

Energétique avancée

Process integration and exergy analysis

Dr Francois Marechal

Objectifs et informations pratiques

Objectifs principaux

- développer l'aptitude des étudiants à analyser et à réaliser l'audit énergétique d'un procédé industriel en appliquant les méthodes de l'intégration énergétique et de l'analyse exergétique
- rendre les étudiants aptes à analyser et concevoir des systèmes énergétiques industriels intégrés tels que les réseaux d'échangeurs de chaleur, les systèmes de cogénération, les pompes à chaleur ou les systèmes de réfrigération.

Informations générales

Etudiants	Génie mécanique
Année	4 ^{ème} , Cours à option
Semestre	Hiver
Durée	14x 2 h
Nombre de crédits	4 au total, 2 pour la partie énergétique avancée
Site du cours	http://Leniwww.epfl.ch/Info/energetique
Localisation horaire	Lundi 15-19h local CM201 Travaux pratique salle ordinateur :

Enseignant	Francois Marechal leni-dgm-epfl Tel + 41 21 693 35 16 (privé + 41 24 441 45 23) E-mail : francois.marechal@epfl.ch Bureau ME A 2 402
Disponibilités	Prendre rendez-vous par E-mail ou par téléphone Mardi matin : 8h30-12h30

Contenus des notes de cours

Les notes de cours sont constituées d'ensemble de cahiers qui sont complétées de documents distribués au cours.

Le tableau ci-dessous reprend un résumé succinct de chaque cahier.

Cahier situation : situation énergétique pour l'industrie dans le monde et en Suisse, identification des déficits

Cahier audit : audit énergétique d'un procédé industriels : les tenants et aboutissant, la méthodologie

Cahier Thermo-economique : Estimation des investissements et calculs des couts d'un projet d'utilisation rationnelle de l'énergie (chapitre en commun avec le cours de modélisation et optimalisation des procédés industriels, F. Marechal)

Cahier targeting : Identification du minimum d'énergie requise d'un procédé industriel (en anglais)

Cahier conception : conception du réseau d'échangeurs : règles et méthodes numériques (en anglais)

Cahier utilitaires : Transformation de l'énergie primaire en énergie utile : méthodes d'intégration des utilitaires (en anglais)

Cahier Amélioration de procédé : quelques exemples d'amélioration du minimum d'énergie requise : pompe à chaleur, colonnes de distillation (en anglais)

Cahier Exergie : Application de l'analyse exergétique pour l'amélioration des procédés industriels

Cahier Réseau d'échangeurs : simulation et optimalisation du réseau d'échangeurs (en anglais)

Cahier batch : Intégration énergétique des procédés discontinus

!Unexpected End of Formula**Fiche d'évaluation pour les étudiants – définition des objectifs à atteindre**

Vous pouvez utiliser les tableaux suivants pour vous situer par rapports aux objectifs spécifiques du cours (à savoir les compétences que vous devriez avoir acquises). Il est évidents que ces objectifs peuvent être assez ambitieux, à vous d'aller le plus loin possible

Audit énergétique des procédés industriels

- ○ ○ ○ ○ Etre conscient des défis socio-économiques liés à l'utilisation de l'énergie dans les procédés industriels : part de l'industrie dans la consommation énergétique d'un pays, différentes formes d'énergie (prix et types), énergie et procédé de production, aspects environnementaux, rôles de l'ingénieur
- ○ ○ ○ ○ Calculer l'intensité énergétique d'un procédé
- ○ ○ ○ ○ Définir le concept de Best Available Technology
- ○ ○ ○ ○ Connaître les différentes étapes d'un audit énergétique et pouvoir présenter la méthodologie d'un audit énergétique : dire comment on réaliserait un audit énergétique : étapes, acteurs, ...
- ○ ○ ○ ○ Connaître les différents types de diagrammes de procédés et savoir les lire et les manipuler
- ○ ○ ○ ○ Définir un système de production industriel, identifier les sous-systèmes relatifs à la transformation d'énergie, identifier les flux de procédés et les flux utilitaires, calculer la facture énergétique,...
- ○ ○ ○ ○ Présenter les principes de la comptabilité énergétique
- ○ ○ ○ ○ Estimer un investissement
- ○ ○ ○ ○ Evaluer la rentabilité d'un projet d'économie d'énergie

