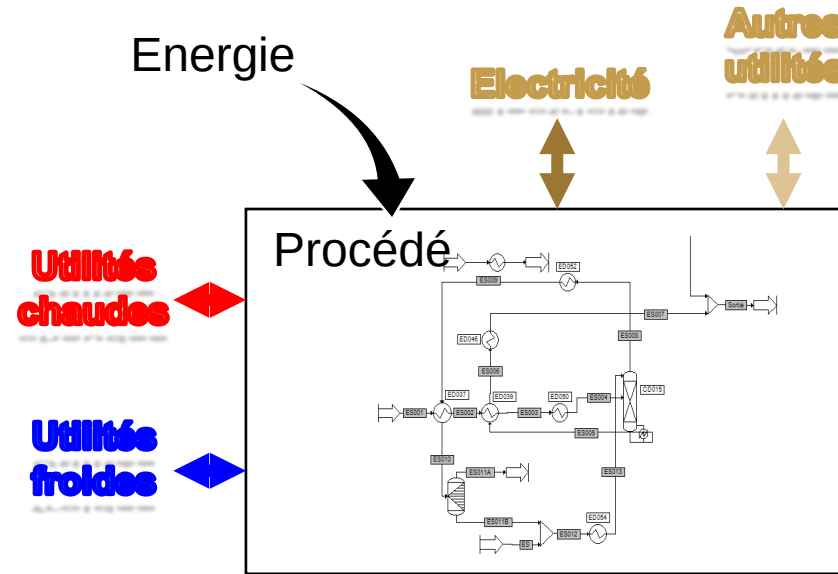
- › Experimental data regression tool

DPP is an advanced tool for the regression of experimental data, developed and maintained by DECHEMA. It allows the user to convert raw experimental data (discr...

Les interactions entre procédé et énergie



Objectifs de l'analyse "Pinch"



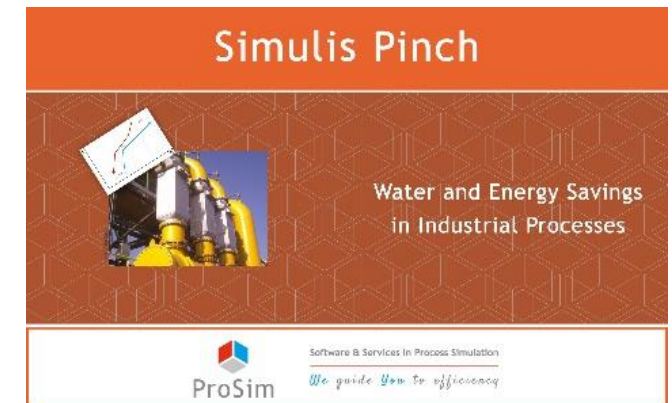
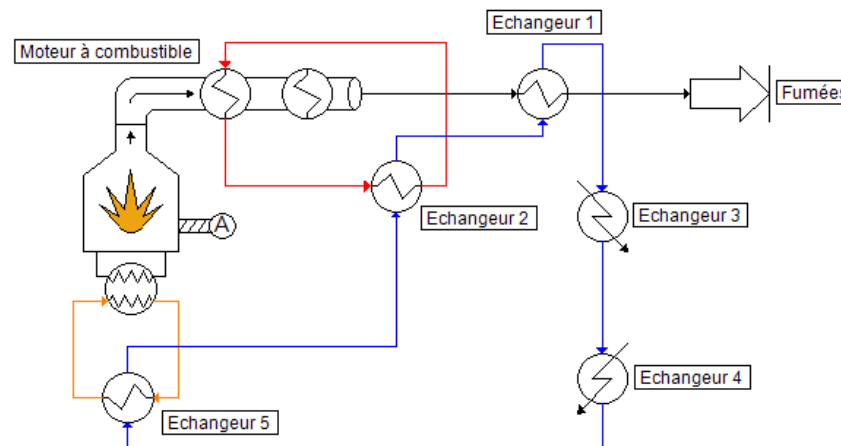
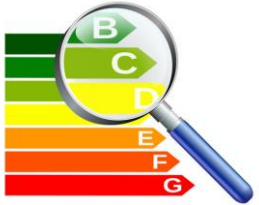
L'analyse "Pinch" vise à **minimiser l'apport d'énergie** sur un procédé (sous forme d'utilités chaudes et/ou d'utilités froides)

- ⇒ En quantifiant les **gisements d'énergie** thermique sur ce procédé (**MER**)
- ⇒ En apportant les utilités au niveau thermique approprié (GCC)
- ⇒ En déterminant comment valoriser au mieux cette énergie thermique disponible au sein du procédé (synthèse de réseau d'échangeurs)

Simulis Pinch Energy

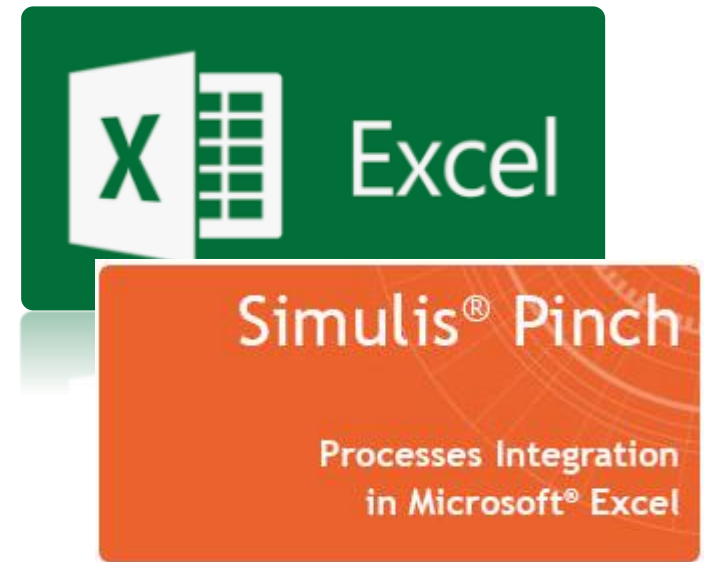
Pour réaliser une analyse pincement (analyse « pinch »), **2 étapes** principales doivent être réalisées :

- 1. Diagnostic énergétique** : C'est l'audit énergétique avancé du procédé et la mise en œuvre de la méthode du pincement
- 2. Intégration énergétique** : Proposition de réseaux d'échangeurs permettant une récupération maximale de la chaleur au sein du procédé



Simulis Pinch : Les données

Stream	Physical state	F*Cp (KCAL/HR/K)	T In (K)	T Out (K)
C5	LV	70555	324	422
C12	LV	15806	322	408
Rebo.C101	L	14888505	484	484
C8	V	56063	497	322
Cond.C101	V	883	434	276
C15	L	17568	484	322



Les données nécessaires sont les besoins en chauffe ou en refroidissement du procédé.

Pour chaque besoin :

- Le flux de puissance (« F*Cp »)
- Les températures d'entrée et de sortie

Enfin, il faut également fournir une valeur pour le pincement

Calcul d'intégration énergétique

Sélection des données Pinch: kcal/h Sélection valide

Valeur du pincement: 10 °C Valeur valide

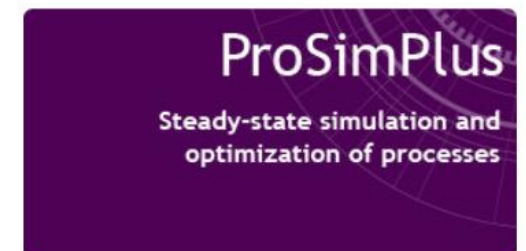
☐ Analyse du réseau d'échangeurs

Options ... A propos ... ? i Calculer Annuler

Obtenir les données à l'aide d'un simulateur : ProSimPlus

Pourquoi faire une simulation du procédé ?

