

MODULE M2.2

Conception et optimisation de la fourniture de chaud et de froid

ÉTAPE 7.5 : préconception d'un système de fourniture alternatif

→ Appliquée après l'optimisation du processus et la récupération de chaleur

Objectif :

- ✓ Minimisation de la consommation d'énergie primaire et de l'impact environnemental

Portée des mesures :

- ✓ Changement du matériel de fourniture de chaleur
- ✓ Modification des combustibles
- ✓ Modification du système de distribution

ÉTAPE 7.5 : préconception d'un système de fourniture alternatif

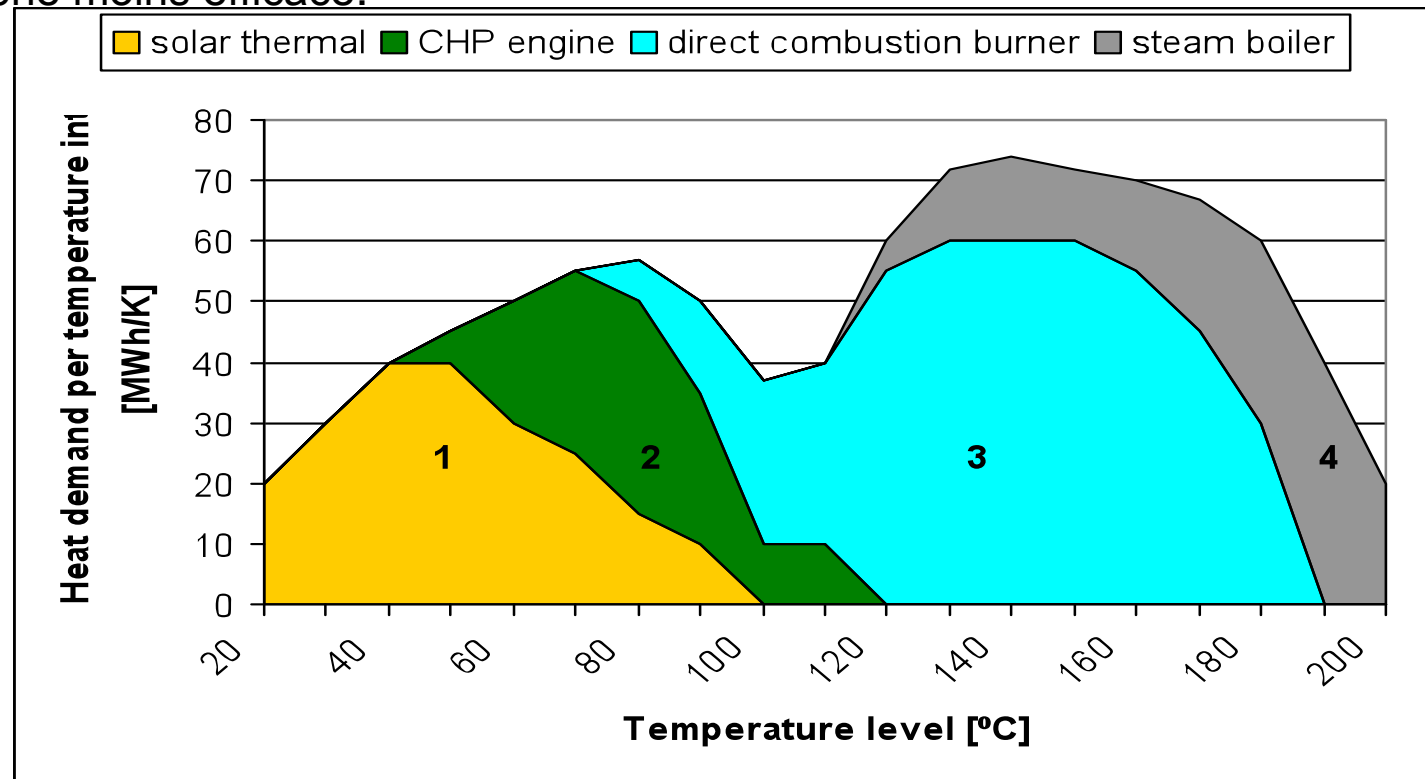
Point de départ :

- ✓ L'analyse de la demande globale en énergie (décomposition statistique) prenant en compte :
 - Le niveau de température de la demande restante en chaleur
 - La quantité de la demande et la disponibilité de la chaleur résiduelle
 - La distribution temporelle de la demande et de la chaleur résiduelle
 - La disponibilité en termes d'espace

