



# **EFFICACITE ENERGETIQUE ET VALORISATION DES REJETS THERMIQUES**

## **POTENTIEL, TECHNOLOGIE ET STRATEGIE D'UTILISATION**

**Journée de restitution RECORD**

**27 septembre 2012**



## Sommaire

### I. Introduction & Enjeux

II. Portée de l'étude

III. Récupération BT

Stockage thermique

Transport longue distance

a) Identification gisements

b) Potentiel de valorisation

c) Technologies

IV. Conclusion

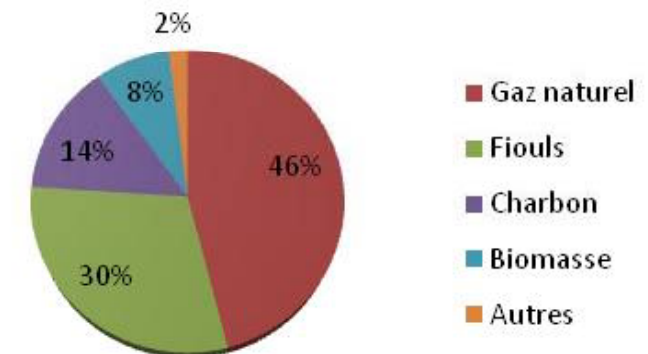
# Le contexte énergétique actuel en France et en Europe

- Augmentation de la consommation énergétique
- Insuffisance future des ressources primaires actuelles

Les pistes d'amélioration:

- 1) Actions incitatives visant à réduire la consommation
- 2) Substitution par les énergies renouvelables

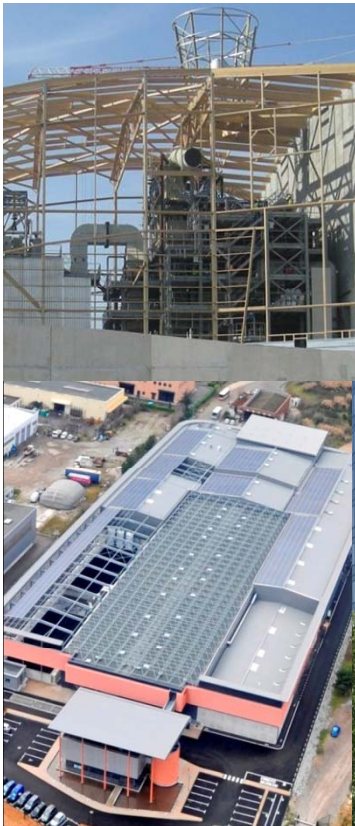
Consommation énergétique de l'industrie en France : 300 TWh



3) La valorisation des énergies fatales et **amélioration de l'efficacité énergétique** des installations.

→ Rejets Gazeux et Liquides à Basse Température: **Gisement disponible estimé à plus de 40 TWh.**

→ **Cohérence des niveaux de température** des rejets valorisables (25 à 200 °C) avec les besoins en chauffage et climatisation



## Sommaire

- I. Introduction & Enjeux
- II. **Portée de l'étude**
- III. Récupération BT
  - Stockage thermique
  - Transport longue distance
- a) Identification gisements
- b) Potentiel de valorisation
- c) Technologies
- IV. Conclusion



# Portée de l'étude pour RECORD

## Problématiques:

- ✓ Récupérer les énergies « perdues »
- ✓ Identifier les consommateurs : nature et fluctuation de leurs besoins
- ✓ Distribuer l'énergie efficacement jusqu'aux consommateurs

## Contraintes à la valorisation:

- ❖ Les consommateurs ne sont pas nécessairement à proximité des lieux de production énergétique
- ❖ Demande énergétique fluctuante, saisonnière, non constante

## ENJEUX:

- Efficacité énergétique des installations
- Réduction des émissions de CO2
- Diminution de la consommation en énergie primaire
- Réponses aux besoins énergétiques

## Sommaire

- I. Introduction & Enjeux
- II. **Portée de l'étude**
- III. Récupération BT
  - Stockage thermique
  - Transport longue distance
- a) Identification gisements
- b) Potentiel de valorisation
- c) Technologies
- IV. Conclusion



## Portée de l'étude pour RECORD

**Plusieurs technologies permettent aujourd'hui de répondre à ces problématiques:**

### Cadre de l'étude:

Etat de l'art des technologies & Application aux installations de traitement des déchets

Valorisation des énergies BT

Stockage thermique

Mode de transport d'énergie thermique dans l'industrie

**Fil conducteur : Application aux UVE (Unité de valorisation énergétique)**

La **valorisation des énergies BT** permet;

- ✓ Abattement de la TGAP
- ✓ Utilisation en autoconsommation → économies d'énergie

**Stockage et transport** : connecter les UVE à des réseaux de chauffages urbains et répondre à une utilisation déphasée avec la production

→ Quid de l'efficacité énergétique des technologies de transport et de stockage



setec



## Sommaire

- I. Introduction & Enjeux
- II. Portée de l'étude
- III. **Récupération BT**
  - Stockage thermique
  - Transport longue distance
- a) Identification gisements
- b) Potentiel de valorisation
- c) Technologies
- IV. Conclusion



# Récupération BT - Stockage thermique et transport longue distance

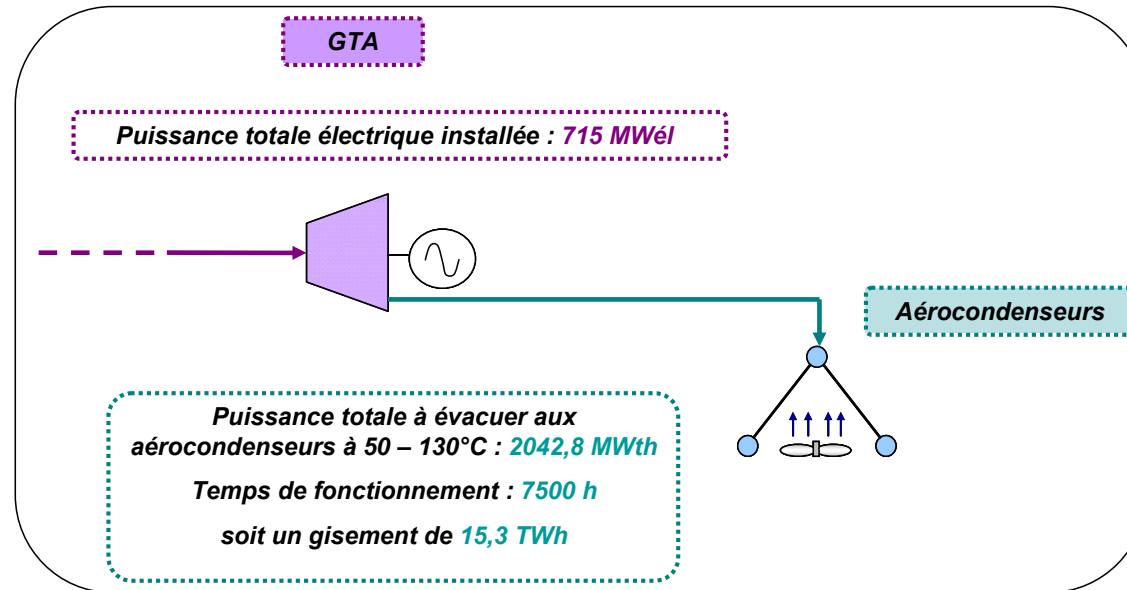
### Sommaire

- I. Introduction & Enjeux
- II. Portée de l'étude
- III. Récupération BT
  - Stockage thermique
  - Transport longue distance
- a) Identification gisements**
- b) Potentiel de valorisation
- c) Technologies
- IV. Conclusion



## Identification des gisements: Cas d'une UVE

### 1<sup>er</sup> gisement majeur: Energie évacuée aux aérocondenseurs



### Conclusion:

Potentiel énergétique élevé

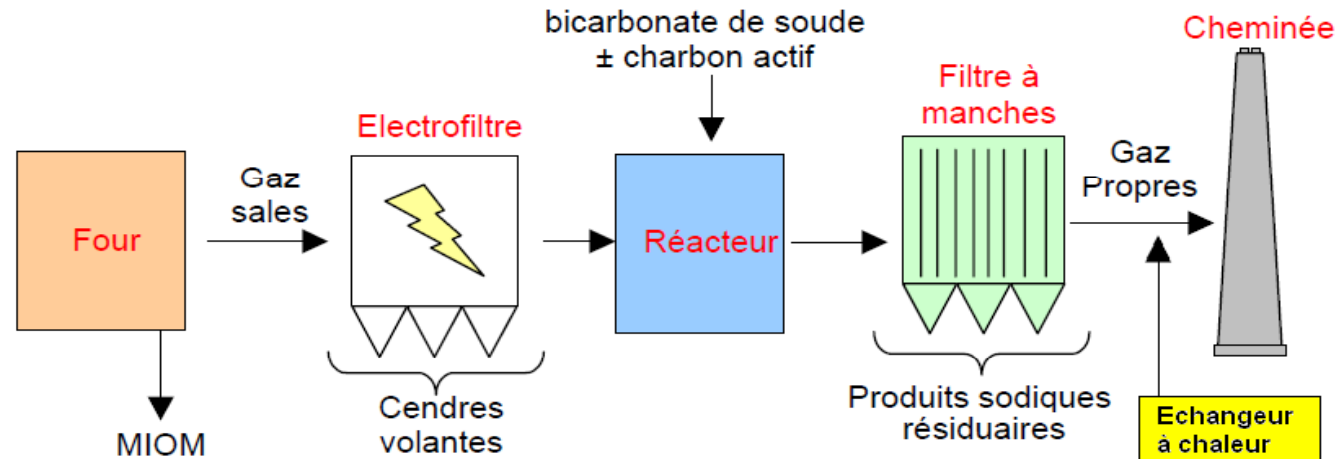
**Mais** la température de la vapeur envoyée aux aérocondenseurs approche les **50-55°C**. Il est donc difficile de valoriser cette chaleur.

