

# Contribution à l'étude des principaux aspects de la valorisation des rejets thermiques industriels : application dans le secteur agricole

Rim BEN JABEUR<sup>#1</sup>, Ali FGUIRI<sup>#</sup>, Mohamed-Razzak JEDAY<sup>#</sup>, Hassen CHEKIR<sup>\*</sup>

*# Université de Gabès – Ecole Nationale d'Ingénieurs de Gabès  
Unité de recherche « Energétique & Environnement » (UR/11/ES/81)  
Rue Omar Ibn El Khattab – 6029 Gabès – Tunisie.  
<sup>1</sup>benjabeur\_rim@yahoo.fr*

*\*Groupe Chimique Tunisien à Gabès  
B.P:72 - 6000 Gabès – Tunisie.*

**Résumé** — Ce travail concerne l'étude des principaux aspects de la valorisation des rejets thermiques industriels, et plus particulièrement leurs possibilités d'exploitation dans le secteur agricole. Nous présentons brièvement les modes de classification et les moyens d'identification des rejets thermiques industriels.

Nous y détaillons un cas concret - choisi arbitrairement - relatif à l'unité « utilités » de l'usine de Di-Ammonium Phosphate (DAP) du Groupe Chimique Tunisien à Gabès, basé essentiellement sur l'audit énergétique de l'unité concernée. Les résultats obtenus montrent que les rejets thermiques correspondants représentent un potentiel énergétique de l'ordre de 197 MW à des températures comprises entre 37 °C et 276 °C, sachant que la part la plus importante se trouve au niveau des eaux de mer de refroidissement. Nous y examinons également les aspects et les opportunités d'une application concrète de valorisation d'une partie de ces rejets thermiques dans l'agriculture sous serres.

**Mots clés** — *Rejets thermiques, Classification, Identification, Valorisation, Agriculture sous serres.*

## I. INTRODUCTION

Généralement, une unité industrielle est formée d'une succession des chaînes de production dont elle est alimentée par des matières premières sous différentes formes (gaz, liquide, solide). La transformation de ces matières premières par un ou plusieurs processus, accompagnée d'une consommation d'énergie (thermique, électrique, mécanique,...), conduit à des nouveaux produits (produits finis) et à une certaine quantité de rejets (sous produits) sous différentes formes (solides, liquides et gazeux), à différentes compositions et températures comme le montre la figure 1 [1].

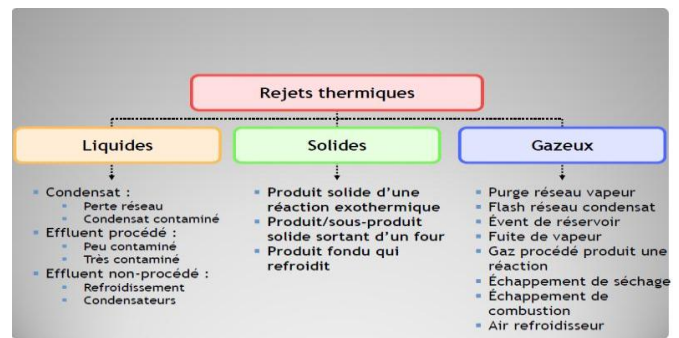


Fig 1. Aperçu sur les différents rejets thermiques industriels [1].

En effet, les rejets thermiques peuvent être définis comme étant les chaleurs produites dans un processus de transformation chimique dissipées dans l'environnement sans être réutilisées pour des fins utiles et économiques [2]. Cependant, ces rejets diffèrent généralement par leurs compositions en polluants et par leurs niveaux de température.

Très souvent, les rejets thermiques peuvent être classés selon la température en trois grandes classes : les rejets à hautes températures ( $\geq 650^{\circ}\text{C}$ ), les rejets à moyennes températures ( $232^{\circ}\text{C} < T < 650^{\circ}\text{C}$ ) et les rejets à basses températures ( $< 50^{\circ}\text{C}$ ) [3, 4].

