

## Audit Énergétique

Volume Horaire		Responsable Pédagogique		Unité d'Enseignement
Cours	0:00:00	Nom	Ph Baudet	Management de l'énergie
Cours-TD	6:40:00			
TD	0:00:00	Pédagogie Active		Coefficient
TP	0:00:00	0		3
				Mode d'Évaluation
				Rapport

### Connaissances et Capacités

Maitrise de la théorie :

- de la méthode du pincement
- des méthodes exergetiques
- de l'optimisation énergétique des opérations unitaires

### Contenu du cours- Syllabus

La théorie de l'audit énergétique étant acquise, le cours est orienté sur **la pratique de réalisation d'un audit énergétique** :

- Partie collecte de données : comment faire face au manque d'information
  - o comment collecter efficacement l'information sur site
  - o comment calculer les informations manquantes
- Partie diagnostic et analyse énergétique
  - o Comment conduire la méthode du pincement
  - o Quand se poser la question de l'exergie
  - o Détecter les opérations unitaires énergétiquement optimisables
- Partie synthèse de réseau
  - o Présentation des propositions et allers/retours avec le site
  - o La règle du 80/20
  - o La consultation et le TRI comme règle de décision
- Ouverture sur le futur avec les technologies de rupture

Le cours est illustré de cas concrets rencontrés au cours d'audits énergétiques industriels

### Ouvrages de Référence

*AICHE Journal* Vol 24, Issue 4, July 1978, Pages: 633–642, Bodo Linnhoff and John R. Flower "Synthesis of heat exchanger networks: I. Systematic generation of energy optimal networks"

## Comptage de l'énergie

Volume Horaire		Responsable Pédagogique		Unité d'Enseignement
Cours	0:00:00	Nom	F. Bonnet	Management de l'énergie
Cours-TD	2:40:00			
TD	0:00:00	Pédagogie Active		Coefficient
TP	0:00:00	0		3
				Mode d'Evaluation
				rapport

### Connaissances et Capacités

Comprendre la problématique du comptage de l'énergie

### Contenu du cours- Syllabus

- ✓ Comptage :
  - Présentation de la problématique du comptage énergétique
  - Présentation du logiciel CBE

### Ouvrages de Référence

## Optimisation technico économique de la production des utilités

Volume Horaire	
Cours	0:00:00
Cours-TD	30:40:00
TD	0:00:00
TP	0:00:00

Responsable Pédagogique	
Nom	P. Baudet

Unité d'Enseignement
Management de l'énergie

Pédagogie Active
0

Coefficient
3

Mode d'Evaluation
Rapport

### Connaissances et Capacités

Connaissance du milieu particulier de la production d'utilités dans des centrales de grosse puissance combinant la co-production de chaleur et d'électricité

### Contenu du cours- Syllabus

- Le cours commence par un tour d'horizon des différents concepts de l'énergie et se focalise petit à petit sur les centrales thermiques de production de chaleur et d'électricité.
- Le cours présente ensuite le contexte technico-économique de ces sites de production
- S'en suit une formation à Ariane, logiciel d'optimisation technico-économique des utilités. Au cours de la formation à Ariane, les contraintes inhérentes à la production sont investiguées.
- Enfin, un long cas pratique permet aux étudiants de prendre en main le logiciel, sur un exemple pratique
  - o Modélisation avec Ariane
  - o Calculs de simulation et d'optimisation avec Ariane
  - o Pilotage du logiciel depuis Excel
  - o Mise en œuvre d'application de type industriel dans l'environnement d'Excel

### Ouvrages de Référence

Ariane – Manuel Utilisateur.

## Outils numériques

Volume Horaire		Responsable Pédagogique		Unité d'Enseignement
Cours	0:00:00	Nom	F. Bonnet / G. Hétreux	Management de l'énergie
Cours-TD	10:40:00	Pédagogie Active		Coefficient
TD	0:00:00	0		3
TP	0:00:00			Mode d'Evaluation
				Rapport

### Connaissances et Capacités

Utilisation du solveur ILOG  
Utilisation d'Excel : interface

### Contenu du cours- Syllabus

Le cours se divise en deux parties :

- ✓ Excel – VBA (F. Bonnet - 8h)
  - Excel utilisation de fonctions spécifiques
  - VBA (Macro)
  - Scripting (fichiers VBS et BAT)
  - *Exemples d'utilisation : développement de fonctions utilisateur, développement de macro...*
- ✓ ILOG Solver (G. Hétreux - 2h40)
  - Construction d'un projet
  - Instruction et Syntaxe du langage OPL
  - Gestion des entrées/sorties et interfaçage avec Excel