- Pour bâtir un fichier regroupant toutes les informations sur le procédé (collecte de données, dimensionnement...)
- Pour garantir une **cohérence** d'ensemble du modèle du point de vue **des bilans matière et énergie**
- Pour **pallier** éventuellement des **données manquantes** (**réconciliation de données**) ou prédire des résultats
- Pour pouvoir tester des modifications du procédé
- Pour pouvoir calculer les coûts et retour sur investissement
- Réaliser des analyses exergetiques du procédé

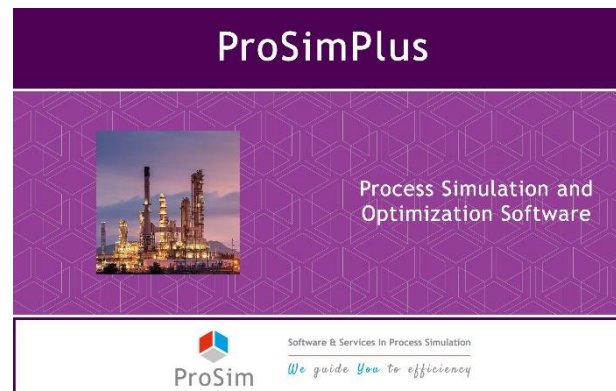
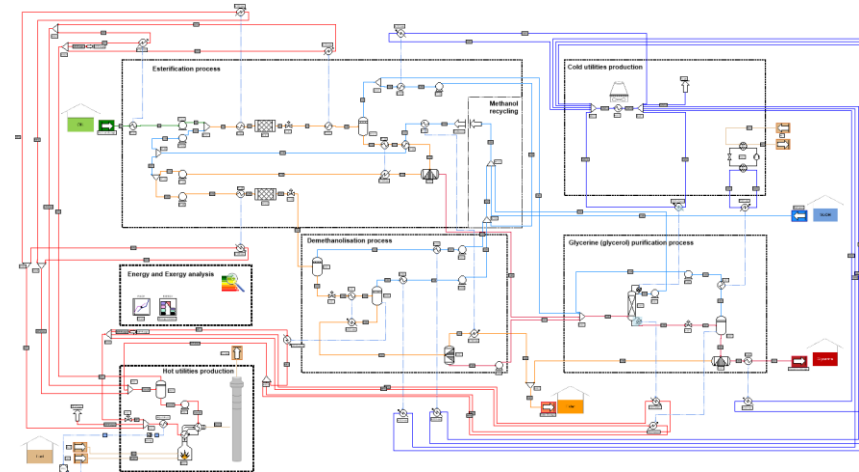
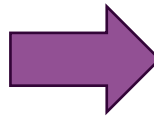