### Sommaire

- I. Introduction & Enjeux
- II. Portée de l'étude
- III. Récupération BT
  - Stockage thermique
  - Transport longue distance
- a) Identification gisements**
- b) Potentiel de valorisation
- c) Technologies
- IV. Conclusion

## Identification des gisements: Cas d'une UVE

### 2<sup>ème</sup> gisement: Énergie des fumées rejetées à l'atmosphère



Les UVE ont donc rejetées en 2009 près de 55 000 millions de Nm<sup>3</sup> de fumées dans l'atmosphère sur une plage de température comprise entre 100 - 200°C suivant le dispositif de traitements des fumées mis en œuvre.

*Limites de récupération des énergies sur les fumées*

- ▶ Corrosion : refroidissement en dessous du **point de rosé acide** (≈130 °C)

### Sommaire

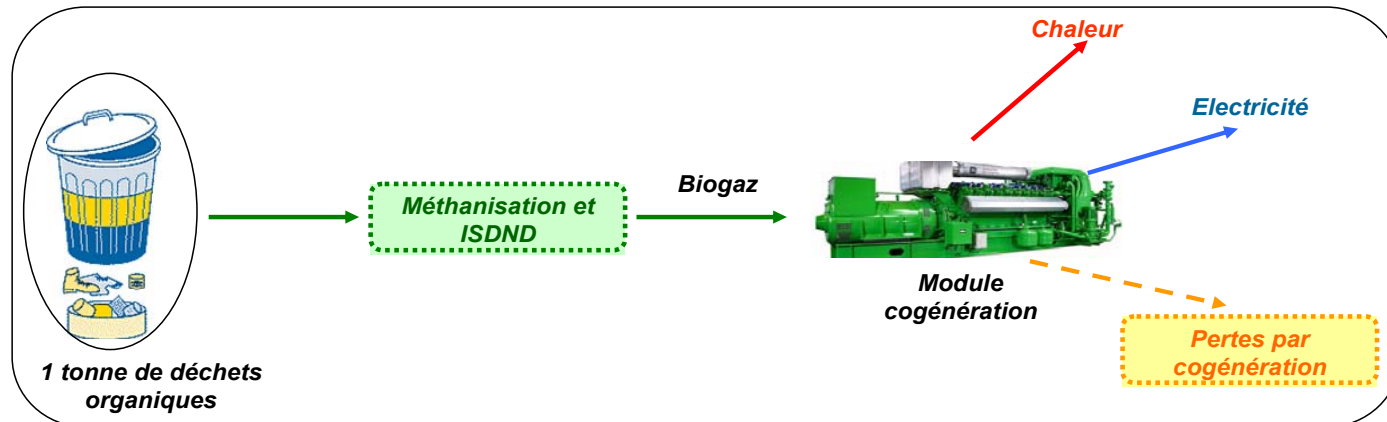
- I. Introduction & Enjeux
- II. Portée de l'étude
- III. Récupération BT
  - Stockage thermique
  - Transport longue distance
- a) Identification gisements**
- b) Potentiel de valorisation
- c) Technologies
- IV. Conclusion

## Identification des gisements: Autres exemples

**1. Gisement d'énergie dans les mâchefers et REFIONM :** Formation de buée à 90°C  
 → Difficile de prévoir la valorisation énergétique de cette chaleur

**2. Incinérateurs industriels :** Une quantité d'énergie fatale importante pourrait être valorisée sur ces installations notamment par **récupération d'énergie après le quench thermique en vitrification.**

**3. Le gisement de chaleur excédentaire de cogénération** (gaz d'échappement, circuit de refroidissement) à partir des unités de méthanisation et d'ISDND avec valorisation énergétique **s'élève à 1500 GWh**



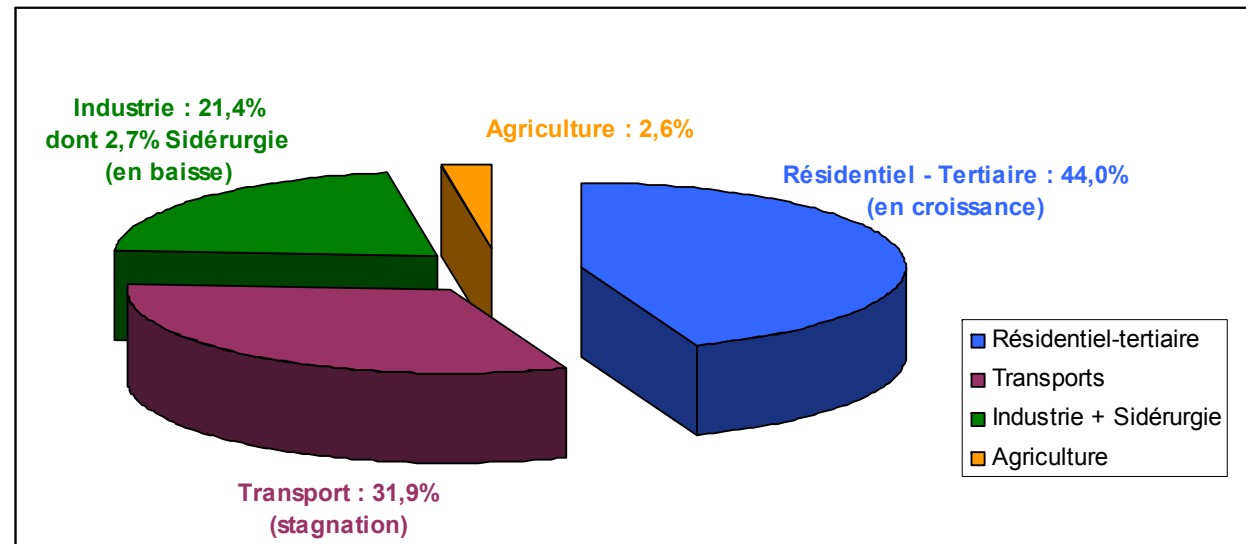


### Sommaire

- I. Introduction & Enjeux
- II. Portée de l'étude
- III. Récupération BT
  - Stockage thermique
  - Transport longue distance
- a) Identification gisements
- b) Potentiel de valorisation**
- c) Technologies
- IV. Conclusion

## Potentiel de valorisation

Le diagramme présente les consommations d'énergie finale en France en 2009.



