

La formation de conseillers en maîtrise d'énergie et protection de l'environnement à l'université de Batna: Exemple d'un audit énergétique dans le secteur des matériaux de construction

C. Hamouda^{1*}, A. Benamira² et A. Malek³

¹ Unité de Recherche, Université Hadj Lakhdar,
Rue Chahid M. El. Hadi Boukhrouf, Batna

² Subdivision Diagnostic Machines, Sonelgaz Production Electricité, Jijel

³ Division Energie Solaire Photovoltaïque, Centre de Développement des Energies Renouvelables,
B.P. 62, Route de l'Observatoire, Bouzaréah, Alger

(reçu le 10 Février 2007 – accepté le 25 Juin 2007)

Résumé – L'Université de Batna, en collaboration avec la Sonelgaz, l'Université Technique 'TU' Berlin et la GTZ, a formé durant la période 1999 - 2006, 108 conseillers en Maîtrise d'Energie et Protection de l'Environnement. Dans cet article, nous présentons les objectifs et le contenu de ce programme de formation. Il sera également présenté les résultats partiels du bilan de cette formation, qui seront illustrés par la description du déroulement d'un audit énergétique en milieu industriel. Le secteur ciblé est celui des matériaux de construction, unité liège de Jijel. Ce choix est motivé par l'importance des produits isolants, utilisés dans la réduction des consommations d'énergie et des émissions des polluants dans le secteur de l'habitat et de la construction. L'audit énergétique permet d'identifier le potentiel d'économie d'énergie et également de proposer l'utilisation des énergies renouvelables comme solutions de substitution aux systèmes énergétiques moins efficaces.

Abstract: The University of Batna in collaboration with the Sonelgaz, the T.U Berlin and the GTZ, has formed during the period 1999 - 2006, 108 advisers in Energy Management and Environmental Protection. In this article, we present the objectives and the contents of the training programs. The results partial of the assessment of this formation will be also presented, which will be illustrated by the description of the unfolding of one Energy Audit in industrial circle. The targeted sector is that of building materials, Unit Cork of Jijel. This choice is justified by the importance of the insulating products, used in the reduction of consumption of energy and the emissions of the pollutants in the sector of the habitat and construction. The energy audit makes it possible to identify the potential of energy saving and also to proposes the use of renewable energies as solutions of substitution for the less effective energy systems.

Mots clés: Maîtrise d'énergie – Formation - Audit énergétique – Potentiel d'énergies renouvelables - Coûts spécifiques et émissions CO₂.

1. INTRODUCTION

Les ressources énergétiques d'origine fossiles, non renouvelables, en Algérie, et leur exploitation représentent 40 % du PIB national et 98 % des exportations. Afin de préserver et de gérer de manière rationnelle ces ressources, le gouvernement algérien a adopté une loi sur la maîtrise de l'énergie [1], dont l'objectif visé est de rationaliser l'usage de l'énergie à la production, à la transformation et à la consommation finale. L'amélioration du cadre de vie, par l'introduction de normes d'efficacité énergétique, particulièrement dans le bâtiment et la protection de l'environnement sont autant d'éléments de la mise en œuvre de cette loi. Les secteurs ciblés sont: l'industrie, les transports, le résidentiel et le tertiaire. Cette loi permettra non seulement l'économie de l'énergie, et elle a aussi pour but de préserver les ressources et les

* hamoudachaabane@yahoo.fr

réserves nationales en hydrocarbures. Elle vise également à initier des actions pour la recherche, le développement et l'utilisation des énergies renouvelables (solaire, éolien, hydraulique et biomasse).

La mise en pratique de cette loi n'est pas seulement une question de rénovation des installations ou de l'introduction de nouvelles techniques de régulation. C'est surtout une prise de conscience grâce à un comportement responsable, dans l'utilisation de l'énergie, sous forme d'électricité ou de chaleur. Dans la plupart des cas, le personnel dirigeant est disposé à adopter une attitude responsable, quant à l'utilisation rationnelle de l'énergie. Cependant, pour élaborer et appliquer une stratégie, il faut disposer d'un savoir-faire et de suffisamment de données et d'informations sur la dimension 'énergie et réduction des coûts', combler le déficit en connaissances sur les nouvelles techniques dans le domaine cité et enfin prévoir des mécanismes de financement pour les investissements à entreprendre qui dépassent, dans certains cas, les moyens financiers des entreprises. Afin de répondre à ce besoin, l'Université de Batna, dans le cadre de la coopération technique algéro-allemande, en collaboration avec la Technische Universität 'TU' de Berlin et la GTZ[†], a initié un programme de formation continue dans le domaine, au profit du secteur industriel.

Le groupe Sonelgaz, représenté par la Direction des Ressources Humaines et l'Université de Batna, représenté par la Faculté des Sciences de l'Ingénieur ont conjointement, au moyen d'une convention pluriannuelle, signée en 1999, lancé et géré avec une grande efficacité, le premier programme de formation de Conseillers en Maîtrise d'Énergie et Protection de l'Environnement. Ce programme qui, en plus des enseignants-chercheurs des différentes spécialités de l'Université, a mobilisé, entre autres des cadres du groupe Sonelgaz, du CDER et des secteurs bancaires et industriels. Sur la période de Janvier 1999 à Décembre 2006, 108 ingénieurs et cadres, des différentes structures de la Sonelgaz ont suivi cette formation. Les audits énergétiques réalisés, au total 75, et effectués par les candidats à cette formation, ont eu lieu dans plusieurs secteurs de l'industrie et des services (Fig. 1). Ainsi, le secteur de l'agroalimentaire (semouleries, laiteries et limonadières), avec 18 audits et celui des matériaux de construction (cimenterie, briqueteries, unités d'agrégats et matériaux isolants) avec également 18 audits réalisés, représentent 48 % de l'ensemble des 75 audits.