ÉTAPE 7.5 : préconception d'un système de fourniture alternatif

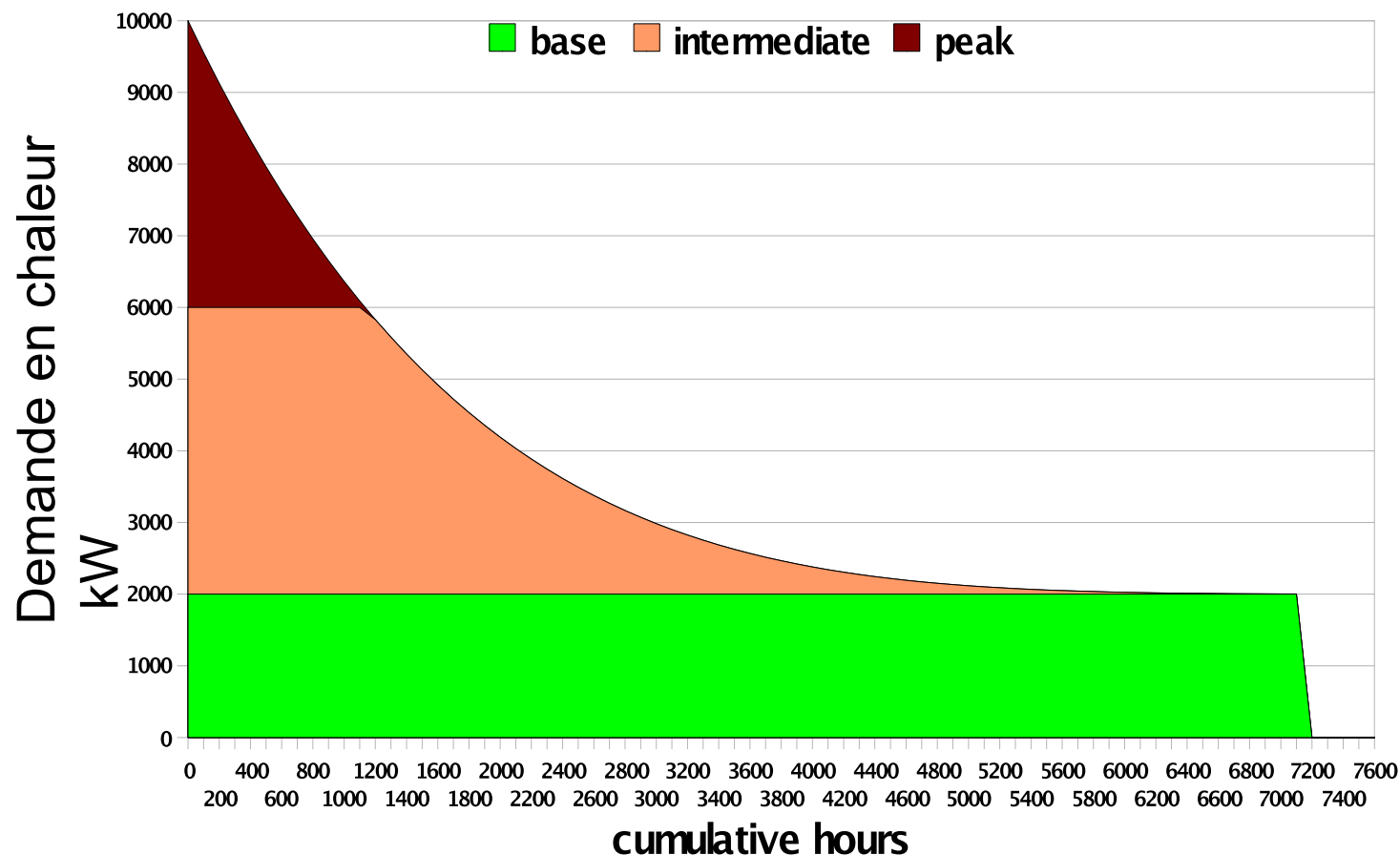
Cascade de la fourniture de chaleur : sélection du matériel adapté

- Le matériel le plus efficace couvre la charge de base et les niveaux à basse température (nombre important d'heures de fonctionnement)
- La charge maximum et les températures élevées sont couvertes par un matériel approprié moins efficace.



ÉTAPE 7.5 : préconception d'un système de fourniture alternatif

- ✓ Dimensionnement du matériel pour les charges de base, intermédiaire et maximum



ÉTAPE 7.5 : préconception d'un système de fourniture alternatif

Étapes du processus de conception

- ✓ Sélection du type de matériel à utiliser et ordre dans la cascade de chaleur
 - effectuée manuellement par l'auditeur ou proposée par l'outil EINSTEIN
- ✓ Dimensionnement de chaque type de matériel dans la cascade
 - avec l'aide des « assistants à la conception » de l'outil EINSTEIN
- ✓ Sélection de la combinaison optimale de l'ensemble
 - réalisée essentiellement avec la méthode « d'essais et d'erreurs »
- ✓ Optimisation répétitive de la séquence de récupération de chaleur – fourniture de chaud et de froid
 - les changements du système de fourniture pouvant modifier la disponibilité de la chaleur résiduelle