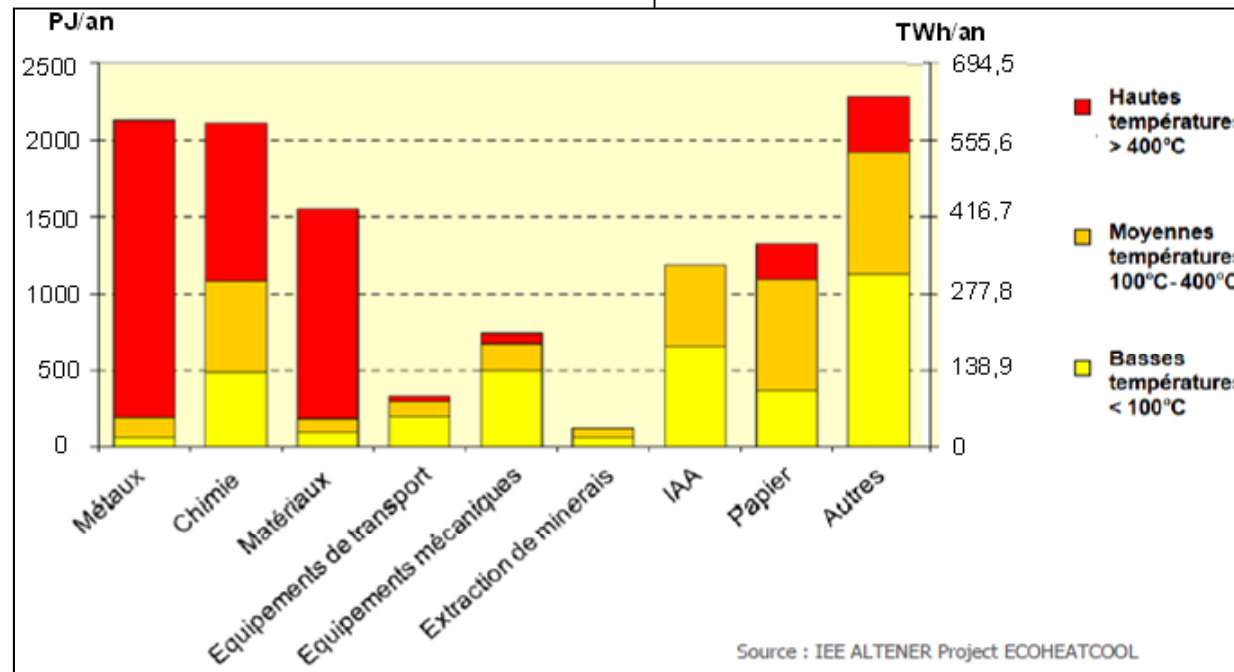
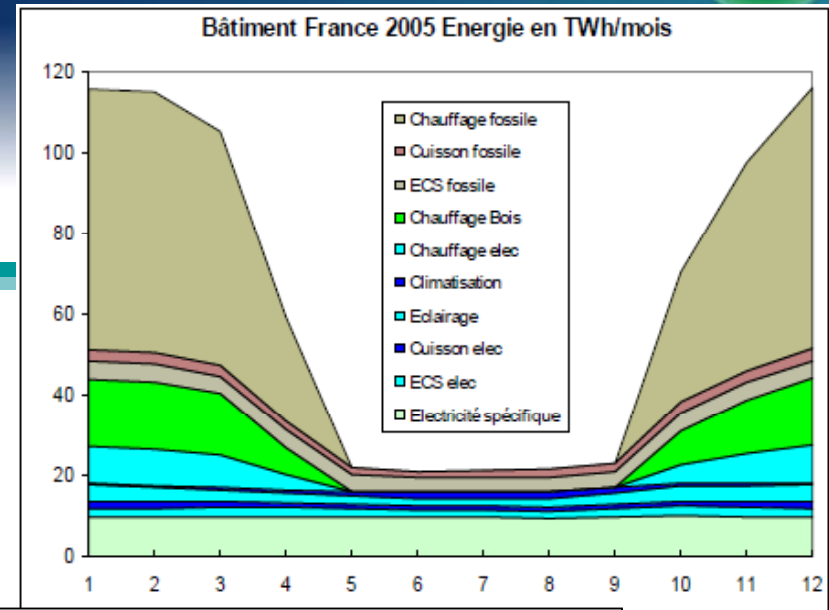
### Sommaire

- I. Introduction & Enjeux
- II. Portée de l'étude
- III. Récupération BT
  - Stockage thermique
  - Transport longue distance
- a) Identification gisements
- b) Potentiel de valorisation**
- c) Technologies
- IV. Conclusion

## Potentiel de valorisation

Demande du **résidentiel/tertiaire**  
 > Jusqu'à **120 TWh/mois**

Demande de **l'industrie**  
 > Plus de **1800 TWh/an** (MT+BT)



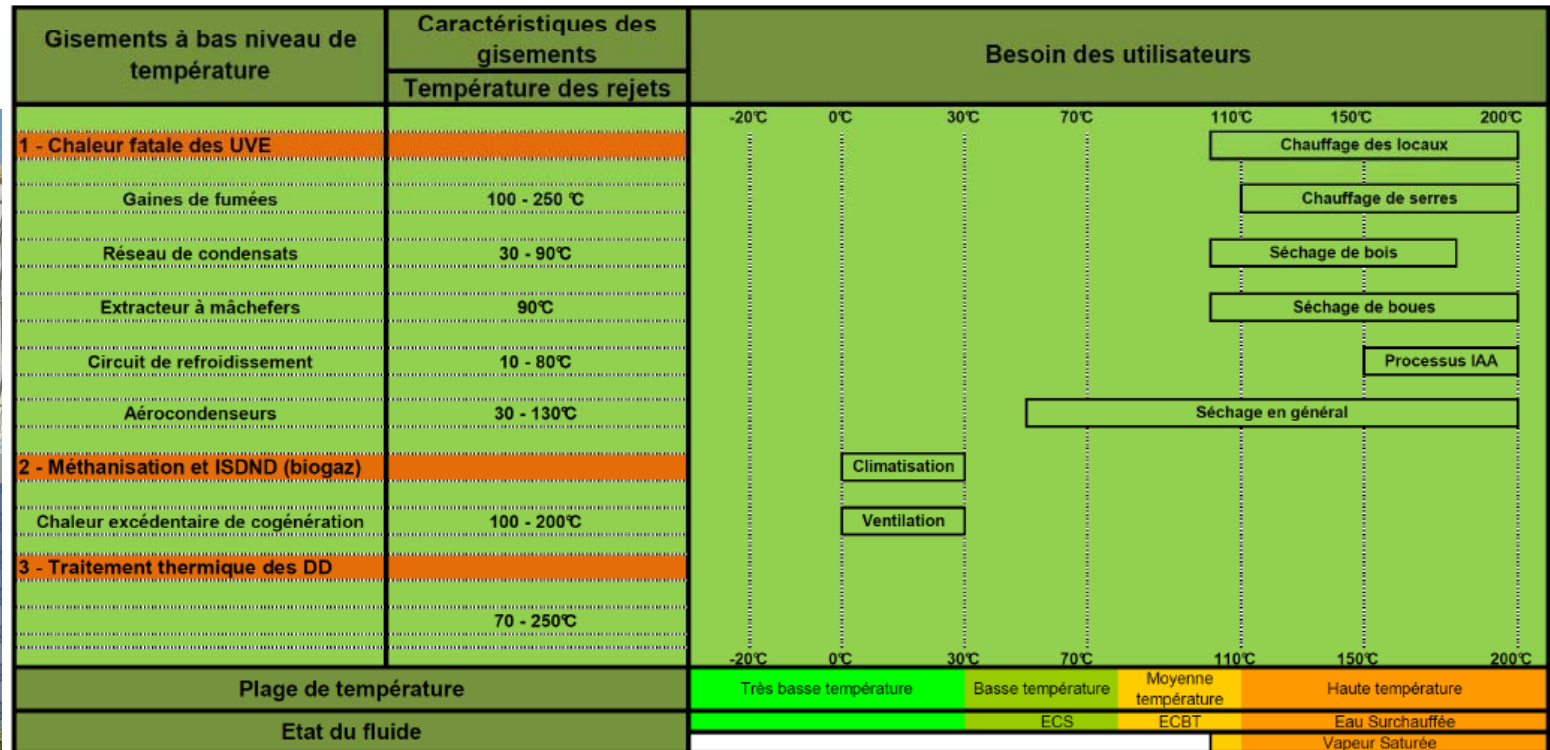
Source : IEE ALTENER Project ECOHEATCOOL

### Sommaire

- I. Introduction & Enjeux
- II. Portée de l'étude
- III. Récupération BT
  - Stockage thermique
  - Transport longue distance
- a) Identification gisements
- b) Potentiel de valorisation**
- c) Technologies
- IV. Conclusion

## Cible de la valorisation

### Relation entre les besoins et les sources:



## Sommaire

- I. Introduction & Enjeux
- II. Portée de l'étude
- III. Récupération BT
  - Stockage thermique
  - Transport longue distance
- a) Identification gisements
- b) Potentiel de valorisation
- c) Technologies**
- IV. Conclusion



# Etat de l'art des Technologies de valorisation des énergies à basse température



## Sommaire

- I. Introduction & Enjeux
- II. Portée de l'étude
- III. Récupération BT
  - Stockage thermique
  - Transport longue distance
- a) Identification gisements
- b) Potentiel de valorisation
- c) Technologies**
- IV. Conclusion

# Valorisation d'énergie thermique en chaud

La récupération énergétique passe en premier lieu par la **mise en place d'un échangeur de chaleur.**

Le choix technologique concernant les échangeurs s'effectue sur **plusieurs critères:**

- ✓ La nature des fluides de transfert;
- ✓ Le domaine d'utilisation (température et pression);
- ✓ Les performances de transfert;
- ✓ La gamme de surface d'échange ;
- ✓ Contraintes: Compacité / Encrassement / Etanchéité ;
- ✓ **Coût .**

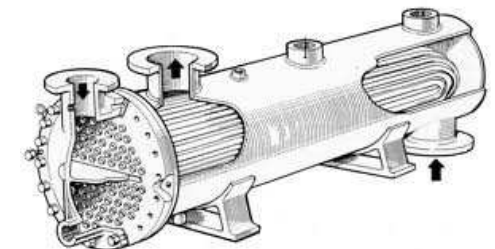
## Echangeur à tubes et calandre ou coaxial

### Avantages:

- Tenue en température et en pression presque sans limite;
- Technologie mature et maîtrisée;
- Bon comportement face à l'encrassement.

