



La gestion de l'énergie dans l'industrie

Jean-Marie SEYNHAEVE

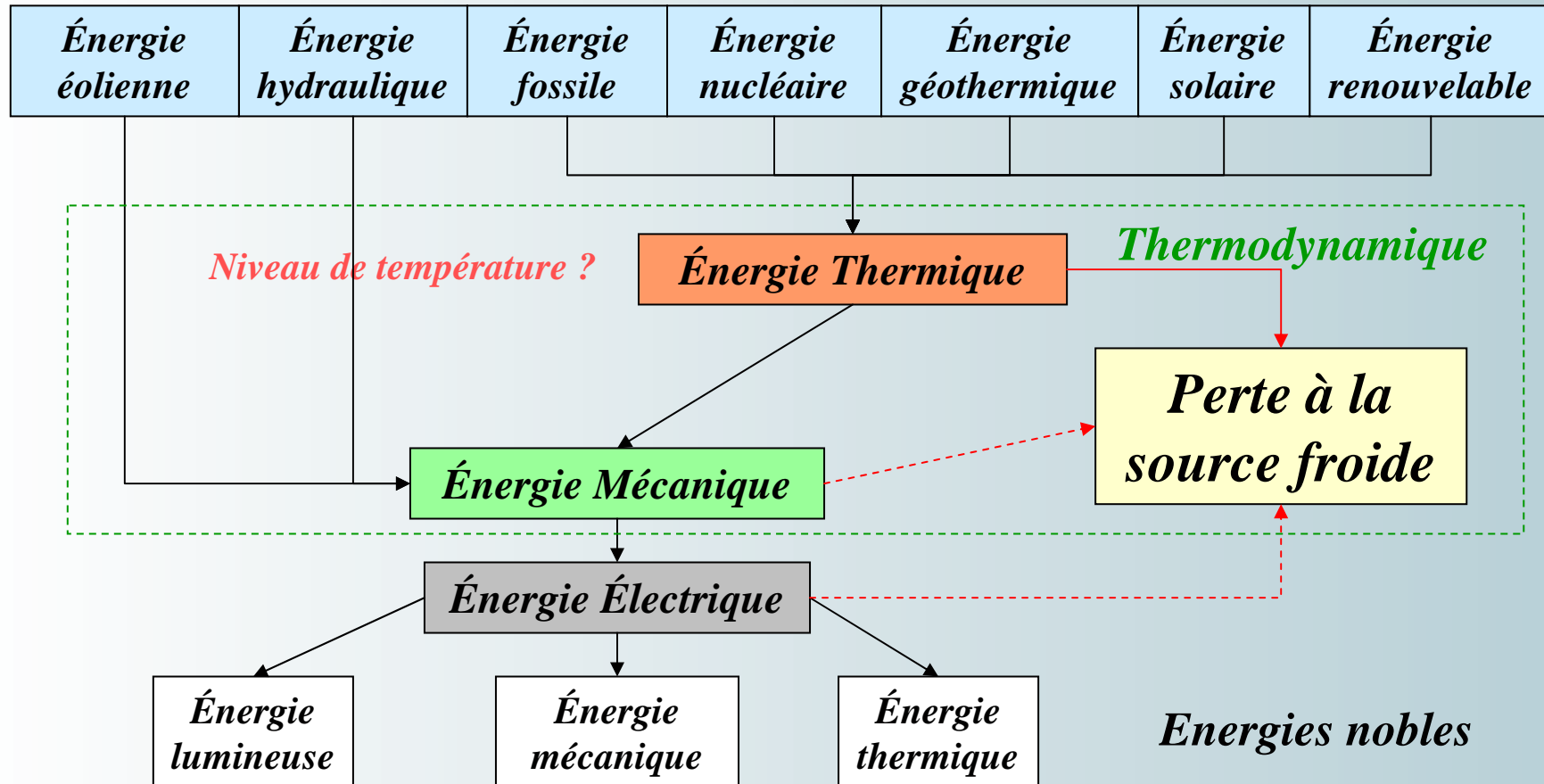
Énergie primaire - Énergie noble - Dégradation de l'énergie.
Le processus industriel - identification des flux énergétiques.
Analyse et bilan énergétique - Diagramme de Sankey
Consommation spécifique - Collecte et suivi des données
Le gestionnaire « énergie » et son intégration dans l'entreprise.

Cas d'étude :



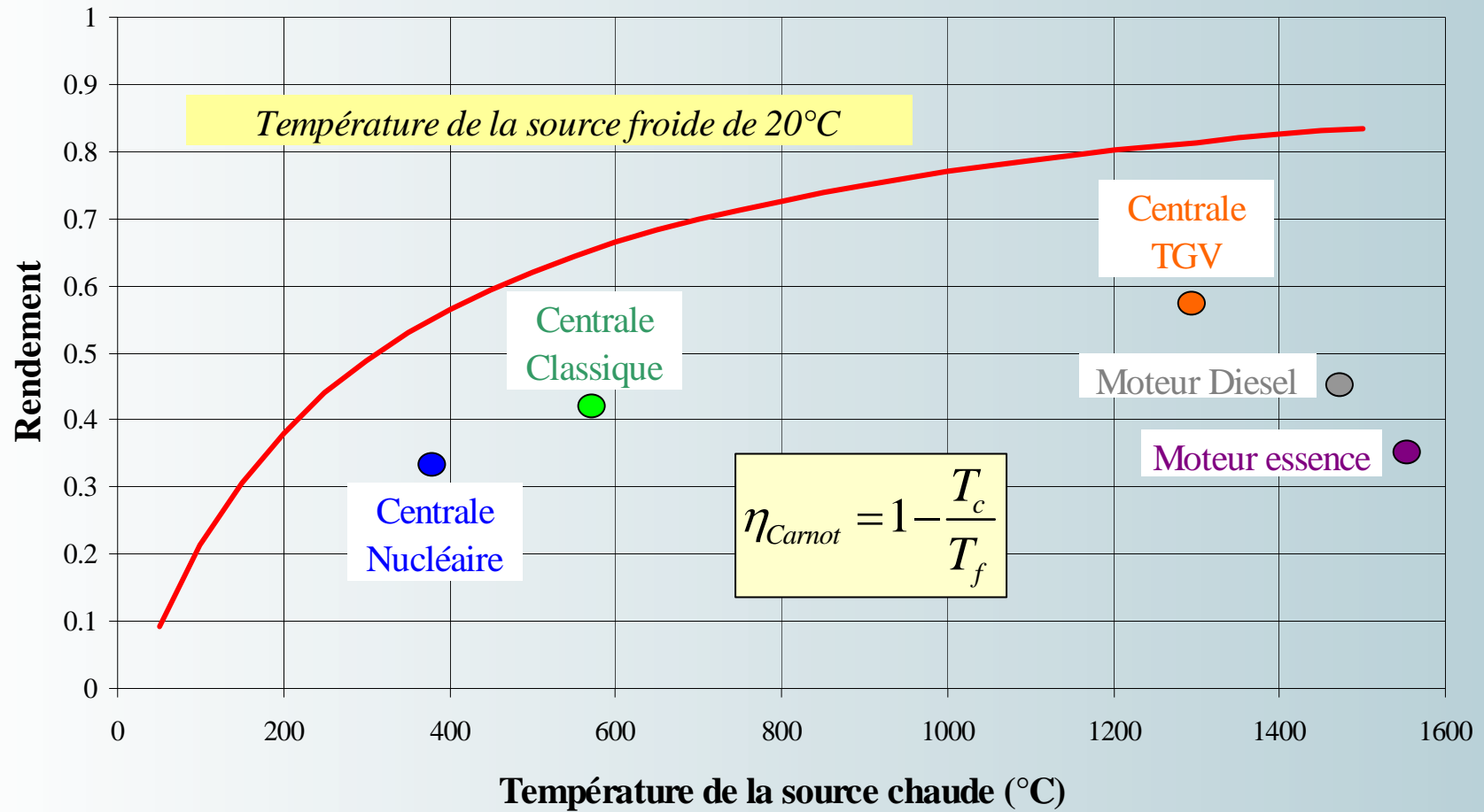
Introduction : Transformation et dégradation de l'énergie

Énergies primaires





Rendement du cycle de Carnot



Prix de l'énergie ... Conséquences environnementales



Chapitre 1 : Analyse et bilan énergétique

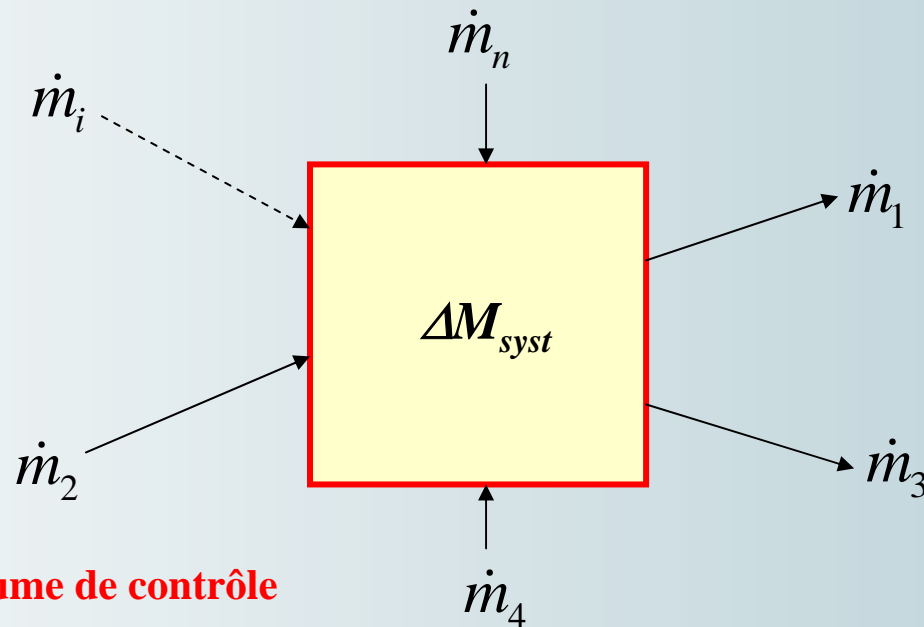
Diagramme de Sankey

1. Principes de la conservation : masse et énergie
2. Diagramme de Sankey
3. Cas d'étude :
 - Papeterie
 - Station de pompage