ÉTAPE 7.5 : EINSTEIN – Les technologies



ÉTAPE 7.5 : préconception d'un système de fourniture alternatif

Stockage de chaud et de froid

- ✓ Le stockage du chaud et du froid peut être utilisé pour réduire la demande maximum :
 - Augmente la fraction de la charge de base
 - Permet de couvrir une fraction plus importante de la demande au moyen d'un matériel à efficacité énergétique assurant davantage d'heures de fonctionnement.
- ✓ Permet de couvrir la demande en chaleur grâce à la chaleur résiduelle ou solaire thermique disponible
 - Lorsque les plannings ne se chevauchent pas.

ÉTAPE 7.5 : préconception d'un système de fourniture alternatif

Systèmes de stockage de chaud et de froid les plus appropriés :

- ✓ Stockage HC sensible sous forme d'eau chaude/froide (jusqu'à 150°C, possible dans des réservoirs pressurisés)
- ✓ Stockage HC latent dans des réservoirs de stockage de vapeur saturée
- ✓ Stockage avec huile thermique
- ✓ Stockages solides (céramique, lit de cailloux,...)
- ✓ Stockage de glace et stockage latent dans d'autres matériaux de changement de phase

ÉTAPE 7.5 : préconception d'un système de fourniture alternatif

Distribution de chaud et de froid à efficacité énergétique

- ➔ *Dans de nombreux cas, la distribution de chaud et de froid peut contribuer à réduire la consommation d'énergie :*
- ✓ La réduction du niveau de température
 - Peut aider à réduire les pertes de chaleurs dans les conduites et le stockage
 - Peut être nécessaire dans l'application de technologies économes en énergie (production combinée, pompes à chaleur, solaire thermique)
- ✓ La combustion/le refroidissement direct(e)
 - Peuvent accroître l'efficacité énergétique en éliminant les pertes de distribution et par l'utilisation de la chaleur latente de la vapeur d'eau contenue dans le gaz évacué (par ex. chauffage de bain)
 - Généralement possible avec des combustibles propres comme le gaz naturel ou le biogaz.

Chaleur et énergie combinées

ÉTAPE 7.5 : préconception de systèmes de fourniture alternatifs

- ✓ La PCCE assure la production de chaleur et d'électricité à partir de combustibles à haute efficacité
 - 10 à 25% de perte de conversion contre au moins 45% pour les systèmes entièrement électriques.
- ✓ La PCCE peut aussi couvrir la demande en froid (trigénération : électricité + chaleur + froid)
 - au moyen de machines frigorifiques à absorption
- ➔ *Pour maximiser les économies d'énergie :*
- ✓ *la PCCE doit être conçue pour fournir de la chaleur au site industriel.*

L'électricité en surplus peut être exportée vers le réseau public.

Chaleur et énergie combinées

ÉTAPE 7.5 : préconception de systèmes de fourniture alternatifs

Calcul des économies d'énergie primaire avec la production combinée :

✓ approche « symétrique »

- La directive 2004/8/CE sur la cogénération : compare les systèmes de production combinée avec la production séparée de chaleur et d'électricité (sur la base des efficacités de référence)

✓ approche « efficacité électrique équivalente »

- soustrait la quantité d'énergie qui serait nécessaire pour produire la chaleur et calcule une efficacité électrique théorique.

✓ L'approche thermique d'Einstein

- consommation d'énergie primaire nette spécifique par unité de chaleur produite par production combinée :

$$\frac{\Delta E_{PE}}{\Delta Q} = \frac{f_{PE}}{\eta_{th}^{CHP}} \left(1 - \frac{\eta_{el}^{CHP}}{\eta_{el}^{grid}} \right)$$

Technologies PCCE disponibles

ÉTAPE 7.5 : préconception de systèmes de fourniture alternatifs

Technologie de production combinée (PCCE)	Niveau de température	Efficacité (él./thermique)
Moteur à mazout ou à gaz	< 95°C (eau de refroidissement) < 400 °C (gaz évacué)	(40% / 45%)
Turbine à gaz	< 400 °C	(30% / 60%)
Turbine à vapeur	< 250 °C (limite partielle ; en fonction de la contre-pression)	(20-30% / 65%)
Cycle combiné (turbine à gaz + générateur de vapeur à récupération de chaleur + turbine à vapeur)	< 250 °C (limite partielle ; en fonction de la contre-pression dans la turbine à vapeur)	(50-55% / 35-40%)
Turbine ORC (cycle organique Rankine)	< 250 °C	(27-50% / 30-55%)
Moteur Stirling	< 90 °C	(10-25% / 60-80%)
Pile à combustible	< 80 °C (technologie PEM - membrane à électrolyte polymère) < 400 °C (technologie SOFC - pile à combustible à oxyde solide)	(45-60% / 30-50%)

