



AVIS DE SOUTENANCE DE THESE

Le Doyen de la Faculté des Sciences Dhar El Mahraz –Fès – annonce que

Mme (elle) : **CHRAMATE Imane**

Soutiendra : le 28/11/2020 à 10 H

Lieu : Salle de Réunion – Département de Chimie

Une thèse intitulée :
Efficacité énergétique et bilan carbone dans l'industrie

En vue d'obtenir le **Doctorat**

FD : Ressources Naturelles, Environnement et Développement Durable (RNE2D)

Spécialité : Matériaux et Génie des Procédés

Devant le jury composé comme suit :

| | NOM ET PRENOM | GRADE | ETABLISSEMENT |
|---------------------------|------------------------|-------|---|
| Président | Pr. ZERROUQ Farid | PES | Ecole Supérieure de Technologie - Fès |
| Directeur de thèse | Pr. BELMIR Fouzi | PES | Ecole Supérieure de Technologie - Fès |
| Rapporteurs | Pr. TANANE Omar | PES | Faculté des Sciences Ben M'Sik - Casablanca |
| | Pr. SRITI Mohammed | PES | Ecole Nationale Supérieure des Arts et Métiers - Meknès |
| | Pr. TALEB Mustapha | PES | Faculté des Sciences Dhar El Mahraz - Fès |
| Membre | Pr. TALBI Abdennebi | PES | Ecole Supérieure de Technologie - Fès |
| | Pr. KHERBECHE Abdelhak | PES | Ecole Supérieure de Technologie - Fès |

Résumé

Au cours de ces deux dernières décennies, un grand intérêt a été consacré aux sujets de l'environnement, la préservation des ressources naturelles et principalement la gestion des ressources énergétiques en raison de leur importance considérable pour les prochaines générations. A l'instar des pays engagés dans cette voie, le Maroc a mis en œuvre de manière intensive une stratégie énergétique nationale dans le cadre de sa vision de Développement Durable et qui érige l'efficacité énergétique en priorité nationale. En effet, la loi n°47-09 relative à l'efficacité énergétique a pour but d'exploiter le potentiel important en efficacité énergétique, de renforcer la sécurité d'approvisionnement en énergie et de mitiger le changement climatique. D'autre part, à l'issue de la COP21, parmi les mesures promises par le Royaume du Maroc figure, notamment, la réduction de 13% des émissions de gaz à effet de serre (GES) à l'horizon 2030 par rapport à 2010, et qui pourrait même atteindre 32% en cas de soutien international.

Par ailleurs, le Maroc vise également la diminution de la consommation d'énergie à l'échelle nationale de 15% d'ici 2030 et le passage à 50% de production d'électricité à partir d'énergies renouvelables à l'horizon 2025.

De ce fait, on remarque un accroissement de l'intérêt du secteur industriel envers l'audit énergétique, qui est une démarche ayant pour but l'identification des gisements d'amélioration de l'efficacité énergétique et la réduction des émissions des GES. C'est dans cette optique qu'a été promulgué le décret n° 2.17.746 publié le 2 décembre 2019 relatif à l'audit énergétique, qui précise les modalités des audits énergétiques obligatoires ainsi que les procédures d'accréditation et de contrôle des organismes d'audit.

L'efficacité énergétique joue un rôle très important dans la réduction de la facture énergétique et les émissions de gaz à effet de serre dans les différents secteurs, en effet le secteur industriel représente 21% de la consommation énergétique globale. La réduction de cette consommation est nécessaire pour l'amélioration de la compétitivité des entreprises industrielles d'une part et d'autre part pour la réduction de leurs émissions de GES.