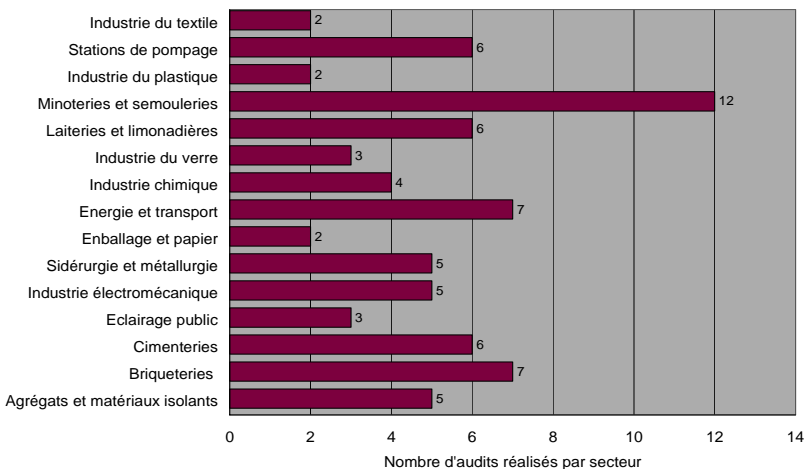


Fig. 1: Audits réalisés par secteur d'activité sur la période 1999-2006

Les informations contenues dans les rapports de ces audits énergétiques, constituent une banque de données appréciable sur le potentiel d'économie d'énergie, que recèlent les secteurs de

[†] Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH

l'industrie et des services. Dans la conduite d'un audit énergétique, l'analyse des procédés de production, est essentielle. Cette étape renseigne sur les divers procédés et technologies utilisés dans l'utilisation de l'énergie. A titre d'exemple, dans l'industrie agroalimentaire, les cycles de production de vapeur et d'eau glacée, utilisent l'électricité et le gaz naturel comme sources d'énergie, et compte tenu des températures relativement basses utilisées, des solutions appropriées de substitution, utilisant les énergies renouvelables, notamment l'énergie solaire thermique, peuvent aisément être appliquées.

2. LA FORMATION DE CONSEILLERS EN MAÎTRISE D'ÉNERGIE ET PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

2.1 Objectifs

Il arrive fréquemment de constater qu'au cours de la formation de l'ingénieur, les questions d'ordre économique, de planification, de gestion et de réalisation d'un projet sont très peu traitées. Cela présente un handicap pour les entreprises qui souhaitent disposer d'ingénieurs opérationnels. Dans la vie professionnelle, l'ingénieur participe à la planification de projets d'alimentation en énergie. Durant ce travail, il est non seulement confronté aux problèmes de choix des techniques, des équipements industriels, mais aussi aux divers problèmes de planification, de financement et d'évaluation des activités du projet.

La Formation en Maîtrise d'Énergie (**FME**) présente l'avantage, par le contenu de son programme, d'être à la fois complémentaire à la formation universitaire et spécifique aux traitements des problèmes du domaine d'énergie et de l'environnement. L'objectif visé est de former des cadres ayant une vue globale sur le domaine d'énergie et disposant de suffisamment de connaissances pour procéder à des travaux d'analyse et d'audits énergétiques dans les entreprises de productions industrielles, les établissements de services et les administrations. A la fin de leur formation, ces cadres doivent être en mesure de proposer des solutions appropriées de rationalisation d'énergie, conformément à la loi sur la maîtrise de l'énergie, comme ils doivent être en mesure d'évaluer les coûts engendrés et de calculer la rentabilité des solutions proposées. Enfin, la dimension *Energie et Environnement* doit faire l'objet d'une préoccupation permanente de ces cadres et être intégrée dans les études et les travaux à réaliser.

2.2 Groupe ciblé

Les cadres, ingénieurs des entreprises et organismes publics ou privés, chargés des problèmes de l'énergie, ayant œuvré au moins trois années dans le domaine, peuvent participer à cette formation. La durée de cette formation est de douze mois. Les cours et conférences sont organisés sous une forme alternée, avec une présence à l'Université de Batna de cinq jours par mois, durant laquelle sont dispensés les cours théoriques et pratiques, et des travaux de simulation.

2.3 Programme de formation

Les thèmes et contenus des modules (**Tableau 1**) enseignés dans le cadre de cette formation sont en partie inspirés des manuels de cours de la formation continue, *Energie- und Umweltmanagement* [2] dispensés à la Technische Universität 'TU' de Berlin. Ces modules sont groupés en trois parties sur un volume horaire global de 200 heures. Il est également demandé au cadre-stagiaire d'apporter leur contribution effective par un travail personnel en dehors des heures de présence à l'Université de Batna.

Partie 1 - Gestion et économie d'énergie

L'**unité 1** porte sur les sources et concepts d'énergie en Algérie et dans le monde, ainsi que sur les notions de bases de la gestion de l'énergie. Dans cette partie, sont traités également les textes juridiques de la mise en œuvre de la loi sur la maîtrise d'énergie. Un intérêt particulier est accordé aux nouvelles méthodes d'analyse, appliquées dans les systèmes de production, font partie de l'**unité 2**. L'**unité 3**, quant à elle, traite des notions d'économie générale, des méthodes de calcul de rentabilité et des procédures de financement des mesures à entreprendre.

Partie 2 - Systèmes de conversion d'énergie et protection de l'environnement

La seconde partie est consacrée aux notions appropriées sur la protection de l'environnement, l'évaluation des polluants et de leur réduction, et les différentes techniques de conversion de l'énergie solaire, sous forme active et passive. Les techniques de mesure et d'acquisition de données, les automates programmables, largement utilisés dans l'industrie et le bâtiment, ainsi que les systèmes de cogénérations, peu connus par les utilisateurs, sont traités de façon détaillée dans cette partie.

Tableau 1: Intitulés des modules enseignés

Partie 1- Gestion d'énergie et notions d'économie
Unité 1: Gestion de l'énergie
ME111: Bases de la gestion d'énergie
ME112: Gestion d'énergie dans l'industrie et le bâtiment
ME113: Audits énergétiques
ME114: Management de la qualité
Unité 2: Méthodes d'analyse
ME121: Sécurité de fonctionnement
ME122: Analyse fonctionnelle
ME123: Analyse dysfonctionnelle
Unité 3: Etudes économiques
ME131: Notions générales d'économie
ME132: Procédures de calcul des investissements
ME133: Notions de base de financement
ME134: Management de l'entreprise
Partie 2- Systèmes de conversion d'énergie et protection de l'environnement
Unité 1: Protection de l'environnement
ME211: Sources polluantes et aspects juridiques
ME212: Evaluation et techniques de réduction des polluants
Unité 2: Energie solaire et techniques d'acquisition
ME221: Centrales solaires photovoltaïques et thermiques
ME222: Systèmes thermiques et techniques de chauffage
ME224: Mesures et techniques d'acquisition de données
ME225: Automates programmables
Unité 3: Economie d'énergie dans le bâtiment et l'industrie
ME231: Notions de base de transfert de chaleur
ME232: Habitat à économie d'énergie
ME233: Théorie et technologie des machines frigorifiques
ME234: Procédés de la Cogénération
ME235: Réseau électrique : énergie, exploitation et compensation
Partie 3- Audits énergétiques, travaux pratiques et simulation
Unité 1: Audits énergétiques
ME311: Analyse de la consommation d'énergie
Unité 2: Travaux pratiques
TP 1: Acquisition et traitement de données
TP 2: Mesure de la consommation énergétique d'appareils domestiques
TP 3: Mesures de la consommation énergétique d'appareils de bureaux
TP 4: Caractérisation de modules photovoltaïques
TP 5: Caractérisation de systèmes photovoltaïques autonomes
Unité 3: Simulation
Sim 1: Données météorologiques et radio métriques
Sim 2: Capteurs plans et installations thermiques

Partie 3 - Audits énergétiques, travaux pratiques et simulation

Durant ce cycle de formation, les candidats effectuent deux stages dans l'industrie et les services. Le premier stage d'une semaine est consacré principalement à la collecte des données et à leur analyse. Le second stage, également d'une durée d'une semaine, est consacré à l'analyse du procédé de fabrication. A l'issue de ces stages, les candidats rédigent un mémoire.