1. Les équations de conservation

CONSERVATION DE LA MASSE



Choix du volume de contrôle

- Débit entrant +
- Débit sortant -

Conservation de la masse :

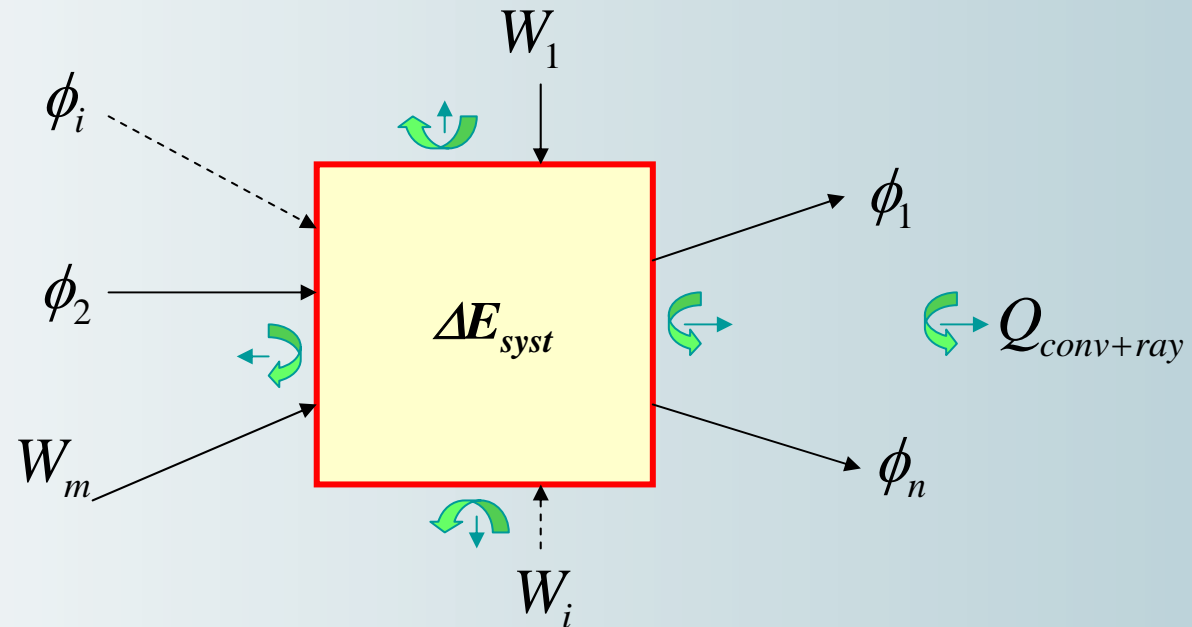
$$\Delta M_{\text{sys}} = \left(\sum_{i=1}^n \dot{m}_i \right) \Delta t$$

Régime permanent :

$$\sum_{i=1}^n \dot{m}_i = 0$$



CONSERVATION DE L'ENERGIE



Choix du volume de contrôle :

- Choix arbitraire
- Mais choix judicieux en fonction de l'application

Convention :

- Flux énergétiques et Travaux mécaniques entrant +
- Flux énergétiques et Travaux mécaniques sortant -



Hypothèses pratiques :

- Les différences d'énergies potentielle et cinétiques sont négligées

$$\Delta z \cong 0 \quad \Delta K \cong 0$$

- Attention à la justification ...

Types d'énergie :

- **Puissance électrique ...**
- **Puissance mécanique : W_i (W ou kW)**
- **Flux d'énergie thermique ϕ_i (W ou kW)**

- Fluides : $\phi = \dot{m}h = \dot{m}c_p t$

- Combustibles $\phi = \dot{m}_c PCI(S)$

- **Flux de transfert de chaleur vers le milieu extérieur (W ou kW) $Q_{conv+ray}$**



Principe de la conservation de l'énergie :

1^{er} principe : Énergie mécanique \Rightarrow énergie thermique

$$\left(Q_{conv,ray} + \sum_{i=1}^n \phi_i + \sum_{i=1}^m W_i \right) \Delta t = \Delta E_{syst}$$

Accumulation d'énergie interne dans V : $\Delta E_{syst} = \sum_{i=1}^m \dot{m}_i e_i$

Régime transitoire

- « Photographie » simultanée des ϕ et W pour obtenir $\frac{dE_{syst}}{dt}$

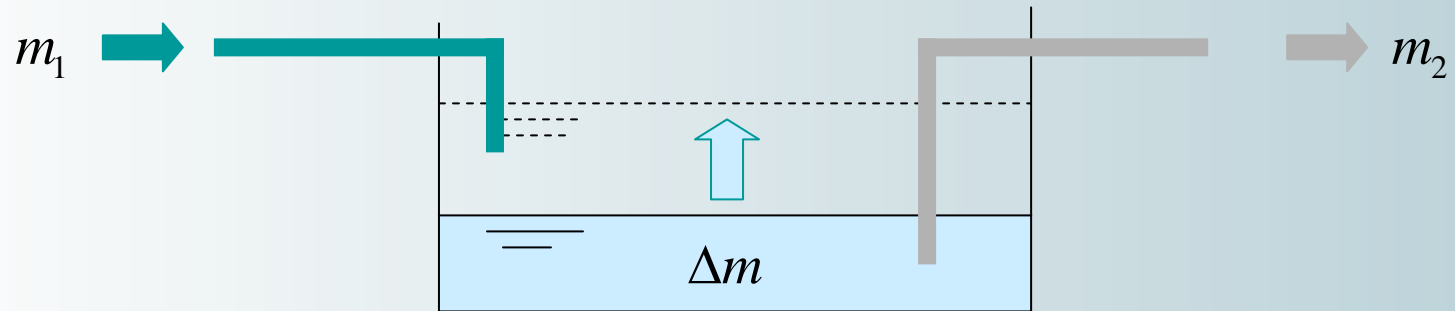
Régime permanent :

- Mesure de la situation moyenne sur une longue période (exemple : chaudière...)

$$\left(Q_{conv,ray} + \sum_{i=1}^n \phi_i + \sum_{i=1}^m W_i \right) = 0$$

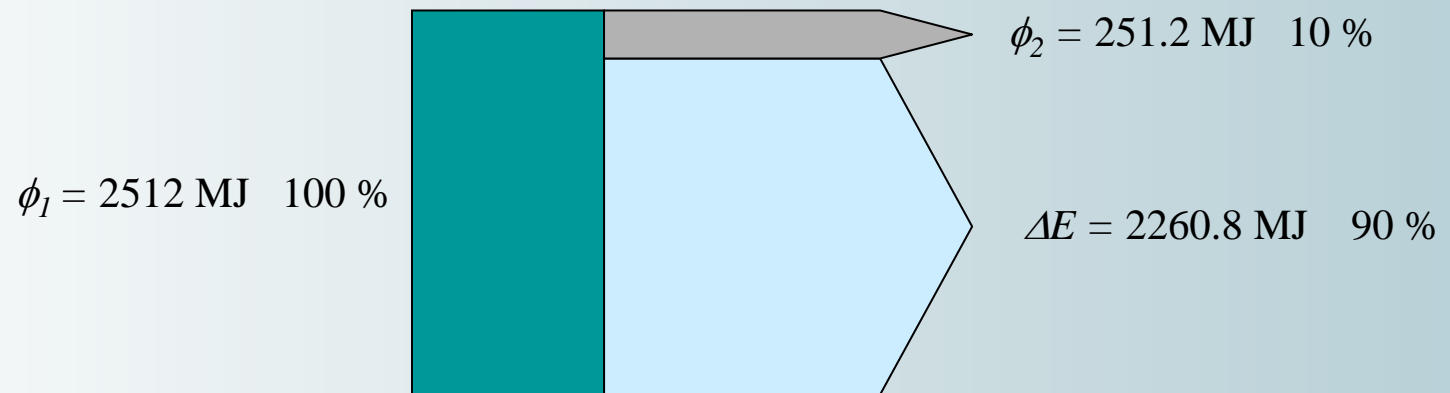


2. Diagramme de SANKEY



Données

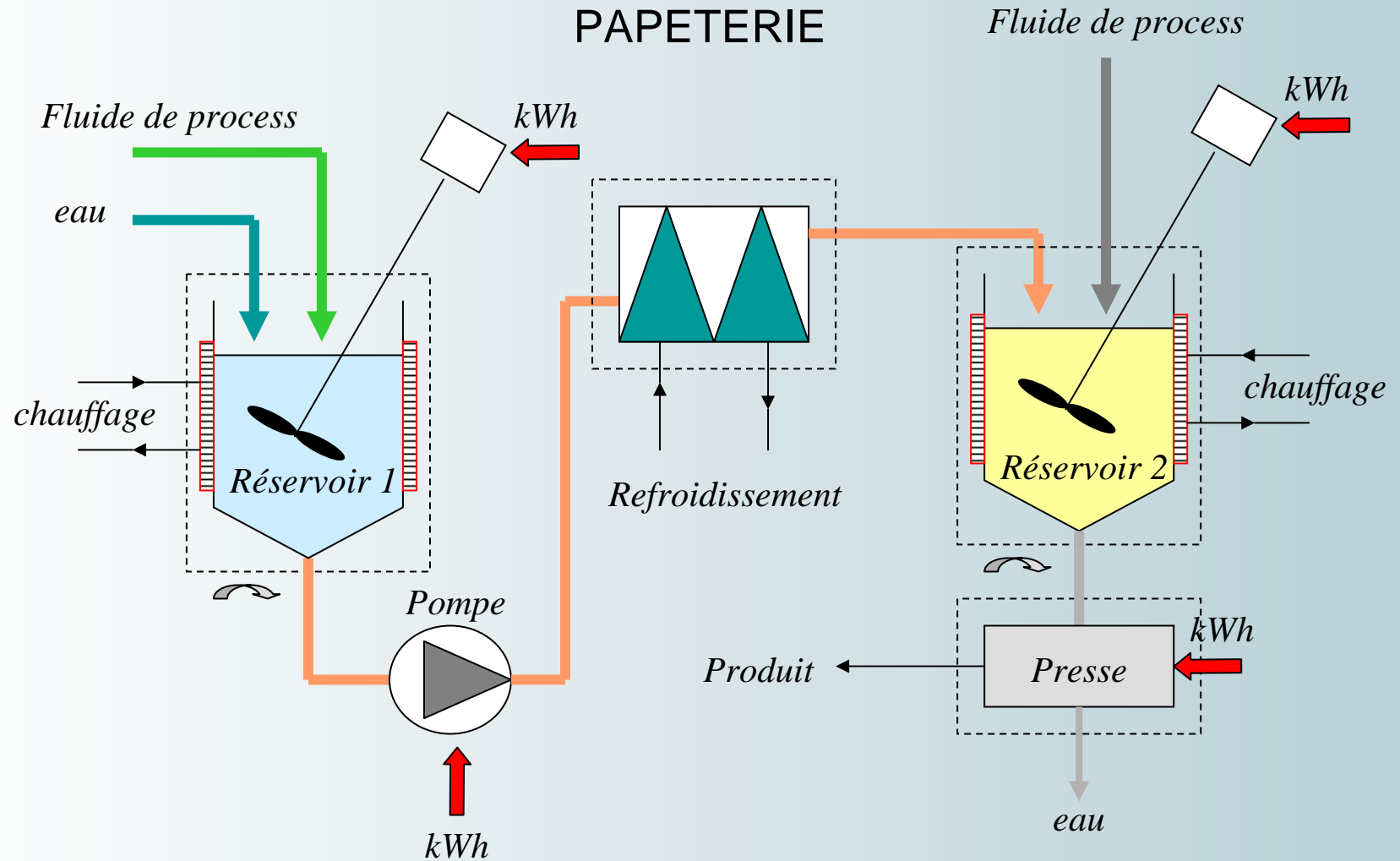
$m_1 = 10 \text{ t}$	$t_1 = 60 \text{ °C}$	$\phi_1 = 2512 \text{ MJ}$
$m_2 = 2 \text{ t}$	$t_2 = 30 \text{ °C}$	$\phi_2 = 251.2 \text{ MJ}$
$\Delta m = 8 \text{ t}$		