Obtenir les données à l'aide d'un simulateur : ProSimPlus

Usine

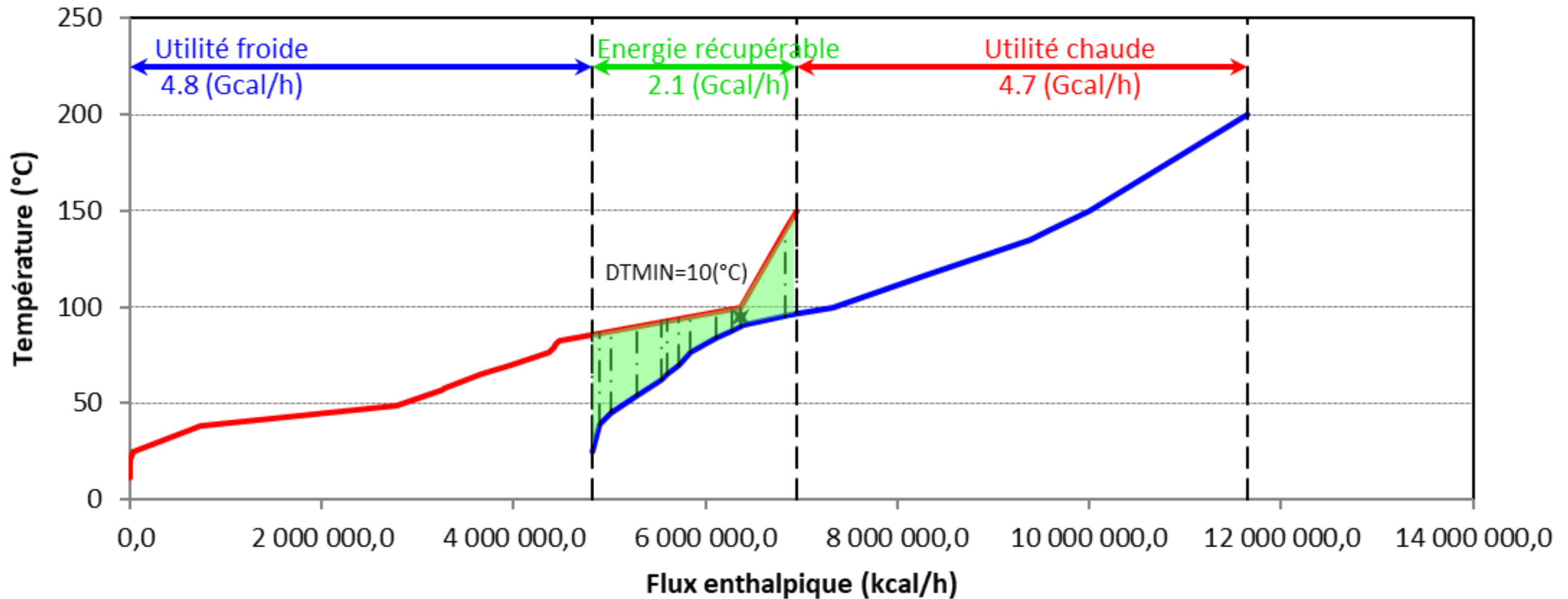


Jumeau numérique



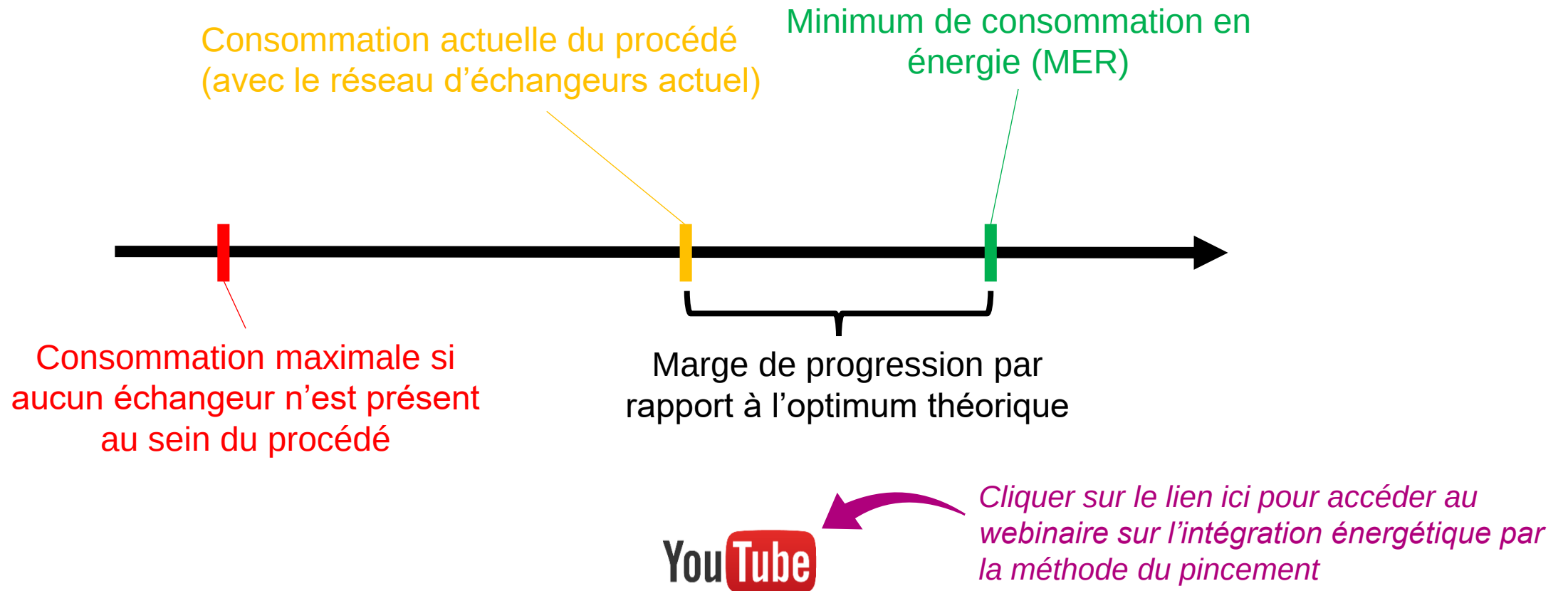
Diagnostic : Principaux résultats

Courbes composées (TQ)

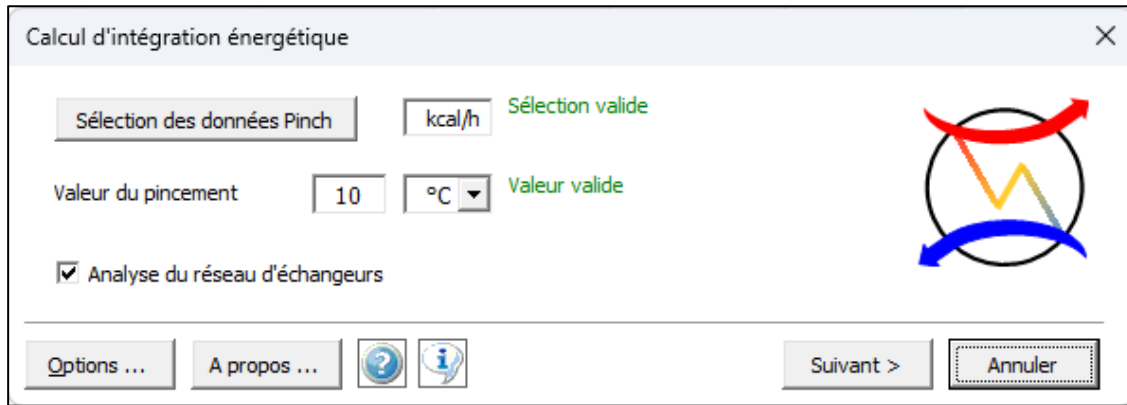


Diagnostic : Principaux résultats

Evaluer la marge de progression par rapport aux consommations énergétiques du procédé actuel



Synthèse du réseau d'échangeurs



Calcul d'intégration énergétique

Sélection des données Pinch kcal/h Sélection valide

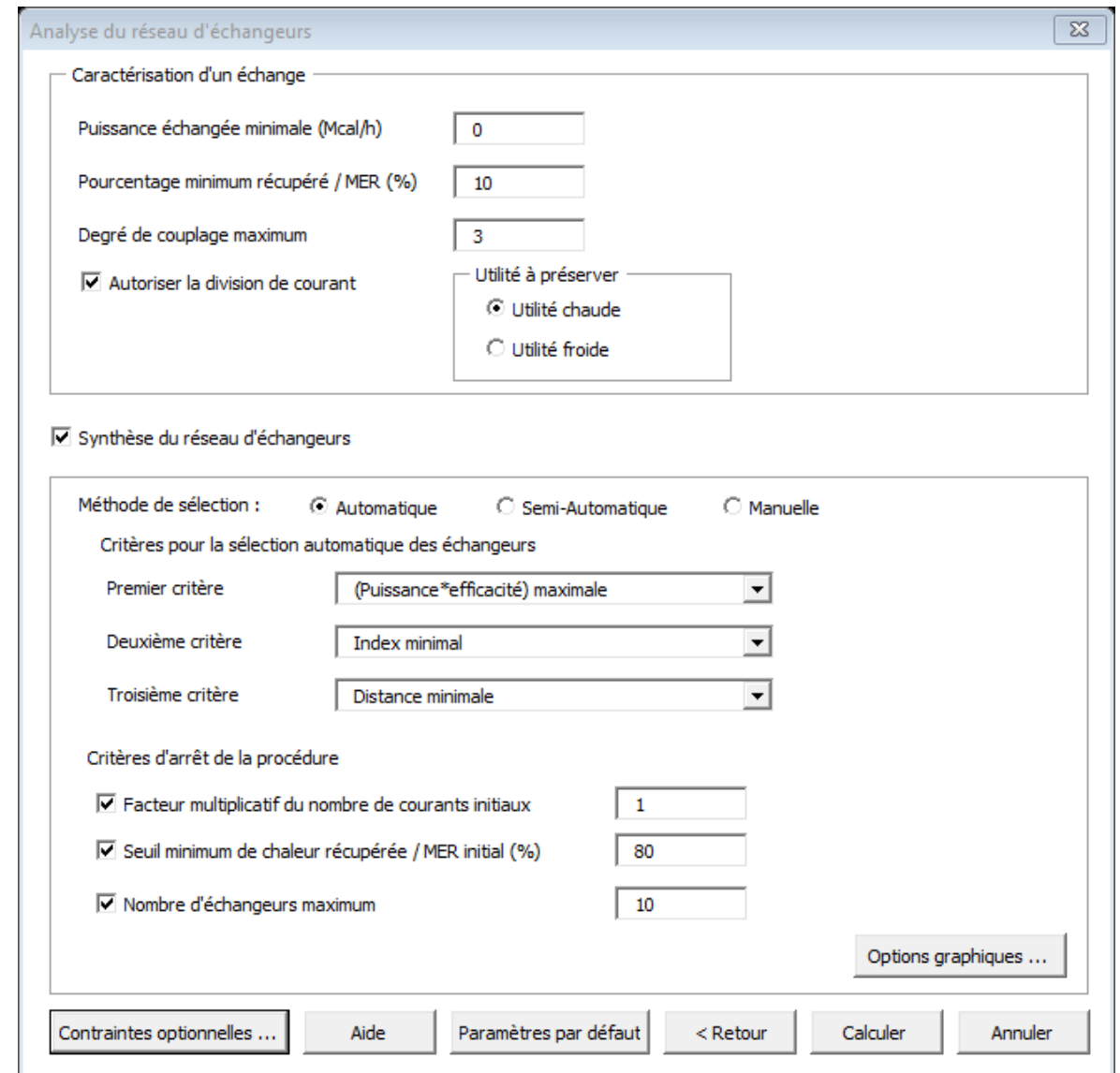
Valeur du pincement 10 °C Valeur valide

☒ Analyse du réseau d'échangeurs

Options ... A propos ... ? i Suivant > Annuler

L'utilisateur dispose de différentes options pour générer le réseau d'échangeurs selon les objectifs qu'il souhaite atteindre :

- Récupérer au moins une certaine quantité d'énergie
- Récupérer un maximum d'énergie en un minimum d'échangeurs
- Atteindre l'optimum énergétique
- Réaliser des intégrations locales
- ...