### Ouvrages de Référence



## Chaîne logistique (de l'énergie)

Volume Horaire		Responsable Pédagogique		Unité d'Enseignement
Cours	0:00:00	Nom	M. Marty / Autre	Processus logistiques et énergie
Cours-TD	14:40:00	Pédagogie Active		Coefficient
TD	0:00:00	0		1
TP	0:00:00			Mode d'Evaluation
				Epreuve

### Connaissances et Capacités

- Connaître les enjeux de la maîtrise de la Supply Chain
- Définir la Logistique et les activités en interaction
- Connaître les systèmes de pilotage de la Chaîne Logistique globale
- Déterminer les optimums géographiques des flux
- Savoir dimensionner les éléments de la chaîne logistique : entrepôts, matériels de transport et manutention, personnel d'exploitation
- Prendre en compte les problèmes de sécurité liés aux entrepôts et manutentions
- Connaître la théorie et les concepts du Lean et appliquer les outils
- Savoir utiliser un logiciel WMS

### Contenu du cours- Syllabus

#### Partie 1 :

- Les enjeux de la Supply Chain : stratégie, tactique et opérations
  - La logistique aujourd'hui et les systèmes de pilotage : APS, SCE, GPA, WMS
  - Les éléments de la chaîne logistique : les familles logistiques, les produits, les systèmes de distribution
  - Le transport et le matériel
  - L'organisation des entrepôts : la localisation, typologie, les zones fonctionnelles de l'entrepôt, les équipes de travail
  - Le stockage, le magasinage dans l'entrepôt, le calcul des surfaces, dimensionnement des structures et des zones de l'entrepôt, la manutention, calcul des temps
  - La préparation des commandes et le choix des matériels de manutention
- Lean Management (piliers) : Just-in-time - Value Stream Mapping (VSM) - Takt time – Kanban – Jidoka – Andon – Poka-yoké - Genchi gentbutsu - Diagramme causes/effets : Ishikawa - Diagramme de Pareto - Maintenance Productive Totale

#### Partie 2 :

- Application des concepts et méthodes à la chaîne logistique de l'énergie

**3A1S**



**2016-2017**

Pôle EPI (ELeNSys)  
Troisième année, Premier semestre  
Gilles.Hetreux@ensiacet.fr

**Ouvrages de Référence**

M. Roux, Entrepôts et magasins, Ed. Eyrolles

**Date de Mise à Jour** | **Juillet 2016**

## Conférence industrielle

Volume Horaire		Responsable Pédagogique		Unité d'Enseignement	
Cours	0:00:00	Nom	Intervenants Industriels	Efficacité énergétique des systèmes intégrés	
Cours-TD	8:00:00	Pédagogie Active		Coefficient	
TD	0:00:00				0
TP	0:00:00				0
Mode d'Evaluation					
0					

### Connaissances et Capacités

- Connaissance du métier d'ingénieur énergie à travers le témoignage et des retours d'expérience d'industriels du domaine
- Contenu variable selon les disponibilités des intervenants

### Contenu du cours- Syllabus

Selon la disponibilité des intervenants industriels. Quelques exemples :

- Expert Energie de l'institut PS2E (Paris-Saclay Efficacité Energétique) , ex expert TOTAL  
Titre : Contexte énergétique et méthodes pour l'efficacité énergétique dans l'industrie
- Intervenat GDF-Suez  
Titre : Efficacité énergétique et projet GAYA
- Intervenat Air Liquide  
Titre : Cas d'étude industriel : Analyse pincement d'une unité de vaporéformage de gaz naturel

### Ouvrages de Référence

## Ecologie Industrielle

Volume Horaire		Responsable Pédagogique		Unité d'Enseignement
Cours	0:00:00	Nom	M. Boix	Processus logistiques et énergie
Cours-TD	13:20:00	Pédagogie Active		Coefficient
TD	0:00:00	0		1
TP	0:00:00	Mode d'Evaluation		
				Rapport

### Connaissances et Capacités

Notions d'écologie industrielle et territoriale.  
Élaborer des synergies au niveau industriel entre entreprises pour augmenter le profit économique tout en diminuant l'impact environnemental.