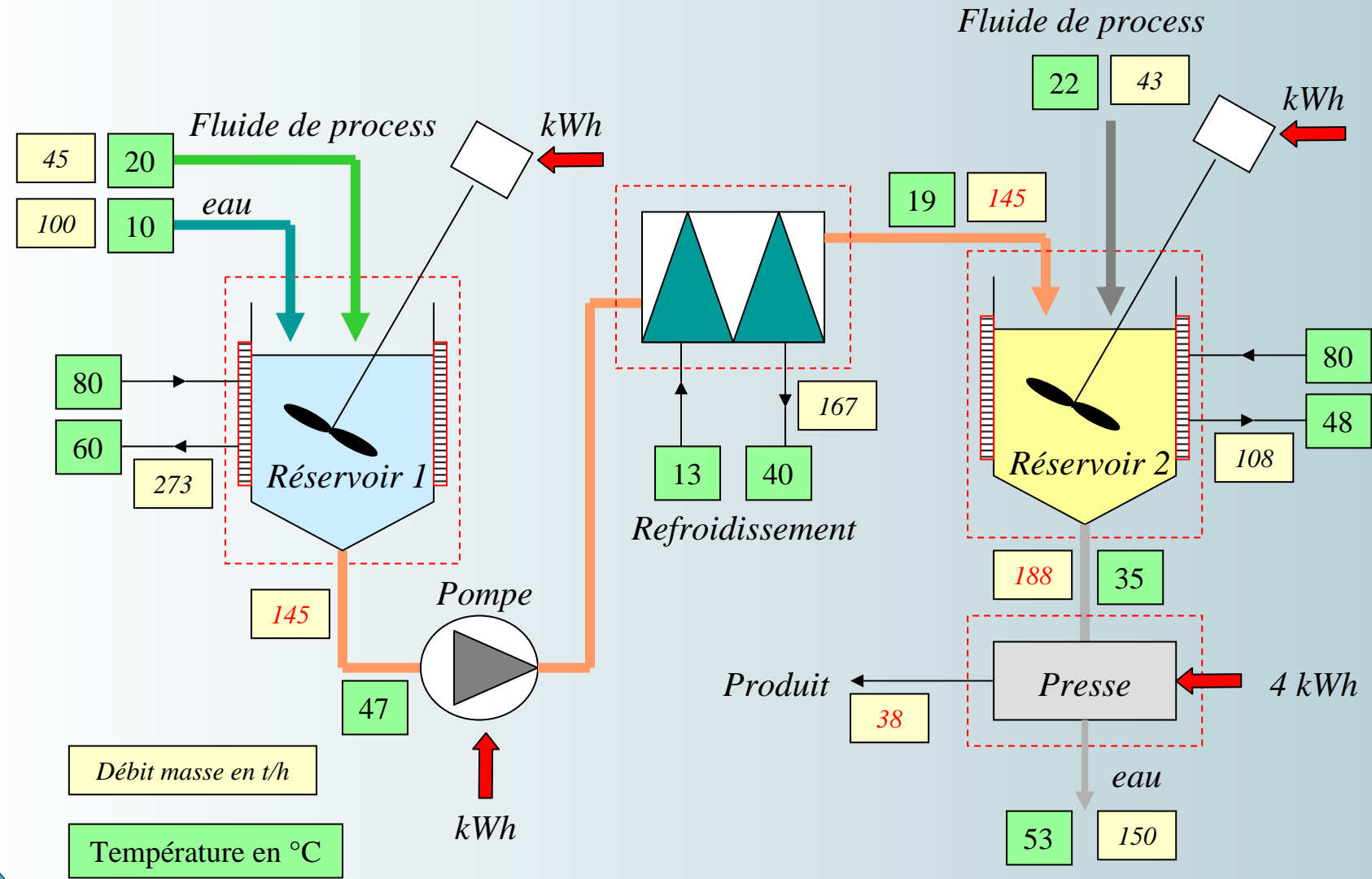
3. Cas d'étude

PAPETERIE





PAPETERIE : Schéma de principe





PAPETERIE : Bilan global

INPUT d'énergie

• Réservoir 1 :

- Fluide de process : 20 x 45 x 1.16	1.044 kW	
- Eau : 10 x 100 x 1.16	1.160 kW	
- Chauffage : (80-60) x 273 x 1.16	6.333 kW	
- TOTAL :		8.537 kW

• Réservoir 2 :

- Fluide de process : 22 x 43 x 1.16	1.097 kW	
- Chauffage : (80-48) x 108 x 1.16	4.009 kW	
- TOTAL		5.106 kW

• Presse :

TOTAL : 4.000 kW
17.643 kW

OUTPUT d'énergie

• Refroidisseur : (40-13) x 167 x 1.16	5.230 kW
• Eau de décharge : 53 x 150 x 1.16	9.222 kW
• Produit fini : 53 x 38 x 1.16	2.336 kW
TOTAL :	16.788 kW

Différence d'énergie ⇒ Pertes à l'ambiance 0.855 kW



UCL

Université
catholique
de Louvain



Bilan par volume de contrôle

Réservoir 1

• Input :	+	8.537 kW
• Output fluide de process : 47 x 145 x 1.16	-	7.905 kW
• Pertes à l'ambiance :	+	0.632 kW

Refroidisseur

• Input fluide de process : 47 x 145 x 1.16	+	7.905 kW
• Output fluide de process : 19 x 145 x 1.16	-	3.196 kW
• Refroidissement :	-	5.230 kW
• Pertes à l'ambiance (Gain) :	-	0.521 kW

Réservoir 2

• Input :	+	5.106 kW
• Input fluide de process :	+	3.196 kW
• Output fluide de process : 35 x 188 x 1.16	-	7.633 kW
• Pertes à l'ambiance :	+	0.669 kW

Presse

• Input fluide de process :	+	7.633 kW
• Presse :	+	4.000 kW
• Output eau : 53 x 150 x 1.16	-	9.222 kW
• Output produit fini : 53 x 38 x 1.16	-	2.336 kW
• Pertes à l'ambiance :	+	0.075 kW



UCL

Université
catholique
de Louvain

Inventaire des inputs et outputs

Inputs d'énergie au processus

• Fluide de process au réservoir 1 :	1.044 kW	5.7 %
• Eau au réservoir 1 :	1.160 kW	6.4 %
• Chauffage réservoir 1 :	6.333 kW	34.9 %
• Apport de l'ambiance au refroidisseur :	0.521 kW	2.9 %
• Fluide de process au réservoir 2 :	1.097 kW	6.0 %
• Chauffage réservoir 2 :	4.009 kW	22.1 %
• Presse :	4.000 kW	22.0 %
• TOTAL :	18.164 kW	100.0 %

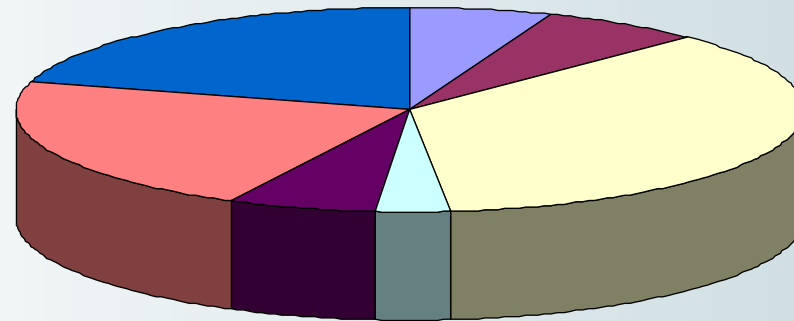
Outputs d'énergie du processus

• Perte à l'ambiance réservoir 1 :	0.632 kW	3.5 %
• Eau de refroidisseur :	5.230 kW	28.8 %
• Perte à l'ambiance réservoir 2 :	0.669 kW	3.7 %
• Perte à l'ambiance de la presse :	0.075 kW	0.4 %
• Eau provenant de la presse :	9.222 kW	50.7 %
• Produit fini :	2.336 kW	12.9 %
• TOTAL :	18.164 kW	100.0 %