POMPES À CHALEUR

ÉTAPE 7.5 : préconception de systèmes de fourniture
alternatifs

Types de pompes à chaleur :

- ✓ Pompe à chaleur à compression mécanique de vapeur
 - généralement électriques
- ✓ Pompes à chaleur à absorption
 - avec énergie thermique
- ✓ Pompes à jet de vapeur
 - avec la vapeur comme force motrice

POMPES À CHALEUR

ÉTAPE 7.5 : préconception de systèmes de fourniture
alternatifs

Applications industrielles types pour les pompes à chaleur :

- ✓ Chauffage et refroidissement de l'eau industrielle
- ✓ Processus de séchage
- ✓ Chauffage de locaux
- ✓ Processus d'évaporation et de distillation
- ✓ Récupération de chaleur résiduelle

POMPES À CHALEUR

ÉTAPE 7.5 : préconception de systèmes de fourniture
alternatifs

Considérations importantes concernant l'application des pompes à chaleur :

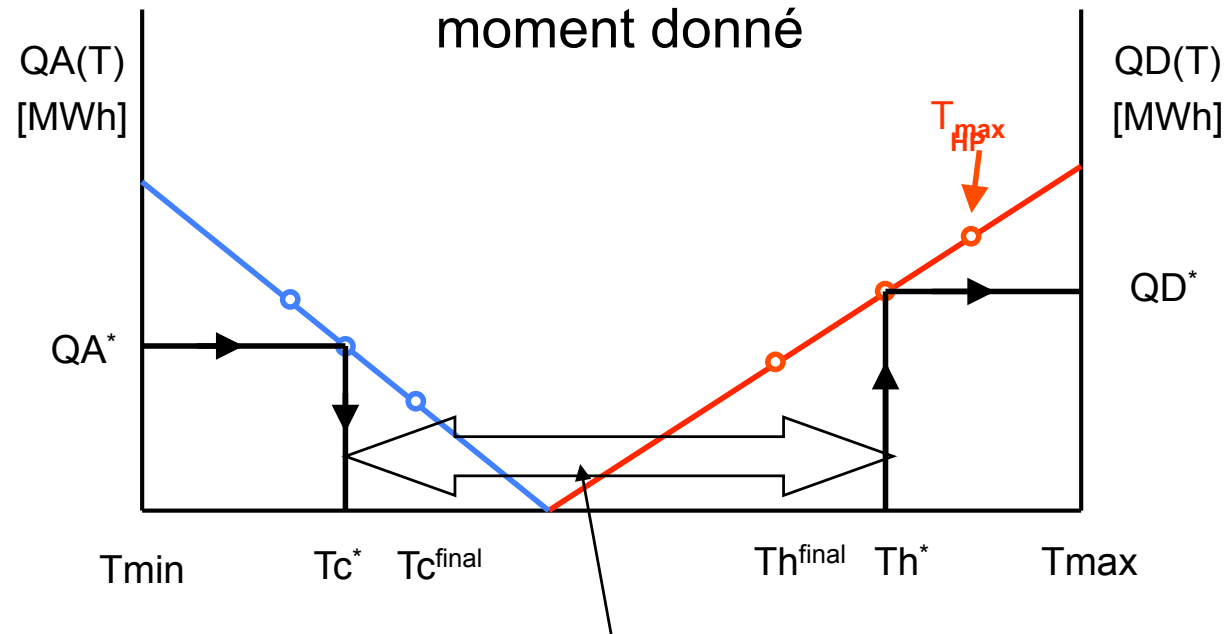
- ✓ Température de la distribution de chaleur (normalement de 55 à 120°C ; de 80 à 150°C avec de l'eau comme réfrigérant)
- ✓ Élévation de la température (généralement de 20 à 40 K)
- ✓ Heures de fonctionnement
- ✓ Température de pincement
- ✓ Forme de la distribution de chaleur et courbes de la demande

POMPES À CHALEUR

ÉTAPE 7.5 : préconception de systèmes de fourniture
alternatifs

Calcul des flux d'énergie : bases

Demande en chaleur et disponibilité à un
moment donné



Élévation de la température maximale

Génération de froid à faible consommation d'énergie

ÉTAPE 7.5 : préconception de systèmes de fourniture alternatifs

Types de systèmes de refroidissement :