### Inconvénients:

- Difficulté de nettoyage côté calandre;
- Surface importante au sol => faible compacité;
- Efficacité faible.





## Sommaire

- I. Introduction & Enjeux
- II. Portée de l'étude
- III. Récupération BT
  - Stockage thermique
  - Transport longue distance
- a) Identification gisements
- b) Potentiel de valorisation
- c) Technologies**
- IV. Conclusion



# Valorisation d'énergie thermique en chaud

## Echangeur de type batterie à ailettes:

### Avantages:

- Récupération de chaleur sur effluents gazeux;
- Augmentation de surface par la présence d'ailettes => Compacité.



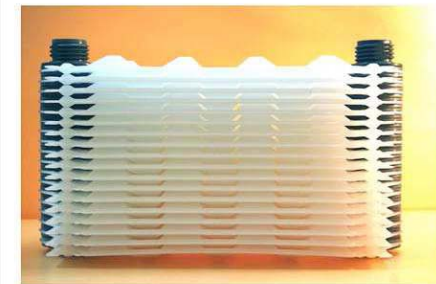
### Inconvénients:

- Encrassement rapide des surfaces ailetées / Corrosion;
- Tenue en température et pression avec les matériaux standards.

## Echangeur en plastique

### Avantages:

- Prix (facilité de fabrication en série via des moules);
- Pas de phénomène de corrosion ni d'attaque chimique;
- Faible potentiel d'encrassement ;
- Poids.



### Inconvénients:

- Conductivité thermique et coefficients d'échanges thermiques faibles;
- Limitation en température (Max 180°C pour certains polymères).



## Sommaire

- I. Introduction & Enjeux
- II. Portée de l'étude
- III. Récupération BT
  - Stockage thermique
  - Transport longue distance
- a) Identification gisements
- b) Potentiel de valorisation
- c) Technologies**
- IV. Conclusion

# Valorisation d'énergie thermique en chaud

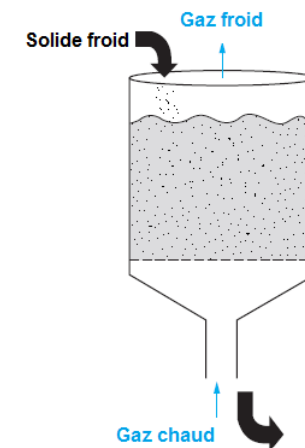
## Echangeur à lit fluidisé / contact direct:

### Avantages:

- Grande surface d'échange;
- Action « autonettoyante »;
- Amélioration du coefficient d'échange;
- Intégrabilité sur système existant;
- Action inertielle du lit => homogénéisation de la température.

### Inconvénients:

- Pas de fabrication en série (Ingénierie);
- Peu de réalisation dans le domaine de la récupération à bas niveaux de température.



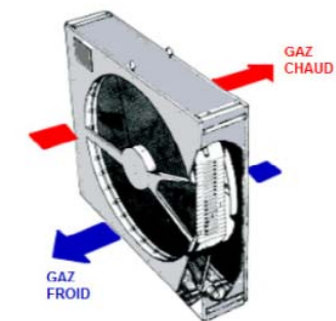
## Echangeur rotatif:

### Avantages:

- Mise en œuvre simple
- Bonne efficacité de récupération.

### Inconvénients:

- Taille des dispositifs importante;
- Récupération uniquement sur effluents gazeux;
- Effluents adjacents / Etanchéité (débit de fuite)/ Encrassement des lamelles





## Sommaire

- I. Introduction & Enjeux
- II. Portée de l'étude
- III. Récupération BT
  - Stockage thermique
  - Transport longue distance
- a) Identification gisements
- b) Potentiel de valorisation
- c) Technologies**
- IV. Conclusion

# Valorisation d'énergie thermique en chaud

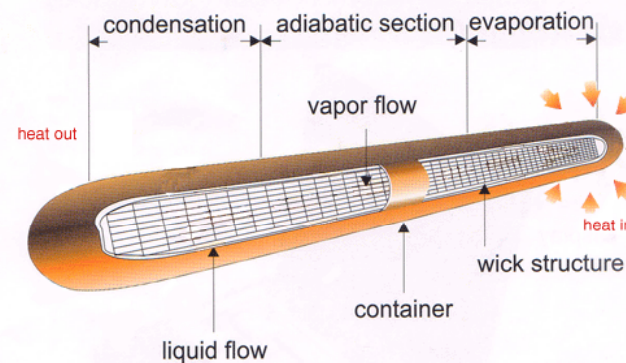
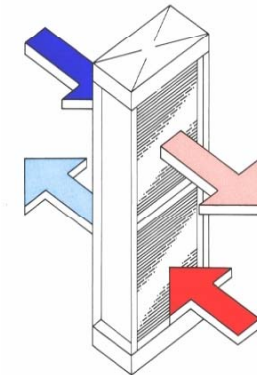
## Echangeur à caloducs:

### Avantages:

- Très bon échange thermique (échange diphasique => chaleur latente);
- Très grande compacité;
- Pas de contamination possible entre les deux effluents;
- Echange quasiment isotherme.

### Inconvénients:

- Encrassement possible par la présence d'ailettes;
- Effluents quasiment adjacents;
- Fabrication et mise en route fastidieuse et délicate;
- Peu de fabricants français...





## Sommaire

- I. Introduction & Enjeux
- II. Portée de l'étude
- III. Récupération BT
  - Stockage thermique
  - Transport longue distance
- a) Identification gisements
- b) Potentiel de valorisation
- c) Technologies**
- IV. Conclusion



## Valorisation d'énergie thermique en chaud: CAS d'une UVE



Les limites de la récupération d'énergie sur les fumées en post-traitement :

- Point de rosée acide ( $T = 130^{\circ}\text{C}$ )
- Panache de vapeur d'eau en sortie cheminée



HYPOTHESE 1:  $180^{\circ}\text{C} \rightarrow 135^{\circ}\text{C}$

Valorisation thermique de la chaleur sensible (au-dessus du point de rosée acide) des fumées



HYPOTHESE 2:  $180^{\circ}\text{C} \rightarrow 90^{\circ}\text{C}$

Valorisation thermique de la chaleur sensible et latente (en-dessus et en-dessous du point de rosée acide => condensation)

Dans le cas d'une UVE traitant 100 000 t/an de déchets, la récupération de chaleur fatale sur les fumées permet de valoriser la quantité d'énergie suivante:

**Hypothèse 1** ( $180^{\circ}\text{C} \rightarrow 135^{\circ}\text{C}$ ) :  $E_{th} = 8\,269$  MWh (soit 3% de  $E_{PCI}$  totale)

**Hypothèse 2** ( $180^{\circ}\text{C} \rightarrow 90^{\circ}\text{C}$ ) :  $E_{th} = 38\,047$  MWh (soit 14% de  $E_{PCI}$  totale)

## Sommaire

- I. Introduction & Enjeux
- II. Portée de l'étude
- III. Récupération BT
  - Stockage thermique
  - Transport longue distance
- a) Identification gisements
- b) Potentiel de valorisation
- c) Technologies**
- IV. Conclusion

## Valorisation d'énergie thermique en chaud: CAS d'une UVE



Dans le cas d'une condensation des fumées, plusieurs freins sont présents pour la mise en œuvre d'un tel projet :

- ✓ L'ensemble des équipements en aval de la récupération doit être en matière inoxydable (cheminée, tuyauteries, vannes, échangeurs)
- ✓ Mise en place d'une récupération des condensats + unité de traitement
- ✓ Coût élevé
- ✓ Maintenance / Surveillance des équipements



*Echangeur type Batteries à ailettes: traitement de surface anticorrosion*



### Sommaire

- I. Introduction & Enjeux
- II. Portée de l'étude
- III. Récupération BT
  - Stockage thermique
  - Transport longue distance
- a) Identification gisements
- b) Potentiel de valorisation
- c) Technologies**
- IV. Conclusion

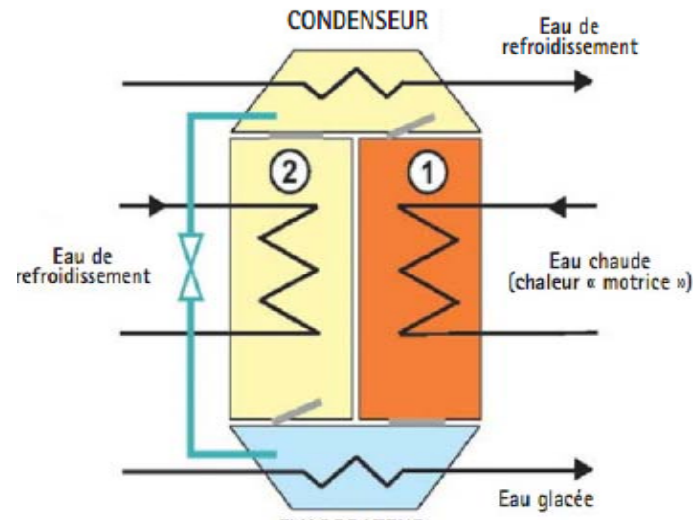
## Valorisation d'énergie thermique en froid

La demande en froid est de plus en plus importante et rentable.