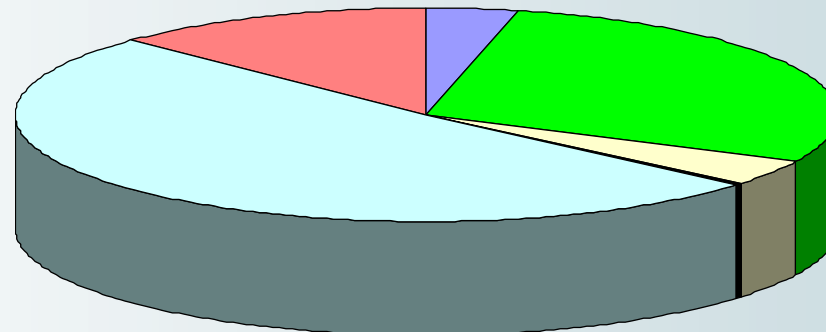




Partition des inputs d'énergie

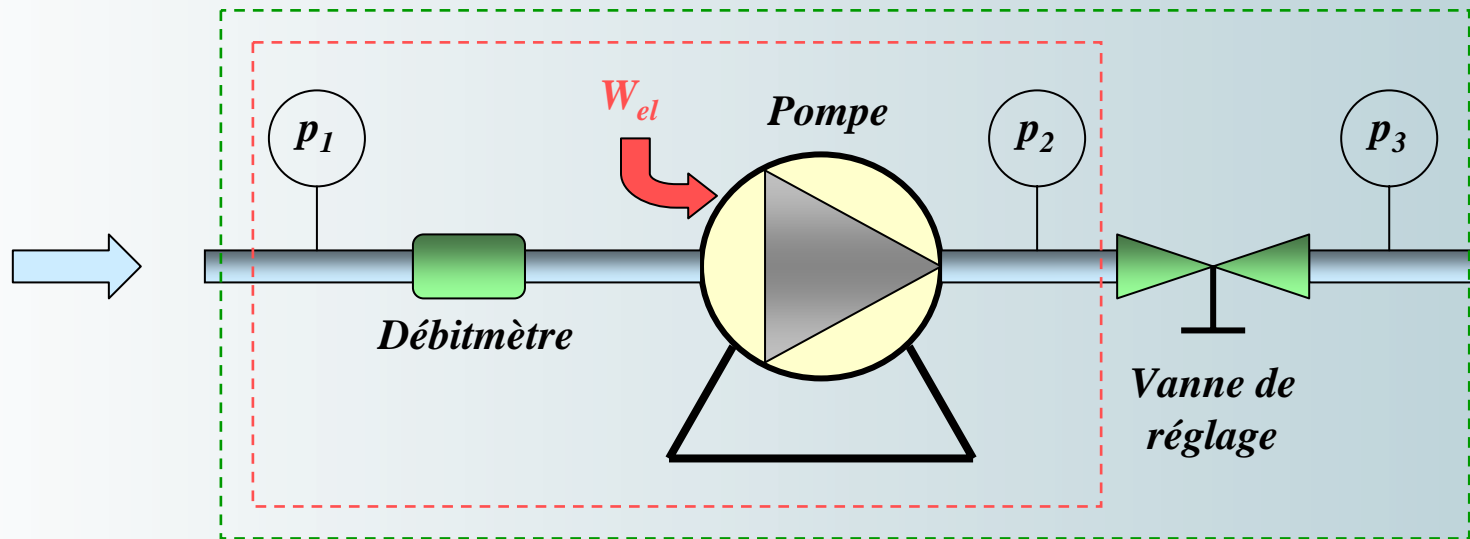


Partition des outputs d'énergie



3. Cas d'étude

STATION DE POMPAGE



Résultats de mesures

Mécanique

- $Q_m = 100 \text{ kg/s}$ (360 m³/h)
- $p_1 = 1 \text{ bar}$
- $p_2 = 4 \text{ bar}$
- $p_3 = 2.5 \text{ bar}$

Électrique

- $U = 380 \text{ V}$
- $I = 75 \text{ A}$
- Alimentation triphasé

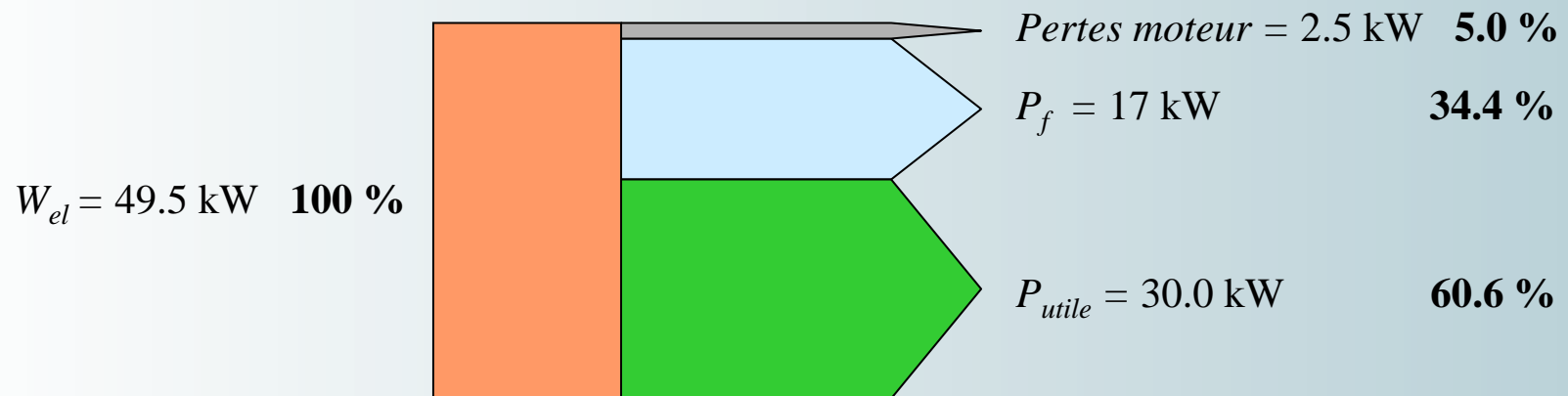


Volume de contrôle rouge

Input d'énergie : $P_{el} = \sqrt{3} \cdot UI = 49.5 \text{ kW}$

Transformation d'énergie :

- Puissance mécanique : $P_{méc} = \eta_{moteur} P_{el} = 0.95 \times 49.5 = 47.0 \text{ kW}$
- Puissance utile : $P_{utile} = Q_m \frac{\Delta p}{\rho} = 100 \times 3.10^5 / 1000 = 30.0 \text{ kW}$
- Perte d'énergie mécanique $\Rightarrow Q_{fluide}$: $P_f = P_{méc} - P_{utile} = 17.0 \text{ kW}$
- Augmentation de température : $W_m \cong \Delta H = c_p \Delta T \quad \Delta T = 0.11 \text{ °C} !!!$



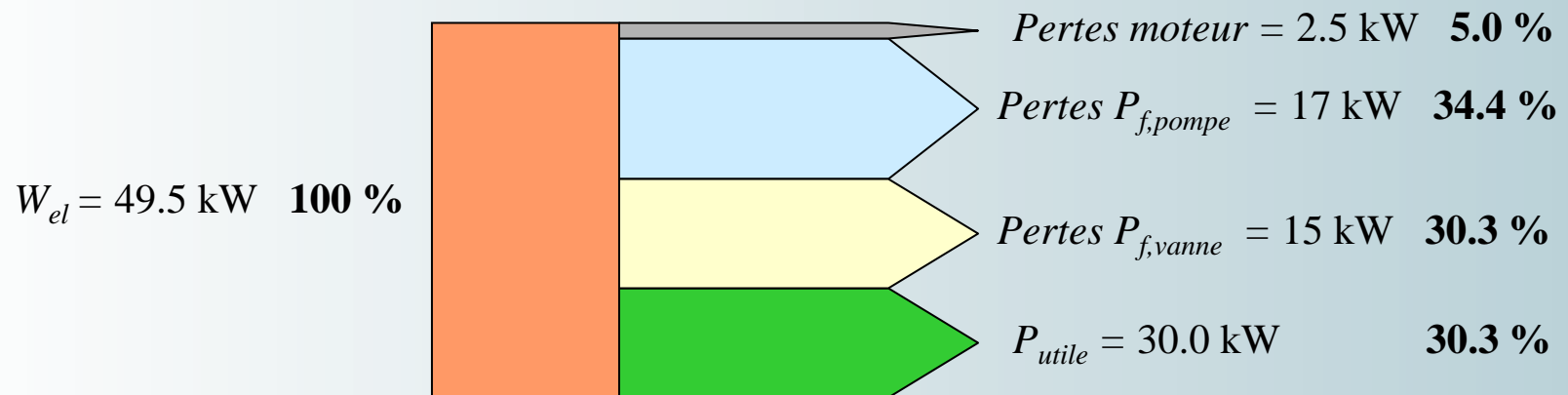


Volume de contrôle vert

Input d'énergie : $P_{el} = \sqrt{3} \cdot UI = 49.5 \text{ kW}$

Transformation d'énergie :

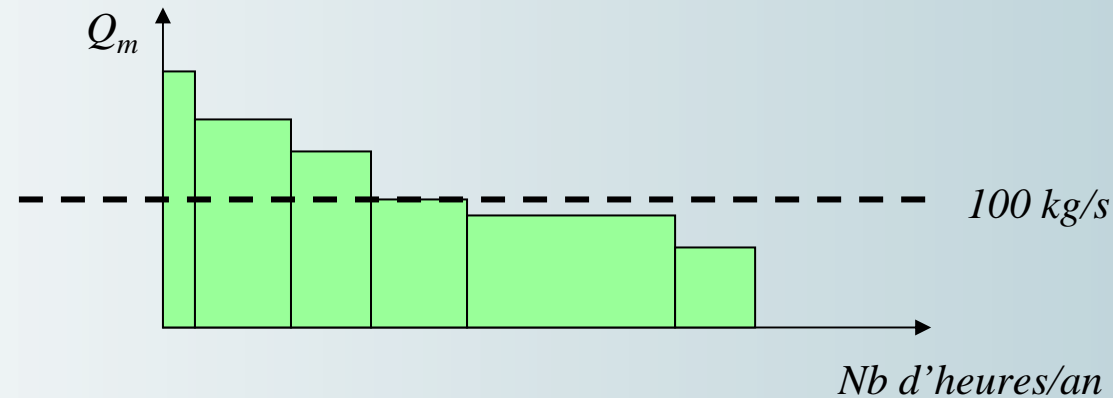
- Puissance mécanique : $P_{méc} = \eta_{moteur} P_{el} = 0.95 \times 49.5 = 47.0 \text{ kW}$
- Puissance utile : $P_{utile} = Q_m \frac{\Delta p_1^3}{\rho} = 100 \times 1.5 \cdot 10^5 / 1000 = 15.0 \text{ kW}$
- Perte d'énergie mécanique dans la vanne : $P_{vanne} = Q_m \frac{\Delta p_3^2}{\rho} = 15.0 \text{ kW}$





Conclusions

- **Design et connaissance du circuit aéraulique (résistance)**
- **Les vannes de réglage sont « énergétivores » .**
- **Utilisation pour le réglage fin de débit**
- **Si le besoin en eau est constant \Rightarrow changer le moteur de la pompe ...**
- **Sinon \Rightarrow analyse de la monotone de charge**



Solutions

- Pompage effectué en plusieurs pompes placées en parallèle avec vannes.
- Moteur d'entraînement à vitesse variable (Variateur de fréquence).
- Système de contrôle...

