

SYNTHESE / EXTENDED ABSTRACT
FRANÇAIS / ENGLISH

**PROCEDES DE RECUPERATION / VALORISATION
DES ENERGIES A BAS NIVEAU DE TEMPERATURE
ETAT DES CONNAISSANCES**

**PROCESSES OF ENERGY RECOVERY / ENERGY
VALORIZATION AT LOW TEMPERATURE LEVELS
STATE OF THE ART**

septembre 2012

A. MANIFICAT - GRETh
O. MEGRET - Setec novae



setec novae

(nouvelle appellation de Cadet International)

Créée en 1989 à l'initiative du Ministère en charge de l'Environnement, l'association RECORD – REseau COopératif de Recherche sur les Déchets – est le fruit d'une triple coopération entre industriels, pouvoirs publics et chercheurs. L'objectif principal de RECORD est le financement et la réalisation d'études et de recherches dans le domaine des déchets et des pollutions industrielles. Les membres de ce réseau (groupes industriels et organismes publics) définissent collégalement des programmes d'études et de recherche adaptés à leurs besoins. Ces programmes sont ensuite confiés à des laboratoires publics ou privés.

- ✓ En Bibliographie, le document dont est issue cette synthèse sera cité sous la référence :
RECORD, Procédés de récupération / valorisation des énergies à bas niveau de température.
Etat des connaissances, 2012, 437 p, n°10-0234/1A
- ✓ Ces travaux ont reçu le soutien de l'ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie)
www.ademe.fr

RESUME

L'objet de la présente étude est de réaliser un état de l'art sur les procédés de récupération et de valorisation des énergies à bas niveau de température. Les informations apportées dans ce rapport viseront en particulier les systèmes de valorisation énergétique des déchets et de la biomasse.

Après un rappel du contexte favorable au développement de ces solutions et à la définition de la portée de ce travail, l'étude débute par la définition des notions telles que la chaleur fatale et l'exergie, ainsi que la présentation des éléments liés au contexte fiscal, économique et réglementaire comme la TGAP, les tarifs de l'énergie et l'efficacité énergétique d'une installation.

Le second chapitre s'intéresse ensuite aux gisements d'énergie à bas niveau de température qui peuvent être valorisables pour en évaluer le potentiel et les caractéristiques. La détermination du spectre de température de la source énergétique permettra ensuite une mise en relation avec l'ensemble des besoins des utilisateurs et des demandes issues des différents secteurs d'activité.

La troisième partie de l'étude est une revue des technologies de valorisation des énergies à bas niveau de température. Il est utile de discerner les types d'échangeurs de chaleur intéressants à mettre en place. Des procédés innovants permettent la prise en considération de perspectives autres qu'une utilisation directe des thermies récupérées. On citera par exemple les systèmes de production d'électricité (cycle ORC, moteurs à air chaud, conversion thermoélectrique), de production de froid (machine frigorifique à absorption et adsorption, machine thermo-frigorifique à éjection) ou encore des techniques pour le stockage d'énergie par MCP (Matériaux à changement de phase).

Le dernier chapitre est consacré à la réalisation de quatre études de cas rédigées sous forme de fiches et visant à évaluer l'applicabilité des procédés préalablement considérés, concernant le domaine des déchets.

MOTS CLES

Valorisation énergétique / Récupération d'énergie / Traitement thermique des déchets / Bas niveau de température / Chaleur fatale

SUMMARY

This study aims to realize a state of art of the processes of energy recovery at low level of temperature and their valorizations. The informations provided will target particularly the thermal systems of waste and biomass treatment.

After reminding the adequate context of development with these solutions and define the scope of the current work, the study begins with the definition of different concepts such as low-grade heat (fatal energy) and exergy, and also the presentation of the fiscal environment as well as the economic and regulatory situation, with information about the TGAP, prices of energy and energy efficiency.

The second chapter focuses on the different sources of energy at low temperature level that can be recoverable in order to assess their potentials and their characteristics. The Determination of the temperature range of these energy sources will be put in relation with the needs and demands of users from different industrial sectors.

The third part of the study is a review of various technologies for energy recovery and valorization at low temperature. It is useful to distinguish different types of heat exchangers interesting to implement. Moreover, innovative processes allow us to consider new perspectives other than a direct use of heat recovered. For example, we can take into account systems for producing electricity (ORC cycle, hot air engines, thermoelectric conversion), or cold generation (sorption refrigeration machine, Thermo-ejector refrigeration machine) or techniques for energy storage with PCM (Phase Change Material).