La technique de compression mécanique pour la production de froid est la plus utilisée mais il existe d'autres moyens pour faire du froid:

► Technologie permettant de produire de l'énergie frigorifique à partir de chaleur

### MACHINE À ADSORPTION



	Adsorption
Source chaude	Eau chaude 55-70°C
COP	0,55 – 0,65
Gamme de puissance	50-430 kW
Surface m <sup>2</sup> /kW	Taille élevée
Poids kg/kW	Poids élevé

#### Caractéristiques:

- ✓ Peu de machines installées, peu de fabricants (Japon)
- ✓ Destinée à de fortes puissances
- ✓ COP Faible mais température d'alimentation faible (55-70 °C)
- ✓ Fort encombrement



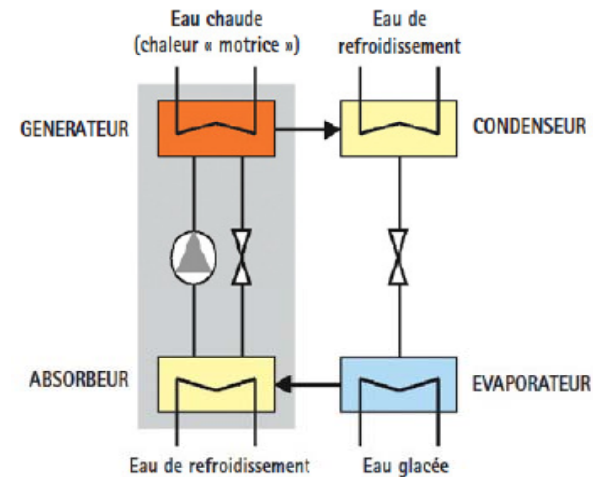


### Sommaire

- I. Introduction & Enjeux
- II. Portée de l'étude
- III. Récupération BT
  - Stockage thermique
  - Transport longue distance
- a) Identification gisements
- b) Potentiel de valorisation
- c) Technologies**
- IV. Conclusion

## Valorisation d'énergie thermique en froid

### MACHINE À ABSORPTION



	Absorption simple effet	Absorption double effet
Source chaude	Eau chaude 70/80°C 90°C	Eau surchauffée 150°C
COP	0,6 – 0,7	1,1-1,2
Gamme de puissance (MW)	0,1 – 5,8	0,1 – 5,3
Surface m <sup>2</sup> /kW	0,01 – 0,03	0,01 – 0,03
Poids kg/kW	8,5 – 22	8,5 – 22

#### Caractéristiques:

- ✓ COP faibles
- ✓ Système moyennement encombrant

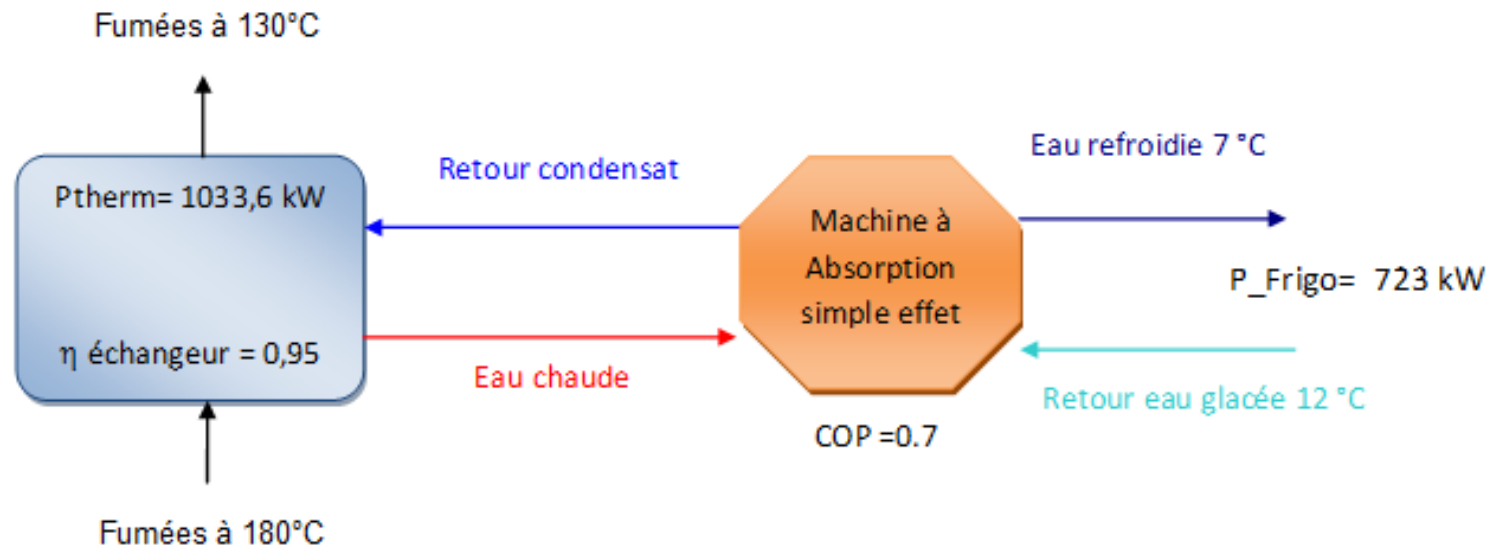


### Sommaire

- I. Introduction & Enjeux
- II. Portée de l'étude
- III. Récupération BT
  - Stockage thermique
  - Transport longue distance
- a) Identification gisements
- b) Potentiel de valorisation
- c) Technologies**
- IV. Conclusion

## Valorisation d'énergie thermique en froid: cas d'une UVE

Les gammes de températures et de puissances mises en jeu dans le cas d'une récupération sur les fumées (UVE 100 000 t/an) sont les suivantes :



## Sommaire

- I. Introduction & Enjeux
- II. Portée de l'étude
- III. Récupération BT
  - Stockage thermique
  - Transport longue distance
- a) Identification gisements
- b) Potentiel de valorisation
- c) Technologies**
- IV. Conclusion



# Valorisation d'énergie thermique en froid: Un exemple d'expérience



## La SMEG a Monaco:

### ► Caractéristiques de l'usine d'incinération de Monaco:

- 10 t/h de déchets urbains traités

→ **Valorise l'énergie sous forme d'électricité et de vapeur** qui alimente une centrale de production de chaleur et de froid.

### ► Caractéristiques du réseau:

✓ Électricité : GTA → turboalternateur de 3 MWe raccordé au réseau de la SMEG

✓ Chauffage/Climatisation:

- Trois échangeurs de chaleur résiduelle d'un total de 20,2 MW
- **2 machines à absorption de 2 MW** chacune,
- 11 MW de groupe de froid traditionnel à compression.

Réseau de chaleur:(95°C) d'une longueur de 2,5 km,

Réseau de froid (6°C) d'une longueur de 2,5 km,

27 sous stations.