Les séances de la troisième partie, avec présence à l'université, sont entièrement réservées à des travaux pratiques et des simulations sur ordinateur.

3. METHODOLOGIE D'UN AUDIT ENERGETIQUE DANS L'INDUSTRIEL ET LES ETABLISSEMENTS DE SERVICES

Un audit énergétique peut aller d'une simple analyse de données sur la consommation d'énergie d'une entreprise, à une étude détaillée des données existantes, relevées, suite à une série de tests. Le temps nécessaire pour mener un audit dépend de la taille et du type des installations, ainsi que des objectifs exacts de l'audit lui-même [3-6]. La forme et l'étendue de l'utilisation des énergies doivent être également examinées, y compris les procédés et l'équipement utilisé. Cette étude doit être menée à un niveau de détails justifiés par le coût d'énergie consommée, correspondant à l'opération de production du procédé. Les efforts doivent être orientés vers les unités d'opérations, chaînes de production d'énergie intensive. Les résultats d'un audit conduisent à des mesures qui doivent être à la fois techniquement et économiquement viables, le contrôle et l'orientation contribuent à maintenir en permanence un haut niveau de rendements énergétique.

3.1 Audit énergétique préliminaire

Un audit énergétique préliminaire peut être effectué en une ou deux semaines pour une petite entreprise, et pour les entreprises importantes, complexes, cette mission nécessite beaucoup plus de temps. L'audit préliminaire est centré sur la collecte et l'analyse des données de la consommation d'énergie dans l'entreprise. Durant la prise de contact, l'auditeur s'informe sur le mode de fonctionnement et l'organisation, en général, de l'entreprise. A partir de l'organigramme de cette dernière, l'auditeur doit identifier, la structure chargée de la gestion courante d'énergie; c'est en collaboration étroite avec cette structure que l'auditeur doit accomplir sa mission. L'audit préliminaire est, par conséquent, très utile pour l'identification d'évidentes sources de gaspillage d'énergie et les mesures simples, pour améliorer le rendement énergétique, dans un court terme. Le résultat typique d'un audit préliminaire est un ensemble de recommandations pour des actions immédiates à bas prix et, très souvent, une recommandation pour un audit plus vaste pour examiner avec soin des parties sélectionnées de l'entreprise.

3.2 Audit énergétique détaillé

L'audit énergétique détaillé est généralement une suite de l'audit énergétique préliminaire. Il dépend de la nature et la complexité de l'entreprise, un audit énergétique détaillé peut prendre plusieurs semaines, voire plusieurs mois pour sa réalisation. En plus de la collecte et de l'analyse des données de l'entreprise, le relevé des paramètres de la consommation d'énergie et de la production est à effectuer. Les instruments de mesures utilisés à cet effet sont par exemple: des analyseurs d'énergie, de puissances, de température et de rayonnement. Les unités d'acquisitions de données, pour un relevé de données sur une longue période, sont parfois nécessaires, ils dépendent du type de l'installation à étudier. Les mesures relevées permettent, en général, le calcul du rendement énergétique des installations et de déterminer la consommation spécifique du procédé. Les recommandations émises à la suite de cet audit, conduisent un remplacement partiel ou complet d'équipements. Le rapport établi à la fin de l'audit doit faire ressortir toutes les défaillances observées, les mesures à prendre et les moyens de financement de leurs coûts

3.3 Etapes d'un audit énergétique préliminaire

Une fois l'accord des responsables de l'entreprise où l'audit devant être réalisé est confirmé, il faut constituer l'équipe qui doit mener cette tâche. Un programme de travail est élaboré comportant les étapes suivantes:

3.3.1 Programmer un audit

Réunion avec les responsables concernés de l'entreprise, éventuellement ceux chargé de la gestion technique et comptable des flux énergétique. Présentation à ces derniers des objectifs de la mission, soutenue par des textes réglementaires comme la loi sur la maîtrise d'énergie et ses textes d'applications. Il est aussi utile de donner un aperçu sur les activités liées à la sensibilisation sur l'utilisation efficace de l'énergie, montrer un exemplaire d'un audit déjà réalisé. En collaboration avec ces responsables, fixer les objectifs pour l'audit, diviser l'entreprise en départements de fonctionnement ou en centres de comptabilité de coût, sélectionner l'équipe d'audit (composition pluridisciplinaire), affecter les responsabilités et répartir les tâches et les instruments portables de mesures, si nécessaires.

3.3.2 Collecte et traitement des données

La collecte et le traitement des données sur la consommation de l'énergie dans l'entreprise est une étape fondamentale [7, 8]. Elle permet d'avoir une vue globale sur les différents flux énergétiques, l'efficacité dans le mode de consommation de ces vecteurs, la conformité avec le contrat signé et les coûts engendrés. La période d'analyse retenue est d'au moins cinq années. Il est conseillé pour le traitement d'utiliser un programme qui permet des présentations graphiques et sous forme de tableaux, qu'il faut absolument joindre en annexe du rapport pour permettre toute vérification par les chiffres des diagrammes présentés.

3.3.3 Analyse du procédé de production

Durant la deuxième phase de l'audit, il est demandé l'analyse du procédé de fabrication ou des procédés utilisés dans l'entreprise. La répartition par type d'énergie et par procédé doit faire l'objet d'une attention particulière. Si nécessaire, il faut concentrer l'analyse sur une seule unité ou sur une chaîne de production à consommation intensive d'énergie. Les caractéristiques des moteurs et des autres équipements utilisés, principalement leurs puissances, doivent être relevées et classés par ordre de priorité du point de vue puissance.

3.3.4 Rapport d'audit

Le rapport final de l'audit doit comporter, dans la partie introductive, une description générale de l'entreprise, à partir d'un organigramme. Il présente, en outre, les systèmes d'alimentation en énergie des différents départements et des services, et également un descriptif du procédé de fabrication, qui devrait être techniquement correct et bref. En plus de la description du travail effectué, ceci doit contenir une liste de l'ensemble des mesures recommandées, qui ont été justifiées, en termes technique et économique. Les mesures qui semblent être prometteuses, mais nécessiteront une étude supplémentaire, doivent être mentionnées. Un plan d'action recommandé doit être inclus.