The last chapter deals to the achievement of four study cases written in the form of sheet and aimed at assess the applicability of the processes previously considered, concerning the field of waste.

KEY WORDS

Energy recovery / Energetical valorization / Thermal waste treatment / Low level temperature / Low-grade heat / fatal energy

CONTEXTE

En France, l'industrie consomme plus de 300 TWh de combustibles dont 46% de gaz naturel, 30% de fiouls, 14% de charbon, 8% de biomasse et 2% pour le reste mais rejette également sous formes gazeuse et liquide, des quantités très importantes d'énergie. Dans les process, les pertes énergétiques sont évaluées à un peu plus de 13%. Il en ressort que le gisement possible de récupération d'énergie thermique à partir des « rejets à basses températures » est estimé à plus de 40 TWh de combustibles dont des rejets liquides de 25 à 200°C et des rejets gazeux de 70 à 200°C.

Les rejets thermiques à basse température ou encore chaleur fatale constituent la chaleur qui peut être récupérée à plusieurs niveaux d'un processus industriel. Il s'agit donc de la chaleur produite par un processus dont la finalité n'est pas la production de cette chaleur. Lorsque les conditions sont requises, la récupération et la valorisation d'énergie à bas niveau de température a un fort impact dans l'amélioration de l'efficacité énergétique.

Dans le secteur de la valorisation énergétique des déchets, l'exploitation des énergies à bas niveau de température ouvrirait une voie entre autres pour répondre aux engagements du Grenelle de l'Environnement. Cette valorisation peut atteindre par exemple - dans les unités d'incinération ou les installations de stockage - le taux d'efficacité énergétique permettant l'abattement de la TGAP (Taxe Général sur les Activités Polluantes) ou encore d'optimiser le « coût global » d'exploitation des unités en offrant une source d'économie dans l'auto-consommation du site voire la recette de vente d'énergie à des consommateurs de proximité (serres agricoles, réseau de chaleur, ou de froid ...).

L'enjeu énergétique principal de ces prochaines années est la réduction de la consommation d'énergie, notamment dans le secteur du bâtiment représentant 44% de l'énergie finale consommée en France.

La valorisation des rejets thermiques à bas niveau de température est l'une des réponses possibles aux besoins énergétiques dans le secteur du bâtiment résidentiel et tertiaire, et notamment pour le chauffage et la climatisation puisqu'il existe une cohérence des niveaux de température ($T < 100^{\circ}\text{C}$).

La présente étude porte sur l'ensemble de ces réflexions de récupération et de valorisation des énergies à bas niveau de température appliquées aux procédés de valorisation énergétique des déchets.

OBJECTIF ET PLAN DE L'ETUDE

L'objet de l'étude est de réaliser un état des connaissances sur les procédés de récupération et de valorisation des énergies à bas niveaux de température. Cette récupération d'énergie fatale est particulièrement adaptée aux installations de valorisation énergétique des déchets et de la biomasse, sur lesquelles se focalise l'application de cette étude.

La première phase de l'étude consiste à localiser et identifier les différents gisements d'énergie calorifique à bas niveaux de température disponibles, en prenant comme référence les secteurs tels que l'incinération et la méthanisation. L'identification de ces différentes sources nous permet d'en définir les caractéristiques en termes de potentiel énergétique et de niveaux de température.

La seconde partie du rapport est consacrée à l'évaluation des besoins et des utilisateurs finaux susceptibles d'utiliser cette énergie. Le but étant de déterminer les demandes des différents secteurs en prenant en considération la gamme de température souhaitée, l'éloignement de la source, les possibilités d'autoconsommation...etc.

Ce travail permet de démontrer le potentiel des énergies à bas niveaux de température et de définir le lien entre les besoins des consommateurs et les caractéristiques des sources disponibles.