Analyse du réseau d'échangeurs

Caractérisation d'un échange

Puissance échangée minimale (Mcal/h) 0

Pourcentage minimum récupéré / MER (%) 10

Degré de couplage maximum 3

☒ Autoriser la division de courant

Utilité à préserver

☒ Utilité chaude

☐ Utilité froide

☒ Synthèse du réseau d'échangeurs

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

Critères pour la sélection automatique des échangeurs

Premier critère (Puissance*efficacité) maximale

Deuxième critère Index minimal

Troisième critère Distance minimale

Critères d'arrêt de la procédure

☒ Facteur multiplicatif du nombre de courants initiaux 1

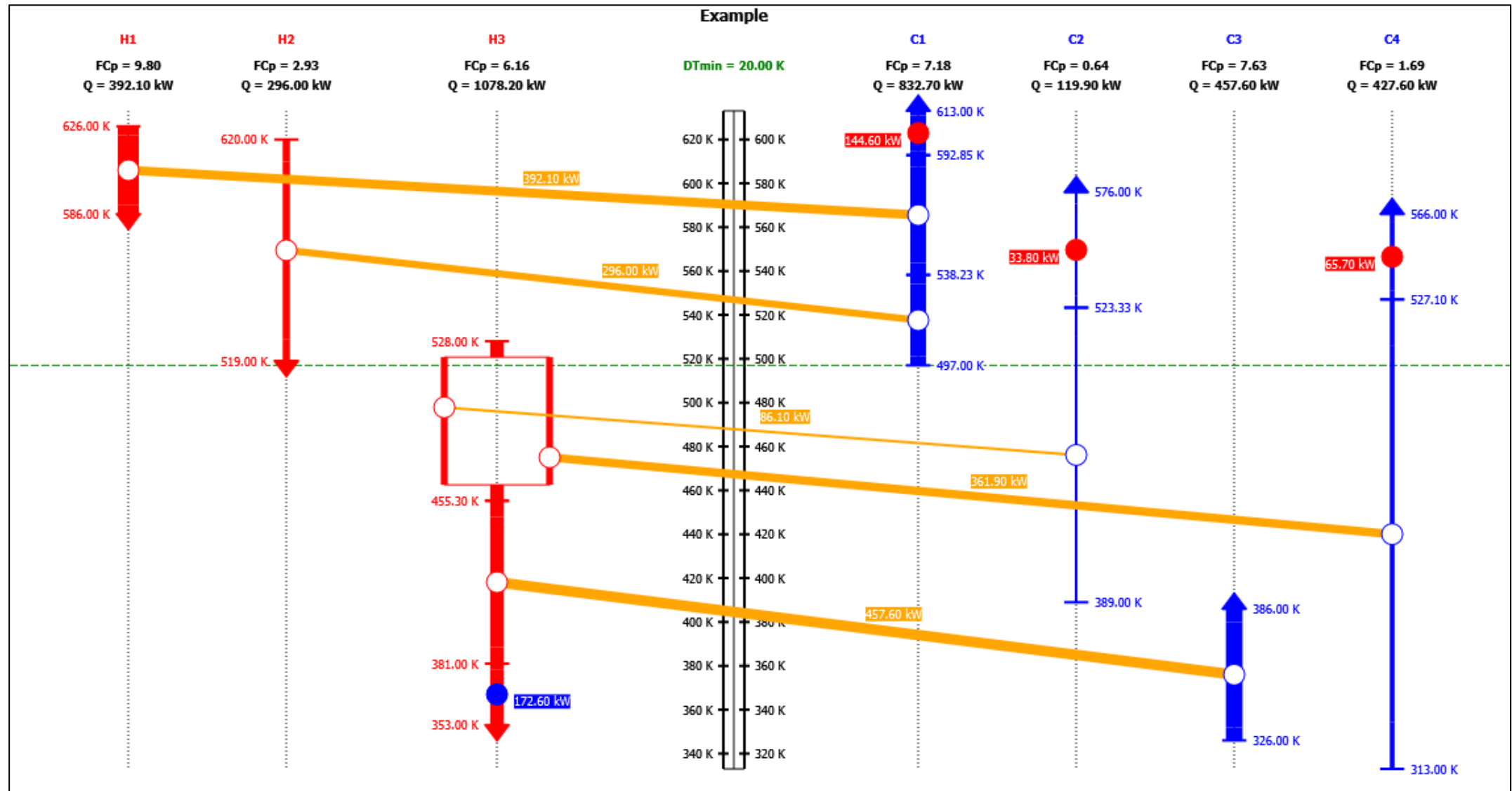
☒ Seuil minimum de chaleur récupérée / MER initial (%) 80

☒ Nombre d'échangeurs maximum 10

Options graphiques ...

Contraintes optionnelles ... Aide Paramètres par défaut < Retour Calculer Annuler

Synthèse du réseau d'échangeurs : Principaux résultats



Synthèse du réseau d'échangeurs : Contraintes de construction

L'utilisateur dispose de plusieurs options permettant de prendre en compte les contraintes de conception :

- Réaliser des intégrations locales :
 - Contraintes de zone (échangeur dans un même atelier, un même bâtiment...)
 - Contraintes de cartographie (distance entre les flux chaud et froid)
- Evaluation économique du réseau
- Incompatibilité entre les courants
- Difficulté à faire échanger un courant chaud avec un courant froid

Synthèse du réseau d'échangeurs : Contraintes optionnelles

☒ Contraintes de zone 1

☒ Aucune
☐ Echanges intrazones uniquement
☐ Echanges interzones sous conditions

Sélection des zones

Sélection des zones froides autorisées

Sélection des zones chaudes autorisées

☒ Cartographie 2

Distance maximale

Sélection

☒ Evaluation économique 3

Unité de surface

Devise

Prix par unité de surface (€/m²)