\Rightarrow Le choix est le résultat de l'analyse économique



Chapitre 2 : Aspect particulier à la gestion de l'énergie électrique

Georges HENNUY Jean-Marie SEYNHAEVE

Introduction

L'électricité : énergie noble, coûteuse et non stockable

- Noble : Transformation aisée en d'autres types d'énergie
- Coûteuse :
 - Coût de l'énergie primaire.
 - Coût des investissements des centrales électriques.
 - Coût du transport de l'électricité.
- Conclusions :
 - Utiliser l'électricité ssi irremplaçable (moteurs, éclairage...)
 - Utiliser mieux l'électricité (Micro-onde, soudure, induction ...)
 - Ne pas utiliser en chauffage direct (Effet Joule)



Comment économiser l'énergie électrique ?

1. Au niveau de la production : améliorer les rendements de transformation

- *Proportion entre « énergie primaire » et investissement dans le prix du kWh*

Hydraulique :	0 - 100
Nucléaire :	25 - 75
Thermique classique :	50 - 50
Centrale de pointe :	70 - 30

- *Réduire les consommations spécifiques des centrales (thermiques, de pointe, nucléaires)*

THERMODYNAMIQUE

- *Augmenter les rendements des centrales hydrauliques*
- *Augmenter les rendements des génératrices électriques (98 ... 99 %)*

2. Au niveau de la consommation : améliorer les rendements de transformation

- *Moteurs et systèmes d'entraînement « souples » à l'utilisation (vitesse variable)*

- Moteur DC : cher, coûteux, maintenance
- Moteur asynchrone à glissement contrôlé (résistance rotorique) : inutile ?
- Moteur asynchrone à cage : robuste et bon marché
- Variateur de fréquence (technologie récente) ; cher mais fiabilité et souplesse

- *Éclairage : source lumineuse à haute efficacité*

- lampe au mercure, TL
- lampe au sodium
- surtout pas à incandescence, même halogène
- éclairage direct plutôt qu'indirect

- *Thermique : à éviter*

- ne chauffer que ce qu'il ne faut.
- micro-onde (!), induction

3. Au niveau du transport et de la distribution

$$Pertes = RI^2$$

Exemple : Transport de 100 kWel à 10 km

- *Choix judicieux de la tension (soit $\cos \varphi = 1$)*

- U = 10 kV I = 10 A $S_{\text{cuivre}} = 2 \text{ mm}^2$ R = 200 Ω \Rightarrow Perte = 20 kW

- U = 20 kV I = 5 A $S_{\text{cuivre}} = 1 \text{ mm}^2$ R = 400 Ω \Rightarrow Perte = 10 kW

- *Augmentation du facteur de puissance ($\cos \varphi$)*

- U = 10 kV $\cos \varphi = 0.7$ I = 14 A $S_{\text{cuivre}} = 3 \text{ mm}^2$ R = 300 Ω \Rightarrow Perte = 26 kW

- *Réductions des « pointes » au transport et à la distribution (10 à 15 %)*

- 100 kWh pendant une heure \Rightarrow Perte = 20 kWh

- 100 kWh pendant une 1/2 heure \Rightarrow Perte = 40 kWh



Comment réduire les investissements ?

- *Investissement = fonction (puissance kW, puissance apparente kVA)*
- *Réduire au minimum les puissances électriques nécessaires*
- *Augmenter le facteur de puissance (cos φ de 95 %)*
- *Utilisation maximale*

Utilisation = Énergie annuelle (kWh) / Puissance nominale (kW)
Puissance « quart-horaire » : moyenne pendant le 1/4 heure le plus chargé

Conclusions et suggestions

- 1. Consommer le moins possible : amélioration des process, chasse au gaspillage*
- 2. Améliorer l'utilisation : planifier = écréter et délester*
- 3. Réduire les pertes au transport et à la distribution : cos φ , tension, utilisation*
- 4. Utiliser des équipements souples dans le cas de monotone de charge « difficile »*



Chapitre 3 : Consommation spécifique

Collecte et suivi des données énergétiques

1. Relation entre production et consommation énergétique
2. Consommation spécifique en fonction de la production
3. Exemples : Analyse de résultats - Améliorations



1. Relation entre production et consommation énergétique

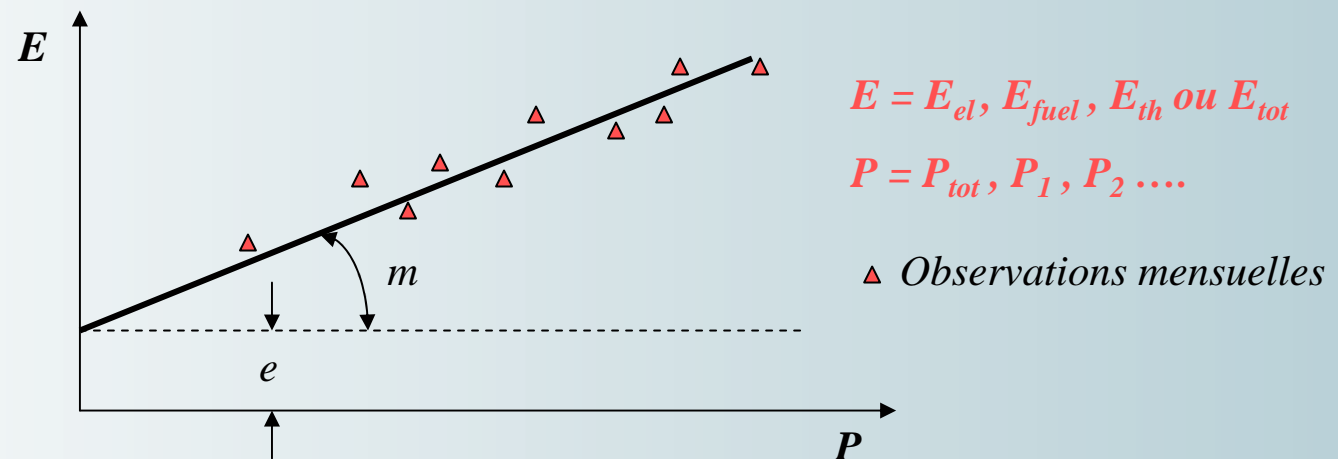
Temps d'observation \Rightarrow type d'industrie \Rightarrow période mensuelle

Production : inventaire par type de produits P

Consommation (Inputs) : inventaire par type d'énergie

- Énergie électrique en kWh \Rightarrow coût E_{el}
- Combustible en tonne ou m³ \Rightarrow coût E_{fuel}
- Énergie thermique en GJ \Rightarrow coût E_{th}
- Coût total : E

Relation production \Leftrightarrow consommation





Relation production \Leftrightarrow consommation : linéaire ?

$$E = e + m \cdot P$$

Terme indépendant e : non lié à la production

- Intendance externe à la production : éclairage, climatisation et chauffage, électricité...
- Consommation d'énergie non liées à la production : circuit vapeur, structure chaudière ...

Pente m de la droite : directement liée à la production

- Besoin de vapeur pour le process (textiles, papiers, pétro-chimie ...)
- Consommation de combustible...
- Chaleur de réaction de processus chimique
- Four à induction : électricité ...



Analyse de la relation entre production et consommation

- **e trop grand** : pertes d'énergie non productive
 - ⇒ amélioration de l'isolation des surfaces chaudes
 - ⇒ remplacement ou amélioration du système d'éclairage
 - ⇒ amélioration du système de climatisation ou de chauffage
 - ⇒ etc...

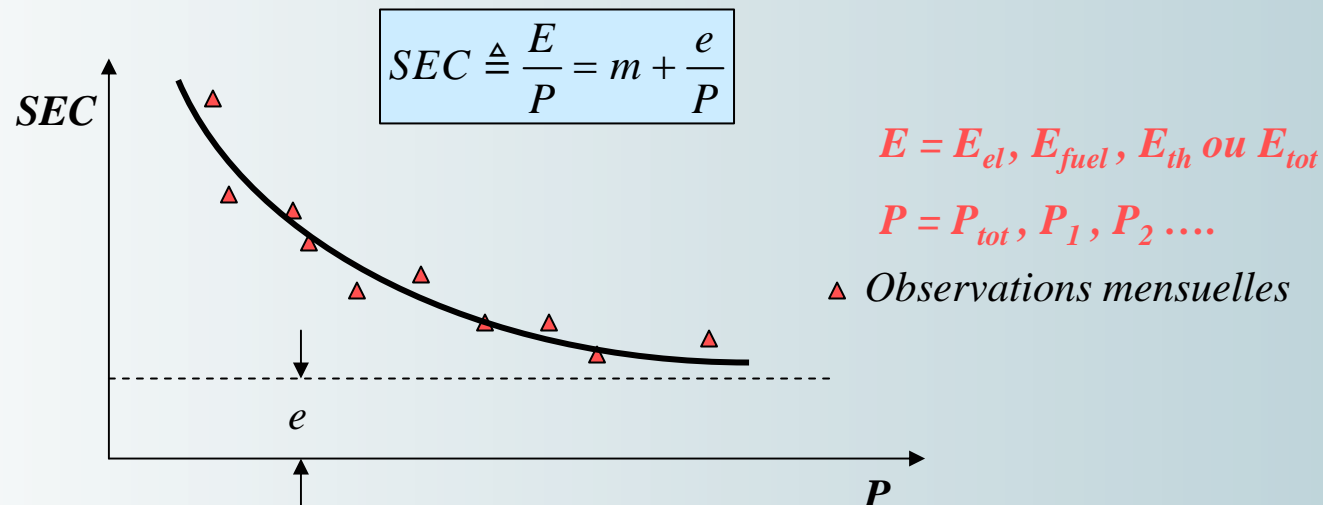
- **m trop grand** : énergie spécifiquement consommée dans le process
 - ⇒ système de récupération de chaleur
 - ⇒ modification du process proprement dit

- **Écart par rapport à la droite : sens de la courbure ...**

Méthode de diagnostic :

- **Comparaison avec les données internes**
 - ⇒ nécessité de maintenir à jour les relevés de production et de *consommation*
 - ⇒ nécessité de maintenir à jour toutes les données statistiques.
- **Comparaison avec d'autres unités de production (concurrence !)**
 - ⇒ difficile à obtenir directement : littérature spécialisée
 - ⇒ analyse du prix de revient de la concurrence ?