SOCIÉTÉ MONÉGASQUE DE  
L'ÉLECTRICITÉ ET DU GAZ





## Sommaire

- I. Introduction & Enjeux
- II. Portée de l'étude
- III. Récupération BT
  - Stockage thermique
  - Transport longue distance
- a) Identification gisements
- b) Potentiel de valorisation
- c) Technologies**
- IV. Conclusion

# Valorisation d'énergie thermique en électricité

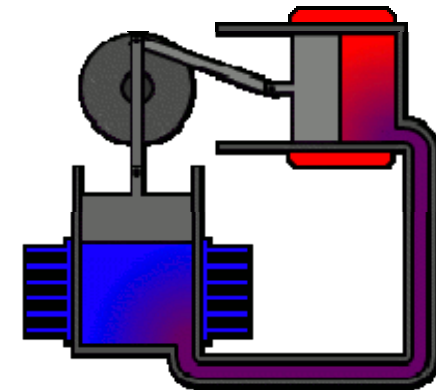
Plusieurs technologies existent actuellement permettant une production d'électricité issue de chaleur :

## Avantages

- ✓ Combustion externe (maîtrise de la combustion, systèmes silencieux et grande durée de vie)
- ✓ Technologie passive

## Inconvénients

- ✓ Taille importante
- ✓ Pas de forte puissance
- ✓ Difficulté du confinement des gaz / puissance constante et donc difficilement modulable

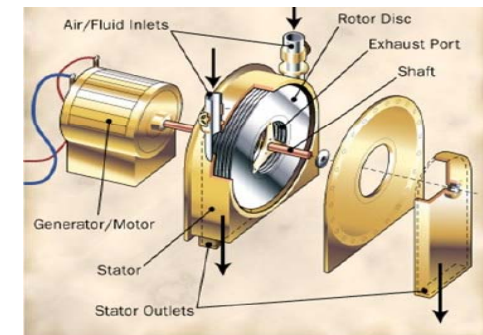


## Les moteurs à air chaud (Stirling et Ericsson)

## La turbine de TESLA

- ✓ Pas de pale (aubes); permet d'atteindre de hautes vitesses;
- ✓ Silencieuse
- ✓ Faible frottement;
- ✓ Alimentation par de l'air / de la vapeur à basse température
- ✓ Possibilité de réaliser une condensation

- ✓ Faible couple moteur;
- ✓ Ne convient pas dans la plupart des cas à un remplacement direct pour les turbines conventionnelles;
- ✓ Peu de travaux de R&D



## Sommaire

- I. Introduction & Enjeux
- II. Portée de l'étude
- III. Récupération BT
  - Stockage thermique
  - Transport longue distance
  - a) Identification gisements
  - b) Potentiel de valorisation
  - c) Technologies**
- IV. Conclusion

# Valorisation d'énergie thermique en électricité: Turbine ORC



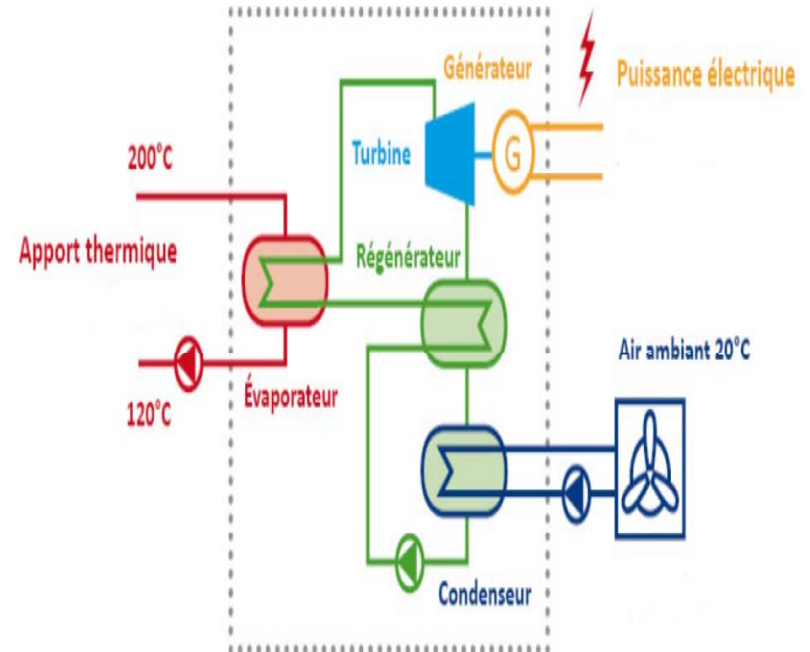
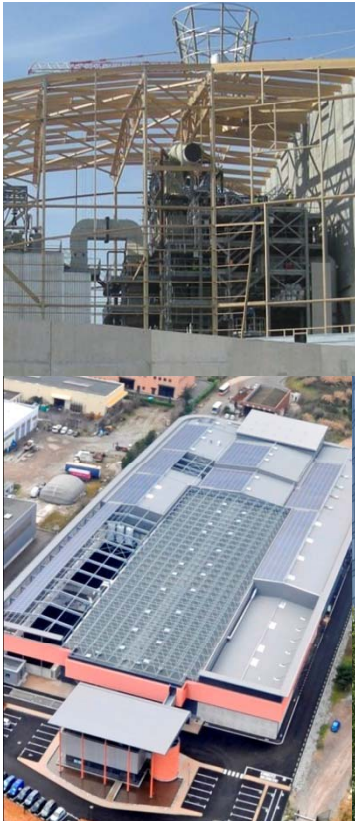
La turbine ORC permet une production d'électricité à partir de la récupération de chaleur à bas niveau de température.

### Les avantages:

- Valorisation électrique et de chaleur avec des rejets à basse température (à partir de 90°C) avec les fluides organiques (ex: R245fa)
- Mise en œuvre simple et rapide;
- Technologie éprouvée et en grand développement;
- Temps de retour sur investissement suivant le cout du rachat de l'énergie => pour la France (4 à 8 ans);
- Augmentation de durée de vie des turbines (pas de cavitation des fluides organiques)

### Les inconvénients:

- Rendement faible (maximum 20% sur des hautes températures);
- Peu de module de très forte puissance ;
- Peu de réalisation en France (mais en augmentation)





## Sommaire

- I. Introduction & Enjeux
- II. Portée de l'étude
- III. Récupération BT
  - Stockage thermique
  - Transport longue distance
- a) Identification gisements
- b) Potentiel de valorisation
- c) Technologies**
- IV. Conclusion

# Valorisation d'énergie thermique en électricité: Turbine ORC



La turbine ORC est une technologie en plein essor avec de nombreuses références à l'étranger:



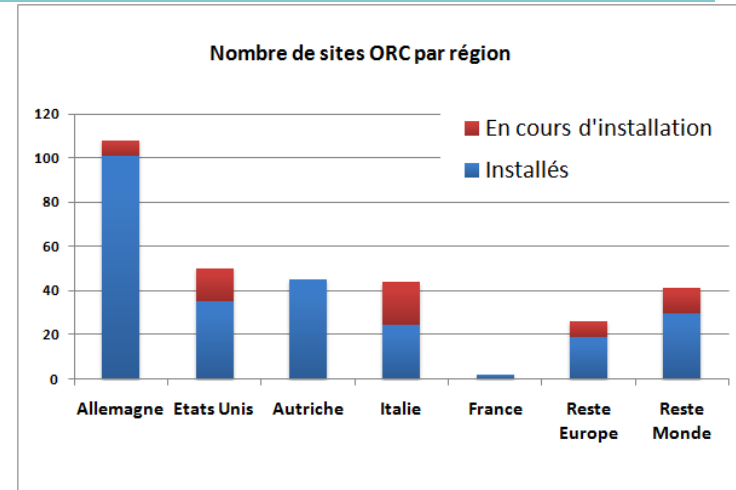
### Un exemple d'application: Incinérateur de MIROM

Valorisation des excédents de chaleur de l'incinérateur de déchets sous forme d'eau surchauffée à 180°C (retour à 140°C)

► **Module ORC d'une puissance de 2,5 MWé.**

La condensation en sortie de turbine est assurée par un aéro-réfrigérant.

L'efficacité de cette installation est évaluée à 16,5% (données constructeur Turboden).





## Sommaire

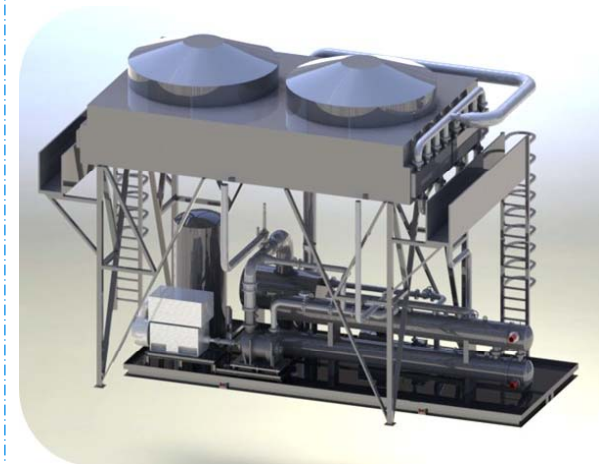
- I. Introduction & Enjeux
- II. Portée de l'étude
- III. Récupération BT
  - Stockage thermique
  - Transport longue distance
- a) Identification gisements
- b) Potentiel de valorisation
- c) Technologies**
- IV. Conclusion

# Valorisation d'énergie thermique en électricité: Turbine ORC

Il existe actuellement un panel de fournisseurs couvrant une gamme variée de puissance et température **mais surtout dans les petites puissances**