4. AUDIT ENERGETIQUE EN MILIEU INDUSTRIEL EXEMPLE DE L'ENTREPRISE, JIJEL LIEGE ET ETANCHEITE

4.1 Gestion de l'énergie dans l'organisation de l'entreprise

Le choix de l'entreprise Jijel Liège et Etanchéité 'JLE', comme exemple, est motivé d'une part, par le produit fabriqué, du liège expansé pur, utilisé dans un domaine particulièrement sensible, celui des économies d'énergie, dans le secteur du bâtiment et d'autre part, par les différents vecteurs énergétiques utilisés dans le procédé industriel pour fabriquer ce produit.

En général, la forme d'organisation, adoptée à ce jour par bon nombre d'entreprises, consiste à faire jouer à l'entreprise alternativement le rôle de client et de fournisseur [7]. Pour la réalisation de son plan de charge, l'entreprise s'approvisionne sur le marché en matières premières, énergie et autres. Après transformation, l'entreprise fournit à ses clients des produits finis.

Dans cette forme d'organisation, dite traditionnelle, la gestion d'énergie consiste à assurer un approvisionnement continu en produits énergétiques et de procéder au recouvrement des frais de ces produits. L'exemple de l'entreprise 'JLE', illustre cette situation. Dans l'organigramme de cette entreprise (Fig. 2), la fonction de gestion d'énergie n'apparaît pas de manière explicite.

L'entreprise, de nos jours, évolue dans un environnement, dont les intérêts, ne sont pas souvent compatibles avec les siens. Les nuisances causées aussi bien aux personnes, qu'à l'environnement, par certaines industries, ont amené certaines franges de la société à réagir, en se constituant en groupes de pressions; la gestion rationnelle des ressources naturelles (énergie, eau, sol...) et leur préservation pour les générations futures, sont autant d'éléments qui interpellent les dirigeants des entreprises à intégrer dans les missions de leur entreprises, la gestion d'énergie et la protection d l'environnement.

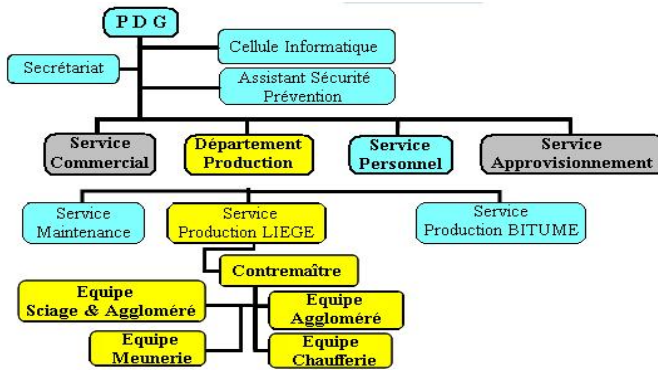


Fig. 2: Organigramme de l'entreprise 'JLE'

4.2 Collecte et traitement des données de la chaîne liège

Dans le cas de ce travail, l'audit énergétique sera circonscrit à l'analyse de la consommation des produits énergétiques et de l'eau de la chaîne de liège de l'entreprise 'JLE', compte tenu des consommations importantes de cette chaîne, par rapport à la consommation globale (Fig. 3).

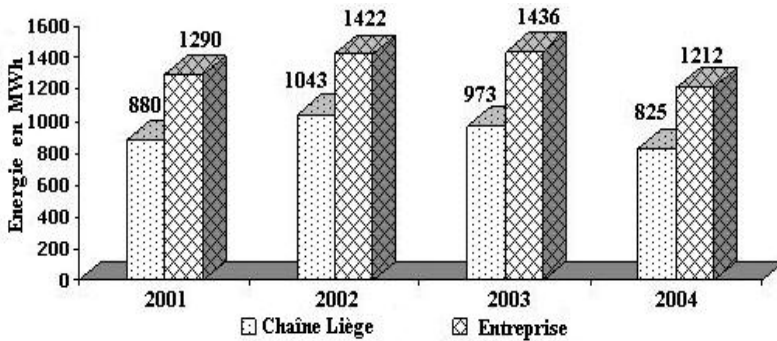


Fig. 3: Consommation de l'énergie électrique de la chaîne liège et de l'entreprise 'JLE'

4.2.1 Analyse de la facturation et de la consommation de l'énergie électrique

Les produits énergétiques utilisés, durant la période 2001-2004, par l'entreprise 'JLE' pour les besoins de son fonctionnement sont : l'électricité, le gaz naturel et le carburant [9].

Pour le calcul des coûts des consommations de l'électricité et du gaz [10], les tarifs sont basés sur une formule établie par la Commission de Régulation de l'Electricité et le Gaz (CREG). Cette formule (1), comporte la redevance fixe, la facturation de la puissance mis à disposition et la puissance absorbée, ainsi que la facturation de l'énergie fournie.

$$F = a + [c \times P_{md}] + \left[\sum e_h \times E_h + g(W - rE) \right] \quad (1)$$

avec: F : Montant de la facture en (DA)

a : Redevance fixe en (DA); elle couvre les frais de gestion technique et commerciale.

P_{md} : Puissance mise à disposition du client (kW)

P_{ma} : Puissance maximale absorbée (kW) au cours de la période de facturation

c, d : Prix de facturation (DA/kW/mois) de la P_{md} et de la P_{ma}

E_h : Energie consommée au cours de la période de facturation dans le poste horaire h

e_h : Prix de l'énergie (cDA/kWh) par poste horaire h

W : Energie réactive (kVARh) consommée au cours de la période de facturation

g : Prix de l'énergie (cDA/kVARh).

r : Valeur du rapport $tg\phi = W / E$

E : Energie (kWh) consommée en cours de la période de facturation.

a- Analyse de la P_{md} et de la P_{ma}

Pour l'alimentation électrique de la chaîne liège, l'entreprise dispose d'un transformateur de 750 kVA. La puissance mise à disposition (P_{md}) est de 750 kW, celle-ci est réservée par la Sonelgaz en vertu d'un accord passé avec la 'JLE', le client, et que ce dernier peut appeler selon ses besoins. Cependant la puissance maximale appelée (P_{ma}), (Fig. 4), observée durant le fonctionnement des installations, n'a pas dépassée le seuil de 412 kW. En application de la formule pour le calcul de la consommation d'énergie, nous constatons que le client est pénalisé, partiellement, pour une puissance, mise à disposition, qu'il n'a pas consommée. Il y a lieu donc d'adapter la P_{md} aux besoins réels, par une actualisation du contrat de fourniture d'énergie. Cette mesure devient nécessaire, si bien entendu aucun changement dans la demande n'est programmé, exemple: nouvelles installation de production.