La troisième étape de l'étude permet de répertorier l'ensemble des technologies disponibles pour la récupération et la valorisation de ces énergies à bas niveaux de température. Les données provenant de solutions industrielles, de démonstrateurs et de travaux de laboratoire ont permis de déboucher sur la réalisation de plusieurs fiches descriptives de ces différentes technologies et s'organisant de la manière suivante :

- 1) Identification et description des procédés disponibles en matière de récupération thermique et de valorisation directe de ces thermies:

FICHE 1 : Les échangeurs de chaleur

FICHE 2 : Les régénérateurs rotatifs

FICHE 3 : Les échangeurs à caloducs

- 2) Identification et description des technologies liées à la valorisation indirecte à partir des énergies à bas niveau de température (électricité, froid, stockage, rehausse des niveaux de température):

FICHE 4 : Les cycles organiques de RANKINE (ORC)

FICHE 5 : Les machines frigorifiques à sorption

FICHE 6 : Les matériaux à changement de phase à basse température (PCM)

FICHE 7 : Les machines thermo frigorifique à éjection

FICHE 8 : Les cycles moteurs à air chaud

FICHE 9 : La conversion thermoélectrique

FICHE 10 : La turbine de TESLA

FICHE 11 : Les systèmes à effet magnétocalorique (froid magnétique)

FICHE 12 : Les pompes à chaleurs

Les différents systèmes de récupération et de valorisation des énergies fatales inventoriées sont présentés sous forme d'un tableau récapitulatif des procédés. Ce tableau constitue un outil de comparaison entre les différents systèmes en termes de : coût, performance, avantages, inconvénients, maturité, transfert d'énergie.

La quatrième partie présente trois projets faisant office de référence pour la mise en œuvre d'expériences sur les procédés de valorisation énergétique à basse température :

- La cogénération de la ville de Saint-Félicien au Canada
- Le centre énergétique de Bruce au Canada
- Kalundborg
- Projet Alter Eco

Enfin, ce rapport s'achève sur quatre études de cas qui ont pour but de réaliser une confrontation des techniques étudiées avec la réalité, démontrant qu'il existe une véritable faisabilité technique de mise en place de ces systèmes avec des installations existantes dans le domaine des déchets (UVE, moteur biogaz). Cette partie contient également une approche analytique de la viabilité économique de tels projets et souligne l'impact des subventions ou incitations financières applicables. Cette phase se divise en 4 études de cas :

Fiche N°1 : Etude de cas de la valorisation d'énergie thermique basse température sur les UVE

Fiche N°2 : Etude de cas de la valorisation d'énergie thermique basse température sur les moteurs biogaz

Fiche N°3 : Etude de cas de la valorisation en énergie électrique de l'eau chaude

Fiche N°4 : Etude de cas de la production de froid à partir de l'eau chaude

Principaux résultats et Conclusion

L'objet de la présente étude RECORD sur la récupération et valorisation des énergies à bas niveaux de températures est de démontrer le véritable intérêt de promouvoir ce type de projet et de présenter des solutions techniques fiables. En effet, ce potentiel d'énergie inexploité s'inscrit aujourd'hui comme une des solutions aux enjeux environnementaux et énergétiques actuels. L'analyse se focalise plus précisément au niveau du secteur de la valorisation énergétique des déchets (incinération, méthanisation...) qui permet une récupération d'énergie en continue et représente un potentiel important à l'échelle française.

En plus de l'impact positif sur l'efficacité énergétique de l'installation, la récupération d'énergie fatale se présente comme une substitution aux énergies fossiles consommées. Par conséquent, la mise en œuvre de projet de valorisation des énergies à bas niveaux de température constitue une véritable réponse économique à l'augmentation du coût de la facture énergétique des entreprises.

Les gisements d'énergie fatale

En ce qui concerne les gisements énergétiques disponibles au niveau des usines d'incinération, l'énergie des fumées rejetées à l'atmosphère est la plus intéressante à récupérer. En effet, l'intérêt réside en particulier sur la température élevée des fumées (comprise en 110 et 180°C) et l'importance du débit en présence. Le potentiel de récupération énergétique s'élève, en France, entre 1 et 2,3 TWh soit la consommation de près de 85 000 à 200 000 foyers en chauffage.

Il faut également évoquer l'importance du gisement d'énergie évacué aux aérocondenseurs (15,3 TWh en France, soit la consommation annuelle de 508 500 foyers en chauffage). Cependant, le faible niveau de température de la vapeur envoyée aux aérocondenseurs (50-55°C) ne permet généralement pas une valorisation aisée de la chaleur.

La quantité d'énergie contenue dans les mâchefers par formation de buées à 90°C s'avère très faible et difficile à valoriser.

Enfin, au niveau des unités de traitement des déchets dangereux, nous pouvons souligner un important potentiel de récupération de chaleur après le quench thermique en vitrification.

Dans le cadre des unités de valorisation du biogaz de décharge ou de méthanisation, la chaleur excédentaire de cogénération est une source importante d'énergie thermique qui s'élève à hauteur de 1500 GWh en France, représentant l'équivalent d'une alimentation en chauffage près de 130 000 foyers par an.