### Contenu du cours- Syllabus

Présentation de d'écologie industrielle et territoriale et des méthodologies de conception et d'optimisation associées.  
Retour que les méthodes d'optimisation multiobjectif, notion de front de Pareto et outil d'aide à la décision multicritère.  
Application : analyse et conception d'un écoparc industriel par une méthodologie d'optimisation multiobjectif sous le logiciel ILOG. Application de la méthode epsilon-contrainte pour l'élaboration d'un front de Pareto. Analyse des résultats

### Ouvrages de Référence

- C. Adoue, 2007. *Mettre en œuvre l'écologie industrielle*. PPUR, décembre 2007, collection P U POLYTEC ROM  
-M. Boix et al., 2012. [Industrial water management by multiobjective optimization: from individual to collective solution through eco-industrial parks](#). Journal of Cleaner Production 22 (1), 85-97

## Modélisation de la chaîne logistique

Volume Horaire		Responsable Pédagogique		Unité d'Enseignement
Cours	0:00:00	Nom	S. Negny	Processus logistiques et énergie
Cours-TD	5:20:00			
TD	0:00:00	Pédagogie Active		Coefficient
TP	0:00:00	0		0
				Mode d'Evaluation
				-

### Connaissances et Capacités

- Connaître l'intérêt de la programmation mathématique pour la résolution de problèmes industriels
- Maîtriser la programmation linéaire mixte pour modéliser et résoudre des problèmes complexes de logistique industrielle
- Savoir utiliser des solveurs spécialisés (ILOG Solver d'IBM),
- Savoir analyser et interpréter les résultats d'une optimisation de chaîne logistique

### Contenu du cours- Syllabus

Ecriture d'un modèle mathématique pour déterminer la localisation optimale de ou des usines de façon à réduire les coûts logistiques liés aux transports, stockage et transformation de la matière première mais aussi en intégrant des coûts de livraison du produit fini. Afin de piloter la chaîne logistique, il est également demandé de définir l'ensemble des flux hebdomadaires entre les différents sites (stockage, transformation, utilisation).

Même si le cas d'étude cible plus particulièrement une biomasse issue de la production du maïs, le modèle doit être suffisamment générique pour pouvoir traiter d'autres sources de biomasse, voire des sources combinées. La cible du maïs implique également des contraintes supplémentaires spécifiques liées à la saisonnalité de la production mais aussi à la dégradation de la matière première au fur et à mesure de son temps de stockage.

### Ouvrages de Référence

## Planification intégrée de la production et de l'énergie

Volume Horaire	
Cours	0:00:00
Cours-TD	16:00:00
TD	0:00:00
TP	0:00:00

Responsable Pédagogique	
Nom	G. Hétreux

Unité d'Enseignement
Processus logistiques et énergie

Pédagogie Active
0

Coefficient
2

Mode d'Evaluation
Rapport

### Connaissances et Capacités

Maitriser les méthodes de pilotage et de planification tactique des systèmes industriels  
Savoir prendre en compte de manière explicite la dimension énergie dans les modèles de planification en tant que contrainte et objectif

### Contenu du cours- Syllabus

- Enjeux de l'efficacité et de la logistique énergétique dans les systèmes industriels
- Gestion de production et gestion de l'énergie : deux fonctions de l'entreprise intimement liées ...
- Modèles MILP de logistique et de planification de la production et de l'énergie :
  - Prise en compte de l'énergie comme un simple centre de cout,
  - Prise en compte de l'énergie comme une ressource (contrainte de disponibilité)
  - Prise en compte de l'énergie comme un flux (disponibilité et état)
- Application au pilotage :
  - d'une unité seule
  - d'un site industriel composé de plusieurs installations, d'une centrale d'utilités et d'un réseau de distribution.

### Ouvrages de Référence

## Conduite des systèmes intégrés

Volume Horaire	
Cours	0:00:00
Cours-TD	10:40:00
TD	0:00:00
TP	0:00:00

Responsable Pédagogique	
Nom	G. Hétreux

Unité d'Enseignement
Efficacité énergétique des systèmes intégrés

Pédagogie Active
0

Coefficient
1,5

Mode d'Evaluation
Rapport

### Connaissances et Capacités

Maitriser les méthodes de pilotage et de conduite opérationnelle des systèmes industriels  
Savoir prendre en compte de manière explicite la dimension énergie dans les modèles d'ordonnement en tant que contrainte et objectif.  
Prendre en compte la variabilité, l'incertitude, les aléas et la dynamique du système intégré afin de définir des plans robustes et économiquement viables.

### Contenu du cours- Syllabus

- Enjeux de la conduite pour l'efficacité énergétique dans les systèmes industriels
- Modélisation des flux de production et d'énergie,
- Modèles MILP d'ordonnement de la production et de l'énergie couplant :
  - d'une unité de production et une centrale d'utilités (vapeur, électricité, etc)
  - d'une unité de production et un réseau d'échangeurs de chaleur,
- Modèles MILP de synthèse de réseaux d'échangeurs soumis à perturbations.