C'est dans ce cadre que s'inscrit le présent travail de recherche dont la préparation et la réalisation a consisté en 3 phases principales :

- Une première phase a consisté en une synthèse et dépouillement de l'arsenal normatif, législatif et réglementaire en la matière (Développement durable, Environnement, Efficacité énergétique, Energies renouvelables, ...) tant au niveau national qu'international.
- Une deuxième phase a porté sur l'analyse bibliographique des principaux travaux de recherche réalisés dans le domaine de l'efficacité énergétique ainsi que des émissions des gaz à effet de serre. Cette dernière nous a permis d'étudier les modèles et les démarches proposés dans le domaine de l'efficacité énergétique et de la réductions des GES d'une part, et d'autre part de faire l'inventaire des bonnes pratiques applicables pour différents secteurs industriels ou tertiaires, afin d'apporter des solutions innovantes pour améliorer l'efficacité énergétique dans les différentes installations (moteurs électriques, chaudières, compresseurs, fours, systèmes de chauffage ou de climatisation, éclairage...).
- La troisième phase a été consacrée à la mise en pratique de ces modèles, démarches et techniques proposées précédemment, dans le cadre de trois études de cas distinctes réalisées dans trois unités industrielles marocaines différentes, et ce, dans l'objectif de réduire leur consommation énergétique d'une part et d'autre part diminuer les émissions des GES.

La première étude de cas a été réalisée dans une société spécialisée en production et commercialisation des aliments de bétails. Après une analyse des différents facteurs qui influencent sur la facture énergétique, à l'aide d'un analyseur de réseaux électriques, on a constaté que les facteurs les plus influençant sont l'énergie réactive et le facteur de déplacement de puissance (DPF), la diminution de la valeur de ce dernier entraînera une augmentation de l'énergie réactive et par la suite une pénalité sur la facture énergétique, donc l'installation de nouveaux condensateurs en batteries était nécessaire afin de réduire l'énergie réactive.

La deuxième étude de cas a été effectuée dans une société spécialisée dans les projets de cogénération et de valorisation du biogaz. En effet, Fès est la première ville au Maroc éclairée à 40% de l'éclairage public, grâce à ses déchets ménagers. Ce projet a contribué efficacement à l'amélioration de la gestion et l'exploitation de la

décharge au moyen d'une centrale électrique de 1 Mégawatt. L'objectif de cette étude de cas est de réduire les émissions de CO₂ par l'amélioration de la méthode du calcul selon le procédé de fabrication et les données disponibles à cet effet. Cette méthode de calcul propre a été développée en interne et vise à estimer les émissions qui peuvent être réduites dans ladite décharge pour chaque année jusqu'à la fin de sa durée de vie.

La troisième étude de cas traite d'un des grands défis que connaissent les cimenteries : les émissions de GES et surtout les NOx. Plusieurs techniques et méthodes de traitements sont proposées pour réduire ces émissions mais chaque société choisit le traitement qui lui est convenant en termes de «Coût-efficacité ». L'objectif de cette étude de cas était de proposer une technique adaptée aux besoins de la société concernée. Après une analyse des émissions de NOx de la cimenterie, deux types de procédés sont proposés: la réduction sélective non catalytique (SNCR) et la réduction sélective catalytique (RSC). Tous les deux utilisent l'ammoniac pour réduire les oxydes d'azote en azote moléculaire. La différence entre eux, réside dans le catalyseur qui a pour rôle la réduction de la température opératoire et la consommation de réactif. Dans notre cas on a choisi la réduction sélective non catalytique (RSNC) car cette proposition répond à l'exigence de la société en matière d'investissement et d'efficacité.

A l'issue de ce travail, des recommandations ont été formulées pour l'élaboration et la proposition de modèles, d'approches, de méthodes et d'outils qui pourraient être mis à la disposition des organisations industrielles ou tertiaires afin de faciliter l'intégration en leur sein des concepts de développement durable (dont notamment ceux liés à l'efficacité énergétique et aux émissions de GES) et contribuer ainsi à l'atteinte des objectifs stratégiques nationaux liés à la réduction de la facture énergétique fossile d'une part et au changement climatique d'autre part.

Mots clés : développement durable, émission des gaz à effet de serre, efficacité énergétique, changement climatique, Bilan carbone.

Abstract

Over the last two decades, a great deal of interest has been devoted to the subjects of the environment, the preservation of natural resources and, above all, the management of energy resources because of their considerable importance for future generations. Following the example of the countries engaged in this path, Morocco has intensively implemented a national energy strategy within the framework of its vision of Sustainable Development and which sets energy efficiency as a national priority. Indeed, the law n°47-09 relating to energy efficiency aims at exploiting the significant potential in energy efficiency, strengthening the security of energy supply and mitigating climate change. On the other hand, at the end of COP21, among the measures promised by the Kingdom of Morocco is, in particular, 13% reduction in greenhouse gas (GHG) emissions by 2030 compared to 2010, which could even reach 32% if international support is provided.