Par ailleurs, la chaleur récupérable dans le traitement des effluents méthanogènes (exemple : lixiviats à 20 – 30 °C) est difficile à exploiter.

Caractérisation des besoins des utilisateurs

Dans le domaine du secteur résidentiel et tertiaire en France, le chauffage représente plus de 60% de la consommation totale énergétique contre seulement 10% pour la production d'ECS (eau chaude sanitaire). De plus, 90% de l'énergie consommée est issue d'une ressource fossile. La gamme de température correspondant aux besoins des utilisateurs en terme de chauffage se situe entre 70 et 200°C, ce qui est donc en adéquation avec les sources basse température disponibles.

En ce qui concerne la demande de l'industrie, plusieurs process identifiés demandent un apport de chaleur à bas niveau de température.

Procédés de récupération/valorisation des énergies à bas niveau de température

Dans un premier temps de l'étude il a été nécessaire d'identifier les différents systèmes permettant de récupérer la chaleur fatale perdue.

Bien que très performant, les échangeurs à plaques et joint ont une capacité d'encrassement importante ne leur permettant pas de fonctionner avec des fluides chargés (contrairement aux échangeurs spiralés qui sont spécialement utilisés pour fonctionner avec ces fluides). Pour ce type d'échangeur, la solution consiste à élargir l'espace interplaques où circule le fluide, ce qui a pour inconvénient de diminuer les coefficients de transfert de chaleur. Les échangeurs de type batterie à ailettes (tube aileté) constituent une bonne solution pour la récupération de chaleur sur fumées.

Les échangeurs en plastique se présentent comme une bonne alternative aux problèmes de corrosion lors d'une utilisation en milieu acide, mais leur faible performance thermique et mécanique ainsi que leur gamme de fonctionnement limitée n'offre pas une bonne applicabilité dans le domaine industriel.

Il est d'intérêt également de citer les échangeurs à lit fluidisé ou à contact direct présentant de bonnes performances mais ne disposant pas d'une maturité suffisante pour pouvoir être produit de manière industrielle en série, ceux-ci sont réalisés par des bureaux d'ingénierie et au cas par cas.

Les échangeurs rotatifs sont à prendre en considération dans le cas de récupération et de transfert sur des effluents gazeux, mais leur dimension importante ainsi que la nécessité d'avoir des flux adjacents posent des problèmes d'implantation sur site (sauf dans le cas de nouveaux projets).

Enfin, bien que présentant une maturité relativement faible dans le domaine industriel de la récupération, les échangeurs à caloducs disposent de nombreux avantages tels que l'absence de point froid, une grande compacité, de bons coefficients d'échanges thermiques ainsi qu'une consommation des auxiliaires réduites au minimum.

Dans le cadre de la production d'électricité issue d'énergie à bas niveaux de température, le cycle Organique de Rankine (ORC) est la technologie la plus intéressante à mettre en place. En effet, ce procédé présente une bonne maturité, induit par une large gamme de fournisseurs disponibles sur le marché international. Néanmoins, les performances restent relativement faibles avec un rendement compris entre 8 et 17% suivant le niveau de température de la source.

La turbine TESLA, la conversion thermoélectrique ainsi que les moteurs à air chaud (Stirling et Ericsson) sont des technologies encore au stade de recherche et développement, qui disposent d'un fort potentiel mais étant encore trop jeunes pour une intégration à l'échelle industrielle.

En ce qui concerne la production de froid, les machines frigorifiques à sorption sont des systèmes dont le fonctionnement et la production sont aujourd'hui parfaitement matures et maîtrisés pour une utilisation industrielle.

Par ailleurs, l'étude expose également d'autres technologies d'intérêts potentiels encore en phase de développement et dont l'applicabilité reste actuellement difficile : matériaux à changement de phase, machine thermo-frigorifique à éjection, conversion thermoélectrique, réfrigération magnétique.

Confrontation/applicabilité : Etudes de cas

Les quatre études de cas présentées ne sont pas autoportantes et sont à considérer avec l'étude en entier. Dans ces études, il a été privilégié des technologies dont l'intégration sur site et l'applicabilité sont aisées et totalement maîtrisées. En effet, la faisabilité technique ne doit pas constituer un frein à la mise en œuvre de tels projets du point de vue de l'exploitant.