- ✓ Tours de refroidissement (refroidissement par une source naturelle)
 - refroidissement ouvert/fermé, humide/sec/hybride
 - Niveau de l'alimentation électrique généralement situé entre 10 et 23 kW_{el} /MW_{th}
- ✓ Refroidisseurs à compression de vapeur
 - COP d'environ 4,0 ou plus dans les installations plus importantes
- ✓ Refroidisseurs thermiques
 - Refroidisseurs à absorption et adsorption, pompes à jet, etc.
 - Intégration dans la PCCE (trigénération) ou concepts de refroidissement solaire
 - COP (refroidisseurs à absorption) : de 0,5 à 0,8 (simple effet) ; de 1,0 à 1,3 (double effet)

Important : > utiliser la tour d'énergie primaire pour la compensation des

Génération de froid à faible consommation d'énergie

ÉTAPE 7.5 : préconception de systèmes de fourniture alternatifs

Considérations concernant l'application du refroidissement :

- ✓ Réduction de la demande en refroidissement grâce à la récupération de chaleur
 - ✓ Utilisation de la chaleur résiduelle des refroidisseurs (possible jusqu'à 50°C)
 - ✓ Utilisation du refroidissement par une source naturelle
- Utilisation des cascades de refroidissement le cas échéant
- ✓ Température élevée de la distribution d'eau réfrigérée
 - ✓ Température basse de la distribution d'eau de refroidissement
 - ✓ Réduction du fonctionnement à charge partielle des refroidisseurs