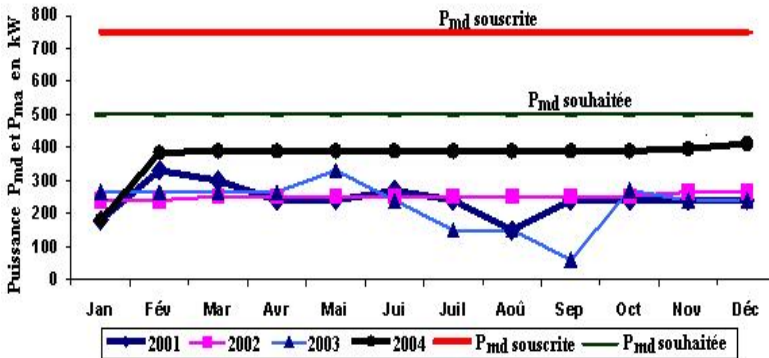


Fig. 4: Evolution annuelles de la P_{md} et de la P_{ma} durant la période 2001-2004

b- Consommation de l'énergie par poste horaire

La facturation de la consommation d'électricité, selon le Tarif 41, est établie pour les périodes suivantes :

Heures pleines	Heures de pointe	Heures creuses
de 6 h à 17 h et de 21 h à 22 h 30	de 17 h à 21 h	de 22 h 30 à 6 h

Pour ces trois périodes, le prix unitaire de l'énergie active de pointe est plusieurs fois supérieur à celui des heures pleines et des heures creuses. Il en est de même du prix de l'énergie en heures pleines par rapport à celui des heures creuses. Le coût du kWh est fonction de l'instant de sa consommation. Il est établi selon les trois tranches horaires. Durant la période 2001-2004, l'entreprise a fonctionné en trois équipes (Fig. 5), puis à partir de 2005, elle a fonctionné avec une seule équipe de travail de 8 h à 17 h, afin de s'effacer de la période des heures de pointe.

c- Consommation de l'énergie réactive

L'énergie réactive est distincte de l'énergie utile (ou active), qui, exprimée en kWh, est transformée en travail et en chaleur. L'énergie réactive ne délivre aucun travail utile.

Lorsque la consommation d'énergie dépasse la proportion de 50 % de l'énergie active, l'excédent est facturé au client selon les prix du tarif appliqué. Dans le cas contraire, une bonification est accordée au client. Minimiser la consommation d'énergie réactive revient à minimiser la valeur de la tangente φ , sachant que: $tg \varphi = W / E$ accordée au client.

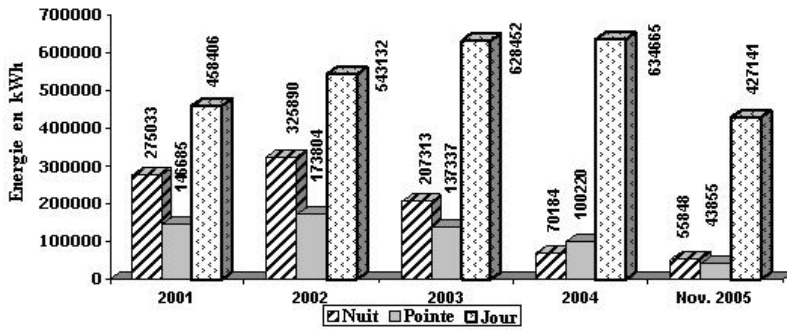


Fig. 5: Consommation de l'énergie électrique, par tranche horaire, pour la chaîne liège

L'énergie réactive facturée pour la chaîne liège (Fig. 6) est très importante. Elle représente 80% de l'énergie réactive totale de l'entreprise. Cette situation est due au nombre important de machines tournantes: broyeurs à marteaux, broyeurs à couteaux, ventilateurs, ainsi qu'à l'état vétuste des équipements.

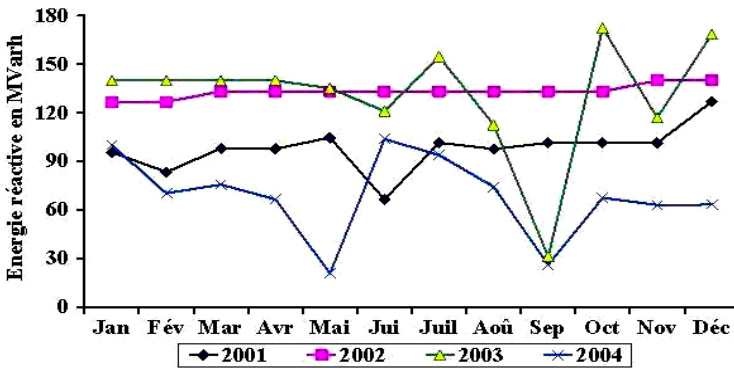


Fig. 6: Evolution annuelle de la puissance réactive durant la période 2001-2004

4.2.2 Analyse de la facturation et de la consommation de gaz

L'entreprise 'JLE' est alimentée en gaz naturel par le réseau basse pression. En tenant compte des besoins de ce client, la Sonelgaz a conseillé une facturation selon le Tarif 21, avec une D_{md} de 10000 thermie/heure. Les fournitures de gaz naturel sont facturées selon la formule (2). Celle-ci comporte une partie fixe, une partie facturant le débit horaire et la troisième partie, facturant l'énergie [9] :

$$R = a + [c \times D_{md} + d \times D_{ma}] + e \times Q \tag{2}$$

Où: F : Montant de la facture en (DA)

a : Redevance fixe en (DA); elle couvre les frais de gestion technique et commerciale.

- D_{md} : Débit mis à disposition (thermie / heure) au cours de la période de facturation.
 D_{ma} : Débit maximum absorbé (thermie / heure) au cours de la période de facturation
 c, d : Prix unitaires de facturation (cDA/thermie/heure) du D_{md} et du D_{ma}
 e : Prix unitaire (cDA/thermie) de l'énergie
 Q : Quantité de gaz (thermie) consommé pendant la période de facturation.

Dans le cas de cette entreprise, le comptage pour les deux unités, Liège et Bitume est global. Pour l'unité Bitume, la puissance de la chaudière est de 1745 kW, tandis que pour l'unité Liège, la puissance totale de la chaudière et le surchauffeur est de 8729 kW.

La consommation en gaz naturel durant la période 2001-2004, exprimée en kWh (1 th = 1,16 kWh), est comparée à la consommation d'électricité (Fig. 7). Cette dernière représente une part importante dans le bilan énergétique global de l'entreprise. Le calcul des indicateurs de la consommation spécifique des différents vecteurs énergétiques, n'a pas été possible, en raison du comptage global adopté par cette entreprise. Enfin les retombées en termes de coûts de ces différents vecteurs seront présentées dans la dernière partie de cette analyse.