Dans le cas d'une unité de valorisation énergétique d'incinération des déchets, l'étude a été portée sur un traitement sec des fumées. Dans le cas d'un traitement des acides à la chaux, la récupération de chaleur se fera en amont du réacteur alors que lors de l'utilisation du BICAR, l'échangeur se placera plutôt en amont de la cheminée. La limite de récupération imposée par le point de rosée acide des fumées à 130°C, conduit à présenter deux hypothèses :

- Récupération de la chaleur au dessus du point de rosée acide : 180°C → 135°C
- Récupération de la chaleur en dessous du point de rosée acide : 180°C → 90°C

Dans le cadre de la seconde hypothèse, il est indispensable de prendre en compte la mise en place d'un échangeur en matière inoxydable ainsi que la modification de tous les équipements en aval de l'échangeur (ventilateur de tirage, cheminée, tuyauterie ...etc.) avec un matériau résistant à la corrosion acide. La composition de ces différents types de matériaux (aciers inoxydables, alliages de Nickel, métaux nobles) ainsi que les usages recommandés et interdits de chacun sont rappelés.

La valorisation de chaleur présente de nombreuses utilisations en interne (réchauffage air primaire, réchauffage bûche condensat) et en externe (séchage de bois ou de boues d'épuration, chauffage de locaux...etc.).

En ce qui concerne l'analyse financière d'un projet de ce type, le prix d'un échangeur est une donnée difficile à évaluer principalement en raison de la variabilité du coût d'intégration sur site. Une méthode faisant intervenir plusieurs facteurs correctifs en fonction de critères comme la pression, le matériau...etc. est néanmoins présente dans le rapport. L'impact économique et fiscal de la TGAP est également à prendre en considération.

La deuxième étude de cas présente la valorisation de chaleur au niveau d'une cogénération au biogaz. La majorité de l'énergie thermique disponible se situe dans les gaz d'échappement et dans l'eau de refroidissement du moteur. Pour une puissance électrique de 850 kW produite par le moteur, il est possible de récupérer une puissance thermique d'environ 900 kW. Afin de bénéficier de la prime à l'efficacité énergétique (sur le prix de l'électricité vendue), il est intéressant d'utiliser cette chaleur in-situ. En méthanisation, on rencontre une utilisation pour le séchage dans les digestats alors qu'en ISDND la valorisation thermique pour le traitement des lixiviats reste la solution la plus courante. En effet, l'eau chaude produite à environ 90°C permet d'alimenter un module de séchage. Cette température est également compatible avec l'usage en réseau de chaleur basse température.

L'analyse financière du projet présente plusieurs types d'économie. En premier lieu, l'économie réalisée pour le traitement de sous-produits (digestats, lixiviats). D'autre part, la prime à l'efficacité énergétique permet une augmentation du prix de vente de l'électricité.

Une troisième étude de cas développe la possibilité d'une valorisation en énergie électrique de l'eau chaude/surchauffée récupérée. La technologie à privilégier est l'utilisation d'un turbogénérateur ORC. En effet, l'offre des fournisseurs permet de couvrir une large gamme de température et de puissance tout en étant relativement peu complexe.

L'étude d'un projet ORC demande la prise en compte de plusieurs éléments :

- la courbe de charge du système et sa capacité de fonctionnement minimale sans se mettre en arrêt
- l'importance de la surface à prévoir notamment pour les aéroréfrigérants

Au niveau administratif et réglementaire (ICPE), la mise en œuvre d'un module ORC ne nécessite pas de demande de déclaration. La rédaction d'une notice d'impact et de danger semble suffisante pour l'administration.

En ce qui concerne la viabilité économique d'un tel projet, il est intéressant de privilégier un usage en autoconsommation dans le cadre d'une UVE.

Dans le cadre d'une production de froid issue de chaleur fatale, l'implantation d'une machine à absorption double effet est la plus adaptée à une récupération sur les fumées. Ce dispositif permet une production d'énergie frigorifique correspondant à 50% du flux de chaleur primaire valorisé.

Conclusion des études de cas

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) de froid et enfin (3) d'électricité. Les études de cas montrent un réel potentiel de réalisation à court terme de ces solutions.

Cette étude met en exergue la faisabilité de mise en œuvre de ces techniques dans le domaine de la valorisation énergétique des déchets et plus globalement dans le monde industriel. Dans le contexte politique, économique et environnemental actuel et dans une société de consommation avec des besoins énergétique toujours plus grands, on peut espérer que les actuelles incitations fiscales et réglementaires des gouvernements ainsi qu'une prise de conscience générale permettront aux différents acteurs des domaines concernés de mettre en place ce type de solution dans les phases de conception ou d'optimisation des projets futurs.