Sélection des coefficients d'échange

☒ Matrice d'incompatibilité 4

Sélection

☒ Difficulté 5

Difficulté maximum

Sélection

Aide

Générer tableaux

Valider

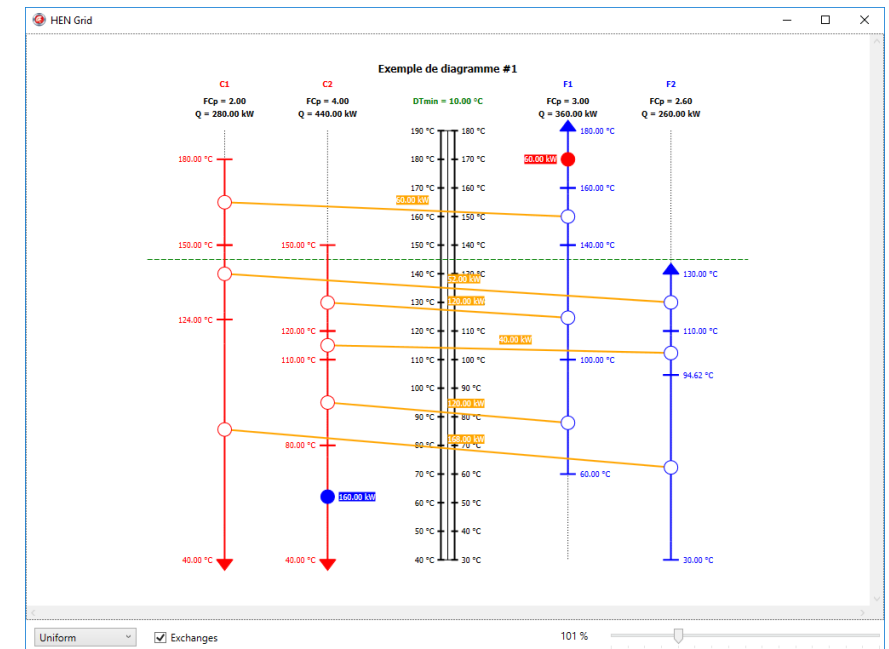
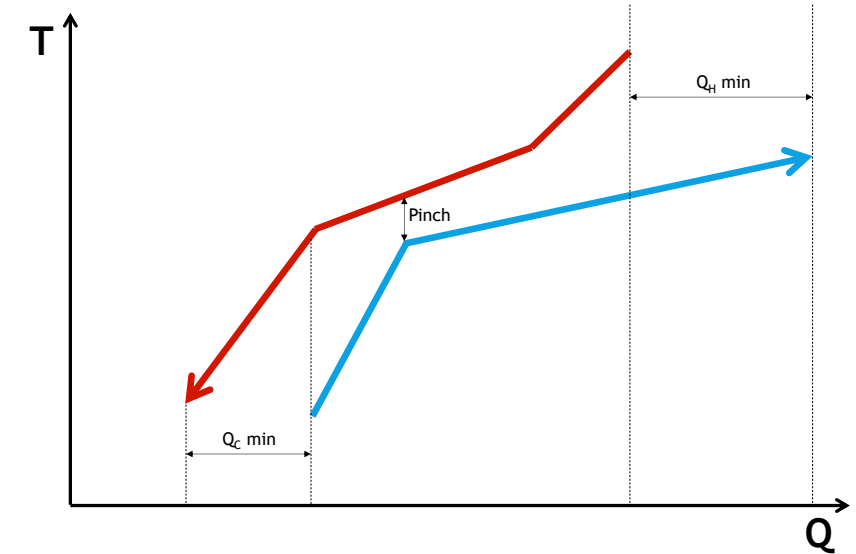
Annuler

Plus les contraintes sont importantes, plus il est difficile d'atteindre l'optimum théorique (MER)

Intégration énergétique : Simulis Pinch

Outil d'intégration énergétique des procédés dans Excel™

- Tous les éléments nécessaires à un audit énergétique avancé en un seul outil
- Une synthèse automatique et rapide d'un réseau d'échangeurs de chaleur performant
- Une grande souplesse de configuration pour un usage en conception ou en revamping
- Un add-in sous Microsoft® Excel pour une utilisation simple et des résultats facilement exploitables
- Une solution autonome ou en lien avec un simulateur de procédés (ProSimPlus)



Notre retour d'expériences sur les 30 dernières années

Notre culture "**process**" nous permet d'aller plus loin que les simples audits "réglementaires"

Une équipe d'ingénieurs à même de réaliser ce type de prestation dans l'industrie

Expérience importante et ancienne dans ce domaine

Des références prestigieuses dans de nombreuses industries

Résultats obtenus :

- Classiquement **15-20% d'économie**
- Sur certaines unités, nous avons obtenu plus de 40%
- Retour sur investissement (études + modifications apportées aux installations) largement inférieur à 1 an



Conclusions

L'analyse du pincement est une **technologie mûre**, qui a fait ses preuves : les **gains** obtenus peuvent être **substantiels**

Des outils numériques existent : **ProSimPlus**, **Simulis Pinch**

Ces analyses requièrent un peu d'expertise...

...et la mise en œuvre d'outils logiciels appropriés peut aider

Pour aller plus loin :

- Formations : <https://www.prosim.net/en/training-courses-process-simulation/>
- Simulis Pinch : <https://www.prosim.net/en/product/simulis-pinch-energy-integration-of-processes-in-excel/>
- ProSimPlus : <https://www.prosim.net/en/product/prosimplus-steady-state-simulation-and-optimization-of-processes/>



Fives ProSim S.A.S.

51, rue Ampère
Immeuble Stratège A
F-31670 Labège – France
Tel: +33 (0) 5 62 88 24 30



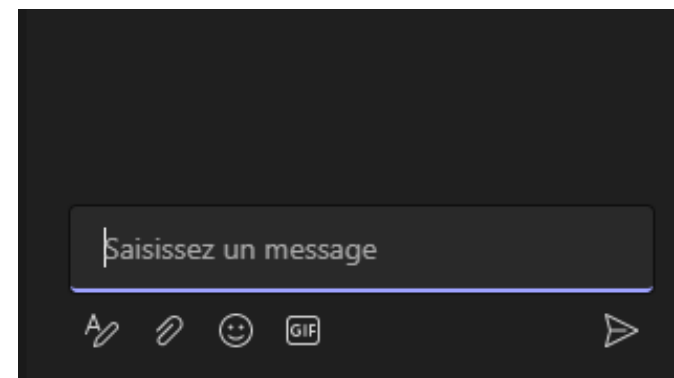
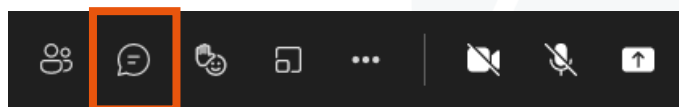
fives
Industry can do it



ProSim, Inc.

325 Chestnut Street,
Suite 800
Philadelphia, PA 19106 – USA
Tel: +1 215 600 3759

Posez vos questions !