Dans ce travail limité aux rejets liquides qui sont habituellement canalisés vers une étendue d'eau (rivière, mer, lac, ...) provoquant ainsi leur pollution thermique. Afin d'éviter cet impact, les contenus énergétiques des rejets liquides peuvent être récupérés et réutilisés dans différentes applications internes au sein de la même usine [5] telles que pour le dessalement de l'eau, le séchage de l'air ambiant ou dans des applications externes telles que le chauffage des bâtiments [6], l'aquaculture [7, 8, 9] et l'agriculture [8, 9, 10, 11].

Nous présentons ci-après un exemple concret d'identification des rejets thermiques de l'unité « utilités » de l'usine « Di-Ammonium Phosphate (DAP) » du Groupe Chimique Tunisien à Gabès suivie de l'examen des opportunités de valorisation d'une partie de ces rejets dans les serres agricoles.

## II. PRESENTATION DE L'UNITE ETUDIEE

Le flowsheet de l'unité « utilités » examinée est représenté sur la figure 2. Elle assure les besoins en énergie électrique, air comprimé, eaux industrielles et eaux d'alimentation de l'usine « Di-Ammonium Phosphate (DAP) » [12].

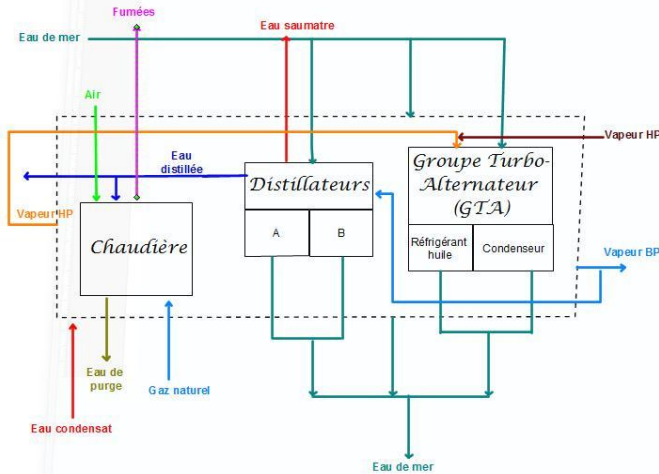


Fig 2. Schéma de principe de l'unité « utilités » de l'usine DAP [12].

## III. ETUDE ENERGETIQUE DE L'UNITE « UTILITES »

Nous rappelons ci-après les formules utilisées pour le calcul des contenus énergétiques des principaux flux d'entrée et de sortie de l'unité « utilités » :

Flux de matière (sans changement de phase):

$$Q = \dot{m} \times C_p \times T \quad (1)$$

Vapeur :

$$Q = \dot{m} \times \Delta H_v \quad (2)$$

Combustible :

$$Q = \dot{m} \times PCI \quad (3)$$

Energie électrique :

$$E = I \times U \times \sqrt{3} \times \cos \varphi \quad (4)$$

Dans ces expressions :

**Q** : Flux d'énergie thermique associée au flux de matière (W).

**$\dot{m}$**  : Débit du flux de matière (kg/s pour les solides et liquides ou Nm<sup>3</sup>/s pour les gaz).

**C<sub>p</sub>** : Capacité thermique massique (kJ/kg. °C).

**T** : Température du flux de matière (°C).

**$\Delta H_v$**  : Enthalpie de vaporisation (kJ/kg).

**PCI** : Pouvoir Calorifique Inférieur du combustible (kJ/ Nm<sup>3</sup>).

**E** : Energie électrique (W).

**I** : Intensité de courant (A).

**U** : Tension de courant (V).

**cos  $\varphi$**  : Facteur de qualité égale à 0,85.

L'expression générale de calcul des pertes thermiques partielle/totale (**P<sub>th</sub>**), déduite à partir des bilans de matière et d'énergie est la suivante :

$$P_{th} = \sum_{i=1}^i Q_e - \sum_{j=1}^j Q_s \quad (5)$$

Q<sub>e</sub> et Q<sub>s</sub> représentent respectivement les quantités d'énergie à l'entrée et à la sortie du système étudié.