CONTEXT

France industry consumes about 300 TWh of combustibles, 46% natural gas, 30% fuel oil, 14% coal, 8% biomass and 2% for the rest but also rejects as gas and liquid, a significant amount of energy. In the processes, energy losses are estimated at just over 13%. It indicates that the possible deposit/bearing/sources of thermal energy recovery from the "low temperatures rejection" is estimated at more than 40 TWh of fuels, including liquids rejections from 25 to 200 ° C and of gaseous rejections from 70 to 200 ° C.

Waste heat at low temperature or fatal heat constitutes heat energy that can be recovered at several levels of an industrial process. It is therefore the heat produced by processes whose primary objective is not the production of heat. Furthermore, this one can be recovered and valorized and so energy recovery at low temperature level can be a great part of improving energy efficiency of our industrial processes.

In the field of the valorization of waste energy, its utilization at low temperature can be answer at the commitments of the Grenelle Environment. This valorization can be use to achieve - in incineration plants or storage facilities - the energy efficiency ratio for the dejection of the TGAP (General Tax on polluting Activities) or optimize the "global cost" operating of units by offering a source of economy in the self-consumption of the site or sale recipe of energy to proximity consumers (greenhouses, district heating, or cooling ...).

The main energy challenge in the near coming years is the reducing of energy consumption, particularly in housing and tertiary building sector which represents 44% of final energy consumption in France.

The recovery of waste heat at low temperature is one possible answer to energy needs in the housing and tertiary building sector, notably for heating and the air conditioning as there is a consistency of the level of temperature ($T < 100$ ° C).

This study focuses on all these considerations for the recovery and valorization of energy at low temperature applied to the processes of waste energy valorization.

OBJECTIVES AND PLAN OF STUDY

The objective of this study aims to achieve a state of the art about recovery processes and valorization of energies at low temperature levels. This fatal energy recovery is particularly suitable for the energetic valorization from waste and biomass, which is the main target application of this study.

The first phase of this study consists to locate and identify the different sources of available heat energy at lows temperature levels, taking as reference the sectors such as incineration and anaerobic digestion/methanization. The identification of these different sources allows us to define its characteristics in terms of energetic potential and of his temperature level.

The second part of the report focuses on the needs assessment and the end-users which could consume this energy. The goal is to determine the demands of different sectors, taking into consideration the desired temperature range, the distance between the source and the use, the possibilities of self-consumption ... etc.

This work enables to demonstrate the potential of energy at low temperature levels and to qualify the link between consumer needs and characteristics of available sources

The third stage of the study allows us to list the whole available technologies for the recovery and valorization of these energy at lows temperature levels. Data coming from industrial solutions, from industrial demonstrator and from laboratory work helped to the realization of several descriptive notices from these different technologies. They are organizing themselves as follows:

1) Identification, description of available processes for heat recovery and direct valorization of these calories:

SHEET 1: Heat exchangers

SHEET 2: rotary regenerators

SHEET 3: The heat pipe heat exchangers

2) Identification, description of technologies related to indirect valorization from energy at lows temperature levels (electricity, cold, heat storage, increase of temperature levels):

SHEET 4: Organic Rankine Cycle (ORC)

SHEET 5: The sorption refrigeration machines

SHEET 6: The phase change materials at low temperatures (PCM)

SHEET 7: Thermo-ejector refrigeration machine

SHEET 8: Cycles hot air engines

SHEET 9: The thermoelectric conversion

SHEET 10: The Tesla turbine

SHEET 11: Systems to magneto-caloric effect (magnetic refrigeration)

SHEET 12: Heat pumps

This inventory of different valorization and recovery systems for fatal energy was used to develop a summary table of processes mentioned. This table constitutes a comparison tool between different systems on the following points: cost, performance, advantages, drawbacks, maturity and energy transfer.

The fourth part details three projects taken as a reference in the field of energy recovery at low temperature for implementation of experience in processes:

- Cogeneration of the city of Saint-Félicien in Canada
- Bruce's Energetic Center in Canada
- Kalundborg
- Alter Eco Project

Finally, this report concludes with four case studies that aim to make a comparison of real techniques studied, demonstrating that it exist a true technical feasibility of setting up these systems with existing facilities in the field of waste (UVE (Energetic Valorization Unit), biogas engine).