In addition, Morocco also aims to reduce energy consumption at the national level 15% by 2030 and to increase electricity production from renewable energy to 50% by 2025.

As a result, there has been an increase in the interest of the industrial sector in the energy audit, which is an approach aimed at identifying areas for improving energy efficiency and reducing GHG emissions. To this end, Decree N° 2.17.746 was issued on 2 December 2019 on energy auditing, specifying the terms and conditions of mandatory energy audits and the procedures for accrediting and monitoring audit bodies.

Energy efficiency plays a very important role in reducing energy bills and greenhouse gas emissions in the various sectors, as the industrial sector accounts for 21% of overall energy consumption. Reducing this consumption is necessary to improve the competitiveness of industrial companies on the one hand and to reduce their GHG emissions on the other.

It is within this framework that the present research work is being carried out, the preparation and implementation of which has consisted of three main phases:

- A first phase consisted of a synthesis and analysis of the normative, legislative and regulatory arsenal in the field (Sustainable Development, Environment, Energy Efficiency, Renewable Energy...) at both national and international levels.

- A second phase focused on the bibliographical analysis of the main research work carried out in the field of energy efficiency and greenhouse gas emissions. The latter enabled us to study the models and approaches proposed in the field of energy efficiency and GHG reductions on the one hand, and on the other hand to make an inventory of good practices applicable for different industrial or tertiary sectors, in order to provide innovative solutions to improve energy efficiency in different installations (electric motors, boilers, compressors, furnaces, heating or air-conditioning systems, lighting, etc.).
- A third phase was devoted to the practical application of these models, approaches and techniques previously proposed, in the framework of three separate case studies carried out in three different Moroccan industrial units, with the aim of reducing their energy consumption on the one hand and reducing GHG emissions on the other.

The first case study was carried out in a company specialized in the production and marketing of cattle feed. After an analysis of the various factors that influence the energy bill, using an electrical network analyzer, it was found that the most influential factors are reactive energy and the power displacement factor (PDF). A decrease in the value of the latter will lead to an increase in reactive energy and subsequently a penalty on the energy bill, so the installation of new battery capacitors was necessary in order to reduce reactive energy.

The second case study was carried out in a company specializing in cogeneration and valorization of biogas projects. Indeed, Fez is the first city in Morocco to have 40% of public lighting, thanks to its household waste. This project has effectively contributed to the improvement of the management and operation of the landfill site by means of a 1 Megawatt power plant. The objective of this case study is to reduce CO₂ emissions by improving the method of calculation according to the manufacturing process and the data available for this purpose. This clean calculation method was developed in-house and aims to estimate the emissions that can be reduced in the said landfill for each year until the end of its lifetime.

The third case study deals with one of the major challenges facing cement plants: GHG emissions, especially NO_x. Several techniques and treatment methods are proposed to reduce these emissions, but each company chooses the treatment that suits it in terms of "Cost-effectiveness". The objective of this case study was to propose a technique adapted to the needs of the company concerned. After an analysis of the NO_x emissions of the cement plant, two types of processes are proposed: Selective Non-Catalytic Reduction (SNCR) and Selective Catalytic Reduction (SCR). Both use ammoniac to reduce nitrogen oxides to molecular nitrogen. The difference between them lies in the catalyst, which has the role of reducing the operating temperature and reagent consumption. In our case we have chosen Selective Non-Catalytic Reduction (SNCR) because this proposal meets the company's requirements in terms of investment and efficiency.

Finally, recommendations were formulated for the development and proposal of models, approaches, methods and tools that could be made available to industrial or tertiary organizations in order to facilitate the integration within them of sustainable development concepts (including those related to energy efficiency and GHG emissions) and thus contribute to the achievement of national strategic objectives related to the reduction of the fossil energy bill on the one hand and climate change on the other.

Keywords: sustainable development, greenhouse gas emissions, energy efficiency, climate change, carbon assessment, industry.