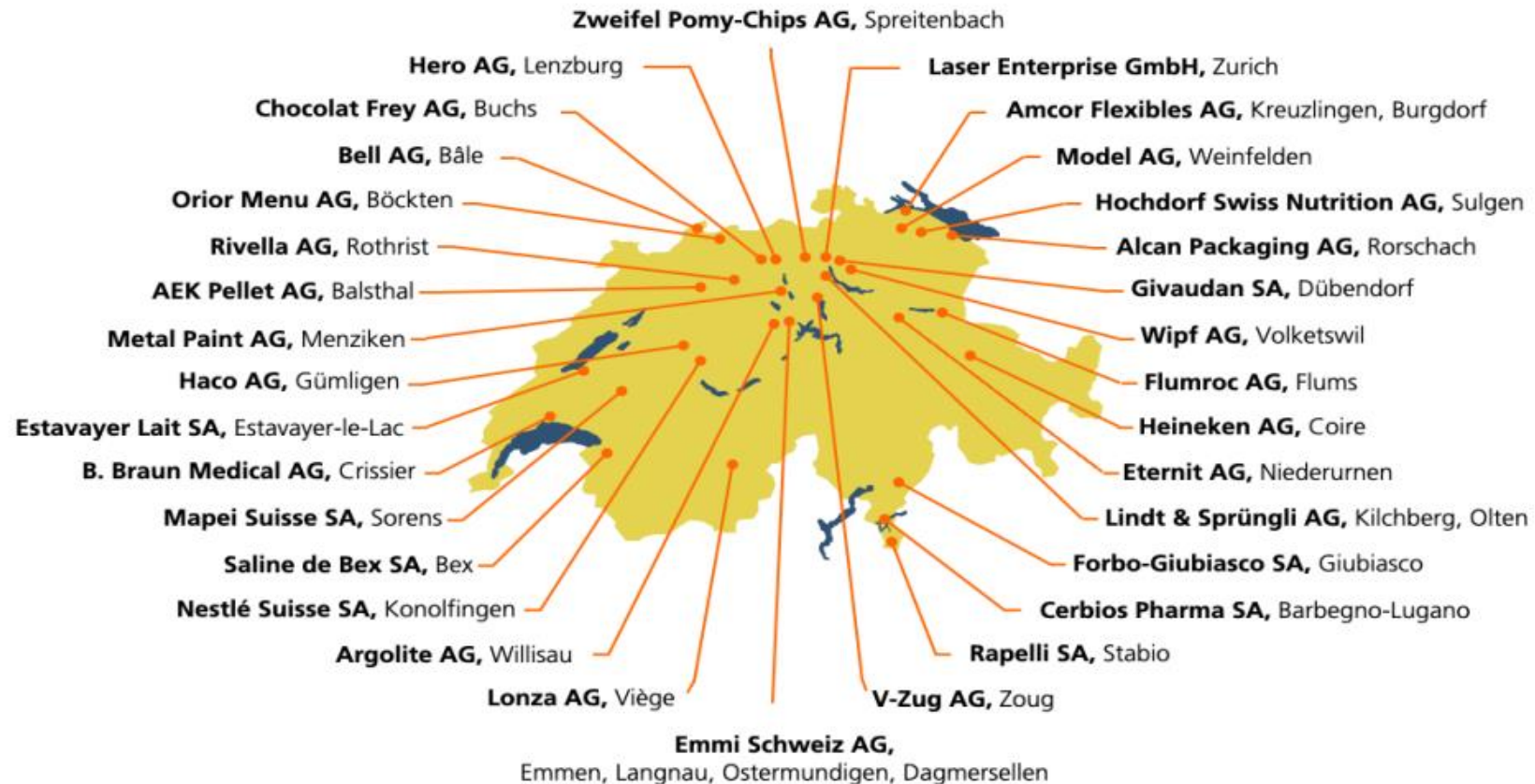
Retours d'expériences

Retours d'expérience

- Difficultés à identifier des retours spécifiques, détaillés et chiffrés (confidentialité)
- De nombreux rapports font état de « retours d'expérience », **sans mise en œuvre** des recommandations émises à la suite de **simulations**
- Sources : principalement Internet
- De **10 à 50% de gains obtenus** sur la consommation énergétique par la mise en œuvre suite à une analyse pinch.

Exemple suisse (document 2021)

En Suisse plus de 160 entreprises de diverses branches intenses en énergie ont déjà réalisé une analyse Pinch (extrait).



https://pinch-analyse.ch/downloads/Pinch_Brosch%C3%BCre_2021_V6_FR.pdf

Revêtement de métaux (Suisse)

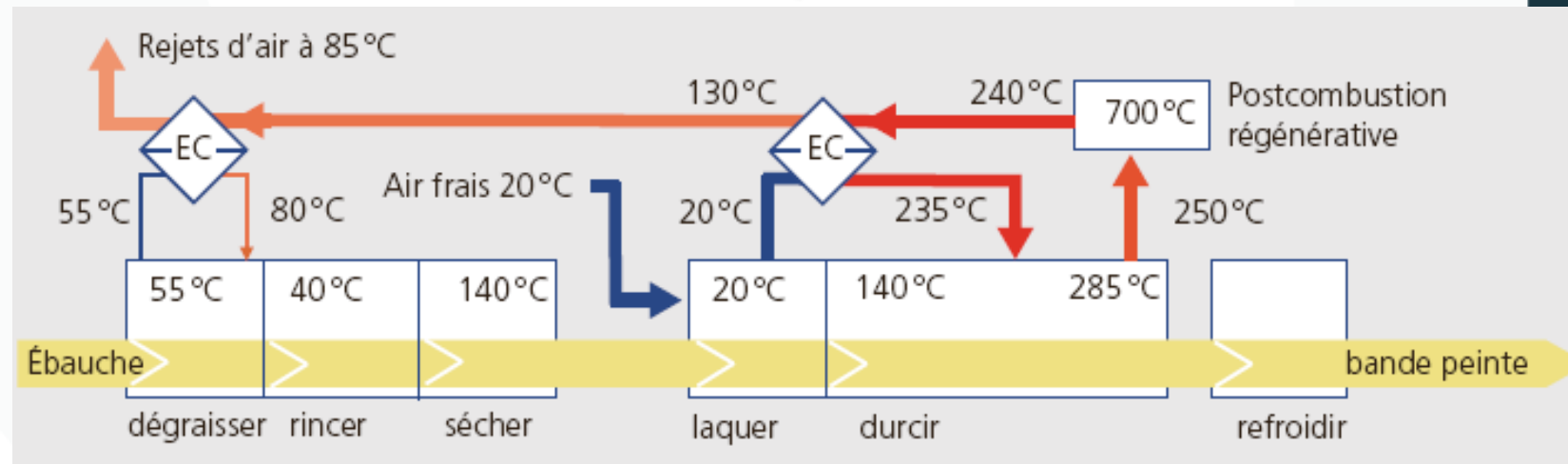
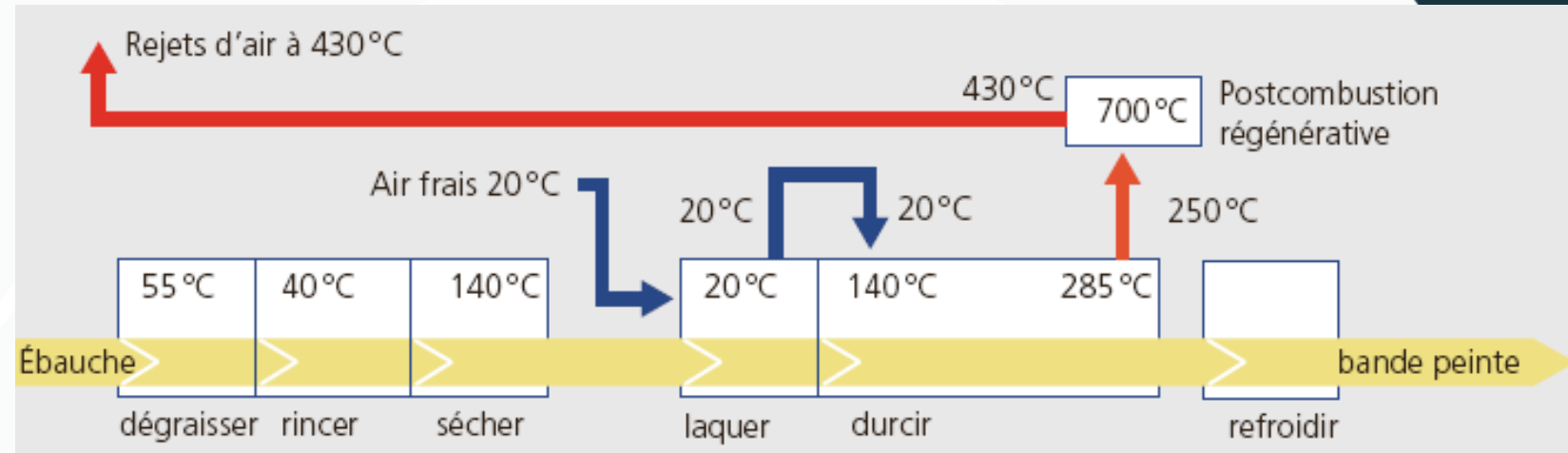
Exemple : Suisse Energie, Office Fédéral de l'énergie (<https://pinch-analyse.ch/fr/success-stories/referenzen>)

