

MÉTHODES ET OUTILS D'INTÉGRATION ÉNERGIE ET MATIÈRE DANS L'INDUSTRIE



Journée SFGP et CNAM

Solène Le Bourdiec – Assaad Zoughaib 09/06/2016





Introduction





LA RÉCUPÉRATION DE CHALEUR INDUSTRIELLE

Gisement important de chaleur fatale dans les systèmes industriels

□ **70%** de la consommation énergétique dans l'industrie (450TWh) sont dédiés aux besoins thermiques

Potentiel de récupération de chaleur dans les fumées (chaudières, fours & sécheurs) :

30-80 TWh/an

Variété des sources de chaleur

- Des sources de différentes natures (solide, liquide, gaz)...
- ... A des niveaux de température variables, entre 20 et 500°C

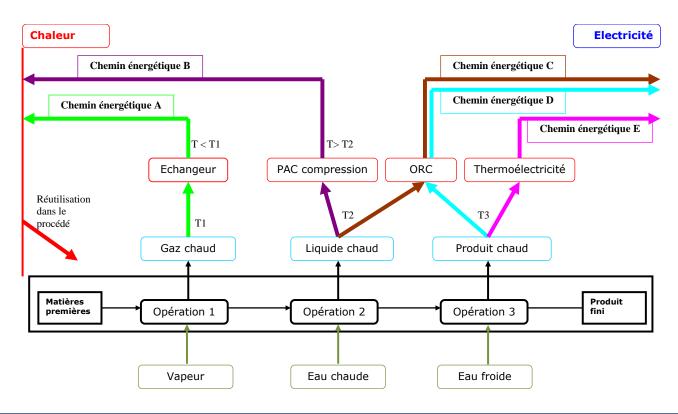


- □ Sous forme de chaleur et de froid (ex. échangeurs directs, cycles thermodynamiques)
- Pour la production d'électricité





LA RÉCUPÉRATION DE CHALEUR INDUSTRIELLE



Quelle technologie pour quelle source de chaleur et quel besoin ?

- Des critères de choix multiples:
 - Energétiques
 - Economiques (investissements, temps de retour, installation neuve ou revamping)
 - □ Environnementaux (émissions de CO2, limitation des rejets…)





Projet ANR CERES-2





OBJECTIFS SCIENTIFIQUES DU PROJET



Plateforme d'aide à la décision pour l'optimisation énergétique et économique de la récupération de chaleur dans l'industrie.

Fonctions de l'outil

- Identifier les gisements de récupération de chaleur
- Concevoir des solutions optimales
- Favoriser la pénétration des technologies de valorisation de chaleur

Les facteurs d'innovation de l'outil

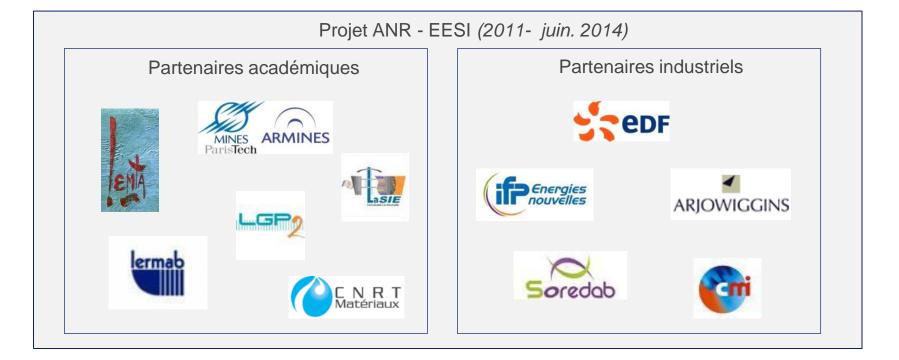
- Amélioration de méthodes scientifiques complexes mais éprouvées
- Prise en compte des critères énergétiques, économiques et environnementaux
- Accessibilité aux non-experts (industriels, BE...)