2. Consommation spécifique d'énergie *SEC*



Exemple : Production d'électricité ou de chaleur, métallurgie, pétrochimie ...



3. Exemple 1

Données

<i>Mois</i>	<i>P</i>	<i>E</i>	<i>SEC</i>	<i>E estimé</i>	<i>Ecart</i>
1	6.5	11.5	1.77	11.95	0.45
2	10.1	16.0	1.58	16.37	0.37
3	4.2	9.1	2.17	9.13	0.03
4	8.5	15.2	1.79	14.41	-0.79
5	5.9	11.8	2.00	11.22	-0.58
6	8.1	13.4	1.65	13.92	0.52
7	11.0	17.5	1.59	17.47	-0.03
8	12.4	19.4	1.56	19.19	-0.21
9	11.8	17.8	1.51	18.45	0.65
10	7.3	11.7	1.60	12.93	1.23
11	9.5	16.7	1.76	15.63	-1.07
12	7.7	14.0	1.82	13.43	-0.57
<i>Moyenne</i>	<i>8.6</i>	<i>14.5</i>	<i>1.73</i>		<i>0.68</i>

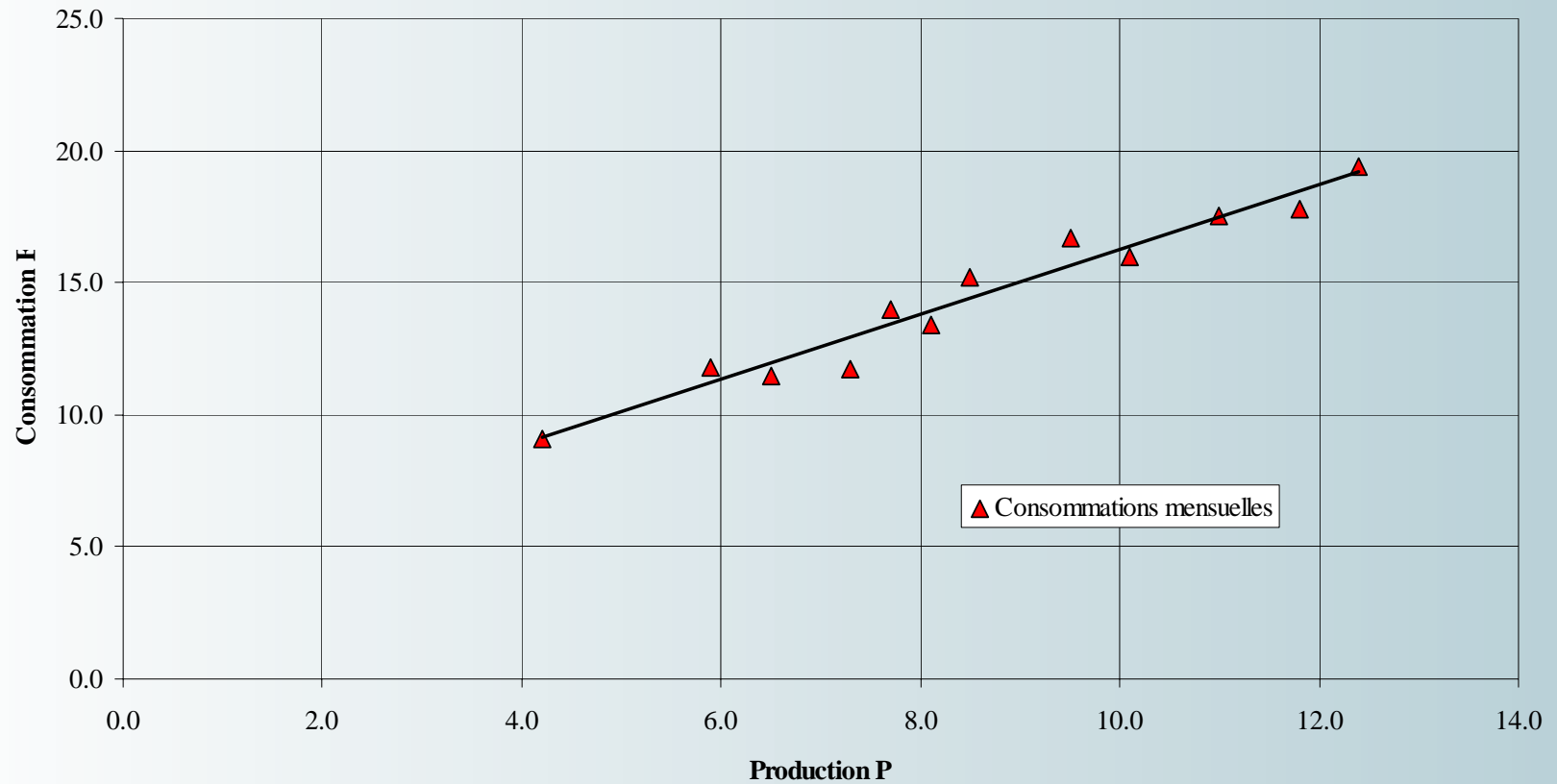
Questions

- *Quel est le meilleur et plus mauvais mois ?*
- *Quelle est la production moyenne et la consommation moyenne ?*
- *Quelle est la consommation fixe ?*
- *Globalement les résultats sont-ils bons ?*



Relation production - consommation

$$E = 1.226 P + 3.985$$





3. Exemple 2

Données

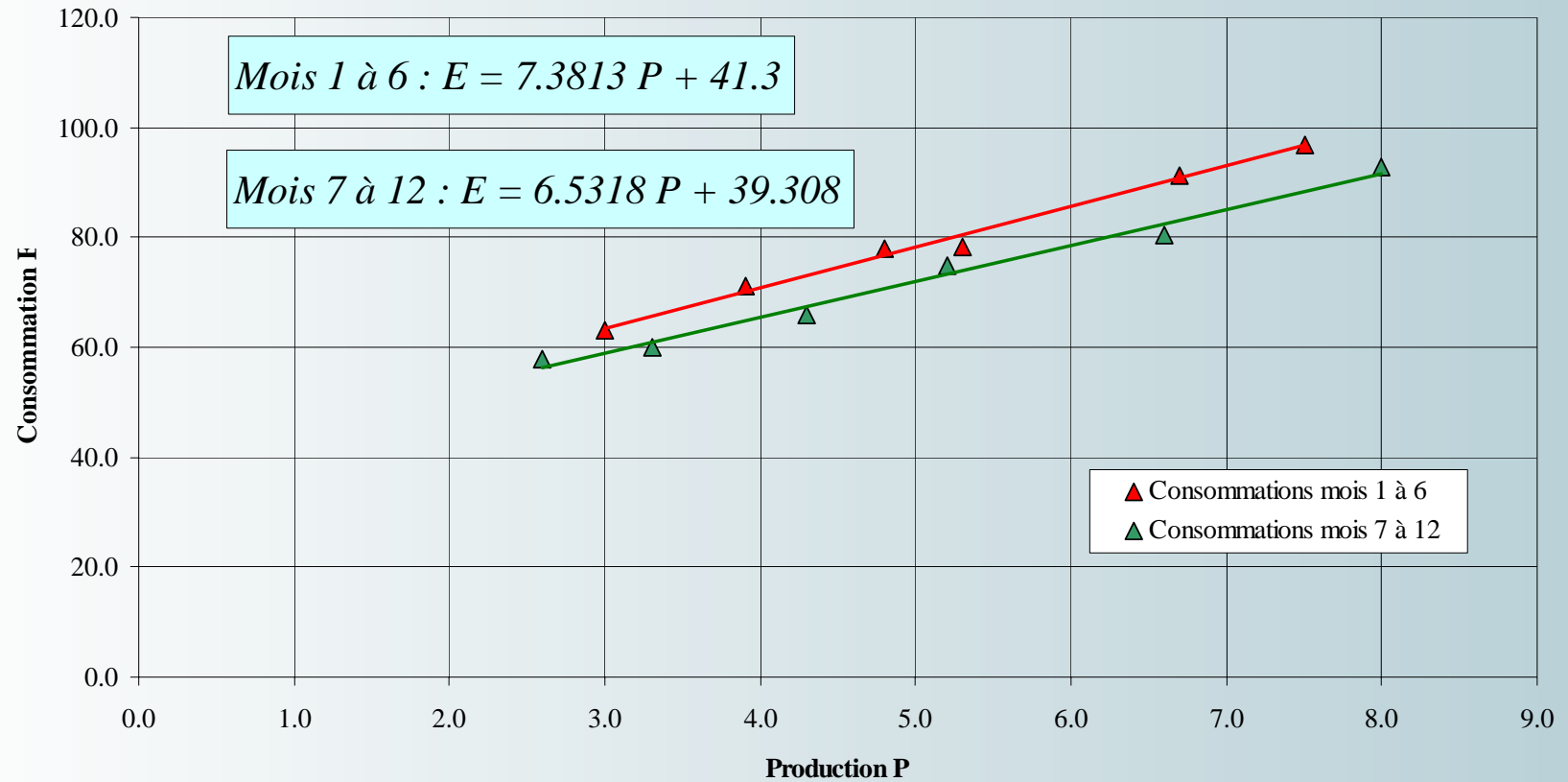
<i>Mois</i>	<i>P</i>	<i>E</i>	<i>SEC</i>	<i>E estimé</i>	<i>Ecart</i>
1	7.5	96.8	12.91	96.66	-0.14
2	4.8	77.8	16.21	76.73	-1.07
3	5.3	78.4	14.79	80.42	2.02
4	3.0	63.0	21.00	63.44	0.44
5	6.7	91.1	13.60	90.75	-0.35
6	3.9	71.0	18.21	70.09	-0.91
<i>Moyenne</i>	<i>5.2</i>	<i>79.7</i>	<i>16.1</i>		<i>1.13</i>
7	2.6	57.7	22.19	56.29	-1.41
8	5.2	74.9	14.40	73.27	-1.63
9	6.6	80.5	12.20	82.42	1.92
10	4.3	65.8	15.30	67.39	1.59
11	8.0	92.8	11.60	91.56	-1.24
12	3.3	60.1	18.21	60.86	0.76
<i>Moyenne</i>	<i>5.0</i>	<i>72.0</i>	<i>15.7</i>		<i>1.61</i>