- **Site Metal Paint SA (Menziken, canton d'Argovie) :**
 - 3 500 tonnes/an de bandes Aluminium et acier prélaquées
 - Lames métalliques en couleur utilisées pour la fabrication de stores, l'habillage de plafond et de façade, les boîtiers d'appareils ménagers, les cadrans des horloges ou dans l'industrie automobile.
- **Procédé industriel complexe très énergivore**
 - fours à air chaud dans lesquels les peintures durcissent;
 - postcombustion de l'air chargé en solvants;
 - Fumées rejetées à 430°C sans être utilisées.
- **Méthode Pinch déployée par société Weisskopf Partner GmbH**

Revêtement de métaux (Suisse)

Actions suite à l'analyse Pinch:

- Postcombustion régénérative avec rajout d'une récupération de chaleur interne (température de sortie plus basse car récupération de chaleur)
- Installation de deux échangeurs de chaleur de récupération sur l'air des tunnels.
- Investissement: CHF 1 260 000
- Économie annuelle: CHF 550 000
- **Retour sur investissement: 2,3 ans**



Production et impression d'emballages flexibles (Suisse)

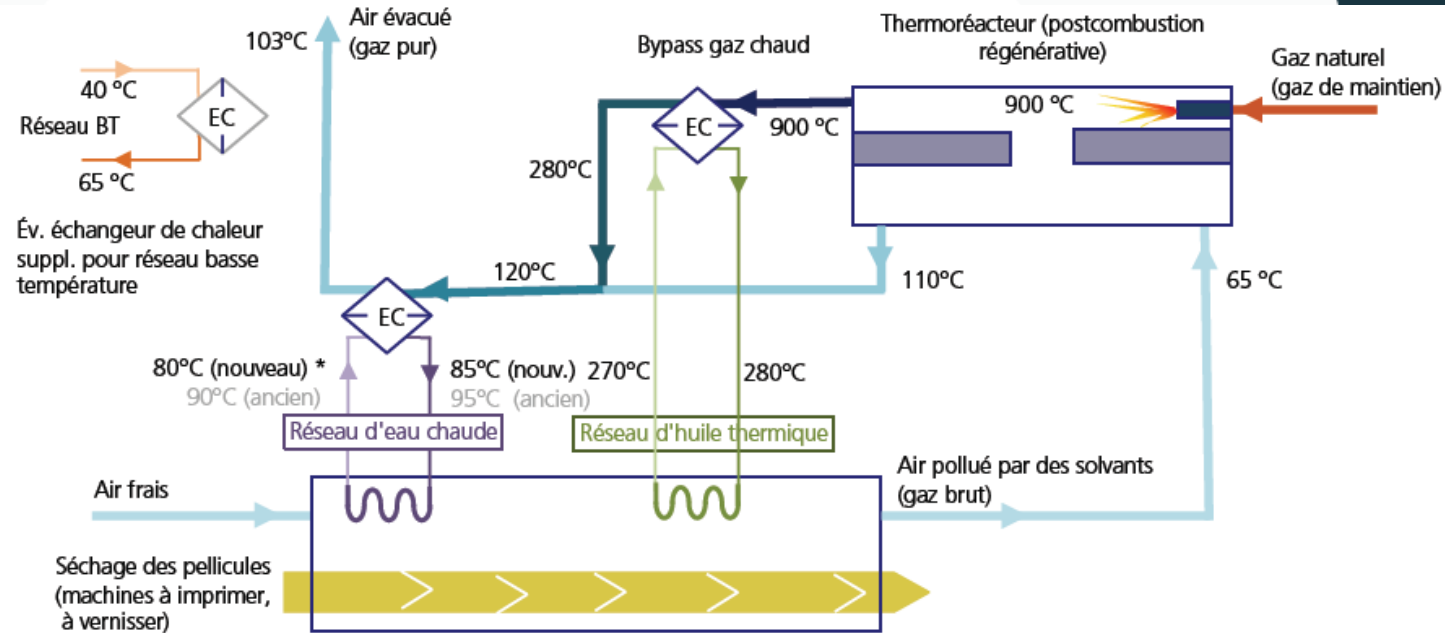
- Procédés : vernissage, laminage et impression des blisters de médicaments pour industrie pharmaceutique.
 - Encres et laques déposées sur emballages, puis séchées progressivement avec air chaud entre 40 et 350°C;
 - Air chargé en solvants, et purifié avant rejet;
 - Chauffage jusqu'à 900°C dans installation de postcombustion régénérative;
 - Récupération de chaleur déjà pratiquée.



Production et impression d'emballages flexibles (Suisse)

Résultats de l'analyse Pinch : 50+ actions

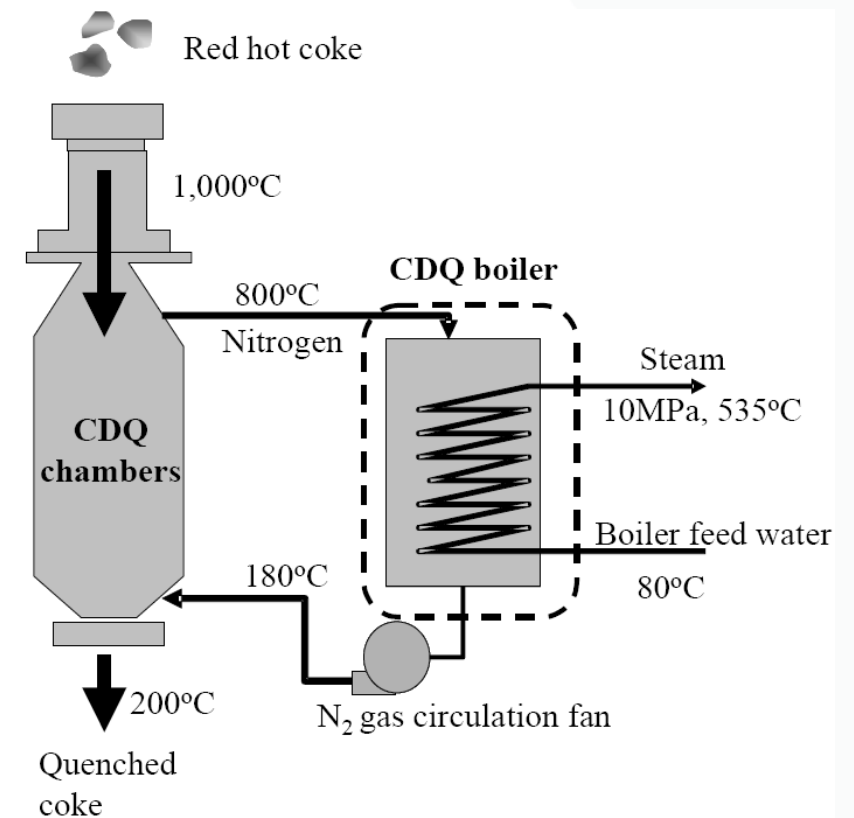
- Temp. Réseau d'eau chaude abaissée (89 à 72°C)
- Récupération de chaleur thermoréacteur augmentée
- Utilisation de l'air de refroidissement des compresseurs à comprimé (par exemple pour chauffer un local de stockage)
- Diminution des flux d'air d'amenée et d'évacuation des sécheurs sur les machines



GAINS : 6100 MWh de gaz naturel et 960 MWh d'électricité par an

Industrie métallurgique (aciérie Japon)