Systèmes solaires thermiques

ÉTAPE 7.5 : préconception de systèmes de fourniture
alternatifs

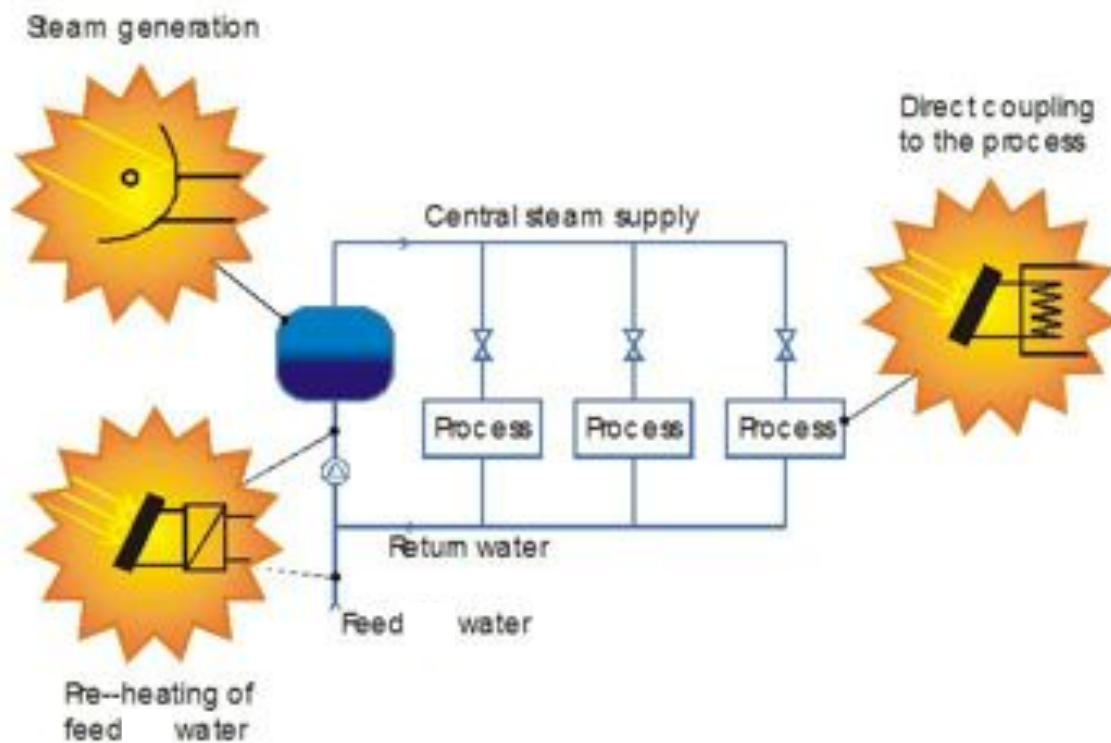


Systèmes solaires thermiques

ÉTAPE 7.5 : préconception de systèmes de fourniture alternatifs

Intégration du solaire thermique dans les processus

EINSTEIN thermal energy industry audit



plage du processus

Préchauffage d'un fluide circulant

Chauffage de bains

plage à la chaudière

par le préchauffage de l'eau d'alimentation des chaudières à vapeur

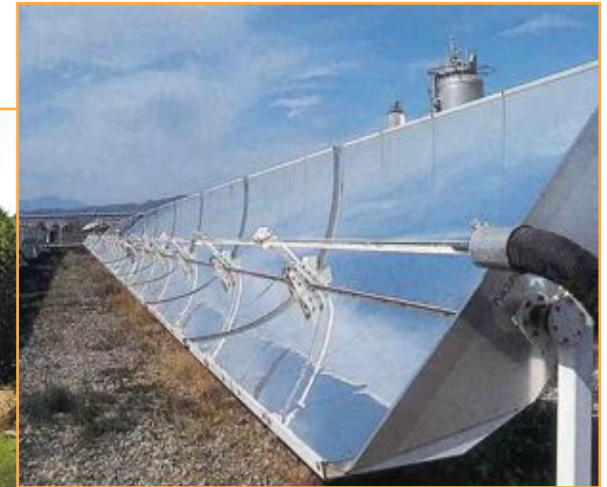
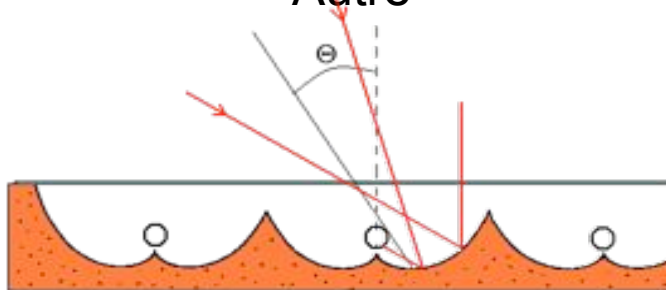
- par un générateur de vapeur solaire

Systemes solaires thermiques

ÉTAPE 7.5 : préconception de systèmes de fourniture alternatifs

Collecteurs solaires thermiques pour la chaleur industrielle

- ✓ Plats
- ✓ À tubes sous vide
- ✓ Capteurs à concentration
 - CPC
 - Concentrateur cylindro-parabolique
 - Fresnel
 - Autre