Notons que dans l'établissement des bilans de matière et d'énergie, nous avons tenu compte des hypothèses suivantes :

- L'unité fonctionne en régime permanent.
- Les valeurs des capacités calorifiques des flux de matière sont constantes dans leurs domaines de température.
- La valeur moyenne du pouvoir calorifique inférieur du combustible utilisé est égale à 9496 Kcal/Nm<sup>3</sup> [12].
- Les valeurs moyennes de la température et de la pression de l'environnement sont respectivement 25 °C et 1bar.

Les valeurs des principaux paramètres opératoires d'entrée et de sortie sont, soit mesurées sur site, soit estimées par calcul. Elles sont regroupées dans le tableau 1.

## IV. RESULTATS ET DISCUSSION

Les résultats du bilan énergétique de l'installation sont donnés dans le tableau 2. La répartition des contenus énergétiques des rejets est représentée dans la figure 3.

L'examen de ces résultats nous permet de faire les remarques suivantes :

- Les pertes énergétiques totales de l'unité « utilités » sont de l'ordre de 5,89 MW, ce qui correspond à environ 1,46 % de la somme des contenus énergétiques sortantes.

- L'eau de mer de refroidissement possède le contenu énergétique le plus élevé par rapport aux autres rejets thermiques de l'unité « utilités ». Par contre les fumées représentent une part plus faible dans les pertes thermiques mais elles sont rejetées à un niveau thermique élevé à environ 170 °C.

- Malgré leurs niveaux thermiques intéressants, de point de vue qualité, les eaux saumâtres sont trop salines et les eaux de purge contiennent des éléments minéraux pouvant entraîner des gros problèmes de fonctionnement liés à la corrosion des équipements : ce qui limite leurs possibilités d'exploitation.

TABLEAU 1  
 VALEURS DES PRINCIPAUX PARAMETRES OPERATOIRES DE L'UNITE  
 « UTILITES » [12].

Flux	Débit (t/h)		Température (°C)	
	Entrée	Sortie	Entrée	Sortie
Eau de mer	4460	4300	27.5	37.5
Eau saumâtre	----	120	----	45
Eau de purge	----	3	----	276
Eau alimentaire	----	174	----	120
Eau distillée	----	25	----	25
Gaz naturel	2.04		25	
Air	69.77	34.88	25	65
Condensat	144		----	
Vapeur	35		----	190
Vapeur BP	48	148	180	180
Vapeur MP	----	2	----	220
Vapeur HP	160	48	410	410
Fumées	----	37.87	----	180

#### V. CAS CONCRETS DE VALORISATION DES REJETS THERMIQUES

L'analyse bibliographique de la valorisation des rejets thermiques industriels dégage plusieurs possibilités d'application telles que le chauffage des flux intermédiaires, la production de la vapeur, le chauffage des bâtiments, la pisciculture, le chauffage des serres agricoles, etc [6, 7, 8, 9, 10, 11]. En effet, cette dernière voie de valorisation est actuellement très utilisée au Canada, en Suisse et en France comme le montre le tableau 3.

TABLEAU 2  
 VALEURS DES CONTENUS ENERGETIQUES DES GRANDEURS D'ENTREE ET DE  
 SORTIE DE L'UNITE « UTILITES » [12,13,14,15].