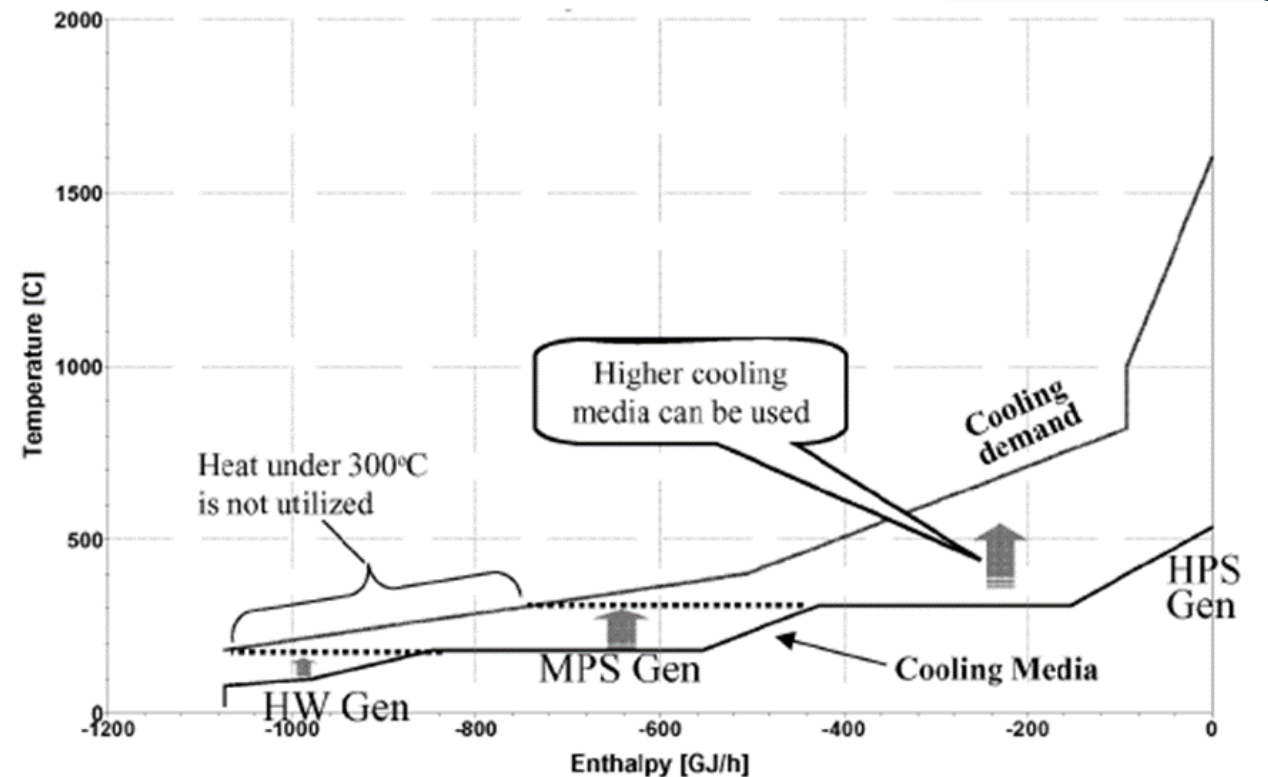
- Financement par le New Energy and Industrial Technology Development Organization d'une étude systémique sur une aciérie d'une capacité de 8 Million tonnes/an : préparation de matières premières (four à coke et frittage), production de fer (haut-fourneau) et d'acier (convertisseur et coulée en continue), laminage et finition (laminoir à chaud et à froid).
- Avant cette étude, les différentes actions d'économie d'énergie n'avaient porté que sur des équipements isolés, et non pas sur l'ensemble des procédés.



Industrie métallurgique (aciérie Japon)

Avec le tracé des différentes courbes composites, l'étude a mis en évidence que :

- Les températures des utilités chaudes pouvaient être abaissées ;
- Les températures des fluides de refroidissement pouvaient être augmentées ;
- Temp. inférieure à 300°C, chaleur inutilisée, (**83 MW calorifique**) =>
 - générer **6.2 MW de puissance électrique**
 - **chaleur résiduelle** pour un système de décarbonation (2 Mt/an CO₂)
 - **12.3 MW de puissance électrique** supplémentaire (boucle à plus basse température).



Conclusions et recommandations

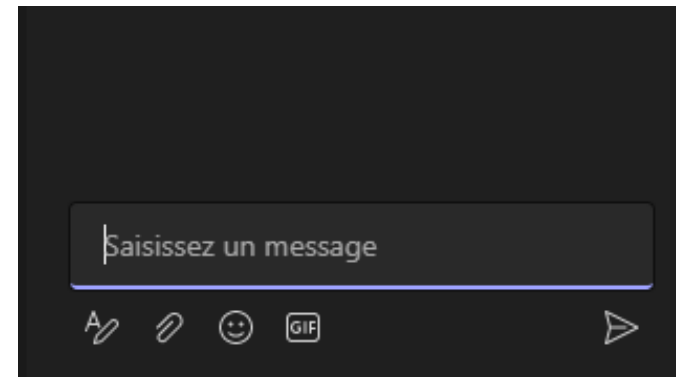
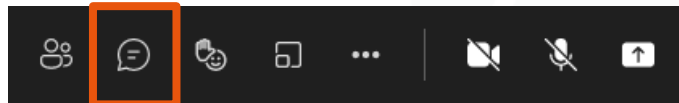
Conclusions

- L'étude systémique permet l'amélioration de l'efficacité énergétique d'un site industriel existant ou en phase conception. La méthode Pinch aide à déterminer:
 - les besoins d'énergies minimaux nécessaires
 - l'optimum économique entre coûts d'investissement et coûts de l'énergie
 - Le réseau d'échangeur pour atteindre les valeurs-cibles énergétiques
 - le système optimal de fourniture d'énergies pour l'ensemble du système (chaudière, cogénération, pompe à chaleur) et les niveaux de températures pour ces Utilités
 - Pour un site existant : identifie les modifications à apporter au réseau d'échangeurs
- Gains annoncés : de 10 à 50% de la consommation énergétique

Recommandations

- Intégrer la méthodologie à une étape très précoce de la conception de nouveaux procédés, voire de la construction de plusieurs sites (« éco-parcs »)
- Promouvoir la mise en œuvre de méthodes systémiques durant les audits énergétiques, particulièrement dans les sites industriels :
 - Développer et diffuser un outil de calcul (gratuit) pour le diagnostic (calcul de la consommation minimale et comparaison de la consommation réelle); par exemple outil Excel ou disponible en ligne
 - Faire appel à des prestataires spécialistes lorsque nombre d'effluents élevé ou procédé plus complexe.

Posez vos questions !



Actualités ALLICE

Animation de la communauté et valorisation de la filière

Calendrier 2024



Rencontre
partenaire

13 février

Énergies pour
l'Industrie (Lyon)



Réunion des
adhérents
ALLICE

14 mars

Club PRIME
Réunion plénière



Webinaire
adhérents

19 mars

Décarbonation de
l'industrie agroalimentaire



Réunion des
adhérents
ALLICE

4 avril

Visite laboratoire LGC
(Toulouse)



Rencontre
partenaire

4 avril

Forum national des
co-entreprises du
PEXE (Paris)



Rencontre
partenaire

10-11 avril

MIX.E Salon du mix
énergétique neutre
(Lyon)



Webinaire
adhérents

16 mai

Décarbonation des utilités
et des réseaux sur sites
industriels



Webinaire
adhérents

28 mai

Hybridation énergétique
des procédés industriels

**MERCI À TOUTES ET
À TOUS !**