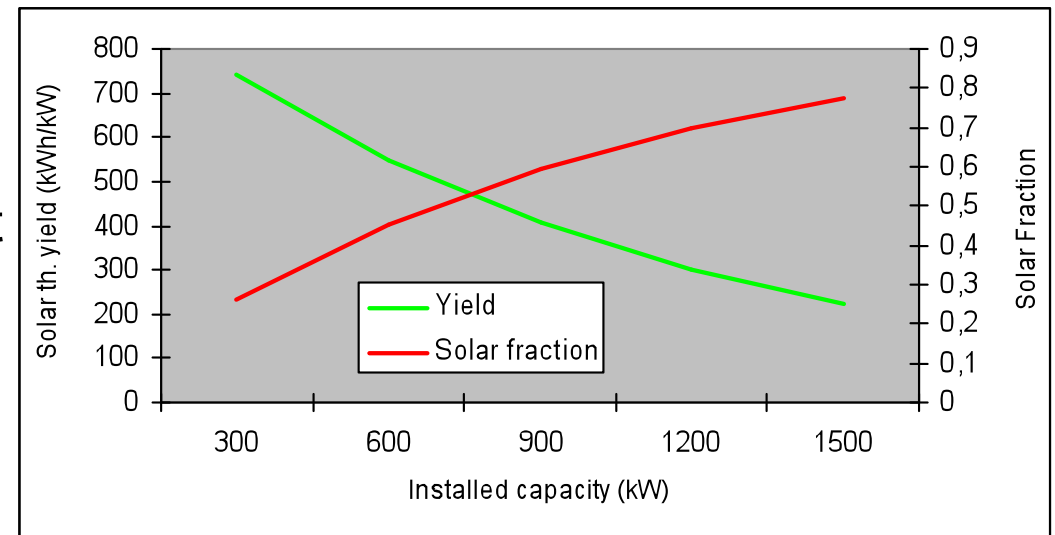


Systèmes solaires thermiques

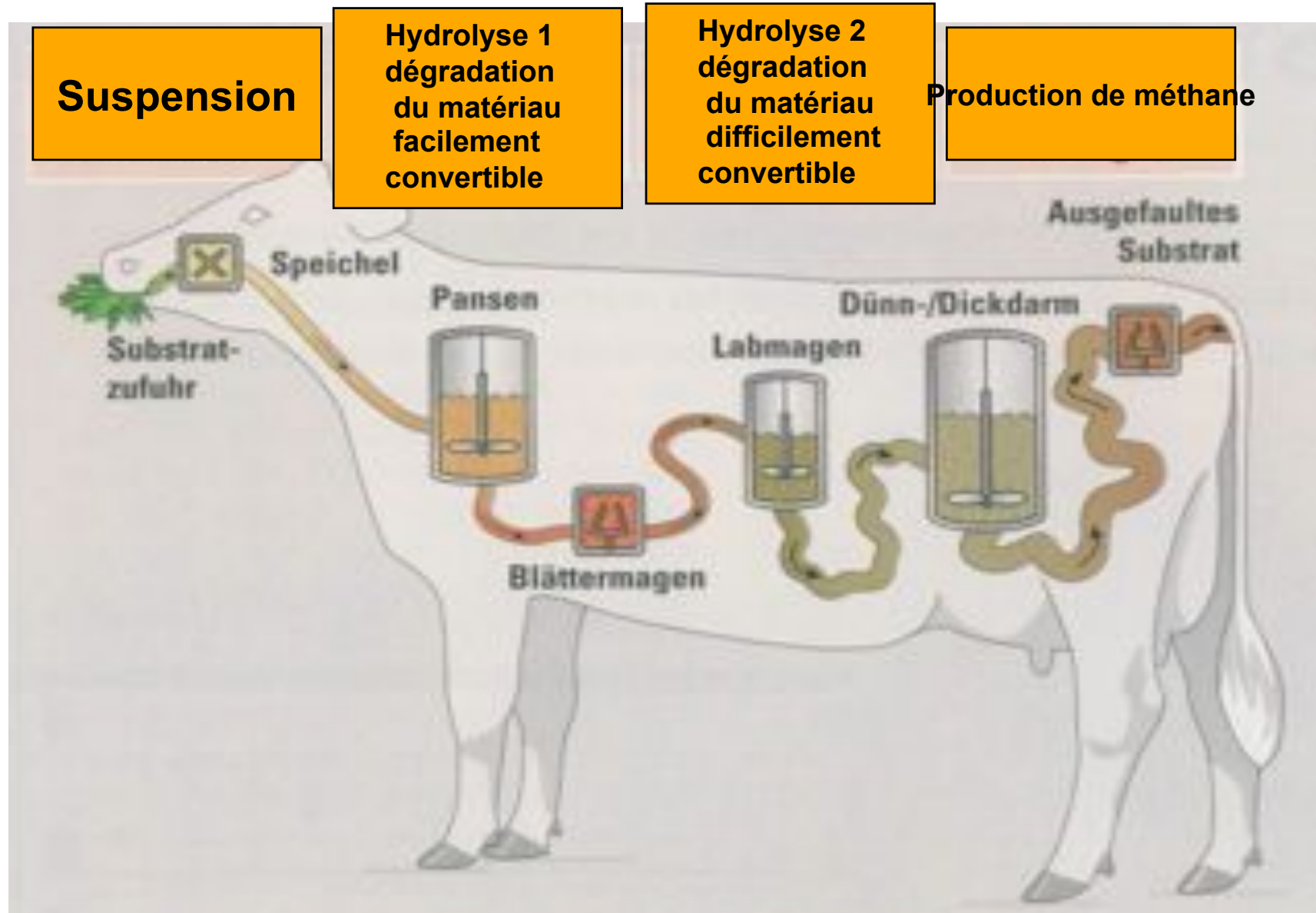
ÉTAPE 7.5 : préconception de systèmes de fourniture alternatifs

Critères de conception

- ✓ Température de fonctionnement
- ✓ Conditions climatiques
- ✓ Profil de charge
- ✓ Fraction solaire et rendement énergétique
- ✓ Taille du système
- ✓ Intégration au processus
- ✓ Espace et toiture disponibles



ÉTAPE 7.5 : préconception de systèmes de fourniture alternatifs



Biogaz : Différents pré-traitements pour différentes matières premières

ÉTAPE 7.5 : préconception de systèmes de fourniture

Agriculture industry	Slaughter houses	Industry (e.g. food)	Canteen kitchen	Communauté
<ul style="list-style-type: none"> •Residues of harvesting •Energy plants •Liquid manure •Solid and liquid fumier 	<ul style="list-style-type: none"> •Slaughter house waste water (grease,...) •Slaughter house solid waste (bowels) 	<ul style="list-style-type: none"> •mash •Brewer grains •yeast •Fruit pulp 	<ul style="list-style-type: none"> •Food residues •Kitchen waste •Waste grease 	<ul style="list-style-type: none"> •grass •Biogenic waste •Sewage sludge

Pre-treatment	examples
Mechanical/physical	Milling, chaffing, ultra sonic
chemical	Acids, base, wet oxidation
Bio-technological	Enzymes, fungi,
Thermal	Steam explosion, thermal pressure hydrolysis

CHAUDIÈRES ET BRULEURS

ÉTAPE 7.5 : préconception de systèmes de fourniture alternatifs

Critères d'économies en termes d'énergie et de coûts pour les chaudières (1)

- ✓ Éviter le chauffage électrique et les chaudières alimentées par des combustibles à plus faible impact environnemental
- ✓ Le gaz naturel et le GPL permettent l'utilisation de technologies économes en énergie
- ✓ Une pression de vapeur et une température plus basses réduisent les pertes et les coûts
- ✓ Éviter un facteur de charge faible (< 30%)
- ✓ Utiliser des chaudières à rendement plus élevé pour la charge de base et des chaudières à plus faible rendement pour la charge maximum
- ✓ Éviter le matériel trop grand ou à faible capacité
- ✓ À basse température, utiliser de l'eau chaude et des chaudières à condensation