Questions

- *Quel est le gain du nouveau système de récupération d'énergie ?*
- *Quel type de récupération ?*
- *Quel est le gain sur la consommation fixe ?*
- *Quelle conséquence lorsque la production est importante ?*



Relation production - consommation



$$\Delta E = 0.85 + 1.99 P$$



Chapitre 3 : La gestion de l'énergie

Son intégration dans l'entreprise

1. Gestion de l'énergie dans l'industrie
2. Intégration dans l'entreprise



1. Gestion de l'énergie dans l'industrie

Définition

Administration de l'approvisionnement et de l'utilisation de l'énergie

Objectif :

Réduire les coûts de l'énergie tout en préservant l'environnement

Moyens :

- ⇒ *Bonne gestion courante de l'énergie (Energy conservation)*
- ⇒ *Systèmes de récupération d'énergie (Energy recovery)*
- ⇒ *Systèmes de substitution d'énergie (Energy substitution)*
- ⇒ *Intégration des processus de production (Energy integration)*

La gestion de l'énergie est un effort continu

La gestion de l'énergie n'est pas uniquement un travail d'ingénierie



UCL

Université
catholique
de Louvain

Règles de base de la gestion de l'énergie dans l'industrie

1. Ne peut être amélioré que ce qui est bien connu ...
2. Priorité à :
 - ⇒ *Maintenance des unités de production et d'utilisation*
 - ⇒ *Formation continue du personnel concerné*
 - ⇒ *Gestion en « bon père de famille » (house keeping)*
3. Priorité à la fabrication des produits : l'approvisionnement en énergie est un service ...
4. L'étude et l'implantation de nouveaux systèmes de récupération, d'intégration ou de substitution doivent être mûrement réfléchies
 - ⇒ *Implication sur la production*
 - ⇒ *Conséquences sur la qualité des produits*
 - ⇒ *Évaluation des avantages supplémentaires*
 - ⇒ *Évaluation des contraintes inhérentes aux nouveaux systèmes*

L'énergie est trop chère pour être un jeu ! ⇒ Gestionnaire « Énergie »





Compétences demandées au le gestionnaire « énergie »

1. Connaissances techniques

- ⇒ *Technologie de l'énergie*
- ⇒ *Technologie de la mécanique, de l'électricité*
- ⇒ *Technologie des systèmes automatiques de contrôle*
- ⇒ *Technologie des processus de fabrication des produits*
- ⇒ *Technique de maintenance et de planning*

2. Connaissances administratives

- ⇒ *Technique de l'organisation*
- ⇒ *Gestion des stocks*
- ⇒ *Transferts d'informations*
- ⇒ *Système de budgétisation*

3. Connaissances financières

- ⇒ *Comptabilité*
- ⇒ *Technique de financement*
- ⇒ *Technique d'aide à la décision d'investir*

4. Connaissances éducatives

- ⇒ *Formation et motivation du personnel concerné*
- ⇒ *Information interne*

Le gestionnaire « Énergie » reste un homme !



UCL

Université
catholique
de Louvain

Qualités du gestionnaire « énergie » (de l'auditeur)

1. Esprit de communication

- ⇒ *Écouter et comprendre (Il n'y a pas de gêne à ne pas comprendre...).*
- ⇒ *Expliquer clairement...*
- ⇒ *Accepter et appréhender la culture de l'entreprise.*
- ⇒ *Motiver au changement et à l'innovation.*
- ⇒ *Objectiver et relativiser...*

2. Ouverture d'esprit

- ⇒ *Continuité dans l'apprentissage et l'information.*
- ⇒ *Vérification de l'information.*
- ⇒ *Adaptation aux changements.*
- ⇒ *Remise en question des connaissances acquises.*

3. Esprit d'organisation et de décision

- ⇒ *L'autorité est acceptée lorsqu'elle est motivée.*
- ⇒ *Acceptation et valorisation des compétences existantes.*
- ⇒ *Clarté dans la définitions des tâches.*
- ⇒ *Esprit d'équipe.*

Le gestionnaire « Énergie » reste un homme !





Contacts du gestionnaire « énergie »

- Avec les services de l'entreprise

- ⇒ *Comité de direction.*
- ⇒ *Production*
- ⇒ *Service d'achat*
- ⇒ *Service de la maintenance*
- ⇒ *Service de comptabilité*

- Avec différents organismes extérieurs

- ⇒ *Ministère des affaires économiques : service de l'énergie.*
- ⇒ *Les fournisseurs de combustibles, les compagnies d'électricité.*
- ⇒ *Les autorités des services de gestion de l'environnement.*
- ⇒ *Les fournisseurs d'équipements.*
- ⇒ *Les clients éventuels pour le surplus de chaleur.*
- ⇒ *Les instituts de formation (universités, écoles polytechniques...).*
- ⇒ *Les laboratoires d'essais.*
- ⇒ *Les autres staffs de management d'énergie.*
- ⇒ *Les médias.*
- ⇒ *etc.*

Tâches du gestionnaire « énergie »

1. « Affaires courantes »

- ⇒ *Collectes des données énergétiques : combustibles, électricité ...*
- ⇒ *Inventaire et analyse des consommations d'énergie*
- ⇒ *Suivi des consommations spécifiques*
- ⇒ *Planning des approvisionnements et des consommations*
- ⇒ *Suivi de la maintenance des équipements*
- ⇒ *Suivi des résultats comptables*
- ⇒ *Mise au point des diverses stratégies d'approvisionnements*
- ⇒ *Organisation interne de management d'énergie*

2. Analyse des innovations possibles

- ⇒ *Plans d'actions en matière de la conservation de l'énergie*
- ⇒ *Proposition de nouveaux systèmes de récupération d'énergie*
- ⇒ *Définition de nouveaux systèmes d'intégration d'énergie*
- ⇒ *Mise au point des dossiers de définition et des cahiers de charge*
- ⇒ *Analyse des offres et propositions des éventuels fournisseurs*
- ⇒ *Mise au point de la stratégie d'implantation*
- ⇒ *Suivi des travaux et procédure de réception.*
- ⇒ *Analyse de la situation après réalisation, définition des ajustements.*
- ⇒ *Mise au point et réalisation d'audits énergétiques*
- ⇒ *etc.*

Différents moyens d'économie d'énergie

1. Changement du processus de production, mise en œuvre d'innovations techniques.
 2. Système de récupération d'énergie.
 3. Réduction des consommations et/ou de pertes de chaleur.
 4. « Process integration » : Pinch technology.
- **L'utilisation efficace de l'énergie doit être envisagée lors de la conception des installations.**
 - **La modification d'installation existante coûte cher.**



UCL

Université
catholique
de Louvain

1. Changement de processus de fabrication - Exemples

- Chauffage par induction \Rightarrow chauffage direct de la charge.
- Chauffage par micro-ondes : caoutchouc, alimentation ...
- Fabrication par voie humide \Rightarrow voie sèche (cimenteries ...)
- Coulée continue + laminage direct (sidérurgie, métallurgie...)
- Substitution de matériaux (moins « énergétivores »).

2. Systèmes de récupération d'énergie - Exemples

- Récupération de chaleur :
 - \Rightarrow *Préchauffage de l'air, de la charge...*
 - \Rightarrow *Brûleurs auto-récupérateurs*
 - \Rightarrow *Échangeurs de chaleurs*
 - \Rightarrow *Pompes à chaleur*
 - \Rightarrow *Évaporateurs à effets multiples*
- Récupération des déchets \Rightarrow recyclage, combustion, gazéification
- Intégration énergétique de plusieurs entreprises
 - \Rightarrow *Utilisation de gaz fatals*
 - \Rightarrow *Récupération des pertes à la cheminée : distribution de chaleur*
 - \Rightarrow *Production combinée de chaleur et d'électricité : **COGENERATION***