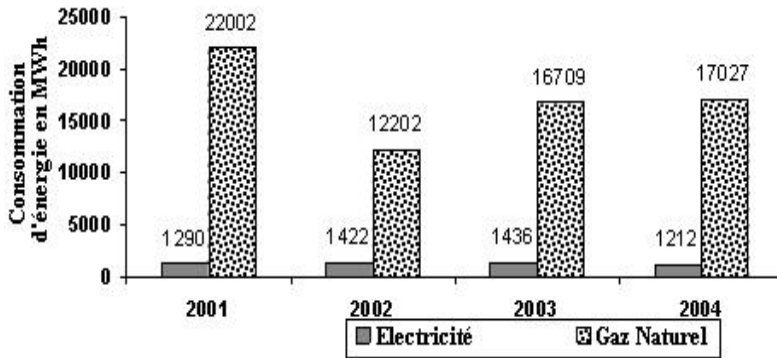


Fig. 7: Evolution de la consommation d'électricité et du gaz durant la période 2001-2004

4.2.3 Consommation de carburant

Pour l'acheminement de la matière première vers les ateliers de transformation, l'entreprise dispose d'un ensemble de camions. Les coûts engendrés par le transport représentent une faible part dans le bilan de l'entreprise.

4.2.4 Analyse de la consommation de l'eau

L'approvisionnement en eau de cette entreprise est assuré par un fournisseur privé, à raison de 6 m³/jour. L'analyse de la facturation qui implique la prise en compte des différentes taxes imposées par les textes réglementaires ne sera pas appliquée dans ce cas, l'analyse sera limitée à la consommation annuelle de l'eau observée durant la période 2001-2004 (Fig. 8). Ces quantités ne sont pas très importantes et leurs coûts sont minimes dans le bilan général de l'entreprise. Cependant, il est intéressant d'observer leur mode de traitement et d'utilisation, ainsi que les rejets engendrés.

Avant son utilisation dans la chaudière, l'eau passe à travers des adoucisseurs, ces derniers, éliminent la dureté de l'eau par permutation des sels de calcium et de magnésium dans l'eau brute en sels de sodium correspondants. Les résines se chargent pendant la dureté du cycle de calcium et de magnésium. Une fois ces résines saturées de sels, la dureté réapparaît dans l'eau traitée, On passe alors à la phase de régénération par injection d'une solution de chlorure de sodium. Ces adoucisseurs n'ont pas d'action sur les chlorures présents en grandes quantités dans l'eau brute.

La première observation montre que l'analyse chimique de l'eau de chaudière contient une concentration très importante en chlorures, soit 230 mg/l dans l'eau brute et 1630 mg/l dans la chaudière, cette concentration est néfaste pour les tubes de chaudières.

La deuxième observation concerne l'eau de refroidissement des blocs. Celle-ci n'est pas récupérée, elle est rejetée complètement à l'égout à une température de 100 °C.

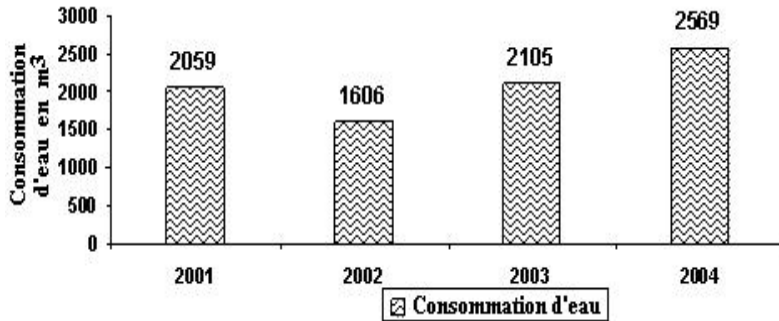


Fig. 8: Evolution annuelles de la consommation d'eau durant la période 2001-2004

4.3 Présentation du procédé de fabrication du liège

4.3.1 Système énergétique industriel

Avant de procéder à l'analyse de la chaîne de production du liège dans l'entreprise de JLE, il est utile de présenter les composantes essentielles d'un système énergétique industriel (Fig. 9). A l'entrée du système de production, sont acheminées les matières premières, dans le cas de la 'JLE', du liège brut. Le procédé de transformation comportant plusieurs opérations (préparation, nettoyage, broyage, cuisson, sciage, recyclage et conditionnement ...), leur réalisation, nécessite des supports à la production, appelés aussi utilitaires, telle que l'énergie et l'eau. A la sortie du système de production, nous obtenons des produits finis ou des sous-produits. Les utilitaires, eau, énergie électrique et gaz naturel, après avoir subi des transformations [11], leurs résidus, sont partiellement traités et recyclés pour d'autres besoins ou rejetés dans l'environnement.

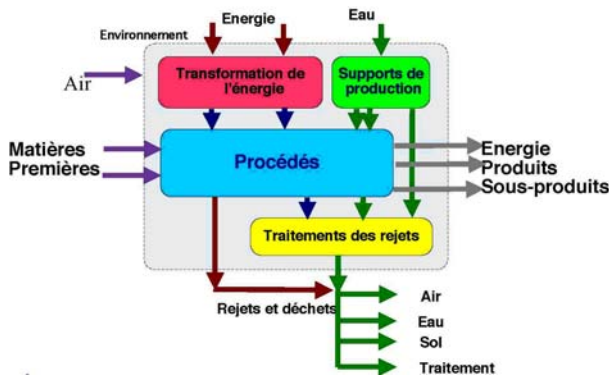


Fig. 9: Schéma global d'un système énergétique industriel [12]

4.3.2 La chaîne de production du liège aggloméré

Le procédé de fabrication utilisé est le système 'Steam baked' qui consiste à effectuer une cuisson et une expansion des granules de liège sous l'effet de la vapeur surchauffée à une pression comprise entre 0.86 et 1.2 bars et une température de 380 °C à 400 °C.

Ce procédé comporte trois grandes phases principales: la trituration, l'agglomération et la finition (Fig. 10).

- **La trituration** - C'est la transformation par broyage de la matière première en granulés de liège de dimensions 4/16 et 4/18.

- **L'agglomération** - C'est la transformation par cuisson et expansion des granulés de liège en blocs d'agglomérés de volume d'environ $0,17 \text{ m}^3$.

- **La finition** - Les blocs d'agglomérés ainsi formés, sont alignés. Ensuite vient l'opération d'équarrissage et de sciage et de conditionnement en plaques ou en panneaux de liège métriques.

Les déchets des différentes phases de fabrication des blocs d'agglomérés sont alors récupérées et subissent d'autres types d'opérations, comme le broyage, le malaxage avec de la colle, suivi d'un étuvage à $200 \text{ }^\circ\text{C}$ pendant 48 h, puis refroidit, pour former enfin le bloc de réaggloméré.

Le produit fabriqué par l'entreprise 'JLE' est du liège expansé pur. Les principales caractéristiques de ce produit sont les suivants: - conductivité thermique ($0,042 \text{ W/m}^\circ\text{K}$), - masse volumique ($100 \text{ à } 120 \text{ kg/m}^3$), - perméabilité à la vapeur d'eau ($850 \text{ } \mu\text{g}/(\text{cm}^2\text{s})$), - résistance à la compression, - résistance au feu, - résistance à des agents chimiques. C'est un matériau utilisé comme isolant phonique et possède des qualités écologiques. Il contribue comme isolant dans la construction et à la réduction de déperditions énergétiques.