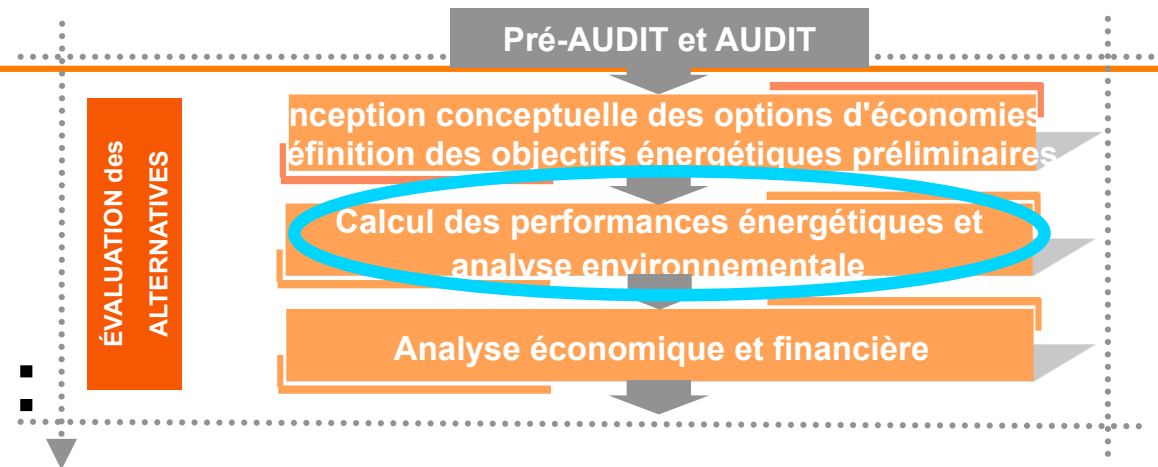
CHAUDIÈRES ET BRULEURS

ÉTAPE 7.5 : préconception de systèmes de fourniture alternatifs

Critères d'économies en termes d'énergie et de coûts pour les chaudières (2)

- ✓ Optimiser la stratégie de contrôle
- ✓ Réduire la température gazeuse, ajuster le coefficient d'excès d'air et les chaudières calorifugées
- ✓ Installer un économiseur et/ou un réchauffeur d'air (récupérateur)
- ✓ Récupérer la condensation
- ✓ Réduire le flux descendant et récupérer sa chaleur
- ✓ Si les chaudières sont régulièrement arrêtées, utiliser des amortisseurs

ÉVALUATION DES ALTERNATIVES : ÉTAPE 8



EINSTEIN Step 8: Energetic performance calculation and environmental analysis

> fast calculation

> system simulation with specific external software

> energetic and environmental analysis

ÉTAPE 8.1 : simulation de système EINSTEIN

Simulation du système de l'outil logiciel d'EINSTEIN

Bases du calcul :

$$\dot{Q}_{D,j}(T,t) = \sum_{connected_pipes} \dot{Q}_{D,m}^{res}(T,t)$$

- ✓ demande en chaleur pour l'équipement j
somme de la demande résiduelle de tous les tuyaux d'alimentation connectés (index m)
- ✓ sortie potentielle de l'équipement d'alimentation dans la cascade
- ✓ La puissance de l'équipement d'alimentation dépend généralement des niveaux de température (en cas de pompes à chaleur aussi sur la chaleur disponible)

La chaleur utile fournie par un équipement j donné dans la cascade est le minimum de la puissance maximale possible et la demande :

$$\dot{Q}_{USH,j}(T,t) = \min[P_{j,max}(T,...), \dot{Q}_{D,j}(T,t)]$$

ÉTAPE 8.2 : évaluation des performances énergétiques

Simulation de système avec un logiciel externe

- *Dans les cas où une plus grande précision est requise, utiliser un logiciel de simulation de système externe*
 - ✓ Références consultables dans le rapport
EINSTEIN : Review of Thermal Energy Auditing Practices and Tools (Projet D2.2)

ÉTAPE 8.3 : évaluation des performances énergétiques

Paramètres de l'analyse environnementale

- ✓ La consommation d'énergie primaire comme principal indicateur
 - représente une moyenne pondérée des différents types d'émissions
- ✓ Génération de CO₂
 - néglige l'impact des autres types d'émissions, comme les déchets nucléaires
- ✓ Génération de déchets nucléaires
 - associée à la consommation électrique
- ✓ Consommation d'eau
 - ➔ *Les paramètres de conversion à utiliser peuvent être sélectionnés dans les bases de données d'EINSTEIN*