Flux	Contenu énergétique (MW)	
	Entrée	Sortie
Eau de mer	140.36	183.85
Eau saumâtre	----	5.85
Eau de purge	----	2.32
Eau alimentaire	----	24.24
Eau distillée	----	0.72
Gaz naturel	26.46	
Air	5.85	3.31
Condensat	20.15	----
Vapeur	27.25	----
Vapeur BP	37.37	115.22
Vapeur MP	----	1.55
Vapeur HP	142.38	42.71
Fumées	----	1.69
Electricité	1.2	13.67
<b>Total</b>	<b>401.02</b>	<b>395.13</b>

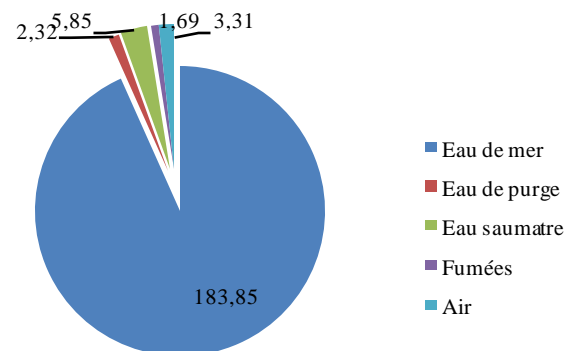


Fig 3. Répartition des contenus énergétiques des rejets thermiques de l'unité « utilités ».

TABEAU 3

EXEMPLES CONCRETS D'UTILISATION DES REJETS THERMIQUES INDUSTRIELS  
 POUR LE CHAUFFAGE DES SERRES AGRICOLES [7, 11, 16].

Pays	Site industriel	Caractéristiques
Canada	Cartonnerie Smurfit-Stone	Superficie des serres : 4000 m <sup>2</sup> . Type de production : Tomate biologique.
France	Centrale nucléaire EDF à Avoine Chinon	Superficie des serres : 6 ha. Type de production : Plantes en pots.
Suisse	Centrale électrique de SATOM	Superficie des serres : 4 ha. Type de production : Concombre.

On se limite dans ce paragraphe à la présentation des opportunités de l'utilisation des rejets thermiques industriels à basses températures pour un projet de chauffage des serres agricoles. Il s'agit en effet d'utiliser une partie du contenu énergétique de l'eau de mer de refroidissement, issue de l'unité « utilités » étudiée et dont les principales caractéristiques sont données ci-après :

- Débit : 4300 t/h.
- Température du rejet : 37,5°C.
- PH du rejet : 7,89.

Ceci pourra assurer aisément le chauffage de plusieurs serres agricoles d'une superficie utile de l'ordre de plusieurs dizaines d'hectares. Il est possible également d'utiliser des quantités faibles d'eau distillée produite par l'unité elle-même (environ 0.66 % de la production journalière en eau distillée) pour l'irrigation des plantes.

De même, il est actuellement d'usage d'injecter dans les serres agricoles, une partie du CO<sub>2</sub> rejeté par la chaudière auxiliaire pour accélérer le phénomène de photosynthèse des plantes, sachant que l'unité étudiée produit environ 2760 Nm<sup>3</sup>/h de CO<sub>2</sub>. Ceci contribuera sans doute à la réduction des effets négatifs de Gaz à Effet de Serre sur l'environnement.

A titre d'illustration, nous donnons dans la figure 4 le schéma de principe de la prémaquette du projet de la serre agricole envisagée opérant avec les rejets thermiques de l'unité « utilités » de l'usine « DAP » du Groupe Chimique Tunisien à Gabès.

Notons également que ce type de projet a des importantes retombées socio-économiques tels que le développement de l'activité agricole dans les zones industrielles, la réduction de la pollution, la contribution à la préservation des ressources hydriques et la création de l'emploi et la limitation de l'exode rural.