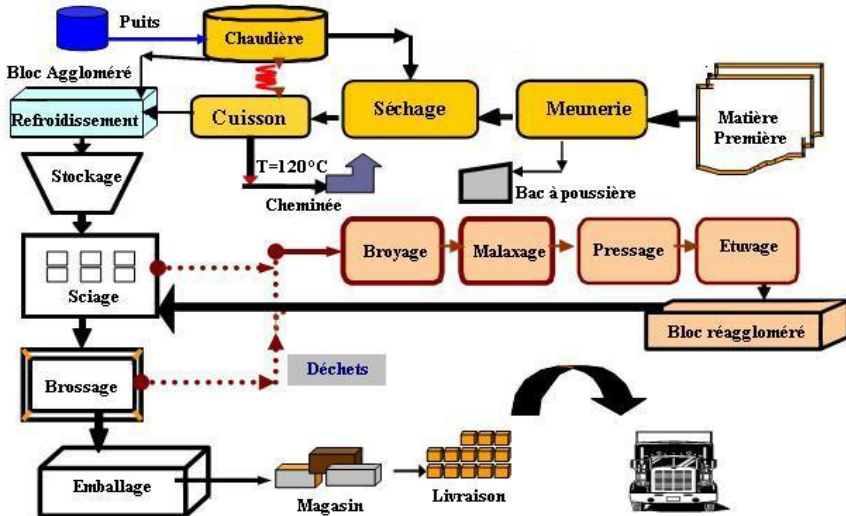


Fig. 10: Chaînes de fabrication du liège à l'entreprise 'JLE'

Pour la réalisation de ces phases de la chaîne liège, l'énergie externe, fournie par le réseau de gaz naturel et par le transformateur électrique, doit être transformée en énergie utile. Pour cela, nous distinguons deux sous-systèmes :

1/- Le sous-système, *chaudière*- il est utilisé pour la production d'eau chaude et de vapeur. Ces utilitaires sont nécessaires pour le séchage et la cuisson ($380 \text{ à } 400 \text{ }^\circ\text{C}$) des produits semi-finis constitués par les blocs agglomérés en liège.

2/- Le sous-système, *réseau électrique*- il alimente les différents postes de transformation de la chaîne liège (Fig. 11). L'énergie électrique est utilisée pour l'entraînement des moteurs des broyeurs, des presses, des scies électriques, des ventilateurs, utilisés par le procédé. L'analyse de la puissance installée par bloc ou poste, fait apparaître une prédominance du bloc Meunerie, soit une puissance de 312 kW , qui représente 45% de la puissance totale installée (670 kW).

4.3.3 Protection de l'environnement

Les rejets provenant de la chaîne liège sont à classer en deux catégories :

1/- Les déchets destinés à être recyclés pour la production du liège réaggloméré, comme les restes proviennent des opérations de sciage et les morceaux de lièges des unités de fabrication de bouchons. Cette opération est certainement une réussite dans la valorisation des déchets solides et une contribution à la protection de l'environnement.

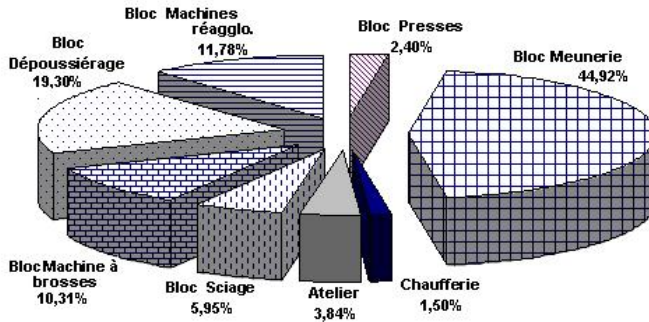


Fig. 11 Répartition de la consommation d'énergie pour la chaîne liège

2/- Les rejets non traités et qui polluent l'environnement sont sous forme liquide, comme les eaux de refroidissement, déversées dans la canalisation des eaux usées ou sous forme de gaz émis dans l'atmosphère. Pour les eaux de refroidissement ($T = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$), il est possible de les récupérer par un système d'échangeur et de les recycler dans le réseau de chauffage d'unité; cette opération est également valable pour les gaz de cuissons ($120\text{ }^{\circ}\text{C}$). Quant aux émissions de poussières résultant du broyage, elles sont envoyées dans un bac et rejetée dans la nature, quoique non dangereuse pour la santé de la population limitrophe, cette poussière désagréable peut être récupérée dans un incinérateur et servir comme combustible.

4.3.4 Consommations, coûts spécifiques d'énergie et émissions de CO₂ de la chaîne liège

Les produits finis de l'entreprise 'JLE' sont le liège (en m³/an) et le bitume (en m²/an). Cette différence dans les unités, ne permet pas respectivement le calcul de la consommation spécifique d'énergie de l'entreprise, aussi, le comptage global pour les deux chaînes, de la consommation de gaz naturel, nous oblige à nous limiter uniquement à la consommation de l'électricité. A titre d'exemple, nous présentons, les paramètres importants de la chaîne liège durant la période 2001-2004 (Tableau 2). Nous observons que la consommation spécifique de l'énergie électrique varie entre 91 et 116 kWh/m³, comparée à la valeur standard (40 kWh/m³), celle-ci est relativement élevée [13]. Quant aux émissions dues à la consommation de l'énergie électrique, elles sont évaluées en tonnes de CO₂ par année, ces écarts et les coûts spécifiques de l'énergie sont en partie dus à l'état vétuste du bloc meunerie, qui consomme à lui seul 45 % de l'énergie électrique de cette chaîne.

Tableau 2: Consommation, coûts spécifiques et émissions de CO₂ de la chaîne liège

	Unités	2001	2002	2003	2004
Production de liège	m ³	7983	8729	9877	9036
Consommation de l'énergie électrique	MWh	880,10	1042,82	973,10	825,30
Consommation spécifique d'énergie électrique	kWh/ m ³	110	116	98	91
Coût spécifique d'énergie électrique	DA/m ³	274	318	280	289
Emissions de CO ₂ de la chaîne liège	tCO ₂ /an	572	677	632	536

4.4 Potentiel d'économie d'énergies et utilisation des énergies renouvelables

Cet audit a permis d'identifier le potentiel d'économie d'énergie dans l'Unité Liège de Jijel, celui-ci est localisé essentiellement au niveau de la meunerie et du système de production d'eau chaude.

Au niveau de la meunerie, il y a lieu d'approfondir l'investigation, par un relevé durant plusieurs semaines, des paramètres électriques. Afin de remédier aux pertes d'énergie constatées, il faut procéder à la rénovation des installations vétustes.