Moreover, this part also contains an analytical approach of the economic viability of such projects and highlights the impact of subsidies or financial incentives applicable. This phase is divided into four case studies:

SHEET 1: Case study of thermal energies valorization at low temperature on UVE

SHEET 2: Case study of thermal energies valorization at low temperature on biogas engines

SHEET 3: Case study of the valorization in electrical energy of hot water

SHEET 4: Case Study of the production of cold with hot water

MAIN RESULTS AND CONCLUSIONS

The object of this RECORD study on the recovery and valorization of energies at lows temperature levels is to demonstrate the true interest to promote this type of project and to present reliable technical solutions. Indeed, this untapped potential of power emerging as one solution to the current challenge which are the environment degradation and the energy crisis. The analysis focuses especially on the sector of waste energy valorization (incineration, methanization ...) which allows an energy recovery in continues and represents a significant potential at French scale.

In addition to the positive impact on energy efficiency of the plant, fatal energy recovery is presented as a substitution to the fossil fuels consumed. Therefore, the implementation of energy recovery projects at a lows temperature levels is a real economic answer to the rising cost of energetic bills for businesses.

The fatal energy reserve/deposit

Regarding the available energy deposit at incineration plants levels, the energy of fumes rejected into the atmosphere is the most interesting to recover. Indeed, the interest resides in particular on the high temperature of the fumes (comprised between of 110°C and 180°C) and the importance of his massic flow. The potential of energy recovery in France reaches to 1 at 2.3 TWh, that represent consumption of nearly 85 000 to 200 000 households in heating.

It should be mentioned the importance of the energy source evacuated at aero-condensers (15.3 TWh in France, the annual consumption of 508,500 households in heating). However, in general, low temperature levels of the steam sent to the aero-condensers (50-55 ° C) does not allow an easy recovery from heat.

Furthermore, the amount of energy contained in the clinkers (bottom ash) and REFIOM by formation of mist at 90 °C, appears very low and difficult to valorize.

Finally, at the units level of hazardous waste treatment, we can highlight significant potential of heat recovery after the thermal Quench into vitrification.

As part of the valorization units of the discharge biogas or methanization, the excess cogeneration heat is an important source of thermal energy which rises up to 1500 GWh in France, which represents an heating supply of about 130,000 homes per year.

Moreover, the recoverable heat in the methanogens effluent treatment (eg: leachate from 20°C to 30°C) is difficult to exploit.

Characterization of user needs

In the field of housing and tertiary building sectors in France, heating accounts for over 60% of total energetic consumption against only 10% for DHW (Domestic hot water) heating. Furthermore, 90% of the energy consumed comes from a fossil resource. The temperature range corresponding to end-user heating needs is between 70 and 200 ° C, is corresponding with the available sources at lows temperature levels.

Regarding the request of industry, identified several processes require a supply of heat at low temperature.

Processes of recovery and Valorization of energies at low temperature

Firstly for this study it is necessary to identify the different systems allow to recover fatal heat usually lost.

Although highly efficient, the heat exchangers of plates and gaskets type have an important fouling capacity which not allows them to work with laden fluids (unlike spiral heat exchanger which is especially use in this application). In order to reduce the impact of fouling in this type of heat exchanger, the solution consists to widen the space between two plates (spacing of inter-plate) where the heat transfer fluid circulates, this solution has the drawback of reducing the heat transfer coefficients. The finned tube heat exchangers are a good solution for recovering heat from flue gases.

The plastic Heat Exchangers are a good alternative to corrosion problems when used in acidic medium, but their low thermal properties and mechanical performance as well as their limited range of operation does not offer a good applicability in the industrial field.

It also should be mentioned the interest of fluidized bed heat exchangers or direct contact heat exchangers which present good performances but don't have a sufficient maturity to be industrially produced in series, these are realize by engineering companies and in by-case basis.

The rotary heat exchangers are to be considered in the case of heat recovery and his restitution for gases, but their size and the need to add important problems posed from settlements on the site.

Finally, although a leak of maturity is in the industrial field of recovery, the heat pipe heat exchangers have many advantages such as no cold spot, a good compactness, high level of heat exchange coefficients and minimized auxiliary consumption.

As part of the electricity production from energy at lows temperature levels, the Organic Rankine Cycle (ORC) is the most interesting technology to implement. Indeed, this method has a good maturity, induced by a wide range of providers available on the international market. We'll highlight that still relatively low performance with a yield between 8 and 17% depending on the temperature level of the source.