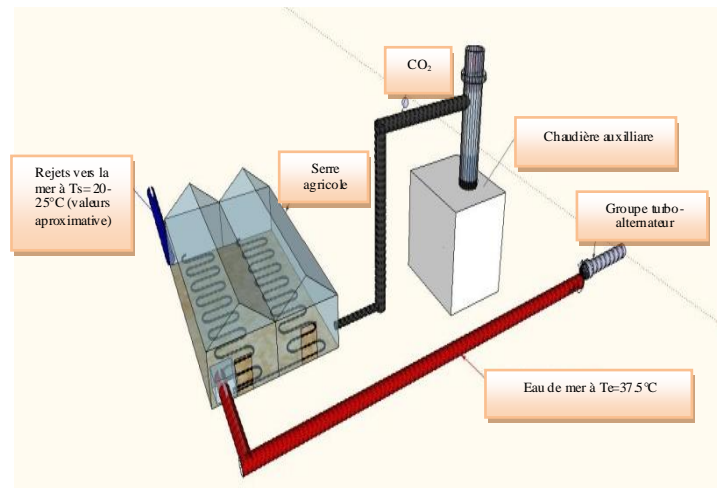


Fig 4. Prémaquette de la serre agricole à installer à proximité de l'unité « utilités ».

## VI. REFERENCES

- [1] Eric le couédic, Les rejets thermiques industriels: état des lieux et pistes d'exploitation, Congrès de l'AQME , Rivière-Du-Loup, Mai 2013 (<http://www.aqme.org/>).
- [2] Matthias Bendig, François Maréchal, Daniel Favrat, "Definition « Waste Heat » for industrial processes", Applied Thermal Engineering (2013),1-9 .
- [3] S.Sayed, "Solid and liquid waste management", Emirates Journal for Engineering Research 11(2),19-36(2006).
- [4] Série de la gestion de l'énergie,"récupération de la chaleur perdue", énergie, mines et ressources Canada, (<http://www.exergia.fr/>).
- [5] O.M.AI-Rabghi, M.Beiruty , M.Akyurt , Y.Najjar and T.ALP, "Review paper: Recovery and utilization of waste heat", Heat Recovery System & CHP vol.13, No.5, pp.463-470,1993.
- [6] William Van Sprolant, Recyclage massif de rejets industriels de chaleur par le procédé Corsaire, CvS énergies sarl, ([www.solar-club.web.cern.ch/solar-club/Doc](http://www.solar-club.web.cern.ch/solar-club/Doc))
- [7] G.Merle,"Utilisations des rejets d'eaux tièdes des centrales thermiques en aquaculture ", Hydroécol.Appl.(1991) 1, pp. 1-26.
- [8] INNOVOGRO consultant, "Potentiel énergétique des rejets thermiques industriels au Québec", Aout 2010 (<http://www.mamrot.gouv.qc.ca/>) .
- [9] Commission des Communautés européennes, "Valorisation des rejets thermiques des centrales électriques dans la communauté européenne", tome I: synthèse, tome II: études de cas, projet de démonstration, rapport final (1988) .
- [10] CLD Beauharnois, Saladerry André Gosselin, "Valorisation des rejets thermiques et du CO<sub>2</sub> de la centrale du Suroit d'Hydro-Québec", Avril (2004) (<http://www.mddep.gouv.qc.ca/>).
- [11] Pierre Dubesset,"Une retombée agricole du nucléaire rhodanien: les serres chauffées", Revue de géographie de Lyon Vol. 62 (1987), pp. 193-217 (<http://www.persee.fr/>).
- [12] Manuel opératoire du Groupe Chimique Tunisien à Gabès
- [13] R.H.PERRY . DON.W. GREEN , "Perry's chemical engineer's handbook",THE Mc Graw-HILL COMPANIES. ING, 1999 SEVENTH EDITION
- [14] Carl L,Yaws,Xiaoyan Lin,LiBu Sachin Nijhawan DeepaR.Balungi and Saumya Tripathi Lamar University,Beaumont,Texas, "Chemical properties handbook",chapitre 2 ,page 30.
- [15] Office d'arboriculture et de culture maraîchère, Département de l'économie, de l'énergie et du territoire - Service de l'agriculture. Chauffage de serres avec la SATOM, Etude de faisabilité. (<https://www.vs.ch>).