LES ACTEURS DU PROJET CERES-2

Chemins Energétiques pour la Récupération d'Energie dans les Systèmes Industriels







LA PLATEFORME CERES

Méthodologie Optimisation technico-économique Formulation mathématique MILP Analyse exergétique Préselection des utilités (PAC, ORC) Interface utilisateur Méthode du pincement - Calcul MER **Bibliothèque CERES** Procédés Technologies de valorisation Utilités de chaleur ■ Métaux ■ Pâtes et papiers ■ Agro-alimentaire Bibliothèque de modèles Modelica **Environnement Open Modelica**



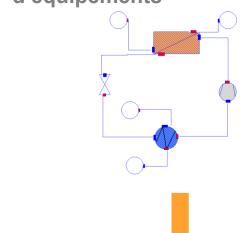


PLATEFORME CERES: BIBLIOTHÈQUE

Bibliothèque de modules de procédés et de technologies de valorisation de chaleur



Simulation des systèmes énergétiques et dimensionnement d'équipements



Export des informations thermiques vers la plateforme CERES

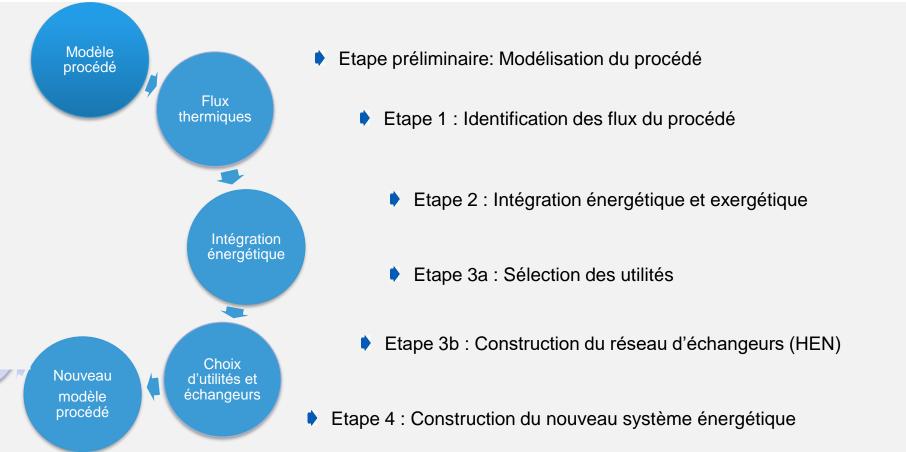


- Bibliothèque alimentée par tous
- Connection entre CERES et d'autres logiciel de simulation possible

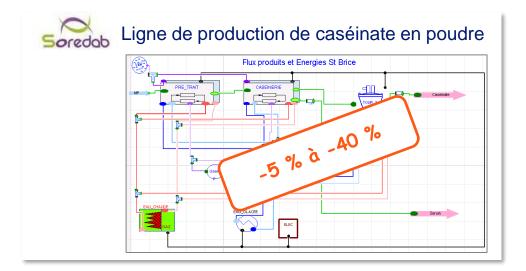
LA MÉTHODOLOGIE

Des développements basés sur la méthode du pincement :

- Présélection automatique des utilités sur des critères exergétiques
- Conception de la solution optimale selon des critères énergétiques et économiques, respectant les contraintes technologiques industrielles



APPLICATIONS INDUSTRIELLES







Des approches différentes, mais des résultats **concluants**





Développements ultérieurs au projet ANR





LES PROCÉDÉS BATCHS ET VARIABLES

Contexte:

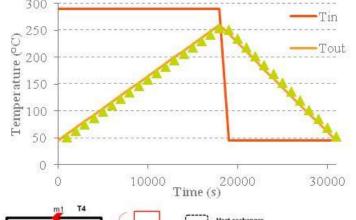
Insuffisance de l'intégration statique

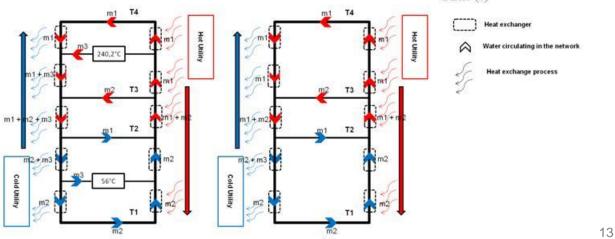
L'intégration thermique en dynamique : Intégration du facteur 't'

et du stockage d'énergie

Méthodologie:

- Formulation multi périodes du problème pinch
- Sélection des températures de stocks
- Intégration de systèmes de conversion









LES GRANDS SITES

Contexte:

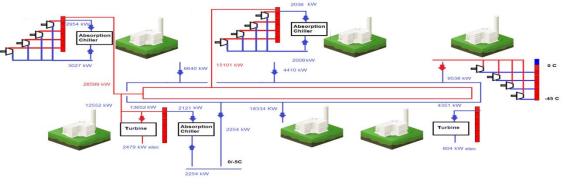
- L'intégration directe n'est pas pratiquement et économiquement faisable
- Passage par des réseaux tertiaires (liquides ou vapeur)

Méthodologie:

- Identification des températures des réseaux et de leurs natures
- Les systèmes thermodynamiques de conversion qui permettront d'optimiser ces réseaux

Optimiser les réseaux économiquement en prenant compte l'aspect

géographique







EXTENSION AUX ECO-PARCS INDUSTRIELS

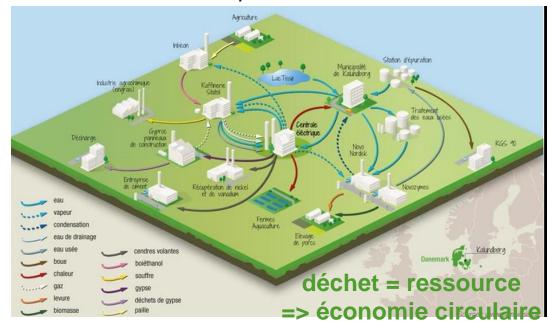
Contexte:



Travaux de recherche autour des éco-parc industriels

Besoins:

- Changement d'échelle
- Ajout des flux matières et couplage aux flux énergétiques







Méthodologie d'intégration énergie/matière

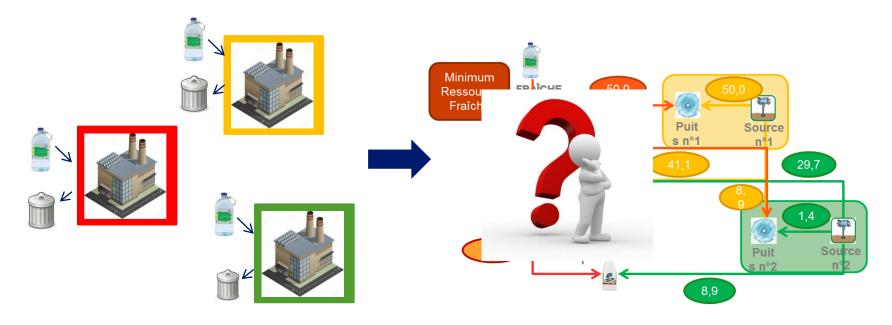
pour la récupération de la chaleur fatale **et** la revalorisation de la matière usée

Intégration énergie/matière





PROBLÈME TRAITÉ



Quels sont le <u>meilleurs réseaux</u> de chaleur et d'allocation matière pour le système à moindre <u>coûts</u> ?