### Ouvrages de Référence

## Intégration énergétique avancée

Volume Horaire		Responsable Pédagogique		Unité d'Enseignement
Cours	0:00:00	Nom	R. They	Intégration énergétique avancée des systèmes
Cours-TD	48:00:00	Pédagogie Active		Coefficient
TD	0:00:00	0		3
TP	0:00:00			Mode d'Evaluation
				Rapport

### Connaissances et Capacités

- \*Etablir le diagnostic énergétique d'un procédé existant à l'aide des deux approches les plus répandues dans l'industrie (analyse pincement et analyse exergetique).
- \* sur un réseau d'échangeurs de chaleur, identifier le ou les échangeurs à remettre en cause pour améliorer la solution de récupération énergétique
- \* Procéder à l'analyse exergetique du procédé : évaluer l'exergie de flux matière à l'aide d'un simulateur de procédé, évaluer l'efficacité exergetique d'un procédé ou d'une zone de procédé, localiser les zones à améliorer, enfin proposer des réaménagements du procédé visant à optimiser l'efficacité exergetique du procédé.

### Contenu du cours- Syllabus

Suite du cours 'Intégration Energétique (pinch)'

#### **ANALYSE PINCH AVANCEE**

- Analyse de la Grande Courbe composite pour le placement des unités du procédé
- Principe de remodelage d'un réseau d'échangeur de chaleur existant

#### **ANALYSE EXERGETIQUE**

- Notion d'exergie d'un flux matière
- Evaluation de l'exergie d'un flux matière
- Analyse exergetique d'un procédé : évaluation de l'efficacité exergetique
- Notion de ternaire exergetique

### Ouvrages de Référence

Chemical Process : Design and integration, Robin Smith, Ed. Wiley, second edition, 2016  
Pinch Analysis and Process integration, a user guide on process integration for the efficient use of energy, Ian C. Kemp, 2006, IChemE  
Methodologie d'analyse et de retro-conception pour l'amélioration énergétique des procédés industriels, 2015, Stéphan Gourmelon, Thèse INPT

## Réseaux d'échangeurs de chaleur

Volume Horaire		Responsable Pédagogique		Unité d'Enseignement
Cours	0:00:00	Nom	P. Floquet (10h40)/ G. Hétreux (5h20)	Intégration énergétique avancée des systèmes
Cours-TD	16:00:00	Pédagogie Active		Coefficient
TD	0:00:00	0		1,5
TP	0:00:00	Mode d'Evaluation		
				Rapport

### Connaissances et Capacités

Etre en capacité de synthétiser et analyser un réseau d'échangeurs de chaleur.  
Etre capable d'établir une superstructure de procédé et de modéliser (critère, contraintes) et résoudre un problème d'optimisation mixte non-linéaire (MINLP).  
Etre capable d'utiliser un « modeleur » (ici, GAMS et ILOG) pour modéliser et résoudre un problème de conception de réseau d'échangeurs de chaleur, sur la base d'un critère technico-économique,.

### Contenu du cours- Syllabus

- G. HETREUX :
1. Modélisation du problème de conception d'un réseau d'échangeurs de chaleur par un graphe et une formulation MILP
  2. Optimisation structurelle du réseau et études de différentes alternatives via le logiciel *ILOG Solver*
- P. FLOQUET :
3. Optimisation structurelle et paramétrique d'un procédé
    - a. Via une superstructure
    - b. Via le logiciel *GAMS*
  4. Application à la conception optimale d'un réseau d'échangeurs de chaleur

### Ouvrages de Référence

Optimization models, G Calafiore and L El Ghaoui, Cambridge University Press, 2014  
Optimisation discrete, A Billionnet, Dunod, 2007  
Optimization of Chemical processes, TF Edgar, DM Himmelblau and LS Lasdon, Mc Graw Hill, 2001

## Efficacité énergétique en distillation

Volume Horaire		Responsable Pédagogique		Unité d'Enseignement
Cours	0:00:00	Nom	D. Rouzineau	Méthodes et technologies pour l'efficacité énergétique
Cours-TD	13:20:00	Pédagogie Active		Coefficient
TD	0:00:00	0		2
TP	0:00:00			Mode d'Evaluation
				Rapport

### Connaissances et Capacités

Connaissance des nouveaux procédés de distillation moins énergivore.  
Design de colonne à distiller à paroi (DWC).