Fournisseurs	Applications	Gamme de puissance	Température de la source de chaleur
<b>ORMAT, US</b>	Géothermie, Récupération de chaleur, Solaire	200 kWe - 72 Mwe	150° - 300 °C
<b>Turboden, Italy</b>	Cogénération, Géothermie	200 kWe - 2 Mwe	100 - 300°C
<b>Adoratec, Germany</b>	Cogénération	315 - 1600 kWe	300°C
<b>GMK, Germany</b>	Récupération de chaleur, Géothermie, Cogénération	50 kWe - 2 Mwe	120° - 350 °C
<b>Koehler-Zieger, Germany</b>	Cogénération	70 - 200 kWe	150 - 270 °C
<b>UTC, US</b>	Récupération de chaleur, Géothermie	280 kWe	>93 °C
<b>Cryostar</b>	Récupération de chaleur, Géothermie	n/a	100 - 400 °C
<b>Freepower, UK</b>	Récupération de chaleur	6 kWe - 120 kWe	180 - 225 °C
<b>Tri-o-gen, Netherlands</b>	Récupération de chaleur	160 kWe	>350 °C
<b>Electratherm,US</b>	Récupération de chaleur	50 kWe	> 93 °C
<b>Infinity Turbine</b>	Récupération de chaleur	250 kWe	> 80 °C

Projet Enertime 1 MW en cours de réalisation:



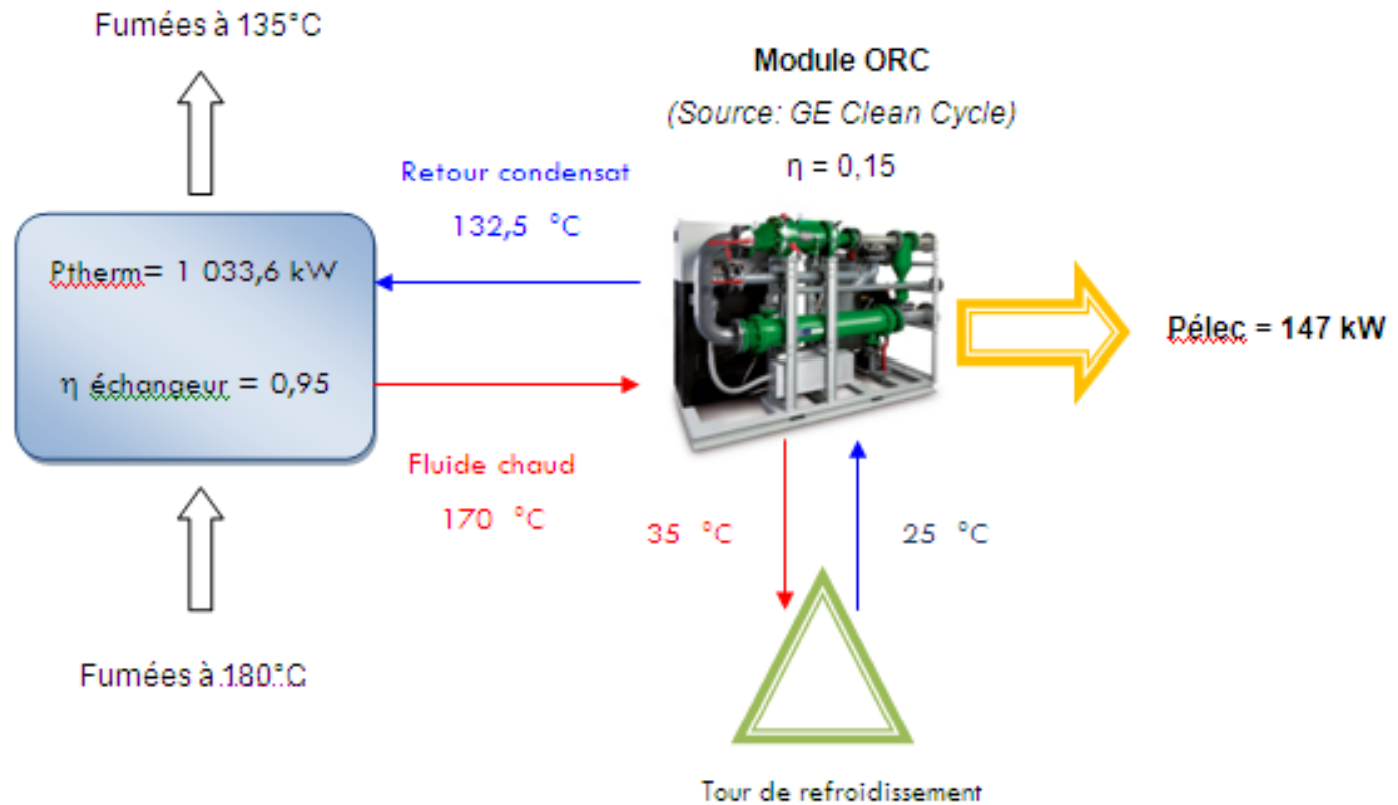


Sommaire

- I. Introduction & Enjeux
- II. Portée de l'étude
- III. Récupération BT
  - Stockage thermique
  - Transport longue distance
- a) Identification gisements
- b) Potentiel de valorisation
- c) Technologies**
- IV. Conclusion

## Valorisation d'énergie thermique en électricité: Turbine ORC

Cas d'une valorisation en gaine de fumées d'une UVE:





### Sommaire

- I. Introduction & Enjeux
- II. Portée de l'étude
- III. Récupération BT
  - Stockage thermique
  - Transport longue distance
- a) Identification gisements
- b) Potentiel de valorisation
- c) Technologies**
- IV. Conclusion

## Valorisation d'énergie thermique en électricité: Turbine ORC

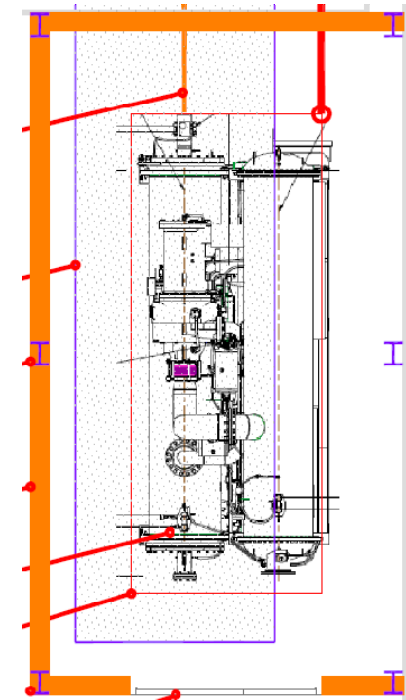
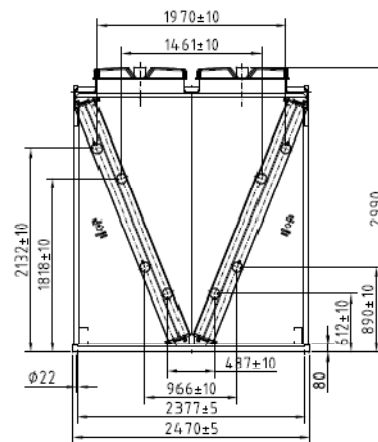
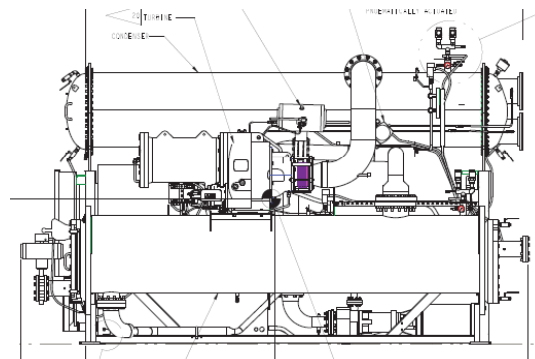
### Exemple de projet ORC sur UVE: en cours de réalisation par Setec novae

Débit: 63 000 t/an de déchets traités

2 sources chaude à valoriser :

- ✓ Vapeur saturée vers aérocondenseurs: **5 000 kW**
- ✓ Refroidissement des fumées (270-150°C) : **4200 kW**

► ORC : **1300 kW élec**



## Sommaire

- I. Introduction & Enjeux
- II. Portée de l'étude
- III. Récupération BT
  - Stockage thermique
  - Transport longue distance
- a) Identification gisements
- b) Potentiel de valorisation
- c) Technologies**
- IV. Conclusion



# De la production à l'utilisateur :

# Stockage et transport

## Sommaire

- I. Introduction & Enjeux
- II. Portée de l'étude
- III. Récupération BT
  - Stockage thermique
  - Transport longue distance
- a) Identification gisements
- b) Potentiel de valorisation
- c) Technologies**
- IV. Conclusion

## Le stockage thermique sensible

Parmi les technologies de **stockage par chaleur sensible**, on retrouve le **stockage saisonnier**.