Au niveau des installations thermiques (chaudière, réseau de vapeur,...), le potentiel d'économie d'énergie est important, plusieurs solutions sont donc envisageables. Nous proposons à titre d'expérience, le recours aux systèmes de capteurs plans solaires comme appui pour élever la température d'entrée de l'eau de la chaudière. En effet, aujourd'hui, l'utilisation de l'énergie solaire, particulièrement les systèmes thermiques à capteurs plans, ont vu leur champ d'applications s'élargir, du domaine domestique, utilisant les basses températures (40 à 80 °C) à celui des applications industrielles [14] développant des températures élevées (100 à 400 °C).

4.5 Recommandations

A l'issue de cet audit, nous recommandons les actions, jugées prioritaires, pour améliorer l'efficacité énergétique des installations étudiées :

- Les factures d'électricité, de gaz et de carburants sont classées au niveau de la section comptabilité, et nous suggérons plutôt un suivi par une nouvelle structure à mettre en place au niveau de l'entreprise, qui saurait identifier, analyser les écarts, et lancer des programmes d'économie d'énergie.

- La révision du contrat de fourniture d'énergie, établi avec la Sonelgaz, en vue d'abaisser la P_{md} de la chaîne liège de 750 kW à 500 kW et celle de la chaîne bitume de 500 kW à 320 kW.

- Le $\cos\phi$ de l'unité liège doit être amélioré, pour réduire la consommation de l'énergie réactive. Pour cela, il a été conseillé d'installer des batteries de condensateurs au niveau du transformateur.

- L'étude de la faisabilité d'installation d'un échangeur de chaleur à vapeur pour le recyclage de l'eau de refroidissement des blocs et son utilisation pour les besoins en eaux sanitaires.

- L'installation d'un comptage séparé de la consommation de gaz naturel pour les deux chaînes de productions. Cette mesure peut être élargie au comptage électrique séparé pour les logements de fonction situés dans l'enceinte de l'usine.

5. CONCLUSION

La conduite d'un audit énergétique en milieu industriel est le couronnement d'un cycle de formation intensif et riche en nouvelles connaissances et savoir. Les ingénieurs de la Sonelgaz, durant le stage d'audit, auront à intervenir dans des domaines, qui ne correspondent, souvent, pas à leur spécialité, cependant la diversité des thèmes enseignés durant ce cycle de formation leur permettra d'aborder tout sujet nouveau, s'inscrivant dans la problématique de la maîtrise d'énergie.

La capacité avec laquelle ces cadres ont résolu les problèmes posés, montre que ces derniers ont assimilé et mis en pratique, ce savoir, convenablement, par l'analyse, la présentation des résultats et les recommandations émis, comme présentées dans ce travail.

Enfin durant tout le long de cette formation, des discussions très animées et des échanges d'informations et d'expériences ont permis, un enrichissement mutuel aussi bien pour les cadres de la Sonelgaz que les enseignants qui ont encadré cette formation. C'est là un exemple réussi de la coopération Université-Industrie.

Remerciements - Les auteurs remercient vivement les responsables de la Sonelgaz pour le soutien moral et matériel apporté pour la réussite de ce programme de formation. Comme nous remercions également les responsables de la 'JLE' Jijel pour avoir accepté le déroulement de ce stage dans leur entreprise et aussi pour avoir autorisé la publication des résultats obtenus.



(1)



(2)



(3)



(4)



(5)



(6)

Fig. 12: Vues représentant les différentes phases de transformation du liège brut (vue 1), après trituration et broyage (vue 2) en granulé (vue 3) suivi d'une transformation par cuisson et expansion des granules de liège en blocs d'aggloméré (vue 4). Le bloc obtenu après équarrissage et sciage (vue 5) est conditionné sous plastique pour la commercialisation (vue 6)

REFERENCES

- [1] Journal Officiel de la République Algérienne, '*Loi N°99-09 du 28 Juillet 1999 Relative à la Maîtrise de l'Energie*', J.O.R.A., N°51, pp. 3 - 7, Alger, 2 août 1999.
- [2] Manuels des Cours du Programme de Formation, '*Energie-rund Umweltmanagement*', Weiterbildungsprogramm Energieberatung/ Energiemanagement, Technische Universität Berlin, 1995.
- [3] P.W. O'Callaghan, '*Energy Management*', McGraw-Hill Book Company, UK, 1993.
- [4] F. Maréchal, '*Audit Energétique*', Laboratoire d'Energétique Industrielle-DGF-EPLF, Lausanne, Suisse, 2001.
- [5] A. Wanke und S. Trenz, '*Energiemangement für Mittelständische Unternehmen*', Deutscher Wirtschaftsdienst, 2001.
- [6] E. Jochem und E. Gruber, '*Local Learning-networks on Energy efficiency in Industry- Successful Initiative in Germany*', Applied Energy, Vol. 84, pp. 806 – 816, 2007.
- [7] C. Hamouda, '*Analyse de la Consommation d'Energie dans l'Entreprise*', Manuels des Cours de Formation de Conseillers en Gestion d'Energie et Protection de l'Environnement, Université de Batna, 2006.
- [8] C. Hamouda, '*Notions de Base de la Gestion d'Energie*', Manuels des Cours de Formation de Conseillers en Gestion d'Energie et Protection de l'Environnement, Université de Batna, 2006.
- [9] A. Benamira et C. Hamouda, '*Audit Energétique de l'Entreprise Jijel Liège et Etanchéité*', Rapport d'Audit, Batna, Décembre 2005.
- [10] Journal Officiel de la République Algérienne, '*Décret Exécutif N°05-182 du 18 mai 2005 Relatif à la Régulation des Tarifs et à la Rémunération des Activités de Transport, de Distribution et de Commercialisation de l'Electricité et du Gaz*', J.O.R.A., N°36, pp. 3 - 10, Alger, 22 mai 2005.
- [11] F. Maréchal, '*Modélisation et Optimisation des Systèmes Energétiques Industriels, Introduction*', Laboratoire d'Energétique Industrielle, EPLF, Lausanne, Suisse, 2002.
- [12] A. Malek, '*Systèmes Thermiques et Techniques de Chauffage*', Manuels des Cours de Formation de Conseillers en Gestion d'Energie et Protection de l'Environnement, Université de Batna, 2006.
- [13] R.G. Weiß und O. Paproth, '*Leitfaden Ökologische Dämmstoffe, Wärmedämmung für Wohngesundheit und Energieeinsparung*', NABU Bundesverband, Naturschutzbund Deutschland, e.V. Bonn, 2001.
- [14] H. Schweiger et al., '*The Potential of Solar Heat in Industrial Processes, A State of the Art Review for Spain and Portugal*', EuroSun 2000, Denmark, June 2000.