### Contenu du cours- Syllabus

- 1- Problématique
  - 1-1 Rappel sur la distillation
  - 1-2 1-2 L'enjeux énergétique
- 2- Les technologies alternatives
  - 2-1 (re)compression de vapeur
  - 2-2 Pome à chaleur
  - 2-4 HiDiC
  - 2-5 colonne à paroi divisé (DWC)
- 3- Méthodologie
  - 3-1 Paramètres de sélection
  - 3-2 Indicateur de performance énergétique
  - 3-3 Mélange Binaire
  - 3-4 Mélange multi-constituants

3-5 Exemple

4- Les colonnes à paroi divisés (DWC)

4-1 Historique

4-2 Principe

4-3 Design

2-4 Equipement

#### Ouvrages de Référence

*'Towards energy efficient distillation technologies – Making the right choice,*  
Anton A. Kiss, Energy, Volume 47, 2012

## Introduction à l'analyse Pinch

Volume Horaire		Responsable Pédagogique		Unité d'Enseignement
Cours	0:00:00	Nom	R. They	Méthodes et technologies pour l'efficacité énergétique
Cours-TD	8:00:00			
TD	0:00:00	Pédagogie Active		Coefficient
TP	0:00:00	0		0
				Mode d'Evaluation
				0

### Connaissances et Capacités

Etre capable de réaliser le diagnostic énergétique d'un procédé  
Maitriser l'analyse pincement pour l'évaluation de la consommation minimale du procédé en utilités chaudes et froides

### Contenu du cours- Syllabus

- Analyse énergétique d'un procédé  
Recenser sur un procédé les sources et les puits de chaleur à l'aide de bilans matière et énergie
- Diagnostic énergétique d'un procédé :
  - Evaluation de la consommation nominale d'un procédé
  - Evaluer la consommation minimale d'un procédé (Minimum d'Energie Requise)
  - Localiser la température de pincement
  - Localiser les échangeurs à améliorer sur un procédé existant

### Ouvrages de Référence

Chemical Process : Design and integration, Robin Smith, Ed. Wiley, second edition, 2016  
Pinch Analysis and Process integration, a user guide on process integration for the efficient use of energy, Ian C. Kemp, 2006, IchemE

## Méthodes d'optimisation

Volume Horaire		Responsable Pédagogique		Unité d'Enseignement
Cours	6h40:00	Nom	P. Floquet/L. Montastruc	Méthodes et technologies pour l'efficacité énergétique
Cours-TD	2:40:00			
TD	0:00:00	Pédagogie Active		Coefficient
TP	0:00:00	0		1
				Mode d'Evaluation
				Rapport

### Connaissances et Capacités

Etre capable de s'orienter dans les diverses méthodes d'optimisation  
Etre capable de mettre en œuvre une méthode d'optimisation (MILP, MINLP) et d'utiliser un modèleur (GAMS, ICI) pour résoudre un problème de conception optimale.

### Contenu du cours- Syllabus

1. Panorama des méthodes d'optimisation
  - a. NLP
  - b. MIP (MILP, MINLP)
  - c. Multicritère
2. Méthodes de résolution
  - a. Heuristiques, exhaustives
  - b. Métaheuristiques
  - c. Méthodes exactes
3. Application dans les différents cours du parcours ELeNSys, via les logiciels modèleur GAMS et ILOG

### Ouvrages de Référence

Optimization models, G Calafiore and L El Ghaoui, Cambridge University Press, 2014  
Optimisation discrete, A Billionnet, Dunod, 2007  
Optimization of Chemical processes, TF Edgar, DM Himmelblau and LS Lasdon, Mc Graw Hill, 2001

## Technologie des échangeurs de chaleur

Volume Horaire		Responsable Pédagogique		Unité d'Enseignement
Cours	6:40:00	Nom	F. Picard	Méthodes et technologies pour l'efficacité énergétique
Cours-TD	0:00:00			
TD	0:00:00	Pédagogie Active		Coefficient
TP	0:00:00	0		0
				Mode d'Evaluation
				-

### Connaissances et Capacités

Technologies d'échangeurs thermiques  
Utilisation des échangeurs en génie des procédés  
Echange thermique  
Energétique, efficacité énergétique

### Contenu du cours- Syllabus

Ce cours présentera diverses technologies d'échangeurs et leurs utilisations dans divers procédés. Les contraintes de conception de ces échangeurs seront abordées (thermique, hydraulique, mécanique, encrassement, corrosion...) en fonction des performances demandées. Initiation à la conception d'un échangeur.

### Ouvrages de Référence