► Ce mode de stockage n'est pas pertinent pour le domaine d'étude :

- ✓ Niveau élevé de température de production des UVE=> Pertes;
- ✓ Etude d'avant projet et investissement matériel et structurel extrêmement lourds;
- ✓ Production d'énergie conséquente et **constante** des UVE.

Technologies de **stockage par chaleur sensible sous phase liquide** pour une gamme de température qui nous intéresse dans cette étude (100 - 250°C). Il s'agit de :

- **La technologie des réservoirs à sels fondus** : Pour des niveaux de températures assez élevés par rapport à leur point de solidification ( $T > 150^\circ\text{C}$  (HITEC)).
- **L'utilisation de l'eau sous pression** : c'est une technologie fiable dotée d'une réelle maturité
- **L'utilisation d'huiles thermiques** : abordable techniquement dans ce domaine de température



**Stockage par chaleur sensible sous forme solide** → peu d'application pour la gamme de température 100 - 250°C

► Les bétons haute température ou des céramiques dite techniques restent prometteurs notamment par le ratio performance/prix de conception et d'exploitation (cf. Projet du DLR)



## Sommaire

- I. Introduction & Enjeux
- II. Portée de l'étude
- III. Récupération BT
  - Stockage thermique
  - Transport longue distance
- a) Identification gisements
- b) Potentiel de valorisation
- c) Technologies**
- IV. Conclusion



## Le stockage thermique par chaleur latente

L'étude montre que le **stockage thermique par chaleur latente, par le biais de matériaux à changement de phase**, est prometteur:

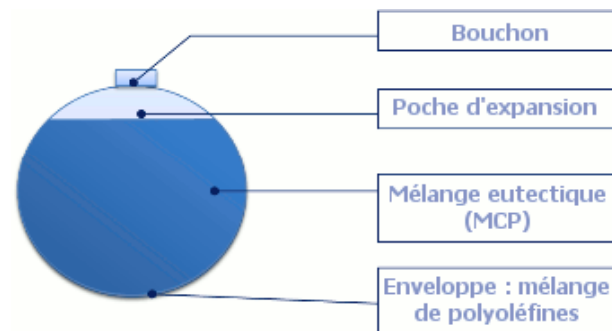
✓ Quantité d'énergie stockée élevée & des performances thermiques atteignables intéressantes.

Pour les gammes de haute température (100°C - 400°C):

► les applications industrielles sont quasi inexistantes et restent au stade de pilotes de recherche (prototype)

- ✓ faible durée de vie ;
- ✓ prix unitaire important.

Dans le cadre de ces MCP, seules des solutions pour des applications à basse température (liées à la thermique du bâtiment) présentent une bonne maturité.



## Sommaire

- I. Introduction & Enjeux
- II. Portée de l'étude
- III. Récupération BT
  - Stockage thermique
  - Transport longue distance
- a) Identification gisements
- b) Potentiel de valorisation
- c) Technologies**
- IV. Conclusion



## Le stockage thermique par sorption / thermochimie

Le **stockage thermochimique** est un processus associant deux réactifs A et B dans une transformation réversible dont l'une des réactions est **exothermique** et la réaction inverse est **endothermique**. Les réactions chimiques généralement retenues sont des processus d'hydratation de sels minéraux et permettent d'atteindre des chaleurs de réaction de plusieurs centaines voire milliers de kJ/kg.

⇒ gamme de température : 100 - 1000°C

Un processus très proche est celui de **l'adsorption** de vapeur d'eau sur des **zéolites ou des sels** qui présente des enthalpies d'adsorption (processus exothermique) également importantes et demande pour le processus inverse de désorption (processus endothermique) des enthalpies sensiblement comparables.

Ces principes de stockage sont très prometteurs car ils permettent de s'affranchir des pertes thermiques tout en assurant une capacité volumique de stockage très importante, cependant :

→ Les travaux n'ont pas abouti à des démonstrateurs industriels (prototype labo)

Les verrous sont liés aux difficultés:

- Du choix de matériaux d'enceinte inadaptés;
- De la conception des réacteurs ;
- Du coût des dispositifs complets.



## Sommaire

- I. Introduction & Enjeux
- II. Portée de l'étude
- III. Récupération BT
  - Stockage thermique
  - Transport longue distance
- a) Identification gisements
- b) Potentiel de valorisation
- c) Technologies**
- IV. Conclusion



## Le transport d'énergie thermique

### Les réactions catalytiques réversibles :

⇒ Domaine de température entre 150°C et 1000°C

⇒ Dans le domaine des déchets, la réaction la plus intéressante est la synthèse et la décomposition du méthanol => travaux de recherche mené au Japon sur des distances supérieures à 20km (applications au chauffage résidentiel et tertiaire)

### Les systèmes à sorption:

Alliages absorbants d'hydrogène ou adsorption solide-gaz

- ⇒ Niveau de température limité
- ⇒ Peu d'études réalisées
- ⇒ Alliages onéreux / Transport d'hydrogène dangereux

### Les systèmes batch:

*Pilote de laboratoires et industriels*

- ⇒ Soit par réaction chimique (CHPC)
- ⇒ Soit par MCP



## Sommaire

- I. Introduction & Enjeux
- II. Portée de l'étude
- III. Récupération BT
  - Stockage thermique
  - Transport longue distance
- a) Identification gisements
- b) Potentiel de valorisation
- c) Technologies
- IV. Conclusion**



## Conclusion et Perspectives

Différentes solutions envisageables avec chacune avantages, inconvénients et niveaux de maturité différents. Certaines disposent de **forts potentiels de réalisation à court terme**:

- **Récupération Thermique** par :
  - *Echangeur à Contact Direct,*
  - *Batterie à ailettes, tubulaires ou platulaires inox (en dessous point de rosée acide)*
- Les systèmes à **absorption** (faire du froid à partir d'une source BT);
- **Stockage de froid** par MCP (cf. Cristopia);
- Cogénération **ORC** (génération d'électricité à partir d'une source BT);
- **Transport par Batch** avec des MCP.

### Les différents intérêts à analyser sur un projet :

- **Economique** ( économie d'énergie, autarcie énergétique, revente d'électricité);
- **Performance des installations** (Efficacité énergétique, diminution des ressources primaires nécessaires, meilleures gestion de l'énergie...);
- **Fiscaux** (abattement de la TGAP,...etc.);
- **Ecologique** (Réduction des émissions de gaz à effet de serre due à la diminution de la consommation en énergie primaire).

L'étude montre que la pertinence technico-économique d'une solution passe d'abord par une recherche de valorisation de l'énergie BT sous forme de :  
**(1) chaleur, (2) froid et enfin (3) électricité.**

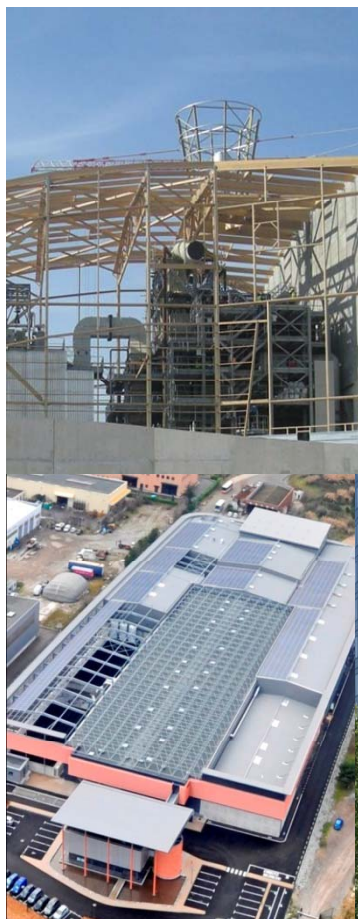


## EFFICACITE ENERGETIQUE ET VALORISATION DES REJETS THERMIQUES

### POTENTIEL, TECHNOLOGIE ET STRATEGIE D'UTILISATION

#### Liste des acteurs de l'étude:

RECORD	B. COUFFIGNAL
UTC / RECORD	G. ANTONINI
ADEME	A. KUNEGEL
EDF	J-L. PEUREUX
EDF	A. BOURIG
GDF SUEZ	P. POLI
SITA France	M. RANCE
SARP INDUSTRIE	C. VERONNEAU
TIRU	G. PIEROTTI
RHODIA	M. MERCIER
SOLVAY	M. HOTTIER
GROUPE SECHE	P. ESCOBAR
SETEC novae	S. BIOCCHI
	O. MEGRET
	L. BEQUET
GRETh	A. MANIFICAT
	C. MARVILLET
	C. WEBER





MERCI DE VOTRE  
ATTENTION



Questions  
&  
Débat



RECORD