The Tesla turbine, the thermoelectric conversion and the hot air engines (Stirling and Ericsson) are technologies still at research and development stage, with a great potential but are still not mature enough to an integration on an industrial scale.

Regarding the production of cold, sorption chillers are systems whose operation and production is today perfectly mature and mastered for industrial use.

Moreover, the study also outlines other available interest technologies but still in development and whose applicability is currently difficult which are the phase change materials, the thermo-ejector refrigeration machine, the thermoelectric conversion and magnetic refrigeration.

Confrontation / applicability: Case Studies

The four case studies presented are not self-supporting and are considered with the entire study. These studies focused on technologies whose on-site integration and applicability are easy and totally controlled. Indeed, the technical feasibility should not hamper to the implementation of such projects in point of view of the operator.

In the case of a energetic valorization unit from waste incineration, our study has been carried on a dry treatment of fumes. In the case of lime treatment, the heat recovery will be upstream of the reactor whereas for the use of BICAR (sodium bicarbonate), the exchanger is placed upstream of the chimney. The recovery limit imposed by the dew acid point of fumes which is at 130 ° C, led us to present two hypotheses:

- Heat recovery above the acid dew point: 180 ° C → 135 ° C
- Heat recovery below the acid dew point: 180 ° C → 90 ° C

In case of the second hypothesis, it is essential to consider the implementation of a heat exchanger in stainless and modification of all equipment downstream of the exchanger (exhaust fan, chimney, piping ... etc. .) with a material resistant to acid corrosion. The composition of these different types of materials (stainless steels, nickel alloys, noble metals) and the recommended and banned uses of each are reminded.

Heat Valorization presents many internal uses (primary air heating, condensate tank heating) and externally (wood drying or sludge, space heating ... etc.).

Regarding the financial analysis of this type of project, the price of heat exchanger is a difficult data to assess principally in reason of the variability of the cost of on-site integration. Nevertheless, one method is presented in this report and involves several correction factors based on criteria such as pressure, material type ... etc. The economic impact of the TGAP is equally has take into consideration.

The second case study presents the heat valorization at level of a biogas cogeneration. In this system, the majority of the available thermal energy is located in the exhaust gases and in the cooling water of the engine. In fact, for an electric power of 850 kilowatts produced by the engine, it is possible to recover a thermal power of about 900 kW. In order to qualify for the premium of energy efficiency (on the price of electricity sold), it is interesting to use this heat in-situ. We can mention for example a use for drying in the digestates, but the thermal treatment for leachates in ISDND (Storage facilities of non-hazardous waste) remains the most common solution. Indeed, the hot water produced at about 90 ° C provides power to a drying module. This temperature is also consistent with use in heat network at low temperature.

The financial analysis of the project presents several types of economy. First, the savings for the treatment of leachate in WWTP (Wastewater treatment plant). On the other hand, the energy efficiency premium can permit to increase the selling price of electricity.

A third case study develops the possibility of valorization in electricity from hot recovered water / overheating water. The technology to privilege is the use of an ORC turbo-generator. Indeed, the offer from suppliers can cover a wide temperature range and power, while being rather uncomplicated.

The study of an ORC project requests to take into account several elements:

- The load curve of the system and its minimal operating ability without putting in stop
- The wide surface to provide in particular for cooling towers/ aero-refrigerants

At Administrative and regulatory level (ICPE=Classified Installation for environmental protection), the implementation of an ORC module requires no application for an administrative declaration. The Writing of an impact statement and danger seems quite well for the administration.

Regarding the economic viability for such a project, it is interesting to privilege a self-consumption as part of an UVE (Energetic valorization Unit).

As part of a production of cold from the fatal heat use, the implementation of a double effect absorption chiller is the most suitable for recovery on the fumes. This device allows a refrigerator energy production corresponding to 50% of the primary heat quantity valorized.

Case studies conclusions

The study shows that technical and economic relevance of a solution starts by looking for the energy recovery and valorization at low temperature (1) heat, (2) cold and (3) of electricity. The case studies show a real potential for short-terms realization of these solutions.

This study highlights the feasibility of implementing these techniques in the field of energy valorization and more generally in the industrial field. In the current policies, economic and environmental context and in consumer society with increasing energy needs, it would be welcome that the current government incentives taxes and regulation, as well as a general awareness will enable the various actors of the relevant fields implement this type of solution in the design phases or optimization of future projects.