En minimisant:

- · la consommation énergétique
- la consommation en ressource fraiche
- le volume de déchets à retraiter

En positionnant des systèmes :

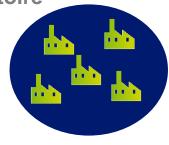
- de récupération de chaleur (PAC, ORC, échangeurs...)
- de retraitement des déchets



MÉTHODOLOGIE INTÉGRATION ÉNERGIE/MATIÈRE

• Périmètre : usine et territoire







- Etudes :
 - planification ->design
 - amélioration de l'existant et avant projet définitif
- Modèle linéaire : MILP (bilans énergie et bilans matière)
- Flux: énergie thermique et matières polluées (gaz ou liquides, plusieurs polluants)
 - Energie : température, puissance
 - Matières : eaux grises, vapeur, C02, huiles, acides



- Prise en compte des contraintes ;
 - Echanges interdits
 - Echangeurs existants



MÉTHODOLOGIE

MILP 1: Problème matière

Obj.:
$$L_{fresh} = \sum_{j \in J_f} L_j$$

* faisabilité du problème matière

* minimum de resource fraiche nécessaire

* réseau matière



MILP 2 : Optimisation des coûts opératoires

 $C_{op} = h_{op} \times (C_{fresh} + C_{waste} + C_{utility}^{hot} + C_{utility}^{cold})$ Obj:

* cout opératoire minimum Donne

* réseau matière

* flux énergétiques

Step 3

MILP 3 : Optimisation du coût global

Obj.:
$$C_{total} = C_{cap} + \sum_{n=1}^{N_{op}} \frac{C_{op}}{(1+r)^n}$$

* coût global minimum (CAPEX,OPEX) Donne

* réseau d'échangeurs

* réseau matière

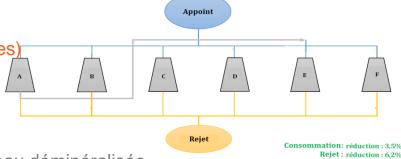




OPTIMISATION DE L'EAU D'UNE RAFFINERIE



- Exemples d'études réalisées
 - Diagnostique d'un réseau de refroidissement
 - Recherche de minimisation de la conso d'eau
 - => Mise en évidence d'une anomalie sur la conso (fuites)
 - ⇒ Eau consommée : -3,5% eau rejetée : -6,2%

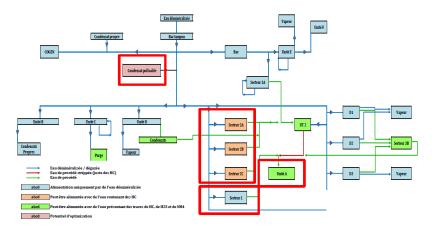


Fiabilisation d'un réseau d'eau déminéralisée

Objectif : Interdire le condensat polluable dans le réseau d'eau déminéralisée

- ⇒ Création du meilleur réseau passant par les unités ne présentant pas de risques
- → Minimisation des consos d'eau et des coûts

Coûts /an	Rejet total	Solution PHOENIX
Tuyauterie	+76%	+7%
Eau déminéralisée	+50%	+27%







Les + pour l'industriel :

- Ajout possible de contraintes réelles
- Temps de calcul satisfaisants
- Tests de scenarii

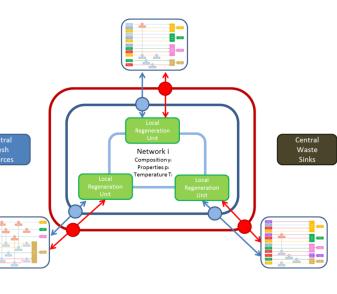
PERSPECTIVES

Industrie:

- Modèle d'intégration indirecte avec réseaux (mode collaboratif)
- Modèle non collaboratif multi-agents
- Prise en compte des incertitudes et conception résiliente
- ⇒ Thèse PS2E 2016-2018

Réseaux urbains :

- Extension de la méthode d'intégration énergétique multi-periodes
- Conception de configurations économiquement optimales de RDC et RDF
- Production décentralisée, PAC, stockage thermique, topologie (production en série/en parallèle, demande série/en parallèle)
- Prise en compte des incertitudes
- => Thèse CIFRE EDF 2016-2018









Merci