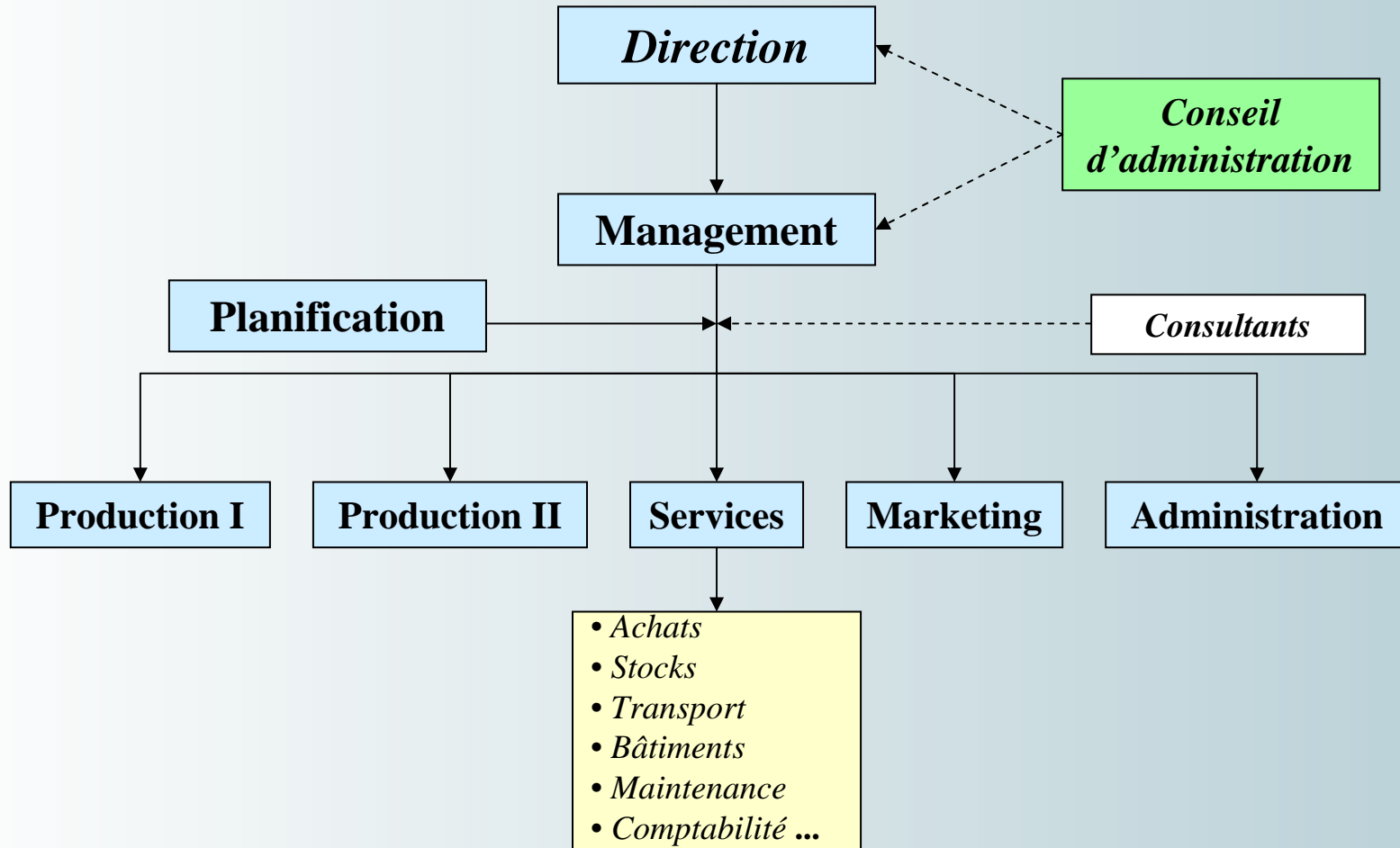


3. Réduction des pertes de chaleur - Exemples

- Au niveau de la production de la chaleur :
 - ⇒ *Chaudières à hautes performances, à faible inertie.*
 - ⇒ *Réglage de l'excès d'air et de la charge : système de contrôle performant.*
 - ⇒ *Design de l'équipement de production : division entre plusieurs unités*
 - ⇒ *Adéquation entre production et consommation : régulation*
- Au niveau du transfert de chaleur vers les matières à chauffer :
 - ⇒ *Augmentation des coefficients d'échange ⇔ perte de de chaleur ?*
 - ⇒ *Ailettes + promoteurs de turbulence.*
 - ⇒ *Augmentation des températures de flammes.*
 - ⇒ *Lits fluidisés.*
 - ⇒ *Maintenance des surfaces d'échange (Fouling effect).*
 - ⇒ *Utilisation de géométrie adéquates.*
- Au niveau de la distribution de chaleur :
 - ⇒ *Optimisation de l'isolation thermique.*
 - ⇒ *Fuites et maintenance du réseau de distribution.*
 - ⇒ *Récupération des condensats.*
 - ⇒ *Design du réseau de distribution : organisation de la distribution.*
 - ⇒ *Choix des fluides caloporteurs (vapeur ou eau...).*
- Au niveau de l'automatisation de la production et de la distribution :
 - ⇒ *Système d'acquisition des données - contrôle des équipements.*



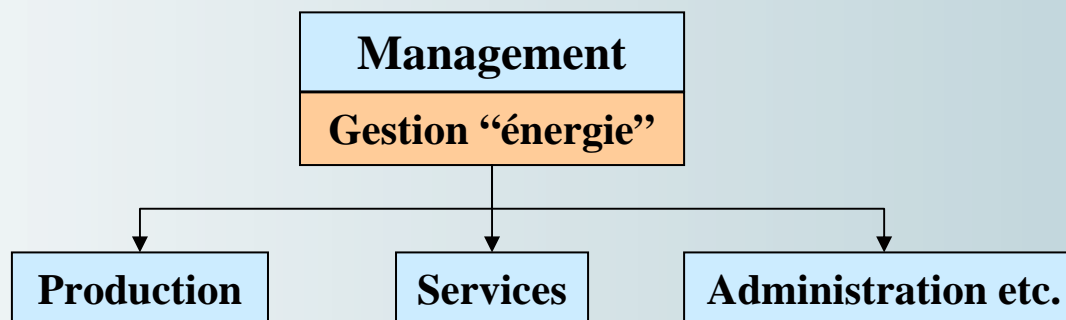
2. Intégration de la gestion de l'énergie dans l'industrie



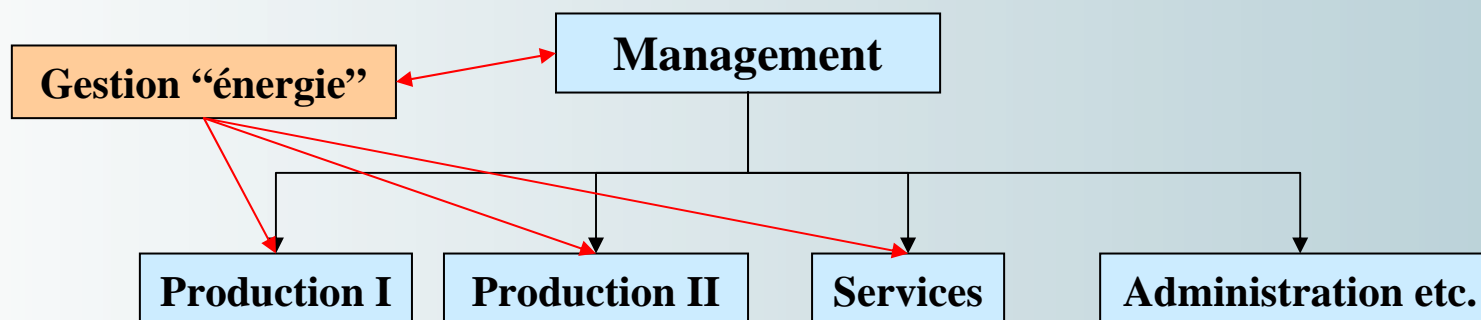
Modèle d'organisation

L'intégration de la gestion "énergie" dépend du type d'entreprises

Gestion "énergie" intégré dans le management

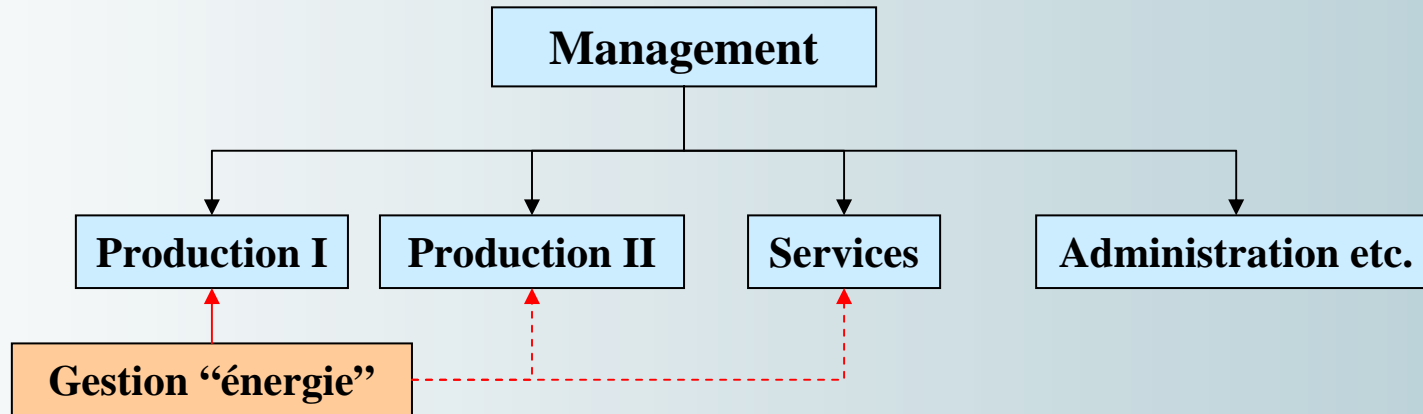


Gestion "énergie" indépendante

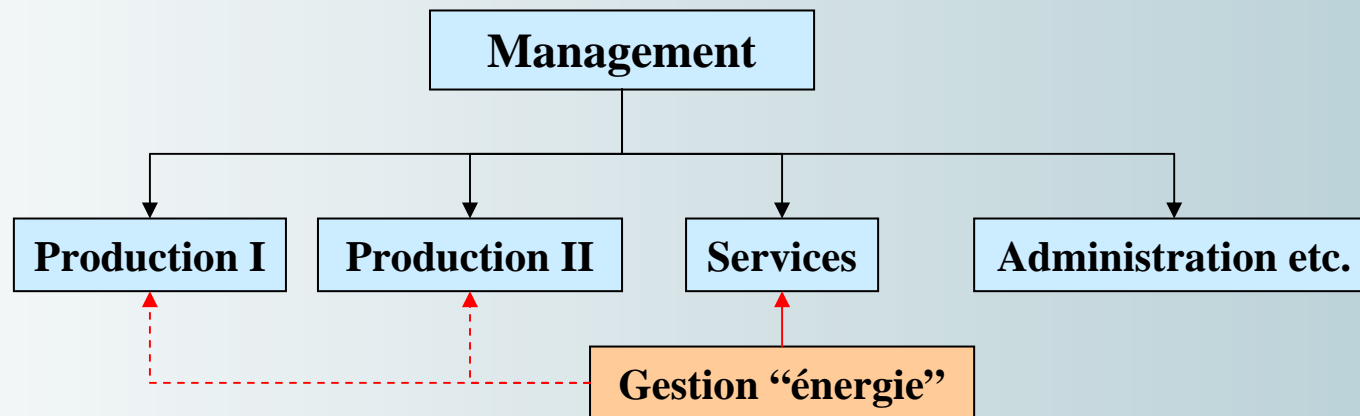




Gestion "énergie" liée à une production



Service de gestion "énergie"





Exemple de modèle matriciel pour l'organisation de la gestion "énergie"

<i>Activités</i>	<i>Divisions</i>				
	Planning	Production I	Production II	Services	Administration
Consommation du process	+	⊕	+	○	○
Récupération de chaleur	+	+	⊕	+	○
Economie d'énergie	○	+	+	⊕	-
Formation - motivation	○	+	+	+	○
Audit	⊕	+	+	⊕	+
Budget	○	+	+	○	⊕

⊕ *Responsabilité*
+ *Participation active*
○ *Participation passive*
- *Pas concerné*