Calcul de l'objectif énergétique d'un système énergétique

- ○ ○ ○ ○ Maîtriser la notion de DTmin pour un échangeur de chaleur : compromis, économie d'énergie-investissement
- ○ ○ ○ ○ Identifier les besoins énergétiques d'un procédé industriel et calculer les besoins chaud et froid
- ○ ○ ○ ○ Calculer le bilan d'énergie d'un système industriel
- ○ ○ ○ ○ Expliquer la construction des courbes composées chaude et froide
- ○ ○ ○ ○ Calculer le minimum d'énergie requise d'un système industriel et calculer l'économie d'énergie possible
- ○ ○ ○ ○ Expliquer les implications de l'hypothèse du DTmin et analyser l'influence de celle-ci
- ○ ○ ○ ○ Calculer l'estimation de l'investissement d'un système industriel au départ des courbes composée et réaliser l'analyse du compromis énergie-capital

- ○ ○ ○ ○ Identifier les échangeurs suspects dans un procédé
- ○ ○ ○ ○ Expliquer et appliquer le principe « more-in more-out »
- ○ ○ ○ ○ Etre conscient des hypothèses et des limites et mettre en pratique la méthode : cp non constants, $DT_{min}/2$, ...

L'analyse exergetique

- ○ ○ ○ ○ Expliquer les principes de l'exergie et identifier les différents types d'exergie : énergie noble, chaleur, mélange, réaction chimique,...
- ○ ○ ○ ○ Faire la distinction entre fonction d'état (coénergie) et transformation
- ○ ○ ○ ○ Identifier les pertes exergetiques et calculer le rendement exergetique d'un équipement
- ○ ○ ○ ○ Réaliser l'analyse exergetique d'un système énergétique
- ○ ○ ○ ○ Appliquer l'analyse exergetique à l'intégration énergétique

Conception d'un réseau d'échangeurs

- ○ ○ ○ ○ Concevoir un réseau d'échangeur satisfaisant le minimum d'énergie requise pour un DT_{min} fixé
- ○ ○ ○ ○ Simplifier un réseau d'échangeurs en identifiant les boucles et les chemins
- ○ ○ ○ ○ Evaluer les modifications pour identifier la solution optimale
- ○ ○ ○ ○ Pouvoir tenir compte des échangeurs existants (retrofit)
- ○ ○ ○ ○ Etre conscient de l'aide que peut apporter l'optimisation en nombres entiers
- ○ ○ ○ ○ Poser un problème d'optimisation de réseau d'échangeur et remettre en cause l'hypothèse du DT_{min} : EMAT-HRAT.
- ○ ○ ○ ○ Connaître les principes des superstructures pour la conception des réseaux d'échangeurs

Intégration des technologies énergétiques

- ○ ○ ○ ○ Analyser une courbe composée globale
- ○ ○ ○ ○ Calculer les besoins d'énergie chaude et froide et maîtriser les notions de transformation d'énergie primaire
- ○ ○ ○ ○ Identifier, expliquer et calculer l'intégration d'une combustion (chaudière) et de la préchauffe de l'air
- ○ ○ ○ ○ Identifier et expliquer les opportunités de cogénération. Calculer l'intégration d'un système de cogénération
- ○ ○ ○ ○ Identifier et expliquer les opportunités d'intégration d'un réseau vapeur ou d'un cycle de rankine organique et calculer leur intégration

- ○ ○ ○ ○ Identifier et expliquer les opportunités d'intégration d'une pompe à chaleur et calculer son intégration
- ○ ○ ○ ○ Identifier, expliquer et calculer l'intégration des systèmes de réfrigération
- ○ ○ ○ ○ Calculer l'intégration d'un système de conversion d'énergie pour satisfaire les besoins d'énergie d'un système industriel
- ○ ○ ○ ○ Expliquer l'utilisation des outils d'optimisation pour résoudre ce problème
- ○ ○ ○ ○ Expliquer le principe des courbes intégrées et leur utilisation pour évaluer l'intégration des différentes technologies de conversion de l'énergie
- ○ ○ ○ ○ Montrer l'utilisation possible des concepts de l'exergie pour étudier l'intégration énergétique des technologies de conversion

Questions Spéciales liées à l'intégration énergétique

- ○ ○ ○ ○ Être conscients des aspects liés à l'utilisation avancée des concepts de l'intégration énergétique
- ○ ○ ○ ○ Expliquer comment résoudre les problèmes d'échanges interdits
- ○ ○ ○ ○ Expliquer comment adapter la méthode pour les procédés discontinus
- ○ ○ ○ ○ Expliquer comment identifier les modifications à apporter pour améliorer l'efficacité d'un procédé industriel

Application

- ○ ○ ○ ○ Appliquer les techniques apprises à un exemple complexe
- ○ ○ ○ ○ Rédiger un rapport
- ○ ○ ○ ○ Utiliser le logiciel d'intégration énergétique pinchleni